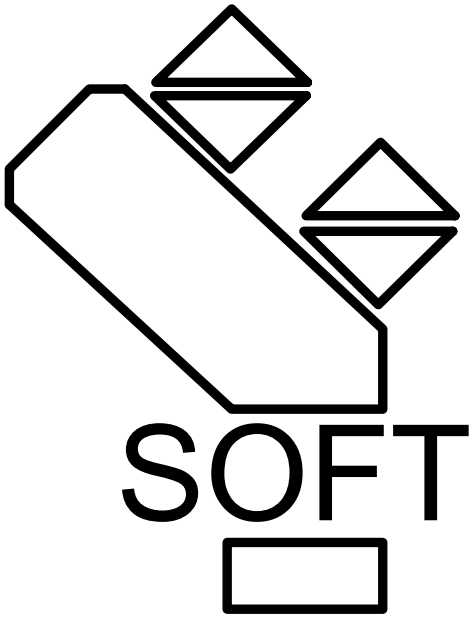
日本知能情報ファジィ学会・ソフトサイエンス研究部会

第 24 回ソフトサイエンス・ワークショップ

講演論文集

2014 年 3 月 8 日（土），9 日（日）

久留米市　久留米ホテルエスプリ



主 催： 日本知能情報ファジィ学会ソフトサイエンス研究部会
共 催： International Society of Management Engineers
協 賛： 日本経営システム学会
日本知能情報ファジィ学会評価問題研究部会、
日本知能情報ファジィ学会九州支部、
ＥＳＡ（教育システム解析）研究会

はじめに

日本知能情報ファジィ学会・ソフトサイエンス研究会主催の第 24 回ソフトサイエンス・ワークショップを、福岡県久留米市で開催することができ非常にうれしく感じます。

ソフトサイエンス研究会は 1987 年の日本ファジィ学会(現:日本知能情報ファジィ学会)設立の時に、塚本弥八郎先生を中心に非工学領域の先生方を集めて、ファジィ理論の非工学領域に関する研究を議論する組織として、ノンエンジニアリング研究会が始められました。その後、非工学研究会の表現から、その頃広く用いられたファジイ理論を含めた広い研究領域を指す言葉であるソフトサイエンスが幹事会で採択され、現在のソフトサイエンス研究会に変更されました。もともとワークショップは早くからソフトサイエンス・ワークシップの名称で開催されてきました。

今回は、第 24 回目のワークショップとして、意思決定手法として広く用いられているファジイ数理計画手法の第一人者である大阪大学教授乾口雅弘教授に、特別講演として、ファジィ理論に基づく数理計画について話していただきます。

また、30 年以上の長いお付き合いさせていただいているパフォーマンスマネジメント研究所・代表　野尻賢司様に、特別講演として、外資系企業の特徴を話していただきます。日頃、研究所から月 1 回発行される PMI news はマネージメントとくに人事問題について発行されている示唆に富むメール雑誌です。特に、PMI news の送付の時の Email に書かれている野尻賢司様の短い言葉や俳句が大変素晴らしい。特別講演では PMI news とはまた違った話がうかがえることを楽しみにしています。

一般論文として 50 論文近くの発表があります。このうち 21 論文は第 1 著者の学生の発表であり、表彰選考対象の論文です。プログラムにそれを示しています。表彰は 9 日の閉会式で発表されます。

最後に、公益財団法人　久留米観光コンベンション国際交流協会のご支援で、久留米市内で本ワークショップを開催ました。協会の池脇順一様および開催ホテルの久留米ホテル・エスプリ、小野　允寛様にはお世話になりました。ここに記して謝意を表します。また、早稲田大学大学院情報生産システム研究室の大学院生には、種々の作業を分担してもらった。感謝する。

日本知能情報ファジィ学会
ソフトサイエンス・ワークショップ
大会委員長　和多田淳三
(早稲田大学 大学院 情報生産システム研究科)

2014 年 3 月 8 日久留米にて

第24回ソフトサイエンスワークショップ

大会委員長	和多田淳三	早稲田大学
プログラム委員長	高萩栄一郎	専修大学
プログラム委員長	小田哲久	愛知工業大学

ソフトサイエンス研究会

代表幹事	古殿幸雄	大阪国際大学
幹事		
	稲井田次郎	日本大学
	井上勝雄	広島国際大学
	今岡春樹	奈良女子大学
	王碩玉	高知工科大学
	奥田徹示	大阪工業大学
	奥田裕紀	金城大学
	小田哲久	愛知工業大学
	亀井且有	立命館大学
	河口万由佳	北海道大学
	北垣郁雄	広島大学
	小西幹彦	広島国際大学
	椎名乾平	早稲田大学
	石岩	九州東海大学
	高萩栄一郎	専修大学
	竹村和久	早稲田大学
	但馬文昭	横浜国立大学
	塚本弥八郎	名城大学
	長沢伸也	早稲田大学
	中島信之	富山大学
	中村和男	長岡技術科学大学
	中森義輝	北陸先端科学技術大学院大学
	長谷川計二	関西学院大学
	藤本勝茂	福島大学
	松田充夫	大島商船高専
	宮武直樹	法政大学
	藪内賢之	下関市立大学
	山下利之	首都大学東京
	四元正弘	（株）電通総研
	領家美奈	筑波大学
	和多田淳三	早稲田大学

3月8日 (土曜日)

13:00-13:20

Opening (Room A)

13:20-14:20

特別講演 2： 乾口 雅弘 教授 (大阪大学)

『ロバスト制約に対する意思決定者の要望の表現：選好に応じた必然性測度の定め方』

司会：和多田 淳三 (早稲田大学)

会場：Room A

14:20-14:40

Break

14:40-15:40

	Session A1 但馬 文昭 (横浜国立大学)	Session B1 中岡 伊織 (宇部高専)	Session C1 小田 哲久 (愛知工業大学)
1	[P24]ファジィ推論による画像拡大の性能と画像特性：◯松田 充夫 (大島商船高等専門学校)、但馬 文昭 (横浜国立大学)	[P30]多重知能とポジティブ心理学にもとづく最適人材選択システムの構築：◯中岡 伊織 (宇部工業高等専門学校)、東出 浩教 (早稲田大学)	[P34]順序選好によるSD法評価方法の提案：◯井上 勝雄、熊谷 美月 (広島国際大学)
2	[P48]HSV表色系によるイチョウの黄葉の表現と分析：◯丹下 翔貴、池ヶ谷 紘正、小沢 和浩、松田 修三 (法政大学)、但馬 文昭 (横浜国立大学)、宮武 直樹 (千葉科学大学)	[P31]テキストマイニングにもとづく自動車企業の特許戦略分析：◯徳光 徹也、岡田 卓也、中岡 伊織 (宇部工業高等専門学校)、朴 唯新 (県立広島大学)、陳 韻如 (滋賀大学)	[P52]汎化能力を持つ強化学習を用いた多機能ロボットの開発：◯津留 祐樹、伊藤 秀昭、福本 尚生、和久屋 寛、古川 達也 (佐賀大学)
3	[P35]中国語機能表現の出現パターンに着目した用語抽出：◯呉 一江, 竹内 和広 (大阪電気通信大学)	[P32]テキストマイニングにもとづくICT企業の特許戦略分析：◯岡田 卓也、徳光 徹也、中岡 伊織 (宇部工業高等専門学校)、朴 唯新 (県立広島大学)、陳 韻如 (滋賀大学)	[P53]Kinfuを用いた3次元物体認識システムの開発：◯森下 峻輔、伊藤 秀昭、福本 尚生、和久屋 寛、古川 達也 (佐賀大学)

15:40-16:00

Break

16:00-17:20

	Session A2 酒井 浩 (九州工大)	Session B2 高萩 栄一郎 (専修大学)	English Session C2 S.Miyamoto (Tsukuba U)
1	[P37]ラフ集合表データ解析ソフトgetRNIAについて：◯酒井 浩、伍 卯、山口 直人 (九州工業大学)、中田 典規 (城西国際大学)	[P19]狩野モデルを応用したメディア授業における学生のニーズ分析：◯上江洲 弘明 (早稲田大学)	[P50]Probability weighting function models and psychological experiment for the comparisons： ◯Kazuhisa Takemura, Hajime Murakami, Yuki Tamari, Takashi Ideno (Waseda University)
2	[P38]ソフトウェアgetRNIAによるアンケートデータ分析：山口 直人、伍 卯 (九州工業大学)、中田 典規 (城西国際大学)、◯酒井 浩 (九州工業大学)	[P21]狩野モデルによる大学数学講義の学生ニーズ分析：上江洲 弘明 (早稲田大学)、◯高木 悟 (工学院大学)	[P13]A Data Mining-base Minimax Model Approach to Portfolio Optimization to Predict Interval Return Rate：◯Meng YUAN, Junzo WATADA (Waseda University)
3	[P25]ラフ集合およびデータベースを用いた大規模データからの縮約抽出の試み：◯工藤 康生、水野 洸希、北口 樹 (室蘭工業大学)、村井 哲也 (北海道大学)	[P27]差分進化による大学時間割作成アルゴリズム：◯安高 真一郎, 安達 康生 (大阪国際大学)	[P10]A Divide-Forecast-based Concept for Region of Interest Clustering in Video Frames：◯Wei QUAN, Junzo WATADA (Waseda University)
4	[P54]支配原理の下でのラフメンバシップ値による2 種類の怠惰クラス分類法：◯乾口 雅弘、横田 直彦、鶴見 昌代 (大阪大学)	[P29]集合関数によるFCR法ー新しい分析アルゴリズムと解釈ー：〇 高萩 栄一郎 (専修大学)、小田 哲久 (愛知工業大学)	[P06]An Adaptive Parivle Swarm Optimization Based Approach to Learning Face Features：◯Di CHEN, Junzo WATADA (Waseda University)

18:00-20:00

懇親会

（注）

	学生発表

3月9日 (日曜日)

9:00-10:00

特別講演２：　野尻 賢司 先生
(パフォーマンス・マネジメント研究所研究所 代表)

『外資系企業の価値観およびそれに基づく人事制度についての考察』

司会：和多田 淳三 (早稲田大学)

会場：Room A

10:00-10:20 Break

10:20-12:00

	Session A3 和久 屋寛 (佐賀大学)	Session B3 山ノ井 高洋 (北海学園大学)	English Session C3 H. Okuda (Kinjo U.)
1	[P16]言語ルールに基づく視覚化技法の系統的生成：豊田 博美、○宮本 定明、遠藤 靖典 (筑波大学)	[P42]複数の想起画像のEEGによる判別：○山ノ井 高洋 (北海学園大学)、豊島 恒 (ジャパンテクニカルソフトウェア)、大槻 美佳、大西 真一 (北海学園大学)、山﨑 敏正 (九州工業大学)、菅野 道夫 (ソフトコンピューティングヨーロッパ研究所)	[P18]Investigation of Six Characteristics in Life-Span Developmental Process in Middle-Age and Elderly Groups with the Multi-Axis Concentric Circle Scale：○Hiroki Okuda (Kinjo University)
2	[P49]名義的データに対するクラスタリングのためのカーネル関数：○楠木 祥文、谷野 哲三 (大阪大学)	[P26]康師傅のファジVRIO分析：○賈 志聖、古殿 幸雄 (大阪国際大学)	[P11]Building a Fuzzy Recommender System Based on User User Clustering：○Shan XU, Junzo WATADA (Waseda University)
3	[P20－2]部分的な制約条件の繰り返し適用による組み合わせ最適化問題の求解能力改善：○仲田 紘平、和久屋 寛、伊藤 秀昭 (佐賀大学)	[P47]中国奇瑞自動車のファジィ 5F 分析：○陳 法恩 古殿 幸雄 (大阪国際大学)	[P09]Solving Quadratic Bilevel Programming Problem with Intelligent Hybrid Neural Network：○Jingru LI, Junzo WATADA (Waseda University)
4	[P20－3]ホップフィールドネットワークを用いた効率的な巡回経路分担の検討：○井上 太一、和久屋 寛、伊藤 秀昭 (佐賀大学)	[P46]ファジィペトリネットによるOpenFlowネットワークの制御シミュレーション：○神田 未来、○松浦 崇、荒木 智行、玉野 先生 (広島工業大学)	[P05]A Feed Forward Neural Network trained by a GPSO：○Haydee Melo, Junzo Watada (Waseda University)
5	[P43]タブーサーチに基づくデータ予測のためのニューラルネワークの構造最適化手法の提案：○林田 智弘、西崎 一郎 (広島大学)		[P12]Using k-Nearest Neighbors Algorithm to Solving Imbalanced Classification Problems ：○Zhigang XIONG, Junzo WATADA (Waseda University)

12:00-13:30 Lunch

13:30-14:30

	Session A4 稲井田 次郎 (日本大学)	Session B4 松田 充夫 (大島商船高等専門学校)	English Session C4 K Takemura (Waseda U.)
1	[P39]クリスプおよびファジィ粒状階層構造におけるマルチ集合に関する一考察：○村井 哲也 (北海道大学)、宮本 定明 (筑波大学)、乾口 雅弘 (大阪大学)、工藤 康生 (室蘭工業大学)、赤間 世紀 (C-Republic)	[P33]人物形容語評定値のファジィ性と時間的変化：○小田 哲久 (愛知工業大学)	[P07]Search Result Clustering Using Arti cial Neural Network and K-Medoids Methods：○Hung Hungming, Junzo Watada (Waseda University)
2	[P39－2]ファジィマルチ集合間の順序関係に関する一考察：○村井 哲也 (北海道大学)、宮本 定明 (筑波大学)、乾口 雅弘 (大阪大学)、工藤 康生 (室蘭工業大学)、赤間 世紀 (C-Republic)	[P22]Ptコーティングナノファイバーの太さと屈折率の測定とプラズモン効果：○但馬 文昭、西山 善郎 (横浜国立大学)、松田 充夫 (大島商船高等専門学校)、宮武 直樹 (千葉科学大学)、松田 修三 (法政大学)	[P14]Building a GA-based Solver for Quadratic Bilevel Programming Problems：Yunglong GUO, Junzo WATADA, ○Haiyu YU (Waseda University)
3	[P17]ファジィ数の定義についてXII：○稲井田 次郎、白川 幸子、御前 憲廣 (日本大学)、新海 公昭 (東京家政学院大学)、山下 元 (早稲田大学)	[P23]相補的協調関係を保存するコミュニケーション制約：○藤本 勝成 (福島大学)	[P08]An Affective Engineering Approach to Recognizing Speech Emotions and Its Application：Yung-Chin Hsiao, Junzo Watada, ○Hanayuki Kitagawa, Xioyan FENG (Waseda University)

14:30-14:40 Break

14:40-15:00 Closing (Room A)　**表彰式**

（注）

	学生発表

索　引　（プログラム）

αnmX:　α is Room A, B, or C.
n is session number 1, 2, 3, 4, or 5.
M is presentation number 0, 1, 2, 3, or 4.
X denotes a chair (C), a presentor (P) or a coauthor ( ).
For example, A31P means Room A, third session and the first presentation.
B30C denotes Room B, Third session and Chair.

A

安達 康生 (大阪国際大学)： B23
赤間 世紀 (C-Republic)： A41, A42
荒木 智行 (広島工業大学)： B34
CHEN, Di (Waseda University)： C24P
陳 韻如 (滋賀大学)： B12, B13
陳 法恩 (大阪国際大学)： B33P
CHEN, Di (Waseda University)： C24P

E

遠藤 靖典 (筑波大学)： A31
FENG, Xioyan (Waseda University)： C43
藤本 勝成 (福島大学)： B43P
福本 尚生 (佐賀大学)： C12, C13
古川 達也 (佐賀大学)： C12, C13

G

GUO, Yunglong (Waseda University)： C42

H

林田 智弘 (広島大学)： A35P
東出 浩教 (早稲田大学)： B11
HSIAO, Yung-Chin (Waseda University)： C43
HUNGMING, Hung (Waseda University)： C41P

I

IDENO, Takashi (Waseda University)： C21
池ヶ谷 紘正 (法政大学)： A12
稲井田 次郎 (日本大学)： A40C, A43P
井上 勝雄 (広島国際大学)： C11P
井上 太一 (佐賀大学)： A34P
乾口 雅弘 (大阪大学)： A24P, A41, A42, K11
伊藤 秀昭 (佐賀大学)： A33, A34, C12, C13

K

神田 未来 (広島工業大学)： B34P
KITAGAWA, Hanayuki (Waseda University)： C43P
北口 樹 (室蘭工業大学)： A23
古殿 幸雄 (大阪国際大学)： B32, B33
工藤 康生 (室蘭工業大学)： A23P, A41, A42
熊谷 美月 (広島国際大学)： C11
楠木 祥文 (大阪大学)： A32P

L

LI, Jingru (Waseda University)： C33P

M

松田 修三 (法政大学)： A12, B42
松田 充夫 (大島商船高等専門学校)： A11P, B40C, B42
松浦 崇 (広島工業大学)： B34
賈 志聖 (大阪国際大学)： B32P
MELO, Haydee (Waseda University)： C34P
宮本 定明 (筑波大学)： A31P, A41, A42
Miyamoto, Sadaaki (Tsukuba U)： C20C
宮武 直樹 (千葉科学大学)： A12, B42
水野 洸希 (室蘭工業大学)： A23
村井 哲也 (北海道大学)： A23, A41P, A42P
MURAKAM, Hajime (Waseda University)i： C21

N

中岡 伊織 (宇部工業高等専門学校)： B10C, B11P, B12, B13

中田 典規 (城西国際大学)： A21, A22
仲田 紘平 (佐賀大学)： A33P
西崎 一郎 (広島大学)： A35
野尻 賢司 (PI 研究所)： K21
O
御前 憲廣 (日本大学)： A43
小田 哲久 (愛知工業大学)： B24, B41P, C10C
岡田 卓也 (宇部工業高等専門学校)： B12, B13P
OKUDA, Hiroki (Kinjo University)： C30C, C31P
大西 真一 (北海学園大学)： B31
大槻 美佳 (北海学園大学)： B31
小沢 和浩 (法政大学)： A12
P
朴 唯新 (県立広島大学)： B12, B13
Q
QUAN, Wei (Waseda University)： C23P
S
酒井 浩 (九州工業大学)： A20C, A21P, A22P
新海 公昭 (東京家政学院大学)： A43
白川 幸子 (日本大学)： A43
菅野 道夫 (SCE 研究所)： B31
T
但馬 文昭 (横浜国立大学)： A10C, A11, A12, B42P
高木 悟 (工学院大学)： B22P
高萩 栄一郎 (専修大学)： B20C, B24P
TAKEMURA, Kazuhisa (Waseda University)： C21P, C40C
竹内 和広 (大阪電気通信大学)： A13
玉野 和保 (広島工業大学)： B35
TAMARI, Yuki (Waseda University)： C21
丹下 翔貴 (法政大学)： A12P
谷野 哲三 (大阪大学)： A32
徳光 徹也 (宇部工業高等専門学校)： B12P, B13
豊田 博美 (筑波大学)： A31
豊島 恒 (ジャパンテクニカルソフトウェア)： B31
津留 祐樹 (佐賀大学)： C12P
鶴見 昌代 (大阪大学) ： A24
U
上江洲 弘明 (早稲田大学)： B21P, B22
W
和久屋 寛 (佐賀大学)： A30C, A33, A34, C12, C13
和多田 淳三 (早稲田大学)： K10C, K20C
WATADA, Junzo (Waseda University)： C22, C23, C24, C32, C33, C34, C35, C41, C42, C43
伍 卯 (九州工業大学)： A21, A22
呉 一江 (大阪電気通信大学)： A13P
X
XIONG, Zhigang (Waseda University)： C35P
XU, Shan (Waseda University)： C32P
Y
山口 直人 (九州工業大学)： A21, A22
山ノ井 高洋 (北海学園大学)： B30C,B31P
山下 元 (早稲田大学)： A43
森下 峻輔 (佐賀大学)： C13P
山﨑 敏正 (九州工業大学)： B31
西山 善郎 (横浜国立大学)： B42
安高 真一郎 (大阪国際大学)： B23P
横田 直彦 (大阪大学)： A24
YU, Haiyu (Waseda University)： C42P
YUAN, Meng (Waseda University)： C22P

目　　次

page

はじめに i
委員リスト iii
プログラム iv
著者・セッションチェア索引（プログラム） vi
目　　次 viii

1 ロバスト制約に対する意思決定者の要望の表現：選好に応じた必然性測度の定め方：乾口雅弘(大阪大学) 1
2 外資系企業の価値観およびそれに基づく人事制度についての考察：野尻賢司(フォーマンス・マネジメント研究) 7
3 A Data Mining-base Minimax Model Approach to Portfolio Optimization to Predict Interval Return Rate： ◯Meng YUAN, Junzo WATADA (Waseda University) 13
4 A Divide-Forecast-based Concept for Region of Interest Clustering in Video Frames： ◯Wei QUAN, Junzo WATADA (Waseda University) 15
5 A Feed Forward Neural Network trained by a GPSO： ◯Haydee Melo, Junzo Watada (Waseda University) 17
6 An Adaptive Parivle Swarm Optimization Based Approach to Learning Face Features： ◯Di CHEN, Junzo WATADA (Waseda University) 19
7 An Affective Engineering Approach to Recognizing Speech Emotions and Its Application： Yung-Chin Hsiao, Junzo Watada, ◯Hanayuki Kitagawa, Xioyan FENG (Waseda University) 23
8 Building a GA-based Solver for Quadratic Bilevel Programming Problems： Yunglong GUO, Junzo WATADA, ◯Haiyu YU (Waseda University) 27
9 部分的な制約条件の繰り返し適用による組み合わせ最適化問題の求解能力改善：◯仲田紘平、和久屋寛、伊藤秀昭(佐賀大学) 31
10 Building a Fuzzy Recommender System Based on User User Clustering： ◯Shan XU, Junzo WATADA (Waseda University) 35
11 中国奇瑞自動車のファジィ5F分析：◯陳法恩古殿幸雄(大阪国際大学) 37
12 中国語機能表現の出現パターンに着目した用語抽出：◯呉一江,竹内和広(大阪電気通信大学) 41
13 クリスプおよびファジィ粒状階層構造におけるマルチ集合に関する一考察：◯村井哲也(北海道大学)、宮本定明(筑波大学)、乾口雅弘(大阪大学)、工藤康生(室蘭工業大学)、赤間世紀(C-Republic) 43
14 複数の想起画像のEEGによる判別：◯山ノ井髙洋(北海学園大学)、豊島恒(ジャパンテクニカルソフトウェア)、大槻美佳、大西真一(北海学園大学)、山﨑敏正(九州工業大学)、菅野道夫(ソフトコンピューティングヨーロッパ研究所) 47
15 ファジィマルチ集合間の順序関係に関する一考察：◯村井哲也(北海道大学)、宮本定明(筑波大学)、乾口雅弘(大阪大学)、工藤康生(室蘭工業大学)、赤間世紀(C-Republic) 51
16 ファジィ数の定義についてXII：◯稲井田次郎、白川幸子、御前憲廣(日本大学)、新海公昭(東京家政学院大学)、山下元(早稲田大学) 53
17 ファジィペトリネットによるOpenFlowネットワークの制御シミュレーション：◯神田未来、◯松浦崇、荒木智行、玉野先生(広島工業大学) 57
18 ファジィ推論による画像拡大の性能と画像特性：◯松田充夫(大島商船高等専門学校)、但馬文昭(横浜国立大学) 61
19 言語ルールに基づく視覚化技法の系統的生成：豊田博美：〇宮本定明、遠藤靖典(筑波大学) 63

20 汎化能力を持つ強化学習を用いた多機能ロボットの開発：◯津留祐樹、伊藤秀昭、福本尚生、和久屋寛、古川達也(佐賀大学) 67
21 ホップフィールドネットワークを用いた効率的な巡回経路分担の検討：◯井上太一、和久屋寛、伊藤秀昭(佐賀大学) 69
22 HSV表色系によるイチョウの黄葉の表現と分析：◯丹下翔貴、池ヶ谷紘正、小沢和浩、松田修三(法政大学)、但馬文昭(横浜国立大学)、宮武直樹(千葉科学大 73
23 Investigation of Six Characteristics in Life-Span Developmental Process in Middle-Age and Elderly Groups with the Multi-Axis Concentric Circle Scale： ◯Hiroki Okuda (Kinjo University) 77
24 人物形容語評定値のファジィ性と時間的変化：◯小田哲久(愛知工業大学) 81
25 順序選好によるSD法評価方法の提案：◯井上勝雄、熊谷美月(広島国際大学) 85
26 狩野モデルによる大学数学講義の学生ニーズ分析：上江洲弘明(早稲田大学)、◯高木悟(工学院大学) 87
27 狩野モデルを応用したメディア授業における学生のニーズ分析：◯上江洲弘明(早稲田大学) 89
28 Kinfuを用いた3次元物体認識システムの開発：◯森下峻輔、伊藤秀昭、福本尚生、和久屋寛、古川達也(佐賀大学) 91
29 名義的データに対するクラスタリングのためのカーネル関数：◯楠木祥文、谷野哲三(大阪大学) 93
30 Probability weighting function models and psychological experiment for the comparisons： ◯Kazuhisa Takemura, Hajime Murakami, Yuki Tamari, Takashi Ideno (Waseda University) 95
31 Ptコーティングナノファイバーの太さと屈折率の測定とプラズモン効果：◯但馬文昭、西山善郎(横浜国立大学)、松田充夫(大島商船高等専門学校)、宮武直樹(千葉科学大学)、松田修三(法政大学) 99
32 ラフ集合表データ解析ソフトgetRNIAについて：◯酒井浩、伍卯、山口直人(九州工業大学)、中田典規(城西国際大学) 103
33 ラフ集合およびデータベースを用いた大規模データからの縮約抽出の試み：◯工藤康生、水野洸希、北口樹(室蘭工業大学)、村井哲也(北海道大学) 105
34 差分進化による大学時間割作成アルゴリズム：◯安高真一郎,安達康生(大阪国際大学) 107
35 Search Result Clustering Using Arti cial Neural Network and K-Medoids Methods：◯Hung Hungming, Junzo Watada (Waseda University) 111
36 支配原理の下でのラフメンバシップ値による2種類の怠惰クラス分類法：◯乾口雅弘、横田直彦、鶴見昌代(大阪大学) 115
37 集合関数によるFCR法ー新しい分析アルゴリズムと解釈ー：〇高萩栄一郎(専修大学)、小田哲久(愛知工業大学) 117
38 ソフトウェアgetRNIAによるアンケートデータ分析：山口直人、伍卯(九州工業大学)、中田典規(城西国際大学)、◯酒井浩(九州工業大学) 121
39 Solving Quadratic Bilevel Programming Problem with Intelligent Hybrid Neural Network： ◯Jingru LI, Junzo WATADA (Waseda University) 123
40 相補的協調関係を保存するコミュニケーション制約：◯藤本勝成(福島大学) 125
41 タブーサーチに基づくデータ予測のためのニューラルネワークの構造最適化手法の提案：◯林田智弘、西崎一郎(広島大学) 129
42 多重知能とポジティブ心理学にもとづく最適人材選択システムの構築：◯中岡伊織(宇部工業高等専門学校)、東出浩教(早稲田大学) 133

43 テキストマイニングにもとづくICT企業の特許戦略分析：◯岡田卓也、徳光徹也、中岡伊織(宇部工業高等専門学校)、朴唯新(県立広島大学)、陳韻如(滋賀大学) 135
44 テキストマイニングにもとづく自動車企業の特許戦略分析：◯徳光徹也、岡田卓也、中岡伊織(宇部工業高等専門学校)、朴唯新(県立広島大学)、陳韻如(滋賀大学) 137
45 康師傅のファジVRIO分析：◯賈志聖、古殿幸雄(大阪国際大学) 139
46 Type-2 Linguistic Random Regression Model : Fei SONG, Shinya IMAI, ◯Junzo WATADA (Waseda University) 143
47 Using k-Nearest Neighbors Algorithm to Solving Imbalanced Classification Problems : ◯Zhigang XIONG, Junzo WATADA (Waseda University) 145

著者索引(論文) 147

特別講演１：

ロバスト制約に対する意思決定者の要望の表現：
選好に応じた必然性測度の定め方

Representations of Decision Maker's Preferences on Robust Constraints:
Identification of Necessity Measures Suitable for Given Preferences

乾口　雅弘
Masahiro Inuiguchi
大阪大学大学院基礎工学研究科
Graduate School of Engineering Science, Osaka University

Abstract: 本研究では、ロバストな制約に対する意思決定者の要望の表現法について述べる。ロバストな制約は、決定変数に依存する変動範囲が満足できる領域に包含されることにより表現される。決定者は変動範囲と、満足できる領域を定める必要がある。変動範囲としては、起こりやすい範囲や十分可能性を考慮した範囲、普通に生じると考えられる範囲など、種々のレベルがあり、レベルごとに抑えたい領域が異なることがある。また、満足できる領域を一つ与え，できるだけ高い確信度でその領域に変動を抑えたい場合もある。このように種々のタイプのロバストな制約が考えられる。このような種々のタイプのロバストな制約は、ファジィ集合の必然性測度を定める含意関数をうまく設定することにより取り扱える。本研究では、必然性測度に対する発表者の過去の研究成果に基づき、意思決定者の要求に応じた必然性測度の簡便な定め方について述べる。

略歴：　乾口雅弘教授は、工学士、工学修士を大阪府立大学 工学部で、 1985 年 03 月、1987 年 03 月に取得した後、大阪府立大学助手となり、1991 年 10 月に博士(工学)を取得した。その後、広島大学助教授、大阪大学助教授を経て、2003 年 4 月より大阪大学大学院基礎工学研究科 システム創成専攻 教授となり、現在に至る。
研究は広範囲に及ぶが、主要テーマは可能性計画法とその応用,ファジィ理論とその意思決定法,近似推論法への応用，ラフ集合理論とその応用である。研究論文を、種々の国内外の学会誌に発表している。またシステム制御情報学会 椹木記念賞奨励賞受賞(1991),日本ファジィ学会(現 日本知能情報ファジィ学会) 奨励賞受賞(1993)，同学会論文賞受賞(1997)，日本知能情報ファジィ学会論文賞(2013)等、種々の賞を受賞。所属学会は、日本知能情報ファジィ学会、システム制御情報学会、計測自動制御学会、日本オペレーションズ・リサーチ学会、電子情報通信学会、IEEE、 国際ラフ集合学会(IRSS)等。

http://www-inulab.sys.es.osaka-u.ac.jp/index.php?page=research

連絡先：大阪大学大学院基礎工学研究科
乾口雅弘　　Tel/Fax: 06-6850-6350

ロバスト制約に対する意思決定者の要望の表現：選好に応じた必然性測度の定め方

Representations of Decision Maker's Preferences on Robust Constraints: Identification of Necessity Measures Suitable for Given Preferences

乾口　雅弘
Masahiro Inuiguchi
大阪大学 大学院 基礎工学研究科
Graduate School of Engineering Science, Osaka University

Abstract: In this paper, we investigate the representation of robust constraints. The robust constraints have been modelled by inclusion relations between variation ranges and satisfactory regions. When fuzziness is included in a constraint, the inclusion relation cannot be represented by a univocal way but by one or some of necessity measures suitable for the decision maker's preference. We propose a method for selecting a suitable necessity measure corresponding to the decision maker's preference on each robust constraint.

1　はじめに

近年，不明確な係数を扱う数理計画法として，ロバスト最適化 [1] がよく研究されている．これらの問題では，不明確な係数がある範囲内で変動しても制約充足性を保証する解が求められる．ファジィ数理計画問題でも，係数の不明確性がファジィ数で表された問題に対して，制約条件の左辺値のファジィ集合が許容できるファジィ領域に包含される下で評価関数を最適化するロバスト計画問題 [2] が研究されてきた．可能性理論の発展に伴い，一般の包含関係の度合と解釈できる必然性測度を含む制約条件をもつ可能性計画法が取り扱われるようになった．必然性測度は含意関数により定められ，含意関数を変更することにより，様々な包含関係の成立度を取り扱うことができ，可能性計画問題 [3] はロバスト最適化問題やロバスト計画問題の一般化とみることができる．

ロバスト最適化問題では，不明確な係数の取りうる範囲を通常の集合で表さなければならないが，これを定める決定者は，どこまでの可能性を考えるかの決断に迫られる．一方，これをファジィ集合で定めれば,「可能性が高い範囲」,「通常に考えられる範囲」,「十分に広く見積もった範囲」など，真の係数値がその範囲にある確信度が異なる複数の領域で定義できるので，決定者の知識を柔軟に反映できる．不明確な係数の取りうる範囲が定められると，拡張原理により制約条件の左辺値の取りうる範囲が算出される．制約条件の右辺値は左辺値がどのような値を取ることが望ましいかを表すが，ファジィ数理計画問題では，左辺値の望ましい値の領域もファジィ集合で与えることができる．

このファジィ集合の定め方としては,「可能性が高い範囲」,「通常に考えられる範囲」,「広く見積もった範囲」それぞれに対して，収めたい領域を与え，できるだけそれを達成する解を求める場合や，係数の変動範囲の設定に関係なく，左辺値として望ましい領域を与え，できるだけ高い確信度でそれに含まれる解を求める場合など，様々な状況が考えられる．このような，ロバスト制約に対する種々の要求は，必然性測度を適切に定めることにより相当対応できる．

必然性測度は含意関数で定められるので，要求に見合った含意関数を選ぶことになる．しかし，従来，含意関数の選択法に関する研究はほとんどなされていない．含意関数の選択によりどのような包含関係になるかを直ぐにイメージできないので，含意関数を直接選ぶことは容易ではない．

Inuiguchi ら [4] は，必然性測度の値の変化とファジィ集合間の包含関係の成立状況との関係を与えることにより，必然性測度を定める方法を提案している．この方法では，たとえば，必然性測度の値が 0.8 以上の場合には，包含されるファジィ集合を大きめに見積もり，他方のファジィ集合を小さめに見積もっても包含関係が成立することを保証し，必然性測度の値が 0.2 以上の場合には，包含されるファジィ集合を小さめに見積もり，他方のファジィ集合を大きめに見積もっても包含関係が成立することを保証するというように，度合とファジィ集合の包含の状況との対応を与えることにより必然性測度が定義される．大きめに見積もったファジィ集合や小さめに見積もったファジィ集合は，ファジィ集合に修飾子を施すことにより定められる．これ

により，包含の成立状況 (イメージ) の推移を与えれば必然性測度が定まることになる．しかし，度合に応じた成立状況 (イメージ) の推移や成立状況に応じて変化する修飾子 (修飾子母関数) を与えることは，含意関数を直接定めるより容易なもののそれほど簡単ではない．

本研究では，ロバスト制約に対する意思決定者の要望を必然性測度で表現する簡便な方法を提案する．提案手法では，不明確な値の取りうる範囲と満足できる値の範囲を「小さめ」,「中程度」,「大きめ」の 3 通りで見積もり，これらの包含関係の成立状況の推移を与えることにより必然性測度を定めることができる．提案法により，Dienes，Łukasiewicz，Gödel，Goguen などのよく知られた含意を表すこともできる．

2 必然性測度

ファジィ集合 A の下でのファジィ集合 B の必然性測度 N は次式で定められる．

$$N_A(B) = \inf_{r\in U} I(\mu_A(r), \mu_B(r)) \tag{1}$$

ただし，U は全体集合で，$I : [0,1]\times[0,1] \to [0,1]$ は次の性質をもつ含意関数である．

(I0) I は上半連続である．
(I1) $I(0,0) = I(0,1) = I(1,1) = 1$，$I(1,0) = 0$.
(I2) $0 \le c \le a \le 1$ かつ $0 \le b \le d \le 1$ であれば，$I(a,b) \le I(c,d)$ となる．

また，μ_A，μ_B はファジィ集合 A，B のメンバシップ関数である．$N_A(B)$ はファジィ集合 A がファジィ集合 B に包含される度合と解釈される．

特に含意関数が Dienes 含意，すなわち，$I(q,r) = \max(1-q, r)$ と定められる場合には，

$$N_A(B) \ge \alpha \Leftrightarrow (A)_{1-\alpha} \subseteq [B]_\alpha \tag{2}$$

が成立することがよく知られている．ただし，$\alpha \in [0,1]$ で，$\beta \in [0,1]$ に対し，強 β-レベル集合は $(A)_\beta = \{r \in U \mid \mu_A(r) > \beta\}$ と定められ，弱 β-レベル集合は $[A]_\beta = \{r \in U \mid \mu_A(r) \ge \beta\}$ と定められる．式 (2) は必然性測度が小さい場合には，小さめに見積もった A の範囲が大きめに見積もった B の範囲に包含され，必然性測度が大きい場合には，大きめに見積もった A の範囲が小さめに見積もった B の範囲に包含されることを表していると解釈できる．

式 (2) の観点から，Inuiguchi ら [4] は，α-レベル集合を α に応じて変化する修飾子を施したファジィ集合に置き換えた次式を満たす測度を提案し，これが必然性測度になることを示している．

$$N_A(B) \ge \alpha \Leftrightarrow m_\alpha(A) \subseteq M_\alpha(B) \tag{3}$$

ただし，$m_\alpha(A)$ と $M_\alpha(B)$ は，

$$\mu_{m_\alpha(A)}(r) = g^m(\mu_A(r), \alpha),\ \forall r \in U \tag{4}$$
$$\mu_{M_\alpha(B)}(r) = g^M(\mu_B(r), \alpha),\ \forall r \in U \tag{5}$$

により定められる α により変化する修飾子 $g^m(\cdot,\alpha)$，$g^M(\cdot,\alpha)$ を施したファジィ集合で，ファジィ集合 C と D の包含関係は，$\mu_C(y) \le \mu_D(y),\ \forall y \in \mathbf{R}$ と定められる．α に応じて修飾子 $g^m(\cdot,\alpha)$，$g^M(\cdot,\alpha)$ を生成する修飾子母関数 $g^m : [0,1]\times[0,1] \to [0,1]$，$g^M : [0,1]\times[0,1] \to [0,1]$ は次の性質をもつ．

(g1) $a \in [0,1]$ に対して，$g^m(a,\cdot)$，$g^M(a,\cdot)$ はそれぞれ下半連続，上半連続な関数である．
(g2) $\forall\alpha > 0$, $g^m(1,\alpha) = g^M(1,\alpha) = 1$，$g^m(0,\alpha) = g^M(0,\alpha) = 0$.
(g3) $\forall a \in [0,1]$，$g^m(a,0) = 0$，$g^M(a,0) = 1$.
(g4) $\alpha_1 \ge \alpha_2$ ならば，$\forall a \in [0,1]$，$g^m(a,\alpha_1) \ge g^m(a,\alpha_2)$，$g^M(a,\alpha_1) \le g^M(a,\alpha_2)$.
(g5) $a \ge b$ ならば，$\forall\alpha \in [0,1]$，$g^m(a,\alpha) \ge g^m(b,\alpha)$，$g^M(a,\alpha) \ge g^M(b,\alpha)$.
(g6) $\forall a \in (0,1)$，$g^m(a,1) > 0$，$g^M(a,1) < 1$.

式 (3) の必然性測度は次の含意関数で定められる [4].

$$I(q,r) = \sup\{\alpha \in [0,1] \mid g^m(q,\alpha) \le g^M(r,\alpha)\} \tag{6}$$

3 提案法

3.1 ファジィ集合の簡易設定と包含関係

不明確な変数 u が満足できる領域 (ファジィ集合)B に入ることを意思決定者が望む場合，u の取りうる範囲をファジィ集合 A で与えれば，この意思決定者の要望の達成度は必然性測度 $N_A(B)$ で表現することができる．本研究では，このような要望を，取りうる値の範囲 A および満足できる領域 B とともに必然性測度として表現する方法について議論する．

変数 u の取りうる値の範囲 A や満足できる領域 B は,「小さめ」,「中程度」,「大きめ」の 3 通りで見積もられるものとする．これらは，それぞれ，弱 1-レベル集合 $[A]_1$ および $[B]_1$，0.5-レベル集合 $(A)_{0.5}$ および $[B]_{0.5}$，強 0-レベル集合 $(A)_0$ および $(B)_0$ と考えることとし，各レベル集合の両端点を線分で接続することにより，A，B のメンバシップ関数が定められるものとする．ここで,「中程度」の見積もりをレベル 0.5 に対応させているが，$(0,1)$ 内の値であればいずれでも問

表 1: A と B のレベル集合間の 18 種類の包含関係

i \ j	1	2	3	4	5	6
1	$[A]_1 \subseteq (B)_0$	$[A]_1 \subseteq [B]_{0.5}$		$[A]_1 \subseteq [B]_1$		
2	$(A)_{0.5} \subseteq (B)_0$	$(A)_{0.5} \subseteq (B)_0$ $[A]_1 \subseteq [B]_{0.5}$		$(A)_{0.5} \subseteq (B)_0$ $[A]_1 \subseteq [B]_1$		
3			$(A)_{0.5} \subseteq [B]_{0.5}$	$(A)_{0.5} \subseteq [B]_{0.5}$ $[A]_1 \subseteq [B]_1$	$(A)_{0.5} \subseteq [B]_1$	
4	$(A)_0 \subseteq (B)_0$	$(A)_0 \subseteq (B)_0$ $[A]_1 \subseteq [B]_{0.5}$	$(A)_0 \subseteq (B)_0$ $(A)_{0.5} \subseteq [B]_{0.5}$	$(A)_0 \subseteq (B)_0$ $(A)_{0.5} \subseteq [B]_{0.5}$ $[A]_1 \subseteq [B]_1$	$(A)_0 \subseteq (B)_0$ $(A)_{0.5} \subseteq [B]_1$	
5			$(A)_0 \subseteq [B]_{0.5}$	$(A)_0 \subseteq [B]_{0.5}$ $[A]_1 \subseteq [B]_1$	$(A)_0 \subseteq [B]_{0.5}$ $(A)_{0.5} \subseteq [B]_1$	
6						$(A)_0 \subseteq [B]_1$

題はない．また,「小さめ」,「中程度」,「大きめ」の 3 通りで見積っているが，4 通りや 5 通りで見積もっても本研究と同様な議論ができる．

変数 u の取りうる値の範囲が満足できる領域に包含されることに関して，レベル集合間で考えられる関係を記すと，表 1 のようになる．ただし，$(A)_0 \subseteq (B)_0$ と $[A]_1 \subseteq [B]_1$ が成立すれば，これらの中間にある $(A)_{0.5} \subseteq [B]_{0.5}$ も成立すると仮定している．表 1 中の包含関係を i, j を用いて，$Inc(i,j)$ と記す．表中の影の部分の包含関係は存在せず，i および j が大きくなるに従い，$Inc(i,j)$ は強くなる．すなわち，$i_2 \geq i_1$, $j_2 \geq j_1$ のとき，$Inc(i_2,j_2) \rightarrow Inc(i_1,j_1)$ が成立する．

3.2 包含関係の修飾子による表現

表 1 の各包含関係 $Inc(i,j)$ に対して，次の 2 条件を満たす修飾子 f_{ij}^m，$f_{ij}^M : [0,1] \rightarrow [0,1]$ を定める．

(F1) $f_{ij}^m(\mu_A(r)) \leq f_{ij}^M(\mu_B(r))$, $\forall r \in \mathbf{R}$ と $Inc(i,j)$ が等価となる．

(F2) $i_2 \geq i_1$，$j_2 \geq j_1$ ならば，$f_{i_1j_1}^m(q) \leq f_{i_2j_2}^m(q)$, $f_{i_1j_1}^M(q) \geq f_{i_2j_2}^M(q)$, $\forall q \in [0,1]$ が成立する．

修飾子 f_{ij}^m，f_{ij}^M の候補は数多く存在するが，本研究では，レベル集合に対応するカット型修飾子，制限付き恒等写像型修飾子，線形修飾子の 3 タイプを取り上げる．これらのタイプに対する修飾子 f_{ij}^m，f_{ij}^M の図を表 2〜4 に示す．表 2，3 では，いくつかの $Inc(i,j)$ に対し，二つの修飾子対 $(f_{i_1j_1}^m, f_{i_1j_1}^M)$，$(f_{i_2j_2}^m, f_{i_2j_2}^M)$ が記されているが，これは $Inc(i,j)$ の必要十分条件がそのタイプの修飾子対一つでは表せないことを示し，両対に関して，$f_{i_kj_k}^m(\mu_A(r)) \leq f_{i_kj_k}^M(\mu_B(r))$, $\forall r \in \mathbf{R}$, $k = 1,2$ が成立することが必要十分条件になることを示している．また，表 3，4 の薄い影を付けた修飾子対は，そのタイプの修飾子対で $Inc(i,j)$ が表現できず，それぞれ，カット型修飾子および制限付き恒等写像修飾子を用いることを表している．

表 2: カット型修飾子対 (f_{ij}^m, f_{ij}^M)

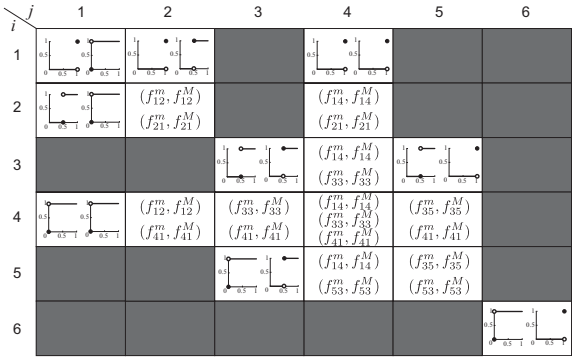


表 3: 制限付き恒等写像型修飾子対 (f_{ij}^m, f_{ij}^M)

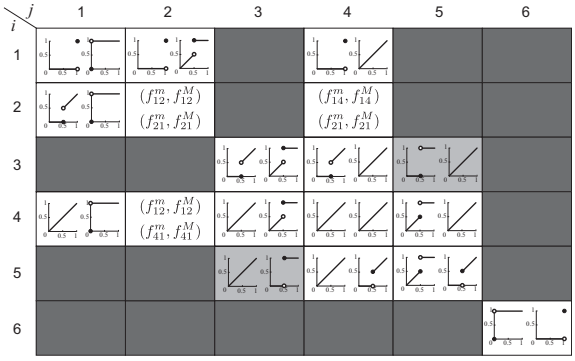
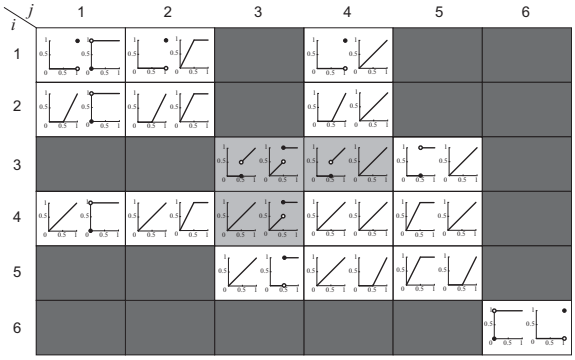


表 4: 線形修飾子対 (f_{ij}^m, f_{ij}^M)



3.3 包含関係の推移と修飾子母関数

本研究では，表 1 の包含関係 $Inc(i,j)$ の単調列を与えることにより，それに対応する必然性測度を定める．$Inc(i,j)$ の単調列とは，$Inc(i,j)$ の列を $Inc(i_1,j_1), Inc(i_2,j_2), \ldots, Inc(i_s,j_s)$ とするとき，$i_1 \leq i_2 \leq \cdots \leq i_s$ および $j_1 \leq j_2 \leq \cdots \leq j_s$ が成立すれば，この列は単調であるという．すなわち，徐々に強くなっていく包含関係 $Inc(i,j)$ の列を考える．

表 2〜4 のいずれかにより，$Inc(i,j)$ の単調列の各包含関係 $Inc(i_k,j_k)$ に対して，修飾子対 $(f_{i_kj_k}^m, f_{i_kj_k}^M)$ が割り当てられるので，これらの修飾子対を接続するような修飾子母関数の対 (g^m, g^M) を求めれば，$Inc(i,j)$ の単調列で定められた性質をもつ必然性測度が生成で

表 5: 線形修飾子と制限付き恒等写像型修飾子の場合の接続

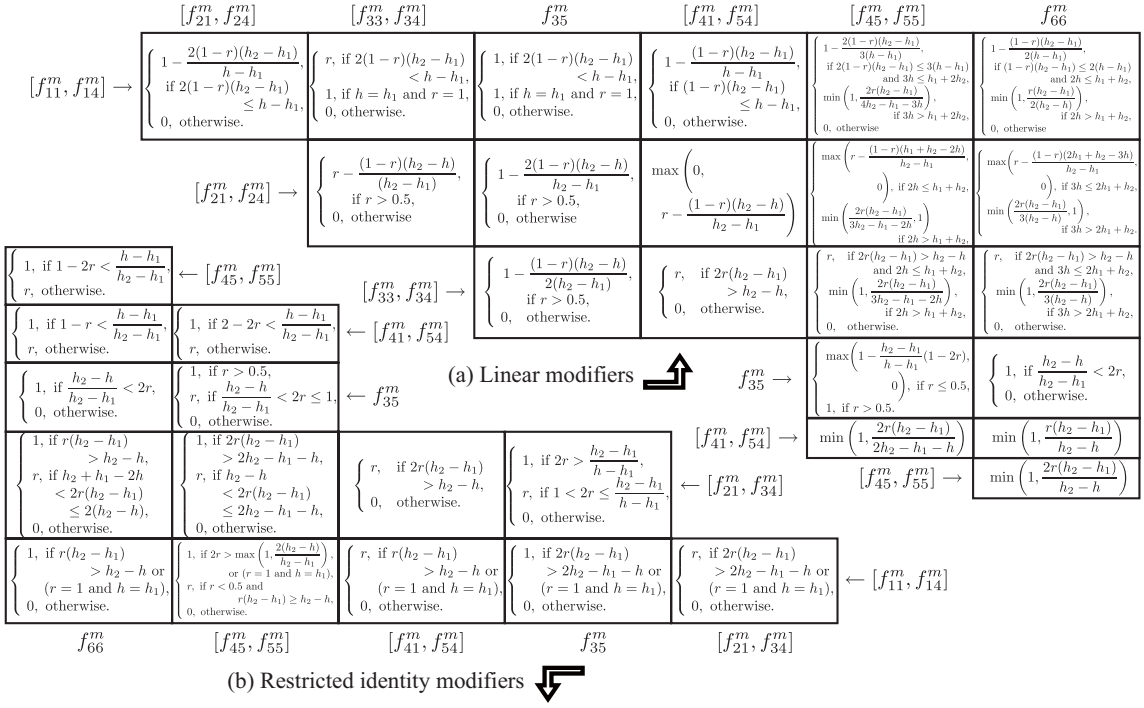


表 6: 生成できる興味深い含意関数の例

タイプ	包含関係の列	$I(q,r)$
レ，制	$Inc(1,1), Inc(6,6)$	$\max(1-q, r)$
線	$Inc(1,1), Inc(4,4)$	$\min(1, 1-q+r)$
制	$Inc(4,1), Inc(4,4)$	$\begin{cases} 1, \text{ if } q \le r, \\ r, \text{ if } q > r. \end{cases}$
線	$Inc(4,1), Inc(4,4)$	$\begin{cases} 1, \quad \text{if } q \le r, \\ r/q, \text{ if } q > r. \end{cases}$
制	$Inc(1,4), Inc(4,4)$	$\begin{cases} 1, \quad \text{if } q \le r, \\ 1-q, \text{ if } q > r. \end{cases}$
線	$Inc(1,4), Inc(4,4)$	$\begin{cases} 1, \text{ if } q \le r, \\ (1-q)/(1-r), \\ \quad \text{if } q > r. \end{cases}$
制，線	$Inc(1,1), Inc(4,4)$	$\begin{cases} 1, \text{ if } q \le r, \\ \max(1-q, r), \\ \quad \text{if } q > r. \end{cases}$
線	$Inc(1,1), Inc(4,4),$ $Inc(6,6)$	$\begin{cases} 1, \text{ if } q = 0 \\ \quad \text{or } r = 1, \\ \dfrac{1-q+r}{2}, \\ \text{otherwise.} \end{cases}$
制，線	$Inc(3,3), Inc(4,4)$	$\begin{cases} 1, \text{ if } q \le r, \\ \max(0, 1-2q, \\ \qquad 2r-1), \\ \quad \text{if } q > r. \end{cases}$

きる．$f^m_{i_k j_k}(\mu_A(r)) \le f^M_{i_k j_k}(\mu_B(r)), \forall r \in \mathbf{R}$，$k = 1, 2$ が成立するように修飾子対 $(f^m_{i_k j_k}, f^M_{i_k j_k})$ を作成しているので，このような修飾子母関数の対 (g^m, g^M) は存在する．具体的には，単調列の各包含関係 $Inc(i_k, j_k)$ に度合 $h_k \in [0,1]$ を $h_k < h_{k+1}$, $k = 1, 2, \ldots, s-1$, $h_1 = +0$, $h_s = 1$ となるように適当に割当て，$f^m_{i_k j_k}$ と $f^m_{i_{k+1} j_{k+1}}$，$f^M_{i_k j_k}$ と $f^M_{i_{k+1} j_{k+1}}$ をそれぞれ，(g1)〜(g6) を満たすように内挿していけばよいことになる．表 5 に，線形修飾子と制限付き恒等写像型修飾子の場合の接続関数を示す．表 6 に提案法により定められる興味深い必然性測度の例を示す．ただし，列の長さが 3 の場合の中間の包含関係の度合を $h_1 = 0.5$ と定めている．

本研究は科研費 (No.23510169) の助成を受けたものであり，謝意を表する．

参考文献

[1] Ben-Tal, A., Ghaoui, L. E., Nemirovski, A.: Robust Optimization, Princeton University Press, NJ (2009)
[2] Negoita, C. V., Minoiu, S., Stan, E.: On Considering Imprecision in Dynamic Linear Programming. ECECSR Journal 3, 83–95 (1976)
[3] Inuiguchi, M., Ramík, J.: Possibilistic Linear Programming. Fuzzy Sets and Systems 111, 3–28 (2000)
[4] Inuiguchi, M., Tanino, T.: Necessity Measures and Parametric Inclusion Relations of Fuzzy Sets. Fundamenta Informaticae 42, 279–302 (2000)

連絡先：大阪大学大学院基礎工学研究科
乾口雅弘　　Tel/Fax: 06-6850-6350
E-mail: inuiguti@sys.es.osaka-u.ac.jp

特別講演 2：

外資系企業の価値観およびそれに基づく人事制度についての考察

Discussion on values of foreign-affiliated companies and their HR programs

野尻　賢司
Kenji Nojiri
有限会社パフォーマンス・マネジメント研究所
Performance Management Institute, Japan

Abstract: 外資系企業においては、社員の言動を律する規範を具体的に定義し、それらを職場で社員（特に管理職）に実践させようと努力しています。一方、日本企業でも社訓とか、経営哲学を定めている場合がありますが、それらは額の中に入れられ、建前で終わる場合が多く見受けられます。私自身の経験に基づき、外資系企業の文化について具体的なお話をします。

略歴：　野尻賢司氏は 1969 年に 京都大学経済学部卒業後、日立造船に入社。その後、1987 年に日本イーライリリーに入社。1992 年から 約 3 年間米国本社人事部に転勤。開発本部人事部長などを歴任し、2003 年に定年退職。翌年、人事・評価・給与制度、コミュニケーションを専門とする（有）パフォーマンス・マネジメント研究所を設立し、現在にいたっている。研究所での成果を月刊で発行している PMI news は多方面から好評を博している。訳書に「勇気を出せ、そして君がリーダーになろう！」（南雲堂）。

連絡先：野尻賢司
（有）パフォーマンス・マネジメント研究所 代表
〒651-1232 神戸市北区松が枝町3-1-72
Tel： 078-581-2318　Mobile： 080-1458-3388
E-mail： nojirijn@iijmio-mail.jp
URL： http://www.pmi-nojiri.com/

外資系企業の価値観およびそれに基づく人事制度についての考察

Discussion on values of foreign-affiliated companies and their HR programs

野尻　賢司
Kenji Nojiri
有限会社パフォーマンス・マネジメント研究所
Performance Management Institute, Japan

Abstract: This presentation discusses what kinds of corporate culture exist at the global corporations in the Europe and America including foreign affiliated companies located in Japan. Specifically, it focuses on human resources programs including 1) Creating and Sharing core values clear sense of values, 2) Enhancing two way communications, 3) Identifying and developing star players, and 4) Managing performance evaluation and pay for performance.

１．はじめに

ビジネスはますますグローバル化する。多くの日本企業が海外企業を買収し、現地で経営に乗り出している。しかし、海外企業がどのような文化を持って経営を行っているか、また社員がどのような言動とっているかを理解することなく、日本流の経営を押し付けてはビジネスが成功しないことは自明のことだ。本講演は、筆者が米国の製薬会社の日本法人で１７年間（米国本社人事部での勤務３年間含む）勤務し、また在日外資系企業の人事部員と研究会を続けるなかで、さらにコンサルタントとして欧米の人事諸制度の動向を研究する中で得た経験、知識をもとにまとめたものである。欧米企業の文化は、国民性に由来する部分もあるが、過去２０年～３０年の動きを調べると、欧米のグローバル企業では企業文化の変革に大変な努力をしてきていること、そして人事諸施策について議論が現在も続いていることがわかる。しかしながら日本においては、グローバル企業（外資系企業）の人事諸施策について皮相的な理解で終わっていることが多いと筆者は感じており、本講演が欧米企業の文化に対する日本での理解に少しでも寄与できれば幸いである。

２．明確な価値観の共有

１）社員が遵守すべき価値観をわかりやすく説明

外資系企業では価値観や規範を定め、そして誰が遵守すべきか、その主体を明確にしている。　例えば、アストラゼネカ社の行動規範は、「アストラゼネカグループのすべての取締役、執行役員ならびに従業員に最高水準の高潔さと誠実さを維持し、かつ配慮、勤勉さ、公正さをもって事業活動の遂行にあたることを要請します。」と記している〔1〕

ジョンソン･エンド･ジョンソン社では価値観を「我が信条（Our Credo）」とし、「顧客に対する責任」「社員に対する責任」「地域社会に対する責任」「株主に対する責任」の４つを掲げている。社員に「我が信条」を理解させるために研修を実施し、またガイドラインとなる冊子を配布するなど積極的に啓蒙を図っている。「クレドー・サーベイと呼ばれる社員の意識調査を、全世界一斉に定期的に実施しています。同じ質問が全世界の社員に対しオンラインで発信されます。この目的は、世界各国のグループ会社がどれだけ『我が信条』の哲学に則り経営されているか、社員にたずねることを通じ会社経営の健全度を測ることです。その結果に基づき、組織改善活動が実行されます。」〔2〕

外資系企業においては、これらの価値観の実現が数十年あるいは 100 年という長期間、会社の伝統として大切に受け継がれている。経営幹部は価値観を自らの経験を基に語り、規範の遵守の重要性を唱道し、自ら実践することを職責のひとつとしている。

２）管理職はロールモデルになることを要請される

管理職にロールモデルになるべく努力を義務付けていること、そのための道具として、評価制度があり、フィードバックの仕組みが保証されていることは規範の実現に大きな意味をもつ。典型的な道具は 360 度フィードバック制度である。更に部長以上になると、社外のコーチを依頼し、個別指導を受ける場合もある。

管理職の役割についてプロクター・アンド・ギャンブル社（以下Ｐ＆Ｇ）で長年人事マネジャーを経験していた知人のＡ氏（現在は退職）はこう振り返る。

「企業が定める価値観や規範は各社とも同じような内容になる。しかし、重要なことは、その規範が日々の仕事の中で、管理職によって実践されていく姿を現実に見ること。そして、一般社員がプロジェクトを進める際にも、原則どおりに規範を守っているかの確認をとるように、管理職から指導を受けることです。最初その生真面目さには驚きました。」

２　双方向コミュニケーションを重視

１）社員とのコミュニケーションを重視する

社員が会議などで、積極的に自分の意見を述べるのは米国の文化であると思っている日本人は多い。しかし、米国のコミュニケーション協会やコンサルタントの機関誌を長年読んでいると、そうでもないことに気づく。確かに自分の意見表明に関して日本人とアメリカ人との文化の差はあるが、組織内でアメリカ社員においてすら自由に意見表明することは容易でないこと。そのために多くの米国企業は社員とのコミュニケーションを活性化するために種々の努力をし続けていることだ。その意味では、「沈黙は金」の文化がある日本では、社員の貴重な意見を引き出すためにより一層、企業努力が必要ということになる。

社員コミュニケーションといえば日本企業では社内報やイントラネットの担当者を置くのがせいぜいであるが、外資系企業ではマネジャーを配置し、戦略的に実施する努力をしている。タウンホールミーティング（各事業所での社員と経営幹部とのコミュニケーション、直接対話の場)、ランチ懇親会（カジュアルな雰囲気で経営幹部と社員が話し合う)、オープン・オフィス制度（部長以上は通常、個室のオフィスで執務をするが、月に一度約 2 時間ドアを開放し、社員はいつでも入室し、話ができる制度)、Web 上の掲示板、経営幹部のブログを利用した社員との交流などが事例だ。

２）自らの意見を述べることが期待、奨励される

外資系企業においては、外国人経営幹部は「会議での発言が苦手な」日本人社員からのより積極的な発言を期待し、奨励している場合が多い。しかしながら日本人社員は自分の意見を、外国人の上司に明確に語れない。特に管理職が率直な意見を論理的になかなか説明できない。これは在日の外資系企業に共通のテーマである。

この現状を変えるべく、１０年ほど前に、日本インテル社では「Intel Excellence 15」というプログラムを実施した。これは社内コミュニケーションの強化を目的としたものであり、日本人社員が種々の問題に対し、はっきりと発言し、米国本社に影響力を発揮することを期待し、奨励するものである。“We want to hear from you about what Intel should do to improve customer relationships and overall business in Japan. You need to improve your influence with the factory and corporate HQ. I want to hear 10 TIMES as much noise from you.” [3]

社員に積極的に意見を述べさせるには、経営幹部、管理職の姿勢が特に重要である。前述のＰ＆ＧのＡ氏は経験を基に「組織において、社員が上司の権威に配慮するのは万国共通だ。そのために、Ｐ＆Ｇでは、会議で管理職がとるべき規範が確立されていた。先に上司が発言をするとその他の社員はその意見に流されてしまう。そこでは活発な議論は展開できない。そのためにアシスタント、一番下の職位の社員から発言させるというルールが常に実践されていた。」と語る

外資系企業で社員が経営層とも自由に議論ができるのは、Evidence-Based Management の原則が重視されていることと関連がある。データに基づく議論が正しく展開される場合は、組織における権威、ポジションパワーよりデータによって示される事実が最も強力であることだ。「社長との議論で Why と尋ねることをためらったことはありません。人格と意見が分離され、かつ判断の基準はデータ、会社の Principle,戦略ですから議論は知的な戦いとなります。当時、部長ですらなかった私でも、経営会議で毎月人事制度改革の進展について発表し、遠慮せず why/because と議論するなど、貴重な経験を積ませていただきました。」とＡ氏は語る。

３　スター人材とＢクラス人材の峻別

１）外資系企業におけるスター社員優遇の現状

多くの外資系企業は親会社の要請もあって後継者育成計画のもとに「タレントアセスメント」を行い、幹部候補社員育成を優先的に進めている。バランス

を欠いた幹部候補社員優遇策に一般社員から不満が出ているケースもある。筆者がキャリア相談をしたＣ氏は大手の外資系企業の課長を退社したばかりであった。Ｃ氏の不満は「うすうす感じてはいたのですが、ある同僚課長がトレーニングを重点的に施され、魅力的なプロジェクトも任せられる。また、部長から昼食のお誘いを定期的に受けている。至れり尽くせりのケアを会社から受けている。そしてハッと、その同僚が幹部候補社員として優遇されていることに気づいた。その不公平さに我慢がならなかった。」ということだった。これは外資系企業で、時々見られる光景である。堅実に働き貢献する大多数の一般社員が受けるトレーニングと対比するとバランスを欠くと批判が出るが、限られたトレーニング予算の中で企業の最優先課題である幹部候補社員を重点的に育成するのは当然であるというのが会社の理屈だ。

もっとも厳しい事例は幹部候補社員であった社員がコースから外れたときである。会社の処遇は変化する。例えば、ある課長は、はっきりと上司から「君は部長候補として、開発育成をしてきたが、先日の結論が出て、部長への昇進の可能性はなくなった。今のまま課長でいたければそのまま勤務してくれて問題はない。しかし、君がどうしても部長職に就きたいという強いキャリア動機を持っているのであれば転職することを考えてくれてもよい。」との言葉がかけられる。そして幹部候補社員を対象とする開発育成プログラム受講者リストからも除外される。

このような状況で、幹部候補としての処遇を受けていた 30 歳代の若手課長はキャリアの選択を迫られる。残り 30 年近くをこの会社でこのまま課長で甘んじるか、あるいは転職し別のキャリアパスを歩むか。まさに「Up or Out」の事例だ。

２）マジョリティの一般社員を大切にすること

一方でこのような方針に疑問を呈する意見がアメリカでも出始めている。「組織に安定と成功をもたらすＢクラス社員のレーゾンデートル」[4]と「Recognizing and Retaining Worker “Bs”」[5]という記事だ。

タイトルの「Ｂクラス社員」、「Worker “Bs”」という表現はあまりにも無神経と言わざるを得ないが、両者とも鋭く問題点を指摘している。前者は「多くの経営幹部は『Ｂクラス人材』を軽んじている。彼ら彼女らはスター人材特有の輝きや野心にかけるからである。しかし、このようなＢクラス人材をいま一度見直してみてはどうだろう。実はそつのない仕事振りのみならず、組織の支えを担っている。残念ながら、Ｂクラス人材の重要性を正しく認識し、しかるべき処遇や教育を施している企業はまれである。こうした組織における『最優秀助演俳優』たちこそ、本当の救世主なのかもしれない。」後者の記事は「いくつかの会社は組織の成功が誠実なＢプレーヤーにかかっている事に気づき始め、彼らをモチベートし、辞めさせないために手段を講じ始めている」と説明している。

４　業績評価・成果主義の潮流

１）ＧＥ流の成果主義は少数派

日本ではＧＥのジャック・ウェルチが提唱する厳しい成果主義が他の欧米企業でも、同様に実施されていると思っている日本人がとても多い。しかしながらこれは大いなる誤解で、「5 段階評価をおこない、下位 10%の社員には会社を辞めてもらう」といったＧＥ流の強制分布による業績評価については米国の人事担当者の間でも慎重な意見が多く、実施する企業は 10%-15%に過ぎないことを各種サーベイデータが示している。

２）業績評価でなく Performance Management に方向転換

欧米企業では 1990 年代以前においては、上司の主導で期末に業績評価が実施され、昇給に繋がる総合評価が決定され、社員に告知する慣行が支配的であり、在日の外資系企業でも実施されていた。

しかしこの業績評価のプロセスが評価を目的としており、組織および個人の業績向上を目的としていないことを反省し、新しい制度の提案が 1990 年代前半から、欧米の人事関係者、コンサルタント、大学研究者の間から起こり始めた。そして、これに代り、業績向上を実現するためのプロセスとしての Performance Management （以後ＰＭと略す）という概念が使われ始め、頻繁に議論されるようになった。[6]

筆者が日本イーライリリーに在職中にＰＭを 1992 年に導入した時、従来の業績評価との違いを明

確にするために、PMを「業績管理」と訳さず、「業績向上と社員の開発育成のプロセス」と命名した。業績評価が社員を評価・査定し、総合評価の結果とそれに基づく昇給額を決定し、社員に説明するための人事制度であったの対し、ＰＭは評価という枠を越え、幅広い視点で実施されるマネジメントツールであるとの認識がなされた。「年間を通じてのフィードバック・コーチングを実践し、社員を組織ゴールに誘導し、開発育成を図ることが最も大切である。そして評価は結果としてついてくるもの」との説明がなされた。[6]

PMへの方向転換が行われて 20 年以上が経つが、年度末の業績評価は継続されており、ＰＭに関する賛否の議論が延々と続いている。

米国の Achievers 社が 2012 年に行った調査では、645 人の人事マネジャーの 98 パーセントが毎年実施される業績評価が有効でないと感じていると報告している。［7］

また、英国の人事コンサルタントである e-reward 社が行った 2005 年に行った調査のレポートは業績評価に反対する意見を次のようにまとめている。

● 評価は主観的、異なった基準が使われる。
総合評価でレッテルを貼ることは社員の業績に響を与えている複雑な要素を単純化しすぎる。

● 成果の質的な側面を評価することは困難。
「平均」「平均以下」といったラベルを貼られることは社員にとって屈辱的であり、デモチである。[8]

３）業績評価の廃止の動き

この様な状況で、業績評価を廃止する動きが徐々にではあるが増えつつある。また、たとえ業績評価面談を維持するにしても、社員の評価レベルを決めることは止める会社が出始めている。昨年、業績評価を廃止した米国アドビシステムズ社人事担当上席副社長ドナ・モリスは次のように語る。「年に一度、決められた書式に従って評価面談を行うといったことを止める事にしたのです。」「社員が評価のレッテルを貼られると感じなくてすむように、評価ランキング、個人の評価レベルを決めることを止めました。今後、社員は自ら設定したゴールをどれだけ達成したかによって評価されます。」[8]　また、同社経営陣は多忙な管理職、社員が毎年 1 月から 2 月にかけて費やさなければならない時間を許容できないと判断した。人事部の計算によると、2000 名の管理職が 80,000 時間（40 人の社員に匹敵）を毎年、業績評価面談に費やしていることがわかった。[9]

５　むすび

在日の外資系企業の中で、日本の企業では育むことができなかった新しい企業文化、価値観が育っていることを見てきた。そしてそのような新しい文化を習得した社員がこれからも増え続けると予想する。とくに権威にひるむことなく、自己の意見を明快に説明できる能力を備えた社員が育つことを期待したい。グローバル人材育成の議論が盛んだが、このような資質を備えた社員、リーダーこそが世界のビジネス界で積極的な役割を演じることができると考える。

参考文献

[1] アストラゼネカのサイト
http://www.astrazeneca.co.jp/　から引用

[2] ジョンソン・エンド・ジョンソンのサイト
http://www.jnj.co.jp/group/credo/から引用

[3] PMC Newsletter, September 2003

[4] トーマス J. ドゥロング、ビニータ・ビジャヤラガバン：DIAMONDハーバード・ビジネスレビュー 2003年9月号

[5] Barbara Parus：WorkSpan, March 2004

[6] 野尻賢司: 「パフォーマンス・マネジメントによる人材育 成」経営システム 第 13 巻第 1 号 2003 年 4 月

[7] Julie Cook Ramirez: “Rethinking the Review” Human Resources Executive Online, July 24, 2013

[8] “WHAT IS HAPPENING IN PERFORMANCE MANAGEMENT TODAY” e-reward.co.uk research report No. 32, April 2005

[9]Bob Sutton: “How Adobe Got Rid of Traditional Performance Reviews” http://www.linkedin.com/today/post/article/, February 06, 2014

連絡先

有限会社パフォーマンス・マネジメント研究所
野尻　賢司
(Tel.:0742-93-7971, E-mail: nojirijn@iijmio-mail.jp)

A Data Mining based Minimax Approach to Portfolio Optimization

Meng YUAN[1] , and Junzo WATADA[2] , IEEE
[1,2] Graduate School of Information, Production & Systems, Waseda University, 2-7 Hibikino, Wakamatsu, Kitakyushu 808-0135 JAPAN

Abstract: In 1950s, Markowitz's first proposed portfolio theory based on a mean-variance (MV) model to balance the risk and profit of decentralized investment. The two main inputs of MV model are expected return rate and the variance of expected return rate. The expected return rate is an estimated value which is often decided by experts. Various uncertainty of stock price brings difficulties to predict return rate even for experts. MV model has its tendency to maximize the influence of errors in the input assumptions. Some scholars used fuzzy intervals to describe the return rate. However, there were still some variables decided by experts. This paper proposes a classification method to find the latent relationship between the interval return rate and the trading data of a stock and predict the interval of return rate without consulting any experts. Then this paper constructs the portfolio model based on minimax rule with interval values. The evaluation results show that the proposed method is reliable.

1. Introduction

Portfolio is a collection of investment pursued by an institution or a private individual. Profit cannot be separated from risk in financial investment. This paper proposes a minimax portfolio selection model with interval expected return rate. The interval number was predicted by the classification. Then the interval return rate is used in minimax portfolio selection model. The purposes of this paper are to describe the return and risk of a portfolio more accurately and have better strategy than Markowitzs model.

2. Methodology

Xia[2] proposed a new model for portfolio selection in which the expected returns of securities are considered as variables rather than as the arithmetic means of securities. Xia used the past returns of a security to estimate an approximate value, which is the interval of expected return rate.

$$R_i = h_1 * R_{ai} + h_2 * R_{ti} + h_3 * R_{fi}, i = 1,2,...,n$$

where R_{ai} is the arithmetic mean of security i, R_{t0} expresses the change tendency of the returns of security i, and R_{fi} is an approximation of the future expected returns of security i. R_{ai} can be calculated with the historical data. Denote the arithmetic mean of the recent historical data as R_{ti}. If there is no obvious change tendency, R_{ti} can be equal to zero. The computation of derivation of R_{fi} requires some forecasts based on the financial report and individual experience. Also different professionals with different experience should give the weights of these three factors. However, it is not guaranteed that experts' decisions are correct.

To avoid too much relying on experience, this paper used classification technique in data mining. According to historical data, we can know the return rate in the past. Mark each return rate using an interval as a label. The interval of return rate is the classification label, based on this train the past data to generate a classification model. When new data comes, use the classification model to predict the label, which is the interval of expected return rate.

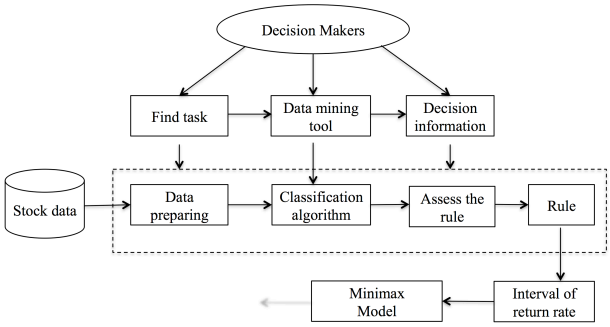


Figure 1 Flow of using classification to acquire knowledge

Figure 1 shows the flow of classification based portfolio selection model to find the hidden rule of return rates. All factors that affect stock price, exterior factor or interior factor, will eventually reflect in the change of stock price and the trading data. It is possible for investors not to consider why the stock price changes. It will be much more convenient if investors just analyze the trading data and make a prediction of the future stock performance. This paper uses an open source software WEKA as the data mining tool. There are major four steps in WEKA. First, prepare the data and load the data. The data can be in .arff format or .csv format. After loading the data choose classify then choose classification algorithm and generate the rules. Then analyze the result and evaluate the model.

This paper uses stock data from Yahoo Finance. Then compute the return rate and mark it with the

corresponding interval. For example, the return rate of a stock is -0,0077519, then it is a stock has the return rate in interval of (-0.01,0) on January 4th.The trading data includes open price, highest price, lowest price, close price, trading volume and trading amount. When all intervals of stcoks are computed, the data are prepared. We expect to find some relationship between trading data and the interval. Next predict the interval of future data using trained classification model. Finally solve xi based on minimax rule.

Because expected return rate varies within an interval, it is possible that it reaches the smallest value in the interval. Even in that case, it is reasonable that investors still want to gain profit as much as possible. So our goal is to maximize the return even when the return rate is the smallest value in its interval. We consider a capital market with n risky assets and without riskless assets. The notation and assumptions in this section are the same as those in Deng's paper[20]. Therefore, the minimax portfolio model is written as follows:

$$(P_\omega)\begin{cases} \max_y \min_r f(\vec{y},\vec{r}) \\ s.t.\sum_{i=1}^{n} y_i = 1 \\ a_i \le r_i \le b_i, i = 1,2,...,n \end{cases}$$

where

$$f(\vec{y},\vec{r}) = (1-\omega)\sum_{i=1}^{n} r_i y_i - \omega \sum\sum \sigma_{ij} y_i y_j$$

4. Results

This paper used a year data of five stocks from yahoo finance. We can see from figure 2 that for 83.6735% of instances have been correctly predicted. The value of the Kappa statistic is 0.7335, which means that statistical significance of the model is rather high.

```
=== Evaluation on training set ===
=== Summary ===

Correctly Classified Instances         205               83.6735 %
Incorrectly Classified Instances        40               16.3265 %
Kappa statistic                          0.7335
Mean absolute error                      0.2138
Root mean squared error                  0.3232
Relative absolute error                129.3723 %
Root relative squared error            113.0399 %
Total Number of Instances              245
```

Figure 2. Classification result

Table 1 contains detail prediction value and the actual value of the interval. When using test data to judge the accuracy of trained classification model, we can see the actual and predicted value of each instance. If the instance is classified to wrong class, a + mark will be added to error column.

Instane	Actual	Predicted	Error
1	1:(-0.01,0)	3:(0,0.02)	+
2	2:(-0.03,-0.01)	1:(-0.01,0)	+
3	3:(0,0.02)	3:(0,0.02)	
...	...	...	...
245	1:(-0.01,0)	1:(-0.01,0)	

Table 1. Prediction in WEKA

5. CONCLUSIONS

A new way of determining the interval of expected return of portfolio is proposed. Interval of return rate was treated as the classification label. The correctness of prediction by classification was 83%. According to Accuracy assessment index like ROC, precision, TP rate, FP rate, Kappa statistic mentioned above, it shows that the classification model is reliable. Compared to expert prediction, the proposed method has the advantage of reducing the rely on expert decision.

Furthermore, this paper uses a minimax portfolio selection model with interval expected return rate to solve proportion of each security in a portfolio. Because the return rate is a variable, it is possible that the return rate is the minimum one. In that case, the minimax model offered an optimal strategy to make the investment reasonable.

REFERENCES

[1] H. Markowitz, Portfolio selection, Journal of Finance, Vol.7, No.60, pp.77-91, 1952

[2] Yusen Xia, Baoding Liu, Shouyang Wang, K.K. Lai, A model for portfolio selection with order of expected returns, *Computers and operations research*, Vol.27, Issue 5, pp.409-422, 2000

[3] Xiao-Tie Deng, Zhong-Fei Li, Shou-Yang Wang, A minimax portfolio selection strategy with equilibrium, European Journal of Operational Research ,Vol. 166, Issue 1, pp.278-292, 2005

連絡先

Graduate School of Information, Production and Systems, Waseda University

Meng YUAN

(Tel: 080-8385-6818, E-mail: irisy28@gmail.com)

Graduate School of Information, Production and Systems, Waseda University

Junzo WATADA

(E-mail:junzow@osb.att.ne.jp)

A Divide-Forecast-based concept for Region of Interest Clustering in Video Frames

権　偉　　和多田　淳三
Wei Quan　　Junzo Watada
早稲田大学　　早稲田大学
Waseda University　　Waseda University

Abstract: Image processing and security surveillance system has more and more widely used in recent society such as bank surveillance and pedestrian tracking. The detection of Region of Interest (ROI) always been regarded as the most significant in tracking system. Considering the features of image processing, a mesh-divide and Kalman Filter forecasting concept is proposed for ROI detection and forecasting of image processing, which can be used in the ROI detection and position forecast at the next frame in surveillance system, would diminish the search area thus would have a runtime cost decrease and improve the accuracy at the same time.

1. INTRODUCTION

With the rapid development of Computer Science, video surveillance system has been widely used in various fields such as bank surveillance and pedestrian tracking, etc[4]. On the other hand, requirement for accuracy also becomes overwhelming tendency for video surveillance system.

In recent years, image processing has been used in lots of fields such as bank surveillance and pedestrian tracking. Tracking system often divided into static monitoring and dynamic monitoring, depending on the status of sensors. The dynamic part is generally applied in a dynamical scene such as automatic driving system. Background Construction system which using static sensors can be used in the area of static situation such as plaza mall, ATM, etc.

Current static surveillance systems mainly include three steps: background construction, foreground modeling and object monitoring. For a static situation, foreground object can be detected by distinguished from the unchanged background. Thus it is useable for constructing a background model. So far various excellent algorithms and methods have been proposed for the construction of the background. And majority of them focus on the detection of change of color density for every pixel that in the scenes. The background/foreground modeling gives a preprocessing for the whole surveillance system, it provides foreground information.

Since the result of foreground detection is just a set of individual pixels, they cannot be used for object tracking immediately. Based on this reason, what we have to do before tracking is to clustering the set of foreground pixels into several clusters. In this paper, the algorithm 'Density-Based Spatial Clustering of Application with Noise" (DBSCAN) is applied because of its simple and effective for data clustering.

Despite these advantages, there is still a serious problem that we have to face. Because of its structure, the calculation would be more complicated when the range of data source becomes larger. On the other hand, data source could also be easily confused when handling the data clustering. According to these facts, we proposed an mesh-divide for RoI clustering and forecasting methods to overcome these disadvantages.

2. Meshing-divide Clustering

Suppose that the system have finished the background construction and foreground detection. According to the processing of the foreground detection, the main change that in the scene has been caught. However, the miss-detection and noise are also included. Since DBSCAN is a spatial clustering algorithm, it has to retrieval every data point within the searching area, thus the calculation time would be tremendous if the noise points and irrelevant points are included in the searching area. Therefore, one of the best way to reduce the calculation time and increase the clustering accuracy is to define the searching from the whole area of the scene to certain most possible area as exact as possible.

Consider that video is constructed by a set of continuous frame stream, it is obvious to know the feature that the time between the two inherent frames is short, thus drastic change would have little chance to happen, only some little transformation.

Based on the conception that every video frame is made up by a set of individual pixels, which is assembled as a matrix-like structure, it seems feasible to use mesh to separate the whole frame and handle every separated part respectively.

Since pixel is the smallest unit, it would be convenient to use a pixel to represent the unit. Suppose H and W are the height and width of the frame, which represent the number of pixels in each row and column respectively, and h and w are the height and width of the mesh unit where 1 <= h <= H, and 1 <= w <= W, thus we can divide the whole scene into the meshes like:

$$M = \{m_{i,j} \mid \mathrm{p(x,y)} \in \mathrm{m_{i,j}}, \frac{i \times W}{w} < \mathrm{x} \le \frac{(\mathrm{i}+1) \times \mathrm{W}}{w}, \frac{i \times H}{h} < \mathrm{y} \le \frac{(\mathrm{j}+1) \times \mathrm{H}}{h}\}$$

where p(x,y) represents the pixel point at position (x,y) following 1 <= x <= W and 1 <= y <= H, and 1 <= I <= W/w, 1 <=j <= H/h. Thus the total number of mesh units will be (W/w)*(H/h), as figure 1 shows.

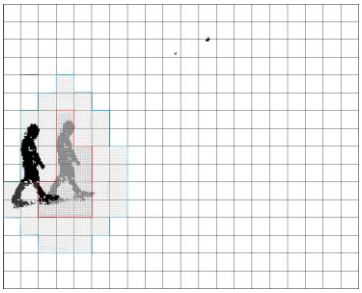


Fig. 1. An illustration of mesh-divide forecast and clustering. The darker object represents the current position of tracking human, and the lighter one represents the forecast result. Around the forecast object, the area within the red line means the most possible area which the tracking object will cover next, and the area between the red line and the blue line means less possible area.

There is a common scene that an object moves successive, which means that an object cannot move from one position to another position without have not any track. Based on this concept, position forecast can be realized by some ingenious algorithm, such as Kalman Filter.

According to the introduction forehand, once the object has been caught, the initial parameters of Kalman Filter have been settled. The surveillance and forecast process running at the same time.

After t-1th calculation, the object has been recorded as equation fore mention. By using Kalman Filter, each mesh which the object has covered will be forecast before tth calculation starting as:

$$\hat{O}_{k,t} = \{\hat{m}_{i,j} \mid \hat{m}_{i,j} = Kal(m_{i,j}), \; m_{i,j} \in O_{k,t-1}\}$$

where $Kal(m_{i,j})$ is the Kalman forecast, in which every mesh unit would moves as Kalman forecast. After this process, the search mesh at time t will be updated as:

$$SO_{k+1,t} = \{m_{i,j} \mid x-a \le i \le x+a, \; y-b \le j \le y+b, \; m_{xy} \in O_{kt}\}$$

Since the search area has been decreased to only within the search area, it is effective and accurate to use DBSCAN to clustering the foreground pixels in the search area.

3. CONCLUSION

This paper has presented a mesh-divide method to handle tracking problems based on the foreground detection, the Region of Interest would be included in several mesh units and be separated with the rest area of the scene, thus avoid the extra payment of the runtime cost for the noise and irrelevant pixels. This concept can be extended into wider field. Certain tracking methods which do not include foreground detection step can also apply the mesh to improve the performance.

On the other hand, based on this, multi-object tracking could also be realized. It can be supposed that scene can be divided into several mesh units and every tracking ROI in certain mesh units, each object would be separated and tracking respectively. Future extension would focus on the multi-object tracking realization. Figure 2 gives the illustration of the proposed concept.

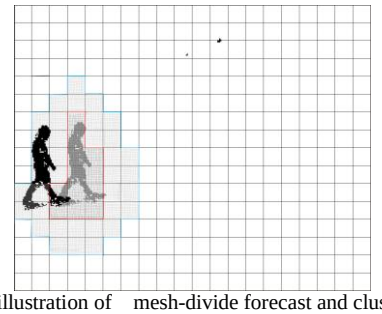


Fig. 2. An illustration of mesh-divide forecast and clustering. The darker object represents the current position of tracking human, and the lighter one represents the forecast result. Around the forecast object, the area within the red line means the most possible area which the tracking object will cover next, and the area between the red line and the blue line means less possible area.

参考文献

[1] I. Haritaoglu, D. Harwood, L. Davis, “W4: who? when? where? a real time system for detecting and tracking people” in Proceedings of the IEEE Conference on Autoatic Face and Gesture Recognition, 1999, pp. 15–64.

[2]Chris Stauffer, W.E.L Grimson, “Adaptive background mixture models for real-time tracking”, in IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1999, Volume:2

[3] lgammal A., Duraiswami R., Harwood, D. Davis, L.S, “Background and foreground modeling using nonparametric kernel density estimation for visual surveillance”, Proceedings of the IEEE, 2002, Volume:90 , Issue: 7

[4] Rita Cucchiara, Massimo Piccardi, Andrea Prati, “Detecting Moving Objects, Ghosts, and Shadows in Video Streams”, IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence, Volume. 25, No 10, October 2003.

連絡先

早稲田大学
権　偉
(E-mail: keni@moegi.waseda.jp)

早稲田大学
和多田　淳三
(E-mail: junzo.watada@gmail.com)

GPSOによるフィードフォワードニューラルネットワークの学習

A Feed Forward Neural Network trained by a GPSO

メロ　アイデー　　和多田　淳三
Haydee Melo　　Junzo Watada
早稲田大学　　早稲田大学
Waseda University　　Waseda University

Abstract: This paper proposes a GPSO algorithmwhich provides the optimizing parameters for Feed Forward Neural Network. Recently the Feed Forward Neural Network is widely used in various applications as a result of its advantages such as learning capability, auto-organization and auto-adaptation. In this paper, Gaussian distributed random variables are in the PSO algorithm to enhance its perfor- mance and train the weights and bias in the Neural Network. In comparison with the Back Propagation Neural Network, the Gaussian PSO-Neural Network fast converges and is immune to local minimum.

1. Introduction

Recently, Neural Networks are most widely used in applications such as regression analysis, time series prediction, modeling, classification, image processing, and pattern recognition. The Neural Network is a mathematical model for processing data devel- oped as an artificial neuron network system. The most widely used algorithm for train- ing this network is a back-propagation (BP) algorithm. It has been developed many learning techniques for the BP as gradient descendent, resilient, BGFS quasi-Newton, one-step secant, Levenberg-Marquad and Bayesian regularization whose objective is to minimize the error. Though the BP algorithm has the problem to get trapped in the local minimum at complex problems, also the convergence speed is slow. Researchers made some improving measures on the convergence of the BP in the Neural Network, however these improvements involve the change of the function for excitation and without ideal results. In the current research different types of algorithms have been used for training the Neural Network such as genetic algorithm (GA), simulating annealing algo- rithm (SAA), and Particle Swarm Optimization algorithm (PSO). PSO is a population- based algorithm to find optimum solutions by using a swarm like algorithm where par- ticles collaborate and share information among them. In this paper an improved PSO is used with gaussian random variables to straighten out the convergence and avoid local minima.

2. Gaussian Particle Swarm Optmization

In most of the PSO (canonical or adaptive PSO), a uniform distributed probability distribution is used to generate random numbers. However in this paper, a Gaussian distribution is used to generate the random numbers to enhance its performance. Gaussian probability distribution improves the local convergence of the PSO, by balancing the trade-off between exploitation and exploration in the velocity update. The confidence coefficients are randomly selected according to a uniform distribution within an [0,1] interval. Random variables are introduced into the swarm for exploitation and exploration.

According to statistics theories, if we analyze the probability distribution of a particle from the swarm without initial velocity, the position of the particle is considered to be inside of a parallelogram (uniform probability). Then the particle's actual positionis considered as the vertex of the next parallelogram where the new position can be found, after many interactions we observe that the parallelograms overlap as shown in Fig. 1. The center of the parallelograms is observed to be in the opossite position of the initial position. By using the central limit theorem we assume a Gaussian distribution. Therefore, the Gaussian distributed random variables $G(\mu,\sigma 2)$ are introduced instead of the uniformly distributed random variables:

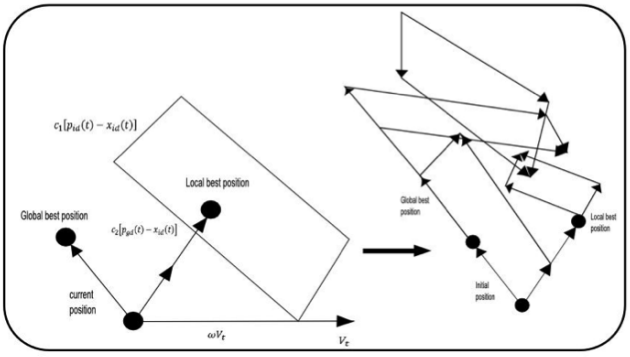


図 1　Visualization of the Swarm

$$v_{id}(t+1)=v_{id}(t)+c_1\cdot G\left(\mu,\sigma^2\right)\left[p_{id}(t)-x_{id}(t)\right]+c_2\cdot G\left(\mu,\sigma^2\right)\left[p_{gd}(t)-x_{id}(t)\right] \quad (1)$$

$$x_{id}(t+1)=x_{id}(t)+v_{id}(t+1) \quad (2)$$

In equation 1, μ denotes the mean and σ^2 the variance, respectively. In the traditional velocity update equation, r_1 and r_2 are uniformly distributed between 0 and 1. Several methods can be used to sample a positive random number from a Gaussian distribution $N(0,1)$, such as the Marsaglia, polar method, Box-Mullet transform and Zigurrat method.

3. GPSO-NN

The procedure for this GPSO-NN can be summarized as follows:

1. Initilizaze the positions and velocities of a population of particles using a uniform probability distribution in an n-dimensional problem space and iteration t=1.
2. Introduce the weight values in the FFNN to evaluate each initialized particle's fitness value, which is set as the positions of the current particles, while is set as the best position of the initialized particles.
3. If the maximal iterative generations reach, go to Step 7, else go to Step 4.
4. The best particle of the current particle is stored. The positions and veloc- ities of all the particles are updated according to Eqs.(1) and (2) for position and velocities, then a group of new positions is generated by sampling a Gaussian distribution , if a new particle flies beyond the boundary [*xmin*,*xmax*], the new position will be set to *xmin* or *xmax* ; if a new velocity is beyond the boundary [*vmin*,*vmax*], the new velocity will be set to *vmin* or *vmax*.
5. Evaluate each new particle's fitness value, and the worst particle is replaced by stored the best particle. If the ith, particle's new position is better than P_b, P_g is set to the new position of the ith particle. If the best position of all the new particles is better than P_g , then P_g is updated.
6. Output the global optimum This procedure is repeated until the stop criterion is satisfied.

5. Simulation Results

For testing the proposed algorithm we used an approximation problem for comparing the performances between the BP-NN and the Gaussian-PSO-NN. For initial values in the network, every weight in the network was initially set in a range of [-50,50], and all the thresholds in the network were 0. The inital inertial weight was set to 1.8. For the Gaussian-PSO the inital values were set as explained in the section above. The initial population was set to 100. For the approximate problem a 1-S-1 Network structure of the FFNN was trained for approximating the function $f = sin(2x)e^{-x}$. The training algorithms for this structure were the BP algorithm and the Gaussian-PSO. In the struture 1-S-1, where S= 3, 5, 7, and the x iwas obtained from the range [0,π], and the sampling interval was 0.03 for the training set and 0.1 for the testing set in the range [0.02,π].

表 1　Comparison of the performances of the GPSO and the BP

Hidden unit	GPSO		BP	
S1	MSE	Time(s)	MSE	Time(s)
3	5.67e-005	3.354	2.38e-003	9.332
5	1.27e-009	3.766	1.22e-003	8.165
7	1.81e-007	4.322	8.15e-005	9.354

6. Conclusion

A Gaussian Particle Swarm optimization for training a Feed Fordward Neural for function approximation is presented in this paper. The objective is to use the strong ability of the PSO in the global search and enhace its defiency in the local search by introducing gaussian random variables into the updates equation in the algorithm. In this hybrid algorithm a weight strategy is also introduced in the Gaussian-PSO that reduces the weight rapidly in the first generation and then slowly when it is near to the global optima. The performance of both algorithms is better when the number of hidden units is increased. For futher work is to apply this algorithm for a real application and to incorporate this training algorithm into recurrent neural networks and recurrent fuzzy network.

参考文献⑨

[1] Particle Swarm Optimization, J. Kennedy and R. C. Eberhart, *Proc.IEEE Conf. Neural Net-works IV*, Vol. 4, pp. 1942-1948, 1995.

[2] A Modified Particle Swarm Optimizer, Shi, Y.; Eberhart, R.C., *Proceedings Of IEEE Inter-national Conference On Evolutionary Computation*,pp. 69-73, 1998.

[3] Reservoir Parameter Prediction Of Neural Network Based On Particle Swarm Optimization, Wang Wen-juan; CAO Jun-xing et al. *Journal Of Southwest Petroleum University*, Vol. 29, pp. 6, 2007.

連絡先

早稲田大学大学院情報生産システム研究
メロ　アイデー
(Tel.:093-692-5017,E-mail:melo.haydee@asagi.waseda.jp)
和多田　淳三
(Tel.: 093-692-5017, E-mail: junzow@osb.att.ne.jp)

An Improved Particle Swarm Optimization Based Approach to Learning Face Features

CHEN Di[1],Junzo Watada[2]
[1,2] Waseda University, the IPS Graduate School
[1] cdjl28@163.com, [2] junzo.watada@gmail.com

Abstract: This paper proposes an adaptive particle swarm optimization which uses fuzzy relationship to update the weight of particle velocities when learns face features. The basic particle swarm optimizer based method needs 100 generations and 20 populations to train one face detector, and takes more than five hours to finish this work. The proposed method gives more information and a new way of weight updating to reduce the training time. The comparison between basic particle swarm optimizer and proposed particle swarm optimizer experiments suggests that the proposed particle swarm optimizer outperforms the other one in convergence and computation efficiency.

1 Introduction

Face detection is an important image analysis step of human tracking. It can be used in many computer vision applications such as security system, pedestrian tracking system and identity authentication system. This paper improved particle swarm optimization, which uses different fitness function and weight updating way in AdaBoost architecture to form a new face feature selection method. This new method can reduce the training time while the result is comparable.

There are three main contributions of this new method. We will introduce each of them briefly below.

The first contribution is that Paul Viola and Michael J.Jones proposed a robust face detection method using boosted cascade of simple features [4]. In their work, they made hypothesis that face can be represented well in a small number of Haar-like filters features. What they did is using Haar-like filters to represent face, and then applying AdaBoost for feature selection. The details of Haar-like filters and AdaBoost algorithm will be mentioned in Section 2.

The second contribution is that Augusto Dstrero et al. [2] made a hypothesis based on Violas work that Haar-like features used for representing face can be smaller. Their experiments suggested that the number of features can be reduced from 240 to 100.

The third contribution is that Ammar et al. [1] applied basic particle swarm optimization in AdaBoost framework for face detection, they proved that particle swarm optimization based AdaBoost is better than basic AdaBoost. This paper will describe the proposed method for learning features and training a detector. The aim is to select the most useful face Haar-like features to form face vector feature and training the face detector at the same time. The training time is decreased significantly while the result is comparable.

The paper is organized as follows. Section 2 introduces the concepts appeared in the paper. Section 3 is the description of the proposed particle swarm optimization. Section 4 represents the details of experiment. Section 5 draws our conclusion.

Figure 1. Five basic types of haar-like features.

2 Background

We use a set of simple Haar-like filters like features shown in Figure 1. The feature value is calculated by subtracting the sum of pixel gray-scale values of the white area of the rectangle from the dark area.

This has advantages that Haar-like features are easy to be calculated and feature based systems are faster than pixel based systems. Pixel based system uses pixel directly.

2.1 AdaBoost

AdaBoost generates and calls a new weak classifier in each of a series of rounds $t = 1, ..., T$. For each round, a distribution of weights w_t is updated so as to indicate the importance of examples in the data set for the classification. On each round, the weights of each incorrectly classified example are not changed, and the weights of each correctly classified example are decreased, so the new classifier focuses on the examples which have so far eluded correct classification. Following pseudo-code shows the mechanism of AdaBoost.

Pseudo-code of AdaBoost

1.Given N examples $(x_1, y_1), \ldots (x_i, y_i), \cdots (x_N, y_N)$ where $y_i\{-1, 1\}$.
2.Initialize $w_{1,,i} = 1/2M, 1/2L$ for $y_i = 0$ or 1, respectively, where M and L are the number of negatives and positives, respectively.
3.for $t = 1, ..., T$
For each feature j, train a classifier $h_j()$.
Evaluate the error of the classifier $\varepsilon_j = \sum_{i=1} w_{t,i} * (h_i(x_i) - y_i)$.
Choose a classifier $h_t()$ with lowest error ε_t.
Update weights: $w_{t+1,i} = w_{t,i} * \beta_t^{(1-b_i)}$, where $b_i = 0$ if x_i is classified correctly $b_i = 1$ otherwise with $\beta_i = \varepsilon_t/(1 - \varepsilon_t)$.
end
4.Output strong classifier:
$H(x) = 1$ if sign$(\sum_{t=1} \alpha_t * h_t)$ is positive,
$H(x) = -1$ otherwise,
where $\alpha_t = log(1/\beta_t)$

3 Particle Swarm Optimization

A basic variant of the particle swarm optimization algorithm works by having a population (called a swarm) of candidate solutions (called particles). These particles move around in the search-space according to a few simple formulae. The movements of the particles are guided by their own personally best known position p in the search-space as well as the swarm's best globally known position g. When improved positions are being discovered, these improved positions will guide the movements of the swarm. The process is repeated to hope, but not guaranteed, that a satisfactory solution will eventually be discovered. The search for an optimal position is performed by updating the velocity v and position x of particle i according to the following two equations:

$$v_{i,j,t+1} = v_{i,j,t} + c_1 r_1 (p_{i,j} - x_{i,j,t}) + c_2 r_2 (g_j - x_{i,j,t}) \quad (1)$$

$$x_{i,j,t+1} = x_{i,j,t} + v_{i,j,t+1} \quad (2)$$

Where c_1 and c_2 are positive values called acceleration constants, r_1 and r_2 are random values belong to range $[0, 1]$. v_{max} should be defined in order to limit particles velocities. Particles velocity can not be greater than v_{max}. i means $i - th$ particle of the population. j is $j - th$ dimension of one particle. t denotes $t - th$ iteration.

4 Improved Particle Swarm Optimization

In this case, we use MIT+CMU face data to learn and the detector. The sample number is 2429 positives + 4548 negatives. Each sample has the size of 19×19 pixels. In order to represent the image well, raw feature database was obtain as follow.

1. Changing the scales of each Haar-like features from 2×2 size to 19×19 size one pixel by one pixel vertically and horizontally.
2. Moving every scale through out the image.

The size of raw feature database is $6977 samples \times 57000 features$. It means that 697757000 examples are included in searching space of particle swarm optimizer. Therefore, it becomes important to improve particle swarm optimizer efficiently.

Su JinRong had proposed a new particle swarm optimization [3] showed as follows.

$$v_{i,j,t+1} = w * v_{i,j,t} + c_1 r_1 (p_{i,j} - x_{i,j,t}) + c_2 r_2 (g_j - x_{i,j,t}) + c_3 r_3 (z_j - x_{i,j,t})$$

$$x_{i,j,t+1} = x_{i,j,t} + v_{i,j,t+1}$$

$$w = (w_{max} - w_{min}) \times ((t_{max} - t)/t_{max}) + w_{min}$$

Just like human, more information makes particles find best position quickly. Su gives one more information z_j to particles, $z_j = mean(\sum_{i=1} p_i)$. c_3 is positive value like c_1 and c_2. r_3 is random value in range $[0, 1]$. w is the weight. w_{max} is the maximum weight. w_{min} is the minimum weight. t means $t - th$ iteration. t_{max} denotes total iteration times.

Su had proved that the convergence rate of this kind of particle swarm optimization is twice faster than basic one in system identification application. SO we give a hypothesis that maybe it can reduce 50% learning time in face feature learning application. Our experiment has proved this hypothesis is true.

But Su's particle swarm optimization shares the same disadvantage of original one that it is easy to convergence to the local optimum. In order to make particle swarm optimizer work well for this case, we used a new way to update weight instead of the linear function (6). We updated the weight according to the following method:

1. Ranging the fitness of all particles from low to high, and particles with same fitness share the higher sequence number (for example, fitness matrix is [0.1 0.3 0.5 0.5 0.4 0.7], then it's sequence number matrix is [1 2 5 5 3 6].)

2. Updating weights based on the sequence numbers. It is easy to know that the biggest sequence number is population size. Following is the weight updating method:
$w = 2$ if sequence number is less than 40% population size.
$w = 1$ if sequence number is greater than 40% population and less than 60% population size.
$w = 0.5$ if sequence number is greater than 60% population size.

In our case lower fitness is better. If higher fitness is better, particles with same fitness will share the lower sequence number so that particle swarm optimizer can easily convergence in the end of iteration.

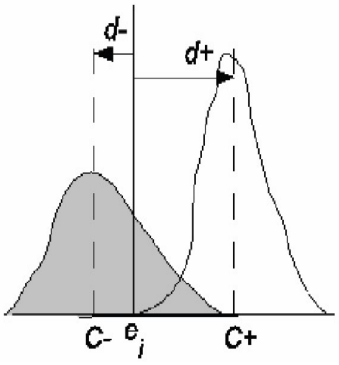


Figure 2. e_j **with negative label because** $d_- < d_+$

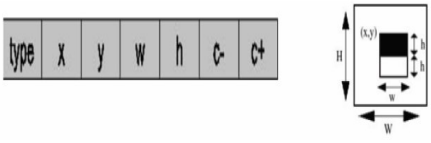


Figure 3. dimensions of one particle in basic particle swarm optimization based method

Figure 4. dimensions of one particle in our method, Indicate is an element of features subscript array $[0, 57000]$

5 Experiment

As Section 1 introduced, researcher Ammar has done this case before and got a good result. But so many redundancies are included in their result (so many features are useless), which lead to an increase of feature learning time and detection time. We found the reason why it happens to be their fitness function:

$$fitness = max\frac{(|C_- - C_+|)}{\sum(C_+ - e_{i,+})/M + \sum(C_- - e_{j,-}))/L}$$

Where C_+ and C_- are mean values of positives and negatives. M and L are quantities of positives and negatives. $e_{i,+}$ means $i-th$ positive. $e_{j,-}$ denotes $j-th$ negative.

If positive class and negative class are always distributed as Figure 4 shows, this kind of fitness function is good.

But what we find is that positive class always acts as a subset of negative class. It is easy to understand, the gray-scale levels of face is a subset of entire gray-scale level $[0, 255]$. But the gray-scale levels of non-face samples is so complex that it occupies a large range of entire gray-scale level. The other weak point is that big scale Haar-like features can get large fitness in this kind of fitness function, but useful features are medium scale. Thats why so many redundancies are appeared.

In order to do this case efficiently, we did some change in fitness function as follows:

$$X = C_+ - F \tag{3}$$

$$X = C_- - F \tag{4}$$

$$Z = (X(e_+) > Y(e_+)) \bigcup (X(e_-) < Y(e_-)) \tag{5}$$

$$fitness = sum(Z) \tag{6}$$

F is the feature matrix including positives and negatives. $X(e_+)$ means positive part of matrix X. $X(e_-)$ denotes negative part of matrix X. $Y(e_+)$ means positive part of matrix Y. $Y(e_-)$ denotes negative part of matrix Y. For example in our case, 2429 positives and 4548 negatives are included, $X(e_+) = X(1 : 2429)$ and $X(e_-) = X(2430 : 6977)$. Z is a logical matrix in (5). In (6), Z is changed into numerical matrix.

Let us give every feature a label $Indicate$ so that dimensions of particle can be reduced from 7 to 3, which leads to a reduction in computation time. Like Figure 5 and Figure 6 shows.

The parameters of two particle swarm optimizer were set as Table 1 shows.

The comparison of accuracies between relative works and mine is shown in Table 2.

The comparison of feature learning time is shown in Table 3. Computer with processor type of Intel(R) Core(TM) i3-3220 CPU @ 3.30 GHz 3.30 GHz is applied for this work.

6 Conclusion

The experiment results showed that the adaptive PSO can efficiently reduce the training time and redundancy while obtaining comparable result. The future work is to apply the system for real time detection.

Table 1. Parameter setting.

method	Basic PSO	Improved PSO
C_1	2	2
C_2	2	2
C_3	none	0.5
r_1	[0,1]	[0,1]
r_2	[0,1]	[0,1]
r_3	none	[0,1]
population	20	10
generation	100	80

Table 2. Parameter setting.

method	detection rate	false positive rate
original adaboost	95.55%	4.03%
BPSO based adaboost	97.63%	2.25%
IPSO based adaboost	99.36%	3.57%

Table 3. Comparison of learning time and Feature number for one classifier.

method	learning time	feature number
original adaboost	347788seconds	240
BPSO based adaboost	18645seconds	107
IPSO based adaboost	9180seconds	40

References

[1] M. J. Ammar W Mohemmed, Mengjie Zhang. Particle swarm optimization based adaboost for face detection. *2009 IEEE congress on Evolutionary Computation*, pages 2494–2501, May 2009.

[2] F. o. Augusto Dstrero, Christine De Mol and A. Veris. A sparsity-enforcing method for learning face feature. *IEEE transaction on image processing*, 18(1):188–201, January 2009.

[3] W. X.-k. SU Jin-rong, LI Bing-yi. particle swarm optimization using average information of swarm. *Computer Engineering and Application*, 43(10):58–59, May 2009.

[4] P. Viola and M. J.Jones. Robust real-time face detection. *International Journal of Computer Vision*, 57(2):137–154, 2004.

An Affective Engineering Approach to Recognizing Speech Emotions and Its Application

Yung-Chin Hsiao[1], Hanayuki Kitagawa[2], Feng Xiaoyan[3], Junzo Watada[4],
[1,2,3,4] Waseda University, the IPS Graduate School
[1] eugene@triz.tw, [2] kitagawa.hanayuki@yahoo.co.id
[3] fengxiaoyan@akane.waseda.jp, [4] junzow@osb.att.ne.jp

Abstract: Human emotions play a pivotal role in decision making and human behaviors. Such scientific studies are named affective science and affective engineering. This paper devotes to provide basic methodology from affective engineering perspective to deal with human emotions. The supporting state: a positive, negative, or neither position toward the statements during conversation significantly affects the effectiveness of consensus forming. Unfortunately the supporting state is easily misjudged by people. The reason is that the supporting state cannot be simply determined by the meaning of the words without considering the real intent disclosed by speech emotion. Therefore this paper proposes a system to determine the supporting states by recognition of speech emotions. The results show that the accuracy of the supporting states recognized by the proposed system is 74.8% compared with subjective recognition.

1. Background & Motivation

Affective Information means total sensory data of human senses for emotion expression such as facial expression, heart beats, breadth and so on. Affective engineering is a technology, method or theory to translate human affective information or image to the features of the designed objects. Kansei engineering and emotional design cover similar themes with affective engineering [1, 2]. The objective of the paper is to employ affective engineering for improving communication among people, especial for consensus formation.

During conversation, the different supporting states of individuals affect the levels of difficulty in consensus formation. The supporting states toward a statement are categorized into a positive, negative, or neither state. Unfortunately the supporting states cannot be simply judged from the surface of words. One example illustrate the situation: a conversation between the husband and wife by using mobile phones. The husband told the wife that he goes golfing with friends. His wife answered that you can go if it is the plan you want to do. The wife's tone is a little angry and impatient. However, the husband is not aware of his wife's real supporting state from the speech emotion. His simple mind believe that he can go with wife's approval from the words. The husband's better decision and action is to stay home or to bring gift home or to persuade his wife again. From the example, a system is in need to assist people in better communication if it can identify the supporting states from the reveal of speech emotions, but not only from the meaning of the words. The bio-feedback of emotions from speech can be also used for consensus forming in meeting.

In this paper, the emotion behind the speech is recognized by comparing the features of voice data with those features from known emotions. From the common experience, the voice can express the emotion states. For example, when you are in fear, the voice can be weak and trembling. The extraction of feature of voice data can be used to recognize the emotions. The hypothesis about the positive emotions related to the positive supporting state and the negative emotions related to negative supporting state is verified by the experiment. Figure 1 shows the framework of the system. The system can determine the supporting state of each statement from conversation. Then the information of support states can be further analyzed for many applications.

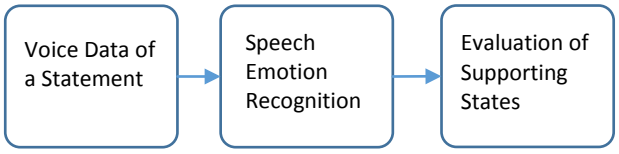


Figure 1: the framework of supporting state evaluation system.

2. Survey & Method

Over the last quarter-century, there is increasing body of research on understanding the human emotions. Various theorists have conducted studies in attempts to determine which the basic emotions are. One example is Paul Ekman and his colleagues' cross-cultural study in 1972 where they concluded that the six basic emotions are

anger, disgust, fear, happiness, sadness, and surprise [3]. Ekman explains that there are particular characteristics attached to each of these emotions, allowing them to be expressed in varying degrees. Each emotion therefore acts as a discrete category rather than an individual emotional state. Three key criteria for recognition of emotions consist of (1) mental experiences that have a strongly motivating subjective quality like pleasure or pain, (2) mental experiences that are in response to some event or object that is either real or imagined, and (3) mental experiences that motivate particular kinds of behavior. The combinations of these attributes distinguish the emotions from sensations, feelings and moods. R. Plutchik created the 2D circle and a 3D cone in 1980 as a tool for understanding his psycho-evolutionary theory of emotions. Plutchik identified eight primary emotions, which he coordinated in pairs of opposites: joy versus sadness; trust versus disgust; fear versus anger and anticipation versus surprise. Intensity of emotion increases toward the center of the wheel and decreases outward. At the center, terror, for example, becomes fear and then apprehension; ecstasy becomes joy and then serenity. Secondary emotions are shown as the combinations of the primary ones. For example, combination of acceptance and apprehension becomes submission [4].

The emotions can be explicitly expressed from the everyday languages and speech [5]. The speech emotion recognition is developed for identifying the emotions behind the speech. It has many applications, especially for human-machine interactions such as voice customer service in call centers, and home-caring robots. The steps of speech emotion recognition are described as follows:

1. Construction of Emotion Speech Corpus:

(1) Collection of Data: HAMLET is an emotion speech synthesizer [6]. The voice of speech with specific emotions can be created by HAMLET. Then the known emotions from HAMLET are subjectively evaluated by the persons. The capability of the person on recognition of the emotion can be judged. Then the voice during conversation are evaluated for the types of emotion. It becomes the basis of the corpus.

(2) Construction of Data Frame from Voice Data: The voice data is split into 51 time frames to capture the features of specific emotion. The data is also filtered with Hamming window function for noise reduction [7].

(3) Feature Extraction of Data Frame: 12-dimension Mel Frequency cepstral coefficients (MFCC) is calculated to represent the voice features in each data frame [8]. PRAAT software is used to perform the voice analysis [9]. Then the vector quantification of emotion MFCC is performed.

(4) Construction of emotion model: left-to-right Hidden Markov Models (HMM) are constructed from emotion MFCC to represent six types of emotions: neutral, anger, sadness, disgust, happiness, and fear [10, 11]. Baum-Welch algorithm is used to estimate the parameters of HMM [12]. MATLAB 6.5 are used for emotion HMM.

2. Recognition of Emotion from Voice of Speech
Feature Extraction of Voice Data: The voice is recorded with sample rate 16,000 and Lin16 sample encoding in mono channel. MFCC of the voice data is calculated. Then Veterbi algorithm searches the most likely sequence of hidden states in emotion HMM to classify the emotions from the speech.

3. Relationship between Supporting States and Emotions

The supporting states indicate the following conditions: positive state – agree with the statement, negative state – disagree with the statement, neither state – no specific comment. In a real situation, there are many factors to influence the emotions and supporting states. For example, the emotions can be affected due to the atmosphere of the space [13]. In our study, the environment is controlled in a simple room and the voice of speech is played back. The participants listen to the voice without any other disturbance of emotions. It is assumed that the emotion can affect the supporting states and the supporting states can be recognized by the emotions of speech. The statistical analysis is conducted to investigate the relationship of supporting states and emotions. The evaluation of supporting states by the system are compared with that by the human.

4. Experimental Results

1. Speech Emotion Recognition

The subjective recognition of emotion is related to the capability of emotion recognition of the participants. 5 males and 4 females classify the type of emotions in a screen test of candidate. 89.4% accuracy of subjective recognition for male, 85.3% for female, 87.4% for the average are obtained. Therefore, 9 persons are qualified to evaluate the voice samples. Their subjective

rating can verify the effectiveness of HMM speech emotion recognition. Voice data from males and females in the research lab are used to test the emotion recognition of HMM. Table 1 shows the results. Anger is accurately recognized without any doubt. Happy and neutral. It is a little inaccurate for recognition of sad and fear states.

Table 1: The accuracy of emotion recognition

Emotion	System	Subject	Error
Neutral	55	58	5.2%
Angry	47	47	0.0%
Sad	28	25	12.0%
Disgust	33	35	5.7%
Happy	42	43	2.3%
Fear	23	20	15.0%
Total	228	228	

2. Evaluation of Supporting States

Table 2. shows the evaluation of supporting states from the system and human. It indicates that the system and human have the same judgment on positive supporting state. However, there is a little difference of judgment on "negative" and "neither" supporting state.

Table 2: Accuracy of Evaluation of Supporting State.

Supporting State	System	Subject	Error
Positive	114	114	0.0%
Negative	80	76	5.3%
Neither	34	38	10.5%
Total	228	228	

3. Relationship among emotions and supporting States

Table 3 shows the relationship among emotions and the supporting states. If the supporting states are recognized, it can be found that the positive supporting state is most related neutral emotion, then happy and fear. The negative supporting state is related to angry emotion. The neither state could be from all kinds of emotions. From the viewpoint of emotions to the supporting states, it shows that happy and fear are most related to a positive or neither state; angry, disgust, and sadness are related to neither states; neutral emotions are related to a positive or neutral state. It may be said that the supporting state reveal more emotion than the supporting states can be recognized from the emotions.

Table 3: Relationship among emotions and supporting states.

	Happy	Fear	Angry
Positive	19 (24%)	18(23%)	2(3%)
Negative	2 (4%)	4(7%)	17(31%)
Neither	34(18%)	20(11%)	40(21%)
Total	55	42	59

Supporting State	Disgust	Sadness	Neutral
Positive	0 (0%)	1 (0%)	40(50%)
Negative	9(16%)	2(4%)	21(38%)
Neither	25(13%)	10(5%)	58(31%)
Total	34	13	99

5. Conclusions and Future Works:

In this paper, the proposed system demonstrates how to determine the supporting states from speech emotion recognition. The future work is to utilize the system for group consensus formation. The supporting states of individuals can be shown in red/green light. The light can be feedback to the group and change the process of consensus.

6. Reference

[1] Nagamachi, Mitsuo, "Kansei Engineering: A New ergonomic consumer oriented technology for product development," International Journal of Industrial Ergonomics 15, 3-11, 1995.

[2] Norman, Donald A. "Emotional design: why we love (or hate) everyday things," New York: BasicBooks, 2005. ISBN 0-465-05136-7.

[3] Ekman, Paul, "Universals and cultural differences in facial expressions of emotion," Nebraska Symposium on Motivation, Vol 19, pp. 207-283, 1971.

[4] Plutchik, R., Emotion: A psychoevolutionary synthesis. New York: Harper and Row, 1980.

[5] R. Cowie, R.R. Corenelius, "Describing the emotional states that expressed in speech," Speech Communication, Vol. 40, nos. 1-2, pp.213- 225, 2003.

[6] http://staff.computing.dundee.ac.uk/irmurray/hamlet.asp

[7] L.R. Rabiner and R.W.Schafer, "Digital processing of speech signals," ICSLP-2000, Englewood Cliffs. London: Prentice-Hall, 1987.

[8] Sahidullah, Md., Saha, Goutam, "Design, analys, and experimental evaluation of block based transformation in MFCC computation for speaker recognition," Speech Communication Vol. 54, No. 4, pp. 543–565, 2012.

[9] http://www.fon.hum.uva.nl/praat/

[10] A. Nogueiras, A. Moreno, A. Bonafonte, and J. Marino, "Speech Emotion Recognition Using Hidden Markov Models,"Eurospeech 2001, Poster Proceedings, pp. 2679-2682, 2001.

[11] Feng-Xiaoyan, JunzoWatada, Building a Recognition System of Speech Emotion, "The Second International Conference on Robot, Vision and

Signal Processing" at Kitakyushu, Japan, Dec. 10-12. 2013.
[12] R. Cowie, E. Douglas-Cowie, N. Tsapatsoulis, G. Votsis, S. Kollias, W. Fellenz, and J.G. Taylor, "Emotion recognition in human-computer interaction," IEEE Signal Processing magazine,
vol. 18, no. 1, pp. 32-80, 2001.
[13] Junzo Watada, Chee Peng Lim, Yungchin Hsiao, A Bio-Signal-Based Control Approach to Building a Comfortable Space, Eds: Junzo Watada et al. Affective Engineering: Mehtodologies and Applications, Springer,
pp. 3-19, 2014.

連絡先

早稲田大学大学院情報生産システム研究
Yung-Chin HSIAO
(Tel.:093-692-5017,E-mail: eugene@triz.tw)
Junzo WATADA
(Tel.: 093-692-5017, E-mail: junzow@osb.att.ne.jp)

Building a GA-based Solver For Quadratic Bilevel Programming Problems

Yunlong Guo yunlong.guo@toki.waseda.jp
Haiyu Yu yuhaiyu@ruri.waseda.jp
Junzo Watada junzow@osb.att.ne.jp

Graduate School of Information, Production and System, Waseda University

Abstract: This paper presents a constraint-and-boundary genetic algorithm as a solver for quadratic bilevel programming problems. Bilevel programming problem (BLPP) is a nested optimization problem characterized by a decision- maker at one level influencing the behavior of another decision-maker at the level. BLPP is an NP-hard one. The constraint-and-boundary genetic algorithm method has several benefits such as the expansion of search space and convergence to the feasible optimum solution. Genetic manipulation is operated in both the feasible and infeasible populations. Usually, penalty function and penalty factors are used to get the same effect. Compared with penalty function and penalty factor method, this constraint-and-boundary GA is much simpler and easily operated. Simulation result show that the proposed algorithm is effective.

1. Introduction

The bilevel programming problem (BLPP) involves t-wo optimization problems where the constraint region of the upper level problem is implicitly influenced by another lower level optimization problem [1,2]. This mathematical programming model arises when two independent decision makers, ordered within a hierarchical structure, have conflicting objectives [1,3]. The decision maker at the lower level has to optimize its own objective function under the given parameters from the upper level decision maker, who, in return, with complete information on the possible reactions of the lower, selects the parameters so as to optimize its own objective function [1]. The common characteristics of the bilevel programming are stated as follows: The decision-making units are interactive and exist within a predominantly hierarchical structure. Decision-making is sequential from the upper level to the lower level. The lower level decision-maker executes its policies after decisions are made at the upper level. Each unit independently optimizes its own objective functions but is influenced by actions taken by other units. Due to its inherent non-convexity [4] and nondifferentiability, the quadratic bilevel programming problem is an NP-hard one [5,6,7,8].

In this paper, a constraint-and-boundary genetic algorithm is proposed as a solver, which can solve quadratic bilevel programming problem. The core of this constraint-and- boundary GA is that we use both feasible population and infeasible populations. This constraint-and-boundary GA method has several benefits such as the expansion of search space and convergence to a better approximate solution of the global optimum solution.

2.Problem formulations of BLPP

The bilevel programming problem can be written as follows:

$$\begin{aligned} &\min_{\mathbf{x}} \quad F(\mathbf{x},\mathbf{y}) \qquad (upper\ level) \\ &s.t. \quad \mathbf{G}(\mathbf{x},\mathbf{y}) \le \mathbf{0}. \quad where\ \mathbf{y}\ solves \\ &\qquad \min_{\mathbf{y}} \quad f(\mathbf{x},\mathbf{y}) \qquad (lower\ level) \\ &\qquad s.t. \quad \mathbf{g}(\mathbf{x},\mathbf{y}) \le \mathbf{0} \end{aligned} \tag{1}$$

where $\mathbf{x}$ is an m-dimensional vector of upper-level variables, $\mathbf{y}$ is an n-dimensional vector of lower-level variables, G and g are vector valued functions of dimension $\mathbf{p}$, and $\mathbf{q}$, respectively.

BLPP is used extensively to a variety of areas such as economy, engineering and management [4], and some efficient algorithms are proposed. For problem (1), the feasible region is denoted by

$$\Omega = \{(\mathbf{x},\mathbf{y}) | G(\mathbf{x},\mathbf{y}) \le 0, g(\mathbf{x},\mathbf{y}) \le 0\}$$

the feasible region of the upper level is denoted by

$$\Omega^U = \{\mathbf{y} | G(\mathbf{x},\mathbf{y}) \le 0\}$$

the feasible region of the lower level is denoted by

$$\Omega^L = \{\mathbf{y} | g(\mathbf{x},\mathbf{y}) \le 0\}$$

the projection region of Ω onto the upper level is denoted by

$$\bar{X} = \{\mathbf{x} | \exists \mathbf{y}, s.t. (\mathbf{x},\mathbf{y}) \in \Omega\}$$

the reaction region of the lower level is denoted by

$$M(x) = \{\mathbf{y} | \mathbf{y} \in argmin\{f(\mathbf{x},\mathbf{y}) | \mathbf{y} \in \Omega^L\}\}$$

the inducible region of problem (1) by

$$\overline{IR}=\{(\mathbf{x},\mathbf{y})|\mathbf{x}\in X,\mathbf{y}\in M(x)\}$$

In order to ensure that problem (1) is well posed we make the additional assumption that the feasible region Ω and the inducible region IR are both nonempty compact.

3. A constraint-and-boundary genertic algorithm approach

A constraint-and-boundary GA approach can be explained as follows: When initializing the population, the initial population is divided into feasible population and infeasible population according to the constraint sets. Crossover and mutation are operated for both feasible population and infeasible population. The offsprings are divided into both new feasible population and infeasible population according to the constraint sets. Then, selection is pursued to the new feasible population and in- feasible population separately. Finally, the whole process is repeated until the conditions are satisfied.

3.1 Chromosome coding

For solving the BLPP(1) by the constraint-and-boundary GA, a chromosome is represented by a real vector $\mathbf{V}=(x_1,\ x_2,\ \cdots,\ x_m,\ y_1,\ y_2,\ \cdots,y_n)$ Where $x_1,\ x_2,\ \cdots,\ x_m$ express the variables of the upper level and $y_1,\ y_2,\ \cdots,y_n$ express the variables of the lower level, and it can be shortly written as $\mathbf{V}=(\mathbf{x},\mathbf{y})$.

3.2 Initialization

We generate M random groups of $\mathbf{x}\in\Omega^U$ and M' random groups of $\mathrm{x}\notin\Omega^U$, which denoted by $fea_x_i(k)$ and $inf_x_j(k)$, where M and M' denotes the feasible population size and infeasible population size respectively, $i = 1, 2, \cdots, M$ and $j = 1, 2, \cdots, M'$, and k denotes the current generation. The chromosomes should try to cover the entire search space uniformly. Then pass each value of $fea_x_i(k)$ and $inf_x_j(k)$ to the lower level and solve the lower level problem by using Lingo or Matlab. Denote the optimal solution of the lower level by $fea_\bar{y}(k)$ for each $fea_x_i(k)$ and $inf_y_j(k)$ for each $inf_x_j(k)$. Finally, M feasible chromosomes and N infeasible chromosomes are created, which denoted by $(fea_x_i(k), fea_\bar{y}_i(k))$ and $(inf_x_j(k), inf_\bar{y}_i(k))$.

For convenience, we represent $(fea_x_i(k), fea_\bar{y}_i(k))$ and $(inf_x_j(k), inf_\bar{y}_j(k))$ with *fea_pop* and *inf_pop*. Then, calculate the fitness values according to the fitness function (2) in next subsection and save the best chromosome separately.

3.3 Fitness function

For problem (1), we make the fitness function as follows:

$$Fitness(x_i(k),\bar{y}_i(k))=F(x_i(k),\bar{y}_i(k)) \quad (2)$$

Here, the fitness values of feasible chromosomes and infeasible chromosomes are calculated separately according to the fitness function (2).

3.4 Crossover operation

The crossover operation should be operated between a feasible chromosome and an infeasible chromosome. We set the probability of crossover with p_c. For each chromosome $(fea_x_i(k),\ fea_\bar{y}_i(k))$, create a random number r. If $r< p_c$, then choose this chromosome as one of the parents for crossover operation. When a feasible chromosome is chosen to be the parent, an infeasible chromosome is randomly selected to match the chosen feasible one. Assume that we get a couple of chromosomes $(fea_x_i(k), fea_\bar{y}_i(k))$ and $(inf_x_j(k),\ inf_\bar{y}_j(k))$. Now we create a random number λ, which is between 0 and 1, and operate crossover to the parents. Make the two offsprings as $(u_i(k),v_i(k))$ and $(u_j(k),v_j(k))$, [i < j]. Then the crossover method is as follows:

$$\begin{cases}u_i(k)=\lambda.fea_x_i(k)+(1-\lambda).inf_x_j(k)\\ v_j(k)=\lambda.fea_y_i(k)+(1-\lambda).inf_y_j(k)\end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases}u_j(k)=(1-\lambda).fea_x_i(k)+\lambda.\inf_x_j(k)\\ v_j(k)=(1-\lambda).fea_y_i(k)+\lambda.\inf_y_j(k)\end{cases} \quad (4)$$

By the method above, we obtain two offspring $(u_i(\mathrm{k}),\ v_i(\mathrm{k}))$ and $(u_j(\mathrm{k}),\ v_j(\mathrm{k}))$. Divide them into feasible group, which is denoted by N_1, and infeasible group, which is denoted by N_1', according to each feasibility.

3.5 Mutation operation

In order to prevent the process from premature convergence, random search is used in the mutation operation. Set the probability of mutation with p_m. For each offspring obtained by crossover operation, create a random number γ. If $\gamma < p_m$, then operate mutation to the offspring. Mutation should be operated to the feasible offspring and infeasible offspring respectively, which obtained by crossover operation. Divide the offspring obtained by mutation operation into feasible group, which is denoted by N_2, and infeasible group, which is denoted by N_2', according to each feasibility.

3.6 Selection operation

In order to maintain the diversity of the population and the global convergence, choose M chromosomes from the $M+N_1+N_2$ chromosomes as the next feasible generation. Also, choose M' chromosomes from the $M'+N_1'+N_2'$ chromosomes as the next infeasible generation. The best chromosome may not survive to the final generation. So, elitism is used to keep the best chromosome survive. In details: at the start of the evolution, save the best chromosome. If best chromosome from the new population is better than the best chromosome from the previous population, then copy the best from the new population; else replace the

worst chromosome from the current population with the best one from the previous generation.

3.7 Stopping criterion

If the algorithm is executed to the maximal number of generations $MaxZen$, then the algorithm stops and the best chromosome which has the optimal fitness value is obtained. As the result, the lower-level objective optimal value is also obtained and the problem (1) is solved.

Now we present the constraint-and-boundary GA for problem (1) as follows.

Step 1 Set and initialize the parameters. Choose feasible population size M and infeasible population size M', probability of crossover p_c, probability of mutation p_m, the maximal number of generations $MaxZen$, Initialize the current generation: $k = 0$.

Step 2 Initialize the chromosomes. Initialize $fea_x_i(k)$ and $inf_x_j(k)$. Generate each of $fea_x_i(k) \in \Omega^U$ and $inf_x_j(k) \notin \Omega^U$, where $i = 1, 2, \cdots, M$ and $j = 1, 2, \cdots, M'$. Then, pass each value of $fea_x_i(k)$ and $inf_x_j(k)$ to the lower level separately.

Step 3 Solve the lower-level optimal problem. For each of $fea_x_i(k)$ and inf_x_j (k), each of the corresponding $fea_\bar{x}_i(k)$ and $inf_\bar{y}_j(k)$ is obtained by solving the lower-level optimal problem by using Lingo or Matlab.

Step 4 Feedback each of $fea_y_i(k)$ and $inf\ y_j(k)$ *to the upper level and the complete chromosomes* ($fea_x_i(k)$, $fea_\bar{y}_i(k)$) and ($inf_x_j(k)$, $inf_\bar{y}_j(k)$) are obtained. Calculate the fitness value of each chromosome according to the fitness function and save the best one separately.

Step 5 Crossover operation.

Step 5.1 For each chromosome ($fea_x_i(k)$, $fea_\bar{y}_i(k)$), create a random number α. If $\alpha < p_c$, then choose this chromosome as one of the parents for crossover operation and randomly select a chromosome from infeasible popula- tion to match the chosen feasible one. $i = 1, 2, \cdots, M$ and $j = 1, 2, \cdots, M'$

Step 5.2 When the parents are selected, crossover is operated to them according to the formulas (3) and (4) and two offspring are generated.

Step 5.3 Divide the two offspring into feasible group and infeasible group according to their feasibilities.

Step 5.4 When Step 5.1 goes through all of the chromosomes, the total numbers of the feasible offspring and the infeasible offspring should be counted and denoted by N_1 and N_1'separately.

Step 6 Mutation operation.

Step 6.1 For each of the feasible and infeasible off-spring obtained by crossover operation, create a random number β. If $\beta < p_m$, mutation is operated to this chromosome.

Step 6.2 Create a random vector $\mathbf{V_1}(v_1, v_2, \cdots, v_{m+n})$, which is between -1 and 1. Then mutation is operated to each chosen chromosome by $\mathbf{V} + \mathbf{V_1}$.

Step 6.3 Divide the mutation offspring into feasible group and infeasible group according to their feasibilities.

Step 6.4 When Step 6.1 goes through all of the crossover offspring, count the total number of the feasible mutation offspring and the infeasible mutation offspring, denoted by N_2 and N_2'separately.

Step 7 Selection operation There are $M + N_1 + N_2$ feasible chromosomes and $M' + N_1' + N_2'$ infeasible chromosomes in total. In order to ensure convergence to the global optimal solution, Sort the fitness values in the increasing order among parents and all offspring chromosomes and select M and M'chromosomes as the next generation. Elitist selection is also used to save the best chromosome.

Step 8 If the stopping criterion is met, then stop, and record the best chromosome, and the optimal objective value of problem (1). Otherwise, set $k = k + 1$, and go to Step 3

4. Numerical Examples

$$\min_{\mathbf{x}} \quad F = x^2 - 4x + {y_1}^2 + y_2$$

$$\text{s.t.} \quad 0 \le x \le 2$$

$$\min_{y} f = {y_1}^2 + 0.5y_2 + y_1y_2 + (1 - 3x)y_1 + (1 + x)y_2$$

$$\text{s.t.} \quad 2y_1 + y_2 - 2x - 1 \le 0$$

$$y_1, y_2 \ge 0$$

We execute the proposed algorithm in 20 independent runs on the benchmark problem using the MATLAB 7.0 compiler. During the simulations, we adopted the following parameter suite: Feasible population size: 40; Infeasible population size: 40; Crossover probability: p_c = 0.7; Mutation probability: p_m = 0.2; Maximal number of generations: $MaxGen$= 20.

From the results of the Table (1), we can see that the proposed algorithm in this paper can be used to solve nonlinear BLPPs.

Table 1. The result comparisons between proposed method and method in the reference [2]

Optimal (x^*, y^*) found by proposed method	(0.8462, 0.7693, 0)
Optimal (F, f) found by proposed method	(-0.20769, -0.5919)
Optimal (x^*, y^*) found in [2]	(0.8438, 0.7657, 0)
Optimal (F, f) found in [2]	(-2.0769, -0.5863)

5.Conclusion

This paper presents an improved global optimization method based on the genetic algorithm approach for solving nonlinear bilevel programming problems. This constraint- and-boundary GA approach has several benefits such as the expansion of search space and convergence to the feasible optimum solution. Genetic manipulation is operated in both the feasible and infeasible populations. Compared with traditional penalty method, this constraint-and-boundary GA is much simpler and easily operated.

REFERENCE

[1] Z. H. Gümüş, C. A. Floudas, "Global optimization of nonlinear bilevel programming problems." *Journal of Global Optimization*, 1- 31, 2001.

[2] L. D. Muu and N. V. Quy, "A global optimization method for solving convex quadratic bilevel programming problems", *Journal of Global Optimization*, vol. 26, pp. 199-219, 2003.

[3] T. Edmunds and J. F. Bard, "Algorithms for nonlinear bilevel mathematical programming", *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 21, pp. 83-89, 1991.

[4] J. F. Bard, *Practical Bilevel Optimization*. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1998.

[5] R. G. Jeroslow, "The polynomial hierarchy and a simple model for competitive analysis", *Mathematical Programming*, vol. 32, pp. 146–164, 1985.

[6] G. S. L. Vicente and J. Jdice, "Descent approaches for quadratic bilevel programming", *Journal of Optimization Theory and Applications*, vol. 81, pp. 379–399, 1994.

[7] S. J. Sci. and S. Comput, "New branch-and-bound rules for linear bilevel programming", *Society for Industrial and Applied Mathematics*, vol. 13, pp. 1194–1217, 1992.

[8] P. M. Benoit Colson and G. Savard, "An overview of bilevel optimization", *Annals of Operations Research*, vol. 153, pp. 235–256, 2007.

[9] G. H. Guo Hongli, Li Juntao, "A survey of bilevel programming model and algorithm", *2011 Fourth International Symposium on Computational Intelligence and Design*, vol.2, pp.199–203, 2011.

[10] M. J. Bracken, J., "Mathematical programs with optimization problems in the constraints", *Operations Research*, vol. 21, pp. 37–44, 1973.

[11] N. R. M. p. Candler W, "Technical report 20," *World Bank Development Research Center ,Washington D. C.*, 1977.

部分的な制約条件の繰り返し適用による組み合わせ最適化問題の求解能力改善

An Improvement of Search Peformance for Combinatorial Optimization Problems by Applying Iterative Partial Constraints

○仲田 紘平　和久屋 寛　伊藤 秀昭
○ Kohei Nakata　Hiroshi Wakuya　Hideaki Itoh
佐賀大学
Saga University

Abstract: A Hopfield network is a good tool for solving combinatorial optimization problems. However, one of its major drawbacks is losing accuracy as the task size becomes bigger. In order to overcome this problem, a search method to find out an optimal solution through applying iterative partial constraints, instead of the applying them simultaneously, is proposed. As a result of computer simulations, it is found that the proposed method shows better performance than the conventional method. And it is concluded that the proposed method is effective.

1. はじめに

組み合わせ最適化問題を解く手法としてホップフィールドネットワークの有効性が知られている．しかし，問題の規模が大きくなるにつれて解候補が増大し，正答率の減少していく傾向がある．また，これとは別に，ロボット制御課題において複雑な問題を複数のネットワークで解く方法が用いられている [1]．そこで，このアイディアを参考にして，大規模な本来の問題を小さく分割して解探索を行う方法を提案した．

先行研究では，問題に対応した本来のネットワークを複数のサブネットワークに分割し，それらに相互作用を持たせて最適化する方法を提案して，その有効性を示した [2]．そこで今回は発想を変え，ネットワークはそのままにしておき，同時に課す制約条件を分割して，順番に与える解探索法について検討した．

以下本稿では，まず **2** でホップフィールドネットワークの概要を紹介し，**3** で問題の分割の基本的な考え方について説明する．そして，**4** では n クイーン問題を取り上げた計算機シミュレーションについて言及する．その後，**5** で提案法の発展性に関して考察を行い，**6** で結論を述べる．

2. ホップフィールドネットワーク

ホップフィールドネットワークでは，スピングラス理論との類似性に着目し，問題に対応したエネルギー関数から求められるニューロン間の結合荷重 W_{ij} と閾値 θ_i を用いる．そして，式 (1)〜(2) に従ってエネルギーの減少する方向へ状態遷移を繰り返す．その結果，最終的なニューロンの出力 $V_i(t)$ から，理想的には最適解が自動的に求まる．

$$V_i(t+1) = f\left(\sum_{j=1}^{n} W_{ij}V_j(t) - \theta_i\right) \tag{1}$$

$$f(z) = \begin{cases} 1, & z \geq 0 \\ 0, & z < 0 \end{cases} \tag{2}$$

この時，ネットワークの状態はエネルギーが減少する方向へのみ状態遷移が行われるため，ネットワークの初期状態によっては局所解に陥ってしまい，最適解が得られないことがある．

3. 問題分割の基本的な考え方

3.1 サブネットワークへの分割

上述の通り，ホップフィールドネットワークは，問題の規模が大きくなるほど正答率は低くなる．そこで，本来の問題に対応するネットワークを複数のサブネットワークに分割し，それぞれを最適化していくことで，与えられた問題の解候補を求める方法を提案した [2]．このとき，本来の問題では存在するサブネットワーク間の関係性を，相互作用として別に与えておけば，当初の問題を解くことと同義である．この考え方を図 1 に示す．先行研究では，3 次元クロスバ・スイッチ問題を取り上げ，この手法を適用したところ，正答率についてはやや改善が認められたものの，十分に満足できる内容ではなかった．

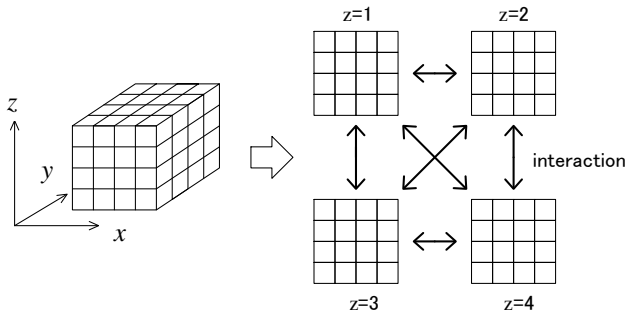


図 1. サブネットワークと相互作用の基本的な考え方

3.2 制約条件の分割

ここでは分割する対象を変更し，制約条件を分割して解探索する方法を提案する．例えば，n クイーン問題を取り上げると，「$n \times n$ のチェス盤上でお互いが衝突しないように n 個のクイーンを配置する」という問題の定義に基づき，クイーンの有無を“1”と“0”で表せば，

i) 縦方向に“1”が一つだけ存在する。
ii) 横方向に“1”が一つだけ存在する。
iii) 右上・左下斜め方向に“1”が二つ以上存在しない。
iv) 左上・右下斜め方向に“1”が二つ以上存在しない。

という制約条件が考えられる．従来法では，これらの条件 i)〜iv) に対応するエネルギー関数 $E_1(t)$〜$E_4(t)$ を求め，A，B，C，D の重み付け係数を乗じて加算することで，n クイーン問題の全体エネルギー $E(t)$ を導出する．

$$E(t) = AE_1(t) + BE_2(t) + CE_3(t) + DE_4(t) \qquad (3)$$

これとホップフィールドネットワークのエネルギー定義式

$$E(t) = -\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} W_{ij}V_i(t)V_j(t) + \sum_{i=1}^{n}\theta_i V_i(t) \qquad (4)$$

を比較して得られる結合荷重 W_{ij} と閾値 θ_i の値を用いて，式 (1)〜(2) の繰り返しによる状態遷移を通して最適解を求めていく．

今回の提案法では，四つの制約条件の中から 3 つを選び出し，これらに対応する部分問題（case #1〜4）の最適化を繰り返すことで，本来の問題の解探索を目指す．この時に用いる 4 種類の部分的な制約条件を図 2 に整理する．また，全体的な処理の流れを図 3 に示す．

4. 計算機シミュレーション

ここでは，乱数で決めた 1000 通りの初期状態を用意して，問題規模 n が 4〜40 の場合について，通常のホップフィールドネットワークと正答率を比較した．この時の結果を図 4 に示す．これによると，従来法でも最適解が

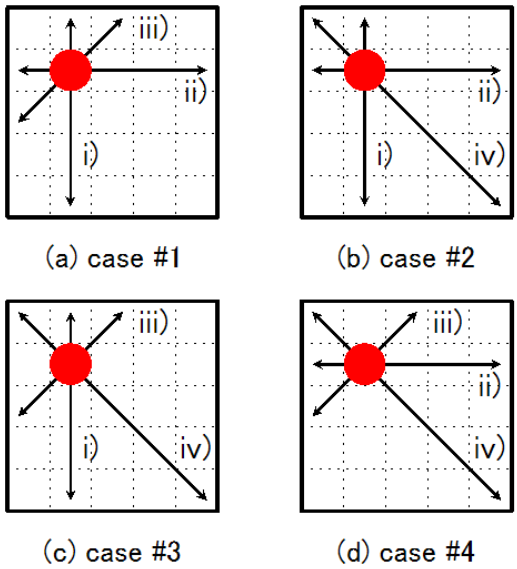


図 2. 制約条件の分割例

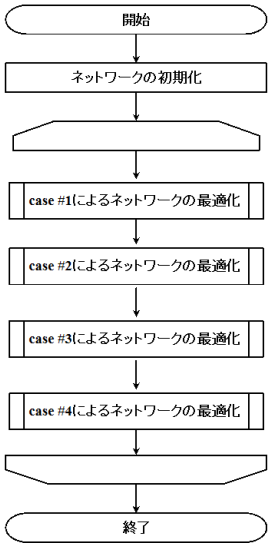
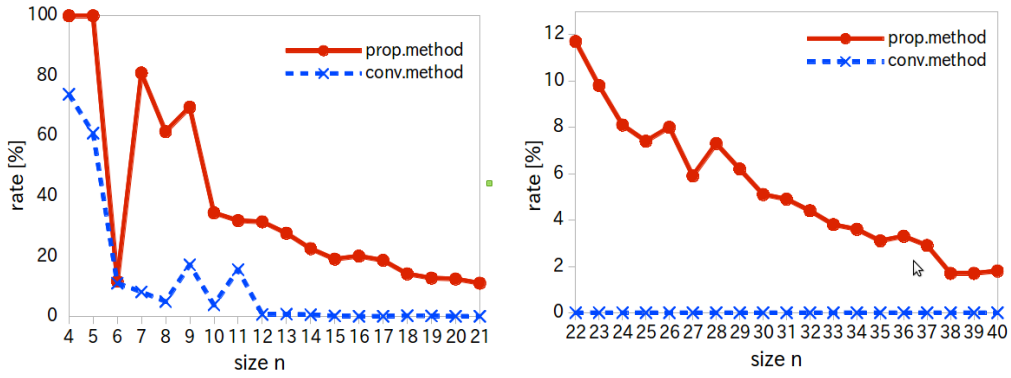


図 3. 制約条件の分割における処理の流れ

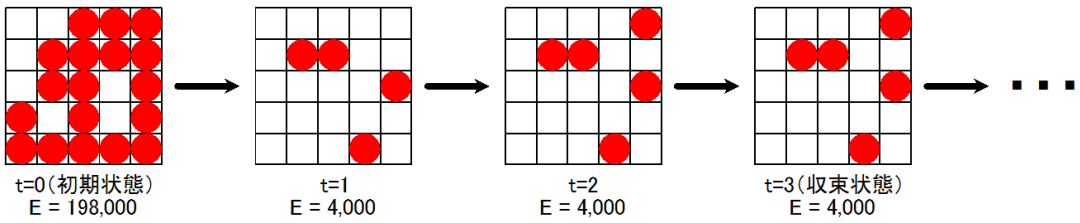
得られている問題規模（$n = 4$〜21）において，図 4(a) より正答率の改善が確認できる．なお，$n = 6$ において正答率が一時的に下がっているが，これは n クイーン問題で一般に知られている傾向で，$n = 6$ のときに解が少ないというものである．そして，従来法では最適解を求めることのできていない問題規模（$n = 22$〜40）においても，図 4(b) より提案法の導入によって最適解が得られている．

ここで，従来法と提案法を用いた場合の状態変化について，同一の初期状態が与えられたときの時間変化を確認したところ，例えば，図 5 のようになった．ここで，t は時刻を，E は問題の全体エネルギーを表す．このとき，(a) は従来法であり，$t = 2$ 以降は状態遷移が起こらず局

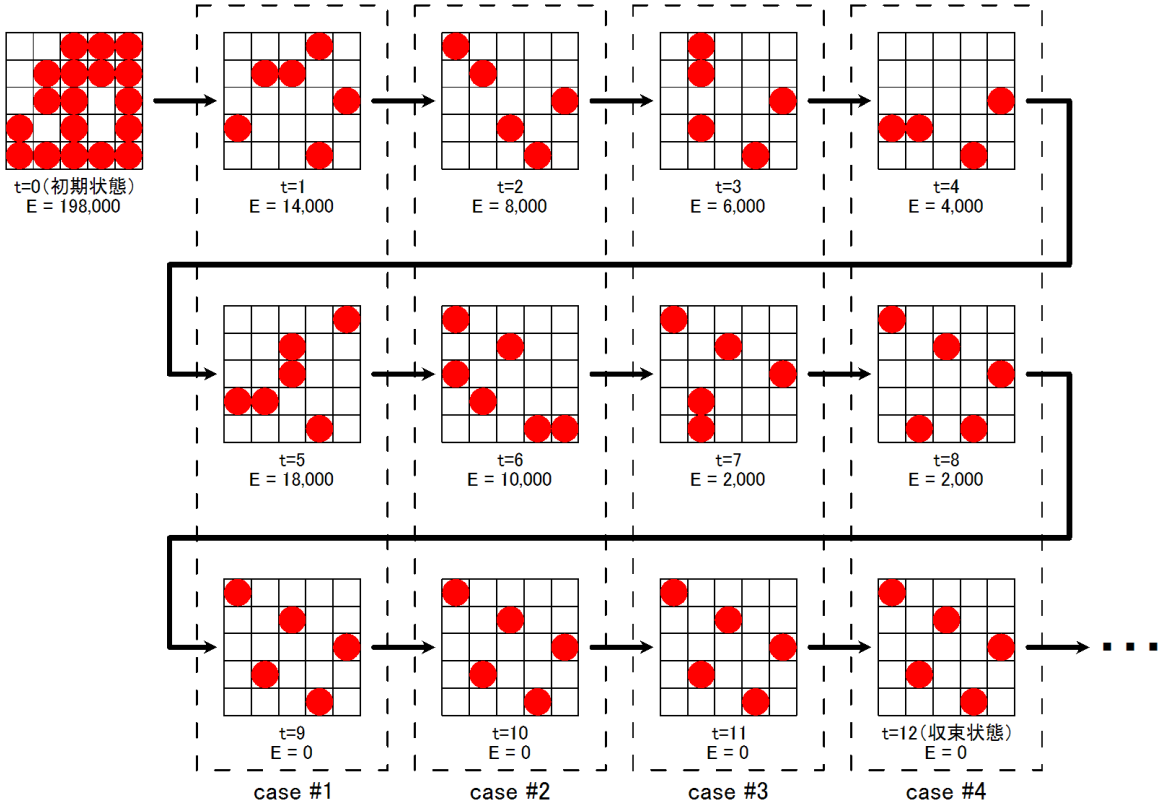


(a) 問題規模 $n = 4$〜21 のとき　　(b) 問題規模 $n = 22$〜40 のとき

図 4. 計算機シミュレーションの結果



(a) 従来法のとき



(b) 提案法のとき

図 5. 制約条件の分割における状態遷移過程の一例

所解となっている．これに対して，(b) は提案法であり，部分問題（case #1〜4）を繰り返し最適化していくことで徐々にではあるがエネルギー E が減少し，最適解が得られている．したがって，提案法の有効性を示す一例と考える．なお，$t = 4$ から $t = 5$ への変化をみると，エネルギー E が一時的に上昇している．本来のホップフィールドネットワークによる状態変化では，エネルギーが上昇することはないため，このように部分問題の繰り返しとして解くことで，局所解からの脱出が実現できたと考えている．

5. 考　察

提案法について，図 2 のように制約条件を分割するということは，式 (3) において A，B，C，D を順番に 0 としたものと等価になっている．意図した訳ではないが，サブネットワークへ分割する場合とは異なり，改めて部分問題に対するエネルギー関数を求め直すなどの特別な手間は不要となっている．また，常に同じエネルギー関数を与える訳ではないので，図 5(b) にあるとおり，途中で一時的にエネルギーが上昇し，局所解から脱出できるようである．これは，仮想磁場漸弱法 [3] や結合荷重制御法 [4] に似た手法と言える．

なお，提案法で制約条件を分割して繰り返し適用する場合，「クイーンの総数を n 個にする」という必要条件が，直接的に課されていない．それでも正答が得られているのは，4 種類の制約条件の内，三つを同時に与えており，常に二つの“重なり”を持たせているためだと考えられる．

これらのことから，A，B，C，D の値を当初は順番に“0”としておき，時間とともに上昇させていけば，最終的に本来の問題とエネルギー関数が一致するため，よいかもしれない．これは，一種の“アニーリング”と言ってもよいであろう．

6. おわりに

本研究では，与えられた制約条件を分割して繰り返し最適化する解探索法について提案し，その有効性について検討した．そして，n クイーン問題を取り上げた計算機シミュレーションの結果，正答率が改善し，従来法では解くことのできない問題規模においても最適解が得られることを確認した．しかしながら，制約条件が増えた場合など，まだまだ検討の余地があると考える．今後は，より複雑な問題に関する分割法についても検討を行う予定である．

参考文献

[1] 宮崎海里，松田聖：“ニューラルネットワーク間のインタラクションによるロボット行動計画の創発”，信学技報，NC2009-111，2010

[2] 仲田紘平，和久屋寛，伊藤秀昭：“分割されたホップフィールドネットワークを用いた組み合わせ最適化問題の解探索”，第 3 回日本知能情報ファジィ学会九州支部学生部会研究発表会予稿集，A104, pp.7-8, 2013

[3] H.Wakuya：“A new search method for combinatorial optimization problem inspired by the spin glass system”，*In Brain-Inspired IT II, ICS1291*, pp.201-204, Elsevier, 2006

[4] H.Wakuya，K.Yamashita：“A new type of Hopfield network with controllable synaptic weights for solving combinatorial optimization problems”，*Int. J. of Innovative Computing, Information and Control*, **Vol.5**，pp.5051-5060，2009

連絡先

和久屋 寛

佐賀大学大学院工学系研究科電気電子工学専攻

E-mail：wakuya@cc.saga-u.ac.jp

ユーザクラスタリングに基づくファジィ推薦システムの構築

Building a Fuzzy Recommender System based on User Clustering

徐珊 [1]　　和多田 淳三 [2]

Shan XU[1]　　Junzo WATADA[2]

[1,2] 早稲田大学大学院 情報生産システム研究科

[1,2] Graduate School of Information, Production and Systems, Waseda University

Abstract: Personalized recommenders can help to find potential items and then recommend them for particular users. The aim of this paper is to propose a personalized hybrid recommender method based on clustering of users. Here, we incorporate user- based method with item-based collaborative method by clustering users, while applying clustering method to fuzzy user profile. To evaluate the effectiveness of our approach, we conducted an experimental study using MovieLens dataset. The proposed algorithm was compared with a conventional recommender method.

1. Introduction

Recommender systems have come into our view since the collaborative filtering algorithm was raised in 1995 [1]. Conventional recommender methods always work on a rating schema that items are graded from 1 to 5. However, there are several rating schemas (ways that items are rated) in reality, which are overlooked by conventional methods. Our proposed method transforms rating schemas into fuzzy user profiles to record users' preferences. As a result, our method can deal with different system rating schemas, and improve the scalability of recommender systems. Additionally, we develop item-based collaborative methods by clustering users, which can help us to gain insight into the relationship among users.

The remaining of this paper is organized as follows. Section 2 describes the four phases of our proposed method. In Section 3, the results of comparing with a conventional recommendation method are shown. Finally, Section 4 draws conclusions to our work along with future works for improving our proposed method.

2. Proposed Method

2.1 Phase 1: User Profile Fuzzification

The numbers of users and items in database are separately set as m and n, respectively. The input is an m × n user-item matrix, which is presented as user profiles. A user profile records particular user' s preferences for some items in a database. Let R be the set of rating scores. And rating scores can be non-negative integers or real numbers within a certain range. Here, the value of R indicates the degree of users' preferences for items. The higher score that item gets, the more likes this each user.

We can use the following (1) to compute the preference degree that the target user likes a particular item. Within the scope of rating score, R_{down} and R_{up} are chosen as lower and upper bounds for the rating set R, where $R_{down}, R_{up} \in N$ (natural number). So the membership function of rating scores for fuzzy set, $\tilde{R}$, can be denoted as

$$\tilde{R}(x) = \begin{cases} 0 & x \le R_{down} \\ \frac{p}{q} & R_{down} < x < R_{up} \\ 1 & R_{up} \le x \end{cases} \quad (1)$$

where x is a rating record in R, p is the number of records that rating scores are smaller than x in training dataset, and q is the number of all rating records in training dataset.

The set of fuzzy user profiles in recommender system is defined as $U = \{\overrightarrow{U_1}, \overrightarrow{U_2}, ..., \overrightarrow{U_m}\}$, while set of all items in the dataset is defined as $I = \{\overrightarrow{I_1}, \overrightarrow{I_2}, ..., \overrightarrow{I_n}\}$, in which items could be movies, songs, restaurants, or mobile applications.

2.2 Phase 2: Clustering of Fuzzy User Profiles

In phase 1, we get the fuzzy user profile for each target user, U_t. k-medians clustering method(a variation of k-means clustering method) is chosen to find a particular set that includes the target user. By deciding the number of clusters, k, and applying k- medians clustering method on user profiles, we get the final set of clusters, C. In the set C, the target cluster C_t containing the target user t is chosen, which consists of *a* users. Here, $C_t \in C$; $0 < a < m-k+1$; $a \in N$.

2.3 Phase 3: Finding Similar Items

Our proposed approach is built on item-based collaborative filtering.

Step1: In phase 2, we get the cluster set C_t, which is redefined: $Ct = \{\overrightarrow{u_1}, \overrightarrow{u_2}, ..., \overrightarrow{u_t}, ..., \overrightarrow{u_a}\}$. Now the original input matrix has been reduced to *a* users and *n* items.

Step2: Define the rating score as

$$r_{t,i} = \begin{cases} r_{t,i} & \text{if } u_t \text{ rated item } i \\ p_{t,i} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

Step3: Here, we use the adjusted cosine similarity measure [2] to evaluate the similarity between target item i and item j, sim(i,j), as follows:

$$sim(i,j) = \frac{\sum_{t \in T}(r_{t,i} - r_t) \times (r_{t,j} - r_t)}{\sqrt{\sum_{t \in T}(r_{t,i} - r_t)^2} \times \sqrt{\sum_{t \in T}(r_{t,j} - r_t)^2}} \quad (3)$$

where $r_{t,i}$ denotes the value of target user t on item i, so does $r_{t,j}$. r_t is the average rating for the user t. i, j ∈ {item1, item2, ⋯, item n}.

Step4: As a result, we can get the similarity set of itmes with target item i: sim1 = {sim(i,1), ⋯ , sim(i,i−1),sim(i,i+ 1), ⋯ , sim(i, n)}.

Step5: The elements in this similarity set sim1 are ordered in descending, and define a threshold value θ. As that if the similarity element in sim1 is larger than θ, it will be chosen as an optional candidate to the set sim2. Finally, sim2 is the set of most similar items for object item i.

2.4 Phase 4: Recommendations

In phase 3, we got the aggregate of the most similar items, sim2. The next step is to apply adjusted weighted sum [2] to predict unknown rating scores. The prediction for user t on item i is calculated by (4)

$$p_{t,i} = r_i + \frac{\sum_{l \in sim2} sim(i,l) \times (r_{t,l} - r_l)}{\sum_{l \in sim2} |sim(i,l)|} \quad (4)$$

where the respective average rating scores of items i and l are defined as ri and rl, l ∈ *sim2.* According to the rating score calculated as above, we can get the rating vector for user t, $\overrightarrow{u_t} = \{r_{t,1}, r_{t,2}, ..., r_{t,n}\}$.

The elements in vector u_t are sorted in descending order. Within those elements, the first N items are chosen to recommend.

3 . Experimental Results

To evaluate the effectiveness of our approach, we conducted an experiment using MovieLens dataset, which contained 943 users and 1682 movies. In our experiment, Mean Absolute Error (MAE) [3] was used to measure the equality of predictions for recommender system. The lower MAE shows, the better recommender system performs.

The average MAE for whole testing data set is defined as MAE in (5):

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{N_u} \frac{\sum_{i=1}^{n} |p_{t,i} - r_{t,i}|}{n}}{N_u} \quad (5)$$

where Nu is the cardinality of the test set of users, with t ∈ {1,2,..., Nu}, and n is the cardinality of the test ratings set of user t. For particular user t, the prediction values of items are defined as {$p_{t,1}$, $p_{t,2}$, …, $p_{t,n}$}, and real values of items are {$r_{t,1}$, $r_{t,2}$, …, $r_{t,n}$}.

In conventional clustering methods, deciding the number of cluster, k, is one of the major sticking points. Here, we conducted a study that compared CF based on k-means to our proposed method, with MAE measuring of the performance. The result is shown in Fig. 1.

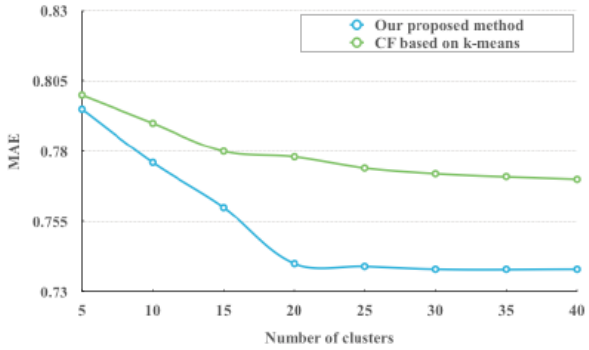


Fig.1 Comparison for different number of clusters

The MAE of our method dropped fast at the beginning and then kept smooth after k reached a certain value. Therefore, increasing the number of clusters in a certain range is helpful to improve the performance of our method. A sharper downward trend than CF based on k-means method in Fig.1 is a proof for the success of our method. The experiment showed that our method is superior to the conventional collaborative filtering method.

4 . Conclusions

Here, we applied the clustering of user profiles to item-based collaborative filtering method, which can combine items' and users' characteristics. A considerable improvement has been made in accuracy. Furthermore, fuzzy set theory helped the system to understand different rating schemas. Much work on recommender systems has been done. However, most research studies focus on application of movies. In our following research, we would try to apply our proposed method to a different filed, such as application in mobile phone, or combine recommendation with mobile phone location.

References

[1] W. Hill, L. Stead, M. Rosenstein, and G. Furnas, "Recommending and evaluating choices in a virtual community of use," Proceedings of the SIGHI Conference on Human Factors in Computing Systems, vol. 1, pp. 194-201, 1995.

[2] Y.-H. Chien and E. I. George, "A Bayesian model for collaborative filtering," Proceedings of the 7th International Workshop on Artificial Intelligence and Statistics, 1999.

[3] J. S. Breese, D. Heckerman, and C. Kadie. "Empirical analysis of predictive algorithms for collaborative filtering." Proceedings of the 14th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence, pp. 43-52, 1998.

中国奇瑞自動車のファジィ 5F 分析

Fuzzy Five Forces Analysis of Chery Auto

陳　法恩
Faen Chen
大阪国際大学大学院
Graduate School of
Osaka International University

古殿　幸雄
Yukio Kodono
大阪国際大学
Osaka International University

Abstract: It is generally known that Chinese market is an integral part to the world, international automobile companies are making efforts to gain access to Chinese market. To expand the market share in China, companies implement various strategies, as a result, making the market competition fiercer. As Chinese automobile companies are not well-known in the world, Chery Auto is considered to be the analysis target as the representative of Chinese automobile companies.

In this paper, it is introduce the fuzzy concept in Poter's Five Forces (5F) analysis as the external environment analysis method. We analyze the Chinese automobile companies using the proposed fuzzy 5F analysis. And we analyze the Chery Auto to pick up the threat of new entrants from the competition factor of five. As a result, it will be clarified the level of threat of new entrants in Chery Auto.

１．はじめに

中国経済が著しく発展するとともに、中国自動車市場の規模は、急速に拡大を続けている。中国自動車工業協会によると、2013 年の自動車の生産台数と販売台数が両方とも 2,100 万台を超えた。中国自動車市場は、2009 年から販売台数が世界一の市場に成長し、世界の自動車企業にとっては、なくてはならない市場になっていると認識されている。そのため、各国の自動車企業は、中国市場に益々力を入れる傾向が高まってきた。

現在、中国自動車市場では、各国の自動車企業と中国の自主自動車企業（本論文では、中国において外国との合弁企業でない、中国独自の企業を自主自動車企業と呼ぶ）が市場シェアを伸ばすための市場競争を繰り広げており、様々な戦略のもと、中国自動車業界における競争が一層激しくなっていくものと考えられる。

しかし、中国自動車市場の自主自動車企業は、国外への輸出台数がまだ少ないこともあり、世界の人々にあまり知られていない。そこで、中国自主自動車企業の最大規模の民間自動車企業の一つとして、奇瑞自動車を取り上げ、奇瑞自動車の歴史、概要をまとめた上で、奇瑞自動車の特徴をファジィ 5F（新規参入の脅威、業界内の競争、代替品の脅威、買い手の交渉力、売り手の交渉力）分析を提案することで、分析を試みる。

ところで、中国自主自動車企業の一つとして、奇瑞自動車を取り上げ、SWOT 分析とポーターの 5 つの競争要因の分析とが行われている[1][2]。また、その分析において、ファジィ理論の有効性が示唆されている[3]。さらに、SWOT 分析に対して、ファジィ概念が導入されたファジィ SWOT 分析が提案されている[4]。SWOT 分析は、企業の外部環境（機会と脅威）と内部環境（強みと弱み）を分析することで、企業の強みと弱みを把握し、企業の経営戦略を検討する。

本論文では、外部環境の分析として、ポーターの 5 つの要因（5F）に着目する。そして、5F 分析にファジィ概念を導入し、ファジィ 5F 分析を提案する。そして、このファジィ 5F の新規参入の脅威を一例として取り上げることで、奇瑞自動車企業を分析し、奇瑞自動車企業が外部環境としての脅威のレベルについて考察する。

２．奇瑞自動車の概要

中国の奇瑞自動車は、1997 年に設立され、2001 年に初めて、乗用車の販売を始めた。同年の販売台数は 2.8 万台にすぎなかったが、奇瑞自動車の 2011 年の販売台数は 64 万 3,000 台に達した[5]。中国自主自動車企業の中では、販売台数は連続 11 年、輸出台数は連続 9 年、中国の首位となった。まさに奇瑞自動車は、中国自主自動車の代表と言えるであろう。

奇瑞自動車は、国際大手自動車企業と比べ、規模が小さいが、成長率は非常に速い。自動車のエンジン開発と車種のデザインに関しては、自社開発をするとともに、国外に開発を委託するという計画をとっている。この計画により、奇瑞自動車のエンジンとデザインは、多くの人々に認められている。

奇瑞自動車の主力車種は、主に低端車（日本の小型車に相当）を中心にした販売戦略を展開している。その結果、奇瑞自動車のイメージは、安価な自動車企業であることを人々の心に刻んだ印象があった。そこで、奇瑞自動車企業ブランドを向上させるため、また奇瑞自動車が安価な自動車企業のイメージを払拭するため、2009 年、「開瑞」「奇瑞」「瑞麟」「威麟」の四つのブランドを発表した[6]。

３．ファジィ 5F 分析

ポーターの 5F 分析のような定性分析には、ファジィ理論が有効であると考えられる。そして、ファジィ理論を 5F 分析に応用することにより、より会

社の構造が分かり、会社の構築と持続発展を維持できるのではないかと考えている。本論文では、ページ数の関係から、5 つの要因の中から、新規参入の脅威を取り上げて、ファジィ概念を導入する方法について提案する。そして、新規参入の脅威の高・中・低というレベル（Table1）について分析を試みる。

Table1. ファジィルール

新規参入の脅威	入力	①規模の経済性があるか	高	中	低
		②業界で製品の差別化ができているか	高	中	低
		③参入に巨額の投資が必要か	高	中	低
		④仕入先を変えるコストが高いか	高	中	低
		⑤流通チャネルの確保が困難か	高	中	低
		⑥規模とは無関係なコスト面で不利か	高	中	低
		⑦政府の政策に制限や規制があるか	高	中	低
		⑧参入に対して報復が予想されるか	高	中	低
	出力	レベル	高	中	低

5F の新規参入の脅威は、企業が従事する活動によって構成されている[7]。

① 規模の経済性があるか

規模の経済性とは、簡単に言うと、大量生産をすれば製品一つあたりのコストが小さくなるということである。

ポーターがさらに言うには、規模の経済性が働くのは、製造過程だけではないということである。製造、資材搬入、R&D（研究開発）、マーケティング、サービス体制、セールスマンの活用など、ほとんどすべての機能分野に働くと述べている。

② 業界で製品の差別化ができているか

差別化とは、他社にはマネができない要素という意味を表すことである。

③ 参入に巨額の投資が必要か

競争のために巨額の投資を必要とすることは、参入障壁となりうる。

④ 仕入先を変えるコストが高いか

仕入先を変えるコストとは、仕入先を変える際に生じる様々なコストのことである。

⑤ 流通チャネルの確保が困難か

新規参入業者が自社独自の流通チャンネル（流通ルートのこと）を準備していない場合には、この流通チャンネルの確保が参入障壁となりうる。

⑥ 規模とは無関係なコスト面で不利か

既存企業は、規模の経済性以外に、次のような新規参入業者が応戦できないほどのコスト面での有利性を持っている場合がある、とポーターは指摘している。それは、次の 5 点である。1)独占的な製品テクノロジーを持っている。2)原材料が有利に手に入れる。3)立地に恵まれている。4)政府から助成金を得ている。5)習熟または経験曲線の効果。

⑦ 政府の政策に制限や規制があるか

政府の政策も参入障壁となりうるものである。政府は許認可度などで、ある種の産業への参入を制限したり禁止したりする。その他にも、大気や水質の汚染基準、製品の安全性や効能の規制といった統制により、新規参入業者の参入を規制する場合がある。

⑧ 参入に対して報復が予想されるか

これは、次のような場合に、新規参入業者に対する参入障壁が高くなる。1)既存企業が、参入に対し猛烈に報復した記録がある場合。2)既存企業が参入に対抗できる十分な経済資源を持っている場合。3)既存企業がその業界に対して執念を持ち、そのために多額の資本を投入している場合。4)業界の成長がのろく、新規参入業者を吸収するだけの余裕がない場合。

4．ファジィ 5F 分析による奇瑞自動車の分析

ここでは、中国自主自動車企業に対して、ポーターの 5F 分析に基づいて提案したファジィ 5F 分析のひとつの区分として、新規参入の脅威の分析を行う。奇瑞自動車は中国自主自動車の一つであるので、中国自主自動車業界を分析することによって、奇瑞自動車の新規参入の脅威のレベルを明らかにしていく。２章で述べた奇瑞自動車の概要と中国自動車市場の情報の下で、奇瑞自動車に対するファジィ 5F 分析の中の新規参入の脅威の八つの入力値は、以下のように考えられる。

「規模の経済性があるか」の項目に対しては、中国自主自動車業界にとって、脅威のレベルが非常に高いと判断した。理由は以下である。

ポーターによると、規模の経済性が働くのは製造過程だけではなく、すべての機能分野に働くことを述べている。そこで、ブランドの知名度にも関係すると考えられる。会社のブランドが社歴や商品の品質やアフタサービスなどの元で、築き上げるものであると考えられる。

現在、中国自主自動車企業（品質やアフタサービスや社歴など）のブランド力が、国外の大手自動車企業のブランド力より、非常に弱いことが知られている。もし国外の大手自動車企業が中国での現地生産という形の中国進出であれば、成長期に置かれている中国自主自動車企業にとって、大きな脅威になると考えられる。したがって、奇瑞自動車にも大きな影響を与えると言える。

奇瑞自動車企業が設立してから、17 年目になるところであるが、会社の平均寿命が平均で 30 年間であると言われている。普通の考えでは、17 年間の会社の歴史が少し長いと思われるかもしれない。しかし、中国国外の自動車企業の社歴と比べると、奇瑞自動車企業が非常に若い会社であると分かった。いわゆる、国外の大手自動車企業の新規参入が奇瑞自動車企業にとって、大きな脅威になると考えられる。

「業界で製品の差別化ができているか」の項目に

対しては、中国自主自動車業界にとって、脅威のレベルが非常に高いと判断した。理由は以下の通りである。

現在の中国自動車市場には、国外自動車企業、合弁自動車企業と自主自動車企業がある。国外自動車企業と合弁自動車企業の車種の価格設定が高めであり、もちろん装備が多い車種になると、価格がもっと高くなる。そこで、中国自主自動車企業が合弁自動車の価格より低い価格を設定し、車の装備も合弁車より豊富にすると見られる。つまり、安い価格で豊富な装備の車を製造するという差別化戦略をとっていると考えられる。しかし、多くの国外の自動車企業が中国のユーザーのニーズに求めることにより、色々な車種を発売されている。安価な自動車の車種がまだ少ないが、これから低価格の車種にも進出する戦略が見られる。つまり、国外の自動車企業が低価格の車種に進出することにより、中国自主自動車企業に大きな脅威を与えると考えられている。主に低端車を中心にした販売戦略を展開している中国自主自動車業界の奇瑞自動車にとって、大きな脅威になると考えられる。

現在、中国自動車市場においては、国外自動車企業、合弁自動車企業と国内の自主自動車企業を合わせると、数十社にも伸ばしている。中国自動車市場が世界最大の自動車市場に成長してきた同時に、各自動車企業が中国の国内自動車市場シェアを拡大するために、激しい競争戦略を行っている。まさに自動車市場の激戦地と言っても過言ではない。

また、中国中央政府の政策により、厳しい制限を設けられている。新規参入業者にとって、中国自動車市場に進出するのはかなり難しいと考えられる。したがって、「参入に巨額の投資が必要か」の項目について、中国自主自動車業界にとって、脅威のレベルがやや低いと言えることから、奇瑞自動車企業にとって、脅威のレベルが低いと考えられる。

「仕入先を変えるコストが高いか」の項目に対しては、中国自主自動車業界にとって、脅威のレベルが低いと判断した。理由は以下である。

新しい仕入先を変更するには、大きなメリットがない限り変更しないと言える。今まで、中国自主自動車企業が低価格で市場を拡大してきたので、もちろん、コストが徹底されていると考えられる。これ以上に安い価格で市場展開するのが非常に考えにくいものである。いわゆる、仕入先を変更する需要がないため、仕入先を変更するコストが発生しないと考えられる。中国自主自動車業界の奇瑞自動車も同様な考え方になると考えられるので、「仕入先を変えるコストが高いか」の項目に対しては、奇瑞自動車企業にとって、脅威のレベルが低いと言える。

「流通チャネルの確保が困難か」の項目については、中国自主自動車業界にとって、脅威のレベルが低いと判断した。「参入に巨額の投資が必要か」を分析した結果は脅威のレベルが低いとなった。いわゆる、新規参入業者が自動車業界に進出することさえ難しいことから、自動車を運搬するという新たな流通チャンネルを作るのは、かなり容易ではないと言える。奇瑞自動車企業にも影響をあまり与えることがないと考えられる。

「規模とは無関係なコスト面で不利か」の項目については、中国自主自動車業界にとって、脅威のレベルが低いと判断した。

規模の経済性以外に、次ぎの 5 点が既存企業にとって、非常に有利性を持っているとポーターは指摘している。1)独占的な製品テクノロジーを持っている。2)原材料が有利に手に入れる。3)立地に恵まれている。4)政府から助成金を得ている。5)習熟または経験曲線の効果。現在の中国自主自動車企業が主に低端車を製造している。

低端車の研究開発と販売ルートについて、独自のノウハウと技術を持っていると考えられる。原材料または部品の調達については、長年の低端車の製造経験により、かなりコストを徹底されたと考えられる。また、現在中国中央政府が省エネルギー車を推進するために、自動車排気量 1,600cc 以下、またはハイブリッド車と電気自動車に関する自動車を対象に国からの補助を実施するという政策が出されている。1,600cc 以下の自動車は、中国自主自動車企業が大半を占めているので、中国自主自動車企業にとって非常に有利になると考えられる。そして、中国自主自動車業界の奇瑞自動車が地方政府の主導の下で設立されたことから、地方政府からの助成金を得ていると考えられる。

以上の分析によって、中国自主自動車業界にとって、国外の大手自動車企業の新規参入業者からの脅威のレベルが非常に低いと言える。

「政府の政策に制限や規制があるか」の項目については、中国自主自動車業界にとって、脅威のレベルが低いと判断した。理由は以下の通りである。

近年、中国の大気汚染が深刻になっている。特に pm2.5 が非常に酷い状況に置かれている。pm2.5 を発生する原因が自動車の排気ガスや石炭の使用などの原因であると言われている。そこで、中国政府が大気汚染を改善するために、厳しい政策を実施している。もちろん、自動車の設立にも影響を与えると考えられる。

「参入に対して報復が予想されるか」の項目については、中国自主自動車業界にとって、脅威のレベルが低いと判断した。

「参入に対して報復が予想されるか」の項目の中には四つの場合があるが、その中に三番目の場合は中国自主自動車業界との関係があると考えられる。三番目の場合は「既存企業がその業界に対して執念を持ち、そのために多額の資本を投入している場合」である。

現在の中国自動車市場において、各自動車企業の経営・競争戦略によって、激しい競争となっている。仮に新規参入業者が中国自動車市場に進出すれば、中国自主自動車企業が新規参入業者に負けないため、これまで以上の経営戦略や資本の投資などの努力をしなければならないと考えられる。いわゆる、新規参入業者の進出によって、中国自主自動車業界にとって良い刺激を与えて、業界の状況がもっと良くな

るではないかと考えられることから、脅威のレベルが低いと判断した。

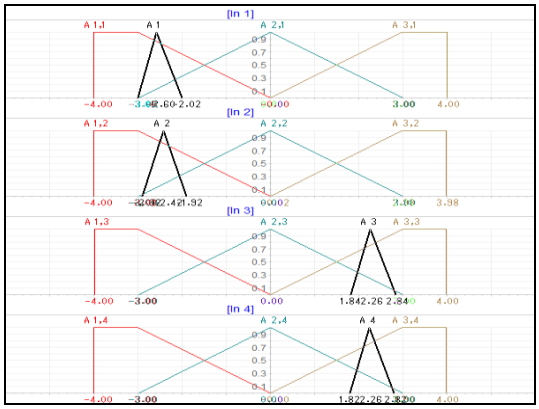


Figure1. 1～4 の項目に対するファジィ入力

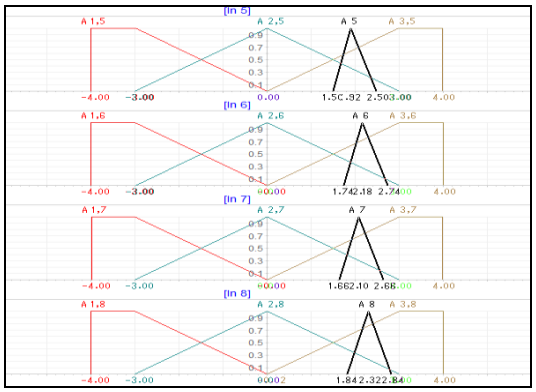


Figure2. 5～8 の項目に対するファジィ入力

以上の８項目の分析（Figure1・Figure2）により、ファジィ推論を行った結果、ファジィ 5F の新規参入の脅威は、奇瑞自動車企業にとって中間レベルの脅威が高いという結果となっている（Figure3）。つまり、現段階では、新規参入の脅威の中には、「規模の経済があるか」と「業界で製品の差別化ができているか」という項目からの脅威が一番高いと分かった。これから、奇瑞自動車にとって、ブランド力を含める新規参入の脅威という外部環境からの脅威を意識しながら、奇瑞自動車企業のブランド力をもっと高めるべきではないかと考えられる。自社自身のブランド力を高めることによって、新規参入の脅威が低くなると言える。

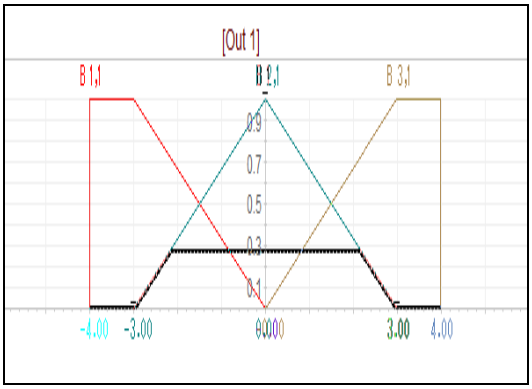


Figure3. ファジィ出力値

５．結び

経済発展が著しい中国では、特に自動車産業が飛躍している。2009 年～2013 年の販売台数はアメリカを抜いて、世界一になっている。各国の自動車企業と中国自主自動車企業が中国自動車市場シェアを拡大するために、激しい経営・競争戦略を行っている。

本論文では、中国自主自動車企業の最大手の一つとして、奇瑞自動車企業を取り上げた。そして、奇瑞自動車企業の歴史、概要をまとめた。また、ファジィ 5F 分析を提案した。このファジィ 5F の新規参入の脅威を用いて、現段階の奇瑞自動車企業が新規参入業者からの脅威について検討した。その結果、奇瑞自動車企業が、外部環境からの脅威レベルが中レベルであったことを明らかにした。

今後は、他の定性的な経営環境分析に、ファジィ理論を応用することで、より有効な経営戦略を策定したい。そのことにより、今後の中国自主自動車の発展に貢献できればと考えている。

参考文献

[1] F.Chen & Y.Kodono : “SWOT Analysis and Five Competitive Forces of Chery Automobile Company” proc. of the 6th SCIS & the 13th ISIS, pp.1959-1962, 2012.

[2]陳・古殿：奇瑞自動車の経営環境分析、日本知能情報ファジィ学会第 23 回ソフトサイエンス・ワークショップ講演論文集、pp.18-21,2013.

[3]S.Ghazinoory, A.E.Zadeh & A.Memariani : “Fuzzy SWOT analysis”, Jour. of Intelligent & Fuzzy Systems 18, pp.99-108, 2007.

[4] ジェイ・B・バーニー（岡田正大訳）:『企業戦略論【上】』ダイヤモンド社、2003 年。

[5]百度百科
http://baike.baidu.com/view/5118.htm?fromId=18907 (2013/02/15)

[6]搜狐汽车
http://auto.sohu.com/20090402/n263157228.shtml (2013/02/15)

[7]グローバルタスクフォース株式会社（著者）:『ポーター教授『競争の戦略』入門』総合法令出版株式会社、2010 年。

連絡先

大阪国際大学大学院経営情報学研究科
陳　法恩(Tel.: 072-858-1616, E-mail: d12m02@oiu.jp)
大阪国際大学ビジネス学部
古殿　幸雄(Tel.: 072-858-1616, E-mail: kodono@oiu.jp)

中国語機能表現の出現パターンに着目した用語抽出

Automatic Term Extraction Based on Appearance Pattern of Chinese Functional Expression

呉　一江　　竹内　和広
WU YIJIANG　　TAKEUCHI KAZUHIRO

大阪電気通信大学大学院工学研究科
Osaka Electro-Communication University, Graduate School of Engineering

Abstract:In this paper,we propose a method of Chinese technical term extraction based on the appearance pattern of Chinese functional expressions. In this method,we combine the shallow parsing with the SPG(sentence pattern grammar) and character based HMM analysis.Because of the feature of its character-based processing, we have achieved that it can work on the small-sized memory compared to the dictionary based processing.

1　はじめに

現在の中国語解析では, 形態素辞書等を利用して獲得した言語モデルを用いて行われることが多い. しかし, 形態素辞書を利用した言語モデルは, 新語や専門用語に対応するために, 常に辞書を更新し続けなければいけないという問題点がある. そこで, 本稿では, 大規模な辞書データを用いず, 少量な文字ベースの情報に基づいて用語抽出を行うことを提案する. 具体的には, 中国語における機能表現の出現パターンにより, 専門用語を含む部分文字列を限定した上で, 文字ベースの連接確立を用い, 用語抽出を試みた.

2　文型パターン文法

2.1　一般の SPG 規則

日本語の文型パターンに対応可能な中国語文型パターンを設計し,SPG(Sentence Pattern Grammar) 規則として用いる. 本研究では中国人が使用する日本語学習教科書「新版標準日本語初級上下冊」を用いる. 教科書の中から日本語の文型に対応する中国語の文型を 336 個を取得した. この教科書により作成した文型パターン文法を一般 SPG (Book-SPG) とする. その一部を表 1 に示す.

表 1: 日中文型の対照

日本語文型	中国語文型
N は N です	～是～
N は N ではありません	～不是～
N の N	～的～
N は N の N です	～是～的～

2.2　専門的な SPG 規則

本研究では, ドメインコーパスを使用し, 専門的な SPG 規則を取得する. 今回はドメインコーパスとして, 中国語のマンガサイト「動漫之家漫画网」の評価レビュー 8874 文を用いる. 機能表現 F のリストは,Book-SPG で文構造を形作ることに役立つ表現を「現代漢語語料庫詞語分詞類頻率表」と照合させ, 著者らが整理した. そして, 機能表現 F のリストを用い, ドメインコーパスから機能表現 F を取り除いて内容表現らしき単語を取り出す. そして, その単語の位置を内容表現記号 C に置き換え, 機能表現 F と内容表現 C の系列を 383 個取得した. この系列を専門的な SPG(F-SPG) とする. その一部を表 2 に示す.

表 2: F-SPG 規則の一部

SPG 規則	個数
C 了	210
C 的 C	187
C 好 C	76
C 是 C	67
C 不 C	39

3　提案アルゴリズム

3.1　SPG による解析部分文字列の限定

SPG による解析部分文字列の限定例を図 1 に示す.

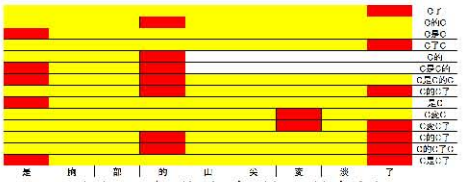


図 1: 部分文字列の限定例

図 1 では, 漢字「是」「的」「変」「了」の部分が機能表現にあたる. これらの部分を取り除き, 残った部分に限定し,SPG 規則と HMM の混合モデルの解析対象とする. 部分文字列の限定法はいくつかの方法があるが, 本稿ではヒューリスティックに, 機能表現部分の数が多く, 候補部分文字列の範囲の合計が最も大きくなる規則によるものを報告する.

3.2　部分解析文字列に対する HMM 解析

本稿では, 形態素解析機の性能が良いであろうニュースの記事で単語分割モデルを作成する. 手順としては以下の通りである.

- ニュースの記事を形態素解析する.
- 形態素解析の結果について以下のラベルを付ける.
  - B:内容語の先頭.
  - C:前の語の続き (複数文字による単語).
  - F:機能語.
  - V:動詞.

- ラベル付けコーパスから 4 隠れ状態の文字列生成モデル (隠れマルコフモデル) を作る.

まずは, ラベル付けコーパスから「B」「C」「F」「V」4 状態の遷移確率を計算する (表 3).

表 3: 状態の遷移確率分布行列

	B	C	F	V
B	P(B|B)	P(B|C)	P(B|F)	P(B|V)
C	P(C|B)	P(C|C)	P(C|F)	P(C|V)
F	P(F|B)	P(F|C)	P(F|F)	P(F|V)
V	P(V|B)	P(V|C)	P(V|F)	P(V|V)

そして, それぞれの状態から, ある漢字がをこの状態に属する確率, 観測確率を計算する (表 4).

表 4: 状態からの観測確率分布行列

	B	C	F	V
漢 i	P(漢 i|B)	P(漢 i|C)	P(漢 i|F)	P(漢 i|V)
漢 j	P(漢 j|B)	P(漢 j|C)	P(漢 j|F)	P(漢 j|V)
漢 l	P(漢 l|B)	P(漢 l|C)	P(漢 l|F)	P(漢 l|V)
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

最後に, 文頭に「B」「C」「F」「V」4 状態のどれが来るかという初期状態の確率を計算する (表 5). 文頭は「BOS」で表す.

表 5: BOS からの初期状態の確率分布

	B	C	F	V
P	P(B|BOS)	P(C|BOS)	P(F|BOS)	P(V|BOS)

図 1 のように, 限定した部分は文頭「BOS」から始まるものだけではない. この場合は, 初期状態の確率を取る時, 文頭「BOS」からだけではなく, 機能表現「F」から始まるものも考える必要がある. F を開始前の初期状態とする確率は,SPG の解析文字列限定により具体的な文字を使うことが可能だが, 本稿では SPG による限定位置により初期状態は BOS あるい F のみとする.

ある観測値「漢 i」から次の観測値「漢 $i+1$」までの確率は図 2 に示す.

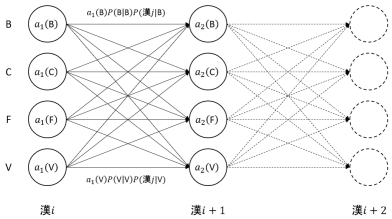


図 2: 2 観測値フォワードトレリス

ルートの選択には, ビタビアルゴリズムを用いる. ビタビアルゴリズムはたくさんの観測値の遷移ルートから最も確率が大きいルートを選び出してくれる.

4 実験

4.1 形態素解析との精度比較

従来手法の形態素解析と二種類の SPG 規則との精度比較をする. 形態素解析に ICTCLAS という中国語形態素解析ツールを用いる. 比較結果を図 3 に示す.

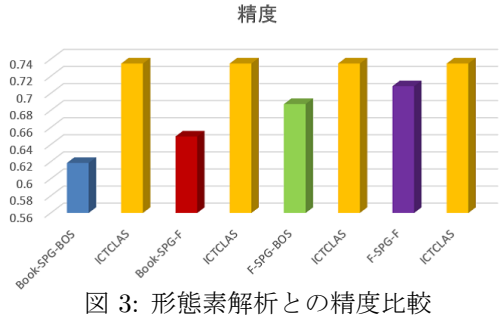


図 3: 形態素解析との精度比較

4.2 SPG の採用数に対する精度変化

一般の SPG 規則 (Book-SPG) は教科書的難易度の低い方から高い順「100 個」「200 個」「300 個」「全部」である. 専門的な SPG 規則 (F-SPG) は取得した頻度の高い方から低い順「100 個」「200 個」「300 個」「全部」で, 精度の変化を見る. 結果を図 4 に示す.

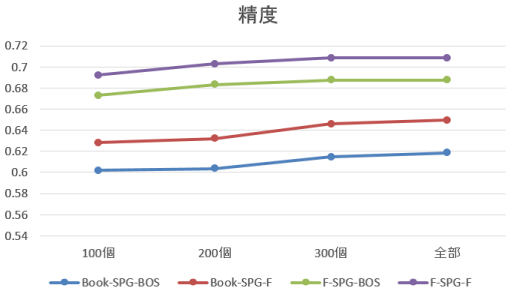


図 4: SPG の採用数に対する精度変化

5 結論

SPG を使って固有表現抽出を試み, 一般的な形態素解析の精度には及ばないものの, 一定の精度で抽出可能であることを示した. 本研究の提案では形態素解析に比べ圧倒的に内部状態数が少なく, 単語の辞書を持たず, 漢字に対しての観測確率のみを保持するため, メモリ使用量が少ないという特徴を持つ. また, 文に対して SPG がどのように適用されるかを分析し, 解析候補の部分文字列を限定することを利用していることが特徴である. このように本研究では,SPG の種類や数をどの程度持たせることが解析精度に貢献するかを評価し, 小規模なテキスト解析において, 辞書を作らずとも一定の精度で言語処理を行う可能性を示した.

参考文献

[1] 王 向莉, 宮尾 祐介, 李 元. 文構造文法に基づいた中国語文法資源 CSSG およびその特許分野での応用. 言語処理学会. Vol.18, C4-1, NLP2012, pp.943-946, March 2012.

[2] Hua-Ping Zhang and et al. Hhmm-based chinese lexical analyzer ictclas. In Proc. of the 2nd SIGHAN workshop on Chinese language processing - Vol 17, pp. 184-187, 2003.

[3] 人民教育出版社 光村図書出版株式会社. 新版中日交流標准日本語初級上, 下. 人民教育出版社, 2005.

[4] 現代漢語語料庫詞語分詞類頻率表. http://www.cncorpus.org/.

クリスプおよびファジィ粒状階層構造における マルチ集合に関する一考察

A Consideration on Multisets in Crisp and Fuzzy Granular Hierarchical Structures

○村井 哲也	宮本 定明	乾口 雅弘	工藤 康生	赤間 世紀
○Tetsuya Murai	Sadaaki Miyamoto	Masahiro Inuiguchi	Yasuo Kudo	Seiki Akama
北海道大学	筑波大学	大阪大学	室蘭工業大学	C-リパブリック
Hokkaido Univ.	Univ.of Tsukuba	Osaka Univ.	Muroran IT	C-Republic

1. はじめに

記号 (アルファベット) の集合を U とする．U の要素から作られる有限列における各要素の出現回数および出現／非出現を使って，それぞれ，U 上のマルチ集合や通常の部分集合を有限列の同値類として表現できる．出現回数および出現／非出現はそれぞれ全射準同型写像で表現でき，図 1 の構造が生成される．これを文献 [5] で粒状階層構造と呼んだ．

しかし，この構造は真理値集合 (この場合は $2 = \{0, 1\}$) が明示的に表現されていないため，ファジィ集合などを考察の対象とできない．そこで，本論文では真理値集合を明示的に表現する構造を考え，2 の場合をクリスプ粒状階層構造，$I = [0, 1]$ の場合をファジィ粒状階層構造を名づけ，それらの性質のいくつかを検討する．

U を記号の全体集合とする時，本稿で扱う対象の集合を以下に挙げる：

(i) 有限文字列

$$U^* \stackrel{\text{def}}{=} \sum_{n\in\mathbb{N}} U^n,\ (U^0 = \{\varepsilon\},\ \varepsilon \text{ は空列．})$$

(ii) 部分集合

$$P(U) \stackrel{\text{def}}{=} \{X \mid X \subseteq U\}$$

(iii) マルチ集合

$$M(U) \stackrel{\text{def}}{=} \mathbb{N}^U = \{\tilde{\chi} \mid \tilde{\chi} : U \to \mathbb{N}\}$$

(iv) ファジィ集合 [8]

$$F(U) \stackrel{\text{def}}{=} I^U = \{\mu \mid \mu : U \to I\}$$

(v) ファジィマルチ集合 [7]

$$FM(U) \stackrel{\text{def}}{=} M(I)^U = \{\tilde{\mu} \mid \tilde{\mu} : U \to M(I)\}$$

注 1.1. U が無限集合である場合は対象とする要素の台は有限とする．従って，U が有限な場合に比べて，代数的性質は弱くなる．例えば，べき集合の場合は有限部分集合だけを扱うことを意味し，$P(U)$ はブール代数とはならない [1].

注 1.2. 部分集合はその特性関数と同一視される：

$$P(U) \cong 2^U = \{\chi \mid \chi : U \to 2\},\ (2 = \{0, 1\}).$$

ここでは，部分集合は属さない要素についての明示的記述はないが，しかし，特性関数は属さない要素に対して，明確に値 0 を付する点を注意しておく．

2. 基本粒状階層構造

本節では文献 [5] で著者らが提案した粒状階層構造の概要を説明する．この構造は真理値集合が明示されてないので，本論文では「基本」粒状階層構造と呼ぶ．

U の要素 x が有限列 $s \in U^*$ に出現する回数 $ct^*(x, s)$ を与える関数を仮定する：

$$ct^* : U \times U^* \to \mathbb{N}$$

有限列の集合 U^* は文字列の連接 $\bullet$ を 2 項演算とし，空列 ε を単位元とするモノイド (自由モノイド) である．また，マルチ集合のクラス $M(U)$ には値域 $\mathbb{N}$ の順序 $\leq_{\mathbb{N}}$ に基づく自然な順序が

$$\tilde{\chi} \subseteq_M \tilde{\chi}' \stackrel{\text{def}}{\Leftrightarrow} \forall x \in U\ (\tilde{\chi}(x) \leq_{\mathbb{N}} \tilde{\chi}')$$

によって導入される．この順序に関する 2 つのマルチ集合の上限と下限が存在し，それぞれマルチ集合の和集合 $\sqcup_M$・積集合 $\sqcap_M$ となる：

$$(\tilde{\chi} \sqcup_M \tilde{\chi}')(x) \stackrel{\text{def}}{=} \max(\tilde{\chi}(x), \tilde{\chi}'(x))$$

$$(\tilde{\chi} \sqcap_M \tilde{\chi}')(x) \stackrel{\text{def}}{=} \min(\tilde{\chi}(x), \tilde{\chi}'(x))$$

[1] この理由から，べき集合の慣用記号 $\mathfrak{P}(U)$ 等を使っていない．

これらの演算により，$M(U)$ は分配束となるが，更に，加法演算

$$(\tilde{\chi} +_M \tilde{\chi}')(x) \stackrel{\text{def}}{=} \tilde{\chi}(x) +_{\mathbb{N}} \tilde{\chi}'(x)$$

を定義でき，$\sqcup_M$，$\sqcap_M$ それぞれと分配性を満たすので，分配束モノイドとなる．

集合 U^* から $M(U)$ への写像 $m : U^* \to M(U)$ を

$$m(s)(x) \stackrel{\text{def}}{=} ct^*(x, s)$$

で定義すると，写像 m は U^* 上の連接演算 $\bullet$ をマルチ集合間の加法演算 $+^M$ に保存する全射準同型写像であり，$U/\sim_m$ 上の和集合・積集合に対応する演算も定義され，それも含めて，次の同型が成り立つ：

$$U^*/\sim_m \cong M(U).$$

この結果，任意の U 上のマルチ集合 $\tilde{\chi}$ に対して，ある有限文字列 $s_{\tilde{\chi}} \in U^*$ が存在して，次が成り立つ：

$$\tilde{\chi} = [s_{\tilde{\chi}}]_m$$

次に，集合 $M(U)$ から $P(U)$ への写像 $p : M(U) \to P(U)$ を

$$p(\tilde{\chi}) = p([s_{\tilde{\chi}}]) \stackrel{\text{def}}{=} \{x \in U \mid ct^*(x, s_{\tilde{\chi}}) > 0\}$$

で定義すると，写像 p は $M(U)$ 上の和集合演算 $\sqcup_M$・積集合演算 $\sqcap_M$ を通常の集合に対する和集合演算 $\cup$・積集合演算 $\cap$ に保存する全射準同型写像であり，$M(U)/\sim_p$ 上の和集合・積集合に対応する演算も定義され，それも含めて，次の同型が成り立つ：

$$M(U)/\sim_p \cong P(U).$$

この結果，U 上の任意の部分集合 X に対して，ある有限文字列 $s_X \in U^*$ が存在して，次が成り立つ：

$$X = [[s_X]_m]_p$$

なお，p によって加法演算 $+^M$ も和集合演算 $\cup$ に保存される．

以上の結果を図示したのが図 1 であり，これを基本粒状階層構造と呼ぶ．

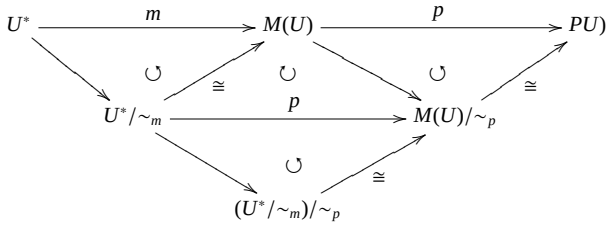


図 1: 基本粒状階層構造．

3. クリスプ粒状階層構造

前節で説明した基本粒状階層構造はクリスプな集合やマルチ集合を有限文字列を使って表現する構造であり，対象の真理値は 2 値 ($2 = \{0, 1\}$) である．しかし，ファジィ集合やファジィ・マルチ集合を対象とするならば，真理値集合は $I = [0, 1]$ であり，基本構造では扱えない．そこで，本節では

$$P(U) \cong 2^U$$
$$2^U \subset P(U \times 2)$$

の 2 点に着目し，べき集合の上位集合を構成するモノイド $U\times 2$ に関して考察する．基本粒状階層構造における U 自体はどのような集合でもよいので，特に $U \times 2$ についても同様の構造が生成され，図 2 に示す．これをクリスプ粒状階層構造と呼ぶ．

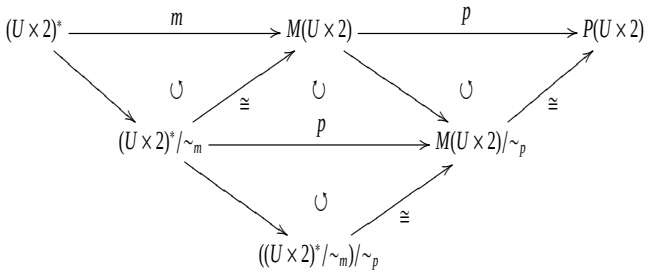


図 2: クリスプ粒状階層構造．

写像は決定的かつ連鎖的な 2 項関係である．それぞれ，U から 2 への 2 項関係 R に対して定義すると以下となる：

$$R(\subseteq U \times 2) : \text{決定的}$$
$$\stackrel{\text{def}}{\Leftrightarrow} \forall x \in U\ \forall y \in 2\ \forall z \in 2\ ((xRy \wedge xRz) \to y = z),$$
$$R(\subseteq U \times 2) : \text{連鎖的}$$
$$\stackrel{\text{def}}{\Leftrightarrow} \forall x \in U\ \exists y \in 2\ (xRy).$$

U から 2 への決定的および連鎖的な 2 項関係のクラスをそれぞれ，$Det(U\times 2)$，$Ser(U\times 2)$ で表せば，以下が成り立つ： $2^U = Det(U\times 2) \cap Ser(U\times 2)$ $(\subset P(U\times 2))$. $P(U\times 2)$ におけるこの構造を図 3 に示す [2].

[2] 一般に，2 項関係 $R \in P(U\times 2)$ の値域は $2^2 = \{\{0, 1\}, \{1\}, \{0\}, \emptyset\} (\cong 2 \times 2)$ であるので，U における 4 値を取りうる部分集合である:

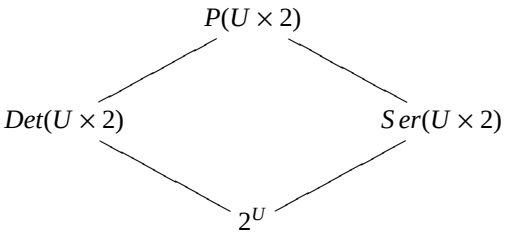


図 3: $P(U\times 2)$ の部分構造.

ところが，$M(U\times 2)$ について同様に決定的かつ連鎖的な部分クラスは $M(U)$ とならず，次の等式が成り立つ：

$$(\mathbb{N}\times\{0\}\cup\{0\}\times\mathbb{N})^U = Det(M\times 2)\cap Ser(M\times 2).$$

左辺は各要素 $x\in U$ に対して，属する回数または属さない回数を与える．通常のマルチ集合は属さない回数はカウントしない．しかし，2^U の要素である特性関数は属する要素に 1，属さない要素に 0 を与えるので，準同型写像 p の意味で上式左辺に対応する．

以上の結果を図 4 に示す.

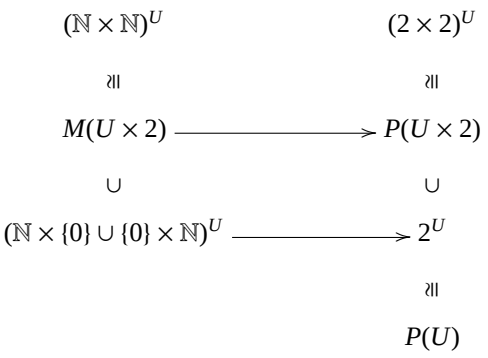


図 4: クリスプ粒状階層構造における決定的かつ連鎖的な部分クラス.

では，$M(U)$ はクリスプ粒状階層構造のどこに位置づけられるのであろうか．ここで，

(i) $(\mathbb{N}\times\{0\}\cup\{0\}\times\mathbb{N})^U$ は 2^U に，$M(U)$ は $P(U)$ に対応すること．

(ii) 2^U では属さない要素に 0 を明示的に付与し，$P(U)$ では属さない要素は明示的には扱わないこと．

(iii) $(\mathbb{N}\times\{0\}\cup\{0\}\times\mathbb{N})^U$ では属する回数または属さない回数を与え，$M(U)$ では属さない回数はカウントしないこと．

の 3 点に注意して，列レベルでタプルの第 2 項が 0 であるとき，空列 ε に置き換える，という操作 (cf.[4]) を考え，グレード 0 の空列化と呼ぶ．対象とする各種集合のクラス C に対して，空列化を施した結果を C^ε と書くとき，図 5 のように縮退する．この結果から，属さないカウントの相違を無視し，「属することが 0 回」としたのがマルチ集合であることが分かる．

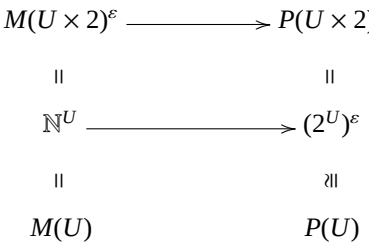


図 5: クリスプ粒状階層構造におけるグレード 0 の空列化.

4. ファジィ粒状階層構造

前節の 2 を単位閉区間 $I=\{0,1\}$ で置き換えれば図 6 に示すファジィ粒状階層構造を得る.

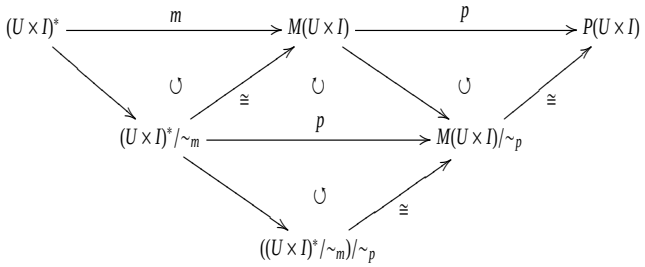


図 6: ファジィ粒状階層構造.

U 上のファジィ集合のクラス $F(U)=I^U$ を得るためにはクリスプの場合と同様に，決定的かつ連鎖的な部分クラス [3] を考えればよい：

$$F(U)=I^U=Det(U\times I)\cap Ser(U\times I)\ (\subset P(U\times I)).$$

$P(U\times I)$ の部分構造を図 7 に示す.

マルチ集合についても同様の部分構造を導入したのが図 8 である．図 8 の構造は真理値集合が I なので，グレード 0 の空列化を施しても大きな縮退はない.

$P(U\times 2)\cong(2^2)^U$ $(\cong(2\times 2)^U)$. その部分クラスである $Det(U\times 2)$ と $Ser(U\times 2)$ は古典的真理値 $\{0\}$, $\{1\}$ に加えて，それぞれ'undefined'$(=\emptyset)$ と'unknown'$(=\{0,1\})$ を取りうる 3 値の部分集合である.

[3] クリスプの定義で 2 を I に置き換えればよい.

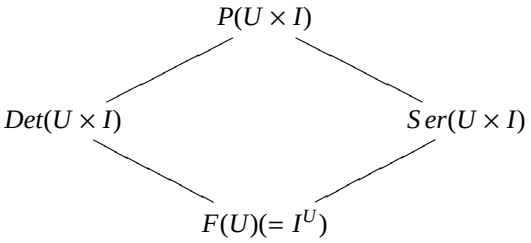


図 7: $P(U \times I)$ の部分構造.

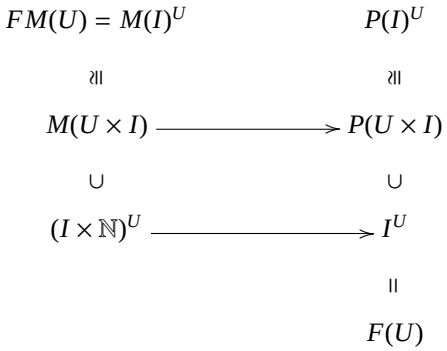


図 8: ファジィ粒状階層構造における決定的かつ連鎖的な部分クラス.

本図と縮退したクリスプの場合の図 5 を比較すると，マルチ集合のクラスとファジィマルチ集合のクラスの位置づけが異なることが分かる．すなわち，図 5 では，マルチ集合のクラスはクリスプ集合のクラスの左隣に位置するが，図 8 において，ファジィマルチ集合のクラスはファジィ集合のクラスの左隣から更に上位に 1 段昇った位置にある．したがって，$FM(U)$ と $F(U)$ の間の構造として二つの構造 $(I \times \mathbb{N})^U$ と $P(I)^U$ が存在することが分かる．$(I \times \mathbb{N})^U$ では各要素に一つのグレードに関するカウントが付与され，$P(I)^U$ では複数のグレードがカウント 1 で付与されている．以上から，両方の性質を同時に持つのが Yager のファジィマルチ集合であることが分かる．

5. おわりに

今後の課題として，まず，理論面では束 L に対する構造 (図 9) を考え，種々の集合概念を L-(ファジィ) 集合 [1] および L-マルチ集合の下に位置づけることで，何が見えてくるか，に関して興味がある．

次に，応用として，マルチ集合の上位クラスである $M(U \times 2)$ $(\cong (\mathbb{N} \times \mathbb{N})^U)$ をデータ分析に使えないか検討中である．例えば，会議の出欠データの場合，属す／属さないの両方がカウントされ，しかも人によって出席すべき会議の数が違う場合，このクラスになると考えられる．

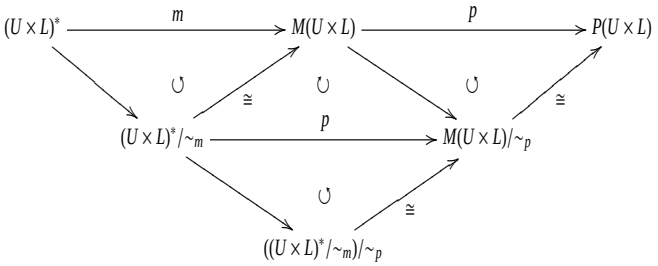


図 9: L-粒状階層構造.

氏名／会議	3/15	3/22	3/29	4/6	カウント
A	○	○	○	×	(3,1)
B	−	×	○	−	(1,1)
C	○	○	−	○	(3,0)

謝辞 本研究の一部は日本学術振興会科学研究費挑戦的萌芽研究 24650099 の援助を受けた．.

文献

[1] Goguen, J.A. (1967): L-fuzzy Sets, J. Mathematical Analysis and Applications 18(1), 145174.

[2] 宮本定明 (1996): ファジィマルチ集合の基本演算について．日本ファジィ学会誌, 8(4), 639-645.

[3] S.Miyamoto (2004): Generalizations of Multisets and Rough Approximations, International Journal of Intelligent Systems, 19, 639-652.

[4] 村井哲也, 宮本定明, 乾口雅弘, 工藤康生, 赤間世紀 (2011): 自由モノイドから見た [ファジィ][マルチ] 集合〜「属さない」は単位元？〜, 第 27 回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, 438-443.

[5] Murai, T., Miyamoto, S., Inuiguchi, M., Akama, S.(2012): Granular hierarchical structures of finite naïve subsets and multisets, *Int. J. Reasoning-based Intelligent Systems*, **4**, 118–128.

[6] Murai, T., Miyamoto, S., Inuiguchi, M., Kudo, Y., Akama, S. (2013): Fuzzy multisets in granular hierarchical structures generated from free monoids. V.Torra et al. (eds.): MDAI2013, LNAI 8234, Springer, 248-259, 2013.

[7] Yager, R.R. (1986): On the Theory of Bags, International Journal of General Systems, 13, 23-37.

[8] Zadeh, L.A. (1965): Fuzzy Sets, Information and Control, 8, 338-353.

連絡先

村井 哲也
E-mail: murahiko @ ist.hokudai.ac.jp

複数の想起画像の EEG による判別

Discrimination for Recalling Images by Use of EEGs

山ノ井髙洋
Takahiro Yamanoi
北海学園大学
Hokkai-Gakuen University

豊島　恒
Hisashi Toyoshima
ジャパンテクニカルソフトウェア
Japan Technical Software

大槻美佳
Mika Otsuki
北海道大学
Hokkaido University

大西真一
Shin-ichi Ohnishi
北海学園大学
Hokkai-Gakuen University

山﨑敏正
Toshimasa Yamazaki
九州工業大学
Kyushu Institute Technology

菅野道夫
Michio Sugeno
ソフトコンピューティングヨーロッパ研
European Centre
for Soft Computing

Abstract: The authors measured electroencephalograms (EEGs) from subjects on recalling several types of images presented on CRT. Each presented image consisted of four types or ten types of line drawings of body part, tetrapod, home appliance, and fruits. The canonical discriminant analysis was applied to these single trial EEGs. Four channels of EEGs at the right frontal and temporal were used in the discrimination. They were Fp2, F4, C4 and F8 according to the international 10-20 system. Sampling EEGs were taken from 400ms to 900ms at 25ms intervals. Also, data were resampled -1ms and -2ms backward. The number of variates is twenty one by four; so the data were eighty four dimensional vectors and number of the data was three hundred and sixty. Results of the canonical discriminant analysis by use of so called jack knife method were greater than 95 % in case of four types, and in case of ten types were almost 80% . These results were improved from our precedent research.

１．はじめに

ヒト脳機能に関する様々な研究によると，視覚刺激に関する処理は後頭葉でなされ，高次処理の機能は左脳と右脳とで分化されていると言われる．著者らは先行研究[1][2]等において言語および空間認知に関する脳活動部位の推定を行い，詳細な時空間的脳活動のモデルを得た．さらに逆の向きに直線移動する視覚刺激に対する脳活動の比較の結果，ERP のピークで極性が逆であること（図 1），また高次脳活動での中前頭回での脳活動を確認した[3].

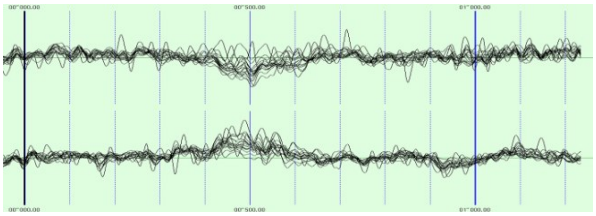


図 1　Comparison between ERPs in imaging Right- ward (Upper) and Leftward (Lower) in case of Kanji.

また，著者らは先行研究[6]において，被験者が向きを示す単語（漢字：上，下，左，右）および記号（矢印：↑，↓，←，→）を観察および黙読する際の脳波（electroencephalograms: EEG）を計測し，等価電流双極子推定（equivalent current dipole source localization: ECDL）法（SynaCenterPro：NEC Corporation）を試み，脳活動の時空間的な比較を行った．この結果，黙読時に潜時 400 ミリ秒前後で漢字と矢印とで共通した脳活動が前頭葉で観察された．

上述のように，これらの潜時で逆の向きを示す視覚刺激に対して得られた事象関連電位（event-related potential: ERP）を比較した結果，ERP のピーク極性が反転していることを確認した結果（図１）より，著者らは，ピーク極性の反転により，被験者がイメージした矢印の種類を判別できると考え，ブレイン・コンピュータ・インタフェース（brain computer interface: BCI）への応用を試みた[3]．その結果，全被験者で 80%程度の判別率を得た．しかしながら，この学習データには判別すべきデータ自身が含まれていた．

著者らが着目した中前頭回は，ワーキングメモリの「中央実行系」と飛ばれる機能に関係していることが，病巣研究および機能画像（fMRI）などから明らかになっている．ワーキングメモリの中央実行系とは，外界の情報の取捨選択，一時的な保持，後続する他の機能への指令，その結果の評価，先に一時的に保存していた情報の消去の決定と指令等，いわば，高次の脳機能の司令部の役割をしているシステムと想定されている．

本研究では，判別率向上を目指し，潜時 400 ミリ秒以降の部分で矢印の 4 タイプの判別に有効なチャネルを探り，上前頭回に対応する 4，6，12ch に加え 2ch を追加し 4ch の信号を利用した．サンプリング潜時と間隔は先行研究[10]と同様とし，400 ミリ秒から 900 ミリ秒までの EEGs を 25ms 間隔でサンプリングし，さらに-1ms，-2ms スライドして同様に 25ms 間隔でサンプリング，合計 360 個の 84 次元ベクトル空間の多変量データとした．このことにより，ジャックナイフ統計（クロスバリデーション）

を試みた際の判別率低下を防いでいる．このデータに対し，多変量統計的データ解析の一手法である 4 群に対する正準判別分析を試みた．この結果，2 名の被験者に対して 95%以上の判別率を得た．

２. 判別用 EEG データの前処理

著者らは従来 EEG 計測において，国際 10-20 法に基づいた 19ch で計測を行い，得られた EEG に等価電流双極子推定法を適用し，脳内処理の時空間的推移を明らかにしてきている．しかし，BCI の目的には，19ch のデータ全てを判別に使用することは効率的でない．著者らの一連の BCI 先行研究においては，ERP のピーク極性反転と中前頭回活動の関連性が示されたことに着目した（図 1）．これにより，判別に用いた EEGs のチャネルは中前頭回に対応する Fp2，F4，C4，F8 の 4ch 分とした．本研究で新たに提示画像として用いた身体部位と四足動物の線画の一例を図 2 と図 3 に示す．さらに身体部位画像の想起実験で得られたシングルトライアル EEG データの例を図 5 に示す．

上述のチャネル選択に従い，シングルトライアル EEGs の 400 ミリ秒から 900 ミリ秒の間を 25 ミリ秒間隔でサンプリングし，各チャネルから 21 個の要素を抽出した．さらに，これらを 1 トライアルごとに横 1 列のデータとし，84 次元のベクトルデータとした．EEGs 本来は時系列データであるが，今回の解析ではチャネルごとに 21 点のデータが順不同で対応しているとみなした．したがって，1 つのシングルトライアル EEGs が 84 次元データに対応する．これをデータ 1 と呼ぶ．

図 2　Presented example images for body part

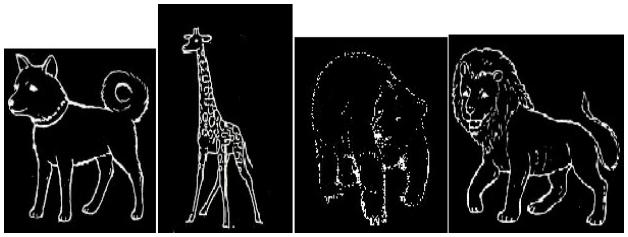


図 3　Presented example images for tetrapod

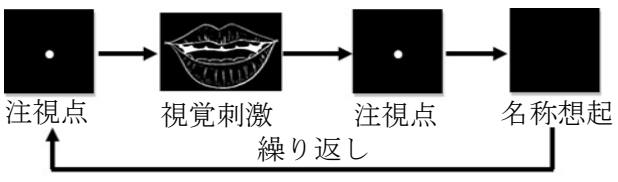


図 4　Flowchart of experiment

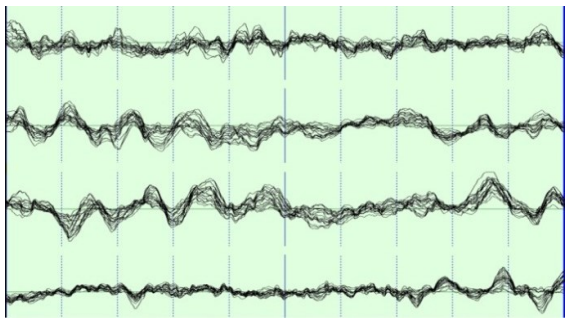


図 5　Single trial EEGs according to body parts (from the top, “mouth”, “finger”, “ear” and “foot”).

本研究では，いわゆるジャックナイフ（クロスバリデーション）法を適用するため，不偏性を保証する目的で，データを増やすことを考えた．したがって，データ 1 のサンプリング時点を-1 ミリ秒前方にずらして，25 ミリ秒間隔でサンプリングを行った．これをデータ 2 とする．さらに-1 ミリ秒前方にずらし，同様 25 ミリ秒間隔でサンプリングを行い，これをデータ 3 とする．これらをデータ 1 に加え，データ数をデータ 1 単独の 3 倍の 360 個，84 次元ベクトルデータとした．

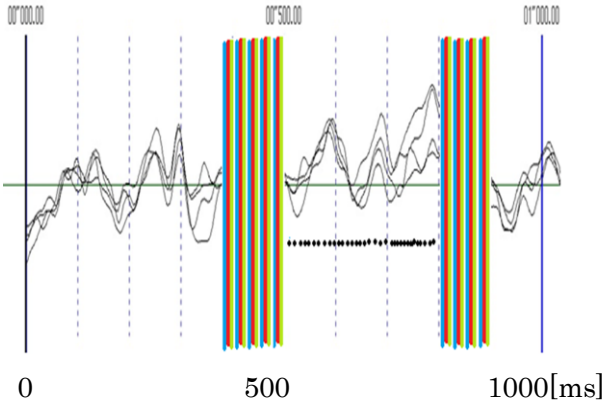


図 6　Data sampling from single-trial data

３. 処理 EEG データへの正準判別分析

使用したデータは，正常な視覚を有する 22 歳の被験者男子 HF と YN，女子 YS に対して，提示された線画を想起時の EEG を計測したものである．なお，全員の利き手は右であった．また，いくつかの実験は，データの再現性を確認する目的から，日を改めて合計 2 回実験を行っている．これらは HF1 と HF2，YN1，YN2 と区別する．提示画像は，4 種類の身体部位，四足動物，10 種類の四足動物，家電製品，果物である．10 種類の提示画像実験データは，YS に対して別の目的で行ったものを流用した．それぞれのデータに対し 84 個の説明変量を持つ 360 個のデータとして，4 群あるいは 10 群に対する正準判別分析を試みた．この際に，ジャックナイフ統計法をそれぞれのデータに対して行った．この結果，いずれの被験者に対しても 4 種類の想起に関しての判別率が 95%以上，10 種類の想起に関してもほぼ 80%となる結果を得た．

表 1 Example of result of the discriminant analysis for body part (Discriminant ratio 97.50% Subject HF1)

Obs./Pred.	mo	fin	ear	foot	Total
mouth	59	0	0	1	60
finger	0	60	0	0	60
ear	1	0	57	2	60
foot	0	0	2	58	60
Total	60	60	59	61	240

表 2 Example of result of the discriminant analysis for body part (Discriminant ratio 99.17% Subject HF2)

Obs./Pred.	mo	fin	ear	foot	Total
mouth	59	0	0	1	60
finger	0	60	0	0	60
ear	0	0	60	0	60
foot	0	1	0	59	60
Total	59	61	60	60	240

表 3 Example of result of the discriminant analysis for body part (Discriminant ratio 100.00% Subject YN1)

Obs./Pred.	mo	fin	ear	foot	Total
mouth	60	0	0	0	60
finger	0	60	0	0	60
ear	0	0	60	0	60
foot	0	0	0	60	60
Total	60	60	60	60	240

表 4 Example of result of the discriminant analysis for body part (Discriminant ratio 98.75% Subject YN2)

Obs./Pred.	mo	fin	ear	foot	Total
mouth	59	0	0	1	60
finger	2	58	0	0	60
ear	0	0	60	0	60
foot	0	0	0	60	60
Total	61	58	60	61	240

表 5 Example of result of the discriminant analysis for tetrapod (Discriminant ratio 96.67% Subject HF)

Obs./Pred.	dog	gir	bear	lion	Total
dog	59	0	0	1	60
giraffe	0	56	1	3	60
bear	0	0	60	0	60
lion	0	3	0	57	60
Total	59	59	61	61	240

表 6 Example of result of the discriminant analysis for tetrapod (Discriminant ratio 98.33% Subject YN)

Obs./Pred.	do	gir	be	lio	Total
dog	59	0	1	0	60
giraffe	1	59	0	0	60
bear	0	0	60	0	60
lion	0	1	1	58	60
Total	60	60	62	58	240

表 7 Example of result of the discriminant analysis for ten tetrapods (Discriminant ratio 77.10% Subject YS)

Obs./Pred	Dog	Cow	Hor.	Gir.	Bea.	Rhi.
Dog	17	2	1	0	0	1
Cow	0	19	3	1	0	0
Horse	0	1	20	2	1	0
Giraffe	0	1	0	20	1	0
Bear	0	0	0	0	19	0
Rhino	0	0	0	0	1	20
Deer	0	1	2	0	3	1
Sheep	0	1	2	0	0	1
Lion	0	2	1	1	0	0
Camel	0	1	3	0	1	0
Total	17	28	32	24	26	23
Obs./Pred	Dee.	Shr.	Lio.	Ca..	Tot	-
Dog	3	0	0	0	24	-
Cow	1	0	0	0	24	-
Horse	0	0	0	0	24	-
Giraffe	0	0	1	1	24	-
Bear	1	0	4	0	24	-
Rhino	1	1	1	0	24	-
Deer	17	0	0	0	24	-
Sheep	2	18	0	0	24	-
Lion	1	0	18	1	24	-
Camel	1	0	1	17	24	-
Total	27	19	25	19	240	-

表 8 Example of result of the discriminant analysis for ten home appliances (Discriminant ratio 80.40% Subject YS)

Obs./Pred	Iron	Toa.	Dry.	Sew	Rice	Fan
Iron	19	0	2	1	0	0
Toaster	0	19	1	0	2	0
Dryer	0	0	18	0	3	0
Sewing M.	0	0	1	21	1	0
Rice Cook.	0	0	1	0	18	0
Fan	0	0	1	1	1	19
Wash. M.	0	1	0	0	2	1
Vacuum	0	0	3	0	1	0
Range	0	0	1	0	1	1
Refrigerat.	0	0	0	0	2	1
Total	19	20	28	23	31	21
Obs./Pred	Was	Vac	Ran	Ref.	Tot	-
Iron	2	0	0	0	24	-
Toaster	2	0	0	0	24	-
Dryer	2	0	1	0	24	-
Sewing M.	1	0	0	0	24	-
Rice Cook.	5	0	0	0	24	-
Fan	1	0	1	0	24	-
Wash. M.	20	0	0	0	24	-
Vacuum	1	19	0	0	24	-
Range	1	0	20	0	24	-
Refrigerat.	1	0	0	20	24	-
Total	36	19	22	20	240	-

表 8 Example of result of the discriminant analysis for ten fruits (Discriminant ratio 77.10% Subject YS)

Obs./Pred	Str.	Per.	Ch.	Wm	Pin.	Ban
Strawberry	18	1	1	0	1	1
Persimmon	0	18	0	0	2	0
Cherry	1	0	20	0	0	0
Watr. Mel.	1	2	0	16	1	1
Pineapple	5	0	0	0	17	0
Banana	0	0	0	0	2	18
Grape	2	0	0	1	1	0
Melon	1	1	0	0	0	0
Peach	1	1	1	0	0	0
Apple	1	0	0	0	1	0
Total	30	23	22	17	25	20
Obs./Pred	Grp	Mel.	Pea.	App	Tot	-
Strawberry	1	0	0	1	24	-
Persimmon	2	0	0	2	24	-
Cherry	0	0	0	3	24	-
Watr. Mel.	1	0	1	1	24	-
Pineapple	0	0	0	2	24	-
Banana	3	0	0	1	24	-
Grape	19	0	1	0	24	-
Melon	2	19	0	1	24	-
Peach	1	0	20	0	24	-
Apple	4	0	0	18	24	-
Total	33	19	22	29	240	-

４．おわりに

使用したデータは本研究では，提示されたさまざまな線画を想起する際の被験者の EEG を計測した．計測後の EEG の 2(Fp2), 4(F4), 6(C4), 12(F8)チャネルに着目し，従来矢印(上，下，左，右)黙読時の EEG に対して，BCI の応用で試みてきた正準判別分析法を適用した．

潜時 400 ミリ秒から 900 ミリ秒までの EEG を 25 ミリ秒間隔でサンプリングし，4 チャネル分をならべ，84 変量のベクトル空間の多変量データとした．

正準判別分析法にジャックナイフ法を適用すると，一般に判別率が悪化することから，これに対処するため学習データの数の増加を試みた．計測したシングルトライアル EEG データをさらに 399 ミリ秒から 899 ミリ秒までを同様にサンプリング，さらに 388 ミリ秒から 898 ミリ秒まで同様にサンプリングし，データ数を 3 倍とした．このデータに対し，多変量統計的データ解析の一手法である正準判別分析を試みたところ 4 種類の想起時 EEG の判別率はすべて 95%以上であった．さらに一人の被験者のみではあるが 10 種の想起時 EEG の判別率はほぼ 80%であった．

この結果，4 パターンの線画画像の名称想起に関しては，それぞれ 30 回の想起時の EEG 計測を行えば，その学習データで 95%以上の判別率で何を想起したか推定が可能となり，10 パターンの線画に関しても 80%近くの判別率で推定が可能となる．

参考文献

[1]T. Yamanoi, T. Yamazaki, J. L. Vercher, E. Sanchez, M. Sugeno, Dominance of recognition of words presented on right or left eye -Comparison of Kanji and Hiragana-, Modern Information Processing, From Theory to Applications, B. Bouchon-Meunier, G. Coletti and R.R. Yager Eds., Elsevier Science B.V., pp.407-416, 2006

[2]M. Sugeno, T. Yamanoi, “Spatiotemporal analysis of brain activity during understanding honorific expressions”, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol. 15, No. 9, pp. 1211-1220, 2011.

[3] T. Yamanoi, H. Toyoshima, T. Yamazaki, S. Ohnishi, M. Sugeno and E. Sanchez: Micro Robot Controle by use of Electroencepha- lograms from Right Frontal Area, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol. 13, No. 2, pp. 68-75, 2009.

連絡先

北海学園大学工学部
山ノ井高洋
Tel.:011-841-1161,E-mail:yamanoi@lst.hokkai-s-u.ac.jp

ファジィ・マルチ集合間の順序関係に関する一考察

A Consideration on Two Orders between Fuzzy Multisets

○村井 哲也	宮本 定明	乾口 雅弘	工藤 康生	赤間 世紀
○Tetsuya Murai	Sadaaki Miyamoto	Masahiro Inuiguchi	Yasuo Kudo	Seiki Akama
北海道大学	筑波大学	大阪大学	室蘭工業大学	C-リパブリック
Hokkaido Univ.	Univ.of Tsukuba	Osaka Univ.	Muroran IT	C-Republic

1. はじめに

ファジィ・マルチ集合は Yager[3] によって 1986 年に定式化された．その後，宮本 [1] は Yager のファジィ・マルチ集合の演算が通常のファジィ集合 (Zadeh[4]) の演算と両立しないことを指摘し，新たな順序と演算を定義した．本稿では，二つのファジィ・マルチ集合の基礎となる順序を比較し，両者の関係について議論する．

2. Yager のファジィ・マルチ集合

$M(I)$ を $I = [0,1]$ 上のマルチ集合全体からなる集合とし，その要素をマルチ・グレードと呼ぶ．マルチ・グレード $\check{g} \in M(I)$ は次の写像である:

$$\check{g} : I \to \mathbb{N}.$$

例 1. $\check{g} = \{\frac{2}{1.0}, \frac{3}{0.9}, \frac{1}{0.7}\}$.

有限集合 U 上のファジィ・マルチ集合 [3] は写像

$$\tilde{\mu} : U \to M(I)$$

である．ここで，$\tilde{\mu}(x)$ はマルチ・グレードとなり，任意の $x \in U$ に対して，$\tilde{\mu}(x)(0.0) = 0$ と仮定する．

例 2. $\tilde{\mu} = \{\{\frac{2}{1.0}, \frac{3}{0.9}, \frac{1}{0.7}\}/x, \{\frac{1}{0.8}, \frac{4}{0.2}\}/y\}$.

U 上のファジィ・マルチ集合全体を $FM(U)$ と書く．

ファジィ集合全体の集合やマルチ集合全体の集合には，それぞれ，I 上および $\mathbb{N}$ 上の順序に基づいて束構造が導入される．同様に，ファジィ・マルチ集合に束構造を考える時，$M(I)$ 上の順序を利用するアイディアは自然である．実際，Yager[3] はこの考え方に基づいて束構造を導入した．

まず，マルチ・グレード $\check{g}, \check{g}' \in M(I)$ 間の順序をマルチ集合として通常通り定義する:

定義 3. $\check{g} \leq_Y \check{g}' \overset{\text{def}}{\Leftrightarrow} \forall \alpha \in I\ (\check{g}(\alpha) \leq_{\mathbb{N}} \check{g}(\alpha))$.

例 4. $\{\frac{1}{1.0}, \frac{2}{0.9}\} \leq_Y \{\frac{2}{1.0}, \frac{3}{0.9}, \frac{1}{0.7}\}$.

順序集合 $\langle M(I), \leq_Y \rangle$ は更に分配束になる．すなわち，マルチ・グレードの和演算 $\vee_Y$ と積演算 $\wedge_Y$ はこの順序 $\leq_Y$ に関するそれぞれ上限，下限であるが，マルチ集合の通常の和，積演算そのものである:

$$(\check{g} \vee_Y \check{g}')(\alpha) = \max_{\leq_{\mathbb{N}}}\{\check{g}(\alpha), \check{g}'(\alpha)\},\ (\forall \alpha \in I)$$
$$(\check{g} \wedge_Y \check{g}')(\alpha) = \min_{\leq_{\mathbb{N}}}\{\check{g}(\alpha), \check{g}'(\alpha)\},\ (\forall \alpha \in I).$$

次に, ファジィ・マルチ集合 $\tilde{\mu}, \tilde{\mu'} \in FM(U)$ 間の順序 (包含関係) $\sqsubseteq_Y$ を $M(I)$ 上の順序 $\leq_Y$ を使って定義する:

定義 5. $\tilde{\mu} \sqsubseteq_Y \tilde{\mu}' \overset{\text{def}}{\Leftrightarrow} \forall x \in U\ (\tilde{\mu}(x) \leq_Y \tilde{\mu}'(x))$.

例 6. $\{\{\frac{1}{1.0}, \frac{2}{0.9}\}/x, \{\frac{2}{0.2}\}/y\} \sqsubseteq_Y \{\{\frac{2}{1}, \frac{3}{0.9}, \frac{1}{0.7}\}/x, \{\frac{1}{0.8}, \frac{4}{0.2}\}/y\}$.

順序集合 $\langle FM(U), \sqsubseteq_Y \rangle$ も分配束をなす[1]．すなわち，ファジィ・マルチ集合の和演算 $\sqcup_Y$ と積演算 $\sqcap_Y$ はこの順序 $\sqsubseteq_Y$ に関するそれぞれ上限，下限であり，U の各元 x 毎に $M(I)$ の和演算 $\vee_Y$，積演算 $\wedge_Y$ と一致する：

$$(\tilde{\mu} \sqcup_Y \tilde{\mu}')(x) = \tilde{\mu}(x) \vee_Y \tilde{\mu}'(x),$$
$$(\tilde{\mu} \sqcap_Y \tilde{\mu}')(x) = \tilde{\mu}(x) \wedge_Y \tilde{\mu}'(x).$$

3. 宮本のファジィ・マルチ集合

宮本 [1] のファジィ･マルチ集合の定義自体は Yager[3] と同一である．しかし，その上の定義される順序，よって，それから導かれる和演算と積演算の定義が異なる．異なる順序を導入した理由は，ファジィ集合を各グレードがカウント 1 または 0 を持つファジィマルチ集合として埋め込めるにも関わらず，ファジィ集合間の順序 (包含関係) $\subseteq_F$ が埋め込まれたファジィマルチ集合間の順序 $\sqsubseteq_Y$ と一致しないからである．

例 7. ファジィ集合として，$\{0.5/x\} \subseteq_F \{0.8/x\}$ であるが，それぞれファジィ・マルチ集合に埋め込むと $\{\frac{1}{0.5}/x\} \not\sqsubseteq_Y \{\frac{1}{0.8}/x\}$ である．グレード 0.5 に対して，カウントは $1 > 0$，0.8 に対しては $0 < 1$ だからである．

[1] $M(I)$ から導かれる $FM(U)$ 上の加法演算も含めれば，分配束順序モノイドになるが，本稿では加法は扱わないので子細は省略する．

両立しない理由を述べる．Yager[3] の順序 $\sqsubseteq_Y$ は値域 $\mathbb{N}$ の順序に基づいて定義され，一般にそれは自然な定義ではある．しかし，$M(I)$ の場合は定義域 I にも順序 $\leq_I$ が存在し，ファジィ集合間の包含関係 $\subseteq_F$ はこの順序 $\leq_I$ を使って定義される．そのため，$\leq_{\mathbb{N}}$ のみに基づいて定義され，$\leq_I$ を考慮しない Yager の順序 $\sqsubseteq_Y$ はファジィ集合の順序 $\subseteq_F$ と両立する理由は見出せない．

宮本の順序は降順グレード列 [1] で定義される．まず，マルチ・グレードに降順グレードを対応させる写像 $\varphi : M(I) \to I^*$ を[2]，$\alpha_1, \ldots, \alpha_k \in I^+ = (0, 1]$ をマルチ・グレードに現れる正のグレードとし，各カウントを $n_1, \ldots, n_k \in \mathbb{N}$ で表し，$\bullet$ は連接演算とする時，次式 [1] で定義する:

$$\varphi(\{\frac{n_1}{\alpha_1}, \ldots, \frac{n_k}{\alpha_k}\}) \stackrel{\text{def}}{=} \overbrace{\alpha_1 \bullet \cdots \bullet \alpha_1}^{n_1} \bullet \cdots \bullet \overbrace{\alpha_k \bullet \cdots \bullet \alpha_k}^{n_k}.$$

例 8. $\varphi(\{\frac{2}{1.0}, \frac{3}{0.9}, \frac{1}{0.7}\}) = 1.0 \bullet 1.0 \bullet 0.9 \bullet 0.9 \bullet 0.9 \bullet 0.7.$

以下，二つの降順グレード列の長さが異なる時は短いほうの末尾に 0 を適宜追加して，長さを揃える [3].

降順グレード列 $s = \alpha_1 \bullet \cdots \bullet \alpha_n$, $s' = \alpha'_1 \bullet \cdots \bullet \alpha'_n$ 間の順序 $\trianglelefteq$ を

$$s \trianglelefteq s' \stackrel{\text{def}}{\Leftrightarrow} (\alpha_1 \leq_I \alpha'_1) \wedge \cdots \wedge (\alpha_n \leq_I \alpha'_n).$$

この順序 $\trianglelefteq$ に基づいて，宮本 [1] によるマルチ・グレード間の順序は $\breve{g}, \breve{g}' \in M(I)$ に対して, 以下で定義される:

定義 9. $\breve{g} \leq_M \breve{g}' \stackrel{\text{def}}{\Leftrightarrow} \varphi(\breve{g}) \trianglelefteq \varphi(\breve{g}')$.

例 10. $\{\frac{1}{1.0}, \frac{2}{0.9}\} \leq_M \{\frac{2}{1.0}, \frac{3}{0.9}, \frac{1}{0.7}\}$.

$$(\because) \quad \varphi(\{\tfrac{1}{1.0}, \tfrac{2}{0.9}\}) = 1.0 \bullet 0.9 \bullet 0.9 \bullet 0.0 \bullet 0.0 \bullet 0.0,$$
$$\varphi(\{\tfrac{2}{1.0}, \tfrac{3}{0.9}, \tfrac{1}{0.7}\}) = 1.0 \bullet 1.0 \bullet 0.9 \bullet 0.9 \bullet 0.9 \bullet 0.7.$$

順序集合 $\langle M(I), \leq_M \rangle$ は更に分配束になる．すなわち，マルチ・グレードの和演算 $\vee_Y$ と積演算 $\wedge_Y$ はこの順序 $\leq_Y$ に関するそれぞれ上限，下限であり，降順グレード列 $s = \alpha_1 \bullet \cdots \bullet \alpha_n$, $s' = \alpha'_1 \bullet \cdots \bullet \alpha'_n$ 間の演算 [1] を

$$s \triangledown s' = \max\{\alpha_1, \alpha'_1\} \bullet \cdots \bullet \max\{\alpha_n, \alpha'_n\},$$
$$s \triangle s' = \min\{\alpha_1, \alpha'_1\} \bullet \cdots \bullet \min\{\alpha_n, \alpha'_n\},$$

で定義する時，これらもまた降順グレード列であり，次が成り立つ [4]:

$$\breve{g} \vee_M \breve{g}' = \varphi^{-1}(\varphi(\breve{g}) \triangledown \varphi(\breve{g}')),$$
$$\breve{g} \wedge_M \breve{g}' = \varphi^{-1}(\varphi(\breve{g}) \triangle \varphi(\breve{g}')).$$

この順序を使って，ファジィ・マルチ集合間の順序 (包含関係) を，$\tilde{\mu}, \tilde{\mu}' \in FM(U)$ に対して，次式で定義する:

定義 11. $\tilde{\mu} \subseteq_M \tilde{\mu}' \stackrel{\text{def}}{\Leftrightarrow} \forall x \in U(\tilde{\mu}(x) \leq_M \tilde{\mu}'(x))$

これをファジィ・マルチ集合間の宮本順序 (包含関係) と呼ぶ．宮本順序 $\sqsubseteq_M$ に基づいて，Yager の定義とは異なる和演算 $\sqcup_M$ と積演算 $\sqcap_M$ が構成される:

$$(\tilde{\mu} \sqcup_M \tilde{\mu}')(x) = \tilde{\mu}(x) \vee_M \tilde{\mu}'(x),$$
$$(\tilde{\mu} \sqcap_M \tilde{\mu}')(x) = \tilde{\mu}(x) \wedge_M \tilde{\mu}'(x).$$

4. 2 種類の順序と演算の関係

最後に，ファジィ・マルチ集合に関する 2 種類の順序と演算の間のいくつかの性質をまとめておく．

(1) $\mu \subseteq_F \mu' \Rightarrow \mu \sqsubseteq_M \mu'$.

(2) $\tilde{\mu} \sqsubseteq_Y \tilde{\mu}' \Rightarrow \tilde{\mu} \sqsubseteq_M \tilde{\mu}'$.

(3a) $\tilde{\mu} \sqcup_M \tilde{\mu}' \sqsubseteq_M \tilde{\mu} \sqcup_Y \tilde{\mu}'$.

(3b) $\tilde{\mu} \sqcap_Y \tilde{\mu}' \sqsubseteq_M \tilde{\mu} \sqcap_M \tilde{\mu}'$.

(4a) $\tilde{\mu} \sqsubseteq_Y \tilde{\mu}' \Rightarrow \tilde{\mu} \sqcup_Y \tilde{\mu}' = \tilde{\mu} \sqcup_M \tilde{\mu}'$.

(4b) $\tilde{\mu} \sqsubseteq_Y \tilde{\mu}' \Rightarrow \tilde{\mu} \sqcap_Y \tilde{\mu}' = \tilde{\mu} \sqcap_M \tilde{\mu}'$.

謝辞

本研究の一部は日本学術振興会科学研究費挑戦的萌芽研究 24650099 の援助を受けた．.

文献

[1] 宮本定明 (1996): ファジィマルチ集合の基本演算について．日本ファジィ学会誌, Vol.8, No.4, pp.639-645.

[2] 村井哲也, 宮本定明, 乾口雅弘, 工藤康生, 赤間世紀 (2014): クリスプおよびファジィ粒状階層構造におけるマルチ集合に関する一考察．第 24 回ソフトサイエンスワークショップ講演論文集.

[3] Yager, R.R. (1986): On the Theory of Bags, International Journal of General Systems, Vol. 13, pp.23-37.

[4] Zadeh, L.A. (1965): Fuzzy Sets, Information and Control, Vol.8, pp.338-353.

連絡先

村井 哲也
E-mail: murahiko @ ist.hokudai.ac.jp

[2] I^* は自由モノイド，i.e., I の元の有限列からなる集合である．

[3] 厳密には, 有限降順列の 0 でない部分の一致による同値類を考え，長さが一致する代表元を選べばよい.

[4] 前注と関連して，ϕ は厳密には，I^* の商集合への写像として定義されるべきである．しかし，グレード 0 をカウントしなければ，降順グレード列の逆像は一意に定まる．グレード 0 を無視することを定式化するためには粒状階層構造における 0 の空列化を使えばよい (cf.[2]).

ファジィ数の定義について XII

Fuzzy Numbers XII

稲井田 次郎　白川 幸子　御前 憲廣　新海 公昭　山下　元
Jiro Inaida Sachiko Shirakawa Norihiro Misaki Kimiaki Shinkai Hajime Yamashita
日本大学　東京家政学院大学　早稲田大学
Nihon University　Tokyo Kasei Gakuin University　Waseda University

Abstract: It is well known that fuzzy numbers plays an important and fundamental role in fuzzy analysis. In this paper, we attempt to define VSOP fuzzy number using an ordered pair (f, g). We have first discussed the addition and scalar multiplication for VSOP fuzzy numbers. From these operations we obtain some properties of VSOP fuzzy numbers.

Keywords: fuzzy set, fuzzy number, VSOP fuzzy number

１．はじめに

筆者等は α-レベル集合を利用して，ファジィ数の定義を「R 上のファジィ集合 u は，各 α-レベル集合 $[u]^\alpha$ $(0 \le \alpha \le 1)$ が空でない有界閉区間であるとき，ファジィ数という」としてきた ([2])。この定義をはじめ，ファジィ集合に一定の条件を与えて，ファジィ数とする諸定義は，和，スカラー倍等の演算を考えたとき，ファジィ数の (福原) 差が必ずしも存在しないという問題を生じる（[2]）。

この問題点を解決するため，堀内 清光氏の提案された VSOP ファジィ数（[3], [6]）を考察してみる。

ファジィ数のメンバーシップ関数のグラフは，一般に図 1 のように表される。

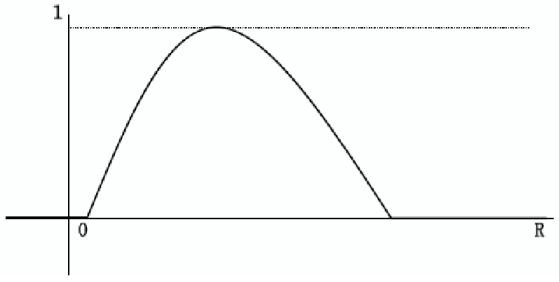


図 1　ファジィ数のメンバーシップ関数

図 1 において，縦軸と横軸を入れ替えると図 2 のようになる。

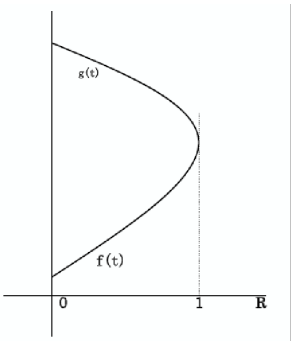


図 2

すなわち，区間 $[0, 1]$ 上の 2 つの関数 f, g が得られる。この f, g に次の条件

1) f は有界な単調増加関数
2) g は有界な単調減少関数
3) $f(1) \le g(1)$
4) $0 < t \le 1$ に対して
$$\lim_{\alpha \to t-0} f(\alpha) = f(t) \text{ かつ } \lim_{\alpha \to t-0} g(\alpha) = g(t)$$
5) $$\lim_{\alpha \to +0} f(\alpha) = f(0) \text{ かつ } \lim_{\alpha \to +0} g(\alpha) = g(0)$$

を加えて，ファジィ数の定義とする方法はよく知られている（[5]）。

これらの条件を取り外し，区間 $[0, 1]$ 上の 2 つの関数 f, g からなる順序対 (f, g) が VSOP(vector

space on ordered pair) ファジィ数である。

一般の VSOP ファジィ数の構成関数 f, g は図３のように与えられる。

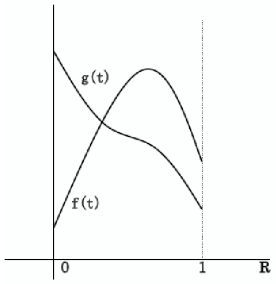


図３ VSOP ファジィ数の構成関数

堀内氏は VSOP ファジィ数の構成関数として，閉区間 $[0,1]$ 上の連続関数を与えている。本稿では，開区間 $(0,1)$ 上の可積な関数の集まりを $L^1(0,1)$ とおき，この $L^1(0,1)$ に属する関数を VSOP ファジィ数の構成関数とする。この VSOP ファジィ数を堀内氏の定義された VSOP ファジィ数と区別して，可積型 VSOP ファジィ数ということにする。すなわち，関数の順序対

$$(f, g),\ f, g \in L^1(0,1) \qquad (1)$$

を可積型 VSOP ファジィ数の定義とする。

今後，可積型 VSOP ファジィ数を $u, v, w, \cdots$ で表し，可積型 VSOP ファジィ数全体を V^1 とおく。この V^1 を可積型 VSOP ファジィ数空間という。

２．可積型 VSOP ファジィ数の例

例１ $u = (a, b),\ a \le b$ は区間数 $[a, b]$ に対応する。

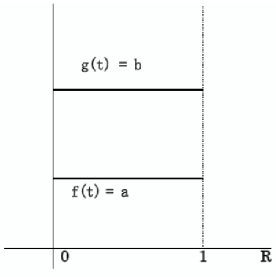


図４ 可積型 VSOP ファジィ数 u の構成関数

例２ $v = ((c-a)t + a, (c-b)t + b),\ a \le c \le b$ は三角型ファジィ数 $\ll a, c, b \gg$ に対応する。

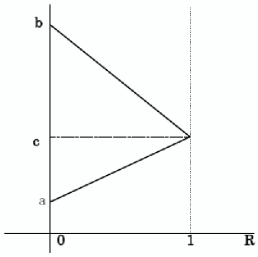


図５ 可積型 VSOP ファジィ数 v の構成関数

例３ $w = (a, b),\ a > b$ の構成関数のグラフは下図のようになる:

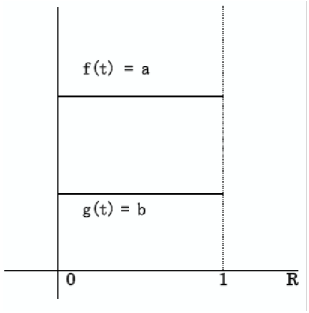


図６ 可積型 VSOP ファジィ数 w の構成関数

注１ 例３で示した可積型 VSOP ファジィ数を区間数の拡張と考え，今後 $[a, b]$ とおく。

３．可積型 VSOP ファジィ数の相等

定義１ 可積型 VSOP ファジィ数

$$u = (f_1, g_1), v = (f_2, g_2)$$

に対し，相等を次式で定義する：

$$u = v \Leftrightarrow f_1 = f_2\ (\text{a.e.}),\ g_1 = g_2\ (\text{a.e.})$$

４．可積型 VSOP ファジィ数間の順序および距離

２つの可積型 VSOP ファジィ数 $u, v \in V^1$ を

$$u = (f_1, g_1), v = (f_2, g_2)$$

と表す。

定義２ 可積型 VSOP ファジィ数 u, v に対し

$$u \le v \Leftrightarrow f_1 \le f_2 (a.e.),\ g_1 \le g_2 (a.e.)$$

と定義すれば，”≤”は V^1 上の順序となる。

定義３ ファジィ数 $u, v \in V^1$ に対し，u, v 間の距離 ρ を次式で定義する:

$$\rho(u, v) = \|f_1 - f_2| \vee \|g_1 - g_2\|$$

ただし，$\|\cdot\|$ は $L^1(0,1)$ 上のノルムである：

$$\|f\| = \int_0^1 |f(t)|\, dt,\ f \in L^1(0,1)$$

５．可積型 VSOP ファジィ数の演算

$L^1(0,1)$ はベクトル空間であるから，V^1 上に，和，差およびスカラー倍が定義できる：

定義４ 可積型 VSOP ファジィ数

$$u = (f_1, g_1), v = (f_2, g_2)$$

に対し，和，差およびスカラー倍を次式で定義する：

$$u + v = (f_1 + f_2, g_1 + g_2)$$
$$u - v = (f_1 - f_2, g_1 - g_2)$$
$$ku = (kf_1, kg_1),\ k \in R$$

このとき，次の Lemma が成立する:

Lemma １ $u, v, w \in V^1$ とする。このとき

1) $u + v = v + u$
2) $(u + v) + w = u + (v + w)$
3) $k(u + v) = ku + kv$, k は定数
4) $(k_1k_2)u = k_1(k_2u)$, k_1, k_2 は定数
5) $(k_1 + k_2)u = k_1u + k_2u$, k_1, k_2 は定数

Lemma ２ $u, v, w \in E^1$ とする。このとき

1) $\rho(u + w, v + w) = \rho(u, v)$
2) $\rho(ku, kv) = |k|\rho(u, v),\ k \in R$

定義５ 可積型 VSOP ファジィ数

$$u = (f_1, g_1), v = (f_2, g_2)$$

に対し，$f_1 f_2, g_1 g_2 \in L^1(0,1)$ ならば，積を次式で定義する：

$$uv = (f_1 f_2, g_1 g_2)$$

注２ 積 uv は必ずしも存在しない。例えば

$$f_1(t),\ f_2(t) = \frac{1}{\sqrt{t}}$$

ならば，$f_1,\ f_2 \in L^1(0,1)$ であるが，$f_1 f_2 \notin L^1(0,1)$。

定義６ 可積型 VSOP ファジィ数

$$u = (f, g)$$

および，ある自然数 n に対し，$f^n, g^n \in L^1(0,1)$ ならば，ベキを次式で定義する：

$$u^n = (f^n, g^n)$$

６．可積型 VSOP ファジィ写像

可積型 VSOP ファジィ数空間 V^1 上に，部分集合 U が与えられたとき，

$$h : U (\subset V^1) \longrightarrow V^1$$

を U から V^1 への可積型 VSOP ファジィ写像といい

$$w = h(u),\ u \in U$$

で表す。

$h(x)$ を全区間 R で定義された関数とする。$h(x)$ の定義域の可積型 VSOP ファジィ数空間への延長を

$$h(u) = (h \circ f, h \circ g) \qquad (２)$$

により与えることを考える。

式（２）の右辺が可積型 VSOP ファジィ数になる１つの十分条件として，次の命題を提示する：

命題１ 可積型 VSOP ファジィ数 $u = (f, g)$ において，f, g が有界であり，$h(x)$ が f および g の値域を含む閉区間で連続ならば，式（１）の右辺は可積型 VSOP ファジィ数になる。

注３ 有界区間においては，任意の有界可測関数は可積である（[7]）。

注４ f, g の有界性は必要である。例えば

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{t}}$$

は，区間 $(0,1)$ で可積である。$h(x) = x^2$ とおけば

$$(h \circ f)(t) = \frac{1}{t}$$

は，区間 $(0,1)$ で可積でない。

７．可積型 VSOP ファジィ数列

可積型 VSOP ファジィ数列

$$\{u_n\},\ u_n = (f_n, g_n),\ n = 1, 2, \cdots$$

が

$$\lim_{n\to\infty} f_n = f \text{ (a.e.)},\ \lim_{n\to\infty} g_n = g \text{ (a.e.)}$$

を満たし

$$(f, g) \in V^1$$

ならば，この可積型 VSOP ファジィ数列は可積型 VSOP ファジィ数 $u = (f, g)$ に収束するという。

このとき

$$\lim_{n\to\infty} u_n = u$$

と書き，u を可積型 VSOP ファジィ数列 $\{u_n\}$ の極限値という。

ルベーグの収束定理（[7]）により，下記の命題が成立する：

命題２ 可積型 VSOP ファジィ数列

$$\{u_n\},\ u_n=(f_n,g_n),\ n=1,2,\cdots$$

に対して

$$u_n \longrightarrow u\ (\text{a.e.}),\ u=(f,g)$$

となり，しかもある可積型 VSOP ファジィ数 $v=(f_0,g_0)$ が存在し

$$|f_n(t)|\vee|g_n(t)|$$
$$\le|f_0(t)|\vee|g_0(t)|,\ t\in(0,1),\ n=1,2,\cdots$$

ならば，u は可積型 VSOP ファジィ数であり

$$\|f\|\vee\|g\|=\lim_{n\longrightarrow\infty}(\|f_n\|\vee\|g_n\|)$$

が成立する。

この命題により，可積型 VSOP ファジィ数列に関する次の定理が成立する：

定理１

有界で単調な可積型 VSOP ファジィ数列は収束する。

８．可積型 VSOP ファジィ級数

各項が可積型 VSOP ファジィ数で表される級数

$$\sum_{n=1}^{\infty}u_n$$
$$=u_1+u_2+\cdots+u_n+\cdots$$

を可積型 VSOP ファジィ級数という。

可積型 VSOP ファジィ級数 $\sum_{n=1}^{\infty}u_n$ に対して，第 n 部分和 v_n を

$$v_n=u_1+u_2+\cdots+u_n$$

とおく。このとき，可積型 VSOP ファジィ数列 $\{v_n\}$ が 1 つの可積型 VSOP ファジィ数 w に収束するとき，可積型 VSOP ファジィ級数 $\sum u_n$ は w に収束するといい，

$$\sum u_n=w$$

と書く。

可積型 VSOP ファジィ数列 $\{v_n\}$ が収束しないとき，可積型 VSOP ファジィ級数 $\sum u_n$ は発散するという。

可積型 VSOP ファジィ級数の特別なものとして，次の可積型 VSOP ファジィベキ級数がある:

$$\sum k_n(u-x_0)^n$$

定理２

$h(x)=k_0+k_1x+k_2x^2+\cdots+k_nx^n+\cdots$，$-R<x<R$ のとき，$-R<u<R$ なるすべての $u\in V^1$ に対して

$$h(u)=k_0+k_1u+k_2u^2+\cdots+k_nu^n+\cdots$$

が成立する。

先に，各レベル集合が空でない有界閉区間であるような R 上のファジィ集合をファジィ数と定義した。この定義によるファジィ数も可積型 VSOP ファジィであるから，次の定理が成立する：

定理３

$h(x)=k_0+k_1x+k_2x^2+\cdots+k_nx^n+\cdots$，$-R<x<R$ のとき，$-R<u<R$ なるすべての $u\in E^1$ に対して

$$h(u)=k_0+k_1u+k_2u^2+\cdots+k_nu^n+\cdots$$

が成立する。ただし，E^1 はファジィ数空間である。

参考文献

[1] Jiro Inaida：Taylor Series on the Fuzzy Number Space，Biomedical Soft Computing and Human Sciences, Vol.16，No1，pp.15-23, 2011.

[2] 稲井田 次郎: ファジィ数 I, II, III, IV, 知能と情報 Vol.24 No.3, 4, 5, 6, 2012.

[3] 堀内 清光: ファジィ数 V，VI，知能と情報 Vol.25 No.1, 2, 2013.

[4] M.Mizumoto ＆ K.Tanaka: Some properties of fuzzy numbers, Advance in Fuzzy Set Theory and Applications (eds. Gupta, M.M. et al.), North-Holland, 152-164, 1979.

[5] R. Goetschel ＆ W. Voxman:Elementary fuzzy calculus, Fuzzy Sets and Systems 18. 31-43, 1986.

[6] K.Horiuchi ＆ N.Tamura:VSOP Fuzzy Numbers and their Fuzzy Ordering. Fuzzy Sets and Systems Vol.93 No.2 : 197-210, 1998

[7] 洲之内 治男:ルベーグ積分入門，内田老鶴圃，1974.

連絡先

日本大学理工学部　稲井田 次郎

E-mail:daojingtian@penta.ge.cst.nihon-u.ac.jp

ファジィペトリネットによるOpenFlowネットワーク制御シミュレーション

A Simulation of Control of OpenFlow Networks Based on Fuzzy Petrinet

神田未来　松浦 崇　荒木智行　玉野和保
Hideyuki Kanda　Takashi Matsuura　Tomoyuki Araki　Kazuho Tamano
広島工業大学　工学部　電子情報工学科
Hiroshima Institute of Technology

Abstract: Recently cloud computing based on big datacenters are growing. And cloud computing based on big datacenter does not make users not to conscious the existence of resource of cloud computing. Users can do their conventional works but also data mining technology there.

In datacenters, resources for computing and strage are well virtualized generally, but networks are not well virtualized.

In this report, we propose a method for simulating virtualized networks using fuzzy petrinet.

1　まえがき

近年，インターネットでは，サーバ運用コストを削減するためデータセンターに情報を蓄積しインターネットからその場所を意識させないで情報アクセスをさせるクラウドコンピューティングや，クラウド上に収集・蓄積された大量のデータからマイニングにより有用な情報を引き出すビッグデータ，そしてスマートフォンの急速な普及とともに必要となったモバイルバックホールネットワークや効率の良いミドルボックス，兆を超える数のセンサからのデータを扱うM2Mネットワークなど，従来とは異なるネットワークの使い方が必要となり，それとともに新たな以下のような問題が発生しつつある [2].

（データセンターネットワークの課題）データセンターでは，計算資源，ストレージなどに関して大規模な資源プールをして，資源を仮想化して論理的に扱うことにより，ユーザ需要により独立化して提供することである．しかしながらサーバ（アプリケーションサーバ，データベースサーバ）の仮想化は行われてきたが様々な理由でネットワークの仮想化は遅れている．特に集中的にプログラムによりネットワークを仮想化する手法が望まれてきている．

（スマートフォンモバイルバックホールでの課題）近年，国内の代表的なモバイルキャリアが長期間にわたる通信障害を起こし，行政指導が行われた．これらは短期間で爆発的に増加したスマートフォンによるアクセスデータ量・フロー数の増大を，既存のインフラで収容することが困難になった結果と見ることができる [2]．このため通信インフラの大容量化，高速さを担保しつつ，ソフトウェアなどで自動拡張可能な柔軟な通信基盤が求められている．

（ioT，M2Mにおける課題）Internet of Things(ioT) や Machine-to-Machine(M2M) 通信など兆を超える数のセンサやデバイスを接続する通信を実現するためには，無数の送信元からのデータも効率的に扱うため，従来と比べてデータフロー数を何桁もスケールアウトさせても耐え得る通信インフラが必要になる．センサからのデータの一つ一つは小さいかもしれないが，受信先となるデバイスへの経路上である程度のデータ処理を行う必要性がでてくると考えられる．

これらの課題は，近未来に期待される技術のうち，限られた側面だと思われるが，未来の方向性を考える上では重要な例題（課題）となり得る．そうした中で近年SDN(Software Defined Network) [1] などが注目されている．本報告では，これらの課題のうち「データネットワークセンターの課題」に特に注目して考察を行ってゆく．

2　諸準備

2.1　SDNとしてのOpenFlow

SDN (Software Defined Networking) [1] とは，仮想的なネットワークをソフトウェアによって作り上げる技術のことである．SDNを用いると、物理的に接続されたネットワーク上に，ソフトウェアによって動的に仮想的なネットワークを構築するといったようなことや，従来，変更するためには再起動が必要であった構成や設定を変更することが可能となる．仮想的なネットワークを構築する利点は，目的に応じたネットワークを柔軟に構築しやすくなる．

これまでも仮想的なネットワークを構築する技術としてVPN (Virtual Private Network) やVLAN (Virtual LAN) が知られているが，近年では、 ソフトウェアでネットワーク機器を制御するための技術標準であるOpenFlowの仕様策定が進んでおり，SDNを実現する要素技術として注目されている．そのような中で，OpenFlow [8] とはSDN（Software Defined Network）の一種で，ネットワーク機器のオープン化をもたらす方式である．従来のルータのようなネットワーク機器ではソフト面とハード面が一体となっており（図1）メー

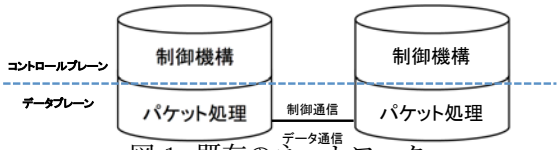


図 1: 既存のネットワーク

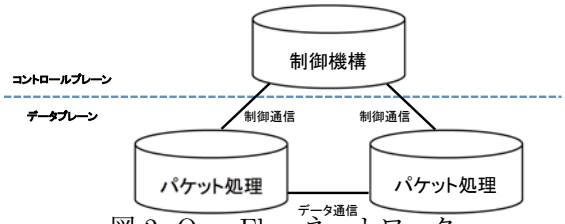


図 2: OpenFlow ネットワーク

カー独自設計のいわばブラックボックス状態である．OpenFlow では OpenFlow コントローラを OpenFlow スイッチから切り離して制御することができるもので，コントローラ部分は基本的にオープンソースなソフトウェアからなる．OpenFlow を使用するユーザは，独自のフロー制御のためのプログラムを実装可能である．スイッチの部分は，従来は TCAM などのハードウェアが使われることが多いが，FPGA などユーザがプログラムできるハードウェアで構成できる（例えば文献 [7]）．OpenFlow では MAC アドレスや IP アドレス，ポート番号などの組み合わせによって決定される一連の通信を「フロー」として定義し．フロー単位での経路制御を実現する．これによって，品質の確保やネットワークの利用率向上などが期待できるとされる．尚，フロー制御をメモリーベース機器の論理合成の手法によって行う試みもなされている [4, 5]．

図 1 と図 2 を比べると OpenFlow とは，従来のネットワークスイッチ（L2,L3，またはそれ以上）で一つにまとまっていて，中の構成がブラックボックスだったものを，二つに分解して中身をすべてオープンにしたものである．OpenFlow では複数のスイッチ（フロー制御のできるスイッチ）のネットワーク（データプレーン）とは別にコントローラがスイッチと通信するネットワーク（コントロールプレーン）を持っている．データプレーンとコントロールプレーンは物理的に独立していても良いが，オーバーレイネットワークとして物理的に同一のネットワークを併用することもある．

2.2 データセンター

データセンターでは様々なサービスをネットワーク経由で提供している．Google 社などもデータセンターは，SaaS(Software as a Service) と位置づけられるクラウドサービスのみを提供しているため，データセンターのコンピュータやストレージ類は，同一仕様の機器を大量に設置している場合が多い．しかしながら一般的なデータセンターは，IaaS(Infrastructure as a Service)，PaaS(Platform as a Service)，SaaS(Software as a Service) のサービスを提供しており多種多用な機器を設置している．この場合，従来では，図 3 の左の図のように各インフラ設備の上に IaaS，PaaS，SaaS を別々に構築する必要があった．しかし OpenFlow のようなSDN を用いると図 3 の右の図のように共用のインフラ設備の上に IaaS，PaaS，SaaS を同時に構築できる．世界中には IaaS，PaaS，SaaS のサービスを提供するデータセンターは多い．またサービスを数時間単位でレンタルできるデータセンターもある．そのようなデータセンターでは，インフラ設備をダイナミックに，また効率良く変更できることが重要となる．

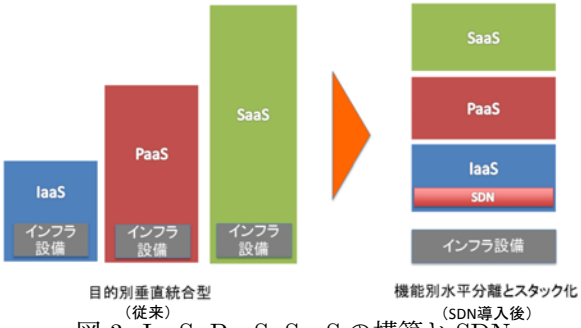


図 3: IaaS, PaaS, SaaS の構築と SDN

また OpenFlow は従来のネットワーク機器の以下のような制約から開放される仕様になっている．

（方式・技術上の課題）イーサネットに起因する制約

- VLAN 数 4096 の制限（方式）
- ARP/BC/MC の処理（SW 仕様）
- トポロジーの制限（方式）
- ループ／フラッディングの問題（方式）

これらの制約からスケーラビリティや安定性の課題が既存のイーサネットでは残っていた．しかしながら OpenFlow に対応するハードウェアの標準化も今後なされる予定である．

（クラウドとの協調）多様な HV(hyperVisor) の種別，VM（Virtual Machine）の移動に関する課題

（コスト面の課題）OPEX（ネットワーク機器の構成変更による運用コスト:OpenFlow による自動化）の削減，CAPEX（設備投資）の削減

3 ファジィペトリネットによるスイッチ切替シミュレーション

前田 [7] により，知能ロボットのあいまいな状況を常に認識しながら的確なマクロ判断を行っているような人間の柔軟な状況判断・適応能力も模した知的移動ロボットの研究がなされてきた．文献 [7] ではファジィアルゴリズムを表現するフローチャートにおいて 2 種類のファジィ条件分岐が提案されいる．さらにそのフローチャートにそってプログラムが実行される様子をシミュレーションするモデルをファジィペトリネットとして提案しており，そのシミュレーションの有効性を示している．

本報告では，前田の手法を一部修正して OpenFlow のデータプレーンを流れるパケットの状態のシミュレーションをファジィペトリネットを用いて評価することを試みる．

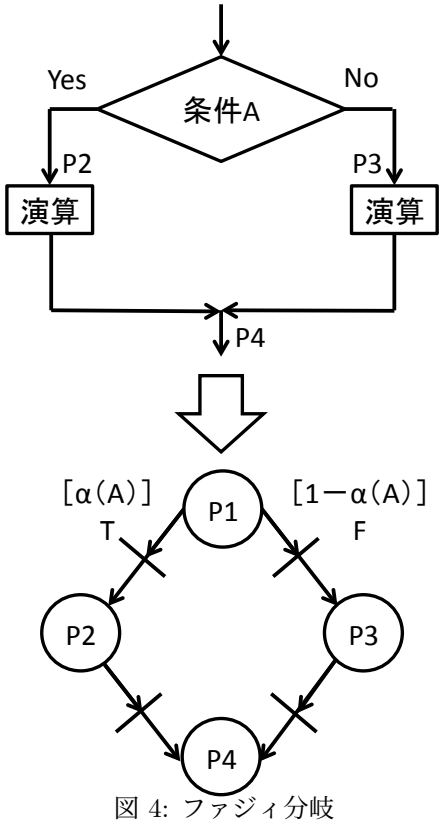


図 4: ファジィ分岐

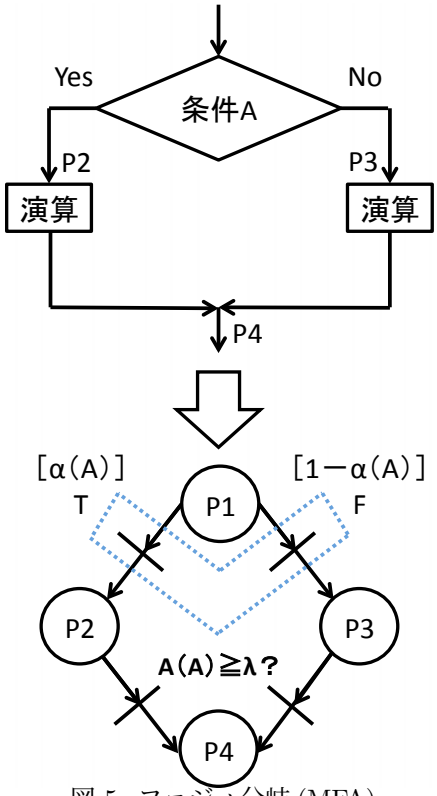


図 5: ファジィ分岐 (MFA)

3.1 ファジィアルゴリズム

アルゴリズムはフローチャートで表現できると仮定する．本報告ではファジィアルゴリズムとは条件分岐において，真（Yes）側または偽（No）側の一方だけに処理が移るのではなく，真の度合いや偽である度合いによって両方の処理に分岐してゆくような条件分岐を最初に考える（図 4）．また，$\alpha(A)$ または $1-\alpha(A)$ が λ 以上である方向に処理が移る MFA（Modified Fuzzy Algorithm：修正ファジィアルゴリズム）を図 5 に示す．

3.2 ファジィペトリネット

ファジィアルゴリズムのフローチャートからファジィペトリネットに変換を行った前田の手法（図 6）と類似した方法でデータプレーンのネットワークをファジィペトリネットに変換する．

3.3 シミュレーションの条件

OpenFlow では，データプレーン内のパケットの処理をフローテーブルとして各スイッチが持っている．フローテーブルは図 7 のようなフローエントリの集合として格納されている．フローエントリには以下のことが記載されている．

（マッチ条件）受信ポート，VLAN，宛先・ソースの MAC・IP・L4 ポートなど

（実行アクション）パケット出力，宛先・ソースの MAC や IP の書き換えなど．

（統計情報）マッチしたパケット数，バイト数

（その他オプション）優先度（プライオリティ），寿命（ハード・アイドルタイムアウト），フラグ（フロー削除伝達有無など），識別 ID（クッキー：コントローラ側の識別に用いる）

コントローラは，各スイッチが所有しているフローテーブルの内容を予め知っている．また，スイッチに到着したパケットによってスイッチの状態が変更になった場合には，コントローラはその情報を知ることができる．

3.4 シミュレーションモデル

以降，データセンター内である顧客の割り当てられたネットワーク資源の有効活用をすることを検討する．有効活用の定義としては様々な場合が考えられるが，本報告では「有効活用」とは，割り当てられたネット

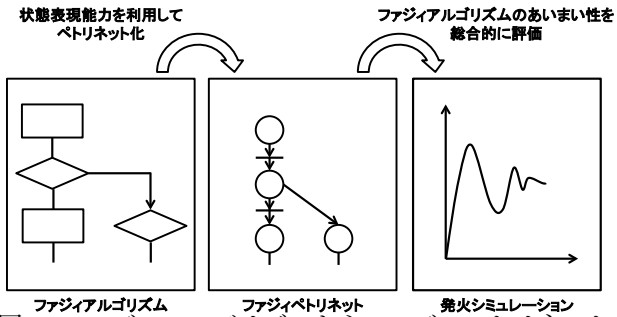


図 6: ファジィアルゴリズムからファジィペトリネットへの変換．統計的評価

マッチ条件	実行アクション	統計情報
その他オプション		

図 7: フローエントリ

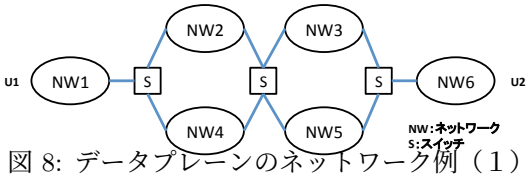


図 8: データプレーンのネットワーク例（1）

ワーク資源の一つ一つのスイッチおよびネットワークへの負荷が少ないことと定義する．

図 8 はデータプレーンのネットワークの一例である．このネットワークをファジィペトリネットに変換したのが図 9 である．ネットワークはトランジションに，スイッチはプレースに対応されている．そしてパケットはトランジションの発火によってプレースを移動するトークンと見なす．

この場合，ユーザ $U1$ からユーザ $U2$ へパケットを送るとき，トークンは発火してない直前に発火してないトランジション側の経路を通れば十分であることは明らかである．

次に図 10 のネットワークについて考える．このネットワークに対応するファジィペトリネットは図 11 となる． このとき，$U1$ が $U4$ に向けてパケットを送信したとき（即ち t_1 が発火したとき），最初のスイッチ（p_1）にトークン（パケット）が入る．このときトランジション t_2 と t_4 はファジィ分岐をする．例えば p_2 に m 個のトークンがあり，p_4 に n 個のトークンがある場合，プレース p_2 には $\frac{n}{m+n}$ 個のトークンが移動し，プレース p_3 には $\frac{m}{m+n}$ 個のトークンが移動するようにすれば，スイッチとネットワークの有効活用に近い状態が得られると考えられる．

4 むすび

文献 [6] で OpenFlow のスイッチを FPGA を用いて実現する試みがある．また文献 [4, 5] などによるサービス毎にパケットを制限する試みもなされている．本報告ではデータセンターなどで使用されるネットワーク資源の仮想化やダイナミックな構成変更，インテリジェントなルーチングを可能にする OpenFlow に基づくネットワークをシミュレートするファジィペトリネットによるデータプレーンの表現について考察を行った．そしてスイッチにおけるパケットのファジィ分岐の考

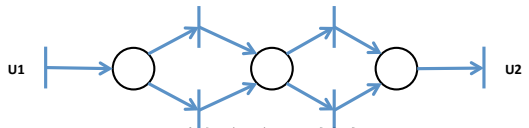


図 9: ネットワーク例（1）に対応するファジィペトリネット

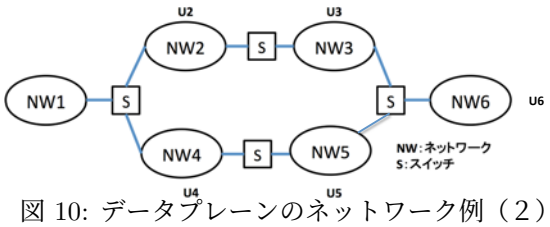


図 10: データプレーンのネットワーク例（2）

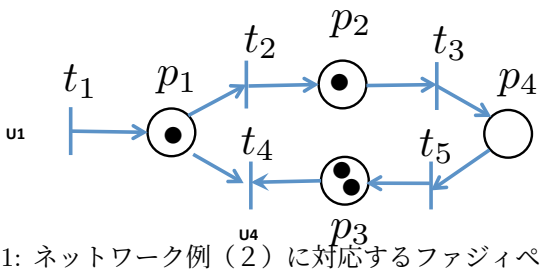


図 11: ネットワーク例（2）に対応するファジィペトリネット

え方などにもふれた．

残された課題として，以下が挙げられる．

(i) 大規模なデータプレーンに対するファジィペトリネットでのシミュレーション．
(ii) 提案手法を使った動的に変化うるネットワークの仮想化の計画法．

参考文献

[1] 小特集　SDN が創る未来のネットワーク，電子情報通信学会誌，pp.901-930，Vol.96，No.12，2013.
[2] 中尾，SDN がもたらす柔軟な将来網の世界，In [1].
[3] 金田，データセンターにおける SDN の利用，In [1]
[4] Sasao, T., Memory-Based Logic Synthesis, Springer, 2011.
[5] 笹尾，インデックス生成関数：理論と応用，多値論理研究ノート，第３３巻，No.11, pp.11_1-11_8, 2010.
[6] 中原，笹尾，松浦，EVMDD(k) に基づく LUT カスケードを用いたパケット分類器に関して，多値論理研究ノート，第３６巻，No.4，pp.4_1–4_9，2013.
[7] 前田，ペトリネットの概念に基づくファジィアルゴリズムのあいまい状態遷移評価，日本ファジィ学会誌 Vol.6, No.4, pp.690-700，1994.
[8] あきみち，宮永直樹，岩田淳，マスタリング TCP/IP OpenFlow 編，オーム社，2013.
[9] 椎塚，実例ペトリネット，コロナ社，1992.

連絡先
〒 731-5193 広島市佐伯区三宅２－１－１
広島工業大学 工学部 電子情報工学科
神田未来（荒木智行）
Tel: 082-921-4303
E-mail: {kanda, araki}@araki-lab.org

ファジィ推論による画像拡大の性能と画像特性
Image characteristics and Performance of the Image interpolation by Fuzzy inference

○松田　充夫
Nobuo　MATSUDA
大島商船高等専門学校
Oshima College of Maritime Technology

但馬　文昭
Fumiaki Tajima
横浜国立大学
Yokohama National University

Abstract: It is crucial to decide efficiently fuzzy rules and their parameters on the enlargement method by using fuzzy technique. We propose a method for the decision of membership functions by using a dictionary or database developed from the known parameters and features (Entropy and/or Run). We show that the proposed method have a high performance on the image interpolation from tested images.

Key Words: Fuzzy inference, Image Interpolation, Entropy

１．はじめに

画像拡大では，sinc 関数のる補間原理を用いた最近隣補間法，共 1 次補間法，３次畳み込み補間法などの手法[1]がよく使われる。しかし従来手法はエッジまで滑らかに拡大するという欠点がある。この欠点に対し補間値前後の画素の状態に着目したエッジ情報を保存する Carrato らの補間法[2]やファジィ推論を用いた画像拡大法[3,4]が提案されている。木村ら[3]は 3 種類の標準画像，また麻生ら[4]は 10 種類の標準画像のファジィ推論による画像拡大の結果から有効性を論じている。しかしファジィ推論による画像拡大はどのような画像に対して有効であるか十分な説明はない。そして画像の拡大にファジィ推論を実用的に適用する場合，ファジィルールの最適化，すなわちメンバーシップ関数のパラメータを容易に決定することは不可欠になる。

本報告は，画像特性（エントロピーや連など）を用いて，ファジィ推論による画像拡大の際のメンバーシップ関数を簡易に推定する方法を提案し，その有効性を標準画像で検証する。

２．画像特性値のパラメータ辞書によるファジィルールの最適化

本提案法は，主として前件部のメンバーシップ関数の最適化を取り扱う。その手順は次のステップから構成される。

① 複数の標準画像の画像特性値（エントロピー，連，ヒストグラムなど）を算出する。
② 画像特性値に基づき画像をグループ化する。
③ 各グループから代表画像を選択し，メンバーシップ関数のパラメータを設定し，原画像と拡大画像から平均二乗誤差（MSE）を算出する。
④ 画像特性値と MSE から，パラメータ辞書をプロット図や SOM マップにより作成する。
⑤ パラメータ辞書を用いて，拡大したい画像の画像特性値からファジィルールの最適値を推定する。
⑥ 推定したファジィルールのパラメータ値を用いて拡大画像を作成する。

３．ファジィ推論による画像補間

ファジィ推論による補間は，図 1 に示す $|a-b|$ と $|c-d|$ の局所情報を状態変数として行う。前件部のファジィ概念を図 2 のファジィ集合のメンバーシップ関数で表現し，表 1 のファジィルールと式（1）から各ルールの適合度を求める。後件部変数 W_k の出力には標準的な Min 法を採用する。

$$if \quad e(k) \quad is \quad \{Small, Large\} \quad then \quad W_k \quad is \quad w_k \tag{1}$$

ファジィ推論の出力は重心法を採用し，式（２）から出力変数 y を決定する。

$$y = \frac{\sum_{k=1}^{m} \mu_k(x) \bullet W_k}{\sum_{k=1}^{m} \mu_k(x)} \tag{2}$$

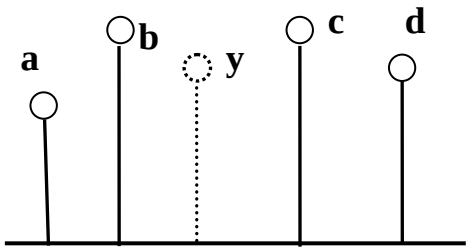


Figure 1 Interpolation of pixel vale from original ones

平均二乗誤差の算出は以下の手順で行う。

① 原画像にローパスフィルタ（ガウシアン：５×５）処理を施した後，ダウンサンプリングする。
② パラメータ α と β を設定し，縮小画像から拡大画像を生成する。
③ 原画像と生成された拡大画像から式 (3) から MSE を求める。

$$MSE = \frac{1}{M \times M'} \sum_{i=1}^{M} \sum_{j=1}^{M'} \left[y(i,j) - s(i,j) \right]^2 \quad (3)$$

y(i,j)は推論値, s(i,j)は原画素値, M と M' は画像サイズである。

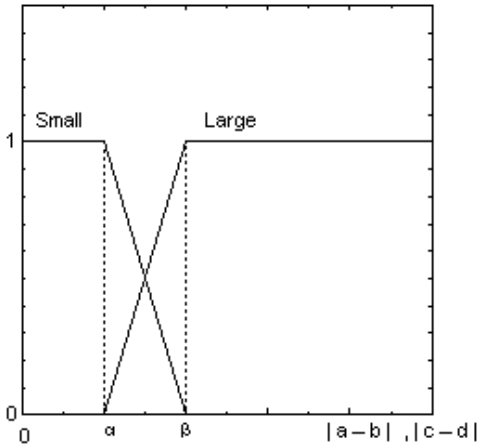


Figure 2 Antecedent membership functions.

3．実験データと結果

従来手法とファジィ推論による画像拡大の性能比較の実験を, 図 5 に示す 256×256 画素, 256 階調グレースケールの 12 種類の標準画 (Airplane, Barbara, Boat, Building, Cameraman, Girl, Text, Lena, Light house, Woman（紙面の関係で一部省略）) を用いた。また, ファジィルールの最適パラメータ辞書の作成にはエントロピーを基準に 3 種類の標準画（Girl, Bridge, Lena）を用いた。

図 3 は, ファジィルールの最適パラメータ辞書を示している。この図から最適パラメータの推定には, エントロピー依存性よりもパラメータ α と β の依存性が高い。また, 推定パラメータはパラメータ α と β がそれぞれ 0 と 80 のときが最小値になっている。図 4 は原画像とファジィ推論による拡大画像の例である。

4．まとめ

ファジィ推論による画像拡大法のファジィルールの最適化を, 画像特性値とパラメータ辞書から簡素に決定する提案法の有効性を標準が画像で検証した。

参考文献

[1]高木幹雄,下田陽久　監修 : 新編　画像解析ハンドブック,　東京大学出版,　pp.1363-1373, 2004

[2]S.Carrato,G.Ramponi,S.Marsi : “A Simple Edge-Sensitive Image Interpolation Filter” ,International Conf. on Image Processing, IEEE, pp.711-714,　1996

[3]木村誠聡,　田口亮,　村田裕 : “ファジィ推論を用いたディジタル画像の拡大に関する一手法”, 第 13 回ディジタル信号処理シンポジウム講演論文集,　pp.255-260,　1998.

Table 1 Fuzzy rule table

a - b	c - d	
	Small	**Large**
Small	$W_1 = (b+c)/2$	$W_2 = b$
Large	$W_3 = c$	$W_4 = (b+c)/2$

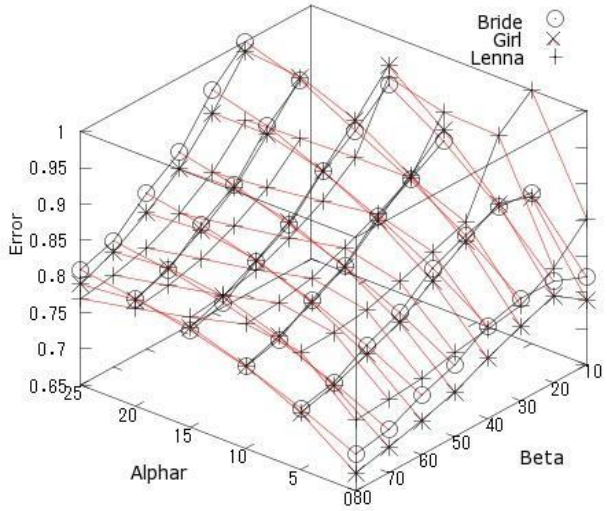


Figure 3 The variation in MSE as a function of α and β.

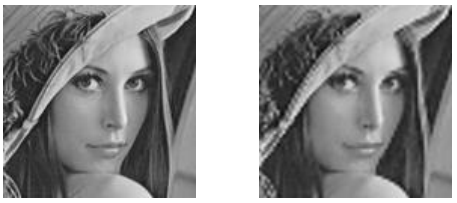


Figure 4 Images; original (R) and enlarged one (L).

Figure 5 Tested Images.

[4]麻生隆史,　末竹規哲,　山川烈 : “SOM に基づく学習型ファジィ推論とその画像拡大への応用”, 第１８回ファジィシステムシンポジウム講演論文集,　pp.325-328,　2002.

連絡先

〒742−2193 山口県大島郡周防大島町小松 1091−1
国立高等専門学校機構大島商船高等専門学校　電子機械工学科
Tel/Fax　　0820-74-5581
E-mail: :matsuda@oshima-k.ac.jp

言語ルールに基づく視覚化技法の系統的生成
Systematic Generation of Visualization Techniques

豊田 博美 Hiromi Toyoda 筑波大学 University of Tsukuba
宮本 定明 Sadaaki Miyamoto 筑波大学 University of Tsukuba
遠藤 靖典 Yasunori Endo 筑波大学 University of Tsukuba

Abstract: This paper proposes systematic generation of visualization techniques based linguistic rules. If we control drawing directed graphs using the linguistic rules, then it is possible to visualize asymmetric data flexibly. Furthermore, the proposed method contributes to realize visualization techniques based on linguistic rules. We thus use linguistic rule to an existing visualization technique of asymmetric data. A real example using traveler data is shown.

１．はじめに

様々なシステムを理解する為の手段は昔から考察されており，その一例に挙げられるのが「可視化」である．可視化は，科学的可視化と，情報可視化の 2 種類に大別され，その中でも大規模なデータ等の意味や相互関係が直感的に理解できる「情報可視化」に関する研究の重要性は高まっている．一例として主成分分析[2]等が挙げられ，多くの場合扱われる情報の関係は対称性を仮定しているが，非対称なデータも数多く存在する．それらに対する可視化をはじめとする研究は増えつつある[5, 7, 8] が，対称データに変換されて可視化される事が多く，非対称データをそのまま可視化させることに関しては未だ十分な研究はなされていない．

可視化手法の一つにグラフ表示が挙げられ，その中でも有向グラフは要素間の相互作用の方向がわかり，非対称データの可視化に最も主要な技法の一つと言える．実際，有向グラフを用いて非対称データに対する情報の可視化技法が宮本ら[3, 4] により提案されている．この手法は，有向グラフを用いてデータの非対称な相互関係を，確率化を用いて表現することで可視化を行い，非対称データの性質を失わずに表現ができる．しかし，本手法で得られた有向グラフはデータ間の「向き」しか表しておらず，依存関係の大きさを表現するに至っていない．

ところで，人間の機能に近い情報処理を実現する手法の一つにファジィ理論があり，これを用いることでコンピュータに人間の持つあいまいな言語表現を実装することが可能となる[9]．言語ルールを用いることにより有向グラフの描写を制御できれば，非対称データの可視化を柔軟に行える他，言語ルールに基づく可視化技法の構築に大きく貢献することができるであろう．そこで，本研究では，有向グラフを用いた非対称データの可視化手法である[3, 4] に，言語ルールを援用した新たな可視化技法の確立を目的とする．但し，可視化の「見やすさ」は各個人の主観による部分が非常に多く，グラフの描画を定量的に評価する手法として[6] が提案されてはいるが，本論文では描画の評価は行わず，言語ルールに基づいた有向グラフの表示手法提案のみを目的とする．

２．先行研究

既に，有向グラフを用いた非対称データに対する情報の可視化技法が宮本らにより提案されている[3, 4]．この手法は，データの非対称な相互関係を，確率を用いて表現することによって可視化を行う方法である．この方法を用いることにより，データ量の多い箇所だけに偏ってしまうという問題点をカバーすることができる.非対称データの 1 つである旅行者数データを例とし，宮本らによって提案されている有向グラフを用いた手法を紹介する．

表 1. 旅行者数データ

		旅行先			
		1	…	m	Total
出国元	1	c_{11}	…	c_{1m}	$\bar{c}_1$
	⋮	⋮	c_{ij}	⋮	$\bar{c}_i$
	m	c_{m1}	…	c_{mm}	$\bar{c}_m$

ここで言う旅行者数データとは，表 1 で示されているような世界観光機構[10]のデータより作成した 2001 年の主要 20 カ国間(南アフリカ，カナダ，アメリカ合衆国，中国，台湾，香港，日本，韓国，インドネシア，マレーシア，シンガポール，タイ，オーストラリア，ニュージーランド，イギリス，イタリア，フランス，スイス，トルコ，インド）の海外旅行者数データであり，使用データを以下の様に定義する．

ここで，$1\cdots m$ は国の数，c_{ij} は出国元 i における旅行先 j の旅行回数を表す．また，$\bar{c}_i$ は出国元 i の旅行回数の合計を表している．変数 i, j は次の様に定義される．

$$1 \le i,\ j \le n \tag{1}$$

ここで, マトリックス p_{ij} は以下により正規化される．

$$p_{ij} = \frac{c_{ij}}{\bar{c}_i} \tag{2}$$

パラメータ α, β は次の様に定義される．

$$0 < \alpha < 1,\ \beta > 1 \tag{3}$$

また，関連性「$\rightarrow$」,「$\leftrightarrow$」を以下で表現する．

$$i \rightarrow j \Leftrightarrow p_{ij} \ge \alpha,\ p_{ij} \ge \beta p_{ji} \tag{4}$$

$$i \leftrightarrow j \Leftrightarrow p_{ij} \geq \alpha,\ p_{ij} \geq \alpha,\ \beta^{-1} \leq \frac{p_{ij}}{p_{ji}} \leq \beta \quad (5)$$

以上のような定式化によって，パラメータ α，β をいくつかの値に変化させ，有向グラフを作成し，その結果の抜粋を図 1 に示す．変更した数値等ついては，4 章に記載する．その結果から，α，β を調節することによりノード数の調節が可能なことがわかる．しかし，「$\rightarrow$」，「$\leftrightarrow$」の中でも，どのノードとの繋がりが強いのか，わかりにくいという問題点がある．

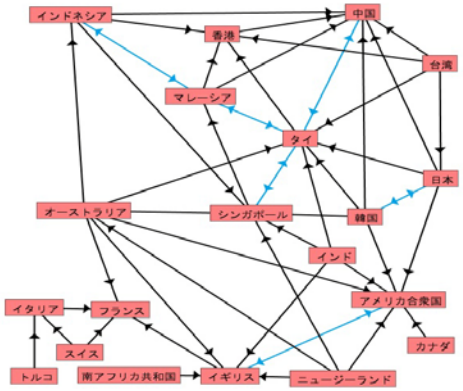


図 1. 既存手法による結果の抜粋
($\alpha = 0.05,\ \beta = 2$)

3．言語ルールに基づいた有向グラフの系統的生成

前章の問題点を解決するため，言語ルールに基づいた有向グラフの系統的生成を提案する．宮本らにより提案されている有向グラフ表示をベースにし，データ同士の関係の強さを言語的真理値を用いて表現する．関係性の強さは，有向グラフのエッジの太さを用いて表すことにする．関係性が強ければ強い程エッジは太く，弱ければ弱い程エッジは細く表示を行う様設定をし，関係性の強さを表現する．また，パラメータ α，β は，宮本らにより提案されている手法と同様に，式(3)とする．

●$\rightarrow$に関する関係生成のための言語ルール

If $p_{ji} \neq 0$，かつ p_{ij} は大きい，かつ $\frac{p_{ij}}{p_{ji}}$ は大きい then 線が太い．

If $p_{ji} = 0$，かつ p_{ij} は大きい then とても線が太い．

β は以下により正規化される．

$$\frac{\beta}{\max \frac{p_{ij}}{p_{ji}}} \quad (6)$$

ここで，x を任意の要素とするある集合 $X = x$ において，x を X に対する対象名，$\tilde{A}$ を X 上のファジィ集合を表すファジィラベルとする時，$\tilde{P}$ をファジィ命題とする．前件部を $x_{1-1} \sim x_{2-2}$，後件部を $\tilde{D}_1$，$\tilde{D}_2$ とした時，$\rightarrow$のファジィ命題 $\tilde{P}_1$，$\tilde{P}_2$ は以下の様になる．

$$\tilde{P}_1 = "x_{1-1} \text{ is } \tilde{A}_1 \text{ and } x_{1-2} \text{ is } \tilde{A}_2 \text{ and } x_{1-3} \text{ is } \tilde{A}_2 \text{ then } \tilde{D}_1" \quad (7)$$

$$\tilde{P}_2 = "x_{2-1} \text{ is } \tilde{A}_3 \text{ and } x_{2-2} \text{ is } \tilde{A}_2 \text{ then } \tilde{D}_2" \quad (8)$$

ファジィ集合 $\tilde{D}_1$，$\tilde{D}_2$ のメンバーシップ関数を $\mu_{\tilde{D}_n}$ ($n = 1,2$)とした時の式(7)，(8)の数値的真理値は以下とする．

$$v(\tilde{P}_1) = \mu_{\tilde{D}_1}("x_{1-1} \text{ is } \tilde{A}_1") \wedge \mu_{\tilde{D}_1}("x_{1-2} \text{ is } \tilde{A}_2") \wedge \mu_{\tilde{D}_1}("x_{1-3} \text{ is } \tilde{A}_2")$$

$$v(\tilde{P}_2) = \mu_{\tilde{D}_2}("x_{2-1} \text{ is } \tilde{A}_3") \wedge \mu_{\tilde{D}_2}("x_{2-2} \text{ is } \tilde{A}_2")$$

ここで、メンバーシップ値は以下とする．

$$\mu_{\tilde{D}_1}("x_{1-1} \text{ is } \tilde{A}_1") \vee \mu_{\tilde{D}_2}("x_{2-1} \text{ is } \tilde{A}_3") = p_{ji}$$

$$\mu_{\tilde{D}_1}("x_{1-2} \text{ is } \tilde{A}_2") \vee ("x_{2-2} \text{ is } \tilde{A}_2") = p_{ij}$$

$$\mu_{\tilde{D}_1}("x_{1-3} \text{ is } \tilde{A}_2") = \frac{\frac{p_{ij}}{p_{ji}}}{\max \frac{p_{ij}}{p_{ji}}}$$

これらから，有向グラフエッジの太さ p_t は以下により決定する．

$$p_t = \min\{\mu_{\tilde{D}_1}("x_{1-2} \text{ is } \tilde{A}_2"), \mu_{\tilde{D}_1}("x_{1-3} \text{ is } \tilde{A}_2"), \mu_{\tilde{D}_2}("x_{2-1} \text{ is } \tilde{A}_3")\}$$

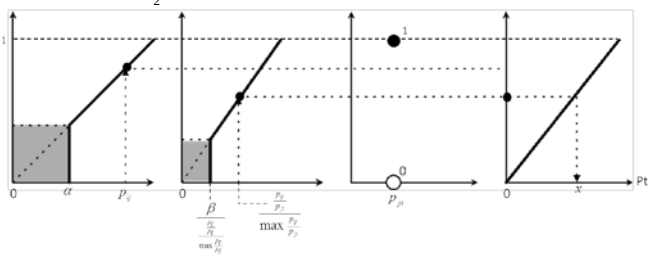


図 2. 矢印 $\rightarrow$ のメンバーシップ値

●$\leftrightarrow$に関する関係生成のための言語ルール

If $p_{ij} \neq 0$，かつ p_{ij} は大きい，かつ p_{ji} は大きい，かつ $\frac{p_{ij}}{p_{ji}}$ は β^{-1} より大きい，かつ $\frac{p_{ij}}{p_{ji}}$ は β より小さい，then 線が太い．

If $p_{ij} = 0$，かつ p_{ij} は大きい then とても線が太い．

β は式(6)と同様に正規化される．

ここで，x' を任意の要素とするある集合 $X' = x'$ において，x' を X' に対する対象名，$\tilde{A}'$，$\tilde{B}'$ を X' 上のファジィ集合を表すファジィラベルとする時，$\tilde{P}'$ をファジィ命題とする．前件部を $x'_{1-1} \sim x'_{2-2}$，後件部を $\tilde{D}'_1$，$\tilde{D}'_2$ とした時，$\leftrightarrow$のファジィ命題 $\tilde{P}'_1$，$\tilde{P}'_2$ は以下の様になる．

$$\tilde{P}'_1 = "x'_{1-1} \text{ is } \tilde{A}'_1 \text{ and } (x'_{1-2} \text{ and } x'_{1-3} \text{ and } x'_{1-4}) \text{ is } \tilde{B}' \text{ then } \tilde{D}'_1" \quad (9)$$

$$\tilde{P}_2' = "x'_{2-1} \text{ is } \tilde{A}_3' \text{ and } x'_{2-2} \text{ is } \tilde{A}_2' \text{ then } \tilde{D}_2'" \quad (10)$$

ファジィ集合 $\tilde{D}_1'$, $\tilde{D}_2'$ のメンバーシップ関数を $\mu_{\tilde{D}_n'}(n=1,2)$ とした時の式(9), (10)の数値的真理値は以下とする.

$$v(\tilde{P}_1') = \mu_{\tilde{D}_1'}("x'_{1-1} \text{ is } \tilde{A}_1'") \wedge \mu_{\tilde{D}_1'}("(x'_{1-2} \wedge x'_{1-3} \wedge x'_{1-4}) \text{ is } \tilde{A}_2'") \wedge \mu_{\tilde{D}_1'}("x'_{1-5} \text{ is } B'")$$

$$v(\tilde{P}_2') = \mu_{\tilde{D}_2'}("x'_{2-1} \text{ is } \tilde{A}_3'") \wedge \mu_{\tilde{D}_2'}("x'_{2-2} \text{ is } \tilde{A}_2'")$$

ここで、メンバーシップ値は以下とする.

$$\mu_{\tilde{D}_1'}(("x'_{1-1} \text{ is } \tilde{A}_1'") \vee ("x'_{1-3} \text{ is } \tilde{A}_2'")) \vee \mu_{\tilde{D}_2}("x'_{2-1} \text{ is } \tilde{A}_3'") = p_{ji}$$

$$\mu_{\tilde{D}_1'}("x'_{1-2} \text{ is } \tilde{A}_2'") \vee ("x'_{2-2} \text{ is } \tilde{A}_2') = p_{ij}$$

$$\mu_{\tilde{D}_1'}(("x'_{1-4} \text{ is } \tilde{A}_2'") \vee ("x'_{1-5} \text{ is } \tilde{B}'")) = \frac{\frac{p_{ij}}{p_{ji}}}{\max \frac{p_{ij}}{p_{ji}}}$$

これらから, 有向グラフエッジの太さ p_t' は以下により決定する.

$$p_t' = \min\{\mu_{\tilde{D}_1'}("x'_{1-2} \text{ is } \tilde{A}_2'"), \mu_{\tilde{D}_1}("x'_{1-3} \text{ is } \tilde{A}_2'"), \mu_{\tilde{D}_1}("x'_{1-4} \text{ is } \tilde{A}_2'"), \mu_{\tilde{D}_1}("x'_{1-5} \text{ is } \tilde{B}'"), \mu_{\tilde{D}_2}("x'_{2-2} \text{ is } \tilde{A}_2'")\}$$

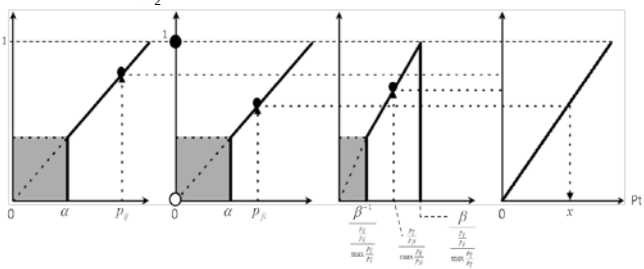


図 3. 矢印 $\leftrightarrow$ のメンバーシップ値

4. 数値例

提案手法の有用性確認のため，数値例として，非対称データである旅行者数データを用いを用いて検証を行う．データに対してそれぞれパラメータ $\alpha = 0.05, 0.1, 0.2$, $\beta = 2$ として算出し，有向グラフ表示を行う．確認に使用した手法は，既存手法である[3, 4] と，提案手法の 2 パターンをそれぞれ行う．表示手法については，Processing[11]を用いて有向グラフ表示を行う．以下，図 4～図 9 は確認結果である．

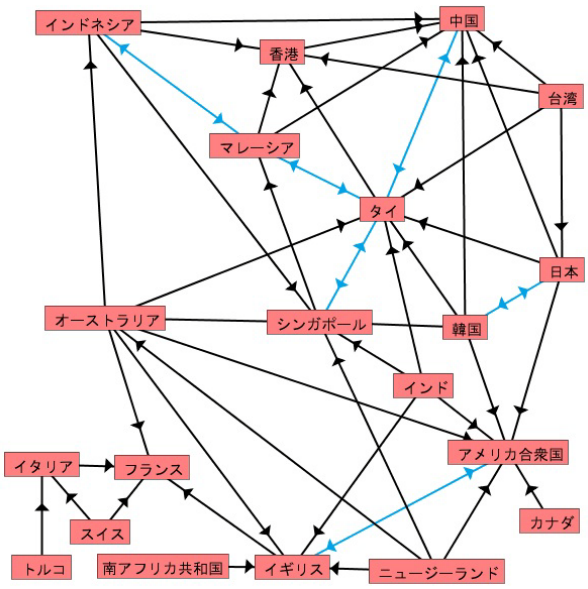


図 4. 既存手法による結果($\alpha = 0.05$, $\beta = 2$)

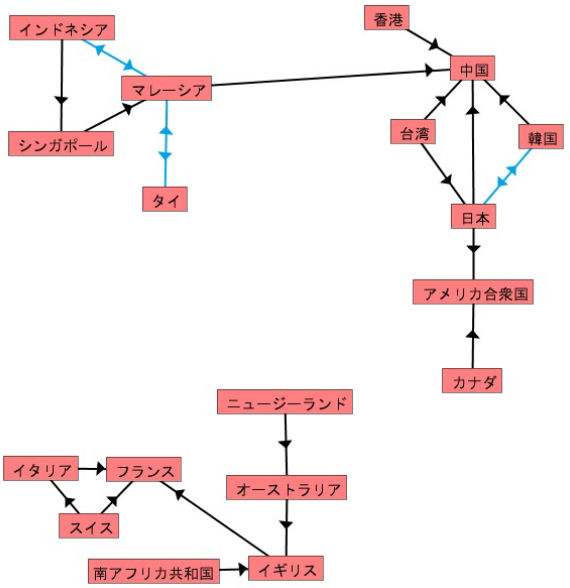


図 5. 既存手法による結果($\alpha = 0.1$, $\beta = 2$)

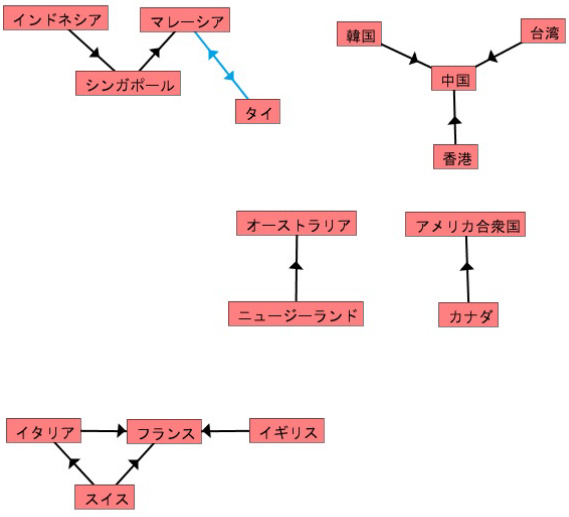


図 6. 既存手法による結果($\alpha = 0.2$, $\beta = 2$)

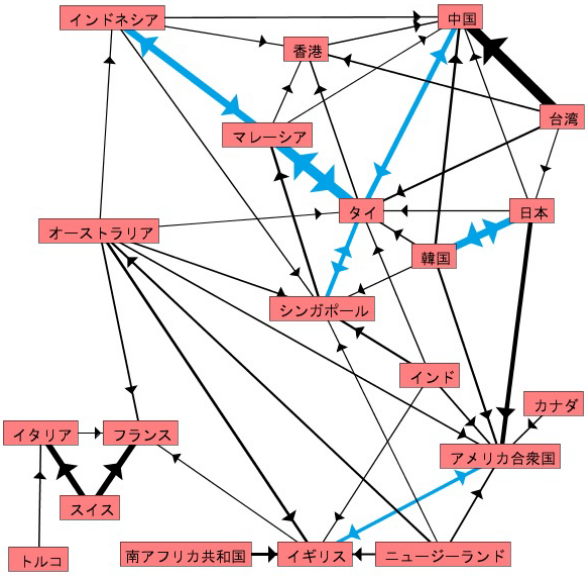


図 7.提案手法による結果($\alpha=0.05$, $\beta=2$)

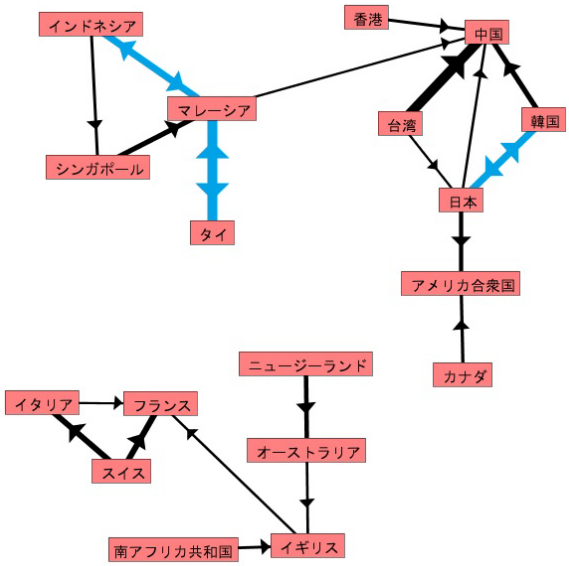


図 8.提案手法による結果($\alpha=0.1$, $\beta=2$)

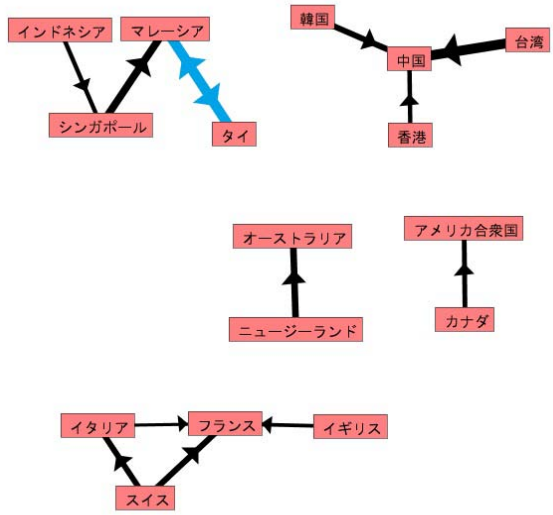


図 9.提案手法による結果($\alpha=0.2$, $\beta=2$)

５．結論

本研究では言語ルールを用いた可視化技法を系統的に生成し，有効性を検証した．クリスプである既存手法に対し，有向グラフの可視化に言語ルールを用いても，有向グラフの個数，向き，表示される国の数は従来手法と同じこと，そして有向グラフのエッジの太さを可変させることが可能となり，視覚的にデータ同士の繋がりの強さがわかることを示した．本研究の最も大きい成果は，言語ルールにおける可視化技法の構築である．このことにより，非対称データの解析等でより深い評価を行うことが可能となり，新たな領域開拓が期待される．

しかし，本研究ではデータ数の少ない非対称データを使用したが，ビックデータ等の可視化も視野に入れるべきであると考える．その際，データ増に対応すべく有向グラフデータの結合，グラフの性能評価，それに伴うパラメータの自動設定等，検討が必要だと考える．

参考文献

[1] A. Okada, H. Tsurumi, Evaluating the Effect of New Brand by Asymmetric Multidimensional Scaling, Proc. of CLADAG 2012, Anacapri, Italy, Sept. 3-4, pp.1-4 (2012).
[2] K. Pearson, On Lines and Planes of Closest Fit to Systems of Points in Space, Philosophical Magazine 2(11), pp.559-572 (1901).
[3] S. Miyamoto, Fuzzy Sets in Information Retrieval and Cluster Analysis, Kluwer Academic (1990).
[4] S. Miyamoto, K. Oi, O. Abe, A. Katsuya, K. Nakayama, Directed Graph Representations of Association Structures: A Systematic Approach, IEEE Trans., SMC, Vol16, pp.53-61 (1986).
[5] S. Miyamoto, S. Takumi, H. Toyoda, Summarizing and Visualizing Asymmetric Relations for Different Types of Information on the Web, International Journal of Information Technology &Computer Science (IJITCS), pp.115-120 (2013).
[6] 角浩二，田中寿俊，榎原博之，中野秀男，グラフ描画アルゴリズムの性能評価，Information Processing Society of Japan, pp.57-64 (1994).
[7] 佗美怜，非対称類似度に基づく階層的クラスタリング，筑波大学第三学群工学システム卒業論文(2010).
[8] 豊田博美，佗美怜，宮本定明，遠藤靖典，非対称データに対する有向グラフに基づく情報の可視化，第 39 回ファジィワークショップ，pp.39-42，文化学園大学新都心キャンパス(2013).
[9] 本多中二，大里有生，ファジィ工学入門，海文堂出版株式会社(1989).
[10] http://www.unwto-osaka.org/index.html
[11] http://processing.org/

連絡先

筑波大学
宮本 定明
(Tel.:029-853-5346
E-mail: miyamoto@risk.tsukuba.ac.jp)

汎化能力を持つ強化学習を用いた多機能ロボットの開発

Developing a Multifunctional Robot Using Reinforcement Learning with Generalization Ability

津留 祐樹　伊藤 秀昭　福本 尚生　和久屋 寛　古川 達也
Yuki Tsuru　Hideaki Itoh　Hisao Fukumoto　Hiroshi Wakuya　Tatsuya Furukawa
佐賀大学
Saga University

abstract: Making a robot that is as versatile as human beings is a great technical challenge. To make such a versatile intelligent robot, we have been developing a robot that performs tasks of developmental scales. In the previous study, we have developed a robot that performs multiple tasks using OpenRTM-aist and reinforcement learning. However, the conventional reinforce learning method which we used in the previous study required a long time to learn the tasks. In this study, we aimed to reduce the learning time by introducing generalization capability into the reinforcement learning.

1. はじめに

ロボット工学の目標の一つに，人間と同じくらい賢いロボットの実現がある．筆者の研究室では，ロボットを人間に近づけるために発達検査のタスクを段階的に実現してきた [1]．しかし，これまでの開発方法では，開発したシステムを他のシステムで再利用することは困難であった．

この問題を解決するために，筆者らの従前の研究では，OpenRTM-aist と強化学習を用いて複数の発達検査のタスクを達成するロボットを開発した [2]．OpenRTM-aist を用いることによって，機能の再利用や追加，変更が可能な開発システムを構築した．また，強化学習を用いることによって，行動手順を自動的に学習するシステムを開発した．

しかし，このシステムには学習のための試行回数が多いという問題があった．この問題は，現実に学習を行う場合に膨大な時間がかかることになるため，重要な問題である．よって本研究では，この問題を解決するために，強化学習に汎化能力を持たせることによって試行回数を減らすことを目指す．

2. 強化学習

強化学習とは，学習者である「エージェント」が，制御対象である「環境」と相互作用を行い，とるべき行動を決定する機械学習の一種である．例えば，時刻 t において環境が状態 s にある時，エージェントが行動 a を選択し実行すると，時刻 $t+1$ において状態遷移関数 T にしたがって環境の状態が s' に遷移し，エージェントは報酬 r を得る．

今回の研究では，代表的な強化学習法である Q-learning を用いる．Q-learning では，以下の式にしたがって行動価値関数 Q を更新する．

$$Q(s,a) \leftarrow Q(s,a) + \alpha\left[r + \gamma \max_{a'} Q(s',a') - Q(s,a)\right]$$

ここで，α は学習率，γ は割引率である．

2.1. 問題設定

今回の研究では，K 式発達検査という発達検査の，6 個のタスクを達成する行動手順を Q-learning を用いて学習させる．タスクは「時計を探す」「時計の数を数える」「時計の大きさを比較する」「円を探す」「円の数を数える」「円の大きさを比較する」の六つである．

今回の研究では，これらのタスクを実現するために状態を Table 1 のように定義した．ここで，状態は，受けた命令 s_C，受けた命令のターゲット s_T，検出した物体 s_D の三つの要素からなるベクトル ($\boldsymbol{s} = [s_C, s_T, s_D]$) とした．また，行動 a は「命令を待つ a_1」「時計を探す a_2」「円を探す a_3」「検出した物体を指す a_4」「数を数える a_5」「一番大きい物体を指す a_6」の六つとした．

行動は，Table 2 のように状態要素を変化させる．この状態遷移は決定論的に起こる．

報酬 r は，成功時に $r = 100$，失敗時には $r = -100$ を与える．

Table 1. 状態集合

命令 s_C	ターゲット s_T	検出物体 s_D
なし	なし	なし
		時計
		円
どれですか？	時計	なし
		時計
		円
	円	なし
		時計
		円
いくつですか？	時計	なし
		時計
		円
	円	なし
		時計
		円
大きい方はどれですか？	時計	なし
		時計
		円
	円	なし
		時計
		円
終了状態		

Table 2. 行動とそれによる状態遷移

行動	状態遷移
指示を待つ a_1	各命令に応じて ターゲットと命令が遷移
時計を探す a_2	検出物体が時計に遷移
円を探す a_3	検出物体が円に遷移
物体を指す a_4	終了状態に遷移
一番大きい物体を指す a_5	終了状態に遷移
数をいう a_6	終了状態に遷移

3. 提案手法

今回の研究では，Q-learning に汎化能力を持たせることによって学習の回数を減らすことを目指す．そのために，Q-learning に汎化能力を持った行動価値関数 $\bar{Q}$ を導入する．

今回提案する手法では，状態の次元を削減した状態ベクトル $\boldsymbol{s_{CD}}$，$\boldsymbol{s_{TD}}$ を用いて，以下のように $\bar{Q}$ をつくる．

$$\overline{Q}(\boldsymbol{s}=[s_C,s_T,s_D],a)=Q(\boldsymbol{s_{CD}},a)+Q(\boldsymbol{s_{TD}},a)$$

ここで，$\boldsymbol{s_{CD}}=[s_C,\,s_D]$，$\boldsymbol{s_{TD}}=[s_T,\,s_D]$ とし，$Q(\boldsymbol{s_{CD}},a)$ と $Q(\boldsymbol{s_{TD}},a)$ は以下の式を用いて値を更新する．

$$Q(\boldsymbol{s_{CD}},a)\leftarrow Q(\boldsymbol{s_{CD}},a)+\alpha\left[r+\gamma\max_{a'}Q(\boldsymbol{s'_{CD}},a')-Q(\boldsymbol{s_{CD}},a)\right]$$

$$Q(\boldsymbol{s_{TD}},a)\leftarrow Q(\boldsymbol{s_{TD}},a)+\alpha\left[r+\gamma\max_{a'}Q(\boldsymbol{s'_{TD}},a')-Q(\boldsymbol{s_{TD}},a)\right]$$

状態の次元を削減した状態ベクトル $\boldsymbol{s_{CD}}$，$\boldsymbol{s_{TD}}$ は，関わりが深い状態の要素を二つ組み合わせたベクトルである．このベクトルを用いて，Q-learning を行うことによって，異なる状態 s の行動価値関数を共有することになり，汎化できるのではないかと考えた．

今回の研究では，行動選択にイプシロン・グリーディー法を用いた．$\bar{Q}$ を用いて，グリーディーな行動選択時に以下の式を用いて行動を決定した．

$$\arg\max_a\{Q(\boldsymbol{s},a)+w\overline{Q}(\boldsymbol{s},a)\}$$

ここで w は重みづけのための定数である．

4. 実験方法

2. で説明した環境を模擬して，シミュレーション実験を行った．実験ではタスクをランダムに 200 回与えて学習を行った．1 回のタスクの開始から終了までを 1 試行と呼ぶことにし，毎回の試行終了後の成功率を測定した．学習率は $\alpha=0.9$，割引率は $\gamma=0.8$，イプシロングリーディ法において探索を選ぶ確率 ϵ を $\epsilon=0.01$ に設定した．通常の Q-learning と今回提案する手法とを比較するために，重み w を変化させてシミュレーション実験を行った．

5. 実験結果

同様の実験を 1000 回行い，各試行ごとに成功率を平均化した実験結果は Fig.1 のようになった．この図から，提案手法は通常の Q-learning に比べて，学習の回数を減らすことができていることがわかる．また，w を大きくすると $\overline{Q}$ 値の比率が大きくなり，より高速に学習が行われている．

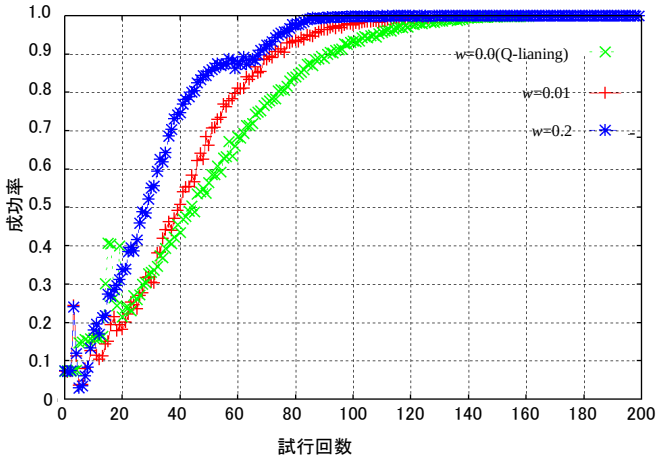


Fig. 1. 実験結果

6. おわりに

本研究では，汎化能力を持つ行動価値関数 $\overline{Q}$ を導入することによって学習回数を減らすことを目指した．提案する手法では，状態を表すベクトルの次元を削減して，関連のあるタスクの状態の行動価値も同時に学習させることによって無駄な試行錯誤を減らすことができた．いくつかのシミュレーションの結果から，通常の Q-learning に比べて学習の回数を減らすことができることがわかった．

今後，ロボットが行うことのできるタスクを増やすことを予定している．

参考文献

[1] 津留祐樹，伊藤秀昭，福本尚生，和久屋寛，古川達也，「OpenRTM-aist を用いた発達検査の絵指示タスク達成ロボットの開発」, 電子情報通信学会九州支部学生会, 長崎大学, 2012

[2] Yuki Tsuru, Hideaki Itoh, Hisao Fukumoto, Hiroshi Wakuya, Tatsuya Furukawa, “Developing a Robot That Performs Multiple Tasks of a Developmental Test Using OpenRTM-Aist and Reinforcement Learning,” The Society of Instrument and Control Engineers (SICE2013) September 14–17, Nagoya, Japan, SuCT13.3, pp.1062-1066, 2013

連絡先

佐賀大学大学院工学系研究科電気電子工学専攻
計算機応用工学研究室
津留 祐樹
E-mail:tsuruy@ace.ec.saga-u.ac.jp

ホップフィールドネットワークを用いた効率的な巡回経路分担の検討

A Consideration on Effective Route Assignment for nTSP with Hopfield Network

○ 井上 太一，　和久屋 寛，　伊藤 秀昭
○ Taichi Inoue，　Hiroshi Wakuya，　Hideaki Itoh
佐賀大学
Saga University

Abstract: A Hopfield network is a good tool for solving combinatorial optimization problems, and an nTSP by plural salesmen has been investigated to achieve appropriate assignment for each route planning so far. In order to confirm its applicability to the real-world problems, as a next step, more large-scaled task is adopted in this study. As a result of computer simulations, it is confirmed that the nTSP has been solved appropriately. And it is concluded that the proposed method is effective.

1　はじめに

ホップフィールドネットワークは，与えられた組み合わせ最適化問題に応じてエネルギーを事前に設定し，これが小さくなるような状態遷移を行うことで，エネルギー最小値に対応する最適解を探索する．ただし，ネットワークの初期状態によっては最適解を求めることができないという問題点がある．そこで，その解決手段として，擬似焼きなまし法や仮想磁場漸弱法 [1] をはじめとする様々な手法が提案されている．

ところで，組み合わせ最適化問題の適用例として，効率的な分担が実現できれば有用である．例えば，有名な巡回セールマン問題（TSP）は 1 人のセールスマンがすべての都市を巡回するが，これを複数人で分担するように拡張したものが分業巡回セールスマン問題（nTSP）である．従前の研究では，まず 2 人が訪問都市を等分する経路発見に取り組み [2]，その後，訪問都市数に関する制約を取り除いた [3]．

以下本稿では，**2.** で nTSP の概要を紹介した後，**3.** で効率的な分担を目指した計算機シミュレーションについて言及する．そして，**4.** では，与えられた問題の表現方法について考察を行い，**5.** で結論を述べる．

2　分業巡回セールスマン問題

1 人のセールスマンが，与えられたすべての都市を重複なく巡回し，その巡回経路を最小とする問題を巡回セールスマン問題（TSP）という．この問題を拡張し，複数人で分担し巡回するようにしたものを nTSP という．ただし，出発点は共通とする†．この nTSP の条件は，次のとおりである．

†本来の nTSP では，出発点は共通と定めていない [4].

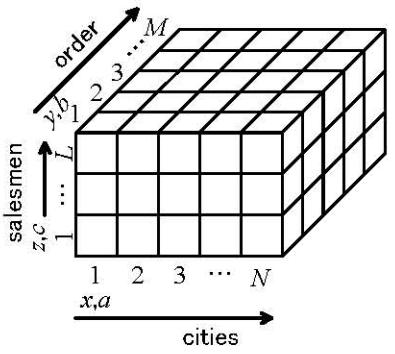


図 1: ネットワーク構造

(i) 出発点はすべてのセールスマンで共通とし，巡回完了後は出発点に戻る．
(ii) 出発点を除く都市は，すべてのセールスマンで 1 回だけ訪問する．
(iii) 1 人のセールスマンが同時に複数の都市を訪問しない．
(iv) セールスマンの総巡回距離を最小化する．

本研究では，nTSP の解探索に当たり，図 1 に示すようなホップフィールドネットワークを用いた．なお，図中の各立方体はそれぞれ単体のニューロンを表している．ここで x,a 軸が訪問都市（最大値 N），y,b 軸が訪問順序（最大値 M），z,c 軸がセールスマンの人数（最大値 L）であり，$N \times M \times L$ 個のニューロンから構成される直方体型をしている．これは上述のように動作するものの，ここでは仮想磁場漸弱法 [1] を併用することで，正答率の向上を図っている．

このような条件の下，次にホップフィールドネットワークのエネルギー関数を導出する．このときのエネ

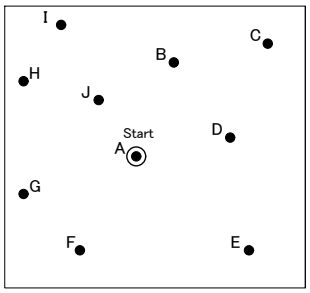


図 2: 10 都市の配置

ルギー関数 $E(t)$ は，求解時のペナルティに相当し，

$$E(t) = -\frac{1}{2}\sum_{x=1}^{N}\sum_{y=1}^{M}\sum_{z=1}^{L}\sum_{a=1}^{N}\sum_{b=1}^{M}\sum_{c=1}^{L} W_{xyz,abc}V_{xyz}(t)V_{abc}(t) + \sum_{x=1}^{N}\sum_{y=1}^{M}\sum_{z=1}^{L}\theta_{xyz}V_{xyz}(t) \quad (1)$$

と表せる．これを (i)〜(iv) からなる条件式と比較することで，結合荷重 $W_{xyz,abc}$ と閾値 θ_{xyz} を導出し，これらを用いて，次の時刻のニューロン出力 V_{xyz} は，

$$V_{xyz}(t+\frac{\tau+1}{NML}) = f\left(\sum_{a=1}^{N}\sum_{b=1}^{M}\sum_{c=1}^{L} W_{xyz,abc}V_{abc}(t+\frac{\tau}{NML}) - \theta_{xyz}\right) \quad (2)$$

と定まる．なお，t は時刻を表し，$\tau(=1/NML)$ はニューロンが一つずつ選ばれ，非同期で状態遷移を起こす時間間隔である．ここで，ニューロンの選択方法は走査方式を採用している．

3 計算機シミュレーション

3.1 実験方法

本研究では，図 2 に示すとおり，出発点 A を共通とした 10 都市を 2 人で分担して巡回する場合を取り上げる．それぞれの都市の位置情報は表 1 に示す通りであり，都市間距離にはユークリッド距離を用いている．本来であれば，$10\times10\times2$ のネットワークとなるが，後述の図 5 のように，以下では必要に応じて z=1 と z=2 に分けてセールスマンごとに描く．

ここで，ネットワークの初期状態は「1」と「0」の一様乱数で決定し，1000 通りを準備した．このとき，出発点（$y=1$）を都市 A（$x=1$）としているため，いずれのセールスマンも都市 B〜J（$x\neq1$）にはいない．そこで，

$$V_{x1z} = \begin{cases} 1, & x=1 \\ 0, & x\neq1 \end{cases} \quad (3)$$

としている．また最後（$y=M$）には，都市 A（$x=1$）へ戻ってきて留まるため，1 人のセールスマンが全都市を巡回しない限り，出発点と同じになるはずである．したがって，

$$V_{xMz} = \begin{cases} 1, & x=1 \\ 0, & x\neq1 \end{cases} \quad (4)$$

である．紙面の制約から省略するが，実際には，さらにいくつかの簡略化を行っている．

また，都市数の増加に伴って，巡回経路の組み合わせが増大して問題の難易度は上昇すると考えられる．そこでここでは，実際には使わないと思われる遠方の都市間を結ぶ経路は事前に取り除き，問題の簡単化を図った上で検討を行う．具体的には，出発点を除く 9 都市から距離が短い 3 都市への経路のみを残しており，当初の 91 通りの経路から 51 通りまで，およそ 44 % の削減となっている．

なお，本研究で用いている仮想磁場漸弱法（VMD 法）[1] とは，ホップフィールドネットワークの閾値 θ_{xyz} が，スピングラス理論において磁場と対応することに着目した解探索法である．具体的には，本来の値に仮想磁場パラメータ $\theta_e(t)$ を付加し，

$$\Theta_{xyz}(t) = \theta_{xyz} + \theta_e(t) \quad (5)$$

と置換し，これを制御することでニューロンの発火の容易さを変化させている．ここで，仮想磁場パラメータ $\theta_e(t)$ は図 3 に示すようなスケジュールで決定し，負値から始めて極性を反転させ，最終的に零となるように制御している．

表 1: 10 都市の位置情報

番号	都市	x 座標	y 座標
1	A	7	7
2	B	9	12
3	C	14	13
4	D	12	8
5	E	13	2
6	F	4	2
7	G	1	5
8	H	1	11
9	I	3	14
10	J	5	10

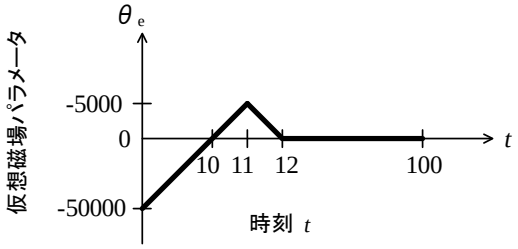


図 3: 仮想磁場パラメータの制御スケジュール

表 2: 計算機シミュレーションの結果（1）
～全体的な傾向のまとめ～

巡回経路発見率	21.5 %
正答率	0.1 %
総巡回距離	57.52
セールスマン# 1 の巡回距離	29.76
セールスマン# 2 の巡回距離	27.76

3.2 実験結果

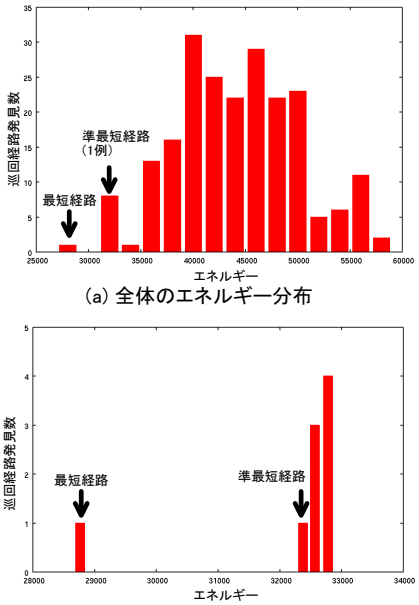
上述の条件で計算機シミュレーションを行った結果を表 2 に示す．ここで「巡回経路発見率」とは，条件 (i)～(iii) を満たしている巡回経路の割合である．これに対して「正答率」とは，1000 試行のうちで最短経路を発見できた割合である．そして,「総巡回距離」は発見した最短経路での巡回距離であり，それ以降は，各セールスマンの巡回距離である．また図 4 は，巡回経路を発見できた場合のエネルギー最終値の分布であり，(a) は全体のエネルギー分布，(b) は最小値を基準にして 20 % 以内の範囲を示したものである．横軸がエネルギー，縦軸が巡回経路発見数を表している．これらによれば，巡回経路を発見できたのが 215 例（21.5 %）であり，最短経路を発見できたのは 1 例（0.1 %）であった．そして，総巡回距離は 57.52 であり，セールスマン# 1 は 29.76，セールスマン# 2 は 27.76 とほぼ等距離を巡回していた．図 4 から，発見された巡回経路には多くの種類が存在していることがわかった．そして，最適解を発見できたのは 1 例であり，2 番目に最適な解（準最適解）が 1 例存在することがわかった．

ここで，最適解と準最適解となったときのネットワーク最終状態と得られた巡回経路を図 5，図 6 に示す．図 5 の中では，■と□がそれぞれニューロンの発火「1」と静止「0」を表している．確かに，どちらの場合もセールスマンが同時に巡回を行い，作業時間を短縮していることがわかる．図 6 において (a) の最適解では，

- セールスマン# 1 :
  A → B → C → D → E → A
- セールスマン#2 :
  A → F → G → H → I → J → A

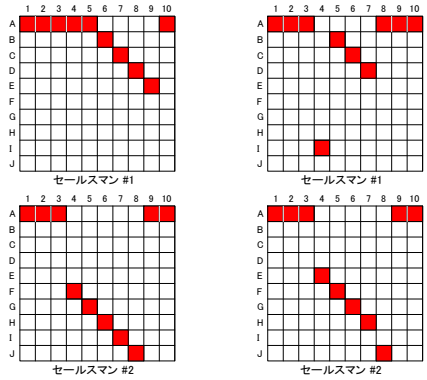
となっており，地図の右側と左側を分担する傾向が確認できる．それに対して (b) の準最適解では，

- セールスマン# 1 :
  A → I → B → C → D → A
- セールスマン# 2 :
  A → E → F → G → H → J → A



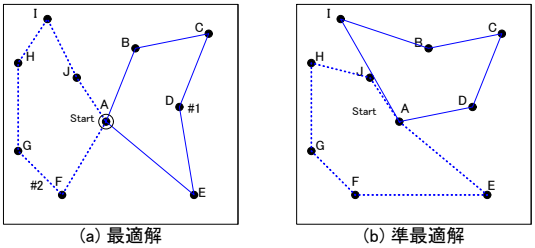
(a) 全体のエネルギー分布
(b) 成績上位20%のエネルギー分布

図 4: 計算機シミュレーションの結果（2）
～エネルギー最終値分布～



(a) 最短経路　(b) 準最短経路

図 5: 計算機シミュレーションの結果（3）
～ネットワーク最終状態の例～



(a) 最適解　(b) 準最適解

図 6: 計算機シミュレーションの結果（4）
～巡回経路の例～

となっており，地図の上側と下側を分担する傾向が確認できる．ここで，図 6(b) については，都市 J に着目して，

- セールスマン# 1 :
  A → J → I → B → C → D → A
- セールスマン# 2 :
  A → E → F → G → H → A

と分担した方が巡回距離は短くなり効率的である．しかしながら，このような解が得られなかった理由は，用意した 1000 通りの初期状態の中に，この解に行き着くものが存在しなかったためだと考えられる．換言すれば，もっと多くの初期状態から探索を開始しなければ真の分布は特定できないということであろう．

4 考 察

本研究では，従来の TSP と同様にセールスマンの“訪問順序” に着目して，nTSP の解探索を行った．しかし，実際に nTSP を解く際には，複数人のセールスマンの “所要時間” が重要である．例えば，遠方の都市間の移動には長い時間を要するものの，近隣の都市間の移動は短い時間で可能である．したがって，あるセールスマンが特定の都市間を移動する間に，別のセールスマンは複数の都市を巡回することも考えられる．今回は，最終的に近い距離の都市間を順番に巡るであろうという仮定のもとに計算機シミュレーションを行ったが，現在の表現法では都市間の距離が遠くても近くても，移動に要する時間が同じに見えてしまうという問題点があった．現段階では，この問題点を解決する有効な手法は思い浮かばないが，例えばネットワークの表現法に訪問順序だけでなく所要時間に関する要素を加味することが必要であろう．

5 おわりに

本研究では，複数のセールスマンが分担して全都市を訪問する nTSP について，実問題に近づけるため都市数を増加して検討を行った．その結果，10 都市ではあるが，2 人のセールスマンが適切に訪問都市を分担し，効率のよい巡回経路を発見できていた．まだ都市数については十分とは言い難いが，エネルギー関数に応じて自律的な分担を実現できており，今後更なる検討を進めていく予定である．

参考文献

[1] H.Wakuya : “A new search method for combinatorial optimization problem inspired by the spin glass system”, *In Brain-Inspired IT II, ICS1291*, pp.201–204，Elsevier，2006

[2] 井上太一，和久屋 寛，伊藤秀昭，福本尚生，古川達也: “分業巡回セールスマン問題を用いた仮想磁場漸弱法の有効性の検討”, 第 2 回日本知能情報ファジィ学会九州支部学生部会研究発表会予稿集，A102，pp.3–4，2012

[3] 和久屋 寛，井上太一，伊藤秀昭，福本尚生，古川達也 : “仮想磁場漸弱法の組み合わせ最適化問題への適用 : 分業を自律的に決定する仕組みの構築を目指して”, 信学技報，**NC2012**-48，2012

[4] 中村友洋，角田達彦，田中英彦 : “分業巡回セールスマン問題のニューラルネットワークによる解法”, 情処学人工知能研報，**Vol.94**，No.52，pp.9–18，1994

連絡先

和久屋 寛

佐賀大学大学院工学系研究科電気電子工学専攻

E-mail:wakuya@cc.saga-u.ac.jp

HSV 表色系によるイチョウの黄葉の表現と分析

Numerical Expression of the Turning-yellow of the Ginkgo Biloba Using the HSV Color Specification System

丹下翔貴	池ヶ谷紘正	松田修三	小沢和浩	但馬文昭	宮武直樹
Shoki Tange	Hiromasa Ikegaya	Shuzo Matsuda	Kazuhiro Ozawa	Fumiaki Tajima	Naoki Miyatake
法政大学	法政大学	法政大学	法政大学	横浜国立大学	千葉科学大学
Hosei Univ.	Hosei Univ.	Hosei Univ.	Hosei Univ.	Yokohama Nat'l.Univ.	Chiba Inst.Sci.

Abstract The authors analyzed the relationship between the early stage color of the leaves of ginkgo and the progress of turning yellow. We did an observation in "Tama New Town" of the suburban in Tokyo. The samples of the leaves were extracted from the Ginkgo biloba which is planted into the "Tama New Town" street. We were used Hue of the HSV color system for representation of color of the leaf. And we made a mathematical model using the Hue of leaves to express a progression process of turning yellow. As a result, we showed that the difference in Hue of the early leaves of Ginkgo is related to the speed of turning yellow.

1. はじめに

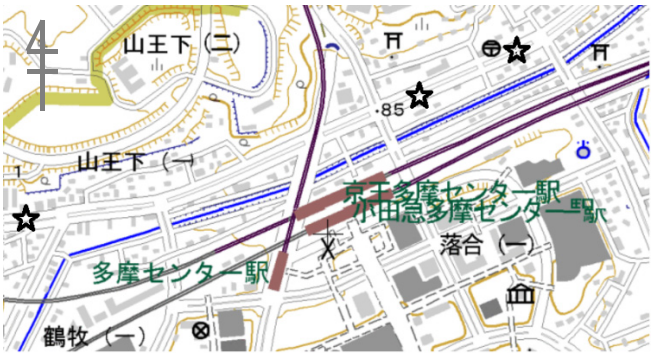
我々は、植物季節を指標として都市の気温環境を把握するために、東京都八王子市および多摩市を東西に走る都道 158 号線（通称：多摩ニュータウン通り）に植栽されているイチョウの黄葉の進み方とその付近の都市化（温暖化）の状況に注目し観測を継続してきた。その結果、植物を指標とすることにより、その周辺の小気候や微気候が把握できることが分かった[1][2]。更にイチョウの黄葉の進行過程がロジスティック関数を用いたモデルで表現できることも既に示している[3]。

10 年以上に渡り多くの観察を行った結果、イチョウは黄葉前の葉の緑色に多少の違いがあると、その後の黄葉の進み方に差がでることが分かった。これは、地域全体（たとえば多摩ニュータウン地区など）の気候の様子を把握するためには、誤差として無視できるほどの差異ではあるが、小気候区や微気候区などの気温環境を把握するためには無視できない差である。

本研究では、比較的に同様の気温環境のあるイチョウの樹に注目して、黄葉する葉の色そのものに着目し、黄葉が始まる前の葉の色の違いによって、その後の黄葉の進み方に違いがあることを示す。

2. 調査対象とした微気候区

本研究で観察した微気候区を図 1(a)、(b) に☆印で示す。図 1(a)は東京の郊外にある多摩ニュータウンの中心地で、京王相模原線と小田急多摩線の多摩センター駅付近である。図中の☆印は左から、松が谷高校入口、多摩センター駅入口、上之根橋の交差点付近である。この付近は歩道と中央分離帯にイチョウが植栽されているが、中央分離帯にあるイチョウが歩道にあるイチョウよりも黄葉が早く始まることがわかっている。



(a)多摩センター駅付近の微気候区

(b)多摩美術大学入口付近の微気候区

図 1　対象とした微気候区

図 1 の (b) は「多摩センター駅」からさらに西にある多摩美術大学の入り口である。ここは、以前にはバス停があった場所で、すぐ前には野猿街道が通

っている。大学の入り口の両側にイチョウが植栽されているが、入口の東側と西側のイチョウの黄葉の始まりに差がある微気候区である。

3. HSV 表色系による黄葉の推移のモデル化と表現

色の定量的な表現法には様々なものが存在するが、一般的にコンピューター等では RGB の 3 原色を用いた表現法がある。これは Red, Green, Blue の 3 原色をデジタル表現で表すことからコンピューターにとっては扱いやすいが、人間にとっては直感的には分かりにくい表現法である。一方、人にとっては直感的でわかりやすい表色系に HSV 表現がある。HSV モデルは色相(Hue)、彩度(Saturation･Chroma)、明度（Value･Lightness･Brightness）の三つの成分からなる色空間で表現され、人間が色を知覚する方法が類似しているため、感覚的にも分かりやすい色表現と言われている。RGB 表色系から HSV 表色系の Hue（H）への変換は式 (1)〜(3) によって行われる。

R 値が max のとき・・・$H = 60 \times \left(\frac{G-B}{\max-\min}\right)$ (1)

G 値が max のとき・・・$H = 60 \times \left(2 + \frac{B-R}{\max-\min}\right)$ (2)

B 値が max のとき・・・$H = 60 \times \left(4 + \frac{R-G}{\max-\min}\right)$ (3)

本研究では、HSV 表色系の色相(Hue) に注目し、イチョウの葉の黄葉の様子を、緑から黄葉の色調に至るまでの解析を試みる。

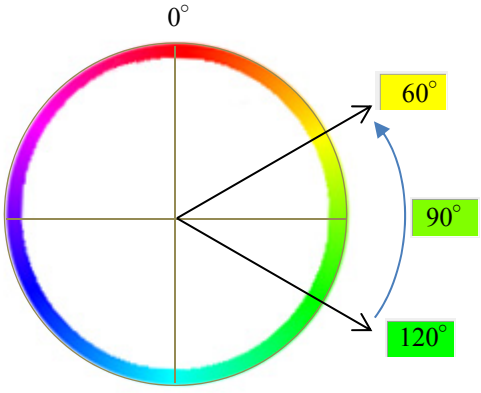


図 2　葉色の変化と色相環上の範囲

黄葉していくイチョウの葉の色が緑から黄へと変化するとき、葉の色を HSV 表色系における色相環に対応させると、色相 H (hue) は緑の 120° から黄色の 60° へ向かっての変化となる（図 2 参照）。黄葉の過程は日ごとの気温の低下が主な要因であるので時間の経過に対する色相の変化をモデル式で表現するにはロジスティック関数が適当であると考えられる。色相の変化する範囲を 60°（120° から 60°)とし、これを H_a とする。黄葉の始まる前すなわち未黄葉のときの葉の色相を初期位相と考えて H_b とする。色相の変化する速さに関するパラメータを c とする。これは黄葉度を表現するモデル式[3]の c と同じ性質のパラメータで気温の関数と考えられる。x は時間（日）、x_d をロジスティック関数の変曲点に相当する時間（日）を表現するものとすれば、黄葉の様子を表現する色相 H は H_a 、H_b 、c 、x_d をパラメータとする時間（日）x の関数として

$$H(x) = \left| \frac{H_b - H_a}{1 + e^{-H_a c(x-x_d)}} - H_b \right| \quad (4)$$

と表現することができる。

4. 微気候区におけるイチョウの黄葉の色相変化の違い

図 1 (a)で示した都道 158 号線の多摩センター駅周辺の中央分離帯と歩道のイチョウと、多摩美術大学の野猿街道側の入り口付近の微気候区におけるイチョウの樹から数枚の葉を 1 週間に 1 回程度採取した。期間は、2013 年 9 月 12 日から 11 月 28 日までである。図 3 に採取した葉の一例を示す。

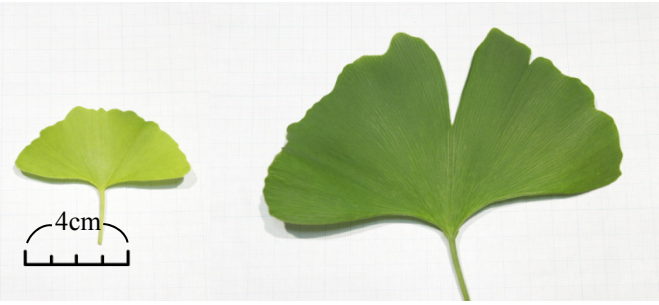


図 3　多摩センター都道 158 号線中央分離帯側（左）と歩道側（右）のイチョウの葉

図 3 は多摩センター都道 158 号線のイチョウの葉であるが、中央分離帯側のイチョウが左、歩道側のイチョウが右の葉である。採取したのは 9 月 12 日である。このように他の採取場所においても、初めの緑が薄く黄緑色に近いものは中央分離帯に多くみられる。また、歩道側ではイチョウの葉は緑色が濃いばかりではなく、葉の大きさは大きく葉に大きな切れ

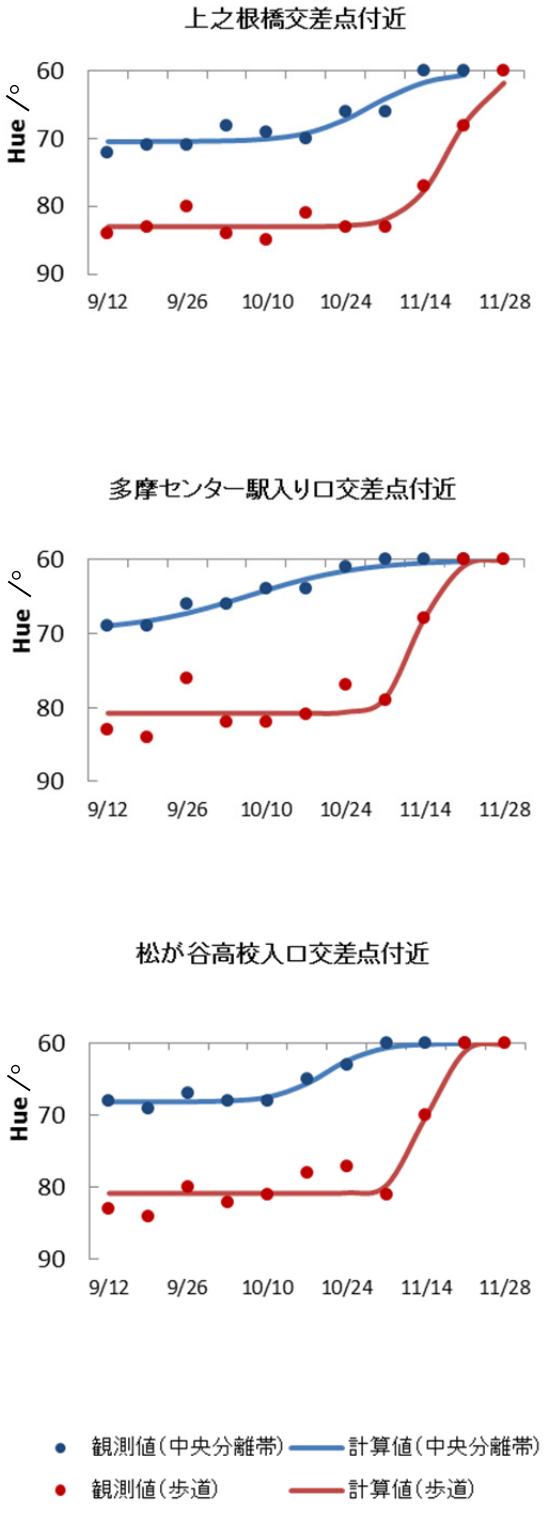
目が入っているのが特徴である。

図 4　多摩センター駅付近の都道 158 号線の中央分離帯と歩道のイチョウの黄葉の様子（2002 年 11 月 7 日撮影）

多摩美術大学前では入口の道路の西側のイチョウは黄葉前の葉の色は薄く、入口の道路の東側の葉は緑が濃い傾向がある。

図 5　多摩美術大学入り口付近のイチョウの黄葉の様子、写真の左側が東、右側が西（2003 年 11 月 10 日撮影）

一般的な傾向として、黄葉前の葉の色が薄い緑のものは黄葉の進行が早く、葉の色が濃い緑ものは黄葉の進行が遅い傾向にあることが分かっている(図 4, 5 参照)。このような黄葉の変化の様子を定量化しイチョウの黄葉モデルに反映するために、調査対象地域の微気候区のイチョウの葉を直接採取して色の分析を行った。葉の採取は 9 月 28 日から 11 月 28 日まで 1 週間に 1 度程度行っている。採取したイチョウの葉は、デジタルカメラで毎回同じ光源下で撮影し、撮影に関しては光源と同様カメラの絞りとシャッタースピードは同じ条件で行っている。シャッタースピードは 1/100 秒で、絞りは F5.0、ISO は 100 という設定で撮影した。多摩美術大学入口のイチョウに関しては採取した葉をスキャナで読み込み画像として保存した。撮影した葉の写真から平均的な部分をトリミングしてその面積当たりの RGB 値の平均を求めた。さらにそこから式(2)によって H の値を角度として求め、非線形の最小二乗法を用い(4)式のモデル式に当てはめた。図 6 はその変化をまとめたものである。



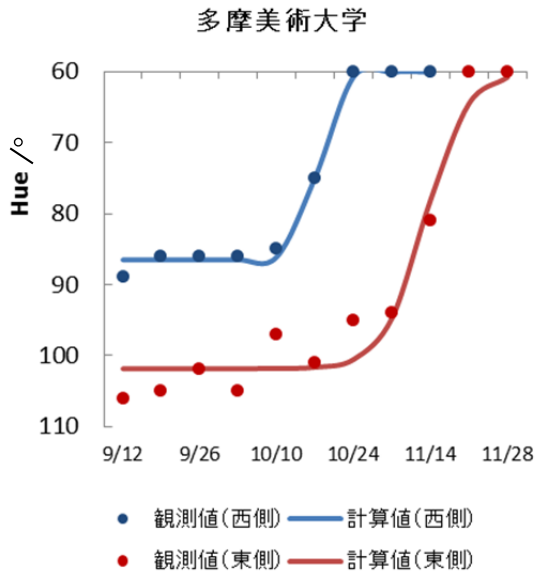


図 6　各イチョウの Hue(*H*)の観測値と計算値の変化

図 6 より、多摩センター駅付近では中央分離帯側のイチョウが歩道より、多摩美術大学では西側のイチョウが東側より *H* の値が高く、黄葉の進行も早いことが分かる。勿論、黄葉が早い方は落葉も早い。*H* の値が高いということは元々の色が黄色に近いということである。一方、多摩センター駅付近の歩道側、多摩美術大学前の東側は初期の *H* の値が低く、全体的な黄葉の進行は遅いが、一旦黄葉が始まると急速に黄色に近づくことがわかる。*H* の値が低いということはより緑色に近いということである。最終的な *H* の値は初めの値によらず同じ黄色（*H*=60 付近）なので、葉の色が緑に近いイチョウほど *H* の変化の幅は広いと言える。また、*H* の変化から、初期の *H* の数値が高いほど黄葉の進行は遅く、低いほど黄葉の進行は早いことが分かる。更に、黄葉の遅いイチョウの色が早い方の色に追いつく時期が、上之根橋では 11 月 21 日の歩道のイチョウが 9 月 26 日の中央分離帯側の状態、多摩センター駅前では 11 月 14 日に 9 月 26 日の中央分離帯側の状態、松が谷高校入口付近では 11 月 14 日に 9 月 12 日の中央分離帯側の状態になったという結果になった。つまり両者の間には、およそ 1 ヶ月の差があると言える。一方、多摩美術大学は東側が 11 月 21 日に 10 月 6 日の西側のイチョウの状態と同じになったことから、およそ 1 ヶ月半の差があることが分かった。

5.　おわりに

以前に提案したイチョウの黄葉モデルの精度を上げるため、初期の葉の色調によってその後の黄葉の仕方がどのようなものになっていくかを調査分析した。多摩センター駅付近の都道 158 号線の中央分離帯と歩道のイチョウ、多摩美術大学の入り口付近のイチョウの葉の初期の色合いに差があることに着目し、4 箇所の微気候区においてイチョウの葉を 9 月 28 日から 11 月 28 日まで間に、毎週一定数採取した。採取した葉をデジタルカメラにより同様の光源下において撮影した。撮影した写真から葉の部分をトリミングしてその範囲内の RGB の値の平均を求めた。更にそこから HSV 表色系のうち色相を表す *H* の値を求め、最小二乗法により *H* の変化の流れをモデル化することができた。結果として、*H* の数値が高いイチョウは黄葉の進行が全体的に遅く、一度黄葉が始まると急激に色が黄色に変化していき、*H* の数値が低いイチョウは黄葉の進行が全体的に早く、葉の色合いの変化は滑らかになることが分かった。また、初期の *H* が高いイチョウの葉は緑色で大きく、初期の *H* が低いイチョウの葉は黄緑色に近い色合いで小さいことが分かった。今回は葉の色調調査をすることによって我々が続けてきたイチョウの黄葉に関する研究をより明確なものにすることができた。

参考文献

[1] 小沢和浩、田淵洋、宮武直樹:イチョウの黄葉度を利用した都市微気候の可視化、法政大学多摩研究報告 20,pp. 81-98, 2005
[2] 松田修三、宮武直樹、角田明美、小沢和浩:イチョウの黄葉度を利用した都市微気候の可視化(Ⅱ)、法政大学多摩研究報告 25,pp 13-20, 2010
[3] 松田修三、松原健太、小沢和浩、宮武直樹:ロジスティック関数を用いたイチョウの黄葉モデルの提案、法政大学多摩研究報告 26, pp. 21-25, 2011
[4] 松原健太、松田修三、小沢和浩、但馬文昭、宮武直樹、イチョウの黄葉と都市の微気候について、日本地理学会発表要旨集 No. 81, p. 199, 2012

連絡先

丹下翔貴 ： 法政大学経済学部経済学科
E-mail : 10c2124@stu.hosei.ac.jp
池ヶ谷紘正 ： 法政大学理工学部電気電子工学科
E-mail : 10x2007@stu.hosei.ac.jp
小沢和浩 ： 法政大学経済学部
E-mail : kozawa@hosei.ac.jp
〒194-0298　町田市相原町 4342
TEL.042-783-2580
松田修三 ： 法政大学理工学部電気電子工学科
E-mail : matuda@hosei.ac.jp
〒184-8584　小金井市梶野町 3-7-2
TEL.042-387-6230

Investigation of Six Characteristics in Life-Span Developmental Process in Middle-Age and Elderly Groups with the Multi-Axis Concentric Circle Scale

Hiroki Okuda
(Kinjo University)

Abstract: The purpose of this research is to investigate the recognition of six characteristics in life-span developmental process in middle-age and elderly groups with the multi-axis concentric circle scale. The participants were asked to evaluate six characteristics in extensive life-span developmental process with the multi-axis concentric circle scale. The results showed that the differences in changing patterns of the mean scores of these six evaluation items at 12 age categories between the two different-aged groups were statistically significant ($p<0.01$). The factors of the difference in the recognition about the life-span developmental process between the two groups were discussed.

Key words: life–span development, recognition, multi-axis concentric circle scale

I. Introduction

The concentric circle scale was originally developed as a fuzzy evaluation scale based on one of the simplest and effective schematic representation of a fuzzy set (Okuda, 2005) [1].

Okuda (2012) tried to apply the multi-axis concentric circle scale to the evaluation of the time recognition in the extensive developing process from the newborn period to very old age (over 90) and showed that this evaluation method was considerably reliable and effective[2]. There are three features in the evaluation method about the time recognition using the multi-axis concentric circle scale, as follows:

1) The participants can check their answers visually by using this scale. Therefore, this evaluation method is applicable to the participants in a broad age range.

2) It is comparatively easy to quantify results in this evaluation. Therefore, researchers' subjectivity is not included in the interpretation of results (Okuda 2012) [2].

3) It is possible to collect a large amount of data simultaneously from many participants by the evaluation method using this scale.

However, few researches with the multi-axis concentric circle scale have been performed about the recognition of various characteristics in the extensive developing process from the newborn period to very old age, and the available data concerning with middle-age people are not obtained.

The priority of this research is to investigate six characteristics in life-span developmental process in Japanese middle-age and elderly groups with the multi-axis concentric circle scale; besides, to investigate the relation between the recognition of the participants at present and their recognition in very old age, by comparing a middle-age group with an elderly group.

Ⅱ. Method

1. Participants

The research participants are 100 Japanese; 50 out of whom are middle-age people (40 to 49 years old). Hereinafter, these participants are called middle-age group. The 50 remaining participants are elderly people (65 to 79 years old) called elderly group.

The purpose of this research was explained to all the participants. Moreover, they received explanations that their anonymity and their personal information would be protected, and that the collected data would be used only for the research purpose. Then the consent of research participation was obtained from the participants.

2. The multi-axis concentric circle scale

Six concentric circles are drawn on the multi-axis scales used in this research. On each of the six concentric circles, one of six markings (1, 0.8, 0.6, 0.4, 0.2 and 0) is displayed from the center. On the concentric circle scales, 12 axes are equally arranged like a clock. The ages of 0, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 and 100 are

displayed on the outside of each axis in the clockwise direction so that a broad range of developing process is evaluated.

3. Evaluation procedure and items

First of all, in order to help the participants understand the evaluation method using the multi-axis concentric circle scale, explanation and practice of the evaluation method were performed using the example shown in Fig. 1. After understanding of the evaluation method, the research participants were asked to put an x mark on the suitable position on each axis and to perform some estimations of the degree of proximity between themselves at present and themselves at age from 0 to 100 (Fig.2); then to evaluate the degree concerning satisfaction with life, happiness, confidence in health, hopefulness and volition that they had about themselves at age from 0 to 100; followed by evaluation on nine characteristics at present (satisfaction with life, happiness, confidence in health, hopefulness, volition, optimistic tendency, self-efficacy, interpersonal relations, lowness of anxiety) concerning the desirability of present condition of each participant with numerical values (0 to 100).

Fig.1 The example of evaluation with the multi-axes concentric circle scale

Ⅲ. Result and Discussion

1. The change pattern of the mean scores according to the ages for evaluation

A different aged group (2) x item (6) x age (12) ANOVA was conducted on translated evaluation score (0 to 1). The ANOVA revealed significant main effects for items, $F(5, 490) = 5.51$, $p<0.01$ and for age $F(11, 1078) = 18.1.$, $p<0.01$ as well as significant interaction between different aged group and item, $F(5, 490) = 6.27$, $p<0.01$ and all other interaction effects ($p<0.01$). The further analysis revealed significant simple interactions between different aged group and age (all $p<0.01$). These results showed that the differences in changing patterns of the mean scores of these six evaluation items at 12 age categories between the middle-age and elderly groups were statistically significant. The evaluation results of the six items with the multi-axes concentric circle scale suggested that the participants appropriately classified the items. These results also suggested a difference in the recognition of the life-span developmental process between the two groups (Fig. 2-7).

2. Mean scores of the six items in each group at age 0 to 100

As shown in Fig.2, the highest mean score of proximity between oneself at present and oneself at age from 0 to 100 was obtained at the age of 40 in the middle-age group. As the age for evaluation is older or younger than age 40, the mean score of this item falls gradually. In the elderly group, the highest mean score of this evaluation item was obtained at the age of 70. Age 70 was the nearest to the average age (74 years old) of the elderly group in the ages for evaluation of this research (0 to 100 years old). And as the age for evaluation is older or younger than age 70, the mean score falls gradually.

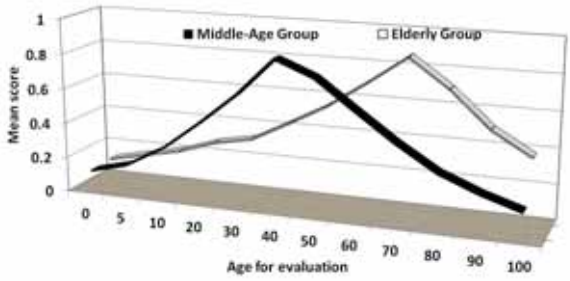


Fig.2 Mean score of proximity between oneself at present and oneself at age 0 to 100 in each group

As shown in Fig. 3, the peak score of the satisfaction with life item was obtained at the age of zero in the middle-age group. The mean score of this item fell with advancing age with two exceptions (at age 20 and 50). In the elderly group, the peak score of this item was obtained at the age of 70 and the mean score fell in general as the age for evaluation was older or younger than 70 and fall of the mean score at the age younger than 20 were relatively large.

As shown in Fig. 4, in the middle-age group, the highest score of the happiness item was obtained at the age of 20. The mean score of

this item fell with advancing age and the mean score of this item at age zero approached the highest mean score.

In the elderly group, the peak score of this item was obtained at the age of 70, and the mean score fell in general as the age for evaluation was older or younger than the peak age. The fall of the mean score of the ages younger than 20 was relatively large. The similarity between the changing pattern of the satisfaction with life item and that of the happiness item was relatively high in the six items examined in this research.

In the elder group, the relatively large fall of mean score concerning these two items at the age younger than 20 may be attributed to experiences peculiar to them (World War II and subsequent difficult social situations in Japan).

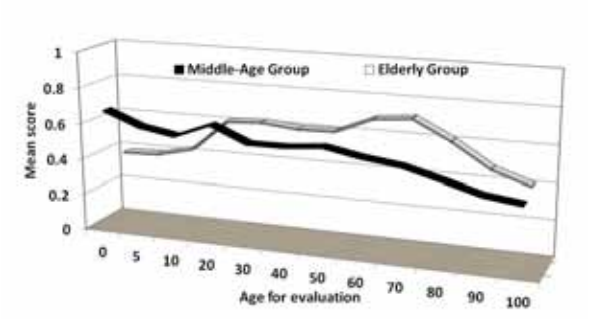


Fig.3 Mean score of satisfaction with life item in each group

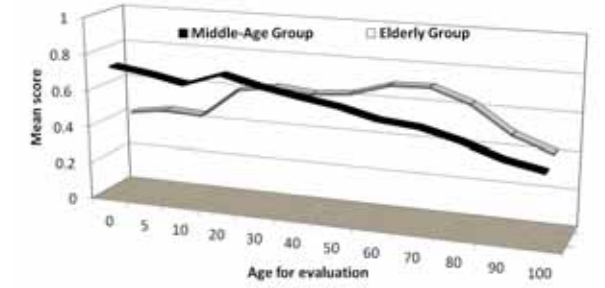


Fig.4 Mean score of happiness item in each group

As shown in Fig. 5, the mean scores of the confidence in health item in the middle-age group increased most from the age of 5 to 20. The peak mean scores of this item in the elderly group were obtained at the age of 20. As the ages for evaluation became older than 20 in both groups, the mean score fell gradually. The fall of the mean scores in the ages over 30 in the elderly group was more moderate than that in the middle-age group concerning this item.

The difference of social, economical and medical environment in childhood between the two groups may cause the difference of the mean scores of both groups. The difference in the time progress from the child-rearing term between the two groups also influenced the difference of the mean score of this item.

The peak score of the hopefulness item in the middle-age group was obtained at the age of 20. The peak of the evaluation mean scores of the hopefulness item in the elderly group was obtained at the age of 40 (Fig. 6).

The peak score of the hopefulness item in the middle-age group was recorded at the period when the group members seemed to be active physically. The peak score of this item in the elderly group was recorded at the period when the group members seemed to be active in society. In the elderly group, the age at which the peak score of this evaluation item was obtained differed from that of the satisfaction with life item and the happiness item.

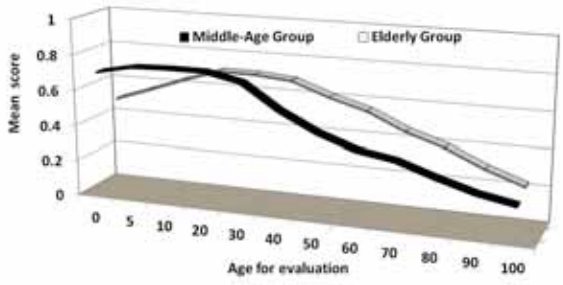


Fig.5 Mean score of confidence in health item in each group

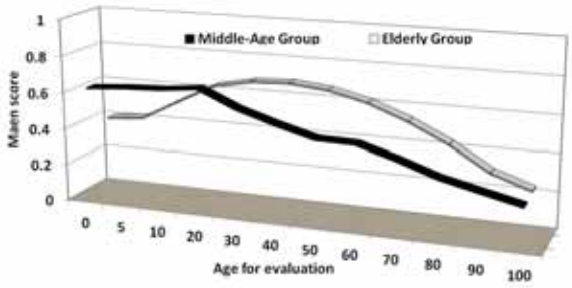


Fig.6 Mean score of hopefulness item in each group

About the volition item, the peak of the mean scores in the middle-age group was obtained at the age of 20 (Fig. 7). The highest mean score of this item in the elderly group was obtained at the age of 40. The peak score of the volition item in the middle-age and

elderly groups was also recorded at the period when the group members seemed to be most active physically or socially.

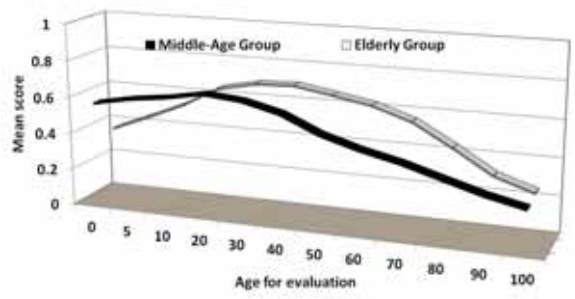


Fig.7 Mean score of volition item in each group

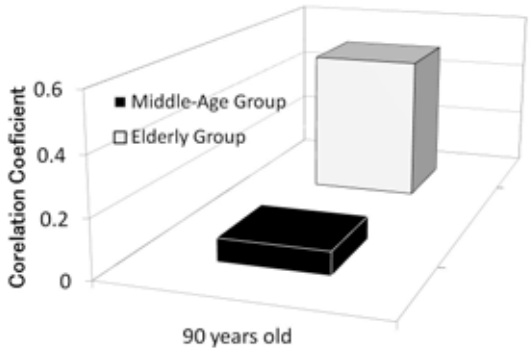


Fig.8 The correlations between the mean scores of numerically evaluated nine items and the mean scores of six items evaluated with the circle scale

3. The degree of the desirability of present state

The mean scores of the nine items concerning the desirability of present condition of each participant were calculated with the numerical values from 0 to 100.

The mean scores of the satisfaction with life item and the happiness item in the elderly group were higher than those in the middle-age group. It appears that heavy social responsibility of middle-aged people has influenced to the mean scores of these items. The average values of the numerically evaluated nine items were computed as indices of the grade of the desirability of each participant's present condition.

4. Relation between the present self-image and the self-image in very old age

The correlation between the mean scores of the numerically evaluated nine items about the desirability of present condition of each participant and those of the six items about the desirability of future (at age 90) condition of each participant on the circle scale was statistically significant ($p<0.01$) in the elderly group. However, the correlation between the same items was not significant in the middle-age group (Fig. 8).

These results show that the elderly group participants who have a good present image have a good self -image in very old age, but the middle-age group participants do not.

Ⅳ. General Discussion

The evaluation results of the six items with the multi-axis concentric circle scale showed the difference in the recognition of the extensive life-span developmental process between the middle-age and the elderly group.

Results of this research showed that there is difference in the recognition of the life-span developmental process between the two different-aged groups

The remaining problems are the following things; the difference in recognition between the two groups depends on a difference in age and/or birth cohorts. Although social change in the post-war years was large in many countries, the change in Japan was especially rapid and large. Probably, the difference of the various social situations which the middle-aged and the elderly groups experienced affected the difference of their recognition concerning life-span developmental process. However, in order to classify the influence of age and birth cohort, the research on the people born in different decades will be needed.

Ⅴ. References

[1] H. Okuda, Investigations of fuzzy measurements using concentric circle scales (In Japanese). Kinjo University Bulletin, 5, 39-51 (2005)

[2] H. Okuda, Investigation of possibilities of applying the multi-axis concentric circle scale to the research of time recognition in young and elderly groups (In Japanese). Kinjo University Bulletin, 12, 33-51 (2012)

Ⅵ. Contact Address

Hiroki OKUDA

Kinjo University 1200 Kasama-mach, Hakusan Ishikawa 924-8511 JAPAN
TEL : 076-276-4400、
FAX: 075-236-4306
E-mail: okuda@kinjo.ac.jp

人物形容語評定値のファジィ性と時間的変化

Fuzziness and Change with Time of the Rated Value of a Personality Trait Word

小田哲久
Tetsuhisa Oda
愛知工業大学
Aichi Institute of Technology

Abstract: The lists of personality trait words have been used as the important material in the social psychological experiments. Norman Anderson's list of 555 English personality trait words with rated values and the same list of 455 Japanese trait words proposed by Kouetsu Aoki have been used by many researchers. The authors proposed the list of 130 Japanese words at 1981. In1985, re-examination was conducted and found that the changes of the mean ratings of each word are not so changed during the 6 years. In the present study, the third experiment was conducted for the same 130 words. The research result is showing that the changes of the mean ratings during these 29 years or 35 years are not so large. For the convenience of future researchers, the rated values of each word are listed as a form of the histograms for each word.

１．序論

性格表現用語（人物形容語，または，性格特性用語）の抽出と分類，ならびに心理的な評定値の測定といった作業は，評定法による人格評定を行ううえで，最も根本的な課題である。性格表現用語に関する過去の資料として，N.H.Anderson が，５５５語の性格用語について，好ましさの評価値を求めた研究[1]がある。国内でも，青木孝悦の「性格表現の心理･辞典的研究」[2]などがあり，これらの研究データは，抽出・評定の方法が厳密で，とても信頼度が高く，かつ，利用しやすいデータである。例えば，比較的最近[6]の医学論文でも利用されている。このように信頼できるデータであるが，形容語の評価値を利用する「印象形成」あるいは「情報統合モデル」の実験を精密に行う上では，採用する被験者自身による語の評定値が必要になることから，筆者らは，独自の調査を行って，130 語を選択し，評価の結果を「性格特性用語の研究Ⅰ･II」[3],[4]として公開している。また，人物形容語の評定値の分布が，果たして永く変わらないものか，長い時間を経た調査は行われて来ていない。そこで，今回，筆者自身による３５年，２９年前の研究[3],[4]を再実験することで，言葉に対する評定は時代によって変わるのか，それとも大きくは変わらないといえるのか，というテーマに取り組んでみたい。

２．人物形容語とファジィ集合

ファジィ集合は，言語概念の境界の曖昧さを，１次元の古典的集合を台集合として，その上に帰属度関数を定義することで数理的な扱いを可能にしている。

人物形容語の評定は，有限段階法（７段階法など）で実施されることが一般的である。ここでは，評定値を離散的な台集合として扱う。形容語の曖昧さを被験者から得る方法として，次の２つの方法が考えられる。[5]

【１人の応答による心理学実験】(R.S.Wyer流)

ある人物形容語Hで，仮想的人物100人ぶんの「社会的望ましさ」の評価をすると仮定する。その課題を，１人の被験者に応答させる。評価は，悪い（－３）から良い（＋３）までのいずれかの数値で表す。応答結果の人数は，Y(X)={y(-3)，y(-2)，y(-1)，y(0)，y(1)，y(2)，y(3)} とする。Σy＝100である。いいかえると,語 Hで現されるようなn人の人がいるとしたら，各評価の枠に，それぞれ何人が入るかを聞いたことになる。

【n人の応答による心理学実験】

形容語Hの帰属度関数 $\mu(x)$ が仮定できるとする。台集合 X={-3,-2,-1,0,1,2,3} とする。さらに，その帰属度関数の個人差は無視できるほど小さいと仮定する。この場合，n人の被験者が，Hという言葉から，仮想的な人物を１名だけ想像して，その印象をXのいずれか1つの値に強制的に応答させて，n人の応答を集約して

Z(X)={z(-3),z(-2),z(-1),..... ,z(3)}を得る。

両測定法が同じ結果をもたらすかどうかの調査は行われたことがないが，人物形容語が大きな評価の散らばりを示すことは確かであり，ファジィ集合論研究の素材としても有望と思われる。

どちらの方法を採用した場合も，得られた応答値Y(X),または Z(X)から，最大値で割り算する「規準化」によって，帰属度関数$\mu(x)$に変換することができる。

今回は，後者の方法で調査を行う。なお，調査結果は，規準化前の y(X)の段階で示す。(表３)

３． 研究目的

本研究の第一の目的は，筆者らが昭和 53 年及び 59 年に行った人物形容語の測定と比較できるデータを採取し，35 年･29 年経過した社会の中で，人物形容語に対する評定値がどのように変化しているかを調査する。今回は，特に，ファジィ理論との関連性に留意して測定を行う。

４． 研究方法

4.1 被験者

被験者は，愛知工業大学経営学科の３学年ビジネスマネジメントコース（49 名，記号 U）・スポーツマネジメントコース（38 名,記号 H）の合計８７名の学生を被験者として採用。これは，今回比較に供する過去の研究に似た被験者群（愛知工業大学工学部経営工学科,記号 K）である。

4.2 形容語

評定実験に用いる形容語には，過去の性格特性用語の研究[3],[4]で採択され使用された 130 語の形容語を用いた。採択方法は[3]に記載されている。

4.3 評定用紙

評定用紙はＡ４の小冊子の形態で，とじしろは上左端の１ヵ所とした。

表題「性格特性用語の研究」に続いて，以下に示す教示欄が印刷され，その次に，形容語を１語，－３から３までの数を並べた練習問題と，本実験用の 130 語の形容語が並べられている。

＜教示＞

あなたが次にあげる言葉を使って人を評価します。その言葉が，

１　良い印象の時に使うと思われる場合は中心（０）より右側。

２　悪い印象の時に使うと思われる場合は中心（０）より左側。

という判断をしてください。

（注）但し，どちらでもない場合には，中心（０）の所へ○印をつけて下さい。

次に，その判断をした言葉の度合いを，

１　とても（良い・悪い）印象の時に使う‥‥(3)

２　かなり（良い・悪い）印象の時に使う‥‥(2)

３　やや（良い・悪い）印象の時に使う‥‥‥(1)

として，○印を該当位置につけて下さい。

4.4 実験の手続

研究の意義を口頭で説明した後，口頭で「教示」を聞かせ，疑問点の有無をたずね，練習問題を行う。さらに疑問点の有無をたずねてから，本実験を開始する。実験時間は約 20 分間を要し，各被験者単位で行った。

５．結果と考察

5.1 人物形容語のファジィ性について

末尾のリスト（表３）は各語の応答結果を頻度表の形で纏めたものである。これを見ると，どの語も大きな評価のばらつきが見られるが，その大きさから，それは「語に固有の評価値＋偶然誤差による確率分布」ではなく，意味的な広がりを示すファジィネスと見るべきであろう。明らかに多義的な形容語が含まれるが，その応答結果は双峰的な分布にはなっていない。一方，信じがたいような応答も散見される。これには応答の誤差も幾分かあると思われる。誤差には，被験者の思い違い，読み間違い，書き間違い，意図的な偏向（悪意），知らない言葉（死語，方言，廃れた流行語や若者言葉，俗語）などが考えられる。極端応答が特定被験者に集中している訳ではない。現代の学生は，国語の知識が不充分かもしれない。

5.2 実験群間比較

(1)各語の平均応答を算出し，クラス間で比較する。

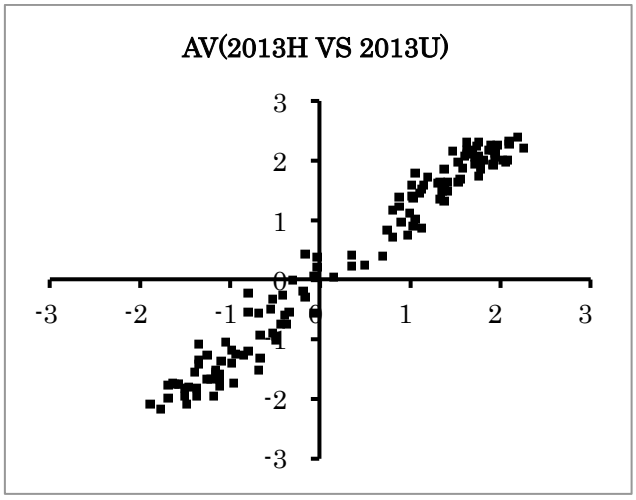


図１　今回の実験クラス間の平均応答比較

(2) 平均応答の時間的変化を調べる

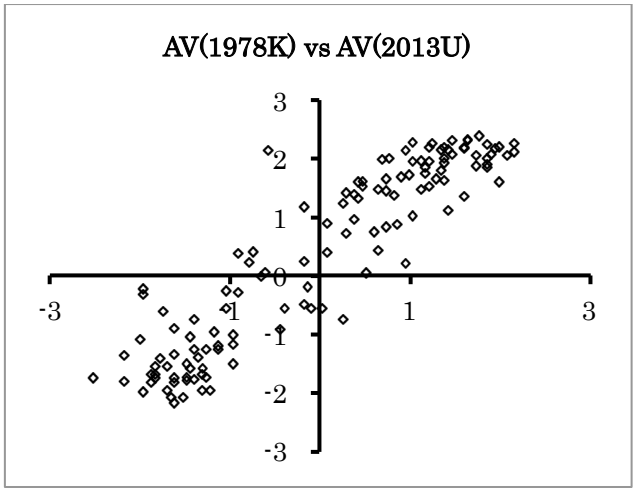


図２　35 年間を隔てた各語の平均応答比較

(3)相関係数での比較

表１　各語の平均応答の相関係数行列（実験群間）

	AV1978K	AV1984K	AV2013H	AV2013U
AV1978K	1.000	0.974	0.924	0.923
AV1984K		1.000	0.950	0.950
AV2013H			1.000	0.983
AV2013U				1.000

散布図（図１）に見られるように，今回の実験の２つのクラス間の，各語の平均応答は近似している。相関係数表（表１）でも，2013 年での実験での相関係数は，0.983 と高い。1978 年と 1984

年の間でも，0.974 と高い。一方，2013 年の２つのクラスと，過去の 29 年･35 年前の比較的似たクラスとの相関は，同時期の集団間の相関よりは低いが，それでも，0.9 以上である。

図中で，特に外れた点がある。それは，「要領のいい」であり，(AV,SD)では，1978K の(−−0.57,1.16)が 2013U の(2.13,1.10)となっており，35 年間で，平均評定が 2.7 も上昇している。「やや悪い」から「良い」に変化していることになる。

(3)標準偏差の比較

表２　各語の標準偏差間の相関係数行列（群間）

	SD1978K	SD1984K	SD2013H	SD2013U
SD1978K	1.000	0.355	−0.006	0.038
SD1984K		1.000	0.029	0.172
SD2013H			1.000	0.290
SD2013U				1.000

表２からは，各語の標準偏差は，平均応答の場合とは違い，近い年代では多少の相関が有るとしても，年月を隔てると無相関になる様子が窺える。

６．結論

以前の調査方法を踏襲して，形容語の評定を行った。(結果は帰属度の形ではなく頻度表で示す。)先の調査から 29 年，35 年という時を隔て，一部の語には時間的変化が認められるけれども，全体としては，評定値の変化はさほど大きなものとはいえない結果であった。また，各語の評価の中にはやや首を傾げる応答も見られた。今後は，より正確な応答をさせる工夫が必要であろう。

参考文献

[1]Anderson, N. H. (1968). : Likableness ratings of 555 Personality-Trait Words, *J. of Personality and Social Psychology*, 9 (3)pp. 272-279.

[2]青木孝悦(1971)「性格表現の心理･辞典的研究」『心理学研究』Vol.42,No.1,pp.1-13.

[3] 尾関　守･小田哲久(1981)「性格特性用語の研究 I」『愛知工業大学研究報告』14,pp.61-79.

[4] 尾関　守･小田哲久(1986)「性格特性用語の研究 II」『愛知工業大学研究報告』16,pp.149-156.

[5]小田哲久(2013)「評定尺度法へのファジィ論的アプローチ − FCR 法，IR 法について −」心理学評論，Vol.20，No.1,pp.67-83.

[6]清水英樹，斉藤洋典，沖田庸嵩(2001)「抑うつ者における人物形容語の処理特性−事象関連電位による検討−」信学技報.

[7]青木孝悦(1976)「多数の性格領域から得られた性格構造」心理学研究，Vol.47，No.5，pp.239-249.

表３　今回の実験結果（n=87）

コード	語	-3	-2	-1	0	1	2	3
123	明るい	0	0	0	1	8	26	51
21	あくどい	33	27	15	7	2	1	1
40	あたたかい	1	1	0	3	20	20	41
124	頭のいい	1	0	0	7	16	27	35
1	あまい	13	8	26	20	11	2	6
108	いい加減な	16	30	25	13	1	1	0
7	意地悪な	30	26	23	1	5	1	0
63	いなか臭い	19	13	31	18	3	0	2
12	いやな	34	20	24	8	0	0	0
107	いやらしい	18	20	28	15	2	1	2
34	陰気な	30	19	31	2	0	2	2
126	陰険な	39	23	22	2	0	0	0
76	ういういしい	1	6	2	14	28	24	11
116	うそつき	36	22	23	5	0	0	0
29	うっとうしい	40	35	8	2	1	0	0
50	うるさい	32	20	26	3	4	0	1
25	おかしい	17	15	22	20	5	4	3
33	おしゃべり	3	4	11	34	20	8	6
17	恐ろしい	20	14	28	21	1	2	0
129	落ち着きのある	0	0	1	8	29	26	22
35	落ち着きのない	12	28	38	6	1	1	0
99	おっちょこちょい	8	5	27	34	9	3	0
8	おっとりとした	2	0	3	20	35	17	9
86	おとなしい	1	2	9	33	27	7	6
66	お人よし	1	3	14	16	26	13	12
32	思いやりのある	0	0	0	2	10	27	47
121	おもしろい	0	0	1	2	10	31	42
67	温厚な	0	0	2	4	12	31	37
48	かしこい	0	0	2	2	12	27	43
5	カッコイイ	0	0	1	5	11	23	46
51	活発な	0	0	0	3	25	19	39
94	がまん強い	0	1	1	8	22	29	25
54	がめつい	14	13	23	29	3	1	3
43	かわいい	0	0	1	6	14	24	41
105	がんこ	5	10	25	30	9	5	2
42	寛大な	0	0	2	7	17	29	31
24	気が長い	0	2	4	6	27	22	25
104	気が短い	20	26	30	8	1	1	0
78	気が弱い	22	19	27	14	1	1	2
27	気軽な	0	0	2	27	31	12	14
13	きさくな	0	0	6	12	28	22	18
56	キザ	6	12	24	31	5	7	1

86	きちょうめん	0	1	2	11	33	21	18
90	きつい	15	19	32	17	1	0	2
113	気にくわない	33	20	25	7	0	1	0
71	気の多い	7	6	22	33	8	6	4
53	気前がいい	0	0	1	3	27	24	31
11	きまじめ	2	0	9	17	29	18	11
20	気楽な	0	1	1	12	31	22	19
59	勤勉な	0	0	3	8	30	22	23
58	グズグズした	27	18	32	4	4	0	1
55	口が悪い	35	31	10	7	3	0	0
125	口ばっかりの	35	30	13	5	2	1	0
87	くどい	30	27	24	3	1	0	1
49	暗い	30	27	22	6	1	0	0
44	けち	30	23	23	7	1	1	1
6	元気の良い	0	1	1	2	16	30	36
19	謙虚な	0	2	3	7	18	26	30
23	行動的	0	0	0	2	18	29	37
98	こせこせした	9	9	22	40	4	2	0
22	子供みたいな	7	5	20	32	16	3	3
38	こまめ	1	0	4	11	39	19	12
85	こりしょう	5	5	14	36	14	9	3
47	根性がある	0	1	1	3	18	30	33
68	さみしがりや	2	2	17	46	7	2	10
73	しつこい	22	31	24	6	3	0	0
65	自発的な	0	1	5	14	22	24	20
10	じみ	9	9	29	33	3	2	1
52	じみちな	7	0	5	17	25	25	7
26	社交的	1	1	1	2	23	25	33
93	消極的な	11	19	27	19	2	4	4
128	正直な	0	2	3	11	16	26	28
102	神経質	4	11	30	25	9	2	5
106	親切な	0	1	1	0	17	26	41
80	慎重な	0	0	3	20	31	14	18
18	心配性	5	6	21	24	17	7	6
61	しんぼう強い	1	0	2	6	25	36	16
4	ずうずうしい	23	28	28	2	1	1	2
70	すがすがしい	2	3	1	8	27	26	19
127	ステキな	0	0	0	3	16	25	42
46	すなお	0	0	0	4	20	33	29
41	ずるい	26	19	22	10	4	4	1
62	ずるがしこい	12	16	22	13	10	7	6
112	するどい	2	1	3	9	26	28	17
130	責任感のある	0	1	1	0	15	33	36
95	積極的な	0	0	1	1	14	26	44
64	善意のある	0	0	1	4	16	28	37
69	大胆な	0	2	1	19	29	17	18
91	たのもしい	0	0	0	3	14	31	38
39	たよれる	0	0	0	1	12	30	43
89	短気	24	22	32	2	4	2	0
103	単純	7	4	17	34	13	6	5
120	注意深い	3	1	5	8	34	25	10
97	付き合いにくい	36	27	17	3	1	0	2
77	冷たい	31	23	28	2	1	1	0
83	どじ	23	7	30	18	6	1	1
9	努力家	1	0	0	4	11	33	37
57	鈍感	15	11	30	22	6	1	1
81	なまけもの	25	24	23	11	2	0	1
79	にぶい	18	19	35	10	4	0	0
92	人間味のある	1	0	1	18	19	27	20
37	念入りな	0	2	2	16	33	19	14
109	のろま	21	20	30	9	4	1	1
75	のんき	13	7	20	26	15	5	0
31	バカ	31	12	20	13	4	2	3
45	派手な	4	2	12	35	18	11	4
15	ひかえめ	4	4	12	37	17	7	5
36	ひきょう	33	22	26	2	1	1	1
111	人がいい	0	2	3	6	21	26	28
28	人付き合いの良い	0	0	1	2	24	23	36
30	ひねくれた	18	30	27	8	2	0	1
88	敏感	2	3	3	28	26	14	10
122	ふまじめな	22	20	35	2	6	1	0
60	包容力のある	0	0	1	2	19	34	30
74	間が抜けている	8	12	30	28	5	2	1
101	負けず嫌いな	0	1	1	14	26	26	18
117	まじめ	0	0	1	5	20	31	29
3	みえっぱり	6	19	28	13	11	3	6
118	魅力的	0	0	0	3	14	27	42
2	無口	10	19	17	35	4	1	0
72	物静か	2	5	11	43	18	4	3
96	やさしい	0	0	0	0	18	29	39
114	ゆかいな	0	0	0	6	20	27	33
14	陽気な	0	1	2	4	18	25	36
16	用心深い	1	3	5	19	32	10	16
100	要領のいい	0	0	4	4	20	23	35
110	楽観的な	0	4	5	13	21	26	17
115	立派な	0	0	0	4	20	22	40
82	冷静な	0	3	2	11	28	22	20
119	忘れっぽい	11	20	39	13	2	1	0

表中のコードは，文献[3][4]と同じ。

連絡先
愛知工業大学
小田哲久
(Tel.: 052-757-0810, E-mail: oda@aitech.ac.jp)

順序選好による SD 法評価方法の提案
Proposal of Semantic Differential Method by Order Preference

○井上勝雄，熊谷 美月
○Katsuo Inoue, Mizuki Kumagai
広島国際大学
Hiroshima International University

Abstract: The evaluation method by the user survey with both quantitive analysis and qualitative analysis which can conduct quickly and grasp the current situation roughly is demanded in the early stage of the product development of a company. Therefore, we have devised the product evaluation method by the new Semantic differential method in applying the way to distribute the card, plus the laddering method to stage rating scale evaluation method based on the investigation by the order preference close to buying behavior. We confirmed the effectiveness of the method through the case study of Japanese sweets and chocolates.

１．研究の目的

心理測定法として有名な SD 法は、サンプル数の多いと被験者に多大な負荷がかかるという課題がある。そこで、本研究では被験者の商品選択行動（順序選好）に近い SD 法の評価手法と、順序選好からラダーリングの定性評価も加味した手法を提案する。そして、和菓子と洋菓子の比較分析を通じて、その手法の有効性を確認した。

２．分析の方法

本研究では、まず SD 法評価法（2013 年 8 月～10 月、女子学生 10 名、男子学生 10 名の計 20 名に実施）を用いて、提案の SD 評価法のアンケート調査およびヒアリング調査（和菓子、洋菓子ともに製品サンプル 50 個(紙面サンプル)）を行った。和菓子は餡子の煉りきり、洋菓子のサンプルは、一粒単位のショコラに限定し選定した。ラダーリングによるヒアリング調査も同時に行った。

なお、提案の SD 評価法は、図 1 に示すように、各サンプル 50 個をカードにしたものを、各評価ワードを上に設置した 5 段階評定のエリアに振り分けていた。

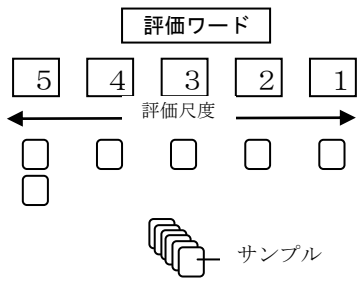


図 1:購入行動(順序選好)をもとにした評価方法

そして、製品属性を決定、ダミー表を作成し、どのカテゴリーが態度に強く寄与しているか、被験者 20 名の平均値をもとに数量化理論 I 類を用いて分析した。これは、しかし、サンプル数の多さの関係からカテゴリースコア・偏相関係数の結果に差が見られなかったカテゴリーが多数あったため、条件を抽出しにくくなっていた。ここで、さらに差を出すために、可変精度ラフ集合を用いて、特徴的なサンプルを絞り込み、製品の態度に強く寄与する条件を抽出した。

３．分析結果

（1）和菓子：

数量化理論 I 類の製品属性分析から、どの評価ワードでも、男性・女性ともに、和菓子は花モチーフ、本体の色味が暖色、色数は 1 色のものを好む傾向にある。男性は「買いたい」で寒色と出ているが、カテゴリースコアでは暖色と比べ差は見られなかった。形は四角いものを好むようだが、各カテゴリースコアでは大きな差は見られなかった。艶感は、比較的男性のほうが好む傾向があるが、プレゼントするとなると、艶感は重視しない。艶感でもカテゴリースコアに差は見られなかった （表 1） 。

表 1:和菓子の製品属性分析結果 （男女別）

	女性			
	買いたい	美味しそう	プレゼントしたい	食べたい
形	□	□	□	□
色味	暖色	暖色	暖色	暖色
色数	1色	1色	1色	1色
艶感	無	有	無	無
花モチーフ	有	有	有	有
	男性			
形	□	□	□	□
色味	寒色	暖色	暖色	暖色
色数	1色	1色	1色	1色
艶感	有	有	無	有
花モチーフ	有	有	有	有

ラフ集合では、ここでも、どの評価ワードで、花モチーフ、暖色が上位条件としてあがった。しかし、「買いたい」では 3 色以上や寒色、多角形も条件として抽出された。ただし、これは花モチーフ前提に限られるようである。「プレゼントしたい」でも比較的似たような結果になった。「美味しそう」、「食べたい」では、本体が 1 色であることが重視されている。次点で、花モチーフ、暖色、丸いが条件として抽出された。逆に、好まれない条件として、どの評価

ワードでも、花モチーフでないかつ 3 色以上かつ丸いものがあがった。「買いたい」では艶感がない、「美味しそう」では色数が多い、または寒色が下位条件として抽出された（表 2）。

表 2:和菓子のラフ集合による決定ルール

和菓子	決定ルール
買いたい	花モチーフ有/艶有+3色以上、または+寒色/多角形+3色以上、または+暖色
買いたくない	寒色+艶無、または花モチーフ無/〇+3色以上+花モチーフ無
美味しそう	〇+1色、または+暖色/花モチーフ有
美味しそうでない	2色/寒色/□/〇+3色以上+花モチーフ無
プレゼントしたい	花モチーフ有/多角形+暖色
プレゼントしたくない	寒色/〇+3色以上+花モチーフ無
食べたい	花モチーフ有/〇+暖色+1色
食べたくない	寒色/〇+3色以上+花モチーフ無

（2）洋菓子：

数量化理論 I 類の製品属性分析によって、女性は「買いたい」「プレゼントしたい」だと、装飾されているもの全般を好むことがわかった。男性は「プレゼントしたい」だと英字入りのもの以外の装飾は好み、逆に「美味しそう」「食べたい」の場合は、あまり装飾されていないものを好むことがわかった。また、男女ともに、「高級感がある」と感じるのは丸いもので赤い装飾のあるものが多いようである。本体の形は、どの評価ワードでも、男性・女性ともに、カテゴリースコアにはあまり差が見られなかった（表 3）。

表 3:洋菓子の製品属性分析結果（男女別）

女性					
	買いたい	美味しそう	プレゼントしたい	食べたい	高級感
形	多角形	多角形	□	〇	〇
モチーフ	有	無	有	無	有
トッピング	有	有	有	有	無
赤い装飾	有	無	有	有	有
表面プリント	有	有	有	有	有
英字入り	無	有	有	無	有
男性					
形	多角形	多角形	□	多角形	〇
モチーフ	無	無	有	無	無
トッピング	無	無	有	無	有
赤い装飾	有	無	有	無	有
表面プリント	有	無	有	有	有
英字入り	無	無	無	無	無

表 4:洋菓子のラフ集合による決定ルール

洋菓子	決定ルール
買いたい	□+プリント有/赤い装飾有+トッピング有、または+プリント有
買いたくない	〇+英字無/モチーフ無+赤い装飾無+プリント有
美味しそう	モチーフ無+トッピング無+プリント無/赤い装飾無+□、または多角形
美味しそうでない	英字有
プレゼントしたい	プリント有/モチーフ有
プレゼントしたくない	モチーフ無+赤い装飾無+プリント有
食べたい	英字無+多角形、または+トッピング無+プリント無
食べたくない	プリント無+英字有、または+□+トッピング有+赤い装飾無
高級感がある	赤い装飾有/□+トッピング有/〇+トッピング無
高級感がない	トッピング有+多角形、またはモチーフ有/□+モチーフ無+トッピング無+プリント無

ラフ集合では、「食べたい」「プレゼントしたい」で、プリント有りが上位条件として抽出され、プリントは英字でなく模様を好む傾向がある。「美味しそう」「食べたい」「高級感がある」では製品属性分析の結果と同様の上位条件であった。

下位条件では、「買いたい」「プレゼントしたい」で装飾系カテゴリー全般が有りとされた。「高級感」ではモチーフ有りが下位条件として抽出された （表 4）。

4．考察

（1）和菓子：

男性も女性も、似たような基準で選定していることがわかった。花のモチーフはデザインとしてわかりやすく、自分用や人にプレゼントする場合でも伝わりやすい。他に食べ物のモチーフで、かぼちゃやくり、枇杷も上位であったが、これらも同様の理由ではないだろうか。ラダーリングでも第一印象でモチーフがなにかわからないものは不安になるという意見が多かった。そして暖色は、色彩学的に食欲の湧く色である。特に、ピンクやオレンジや黄色の少し淡いものが好まれるようである。似た条件となったのが「買いたい」と「プレゼントしたい」、「美味しそう」と「食べたい」の 2 組だが、前者は見た目を重要視することと、買って、プレゼントする一連の行動と捉えられやすいのではないかと考えられる。実際見た目での華やかさを重視するせいか、色数が 3 色以上、の条件が抽出されていた。次に後者は口に運ぶことを想像しやすい評価ワードのため、あまり冒険せずシンプルに色数が 1 色の条件となったと考えられる。

（2）洋菓子：

男性と女性で結果に違いがあった。女性は装飾されているものに惹かれやすく、逆に男性はシンプルなものを好むということである。女性は人にプレゼントするために買うことを考えているため見た目にこだわり、男性は自分で買って食べることを重視しているように思う。バレンタインデーの背景が関係したのではと推測する。しかし、装飾されているものでも、ナッツののっているものは好まれないようである。ナッツは好き嫌いが分かれやすいためだと考えられる。次に、「高級感がある」では、男女ともに同じ条件となった。赤い装飾は、お互い色のコントラストに差があるというわけでもないが、赤はチョコにのせても浮かず、一体感もあるからではないかと考えられる。

5．まとめ

新しい評価法は、従来の SD 評価法と比べ、効率が高かった。被験者から、買い物に近い方法で楽にかつ視覚的に選定できわかりやすいという意見もあった。ラダーリングによる定性調査も同時に行えるので、定量的な解析では考察できない結果も得られるため、より実践的になり有効性が高いと考える。

連絡先

広島国際大学 心理科学部　井上勝雄
k-inoue@he.hirokoku-u.ac.jp

狩野モデルによる大学数学講義の学生ニーズ分析

An Analysis of Students' Needs for Undergraduate Mathematics Lectures through the Kano Model

上江洲 弘明
Hiroaki Uesu
早稲田大学
Waseda University

高木　悟
Satoru Takagi
工学院大学
Kogakuin University

Abstract: At universities, mathematics lecturers have to change their teaching materials and methods according to students' mathematical skills, and also have to make them understand mathematics. In this paper, we apply the questionnaire analysis in some undergraduate mathematics lectures for the method of students' needs analysis using the Kano model, and report the results.

１．はじめに

大学での数学講義は，受講対象者によって教材や教授法が大きく変わってくる．本稿では，筆頭著者の狩野モデルを用いた受講生のニーズ分析の手法を，第二著者が担当する数学講義でのアンケート分析に応用し，その結果を報告する．

２．分析方法

狩野モデル[1]では，顧客に対し「充足質問」と「不充足質問」を行ない，その回答によって分類する．質問の回答は「とてもうれしい」「当然だろう」「特に何とも思わない」「別にそれでも構わない」「それは困る」の 5 つの中から 1 つを選択する．

・充足質問「この機能があるとどう思いますか？」
・不充足質問「この機能が無いとどう思いますか？」

この調査結果を，表 1 のような分類マトリックスで集計を行なう．

表１　狩野モデルの分類マトリックス

充足＼不充足	とても うれしい	当然だろう	特に何とも 思わない	別にそれでも 構わない	それは困る
とても うれしい	懐	魅(有)	魅(有)	魅(有)	一(有)
当然だろう	魅(無)	無	無	無	当(有)
特に何とも 思わない	魅(無)	無	無	無	当(有)
別にそれでも 構わない	魅(無)	無	無	無	当(有)
それは困る	一(無)	当(無)	当(無)	当(無)	懐

表における記号の意味は以下の通りである．
魅（有）：あると魅力的な機能．
当（有）：あって当然の機能．
一（有）：線形．あればあるほど満足度があがるような機能．
無：無関心．あってもなくても気にならない程度の機能．
魅（無）：ないと魅力的な機能．
当（無）：ないことが当然の機能．
一（無）：線形．なければないほど満足度があがるような機能．
懐：懐疑的回答．回答が不整合．

ここで著者らは，狩野モデルを大学の数学講義でのアンケート分析に応用し，ファジィ推論で分析する手法を提案する．

1. 工学院大学で 2013 年度後期に第二著者が担当した数学講義の受講生に対し，「充足質問」と「不充足質問」で構成されたアンケートを行なう．
2. 表 1 のクロス集計表を作成する．
3. 表 1 における「一（有)」「当（有)」「魅（有)」「無」「魅（無)」「当（無)」「一（有)」の箇所に関して表 2 の度数表を作成する．

表２　各カテゴリーに対する度数表

一（無）	当（無）	魅（無）	無	魅（有）	当（有）	一（有）	合計
a	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*	*g*	*n*

4. 表 2 から表 3 の各カテゴリーに対する帰属度表を作成する．

表３　各カテゴリーに対する帰属度表

一（無）	当（無）	魅（無）	無	魅（有）	当（有）	一（有）
a/m	*b/m*	*c/m*	*d/m*	*e/m*	*f/m*	*g/m*

（ただし，$m = \max\{ a, b, c, d, e, f, g \}$ ）

5. 表 2 の帰属度から，ファジィ推論を実行する．ファジィルールを表 4 のように定め，そのメンバーシップ関数は図 1 のように定める．

表４　ファジィルール

入力	結論
一（無）	この項目は積極的に取り入れない (G)
当（無）	この項目はできるだけ取り入れない (F)
魅（無）	この項目は余裕があれば取り入れない (E)
無	どちらでもよい (D)
魅（有）	この項目は余裕があれば取り入れる (C)
当（有）	この項目はできるだけ取り入れる (B)
一（有）	この項目は積極的に取り入れる (A)

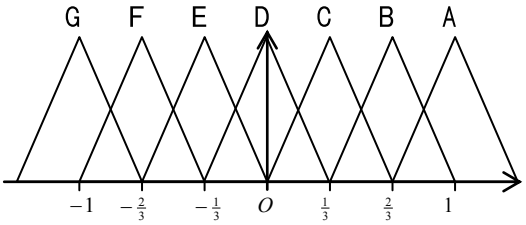


図 1　ファジィ推論における結論のメンバーシップ関数

6. 加算法により結論の合成を求め，重心法により非ファジィ化を行ない，これを結論とする．

3．適用事例

2013 年後期に工学院大学の「複素関数論」「線形代数学 II」「微分積分 I」「数学 II」を受講した学生 157 名に対し，図 2 のような授業に対する機能についてアンケートを行なった．

★以下の設問について，もっともよく当てはまるもの1つに○を付けてください．

設問1	毎回，提出必須の宿題があったら，どう思いますか？	とても うれしい	当然だろう	特に何とも 思わない	別にそれでも 構わない	それは困る
設問2	毎回，提出必須の宿題がなかったら，どう思いますか？	とても うれしい	当然だろう	特に何とも 思わない	別にそれでも 構わない	それは困る
設問3	あなたからのコメントに対して， 担当教員からのフィードバックがあったら，どう思いますか？	とても うれしい	当然だろう	特に何とも 思わない	別にそれでも 構わない	それは困る
設問4	あなたからのコメントに対して， 担当教員からのフィードバックがなかったら，どう思いますか？	とても うれしい	当然だろう	特に何とも 思わない	別にそれでも 構わない	それは困る
設問5	授業の補足プリントがあったら，どう思いますか？	とても うれしい	当然だろう	特に何とも 思わない	別にそれでも 構わない	それは困る
設問6	授業の補足プリントがなかったら，どう思いますか？	とても うれしい	当然だろう	特に何とも 思わない	別にそれでも 構わない	それは困る
設問7	授業前に担当教員の雑談があったら，どう思いますか？	とても うれしい	当然だろう	特に何とも 思わない	別にそれでも 構わない	それは困る
設問8	授業前に担当教員の雑談がなかったら，どう思いますか？	とても うれしい	当然だろう	特に何とも 思わない	別にそれでも 構わない	それは困る
設問9	授業内容で分からないことがあったとき， 担当教員に質問できたらどう思いますか？	とても うれしい	当然だろう	特に何とも 思わない	別にそれでも 構わない	それは困る
設問10	授業内容で分からないことがあったとき， 担当教員に質問できなかったらどう思いますか？	とても うれしい	当然だろう	特に何とも 思わない	別にそれでも 構わない	それは困る
設問11	授業内容で分からないことがあったとき， 学習支援センターがあったらどう思いますか？	とても うれしい	当然だろう	特に何とも 思わない	別にそれでも 構わない	それは困る
設問12	授業内容で分からないことがあったとき， 学習支援センターがなかったらどう思いますか？	とても うれしい	当然だろう	特に何とも 思わない	別にそれでも 構わない	それは困る

図 2　アンケート

このアンケート結果に対し，各設問に対する帰属度表を作成する（表 5）．

■ 宿題の有無

ー（無）	当（無）	魅（無）	無	魅（有）	当（有）	ー（有）
0.048077	0.076923	0.163462	1	0.125	0.076923	0.019231

■ フィードバックの有無

ー（無）	当（無）	魅（無）	無	魅（有）	当（有）	ー（有）
0	0.011765	0	0.447059	1	0.047059	0.341176

■ 補足プリントの有無

ー（無）	当（無）	魅（無）	無	魅（有）	当（有）	ー（有）
0	0	0.012987	0.233766	0.727273	0.064935	1

■ 雑談の有無

ー（無）	当（無）	魅（無）	無	魅（有）	当（有）	ー（有）
0	0	0.013699	1	0.739726	0.027397	0.369863

■ 質問の可否

ー（無）	当（無）	魅（無）	無	魅（有）	当（有）	ー（有）
0	0	0.012658	0.329114	0.278481	0.35443	1

■ 学習支援センターの有無

ー（無）	当（無）	魅（無）	無	魅（有）	当（有）	ー（有）
0	0	0	0.746032	0.539683	0.190476	1

表 5　帰属度表

この帰属度表から，ファジィ推論を適用し分析した結果を下（表 6）に示す．結論の数値は，1 に近いほどあった方が良く，−1 に近いほど無い方が良いことを表す．

項目	結論
宿題の有無	-0.0276
フィードバックの有無	0.377919
補足プリントの有無	0.62845
雑談の有無	0.292994
質問の可否	0.67094
学習支援センターの有無	0.527778

表 6　分析結果

この結果から，学生の授業に対するニーズの中で「担当教員による質問対応」が一番高く，次に「補足プリント」「学習支援センター」であることが分かる．学習支援センターは基礎学力不足の学生をフォローするための専属部署である．このことから，学生が大学数学講義に対し求める付加的なものは，担当教員やスタッフによる授業時間以外のフォローであることが分かった．

4．おわりに

今回，狩野モデルを学生のニーズ分析に応用し，手法としての有効性を確認できた．今後はさらにアンケートの取り方や分析方法の改良をし，継続して調査していきたい．

参考文献

[1] 狩野，瀬楽，高橋，辻: 魅力的品質と当たり前品質，日本品質管理学会会報『品質』 14 (2), pp. 39-48, 1984.

[2] M.Rashid, J.Tamaki, A.M.M. S.Ullah, and A.Kubo: A Kano Model Based Linguistic Application for Customer Needs Analysis, International Journal of Engineering Business Management, Vol.3, No.2, pp. 30-36, 2011.

連絡先

早稲田大学
上江洲 弘明
(Tel.: 03-5286-2966, E-mail: uesu@suou.waseda.jp)
工学院大学
高木　悟
(Tel.:042-628-4096, E-mail: ft40433@ns.kogakuin.ac.jp)

狩野モデルを応用したメディア授業における学生のニーズ分析
Students' Needs Analysis for Media Lectures Applying Kano Model

上江洲 弘明
Hiroaki Uesu
早稲田大学
Waseda University

Abstract: With development of the Internet, media lessons has also developed greatly. Recently, student's needs is increasing for media lessons, we have to satisfy student's needs. In this paper, we propose a needs analysis applying Kano model.

１．はじめに

インターネットや PC の普及により，メディア授業に対する学生の認識が大きく変わってきた．よりよいメディア授業を展開するためには，教材や教育技術の評価の他に学生が授業に対して感じる評価を定量的に把握することが重要となる．

今日，メディア授業に対するニーズは，教授法や教材が良ければ満足を感じ，悪ければ不満をもつという一元的なものだけではない．学生のニーズの中には，フィードバックやさまざまな形態の課題など求めているものは数多くある．本論文では，このようなニーズに対応するため，狩野モデルを応用したアンケート分析を提案する．

２．分析方法

狩野モデル[1]とは，狩野らによって考案された品質要素の分類および特徴づけの手法として開発されたモデルである．この分析法により，顧客の認識する品質を分類して整理することが可能になった．この分析のため，狩野らは図 1 のような顧客の満足感・物理的充足状況の対応関係から，品質要素を以下のように区分した．

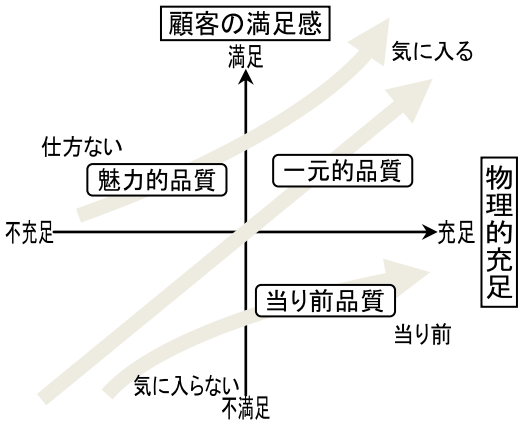


図１　物理的充足状況と顧客の満足感との対応関係概念図

・魅力的品質要素（Attractive Quality Element）
それが充足されれば満足を与えるが，不充足であっても仕方がないと受けとられる品質要素．
・一元的品質要素（One-Dimensional Quality Element）
それが充足されれば満足，不充足であれば不満を引き起こす品質要素．
・当たり前品質要素（Must-Be Quality Element）
それが充足されれば当たり前と受け止められるが，不充足であれば不満を引き起こす品質要素．
・無関心品質要素（Indifferent Quality Element）
充足でも不充足でも，満足も与えず不満も引き起こさない品質要素．
・逆品質要素（Reverse Quality Element）
充足されているのに不満を引き起こしたり，不充足であるのに満足を与えたりする品質要素．

狩野モデルでは，顧客に対し「充足質問」と「不充足質問」を行い，その回答によって分類する．質問の回答は「とてもうれしい」「当然だろう」「特に何とも思わない」「別にそれでも構わない」「それは困る」の 5 つの中から 1 つを選択する．

・充足質問「この機能があるとどう思いますか？」
・不充足質問「この機能が無いとどう思いますか？」

この調査結果を，表 1 のような分類マトリックスで集計を行う．

表１　狩野モデルの分類マトリックス

充足＼不充足	とてもうれしい	当然だろう	特に何とも思わない	別にそれでも構わない	それは困る
とてもうれしい	懐	魅(有)	魅(有)	魅(有)	一(有)
当然だろう	魅(無)	無	無	無	当(有)
特に何とも思わない	魅(無)	無	無	無	当(有)
別にそれでも構わない	魅(無)	無	無	無	当(有)
それは困る	一(無)	当(無)	当(無)	当(無)	懐

表における記号の意味は以下の通りである．
魅（有）：あると魅力的な機能．
当（有）：あって当然の機能．
一（有）：線形．あればあるほど満足度があがるような機能．
無：無関心．あってもなくても気にならない程度の機能．
魅（無）：ないと魅力的な機能．
当（無）：ないことが当然の機能．

一（無）: 線形．なければないほど満足度があがるような機能．
懐：懐疑的回答．回答が不整合．

ここで筆者は，狩野モデルをメディア授業に対するアンケートに応用し，ファジィ推論で分析する手法を提案する．

1. メディア授業を受講している学生に対し「充足質問」と「不充足質問」で構成されたアンケートを行う．
2. 表 1 のクロス集計表を作成する．
3. 表 1 における「一（有)」「当（有)」「魅（有)」「無」「魅（無)」「　当（無)」「一（有)」の箇所に関して表 2 の度数表を作成する．

表 2　各カテゴリーに対する度数表

一（無）	当（無）	魅（無）	無	魅（有）	当（有）	一（有）	合計
a	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*	*g*	*n*

4. 表 2 から表 3 の各カテゴリーに対する帰属度表を作成する．*g*

表 3　各カテゴリーに対する帰属度表

一（無）	当（無）	魅（無）	無	魅（有）	当（有）	一（有）
a/m	*b/m*	*c/m*	*d/m*	*e/m*	*f/m*	*g/m*

（ただし，$m = \max\{ a, b, c, d, e, f, g \}$ ）

5. 表 2 の帰属度から，ファジィ推論を実行する．ファジィルールを表 4 のように定め，そのメンバーシップ関数は図 2 のように定める．

表 4　ファジィルール

入力	結論
一(無)	この機能は積極的に実装しない (G)
当(無)	この機能はできるだけ実装しない (F)
魅(無)	この機能は余裕があれば実装しない (E)
無	どちらでもよい (D)
魅(有)	この機能は余裕があれば実装する (C)
当(有)	この機能はできるだけ実装する (B)
一(有)	この機能は積極的に実装する (A)

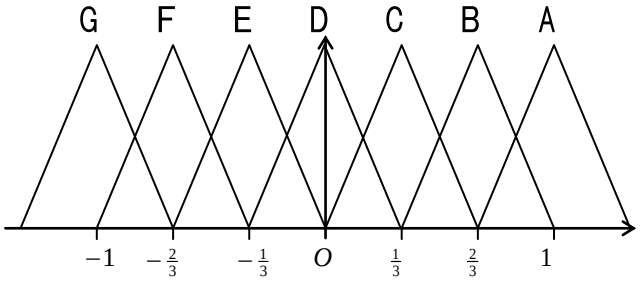


図 2　ファジィ推論における結論のメンバーシップ関数

6. 加算法により結論の合成を求め，重心法により非ファジィ化を行いこれを結論とする．

3．適用事例

2013 年秋学期にオープン科目「数学基礎プラスシリーズ」を受講した学生 2,441 名に対し，図 3 のようなメディア授業に対する機能についてアンケートを行った（設問数は 12）．有効回答数は設問によってばらつきはあるが，695 前後である．

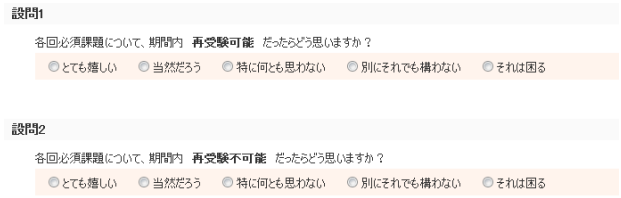


図 3　アンケート例

このアンケート結果に対し，先の分析方法で分析した結果を下（表 5）に示す．

表 5　分析結果

設問	結論
再受験可否	0.5115
部分点有無	0.5372
スキャン必須課題有無	-0.416
倍速再生機能有無	0.2803
対面質問制度有無	0.3148
電子テキスト有無	0.3169

4．おわりに

今回，狩野モデルを学生のニーズ分析に応用し，手法としての有効性を確認できた．今後はさらにアンケートの取り方や分析方法の改善などを改良していきたい．

参考文献

[1] 狩野，瀬楽，高橋，辻: 魅力的品質と当たり前品質，日本品質管理学会会報『品質』14 (2), pp. 39-48, 1984.

[2] M.Rashid, J.Tamaki, A.M.M. S.Ullah, and A.Kubo: A Kano Model Based Linguistic Application for Customer Needs Analysis, International Journal of Engineering Business Management, Vol.3, No.2, pp. 30-36, 2011.

連絡先

早稲田大学
上江洲　弘明
(Tel.: 03-5286-2966, E-mail: uesu@suou.waseda.jp)

Kinfu を用いた3次元物体認識システムの開発
Developing a Kinfu-based 3D Object Recognition System

森下 峻輔 Shunsuke Morishita
伊藤 秀昭 Hideaki Itoh
福本 尚生 Hisao Fukumoto
和久屋 寛 Hiroshi Wakuya
古川 達也 Tatsuya Furukawa
佐賀大学
Saga University

Abstract: We have been developing an inexpensive three dimensional (3D) object recognition system using a 3D scanner Xtion. The 3D shape reconstruction is done using free open-source software named Kinfu. Our system can remove large planes, e.g., walls and floors, before detecting the target object. By removing them, the time required for the object detection can be reduced substantially. Our system succeeded in finding the target object even if the target object is rotated and also in finding multiple objects simultaneously.

1. まえがき

近年，工場の作業ロボットだけでなく，掃除ロボットのように人間の生活により身近で活躍するロボットの開発が行われており，今後は自身で判断し，手伝いをしてくれるロボットの開発が期待される。このようなロボット開発において，3 次元で物体を認識することは，重要な課題である。これまで，この課題に対して，レーザセンサやステレオカメラを用いた研究が行われてきた。しかし，これらのシステムは装置が高価，また，正確さに欠けるという問題がある。

それに対して，近年 Kinect や Xtion のような低コストの 3D カメラが利用できるようになった。そこで本研究では，3D カメラである Xtion を使用した安価で高性能な 3 次元物体認識システムの作成を試みる [1]。すでに Kinect や Xtion を使用する研究 [2] があるが，本システムは，対象物体全体の 3 次元形状を構築することで，物体がどの方向を向いている場合でも，対象物体を検出できるという特徴がある。3 次元形状の作成には，KinectFusion[3] に基づいて開発されている Kinfu というフリーのオープンソースソフトウェアを使用している。

2. システム概要

システムは五つのステップで動作する。

まず一つ目に，対象とする物体のモデルを構築する。対象物体 (図 1(a)) を様々な角度から Xtion で撮影し，得られた深度データを Kinfu によって合成して 3 次元モデル (図 1(b)) を作成する。ここで，モデルは 3 次元点群となる。

二つ目に，作成したモデルを冠状面あるいは矢状面で切り 4 側面モデル (図 2) を作成する。これは，モデルの重心を含む面で前後，あるいは左右の面でモデルを切ることで作成する。この工程によって，たとえ物体がどの方向を向いている場合でも対象物体を検出することができる。

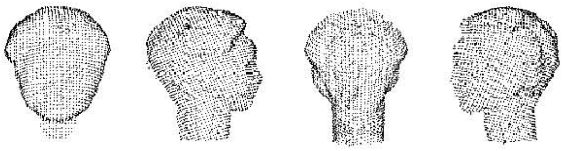
三つ目に，図 3(a) のような対象シーンを Xtion で撮影し，3 次元形状のシーン (図 3(b)) を作成する。

四つ目に，撮影した対象シーンから床と背景の壁を削除する。これは，シーンに対して平面検出を行い，最大の平面と 2 番目に大きい平面を除去することで行った。これによって，検出を行う際の処理時間を短縮することができる。

最後に，シーンから 4 側面モデルを検出する。この工程では，シーン内に 4 側面モデルが存在するか，それぞれ検出を行う。これによって，シーン内で対象物が任意に回転していてもどれかに一致することで検出を行うことができる。その際，各モデルの検出を並列 CPU の四つのコアを使用して行えば，一つのモデルの検出と比較して計算時間の大きな増加はない。検出を行う手順は，最初にモデルとシーン内の各点で局所的な特徴を計算する。そこで，モデルとシーンで局所的に似た特徴を持つ点のペアを見つける。そして，これらの対応関係を用いて，Hough Voting によってシーン内の対象物体の位置および姿勢を検出する。

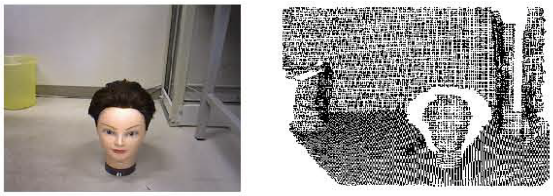
(a) 対象物体　(b) モデル

図 1　モデル (マネキン) の例



(a) front　(b) right　(c) back　(d) left

図 2　4 側面モデル



(a) 対象シーン　(b) 3D シーン

図 3　シーンの例

3. 実験とその結果

図 4 は，対象物体としてマネキンを使用して作成した正面のモデルを，撮影したシーンから検出した結果である。図 4 において，左方のモデルは青，シーン内で検出

した対象物体は赤，モデルとシーンで特徴が似た点の対応を緑線で示す。

表 1 は，平面除去 (2 節の第 4 ステップ) を行った効果を示す。表において，scene 1 は平面除去を行っていないシーン，scene 2 は床を削除したシーン，scene 3 は床に加えて壁を削除したシーンを意味する。これらのシーンについて，正面のモデルを検出した結果を表に示す。“total points”は，シーンの点の数，“correspondences found”は，モデルとシーンの特徴が一致した点の数，“time”はモデルを検出するために費やされた時間である。表内の各値は，5 回の実験の平均値である。表において，平面除去を行うことで，点の数を大幅に削減しても正常に検出することができた。また，対応点の数は 561 から 491 とあまり減少していないが，処理時間は 761 秒から 256 秒と大幅に減少した。これは，シーンの重要でない部分を削除できたことを意味する。表に示した時間の他に，システムは 4 側面モデルを作成する (2 節の第 2 ステップ) ために約 1.5 秒，また，シーンから床と壁の除去処理 (2 節の第 4 ステップ) に平均 11.2 秒の時間がかかった。

同様に，物体が回転している場合である背面，左面，右面それぞれの向きのマネキンを含むシーンに対しても，対象物体を正常に検出した。これは，4 側面モデルを構築したからである。表 2 は，回転した物体を検出した結果を示す。この実験では，front，right，back，left のそれぞれのマネキンを含む四つのシーンを用意した。これらのシーンのそれぞれについて，床と壁を削除した後，シーン内のモデルを検出した。表 2 の上段は正面のモデルを含むシーンで正面のモデルを検出した結果を示す。この行は，表 1 の下段と同じである。表 2 の他の行は，対応するシーンでのモデルを検出した結果を示す。

また，シーン内に対象物体が複数ある場合でも検出することができる。今回，モデルとしてペットボトルを用いて，これまでと同様に，モデルは 4 側面モデルを作成して検出を行った。同じ大きさのペットボトルが 2 本カメラから同じ距離の位置にあるシーン (図 5(a)) に対して検出を行った結果を図 5(b) に示す。図 5(b) の赤で示すように二つとも検出することができた。さらに，図 6(a) のように 2 本のペットボトルがカメラから異なる位置にあるシーンに対しても，対象物体の大きさが同じであれば，正常に検出することができた (図 6(b))。

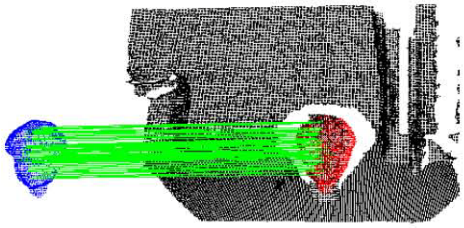


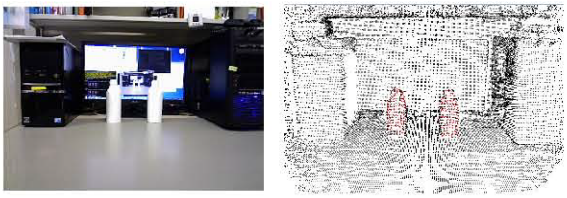
図 4　物体認識の結果

表 1　平面除去の効果

	total points	correspondences found	time [s]
scene 1	58,570	561	761.3
scene 2	33,251	547	434.2
scene 3	20,974	491	256.2

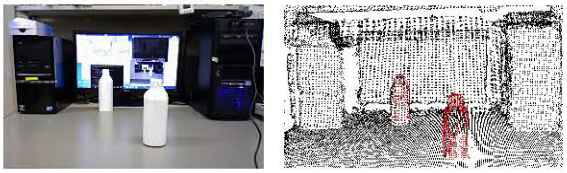
表 2　シーン内で回転物体を検出した結果

	total points	correspondences found	time [s]
front	20,974	491	256.2
right	20,190	389	262.8
back	18,331	379	248.1
left	27,946	340	333.7



(a) 対象シーン　(b) 3D シーン

図 5　対象物体が二つある場合
(カメラからの距離が同じ)



(a) 対象シーン　(b) 3D シーン

図 6　対象物体が二つある場合
(カメラからの距離が異なる)

4. あとがき

本システムは，対象物体をシーンから検出することができ，シーンから床や壁を削除することで処理時間を低減することが示された。同様に，対象物体がたとえ回転している場合であっても検出することに成功した。これは 3 次元モデルから 4 側面モデルを構成することにより可能となった。また，対象物体がシーン内に複数ある場合でも，カメラからの距離にかかわらずモデルと同じ大きさのものであれば検出することに成功した。シーン内で物体の位置に関わらず対象物体の検出が行えるようになったので，今後はロボットを用いて対象物体をつかむ動作を行いたい。

参考文献

[1] S. Morishita, H. Itoh, H. Fukumoto, H. Wakuya, T. Furukawa, “Developing a 3D Object Recognition System Using Kinfu,” The Society of Instrument and Control Engineers(SICE), TuCT3.7, pp.2495-2497, 2013

[2] W. Susanto, M. Rohrbach, B. Schiele,“3D object detection with multiple kinects,” 12th European Conference on Computer Vision(PART 2), LNCS 7584, pp. 93–102, 2012

[3] S. Izadi, D. Kim, O. Hilliges, D. Molyneaux, R. Newcombe, P. Kohli, J. Shotton, S. Hodges, D. Freeman, A. Davison, and A. Fitzgibbon, “KinectFusion: Real-time 3D Reconstruction and Interaction Using a Moving Depth Camera,” ACM 978-1-4503-0716-1, 2011

連絡先

森下 峻輔
佐賀大学大学院工学系研究科電気電子工学専攻
計算機応用工学研究室
(E-mail: morisita@ace.ec.saga-u.ac.jp)

名義的データに対するクラスタリングのためのカーネル関数

A kernel function for clustering of nominal data sets

○ 楠木 祥文,　　谷野 哲三
○ Yoshifumi Kusunoki,　Tetsuzo Tanino
大阪大学
Osaka University

Abstract: In this paper, we consider clustering for data sets consisting of objects which are described by nominal attributes. For such data sets, it is important not only that clusters of similar objects are obtained, but also that clusters have simple representations of the attributes. To obtain such clusters, we propose a kernel function defined through Boolean formulas which reflect attribute subsets discerning clusters. We apply the proposed kernel function to clustering under cannot-link constraints.

1　はじめに

本研究では，名義属性によって記述された対象集合のクラスタリングを行う．名義属性を持つ対象集合のクラスタリングでは，類似した対象で構成されたクラスタを求めるだけでなく，得られたクラスタが簡潔な表現を持つことも重要である．そのためには，各属性についての対象間の一致・不一致だけではなく，属性部分集合におけるクラスタ間の識別可能・識別不能も考慮する必要がある．そこで，属性部分集合における識別可能性を反映したカーネル関数を提案し，それを対象間の類似度に用いたクラスタリングを考察する．任意の属性部分集合の族は論理式によって表現できるが，提案するカーネル関数は，与えられた問題に適した論理式によって定義される．本研究では，cannot-link の集合が与えられた下で，提案するカーネル関数を類似度としたクラスタリングを行う．

2　情報表と識別不能関係

本研究では，データを情報表 $\langle U, AT, \{V_a\}_{a\in AT}\rangle$ によって与える．$U=\{u_1,u_2,\ldots,u_n\}$ は対象の有限集合であり，$AT=\{a_1,a_2,\ldots,a_m\}$ は属性の有限集合である．各属性 $a\in AT$ に対して V_a は a の属性値集合である．各属性 $a\in AT$ は U から V_a への関数である．属性部分集合 $A\subseteq AT$ に対して，直積 $V_A=\prod_{a\in A}V_a$ を定義する．また，対象 $u\in U$ に対して，順序対 $A(u)=(a(u))_{a\in A}$ を定義する．ここで，$A(u)\in V_A$ であることに注意する．本研究では，すべての属性は名義属性であると仮定される．すなわち，二つの属性値 $v_a, v'_a\in V_a$ は等しいかまたはそうでないかのみによって比較される．このような情報表を名義的と呼ぶ．

属性部分集合 $A\subseteq AT$ に対して，対象間の識別不能関係 $R_A=\{(u,u')\in U^2 \mid A(u)=A(u')\}$ を定義する．ただし，$R_\emptyset=U^2$ とする．つまり，二つの対象 u,u' が与えられたとき，A に含まれるすべての属性について，その値が同じならば，u,u' は識別不能である．反対に，どれかの属性値が一致していないとき，u,u' は識別可能であると考えられる．R_A は明らかに，反射性，推移性，対称性を満たし，同値関係である．対象 $u\in U$ に対して，A において u と識別できない集合を $R_A(u)=\{u'\in U \mid (u',u)\in R_A\}$ と表す．$R_A(u)$ は同値類であり，$\{R_A(u)\mid u\in U\}$ は U の分割となる．

3　カーネル関数

カーネル法とはデータを特徴空間と呼ばれる空間に写して，その空間で様々な手法を適用するデータ分析法である．カーネル関数とは，元の空間のデータ点 x,y に対して特徴空間におけるそれらの内積を与える関数である．名義的情報表に対する特徴空間への写像として，対象 $u\in U$ に対して，$\xi(u)=(\xi_{A=v_A}(u))^T_{A\subseteq AT, v_A\in V_A}$ を割り当てることを考える．ここで，

$$\xi_{A=v_A}(u)=\begin{cases}1 & A(u)=v_A \text{ または } A=\emptyset\\ 0 & \text{otherwise}\end{cases}$$

ξ で写像された空間の通常の内積によって，冪集合カーネル関数 $\kappa_\subseteq(u,u')=\xi(u)^T\xi(u')$ [1] を定義する．冪集合カーネル関数 $\kappa_\subseteq(u,u')$ の値は，u と u' が識別不能となる属性部分集合の総数に一致する．つまり，$\kappa_\subseteq(u,u')=|\{A\subseteq AT \mid (u,u')\in R_A\}|$．これは簡単に計算でき，$E(u,u')=\{a\in AT \mid a(u)=a(u')\}$ とすると，$\kappa_\subseteq(u,u')=|2^{E(u,u')}|$ となる．

4　論理式を伴うカーネル関数

本研究では，名義的情報表に対して，冪乗カーネルの一般化を提案する．論理式（論理関数）は任意の集合族を表現することができるが，ξ の値域である特徴空間の内積について，各成分の重みを論理式で与えることを考える．m 個の論理変数 $a_1^*, a_2^*, \ldots, a_m^*$ によって構成された論理式 $\varphi(a_1^*, a_2^*, \ldots, a_m^*)$ を考える．ここで，変数 a_i^* は属性 a_i に対応している．属性部分集合 $A \subseteq AT$ が与えられたとき，m 次元 0-1 ベクトル A^* を次のように定義する．各 $i = 1, 2, \ldots, m$ に対して，$a_i \in A$ ならば $A_i^* = 1$，そうでなければ $A_i^* = 0$ とする．論理式 φ に対応して，次の属性部分集合族 $\mathcal{P}_{AT}(\varphi) = \{A \subseteq AT \mid \varphi(A^*) = 1\}$ を与えることができる．$\mathcal{P}_{AT}(\varphi)$ を用いて，φ を伴うカーネル関数 κ_φ を以下のように定義する．$u, u' \in U$ に対して，

$$\kappa_\varphi(u, u') = \sum_{A \in \mathcal{P}_{AT}(\varphi), v_A \in V_A} \xi_{A=v_A}(u) \xi_{A=v_A}(u')$$

冪集合カーネル関数と同様に，論理式を伴うカーネル関数も属性部分集合族によって表現できる．

$$\kappa_\varphi(u, u') = |\{A \in 2^{E(u,u')} \mid \varphi(A^*) = 1\}|$$

さらに，u, u' に対応した論理式 $\rho_{uu'} = \bigvee_{a(u) \neq a(u')} a^*$ 与えると，$\kappa_\varphi(u, u')$ の値は，論理式 $\varphi \wedge \bar{\rho}_{uu'}$ の真ベクトルの数と一致する．

論理式を伴うカーネル関数の応用例として，cannot-link の集合が与えられた下での対象間の類似度を，提案したカーネル関数で与える．クラスタリングにおいて，cannot-link は対象の対 $\{u, u'\}$ で与えられ，u と u' は異なるクラスタに属するように分割を求めるという制約である．cannot-link の集合を $CL \subseteq \{\{u, u'\} \mid u, u' \in U, u \neq u'\}$ で与える．CL に対応する論理式 $\varphi_{CL} = \bigwedge_{\{u,u'\} \in CL} \rho_{uu'}$ で与え，これを伴うカーネル関数を類似度 $s = \kappa_{\varphi_{CL}}$ に用いる．このとき，cannot-link で結ばれた対象 u, u' の類似度は必ず $s(u, u') = 0$ となる．

5　数値実験

ベンチマークデータに対して cannot-link 集合が与えられた下でのクラスタリングを行う．上述のように対象間の類似度をカーネル関数で与える．データとしては，UCI Machine Learning Repository [`http://archive.ics.uci.edu/ml`] にある monks problems の `monks-1` を用いた．`monks-1` の対象集合 U はあらかじめ二つのクラス X_0 と X_1 に分割され，さらに，訓練用の対象集合 U^{TR} と検証用の対象集合 U^{TE} にも分割されている．cannot-link の集合を $CL = (X_0 \cap U^{\mathrm{TR}}) \times (X_1 \cap U^{\mathrm{TR}})$ で与えた．類似度 $s = \kappa_{\varphi_{CL}}$ を用いて，対象集合 U に最短距離法を適用し，図 1 の樹形図を得た．ここで，図で用いられている類似度は s そのものではなく，属性の一致度に合わせるため，$\tilde{s} = \log_2(s)/m$ という変換を行っている．また，`monks-1` を 2 値化した情報表を用いている，つまり，各属性 $a \in AT$，各属性値 $v_a \in V_a$ に対して，新しい属性 $(a = v_a)$ を定義し，各対象 u について $a(u) = v_a$ となるならば $(a = v_a)(u) = 1$，そうでなければ 0 を与えるように属性値を定めた情報表を用いている．十分小さい類似度 $\epsilon > 0$ で樹形図をカットすると 18 個のクラスタが得られる．これらは，X_0 もしくは X_1 のどちらかに包含されており，さらに，U^{TR} の対象を少なくとも一つは含んでいるため，この結果によってすべての対象が正しく分類できる．

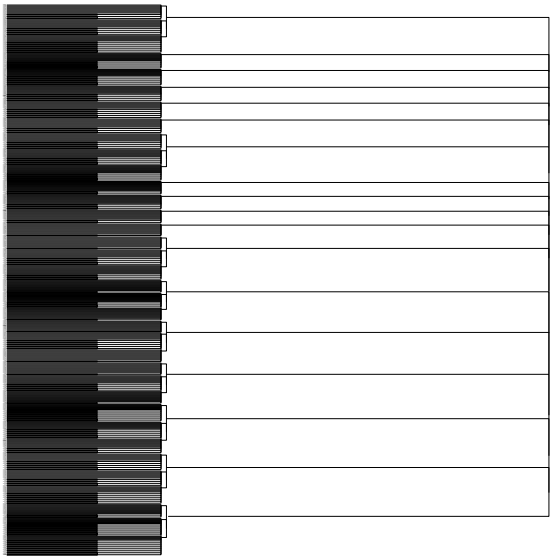


図 1: A dendrogram of `monks-1`

6　おわりに

名義属性を持つ対象集合に対するクラスタリングのためのカーネル関数を提案した．また，このカーネル関数を用いて，cannot-link 集合が与えられた下でのクラスタリングを行った．`monks-1` を用いた数値例では，適切なクラスタを得ることができた．

参考文献

[1] Shawe-Taylor, J. and Cristianini, N., *Kernel Methods for Pattern Analysis*, Cambridge University Press, 2004.

連絡先

楠木 祥文

E-mail: kusunoki@eei.eng.osaka-u.ac.jp

Probability weighting function models and psychological experiment for the comparisons

Kazuhisa Takemura, Hajime Murakami, Yuki Tamari, Takashi Ideno

Waseda University

Abstract: The present paper proposed some probability weighting functions derived from hyperbolic time discounting model assuming geometric distribution and mental ruler model (Takemura, 1998, 2001). The proposed models are extensions of "Mental ruler model" (Takemura, 1998, 2001) which assumes that a decision maker constructs a mental ruler to evaluate options for judgment and decision. A mental ruler is assumed to have two endpoints (reference points) like an ordinal physical ruler. It is assumed that a mental ruler is constructed on the support for a subjectively framed situation which is dependent on the focused situation. This paper shows some empirical examples based on psychological experiments for the model comparisons.

1. Introduction

A probability weighting function $W(p)$ is widely known in behavioral decision theory and behavioral economics. The probability weighting function is considered to be nonlinear function of objective probabilit(p). Takahashi (2011) utilized psychophysical theory to derive Prelec's (1998) probability weighting function:
$W(p) = \exp(-(-\ln p)^{\alpha})$ $(0 < \alpha < 1; W(0) = 0, W(1/e) = 1/e, W(1) = 1)$. The present study proposed another type of probability weighting function derived from hyperbolic time discounting model assuming geometric distribution. The probability weighting function derived from hyperbolic time discounting is:

$$W(p) = \frac{1}{1-k\log p}, \quad (1)$$

where p is probability,$k$is constant, $k > 0$.

Moreover, probability weighting function is derived from Lowenstein and Prelec's (1992) generalized hyperbolic time discounting model. The derived model is:

$$W(p) = (1 - k\ln p)^{\beta}, \quad (2)$$

where p is probability, $k$is positive constant, $k > 0$, and β is negative constant, $\beta < 0$.

The model (2) is same as hyperbolic-logarithmic weighting function considered by Prelec (1998) and Luce (2001). The present study derives this model from the generalized hyperbolic time discounting model assuming Fechner's psychophysical law of time and geometric distribution.

Lastly, the present study generalizes the mental ruler model (Takemura, 1998, 2001) utilizing the generalized hyperbolic time discounting model. The proposed models are extensions of "Mental ruler model" (Takemura, 1998, 2001) which assumes that a decision maker constructs a mental ruler to evaluate options for judgment and decision. A mental ruler is assumed to have two endpoints (reference points) like an ordinal physical ruler. This paper shows some empirical examples based on psychological experiments for the model comparisons.

2. Probability Weighting Function Derived from Hyperbolic Time Discounting

Hyperbolic discounting is a mathematical model devised as an improvement over exponential discounting model, a time-consistent model of discounting. Hyperbolic discounting is described as:

$$f(D) = \frac{1}{1+kD}, \quad (3)$$

where $f(D)$ is the discount factor that multiplies the value of the reward, D is the delay in the reward, and k is a parameter governing the degree of discounting. In this study, we derive logarithmic hyperbolic probability weighting function from $f(D)$ and assuming that the trial is a geometric distributed random variable and the delay is evaluated by Fechner's law.

Let X be the number of Bernoulli trials needed to get one success, supported on the set $\{1, 2, 3, \ldots\}$. It's the probability that the first occurrence of success require k number of independent trials, each with success probability p. If the probability of success on each trial is p, then the probability of the kth trial is the first success is:

$$P(X = k) = (1-p)^{k-1}p \text{ for } k = 1,2,3, \ldots \quad (4)$$

The sequence of probabilities is a geometric sequence. The expected value of a geometric distributed random variable X is $1/p$ and the variance is $(1-p)/p^2$.

Assuming Fechner's law, the delay can be considered to be a logarithmic function of the number of trials, that is, $D = \log p$.
The probability weighting function derived from hyperbolic time discounting (Figure 1) is:

$$W(p) = \frac{1}{1-k\log p}, \quad (5)$$

where p is probability, k is constant, $k > 0$.

The indicator $-\log p\,(= \log(1/p))$ is also related to the median of trials to some extent. That is the median of the trials is:

$$Median(X) = \frac{-1}{\log_2(1-p)} \quad (6)$$

Since the geometric distribution is skewed, $-\log p$ is considered to be approximation of the median of trials. In this idea, probability of weighting function is:

$$W(p) = \frac{1}{1-k\left(\frac{1}{\log_2 1-p}\right)}, \quad (7)$$

where p is probability, k is constant, $k > 0$.

Although the median model is related to the hyperbolic model, the median model in (7) will be discussed elsewhere in more detail.

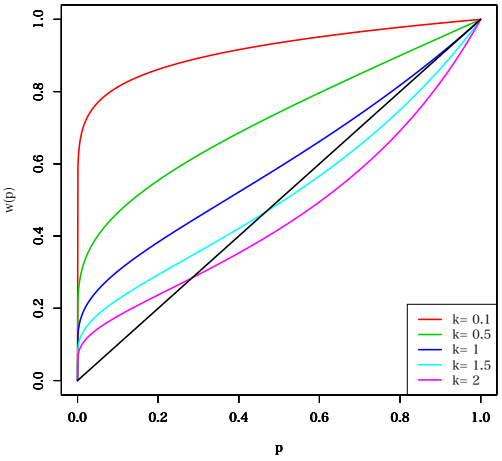


Figure 1 Probability weighting function derived from hyperbolic discounting model.

The probability weighting function is also derived from Lowenstein and Prelec's (1992) generalized hyperbolic time discounting model. Their model is

$$f(D) = (1+\alpha D)^{-\gamma/\alpha} \quad (8).$$

Letting $\alpha = k$, $\gamma/\alpha = \beta$, their model is:

$$f(D) = (1+kD)^{-\beta} \quad (9).$$

Assuming Fechner's law, the delay can be considered to be a logarithmic function of the number of trials, that is, $D = \log p$.

The probability weighting function derived from the generalized hyperbolic time discounting (9) is:

$$W(p) = (1-k\log p)^{\beta}, \quad (10)$$

where p is probability, k is positive constant, $k > 0$, and β is negative constant, $\beta < 0$.

The model (10) is same as hyperbolic—logarithmic weighting function considered by Prelec (1998) and Luce (2001).

Since the geometric distribution is skewed as pointed out before, $-\log p$ is considered to be approximation of the median of trials. In this idea, probability of weighting function is :

$$W(p) = \left(1-k\left(\frac{1}{log_2\ (1-p)}\right)\right)^{\beta}, \quad (11)$$

where p is probability, k is positive constant, $k > 0$, β is negative parameter, $\beta < 0$.

3. Probability Weighting Function Derived from Mental Ruler Model and Time Discounting model

This paper shows a unified psychometric model explaining probability weighting function and value function and shows some empirical examples based on psychological experiments. The proposed model is an extension of "Mental ruler model" (Takemura, 1998, 2001) which assumes that a decision maker constructs a mental ruler to evaluate options for judgment and decision. A mental ruler is assumed to have two endpoints (reference points) like an ordinal physical ruler. It is assumed that a mental ruler is constructed on the support for a subjectively framed situation which is dependent on the focused situation. Contrary to the most of the utility theories and the prospect theory, the evaluation function is an S-shaped function, which is concave below and convex above a certain point between the endpoints of the support for the mental ruler. The mental ruler is considered to hold the subadditivity of following two kinds (Tversky & Fox, 1995; Tversky & Wakker, 1995): (i) Lower Subadditivity and (ii) Upper Subadditivity. This property denotes an event for which the evaluation function of the mental ruler becomes convex downward when $m(x)$ is high. This is the same as the property of the certainty effect indicating the weighting of probability 1 is much greater than the probability less than 1, as explained using the prospect theory. The mental ruler model, however, forecasts that this property holds not only with the weighting probability but also with the values of the outcomes. This prediction is completely contrary to the property of the diminishing marginal utility in the utility theory or in the prospect theory. In the utility theory or the prospect theory, a function that is concave downward is always assumed, although the mental ruler model includes the assumption that a function exists that is convex downward around the upper bound.

Original Mental Ruler Model (MR: Figure 2) is written as

$$W(p) = wp^{\alpha} + (1-w)(1-(1-p)^{\alpha}, \quad (12)$$

where $0 < w < 1$, $0 < \alpha < 1$ which $W(p)$ describes the weighted probability (p).

The mental ruler model is a linear combination of concave and convex functions. In this sense, several versions of the mental ruler model can be proposed. Firstly, Mental Ruler Model with Delay Discounting (MRDD: Figure 3) can be proposed as follows:

$$W(p) = \alpha\left(\frac{1}{1-k\left(\frac{1}{\log(1-p)}\right)}\right) + (1-\alpha)\left(\frac{1}{1-k\left(\frac{1}{\log p}\right)}\right), \quad (13)$$

where $0 < w < 1$, $k > 0$, $0 < \alpha < 1$, which $W(p)$ describes the weighted probability (p).

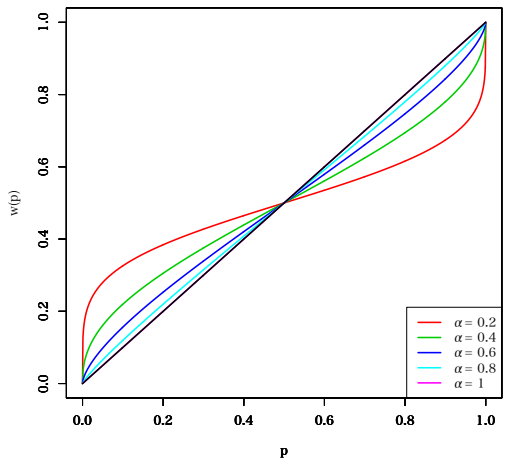


Figure 2 Probability weighting function derived from the original mental ruler model.

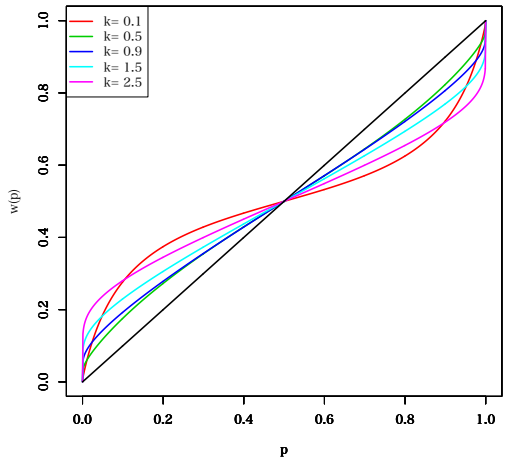


Figure 3 Probability weighting function derived from the mental ruler model with delay discounting.

Secondly, Mental Ruler Model with Delay Discounting using geometric distribution-type1 (MRDDgd1:Figure 4) can be written as follows:

$$W(p) = \alpha\left(\frac{1}{1-k\left(\frac{1}{\log_2(1-p)}\right)}\right) + (1-\alpha)\left(\frac{1}{1-k\left(\frac{1}{\log_2(p)}\right)}\right) \quad (14)$$

Thirdly, Mental Ruler Model with Delay Discounting using geometric distribution-type2 (MRDDgd2: Figure 5) is as follows:

$$W(p) = \frac{1}{e}\left(\frac{1}{1-k\left(\frac{1}{\log_2(1-p)}\right)}\right) + \left(1-\frac{1}{e}\right)\left(\frac{1}{1-k\left(\frac{1}{\log_2(p)}\right)}\right) \quad (15)$$

Lastly, Mental Ruler Model with Delay Discounting using geometric distribution-type3 (MRDDgd3: Figure 6) can be expressed as follows.

$$W(p) = \left(1-\frac{1}{e}\right)\left(\frac{1}{1-k\left(\frac{1}{\log_2(1-p)}\right)}\right) + \frac{1}{e}\left(\frac{1}{1-k\left(\frac{1}{\log_2(p)}\right)}\right) \quad (16)$$

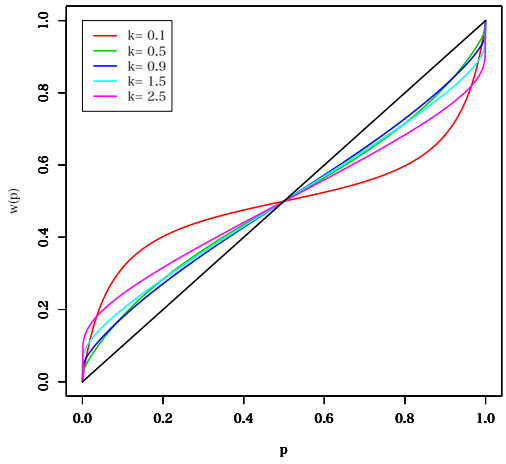


Figure 4 Probability weighting function derived from the mental ruler model with hyperbolic discounting.

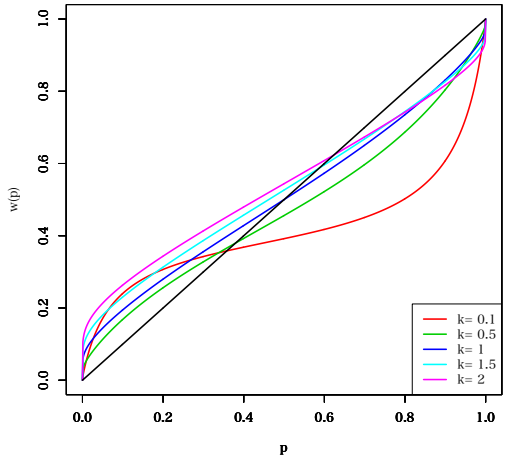


Figure 5 Probability weighting function derived from the mental ruler model with geometric distribution-type2.

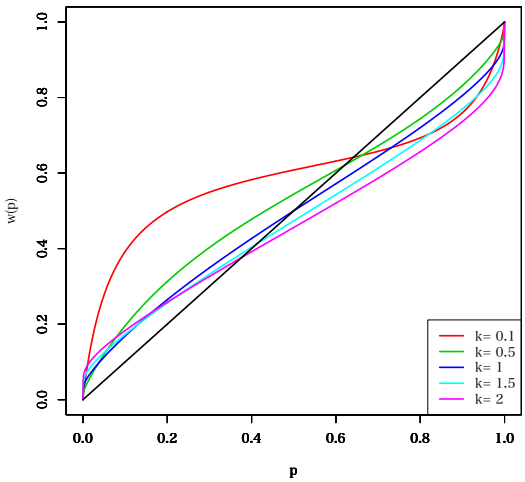


Figure 6 Probability weighting function derived from the mental ruler model with geometric distribution-type3.

4. Psychological Experiment

Psychological experiment was undertaken using the certainty equivalent method. Parameter estimation method was basically same as the Gonzalez & Wu (1999)'s method.

Participants were 100 university students. 82 of 100 data were analyzed, because the 18 participants' data showed low levels of reliability. Choice patterns were analyzed individually.

Fitting curve using all certainty equivalent data for each model was shown in Figure 7. Median rank of AIC measure for each model was shown in Figure 8. Median of AIC measure for each model was shown in Figure 9.

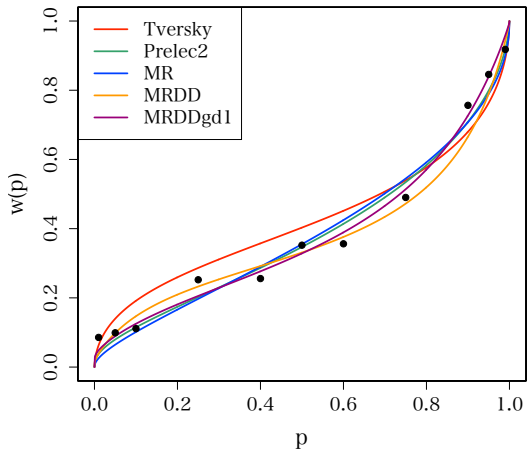


Figure 7 Fitting curve using all data.

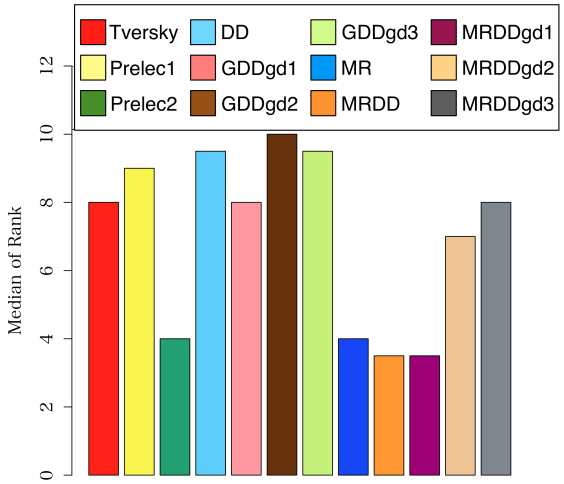


Figure 8 Median rank of AIC for each model.

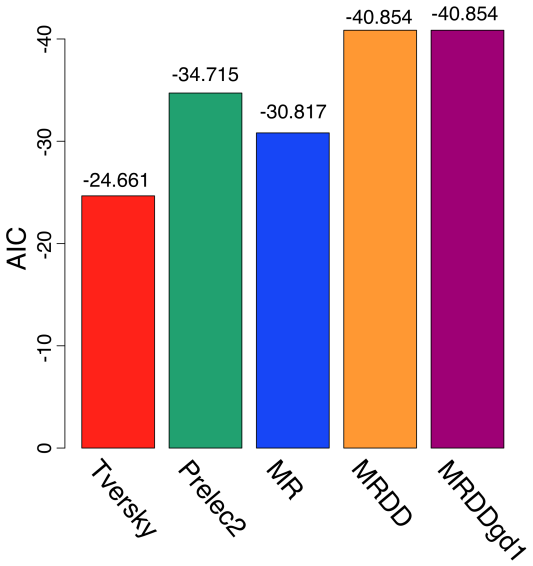


Figure 9 Median of AIC for each model.

As shown in Figure 7, 8, 9, the mental ruler model versions of the hyperbolic delay function were more fitted to the experimental data.

References

Kahneman, D. and Tversky, A.: "Prospect theory: An analysis of Decision Under Risk", *Econometrica*, 47, 263-292, 1979.

Luce, R.D.,: "Reduction Invariance and Prelec's Weighting Functions", *Journal of Mathematical Psychology,* 45, 167-179, 1979.

Prelec, D,: "The Probability Weighting Function", *Econometrica*, 66, 497-527, 1998.

Takahashi, T.: "Psychophysics of the Probability Weighting Function",*Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications,* 390, 902-905, 2011.

Takemura, K.: "Qualitative model of contingent decision making: Mental ruler model" *Cognitive Studies,* 5, 17-34, 1998.

Tversky, A. and Kahneman, D.: "Advances in Prospect theory: Cumulative Representation of Uncertainty", *Journal of Risk and Uncertainty*, 5, 297-323, 1992.

Correspondence:

Kazuhisa Takemura, Ph.D.
Professor of Social Psyhchology,
Department of Psychology,
& Director, Institute of Decision Research
Waseda University, 1-24-1 Toyama, Shinjuku-Ku, Tokyo 162-8644.
E-mail: kazupsy@waseda.jp

Pt コーティングナノファイバーの太さと屈折率の測定とプラズモン効果

Determination of diameter and complex refractive index of a Pt-coated thin fiber suggesting plasmon effect

但馬文昭	西山善郎	松田充夫	宮武直樹	松田修三
Fumiaki Tajima	Yoshio Nishiyama	Nobuo Matsuda	Naoki Miyatake	Syuzo Matsuda
横浜国立大学	横浜国立大学	大島商船高等専門学校	千葉科学大学	法政大学
Yokohama Nat. Univ.	Yokohama Nat. Univ.	Oshima Coll. Maritime Tech.	Chiba Inst. Sci.	Hosei Univ.

Abstract: A plane-polarized laser wave with a wavelength of 660.0 nm illuminates with a Pt-coated thin fiber at normal incidence. The measured angular distribution of the scattered light intensity corresponds well with the one calculated by a rigorous solution of scattering theory for the problem. Diameter and complex refractive index of the fiber are determined by the calculation at a minimum point of the uncertainty index.

Keywords: Light scattering, Pt-coated thin fiber, Diameter, Complex refractive index, Plasmon

１．はじめに

ステンドグラスやリュクルグス・カップにみられる赤色の呈色現象は古くから知られている．これは，ガラス中の金コロイド粒子による表面プラズモン共鳴現象であり，近年様々な分野へプラズモン効果の応用研究が広がっている[1,2].

その中でも，表面増強ラマン散乱（surface enhanced Raman scattering: SERS;1970 年代に貴金属表面に吸着した分子のラマン散乱が著しく増強される現象）では，数 nm 程度以下のギャップを隔てた複数の金や銀などのナノ粒子の間にはプラズモンによる電場増強効果が 100 倍程度以上になることが知られている[3]．これを用いれば単一分子ラマン分光等の極微量物質の検出が実現でき，応用が期待される．

これまで，SERS の応用研究では，主として金や銀が用いられ，白金などの Pt-group の金属はプラズモン効果が小さいと考えられ研究があまり行われて来なかった. また, 金や銀を用いた SERS の応用研究では，サイズや形状を制御されていないラフな表面や，ナノギャップ構造を作成して増強度を実験的調べる研究が主として行われてきたが，理論と対応させて検討するには，形状の制御や，表面粗さが問題となる．白金の場合，表面粗さを小さくすることは金，銀より容易であり，より精密に理論と対照してプラズモン効果を調べることができる可能性がある[4].

このような考えに基づいて，これまでに Pt コートしたプリズム面近傍にプローブとして極細い Pt コート糸を配置し，レーザー光を当ててできる Pt コート膜近傍にされているはずのプラズモニックエバネッセント波（plasmonic evanescent wave;PEW）を散乱波に変換して PEW の振る舞いを調べることを検討している．つまり，プローブによる散乱光強度を予め正確に規定できれば，微粒子の近接場も解明できると考えた．そのために，太さ 200～300 nm 程度の透明な糸に Pt コーティングを施して，太さ 370～430 nm 程度の Pt コートナノファイバーを作成した．そして，これにレーザー光を当ててできる散乱光の角度分布を測定することにより，コーティングの膜の厚さ，複素屈折率の決定を試み，プローブとして用いたときの定量的な応用への可能性を検討している．その過程で，プローブによる散乱波強度の角度分布が計算と実験でよく一致し Pt コート極細糸の太さ，複素屈折率が不確かさの範囲も含めて決定

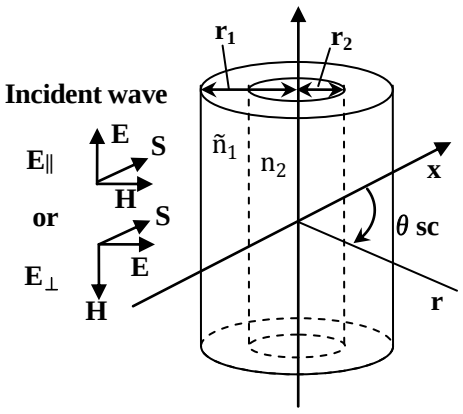


Fig.1 Schematic of a Pt-coated cylinder and coordinate axes.

できたので報告する．

２．理論

Fig.1 に示すように平面波（平行偏光光 $E_{||}$）が，Pt コーティングファイバーのクラッド部の半径が r_1，複素屈折率が $\tilde{n}_1$，コアの半径とその屈折率がそれぞれ r_2，$n_{2||}$ の同軸二重円柱に垂直に入射するとして，散乱断面積 $\sigma_{||}$ を求めると，

$$\sigma_{||}(\theta_{sc}) = \frac{2}{\pi k}\left|\sum_{m=0}^{\infty} B_{||}(m)\cos(m\theta_{sc})\right|^2 \qquad (1)$$

となる．ただし，$B_{||}(m)$ は，次式により与えられる．

$$B_{||}(m) = \left(\frac{-J_m'(kr_1)c_1(m) + J_m(kr_1)c_2(m)}{H_m^{(1)\prime}(kr_1)c_1(m) - H_m^{(1)}(kr_1)c_2(m)}\right) \times (2-\delta_{m0}) \qquad (2)$$

ここで，

$$\begin{pmatrix} c_1(m) \\ c_2(m) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} H_m^{(1)}(\tilde{n}_1 kr_1) & H_m^{(2)}(\tilde{n}_1 kr_1) \\ \tilde{n}_1 H_m^{(1)\prime}(\tilde{n}_1 kr_1) & \tilde{n}_1 H_m^{(2)\prime}(\tilde{n}_1 kr_1) \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \tilde{n}_1 H_m^{(2)\prime}(\tilde{n}_1 kr_2) & -H_m^{(2)}(\tilde{n}_1 kr_2) \\ -\tilde{n}_1 H_m^{(1)\prime}(\tilde{n}_1 kr_2) & H_m^{(1)}(\tilde{n}_1 kr_2) \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} J_m(n_2 kr_2) \\ n_2 J_m'(n_2 kr_2) \end{pmatrix} \qquad (3)$$

である．ただし，k は波数，J_m，H_m はそれぞれ m 次の第１種ベッセル関数，ハンケル関数である．δはクロネッカーのデルタ，プライムは微分を表す．式中では，$\tilde{n}_1$，n_2の偏光方向を表す記号は省略している．垂直偏光 $E_\perp$ の場合は(3)式で係数の $\tilde{n}_1$，n_2 を $1/\tilde{n}_{1\perp}$，$1/n_{2\perp}$ に置き換えたものとすればよい．また，$\tilde{n}_{1\perp}$，$n_{2\perp}$ はそれぞれ，垂直偏光光 $E_\perp$ に対するクラッド及びコアの複素屈折率及び屈折率である．コアの誘電率については一軸異方性を仮定し，

$$\varepsilon_0 \begin{bmatrix} n_{2\perp}^2 & 0 & 0 \\ 0 & n_{2\perp}^2 & 0 \\ 0 & 0 & n_{2||}^2 \end{bmatrix} \qquad (4)$$

とした．ここで，ε_0 は真空中の誘電率である．

なお，この問題の解として，文献[5]がそのまま利用できる．そこでは，ファイバーのクラッド及びコアは両方とも透明な材料で，それらの屈折率は実数であるが，金属等の導体の場合は屈折率を複素屈折率に置き換えるだけで, 式は同形である．

Pt コーティングファイバーのクラッドの太さ及び屈折率のパラメータ値の決定は，次式の偏差指標を最小にするようなフィッティングにより行った．

$$U_I(\tilde{n}_1, n_2, D_{1,2}) = \frac{\sum_i \left[I_i - I_0\sigma_i(\tilde{n}_1, n_2, D_{1,2})\right]^2}{\sum_i I_i} \qquad (5)$$

ただし，I_i，σ_i(= $\sigma_{||i}$ または $\sigma_{\perp i}$) はそれぞれ測定

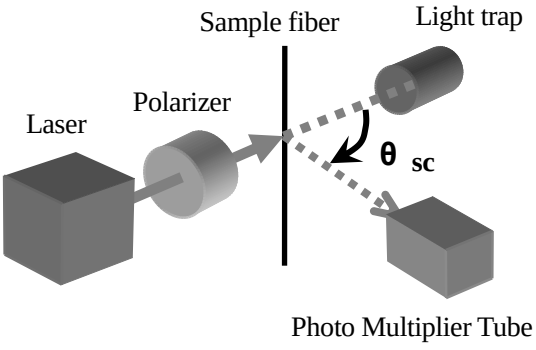


Fig.2 Experimental setup.

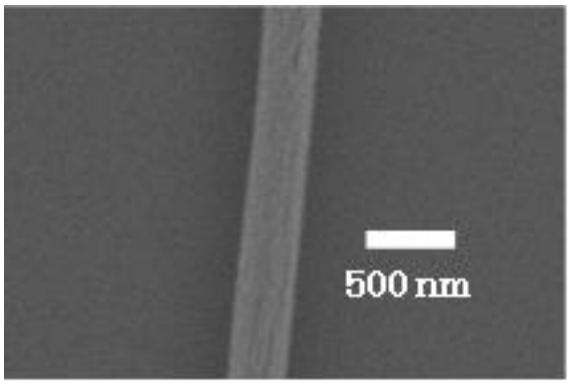
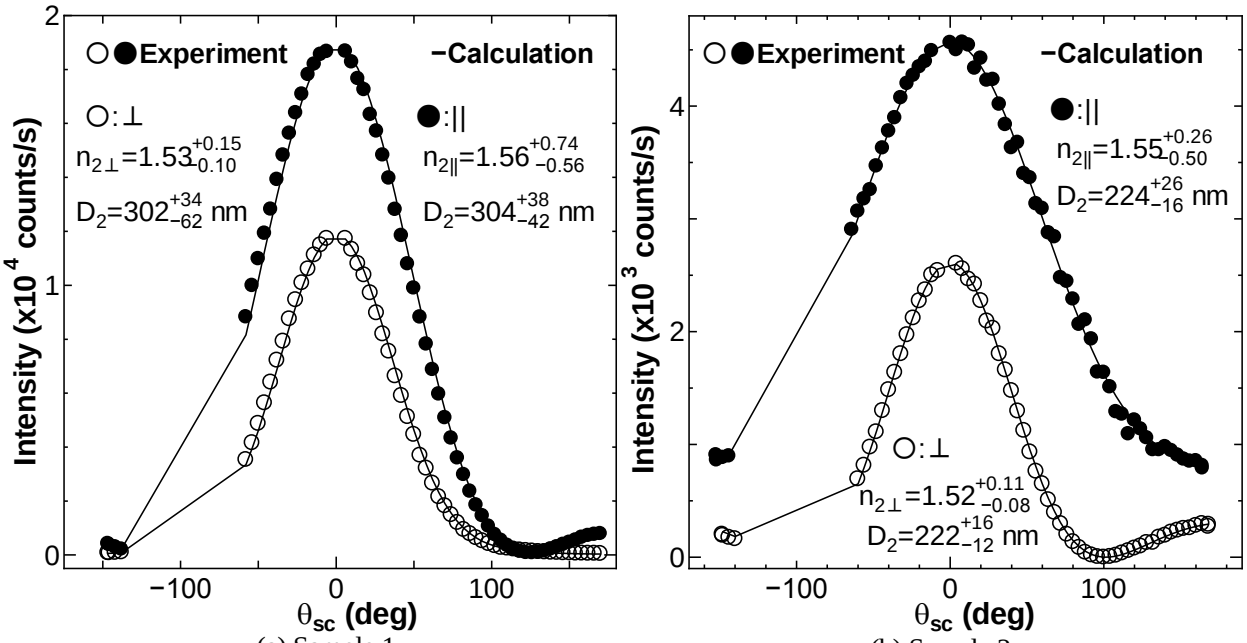


Fig.3 FESEM image of a Pt-coated sample fiber.



(a) Sample 1　　(b) Sample 2

Fig.4 Angular distribution of the scattering intensity before coating.

散乱角 $\theta_{sc}=\theta_i$ における散乱光強度の測定値及び(1)式による計算値を表す．また，$D_1=2r_1$ である．

3．実験

散乱光強度の角度分布測定の概要を Fig.2 に示す．実験用サンプルの作成手順は以下のとおりである．まず，１本のクモの糸（gossamer）を体長１～２mm 程度のクモから採取し，その太さ $D_2(=2r_2)$ と n_2 を文献[6]により予め決定する．次に，このクモの糸にイオンコーターにより Pt コーティングを施し，散乱光強度の角度分布を測定する. そして, 予め決定した r_2，n_2 を用いて，散乱断面積の計算値を測定したデータにフィッティングし, 円柱の外径 $D_1(=2r_1)$，$\tilde{n}_1$ を決定する．Fig.3 に実験に使用したサンプル（sample 1）の FESEM 写真を示す.

4．結果と考察

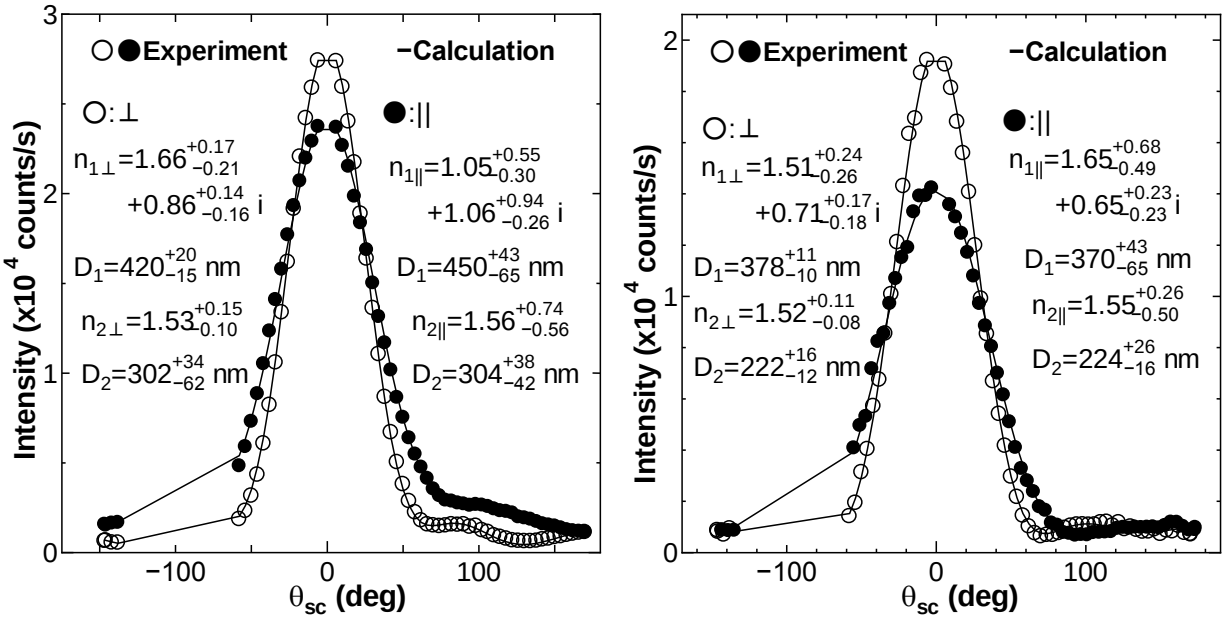
実験結果として，サンプル２本（sample 1, sample 2）の例を示す．その一例を Fig.4 及び 5 に示す. 図中の$\theta_i<0$ でデータが欠落している部分があるが，これは，サンプルホルダーの影になる範囲で，測定できないためである.

Fig.4 はコーティング前の測定結果であり，Fig.5 はコーティング後のそれである．Fig.4(a), Fig.5(a)は sample 1 であり，Fig.4(b)，Fig.5(b)は sample 2 である．図より，計算結果と実験結果がよく一致していることが分かる．特に，Fig.5(a)がかなり良好に実験と計算結果が一致している．これにより，各パラメータの最適値と不確かさの範囲がともに決定でき，理論の妥当性が検証された．なお，不確かさの範囲は文献[5]と同様の方法で求めた.

Fig.4(a), (b)のいずれについても一部の角度範囲（Fig.4(a)の$+100<\theta_{sc}<+140$ deg）を除いて散乱光強度は平行偏光時の方が垂直偏光時に比べて強い．これは，金属コーティングしない場合のクモの糸自体の従来の測定結果と同様である.

Fig.5 について(a)，(b)ともに散乱角 θ sc が 0 度周辺で垂直偏光時の散乱強度が平行偏光時よりも大きくなっており，コーティング前とは異なっている．これは，プラズモン効果によるものと考えられ，特に垂直偏光時の局在型のプラズモン効果によるものと考えられる．このような現象については，文献[7]の実験結果にみられる現象と対応させて考えることができる.

従来，Pt のプラズモン効果はかなり小さいと考えられてきた[4]が, 文献[4]で指摘されているように，我々の結果からも，必ずしもそうでないことが改めて示されたと考える.



(a) Sample 1　　(b) Sample 2

Fig.5 Angular distribution of the scattering intensity after coating.

Fig.5 において，Pt の複素屈折率の実部と虚部を比較すると，(a)では垂直偏光の場合，虚部は実部の 1/2 程度となっているが，平行偏光ではほぼ同じである．(b)についてはいずれの場合も虚部は実部の 1/2 程度となっている．この結果からは，前報の銀の場合に見られた，虚部が実部よりかなり大きくなる，という傾向はみられない．これより，Pt によるプラズモン効果はその複素屈折率の値だけでは判断が難しいと考えられる．

５．まとめ

太さ 200～300 nm 程度のクモの糸に Pt コーティングを施した太さ 370～430 nm 程度のファイバーにレーザー光を垂直に当ててできる散乱光の強度を測定し，同軸二重円柱問題の回折理論の解に基づく計算結果と対照した．その結果，測定値と理論に基づく計算値が良好に一致し，コーティング部分の複素屈折率，外径をそれらの不確かさの範囲と共に決定できることを明らかにした．また，ファイバーの Pt コート部の膜厚，屈折率が求められたので，プローブとして利用することにより，プラズモン効果を定量評価できる可能性を得た．

参考文献

[1] S. A. Maier and H. A. Atwater, J. Appl. Phys., **98**, 011101, 2005.

[2] 山田淳監修，プラズモンナノ材料の最新技術，シーエムシー出版，P. 305，2009．.

[3]K. Tsuboi, S. Abe, S. Fukuba, M. Shimojo, M. Tanaka, K. Furuya, K. Fujita, and K. Kajikawa, J. Chem. Phys., **125**, 174703, 2006.

[4]M. E. Abdelsalam, S. Mahajan, P. N. Bartlett, J. J. Baumberg, and A. E. Russell, J. Am. Chem. Soc. **129**, pp.7399-7406, 2007.

[5] F. Tajima, Y. Nishiyama, N. Hiroi, and Y. Hashimoto, J. Opt. Soc. Am. **A27**, 1, pp.1-5, 2010.

[6] F. Tajima and Y. Nishiyama, J. Opt. Soc. Am. **A22**, 6, pp.1127-1131, 2005.

[7] 山田淳監修，プラズモンナノ材料の設計と応用技術, シーエムシー出版, 第 11 章, pp.128-140, 2006.

連絡先：

但馬文昭（横浜国立大学教育人間科学部）

〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-2

Tel: 045-339-3448

E-mail: tajima@ynu.ac.jp

ラフ集合表データ解析ソフトgetRNIAについて

On a Rough Set-Based Software Tool getRNIA

[1] 酒井　浩　　[1] 伍 卯　　[1] 山口 直人　　[2] 中田 典規
[1]Hiroshi Sakai　　[1]Mao Wu　　[1]Naoto Yamaguchi　　[2]Michinori Nakata
[1] 九州工業大学 工学部
[1]Faculty of Engineering, Kyushu Institute of Technology
[2] 城西国際大学 経営情報学部
[2]Faculty of Management and Information Science, Josai International University

Abstract: Recently, we newly developed a software tool *getRNIA* by using rough sets and granular computing concepts. This *getRNIA* is powered by *NIS-Apriori* algorithm, which is an advanced algorithm from *Apriori* algorithm. This software is open on the web site. We can access this site, and we can use this system easily. This abstract briefly reports a rough set-based software tool *getRNIA*.

1　はじめに

Pawlak によって提案されたラフ集合は，さまざまな分野で重要な役割を果たしている． 我々の研究室でも，ラフ非決定情報解析（*RNIA*: Rough Non-deterministic Information Analysis) と名づけた枠組みを提案し，その応用を進めている [1]．ラフ非決定情報解析では通常の決定情報だけでなく，集合（意味的には要素の選言）やインターバルによって記述する非決定情報も処理する点で他の枠組みと大きく異なる．

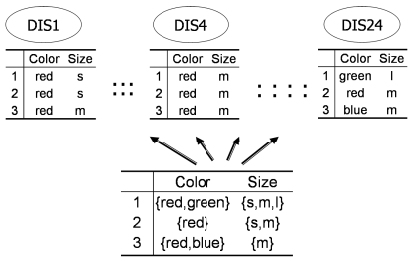


図 1: NIS Φ_1 と 24 個の可能な全 DIS.

決定情報システム (DIS) における代表的なルール生成は $support(\tau) \geq \alpha$ と $accuracy(\tau) \geq \beta$ を満たす含意式 τ をルール（正確にはルールの候補）とみなし，各 τ の取出しを行う．一方，非決定情報システム (NIS) においては可能な全 DIS に基づいてルールを次のように決める．

（確実ルール）可能な全 DIS で $support(\tau) \geq \alpha$ と $accuracy(\tau) \geq \beta$ を満たす含意式 τ.

（可能ルール）可能なある DIS で $support(\tau) \geq \alpha$ と $accuracy(\tau) \geq \beta$ を満たす含意式 τ.

例えば，図 1 の NIS Φ_1 において，24 個の全 DIS で条件を満たす τ は 24 個中に含まれる真の DIS においても条件をみたすことになる．また，少なくとも 1 つの DIS で成立すれば，真の DIS においても条件を満たす可能性がある． 2 つのルールは様相性を考慮しており定義自体はごく自然である．

しかし反面，実際の処理を考えると可能な全 DIS の個数が指数関数的に増加する問題に直面する．我々は，個別の DIS を列挙する手法ではなく，ラフ集合と粒状計算の手法を用いることにより指標値 $support$ と $accuracy$ の最小値，最大値を与える式を導き，計算量に関する指数オーダーの問題を解決した [1].

さらに，$RNIA$ におけるルール生成において，NIS アプリオリと名付けたアルゴリズムを提案し，Python と Google App Engine により処理プログラム $getRNIA$ を新たに実現した [2, 3, 4]．NIS アプリ

object	color	size	weight	price
1	red,blue,green	small	light,heavy	low
2	red	small,medium	light,heavy	high
3	red,blue	small,medium	light	high
4	red	medium	heavy	low,high
5	red	small,medium,large	heavy	high
6	blue,green	large	heavy	low,high

図 2: 欠損値を含むスーツケースのデータ，欠損値は起こり得る可能な値の集合に置き換えることで非決定情報システムとして処理する．

図 3: 含意式を Lower(確実ルール）, Upper（可能ルール）の指標付で表示する.

オリはトランザクションデータに対して提案されたアプリオリアルゴリズム を NIS に対応させたもので，閾値 α，β によって決まるルール集合の取出しにおいて健全かつ完全な手続きになっている．処理できるルールの性質から見て，NIS アプリオリはアプリオリを包含したアルゴリズムであるが，計算量はアプリオリとほぼ同等である.

2 $getRNIA$ ソフトウェア

$getRNIA$ のアドレスは http://getrnia.org であるが，キーワード : getrnia でサーチを行えば，容易に本サイトにアクセスできる．図 2 は，欠損値を含む表から得られた NIS である．図 3 では，この NIS において α=0.5，β=0.8 によって確実ルール，可能ルールが定義され，その条件を満たす 3 つのルールが表示されている.

3 おわりに

本アブストラクトでは，$getRNIA$ の概要について述べた．$RNIA$ の詳しい枠組みは [1, 2]，$getRNIA$ の状況は [3, 4] を参照願います.

参考文献

[1] Sakai, H., Okuma, H., Wu, M., Nakata, M.: Rough non-deterministic information analysis for uncertain information, The Handbook on Reasoning-Based Intelligent Systems, Chapter 4, pp. 81-118, World Scientific, 2013.

[2] Sakai, H.: RNIA software logs: http://www.mns.kyutech.ac.jp/∼sakai/RNIA

[3] Wu, M., Sakai, H.: getRNIA software, 2013. http://getrnia.org/

[4] Wu, M., Nakata, M., Sakai, H.: An overview of the getRNIA system for non-deterministic data, Proc. KES2013, Procedia Computer Science, 22, pp. 615–622, 2013.

連絡先
酒井　浩
九州工業大学大学院 工学研究院
sakai@mns.kyutech.ac.jp

ラフ集合およびデータベースを用いた大規模データからの縮約抽出の試み

An Attempt of Attribute Reduction from Large-Scale Data by Rough Set and Database

工藤 康生[1], 水野 洸希[1], 北口 樹[1], 村井 哲也[2]
Yasuo Kudo[1], Hiroki Mizuno[1], Tatsuki Kitaguchi[1], Tetsuya Murai[2]
[1] 室蘭工業大学
[1]Muroran Institute of Technology
[2] 北海道大学
[2]Hokkaido University

Abstract: Attribute reduction is a key technique for rough set-based data mining. However, attribute reduction from large-scale datasets is intractable from the viewpoint of computational costs and limitation of memory resource. Therefore, some heuristic approaches are used for attribute reduction from large-scale datasets. In this paper, to avoid the memory resource limitation of heuristic attribute reduction from large-scale datasets, we discuss an attempt of attribute reduction from large-scale data stored in a database.

1 はじめに

ラフ集合 [6] による縮約計算は，計算量の観点から大規模データへの使用が困難である．本稿では，ラフ集合と統計的手法を併用する著者らの手法 [5] を用いた，データベースに格納された大規模データに対する縮約計算方法について報告する．

2 ラフ集合

2.1 決定表と相対縮約

ラフ集合で扱うデータは，2 項組 $\mathbf{A} = (U, C \cup \{d\})$ として定義される決定表で表される．ここで，U は対象の空でない有限集合，C は条件属性の空でない有限集合であり，各条件属性 $c \in C$ は U から属性 c の値の集合 V_c への関数 $c : U \to V_c$ である．$d \notin C$ は決定属性 $d : U \to V_d$ である．分類可能なすべてのデータを正確に分類するために，最小限必要となる条件属性の集合を相対縮約と呼ぶ．一般的に相対縮約は複数個存在する．決定表 $\mathbf{A}$ のすべての相対縮約の集合を $RED(\mathbf{A}, d)$ と表す．

2.2 確率的選択を用いた縮約抽出手法

著者ら [4] は，確率的選択を用いることで大規模データから多数の相対縮約を抽出する手法を提案している．この手法では，条件属性の確率的選択に基づいて，大規模データにおける条件属性による対象の分類能力を保存しつつ，できるだけ条件属性の個数が少ない小規模決定表を生成することに基づく．決定表 $\mathbf{A}$ から生成された小規模決定表 $\mathbf{A}' = (U, C' \cup \{d\})$ $(C' \subseteq C)$ の相対縮約は，元の決定表の相対縮約となることが保証されているため [4]，小規模決定表を生成し，その相対縮約をすべて（すべて抽出することが困難な場合は少数個）抽出することを多数回繰り返すことにより，与えられた決定表の相対縮約を多数抽出することが可能となる．

2.3 Generalized dynamic reduct

Generalized dynamic reduct (GDR) [1, 2, 3] について概略を述べる．本節の内容は文献 [3, 5] に基づく．

決定表 $\mathbf{A} = (U, C \cup \{d\})$ に対して，対象の集合 U をその任意の部分集合 $U' \subseteq U$ に制限した決定表 $\mathbf{B} = (U', C \cup \{d\})$ を，$\mathbf{A}$ の部分表と呼ぶ．決定表 $\mathbf{A}$ のすべての部分表の集合を $\mathbf{P}(\mathbf{A})$ と表す．$\mathbf{A}$ の部分表の任意の集合 $\mathbf{F} \subseteq \mathbf{P}(\mathbf{A})$ に対して，$\mathbf{F}$ 中の $100 \times (1-\epsilon)\%$ 以上 $(\epsilon \geq 0)$ の部分表で相対縮約となる属性集合 $R \subseteq C$ を，$\mathbf{A}$ の $(\mathbf{F}, \epsilon)$-*generalized dynamic reduct* と呼び，次式で定義する:

$$GDR_\epsilon(\mathbf{A}, \mathbf{F}) \stackrel{\text{def}}{=} \left\{ R \subseteq C \mid \frac{|\{\mathrm{B} \in \mathrm{F} \mid R \in RED(\mathrm{B}, d)\}|}{|\mathrm{F}|} \geq 1 - \epsilon \right\}. \quad (1)$$

著者ら [5] は，2.2 節で述べた手法を用いて，対象の個数，条件属性の個数が共に大きい決定表から $(\mathbf{F}, \epsilon)$-GDR を求める手法を提案した．この手法は，1) GDR 候補抽出フェーズと 2) GDR 確認フェーズに分けられる．候補抽出フェーズでは，小規模決定表から得られた相対縮約は元の決定表の相対縮約でもあることを利用する．まず，GDR の候補抽出用となる部分表の集合 $\mathbf{E} \subseteq \mathbf{P}(\mathbf{A})$ を用意し，各部分表 $\mathbf{B} \in \mathbf{E}$ に対して小規模決定表 $\mathbf{B}'$ を生成し，$\mathbf{B}'$ から相対縮約を多数抽出することを繰り返す．これをすべての部分表 $\mathbf{B} \in \mathbf{E}$ に対して行い，得られた相対縮約を GDR の候補とする．確認フェーズでは，まず GDR の確認用となる部分表の集合 $\mathbf{F} \subseteq \mathbf{P}(\mathbf{A})$ を用意し，式 (1) における，GDR が相対縮約とならない確認用部分表の割合

を表すパラメータ ϵ を設定する．次に，GDR の各候補 $R \subseteq C$ に対して，$\mathbf{F}$ と ϵ の下で式 (1) の条件を満たすかを確かめ，条件を満たす候補 R を $(\mathbf{F}, \epsilon)$-GDR とする．その際，$\mathbf{F}$ の各部分表 $\mathbf{B} \in \mathbf{F}$ に対して，すべての相対縮約の集合 $RED(\mathbf{B}, d)$ を具体的に求める必要はなく，候補 R が相対縮約になる部分表 $\mathbf{B} \in \mathbf{F}$ の個数を求めれば十分である．

3 データベースからの縮約抽出の試み

本稿で報告するデータベースからの縮約抽出手法は，データベース内に格納された決定表に対して，2.3 節の手法により $(\mathbf{F}, \epsilon)$-GDR を抽出する．小規模決定表からの縮約抽出には識別行列 [7] による手法を用いる．識別行列は $|U| \times |U|$ 行列であり，対象の個数が多いとメモリ上での管理が困難となるため，識別行列もデータベースに格納する．

3.1 開発環境

システムの試作はデスクトップ PC (CPU: Intel Core i5 3.2Ghz, メモリ: 4.00GB, HDD: 150GB, OS: Windows 7 Professional) 上で，Microsoft Visual C++を用いて行った．試作したシステムでは，決定表を格納するデータベースの作成および管理に，オープンソースのオブジェクト関係データベース管理システムである PostgreSQL [1]を使用した．

3.2 データベース内の決定表からの縮約抽出

動作の検証として，UCI ML Repository [2]のデータセットである Zoo (対象 101 個，条件属性 17 個) から作成した決定表をデータベースに格納し，試作システムで縮約計算を行った．その結果，既知であるすべての相対縮約が抽出され，システムが正常に動作することが示唆された．同様に，Mushroom (対象 8124 個，条件属性 23 個) および Nursery (対象 12960 個，条件属性 9 個) に対して，試作システムによる縮約抽出を行った結果，どちらも問題なく相対縮約を抽出できることが確認された．

3.3 データベースに格納された決定表からの $(\mathbf{F}, \epsilon)$-GDR の抽出

Internet Advertisement データセット (対象 3000 個，条件属性 1000 個) から $(\mathbf{F}, \epsilon)$-GDR を抽出する実験を行った．実験では GDR 候補抽出用の部分表を 10 個生成し，各部分表から約 100 個の候補を抽出した．また，抽出した各候補が条件式 (1) を満たすか確認するための部分表を 300 個生成し，条件を満たす候補を $(\mathbf{F}, \epsilon)$-GDR とした．結果を表 1 に示す．表 1 の項目「抽出」は GDR 候補抽出用の各部分表における対象の個数を，「確認」は確認用部分表における対象の個数をそれぞれ表す．ϵ の値は 0.05 から 0.4 までの 5 通りとした．実験結果より，候補抽出に用いる部分表の対象数が多いほど，頑健な GDR が抽出されることが示唆された．

表 1: Experiment results of internet dataset

部分表		$(\mathbf{F}, \epsilon)$-GDR				
抽出	確認	$\epsilon = 0.4$	0.3	0.2	0.1	0.05
500	100	261	147	82	22	8
750	100	512	196	87	34	15
1000	100	677	378	104	53	41

4 おわりに

本稿では，データベースに格納したデータに対する縮約計算および $(\mathbf{F}, \epsilon)$-GDR の抽出を行うシステムの試作について報告した．今後の課題として，試作システムではデータベースへの問い合わせのため HDD へのアクセス回数が膨大となるため，計算時間の改善が必要である．

参考文献

[1] Bazan, J. G., Skowron, A., and Synak, P.: Dynamic Reducts as a Tool for Extracting Laws from Decisions Tables, *Methodologies for Intelligent Systems*, LNCS 869, Springer, pp.346–355, 1994.

[2] Bazan, J. G.: Dynamic Reducts and Statistical Inference, *Proc. of IPMU'96*, pp.1–5, 1996.

[3] Bazan, J. G.: A Comparison of Dynamic and non-Dynamic Rough Set Methods for Extracting Laws from Decision Tables, *Rough Sets in Knowledge Discovery*, Physica-Verlag, pp.321–365, 1998.

[4] Kudo, Y. and Murai, T.: An Attribute Reduction Algorithm by Switching Exhaustive and Heuristic Computation of Relative Reducts, *Proc. of IEEE GrC2010*, pp.265-270, 2010.

[5] Kudo, Y. and Murai, T.: An Attempt of Hybridization of Generalized Dynamic Reducts and A Heuristic Attribute Reduction Using Reduced Decision Tables, *Proc. of FUZZ-IEEE 2013*, pp.345–350, 2013.

[6] Pawlak, Z.: *Rough Sets: Theoretical Aspects of Reasoning about Data*, Kluwer, 1991.

[7] Skowron, A. and Rauszer, C. M.: The discernibility matrix and functions in information systems, *Intelligent Decision Support: Handbook of Application and Advance of the Rough Set Theory*, Słowiński, R. (ed.), Kluwer Academic Publishers, pp.331–362, 1992.

[1] http://www.postgresql.org/

[2] http://archive.ics.uci.edu/ml/

連絡先
工藤 康生
〒 050-8585 北海道室蘭市水元町 27-1
室蘭工業大学しくみ情報系領域
Tel: 0143–46–5469, Fax: 0143–46–5499
E-mail: kudo@csse.muroran-it.ac.jp

差分進化による大学時間割作成アルゴリズム
Timetable Generation Algorithm using Differential Evolution

○安高　真一郎，安達　康生
○Shinichiro Ataka, Yasuo Adachi
大阪国際大学
Osaka International University

Abstract: Timetabling problem is a kind of combinatorial optimizations. It is very difficult to solve this problem with the enormous total number of combination and the complexity of the limitation condition. In this study, we develop the timetabling algorithm using Differential Evolution (DE). This study is a new trial such as to apply the DE to timetabling problem. Because timetabling for all departments is so difficult, we will use the reduced model, and we propose one of generating method for initial population. In addition, we consider one of efficient method of confirmation for allocated classes redundantly.

１．はじめに

時間割作成問題は，組合せ最適化問題の一種である．しかしながら，組合せ総数の多さや制約条件の厳しさにより解決が困難な問題である．これまでにも時間割作成問題に関する多くの文献が発表されているが，実行可能解が得られたとしても，現場の環境によってその評価も様々である. 実際の現場では，時間割作成を担当する教職員がこれまでの経験や知識を基に，莫大な時間を使用しながら作成を行っており，著者らが勤務する大阪国際大学においても例外ではない.

そこで本研究では，大阪国際大学における時間割作成アルゴリズムの開発を目標とする．まず，本学での環境(教室のサイズや設備，コマ数等)を考慮した時間割作成問題を設計し，次に，近年進化型計算手法の一つとして注目されている差分進化を用いた解法を提案する.

２．本研究のねらい

本研究で主眼を置くのは，大阪国際大学の環境を考慮した時間割作成である．以下に，考慮すべき条件を記載する．その多くは，他大学においても共通する事象といえるが, キャンパスのサイズや学生数, 教室から教室への移動時間等は，対象とする大学によって異なってくる．また，これらの条件は，必ず守らなければならない制約(強い制約)と必ずしも守らなくてもよい制約(弱い制約)に分けられる.

強い制約

1. 授業は月曜から金曜まで，１日５コマである
2. 各講義は基本的に週に 1 回開講されている
3. 2 コマ連続して行う授業がある
4. 全ての講義が配置されなければならない
5. 同じ時限に同じ教員を配置してはならない
6. 同じ時限に同じ講義を配置してはならない
7. セミナー等，開講時限が決められている授業がある
8. 設備の問題(コンピュータ室かプロジェクタが使用できるかなど)
9. 会議日(水曜日は午後から会議日であるため，専任教員は午前中２コマのみ配置可能)
10. 学外研修日(各教員は，週に 1 日の学外研修日がある)
11. 受講者数と教室のサイズ(必修科目等は受講者が多いため，広い教室を割り当てる必要がある)
12. 必修科目等，卒業要件に係わる授業は，２～４限に配置する

弱い制約

1. 必修科目は，極力，同一時限に開講しない
2. 同一教員の授業は，可能な限り間をあけない(１限目の後が５限目など)
3. 同一非常勤教員の勤務日は，可能な限り同じ曜日にする

３．差分進化(DE: Differential Evolution)

差分進化(DE: Differential Evolution)は，Storn らによって提案された進化計算手法(EA: Evolutional Algorithm)の一つである [1][2]. 遺伝的アルゴリズム(GA: Genetic Algorithm)のように解集団による多点探索を行う手法で，解集団の各個体は実数で表現される．また，DE の特徴としては，アルゴリズムがシンプルな構造であること, 高速で頑健であること，パラメータ設定が容易であること等が挙げられる.

時間割作成問題において，EA 手法を用いた様々な文献が存在する[3][4][5]. 例えば，GA を適用した例もあるが，時間割を染色体で表現しようとした場合, 染色体長がかなり長くなってしまう. これでは，染色体中の組合せが莫大になり，交叉や突然変異を行っても解空間を十分に探索できず，良い解が効率よく得られなくなってしまう．また，探索の早熟収束や計算時間が長くなることも予想される.

そこで本研究では，時間割作成問題への適用例が少ない DE を採用することにした．以下に，DE の基本的な流れを示す.

ステップ 1:

N 個の個体からなる初期集団 $\{x_i, i = 1, 2, \ldots, N\}$

を生成する．

ステップ 2:

各個体を評価し，終了条件を満たしていれば探索を終了する．

ステップ 3:

集団より，親となる個体 x_i と，差分変異個体を生成するための 3 個体 x_j, x_k, x_l をそれぞれ重複しないように選択する．

ステップ 4:

以下の式に基づき，差分変異個体を生成する．ここで，x_j を基底ベクトル，$(x_k - x_l)$ を差分ベクトルと呼ぶ．

$$v_i = x_j + F(x_k - x_l) \quad (1)$$

ここで F は，v_i の生成に影響を与えるスケーリングパラメータであり，0.5~1 の間で乱数により発生させる．

ステップ 5:

親個体 x_i と差分変異個体 v_i を交叉させ，子個体 x_i' を生成する．交叉法には幾つかの手法があり，GA で用いるような一様交叉や二点交叉などを用いる．

ステップ 6:

親個体 x_i と子個体 x_i' を評価し，子個体 x_i' の方が優れていれば，子個体 x_i' を親個体 x_i と置き換え次世代集団として残す．上記したステップ 3〜5 は，集団内の全個体に対して行い，その後ステップ 2 へ戻る．

また，DE には様々な手法が存在しており，その違いを DE/best/1/bin や DE/rand/1/exp といった形で表記される．表記については，順に「DE であること/基底ベクトルの選び方/差分ベクトルの数/交叉方法」を表しており，一般的に DE/*base*/*num*/*cross* のルールで示す．例えば，*base* の部分が best であれば集団から最良個体を選択し，rand であればランダムに選択することを意味する．また，*cross* が bin であれば一様交叉(binomial crossover)を使用すること，exp の場合は，指数関数的に減少する確率で個体中の要素を交換する交叉(exponential crossover)であることを意味する．

４．縮小モデルの作成と個体表現

本研究の最終的な目的は，大阪国際大学 枚方キャンパスの時間割作成を支援するシステムの設計である．しかしながら，その実現には多大な時間を要するため，手始めに縮小モデルを作成し DE による計算実験を行った．以下は，縮小モデルにて考慮する事象や制約条件についてである．

1. 作成する時間割は，1 年次生のみを対象とする．
2. 月曜から金曜まで，1〜5 時限とする．
3. 全ての授業は，週 1 回の開講とする．
4. 全ての授業が，時間割上に配置される．
5. 同じ教員を同一時限に配置しない．
6. 同じ授業を同一時限に配置しない．
7. 同じ授業を同一時限に配置しない．
8. セミナーのように配置時限があらかじめ指定されている授業がある．
9. 必修科目同士を同一時限に配置しない．

まず，図 1 に，本研究で用いる個体のイメージを示す．個体の上に書かれた数字は，各曜日の 1〜5 限を表しており，個体内では曜日ごとの領域が存在する．つまり，このイメージでは，個体は 50 のマスから構成される．個体中の数字は授業の ID を表しており，0 は未配置を意味する．

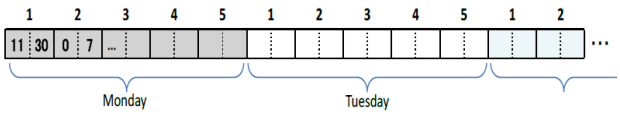


図 1　個体の構造

DE で計算する際は，制約が破られるごとにペナルティ値が加算されていくこととし，目的関数は，この総ペナルティ値の最小化とする．以下に，数学モデルとペナルティ値の算出に使用するウェイトマトリクス(授業 1〜3 まで)を示す．

$$f(x) = \sum_{k=1}^{l}\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} w_{kij}x_{kij} \quad (2)$$

$$x_{kij} = \{0,1\} \quad \forall k,i,j \quad (3)$$

$$w_{kij} \geq 0 \quad \forall k,i,j \quad (4)$$

表 1　ウェイトマトリクス(w_{kij})

k	Subject 1					Subject 2					Subject 3				
j \ i	Mon.	Tue.	Wed.	Thurs.	Fri.	Mon.	Tue.	Wed.	Thurs.	Fri.	Mon.	Tue.	Wed.	Thurs.	Fri.
1	91	43	53	57	73	73	55	24	75	4	1	52	36	44	35
2	54	97	88	4	65	65	76	69	61	35	27	18	43	24	37
3	86	79	98	72	55	15	24	82	47	54	68	56	68	84	87
4	38	2	11	28	95	7	12	21	20	6	55	7	17	92	30
5	72	18	86	62	58	98	39	83	41	45	49	6	71	5	34

ここで，i(=1, 2, ..., n)は曜日を意味し，j(=1, 2, ..., m)は時限を，k(=1, 2, ..., l)は授業 ID をそれぞれ表す．変数 x_i は授業が配置された場合に 1 を，そうでなければ 0 をとる．表 1 は，各授業のウェイト w_{kij} を示しており，この w_{kij} と x_i が掛け合されペナルティ値となる．DE で計算する際には，全ての強い制約が必ず満たされるよう，強い制約に関しては大きなウェイトが，弱い制約に関しては低めのウェイトが割り振られ，総ペナルティ値として加算されていく．

ただし，w_{kij} については，例えば「授業 1 は月曜 1 限目に配置すべきではない」や，「授業 1 と授業 2 が水曜 3 限目に同時開講されるべきではない」等，これまで時間割作成に関わって来た教職員の経験や知識によって決定せざるを得ない．

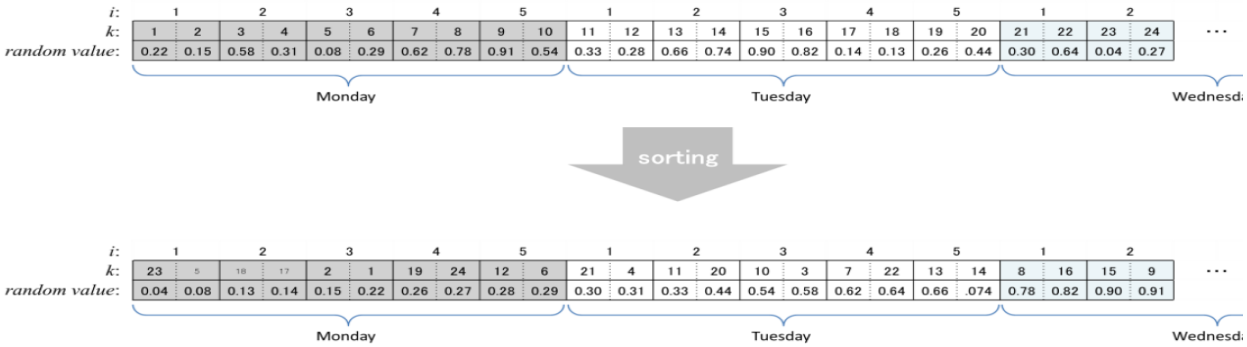


図 2　初期解の生成例

また，本研究では初期解生成法を提案する．図 2 は，初期解の生成処理を図示したものである．例として，曜日 *i*，時限数 *j* 授業数 *k* の最大数をそれぞれ 5，5，30 と設定した場合の処理を示す．まず，授業 ID (*k* =1, 2, ..., 30)を個体のマス目に先頭から順に並べる．一週間で配置できるマス目は 50 あることから，残りの 20 マスには 0 を全て配置する．次に，各授業に対応する乱数を 0-1 間で発生させ，昇順にソートすることで，全ての授業が配置された初期解が生成される．また，この乱数は DE での処理中に差分ベクトルを求める際にも使用される．

ただし，本研究のような初期解生成法，及びペナルティ値での解評価方法では，以下のような問題点が考えられる．

問題点:

1. 本研究で用いる時間割作成モデルでは，ウェイトの与え方で制約条件を満たすようにしており，2 章で述べたような強い制約が完全に守られる保証がない．
2. 1 に関して，DE で解を得る際に場合によっては，同一教員が配置されてしまう現象が発生しかねない．
3. これも，1 の付随になるが，必修科目が同一時限に配置された時間割が生成される可能性がある．
4. これまで，実験で用いるウェイトマトリクスは最初に設定すると不変(静的)であったが，授業の配置，つまり解の生成状況に応じて動的に変化するようにすべき．

そこで，上記した問題を解決するため，重複の確認処理をアルゴリズムに付加することとした．具体的には，必修科目のように重複を極力許さない授業に 1, そうでない授業に 0 の値をあらかじめ振っておき，論理積の応用で重複の確認を行う．下の図 3 は，そのイメージであり，ここでは，授業 1～3 が再履修または必修にあたる授業とする．個体の生成時において，各授業は月曜から金曜までの 25 時限の中に割り振られる．それに伴い，再履修授業と必修授業が同じ時限に配置されれば，論理積により 1 を得る仕組みである．

図 4 は，数値実験に用いる個体のイメージである．先の初期個体の生成例と同じく，個体の上の数字は時限を，個体内の数字は授業 ID をそれぞれ表す．例では，各時限には 2 科目まで配置していたが 3 科目を配置する．また，取り扱う授業数は 50 としている．

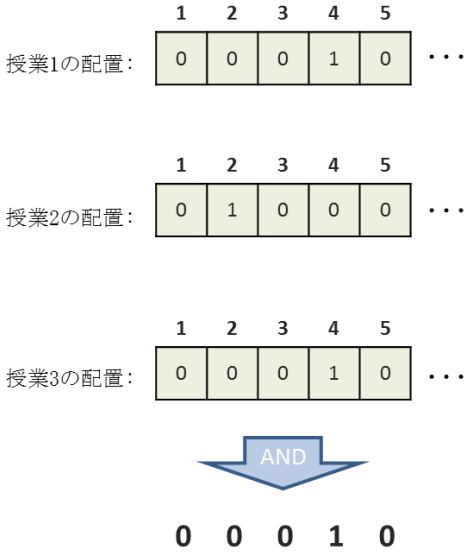


図 3　重複確認のイメージ

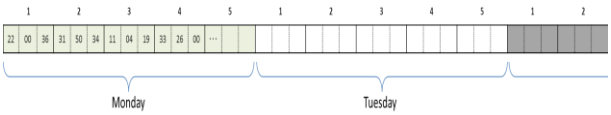


図 4　実験で用いる個体のイメージ

この処理にて，1 を得た場合，授業 ID と曜日，時限が確認され，後から配置された科目(下の例で言えば授業 3)のウェイトが大きな値へと変更する．これにより，計算中のペナルティ値も大きくなるため，劣解として淘汰されていく．また，この処理は，初期解生成時のみに行われるのではなく，評価処理に組み込まれ，次世代集団のように解が新たに生成される度に実行される．

さらに本手法は，1 年次開講科目と 2 年次開講科目の関係を考慮する上でも有効であると考えられる．例えば，本学では 1 年次開講の英語Ⅰ,Ⅱ，オーラルイングリッシュⅠ,Ⅱ，セミナーⅠa, Ⅰb 等のように，単位の取得が卒業要件として義務付けられている．そこで，2 年次生が再履修する必要がある科目(1 年次開講)と 2 年次生の必修科目を極力同一時限に配

置しない等，1 年次と 2 年次間での連動性を持たせる上でも効果的に応用できると考える．

５．数値実験

本研究で提案した時間割作成モデルが， DE で計算可能であるか実験を行う．実験には，以下の 6 種の DE を用い，それぞれに提案する初期解生成法が組み込まれている．

1. DE/best/1/exp
2. DE/rand/1/exp
3. DE/best/1/bin
4. DE/rand/1/bin
5. DE/best/2/bin
6. DE/rand/2/bin

また，全 DE のパラメータは，集団サイズ: 1000，最大世代数: 1000，交叉率: 0.5，スケーリングパラメータ F: 0.5 と設定している．

以下，表 2 に実験結果を示す．表中の項目は，初期集団数(NP)，最良解(Best)，解の平均値(AVG)，標準偏差(Div.)を示している．

まず，全ての DE において解を求めることが可能であった．標準偏差は，最良ではないが，DE6(DE/rand/2/bin)が最良解を得ている．また，図 5 は，初期状態と計算終了時における 1000 個体の分布を表す．この分布図では，DE2 や DE4 が比較的良い解を多く得ている．今後の改良によっては，より精度の高い手法として使用可能と考えられる．

表 2　実験結果

DE No.	NP	Best(Count)	Avg	Div
初期解	1000	926(1)	3145.60	5532.35
1	1000	563(1)	814.01	75.58
2	1000	397(1)	717.03	77.52
3	1000	370(1)	625.01	98.37
4	1000	348(1)	634.58	108.62
5	1000	380(1)	640.38	101.35
6	1000	307(1)	568.84	93.43

６．おわりに

本研究は，大阪国際大学における時間割作成アルゴリズムの開発を行うものである．しかしながら，考慮すべき事象や制約条件の多さや複雑さから多大な時間を要してしまう．そのため，縮小モデルを作成し，DE での効果的な解法を検討した．この論文では，本モデルに合わせた初期解生成手法の提案や，論理積を用いた授業の重複確認の検討も同時に行っている．数値実験においては，その手法を適用した 6 つの DE で解を求めることが可能であった．今後は，まず学科単位になると考えられるが，1 年生のみならず，4 年生までを視野に入れた時間割作成アルゴリズムの考察を行っていく予定である．同時に，アルゴリズムの複雑化，パラメータの増加を防ぐなども検討課題である．

参考文献

[1] R. Storn and K. Price, “Differential Evolution: A Simple and Efficient Adaptive Scheme for Global Optimization over Continuous Spaces”, *Technical Report TR-95-012, International Computer Science Institute, Berkeley*, 1995.

[2] R. Storn and K. Price, “Differential evolution–a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces”, *Journal of Global Optimization*, vol.11, no.4, pp.341-359, 1997.

[3] N. Pillay and W. Banzhafb, “An informed genetic algorithm for the examination timetabling problem”, *Applied Soft Computing*, vol.10, no.2, pp.457–467, 2010.

[4] L.T.G. Merlot, N. Boland , B. D. Hughes and P.J. Stuckey, “A Hybrid Algorithm for the Examination Timetabling Problem”, *PATAT 2002*: pp.207-231, 2002.

[5] L. D. Gaspero and A. Schaerf, “Tabu Search Techniques for Examination Timetabling”, *Lecture Notes in Computer Science*, vol.2079, pp.104-117, 2001.

連絡先

大阪国際大学　ビジネス学部　経済ファイナンス学科
安高　真一郎(s-ataka@oiu.ac.jp)

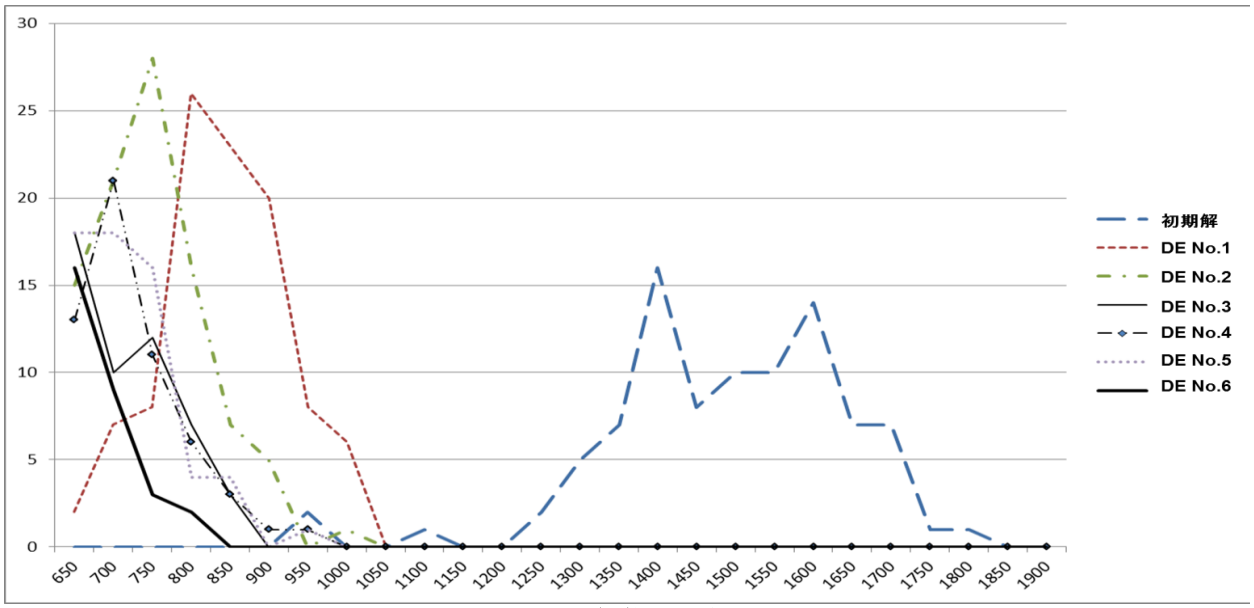


図 5. 個体の分布

Search Result Clustering Using Artificial Neural Network and K-Medoids Methods

Hung Hungming [1], Junzo Watada [2]
[1,2] Graduate School of Information, Production & Systems, Waseda University

Abstract

After obtaining search results from web search engine, classifying into clusters enable us to quick browse through the results. Currently, famous search engines such as Google, Bing and Baidu often return a long list of search results which can be more than a hundred million that are ranked by their relevancies to the given query. Web search engine users have to go through the list and examine the results to identify their required results. This is a huge time consuming task when the results come into so many results and multiple kinds of results are mixed together. Traditional clustering techniques are inadequate for readable descriptions. In this research, we build a local semantic thesaurus (LST) to mitigate nature language processing problem and recognize the words same meaning by put them together. In the algorithm parts, we analyze and gather different attributes of the search results so as to do the clustering based on artificial neural network, K-Medoids methods. The reason is that clustering methods do not require pre-defined categories as in classification methods. Experimental results verify our method's feasibility and effectiveness.

1 Introduction

Currently, although famous search engines such as *Google*[8], *Bing*[9] and *Baidu*[10] are widely used, there is still much room for improvement about their efficiency and convenience. As a research topic in recent years, search result clustering has been investigated in a number of previous works. Some of them (e.g. [1], [2]) apply traditional clustering algorithms so as to first cluster documents into topically-coherent groups according to content similarity, and generate descriptive summaries for clusters. However, these summaries are often unreadable and web search engine users feel difficult to identify relevant clusters.

With an enormous growth of the internet, finding relevant results has become a difficult task for users. In response to the users query, currently available search engines return a ranked list of documents along with their partial content. The users are forced to sift through a long list of off-topic documents. Moreover, internal relationships among the documents in the search result are rarely presented and are left for the user. One of the alternative approaches is to automatically group search results into thematic groups (clusters). Clustering of web search results was first introduced in the $Scatter-Gather$[5] system. Several algorithms followed; Suffix Tree Clustering, (STC), implemented in the $Groupersystem$[7] pioneered in using recurring phrases as the basis for deriving conclusions about similarity of the documents. $MSEEC$[4] and $SHOC$[3] also made explicit use of words proximity in the input documents. Apart from phrases, graph-partitioning methods have been used in $clusteringsearchresults$[6]. For web search engine, clustering method of search result provides us with the cluster form. This technology improves the efficiency of user's handling and understanding of search results.

Table 1: The utilization comparison

Type	Traditional Search Engine
Utilization	$3.3(e^{-8})$~$6.7(e^{-8})$
Type	Clustering Applied Search Engine
Utilization	$3.0(e^{-2})$~$6.0(e^{-2})$

Table I presents the scale comparison of the results. The left column presents the scale of the traditional results of the web search engine. And the right column presents the scale of the clustering applied results of the web search engine. The utilization of the right column is about 1,000,000 times of left column. As the comparison shows, massive results for traditional search engines are just useless decoration but after clustering methods applied, it begins to work.

Section 2 presents the definitions. Section 3 consists of the clustering process. Section 4 presents and discusses the experiments that our algorithms are implemented. Section 5 gives a conclusion of this paper.

2 Preliminaries

2.1 K-Medoids Neuron

The k-medoids algorithm is a clustering algorithm related to the k-means algorithm and the medoid-shift algorithm. Both the k-means and k-medoids

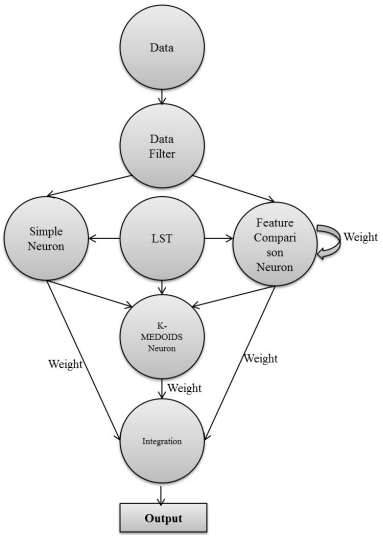


Figure 1: ANN Structure

algorithms are partitional (breaking the dataset up into groups) and both attempt to minimize the distance between points labeled to be in a cluster and a point designated as the center of that cluster. In contrast to the k-means algorithm, k-medoids chooses data points as centers (medoids or exemplars) and works with an arbitrary matrix of distances between data points. In our research, we use K-Medoids as a method for a single neuron. This K-Medioids neuron gathers results from simple neuron (see 3.1 Simple Neuron) and Feature Comparison neuron (see 3.2 Feature Comparison). Based on the processed results, K-Medioids neuron can cluster the scattered results by our improved K-Medoids method (see 3.3 K-Medoids Neuron).

2.2 Artificial Neural Networks Frame

In our research, we use the artificial neural networks as a frame to link different algorithms. Not only is the ANNF used as a frame but also used inside neurons. In feature comparison neuron, we use ANN (artificial neural networks) to update the threshold (see 2.4 Feature Comparison). For the whole system, as Figure 1 presents, the final result is integration of several neurons. Every neuron give a part of the final result and some of them are duplicated. The weights are decided by training and be used to integrate all the results together. The training begins with random weights, and the goal is to adjust them so that the error will be minimal. We set the condition as $\frac{TraningResult}{CorrectAnswer} \geq \omega$ for the loop, where ω is adjustable.

2.3 Data Filter

We designed a new data filter to do the filtration work. In the filtration work, we exclude the useless words (e.g. I, you, we, he, she, etc.) and punctuation so as to get our rough data set. Also, while scanning the data set, we calculate and count the information of data.

2.4 Feature Comparison

We define the words that appear together a certain times a phrase, and PF is short for phrase frequency. For a single result, a result's feature means the number of different meaning that a result have. We define a meaning by a word or a phrase (a combination of words). The words and phrase that can represent meanings are selected from the results. For a single word or phrase, we have:

$$FR = \frac{WF}{TNW} \times 100\% \quad (1)$$

If the FR for a word or phrase is over threshold, then we select it as a meaningful one. In order to get the value of threshold, we define TFR as short for threshold for frequency ratio. The purpose of this is to pursue feature analysis of results. For example, Table 2 presents the relationship between results and meaningful words/phrases. R is short for result and M is short for meaningful words/phrases.

Table 2: Feature Analysis Result

R1	M1, M3, M5, M7	R2	M1, M3
R3	M1.M3, M5, M7	R4	M2, M4, M6
R5	M4, M5, M6	R6	M5, M8

Obviously, R1 and R3 have the exactly same subset. In this analysis, they can be put into the same cluster. R2 belongs to the cluster of R1, R3 in this case and R4, R5, R6 are unique. The example above is just an easy one. In a real case, we have thousands of results which should be more complex. In that situation, we also put the exactly same results together as first step. In second step, we analyze the relevance among all the situations. In the first line second lattice, it means the ratio when M1 appears M2 also appears. The higher the value is the more relevant M1 and M2 are.

Table 3: Combination Probability Analysis Results

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
M1	1	0	3/3	0	2/3	0	2/3	0
M2		1	0/1	1/1	0/1	1/1	0	0
M3			1	0/3	2/3	0/3	2/3	0/3
M4				1	1/2	2/2	0	0
M5					1	1/4	2/4	1/4
M6						1	0	0
M7							1	0
M8								1

According to Table 3, suppose we have R7 M1 and R8 M3, the relevance between M1 and M3 is 100% so we can put R7 and R8 into same cluster. However, in a real case, we need to use threshold to make decision. We define TRR as Threshold for

relevance ratio. If the relevance between M1 and M2 is over TRR, then we define M1 and M2 are relevant. We use correctly clustered data set as a training set and artificial neural networks to update the threshold until the value of threshold is stable. Then we use this value as the threshold for making decisions.

2.5 Local Semantic Thesaurus

Currently, the scale of our LST is about ten t-housand words and our LST is designed based on Longman Dictionary of Contemporary English. The words in LST organized in the order of similar meaning while the general order in alphabet. Based on a co-process with Feature Comparison (see 2.4 Feature Comparison), literal results can be transformed into numerical data, as Table 4 shows. The number in Table 4 means the order for each result. The closer the numbers are, the closer the meaning of two results are.

Table 4: Numerical result transforming result

Result No.	PositionNumber 1	PositionNumber 2
Result 1	6	
Result 2	0	0
Result 3	33	36
...	...	...

3 The clustering process

3.1 Simple Neuron

The following part defines a simple neuron. We calculate the attributions for each single word and result. First, for words, we re-rank the words by their frequency. Words with higher frequency get a higher rank. Second, if two or more words have the same frequency, we rank them by the sequence that they appear in the original results. Third, we pursue the "Simple Neuron" process. Finally, we mark the results that are outside clusters as scattered results.

3.2 Feature Comparison Neuron

In this neuron, different from simple neuron, we cluster for all the results. First, we analyze the rough data set (processed by data filter, 2.3 Data Filter) to get the meaningful words/phrases (see 2.4 Feature Comparison). Second, we execute the relevance analysis among the meaningful words/phrases (see 2.4 Feature Comparison). Finally, we mark the results that are outside clusters as scattered results.

3.3 K-Medoids Neuron

Above all, during the process of simple neuron and feature comparison neuron, we have marked many results as scattered results. In this neuron, we only analyze the scattered results. In the first step, we process the results with feature comparison (see 2.4 Feature Comparison). And then we use LST (see 2.5 Local Semantic Thesaurus) to transform the literal results into numerical data. Based on these data, we can execute a 2-dimensional K-Medoids process. We assign two values as x and y for each result. These values come from LST process. For each single result, the number of value range from 0 to the maximum number of meaningful words/phrases.

4 Experiments

For experiments, in order to make the result fair and convincible, we fetch real time data using *Google*[8] as search engine by Dec 10, 2013. For program, we use Java as a programming language and the version of JRE and JDK are both 1.7.0_02. The search key word is "dog" and we select the top 500 results as data. Based on this data, we randomly pick 100 results and cluster them by human as a training set. As K-Medoids method clustered the scattered results, combined with the results of other neurons using artificial neural networks, we can get the final result. Our program gave 15 clusters for 500 results (including 100 results as training data). The ranking is based on the original ranking instead of the quantity of each cluster. For each cluster, our program automatically named it with a readable title and displayed its quantity. Table 6 presents the catalog of the results. Comparing to the original results of *Google*[8], our results improve the result efficiency significantly. Since it is very hard to define how to calculate the efficiency, as different users looking for different results, in our research, we make the definition of efficiency simple and representative. We present efficiency in percentage form where AR as the grave and $ROFP$ as molecules. We define AR as the quantity of All Results and ROEP as the quantity of Results of Each Page. In order to do the comparison between original result and our result, we modify the calculation of efficiency so as to make the two results comparable.

For original result (*Google*[8])

$$Efficiency = \frac{3 \times ROEP}{AR} \times 100\% \qquad (2)$$

which means users explore 3 pages for original results (10 results for each page)

For our result (Clustering methods applied)

$$Efficiency = \frac{2 \times ROEP}{AR} \times 100\% \qquad (3)$$

which means users explore 2 pages for our results (10 clusters for each page)

According to the definitions above, figure 2 presents the comparison between the efficiency of original results and our results. The source data of Figure 2 is based on a experiment of 10000 times

searching process. X-axis presents the quantity of results and y-axis presents the efficiency. Line A presents the original results and line B presents our results. As figure 2 shows, the efficiency of original results start from less than 1 percent and decrees as the quantity increases. On the contrary, our results perform much more better than original results from start to $4.00E+06$ and is still better after that point. Based on the comparison above, we can say that our method is effective.

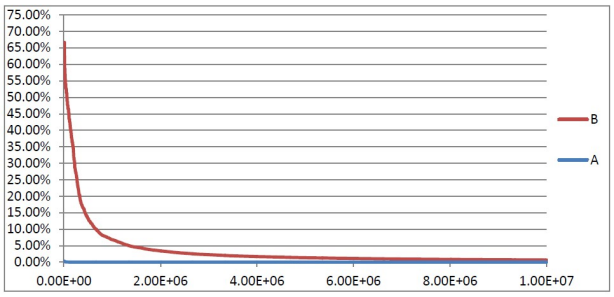


Figure 2: Result Using Efficiency Comparison

Table 5: List of Catalog

Catalog
Dog Definition (Wikipedia) 72
Dog News (BBC, Huffington Post...) 16
Dog Treatment, insurance and care () 24
...
Others () 108

Whenever the user clicks on the clusters, the program gives the content (results) for each cluster. Most of the results are correctly clustered according to their title. For example, in Table 6, the first cluster which is named Dog Definition(Wikipedia)72, the subset of the cluster is filled with the websites that are from Wikipedia. In the second cluster, news websites are correctly clustered in it. Generally, the websites with common meaning are easier for program (LST and algorithms) to understand.

5 Conclusions

In order to improve the user experience and the utilization of results, we presented a clustering method that can be applied to search engines. We analyze the features of the results and transform this information into numerical data. By using these data and LST (see 2.5 LST), a clustering mathematical model for K-Medoids analysis can be built. Several clustering methods can work on this model and artificial neural network was used to integrate results. Different algorithms were designed as single neuron and artificial neural network is used to connect all the neurons. The training set is randomly selected from the data set and used to update the weights between neurons. In experiment, we analyzed 500 results (100 of them are used as a training set) and generated 15 clusters with readable titles. Experimental results demonstrated that we can generate correct clusters with the model, thus could improve user experience and browsing efficiency through search result.

References

[1] Cutting D. R., Karger D. R., and Pederson J. O. Constant Interaction-Time Scatter/Gather Browsing of Very Large Document Collections. In Proceedings of the 16th Annual International ACM/SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval (SIGIR'93), pages 125-135, Pittsburgh, PA, 1993.

[2] Leouski A. V. and Croft W. B. An Evaluation of Techniques for Clustering Search Results. Technical Report, Department of Computer Science, University of Massachusetts, Amherst, 1996.

[3] Zhang Dong. Towards Web Information Clustering. PhD thesis, Southeast University, Nanjing, China, 2002.

[4] Peter Hannappel, Reinhold Klapsing, and Gustaf Neumann. MSEEC.a multi search engine with multiple clustering. In Proceedings of the 99 Information Resources Management Association Conference, May 1999.

[5] Marti A. Hearst and Jan O. Pedersen. Reexamining the cluster hypothesis: Scatter/gather on retrieval results. In Proceedings of SIGIR-96, 19th ACM International Conference on Research and Development in Information Retrieval, pages 76.84, Z'urich, CH, 1996.

[6] Irmina Mas lowska. Phrase-Based Hierarchical Clustering of Web Search Results. In Proceedings of the 25th European Conference on IR Research, ECIR 2003, volume 2633 of Lecture Notes in Computer Science, pages 555.562, Pisa, Italy, 2003. Springer.

[7] Oren Zamir and Oren Etzioni. Grouper: a dynamic clustering interface to Web search results. Computer Networks (Amsterdam, Netherlands: 1999), 31(11.16):1361.1374, 1999.

6 Contact Address

Waseda University
Hung Hungming
(Tel.:080-8391-8631,
E-mail:vince.hhm@akane.waseda.jp)
Watada Junzo
(Tel.:090-3464-4929,
E-mail:junzo.watada@gmail.com)

支配原理の下でのラフメンバシップ値による2種類の怠惰クラス分類法

Two Lazy Classifiers Using Rough Membership Values under Dominance Principle

乾口 雅弘　横田 直彦　鶴見 昌代
Masahiro Inuiguchi　Naohiko Yokota　Masayo Tsurumi
大阪大学 大学院 基礎工学研究科
Graduate School of Engineering Science, Osaka University

Abstract: In this paper, two lazy classification approaches are investigated based on the variable-precision dominance-based rough set model. In the first approach, a set of condition attributes with least inconsistency is selected, and a new object is classified based on the rough membership values. In the second approach, some rules are generated by the comparison between examples and a new object, and the new object is classified by a conflict resolution using rough membership values. The performances of the proposed approaches are compared with the conventional approach based on rule induction.

1　はじめに

属性値に序数性があり，条件属性値と決定属性値の間に単調性が存在する決定表に対して，ルール抽出を伴うクラス推定法が提案されている．しかし，未分類対象の数が少ない場合や動的に決定表が変化する環境においては，ルール抽出に多くの計算コストをかけることは適切とは言い切れない．本研究では，支配原理の下でのラフメンバシップ値に基づく2種類の事例ベース推論法を提案し，それらの有用性について検討する．

2　支配関係に基づくラフメンバシップ値

決定表 T は対象の集合 U と条件属性集合 C および決定属性 d により，$(U, C\cup\{d\})$ と与えられる．本研究では，各属性 $a\in C\cup\{d\}$ は全順序関係 $\succeq_a$ を持つ序数属性であるとする．対象 u に対する属性 a の値を $a(u)$ と表し，$V_a=\{a(u): u\in U\}$, $Cl_t^{\geq}=\{u\in U: d(u)\succeq_d t\}$, $Cl_t^{\leq}=\{u\in U: d(u)\preceq_d t\}$ と定める．また，$P\subseteq C$ に対して $D_P=\{(u_1,u_2)\in U\times U: a(u_1)\succeq_a a(u_2),\ \forall a\in P\}$, $D_P^+(u)=\{u'\in U: (u',u)\in D_P\}$, $D_P^-(u)=\{u'\in U:(u,u')\in D_P\}$ とする．$P\subseteq C$ のもとで，u が $Cl_t^{\geq}$ に帰属する度合いは，

$$\mu_P(u,Cl_t^{\geq})=\frac{|D_P^-(u)\cap Cl_t^{\geq}|}{|D_P^-(u)\cap Cl_t^{\geq}|+|D_P^+(u)\cap Cl_{t-1}^{\leq}|} \tag{1}$$

と定められる．ただし，$|X|$ は集合 X の基数である．$Cl_t^{\leq}$ の場合も同様に定められ，$\mu_P(u,Cl_t^{\geq})$, $\mu_P(u,Cl_t^{\leq})$ は，属性集合 $P\subseteq C$ に関する対象 u の上下和集合 $Cl_t^{\geq}$, $Cl_t^{\leq}$ に対するラフメンバシップ値と呼ばれる．

3　未知対象のクラス推定法

決定表 $(U, C\cup\{d\})$ の下で，$\beta\in(0.5,1]$ と $P\subseteq C$ が与えられたとき，未分類対象 $\bar{u}$ のクラス上限値 $\overline{t}^{\beta}$ とクラス下限値 $\underline{t}^{\beta}$ は，次式で定められる．

$$\underline{t}^{\beta}=\max\{t\in V_d:\mu_P(\bar{u},Cl_t^{\geq})\geq\beta\} \tag{2}$$

$$\overline{t}^{\beta}=\min\{t\in V_d:\mu_P(\bar{u},Cl_t^{\leq})\geq\beta\} \tag{3}$$

このとき，$\bar{u}$ の決定属性値 $d(\bar{u})$ は，精度 β で

$$d(\bar{u})\in\{t\in V_d:\underline{t}^{\beta}\preceq_d t\preceq_d\overline{t}^{\beta}\} \tag{4}$$

と推定できる．$\underline{t}^{\beta}<\overline{t}^{\beta}$ のとき，$d(\bar{u})$ が一意に定まらない．そこで，ラフメンバシップ値を用いた2種類のアプローチを提案する．

3.1　属性集合の選択による怠惰クラス推定

必ずしもすべての条件属性が決定属性値を定めているとは限らない．決定への関連性が高いと推定される属性集合 $P\subseteq C$ を選び，$d(\bar{u})$ を推定する方法を提案する．条件属性値が大きいほど決定属性値も大きいという支配原理の下では，属性集合 $P\subseteq C$ の矛盾度は，

$$\gamma(P)=\frac{|\{(u,u')\in D_P: d(u)\prec_d d(u')\}|+1}{|\{(u,u')\in D_P\}|+1} \tag{5}$$

と定義できる．U のすべての部分集合 P について，矛盾度を求めることは効率的ではない．そこで，$C_{\bar{u}}^{\geq}(u)=\{a\in C: a(\bar{u})\succeq_a a(u)\}$，属性集合を $C_{\bar{u}}^{\leq}(u)=\{a\in C: a(\bar{u})\preceq_a a(u)\}$ と定め、

$$\Omega_C(\bar{u})=\bigcup_{u\in U}\{C_{\bar{u}}^{\geq}(u),C_{\bar{u}}^{\leq}(u)\} \tag{6}$$

に帰属するものに限定し，この中で矛盾度が最小となる $P\subseteq C$ を選ぶことにする．選ばれた $P\subseteq C$ を式(4)に代入し，$d(\bar{u})$ を推定する方法を提案する(提案法1)．

3.2　既知対象をルールと見做した怠惰クラス推定

未分類対象 $\bar{u}\in\bar{U}$ の決定属性値の下限値推定に既知対象 $u\in U$ から導かれる極小ルールが有効に働くなら，

ルール

$$r^{\geq}_{\bar{u}}(u):\ \text{if} \bigwedge_{a\in C^{\geq}_{\bar{u}}(u)} (a(u') \succeq_a a(u)) \text{ then } d(u') \succeq_d d(u) \quad (7)$$

も有効に働く．式 (7) のルールの確かさを考えると，u の $Cl^{\geq}_{d(u)}$ へのラフメンバシップ値 $\mu_{C^{\geq}_{\bar{u}}(u)}(u, Cl^{\geq}_{d(u)})$ で与えられる．上限値推定に関しても同様に確かさ $\mu_{C^{\leq}_{\bar{u}}(u)}(u, Cl^{\leq}_{d(u)})$ をもつルール $r^{\leq}_{\bar{u}}$ が考えられる．

$u \in U$ より種々のルールが得られるので，$t \in V_d$ の値

$$\begin{aligned} &Score(\bar{u}, Cl_t) \\ &= \sum_{u\in Cl^{\geq}_t} \nu(r^{\geq}_{\bar{u}}(u)) \cdot \iota(r^{\geq}_{\bar{u}}(u)) \cdot \mu_{C^{\geq}_{\bar{u}}(u)}(u, Cl^{\geq}_{d(u)}) \\ &+ \sum_{u\in Cl^{\leq}_t} \nu(r^{\geq}_{\bar{u}}(u)) \cdot \iota(r^{\leq}_{\bar{u}}(u)) \cdot \mu_{C^{\leq}_{\bar{u}}(u)}(u, Cl^{\leq}_{d(u)}) \end{aligned} \quad (8)$$

を求め，これが最も高い t で $\bar{u}$ のクラス推定することが考えられる (提案法 2)．ただし，$\nu(r)$ はルール r の条件と結論を満たす U の対象数，$\iota(r)$ は条件長である．

4 数値実験

二つの提案法を，ルール抽出法 VC-DomLEM[2] を通したクラス推定と数値実験で比較した．属性値数 6 の条件属性を 6 個，決定クラス数を 6 とした 1000 個の対象からなるデータセットを人工的に 5 セット (data1 〜data5) を準備した．これらのデータセットは，決定クラスの分布が異なるように設定している．また，無関係な条件属性を含む場合も考察するため，各データセットに決定属性値と無関係な 4 属性を追加したデータセット (data1_ex〜data5_ex) も用意した．決定属性値と無関係な属性の値は一様乱数を用いて，1〜6 の六つ値をランダムに取らせた．提案法 1，2 においては，計算時間を考慮して U 内のすべての対象を用いず未分類対象 $\bar{u}$ の近傍にある $\sqrt{|U|}$ 個 (30 個) の既知対象のみを用いてクラス推定を行った．10 分割交差検証法により各手法の正答率と計算時間を評価した．計算時間は，100 個の検証用データを 900 個の学習用データを用いてクラス推定するのに要する時間とした．

各データセットにおける正答率の平均と標準偏差を表 1 に，計算時間の平均と標準偏差を表 2 に示す．VC-DomLEM と差がないことを帰無仮説として両側 t 検定を行い，正答率に関しては，有意水準 5%の有意差があったものは，優位な場合は “$*$” を，劣位な場合は “$-$” を平均値に示している．計算時間については，すべてで両提案法が優位であったので，記号を省略している．

表 1: 推定精度の比較

	提案法 1	提案法 2	VC-D_LEM
data1	$90.1^{-}\pm3.6$	$92.8\ \pm2.5$	92.3 ± 2.3
data2	$88.4^{-}\pm2.7$	$91.5\ \pm2.8$	92.1 ± 3.2
data3	$89.6^{-}\pm3.7$	$91.9\ \pm3.5$	91.7 ± 3.1
data4	$90.6^{-}\pm2.6$	$91.7\ \pm2.4$	91.3 ± 2.4
data5	$89.6\ \pm2.8$	$90.3^{*}\pm3.2$	89.4 ± 2.9
data1_ex	$70.2^{-}\pm4.3$	$76.5^{-}\pm4.9$	84.1 ± 4.3
data2_ex	$66.1^{-}\pm4.7$	$73.8^{-}\pm4.5$	81.9 ± 3.4
data3_ex	$68.2^{-}\pm5.3$	$74.1^{-}\pm4.7$	80.8 ± 4.2
data4_ex	$70.2^{-}\pm4.6$	$76.2^{-}\pm3.6$	80.8 ± 3.5
data5_ex	$69.1^{-}\pm4.7$	$73.4^{-}\pm4.1$	74.7 ± 4.0

表 2: 計算時間の比較

	提案法 1	提案法 2	VC-D_LEM
data1	0.051 ± 0.009	0.042 ± 0.007	1.442 ± 0.030
data2	0.056 ± 0.029	0.032 ± 0.003	1.381 ± 0.036
data3	0.058 ± 0.011	0.027 ± 0.004	1.533 ± 0.040
data3	0.058 ± 0.011	0.027 ± 0.004	1.533 ± 0.040
data5	0.061 ± 0.022	0.023 ± 0.003	1.668 ± 0.074
data1_ex	0.273 ± 0.032	0.202 ± 0.009	2.272 ± 0.101
data2_ex	0.275 ± 0.014	0.232 ± 0.007	2.029 ± 0.109
data3_ex	0.248 ± 0.015	0.186 ± 0.008	1.976 ± 0.061
data4_ex	0.218 ± 0.014	0.166 ± 0.009	2.157 ± 0.072
data5_ex	0.232 ± 0.015	0.156 ± 0.008	2.491 ± 0.111

表 2 より，このサイズの推定においては，提案法 1，2 は VC-DomLEM よりも優位に効率的であることが分かる．表 1 より，提案法 1 の精度は芳しくないが，提案法 2 は無関係な条件属性がない場合に VC-DomLEM に劣らない精度の推定が可能であることが分かる．提案法 1，2 の正答率は未分類対象の決定属性値の推定に用いる対象数を増やすことにより改善できると考えられ，この考察が今後の課題となる．

参考文献

[1] M. Inuiguchi, M. Tsurumi, “Lazy classification using dominance-based rough membership values,” *Proceedings, 2011 IEEE International Conference on Granular Computing, GrC 2011*, (2011) 300–305

[2] J. Blaszczynski, R. Slowinski, M. Szelag, “Sequential Covering Rule Induction Algorithm for Variable Consistency Rough Set Approaches,” *Information Sciences*, 181 (2010) 987–1002

連絡先：大阪大学大学院基礎工学研究科

乾口雅弘　　Tel/Fax: 06-6850-6350

E-mail: inuiguti@sys.es.osaka-u.ac.jp

集合関数による FCR 法
– 新しい分析アルゴリズムと解釈 –

The FCR-method by Set Function Representations

◯ 高萩　栄一郎
Eiichiro Takahagi
専修大学商学部
School of Commerce, Senshu University

小田　哲久
Tetsuhisa Oda
愛知工業大学経営学部
Faculty of Business Administration, Aichi Institute of Technology

Abstract: The Fuzzy-Set Concurrent Rating Method (FCR method) was introduced to measure subjects' attitudes more naturally than the traditional rating methods. Using set function representations, this paper presents the fundamental idea to obtain integrated values and expression degrees of one's opinion by FCR scores. The set functions consist of 'positive,' 'negative', 'both positive and negative', and the rest (ER). The integrated values of the FCR-method are the Shapley values of the set function.

Keywords: set function, Choquet integral, FCR-method, fuzzy measure, Shapley value

1　はじめに

データを集合関数表示して分析 [5][6] を行うと，いままでの分析で見えてこなかったことが見えてくる可能性がある．本稿では，FCR 法 [2] に適用してみる．FCR 法への適用は，[6] で試みられているが，詳細が検討されていない．本稿では，[6] の考え方を整理し，分析例を載せ，考察する．

FCR 法の肯定的回答と否定的回答を，肯定の程度，否定の程度，どちらともいえる程度とどちらともいえない程度に再編する．最初の 3 つの程度を集合関数で表現する．この集合関数をメビウス反転値 [3] とし，元の集合関数を求め，その Shapley 値 [1] を統合値とする．どちらともいえない程度をどう扱うのかによって，2 つの統合値を定義する．また，意見表明度を定義する．最後に,「高級ブランドの購買態度に関する調査」を例に，この手法を使った分析例を示す．

2　集合関数による FCR 法

2.1　回答の集合関数への分解

全体集合を $Y=\{p,n\}$ または，$Y^\sharp=\{p,n,u\}$ とする．p は，肯定的回答で，n は，否定的回答とする．u は，unknown の u で,「わからない」,「どちらともいえない」などの回答できない程度と考える．

Y と $Y^\sharp$ の違いは，Y では，統合値などで，肯定的回答と否定的回答だけを扱うのに対して，$Y^\sharp$ では，統合値などで,「わからない」を含めて扱う．

この手法でのアンケートでは，通常の FCR 法と同様のアンケート方法で調査する．$x_p\in[0,1]$ を肯定的な回答値，$x_n\in[0,1]$ を否定的な回答値とする．この回答値は，$x_p+x_n=1$ となる必要ない．

集合関数 E とどちらともいえない程度 ER を

$$E(\{p\})=\begin{cases}x_p-x_n & \text{if } x_p\geq x_n\\ 0 & \text{otherwise}\end{cases} \tag{1}$$

$$E(\{n\})=\begin{cases}0 & \text{if } x_p\geq x_n\\ x_n-x_p & \text{otherwise}\end{cases} \tag{2}$$

$$E(\{p,n\})=\min(x_p,x_n) \tag{3}$$

$$ER=1-\max(x_p,x_n) \tag{4}$$

で定義する．$E(\{p\})$ を肯定 (だけ) の程度，$E(\{n\})$ を否定 (だけ) の程度，$E(\{y,n\})$ を肯定，否定ともにいえる程度，ER をどちらともいえない程度と解釈する方法である．明らかに，次式が成立する．

$$E(\{y\})+E(\{n\})+E(\{y,n\})+ER=1 \tag{5}$$

2.2　統合値

2.2.1　E の場合

統合値は，E をメビウス反転値として，元の集合関数 Q_E を求め，その Shapley 値とする．E の場合，

$$Q_E(\{p\})=E(\{p\}),Q_E(\{n\})=E(\{n\}) \tag{6}$$

$$\begin{aligned}Q_E(\{p,n\})&=E(\{p\})+E(\{n\})+E(\{p,n\})\\&=\max(x_p,x_n)\end{aligned} \tag{7}$$

となる．Q_E の要素 i の Shapley 値を $\phi_i(Q_E)$ とし，

$$\begin{aligned}\phi_p(Q_E)&=\frac{1}{2}Q_E(\{p\})+\frac{1}{2}[(Q_E(\{p,n\})-Q_E(\{n\})]\\&=\begin{cases}x_p-\frac{1}{2}x_n \text{ if } x_p\geq x_n\\ \frac{1}{2}x_p \qquad \text{otherwise}\end{cases}\end{aligned} \tag{8}$$

$$\phi_n(Q_E) = \frac{1}{2}Q_E(\{n\}) + \frac{1}{2}[(Q_E(\{p,n\}) - Q_E(\{p\}))] = \begin{cases} \frac{1}{2}x_n & \text{if } x_p \geq x_n \\ x_n - \frac{1}{2}x_p & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

となる．統合値を $I_p = \phi_p(Q_E)$, $I_n = \phi_n(Q_E)$, する．この場合，$\phi_p(Q_E) + \phi_n(Q_E) = Q_E(Y) = Q_E(\{p,n\}) = \max(x_p, x_n)$ となり，一般に 1 とはならない．Shapley 値の全体合理性により，Shapley 値の和を 1 にするには $Q_E(Y) = 1$ としなくてはならない．

そこで，$E^*(\{p,n\}) = E(\{p,n\}) + ER$, $E^*(\{p\}) = E(\{p\})$, $E^*(\{n\}) = E(\{n\})$ とすると，$E^*(\{p,n\}) + E^*(\{p\}) + E^*(\{n\}) = E(\{p,n\}) + ER + E(\{p\}) + E(\{n\}) = 1$ となる．E^* をメビウス反転値の集合関数とし，元の集合関数 Q_E^* を求めると，

$$Q_{E^*}(\{p\}) = E^*(\{p\}) = E(\{p\}) \quad (10)$$

$$Q_{E^*}(\{n\}) = E^*(\{n\}) = E(\{n\}) \quad (11)$$

$$Q_{E^*}(\{p,n\}) = E^*(\{p\}) + E^*(\{n\}) + E^*(\{p,n\}) = 1 \quad (12)$$

となる．これは，回答は，本来肯定否定のどちらかで，ER の部分も $\{p,n\}$ に含めるという考え方である．Q_{E^*} の Shapley 値を求め，統合値とする．すなわち，$I_p^* = \phi_p(Q_{E^*})$, $I_n^* = \phi_n(Q_{E^*})$ として

$$I_p^* = \frac{1}{2}[Q_{E^*}(\{p\}) + Q_{E^*}(\{p,n\}) - Q_{E^*}(\{n\})] = \frac{1}{2}[E(\{p\}) + 1 - E(\{n\})] = \frac{1}{2}[x_p + (1 - x_n)] \quad (13)$$

$$I_n^* = \frac{1}{2}[Q_{E^*}(\{n\}) + Q_{E^*}(\{p,n\}) - Q_{E^*}(\{p\})] = \frac{1}{2}[E(\{n\}) + 1 - E(\{p\})] = \frac{1}{2}[x_n + (1 - x_p)] \quad (14)$$

となり，逆転項目平均法 [4] に一致する．これは，逆転項目平均法の意味づけにもなる．

2.2.2 $E^\sharp$ の場合

全体集合を $Y^\sharp = \{p,n,u\}$ とする．これは，回答は，肯定，否定，「わからない」の 3 種あるとし，FCR 法の回答をこの 3 種に分けて分析をする．$E^\sharp$ を，

$$E^\sharp(\{p\}) = E(\{p\}), E^\sharp(\{n\}) = E(\{n\}), \quad (15)$$

$$E^\sharp(\{p,n\}) = E(\{p,n\}), E^\sharp(\{u\}) = ER, \quad (16)$$

$$E^\sharp(\{p,u\}) = E^\sharp(\{n,u\}) = E^\sharp(\{p,n,u\}) = 0 \quad (17)$$

とし，2.2.1 節と同様，統合値は $E^\sharp$ をメビウス反転値として元の集合関数 $Q_E^\sharp$ を求め，その Shapley 値とする．

$$Q_{E^\sharp}(\{p\}) = E^\sharp(\{p\}), Q_{E^\sharp}(\{n\}) = E^\sharp(\{n\}) \quad (18)$$

$$Q_{E^\sharp}(\{u\}) = E^\sharp(\{u\}) = ER \quad (19)$$

$$Q_{E^\sharp}(\{p,n\}) = E^\sharp(\{p\}) + E^\sharp(\{n\}) + E^\sharp(\{p,n\}) \quad (20)$$

$$Q_{E^\sharp}(\{p,u\}) = E^\sharp(\{p\}) + E^\sharp(\{u\}) \quad (21)$$

$$Q_{E^\sharp}(\{n,u\}) = E^\sharp(\{n\}) + E^\sharp(\{u\}) \quad (22)$$

$$Q_{E^\sharp}(\{p,n,u\}) = 1 \quad (23)$$

となり，その Shapley 値を統合値とすると，

$$I_p^\sharp = \phi_p(Q_{E^\sharp}) = E^\sharp(\{p\}) + \frac{1}{2}E^\sharp(\{p,n\}) = \begin{cases} x_p - \frac{1}{2}x_n & \text{if } x_p \geq x_n \\ \frac{1}{2}x_p & \text{otherwise} \end{cases} \quad (24)$$

$$I_n^\sharp = \phi_n(Q_{E^\sharp}) = E^\sharp(\{n\}) + \frac{1}{2}E^\sharp(\{p,n\}) = \begin{cases} \frac{1}{2}x_n & \text{if } x_p \geq x_n \\ x_n - \frac{1}{2}x_p & \text{otherwise} \end{cases} \quad (25)$$

$$I_u^\sharp = \phi_u(Q_{E^\sharp}) = E^\sharp(\{u\}) = 1 - \max(x_p, x_n) \quad (26)$$

となる．$I_p^\sharp$ は肯定，$I_n^\sharp$ は否定，$I_u^\sharp$ は「わからない」の度合いを示すものとする．この値は，$I_p^\sharp = I_p$, $I_n^\sharp = I_n$, $I_u^\sharp = I_u$ となる．

2.3 意見表明度

$x_p = 1, x_n = 0$ のとき，または，$x_p = 0, x_n = 1$ のとき，回答者はもっとも強く自分の意見を表明したことになる．逆に，$x_p = x_n$ のとき，どちらを支持するのかを表明していない．前者の場合 1，後者の場合 0 となる指標，Op を次式で定義する．

$$Op = \max(x_p, x_n) - \min(x_p, x_n) \quad (27)$$

この値は，各回答で $E(\{p\})$ または $E(\{n\})$ が正になるのは高々1 個で，その値が Op になる．

この意見表明度は，どの設問が関心を持たれているのかを測ることが可能である．また，各回答者の意見表明度の和を一定にするような調整を行い，各回答者の全体に占める意見の和を一定にすることも可能である．

3 数値例，図解と性質

ある設問の回答が $x_p = 0.9, x_n = 0.4$ だとする．このときの E は，式 (1)〜(4) より，

$$E(\{p\}) = 0.5, E(\{n\}) = 0, E(\{p,n\}) = 0.4, ER = 0.1$$

となり，式 (5) より和は 1 である．この E をメビウス反転値とみ，元の集合関数を求めると，式 (6),(7) より，

$$Q_E(\{p\}) = 0.5, Q_E(\{n\}) = 0, Q_E(\{p,n\}) = 0.9$$

となる．この Q_E の Shapley 値を求めると，式 (8) と (9) より，$\phi_p(Q_E)=0.7$, $\phi_n(Q_E)=0.2$ となる．次に，ER の値も全体集合の集合関数の値に含めた Q_E^* を求めると，式 (10)∼(12) より，$Q_{E^*}(\{p\})=0.5, Q_{E^*}(\{n\})=0$, $Q_{E^*}(\{p,n\})=1$ となり，この Shapley 値を統合値とすると，式 (13) と (14) より，

$$I_p^*=\phi_p(Q_{E^*})=0.75, I_n^*=\phi_n(Q_{E^*})=0.25$$

となる．次に全体集合に u を含めて分析すると，このときの $E^\sharp$ は，式 (15)∼(17) より，

$$E^\sharp(\{p\})=0.5, E^\sharp(\{u\})=0.1, E^\sharp(\{p,n\})=0.4,$$
$$E^\sharp(\{n\})=E^\sharp(\{p,u\})=E^\sharp(\{n,u\})=E^\sharp(\{p,n,u\})=0$$

となる．$Q_{E^\sharp}$ を求めると，式 (18)∼(23) より，

$$Q_{E^\sharp}(\{p\})=0.5, Q_{E^\sharp}(\{n\})=0, Q_{E^\sharp}(\{u\})=0.1,$$
$$Q_{E^\sharp}(\{p,n\})=0.4, Q_{E^\sharp}(\{p,u\})=0.6,$$
$$Q_{E^\sharp}(\{n,u\})=0.1, Q_{E^\sharp}(\{p,n,u\})=1$$

となる．この $Q_{E^\sharp}$ の Shapley 値を「わからない」を含む統合値とすると，式 (24)∼(26) より，$I_p^\sharp=0.7$, $I_n^\sharp=0.2$, $I_u^\sharp=0.1$ となる．意見表明度は，式 (27) より $Op=0.5$ となる．

表 1: $0, 0.5, 1$ のときの各指標

x_p	x_n	I_p^*	I_n^*	$I_p^\sharp$	$I_n^\sharp$	$I_u^\sharp$	Qp
0	0	0.5	0.5	0	0	1	0
0	0.5	0.25	0.75	0	0.5	0.5	0.5
0	1	0	1	0	1	0	1
0.5	0	0.75	0.25	0.5	0	0.5	0.5
0.5	0.5	0.5	0.5	0.25	0.25	0.5	0
0.5	1	0.25	0.75	0.25	0.75	0	0.5
1	0	1	0	1	0	0	1
1	0.5	0.75	0.25	0.75	0.25	0	0.5
1	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0

表 1 は，それぞれの指標を比較するため，x_p, x_n がそれぞれ，$0, 0.5, 1$ のときどのような値をとるかをまとめたものである．図 1，2,3,4 は，それぞれ，$I_p^*, I_p^\sharp, I_u^\sharp, Op$ の図解である．

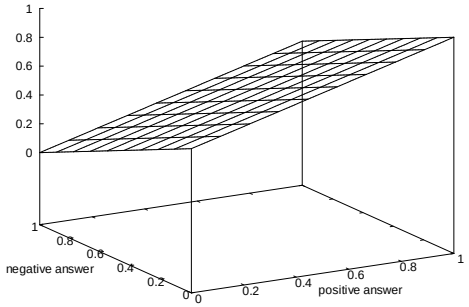


図 1: I_p^* の図解

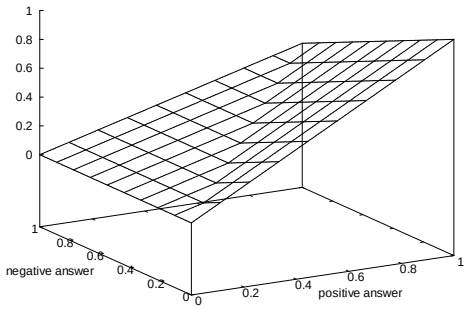


図 2: $I_p^\sharp$ の図解

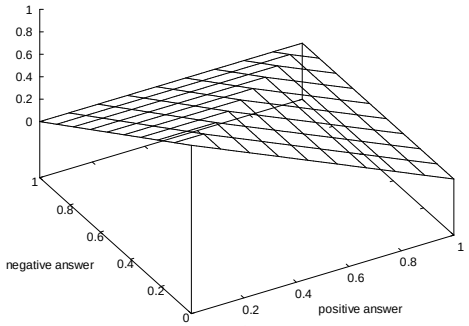


図 3: $I_u^\sharp$ の図解

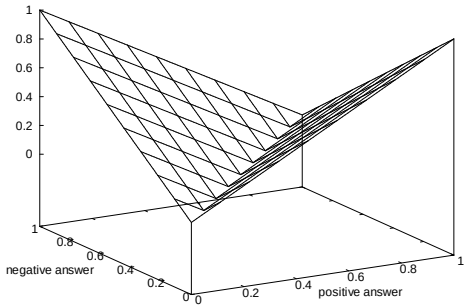


図 4: Op の図解

4 分析例

表 2 は，愛知工業大学経営情報科学研究科大学院生李彦ブンによる「高級ブランドの購買態度に関する調査」の結果の一部を許諾を得て使用した．2014 年 1 月に，愛知工業大学生 49 名を被験者とし，授業中に記名式で調査した．33 問の FCR 法のアンケートがあるが，Q1∼Q7 のデータ（回答者数，各 49 名）を使用した．

$\overline{E(\{p\})}$ などのバーついた値は，49 個のデータの算術

表 2: 分析例

	回答		メビウス反転値				統合値					出現割合			正のときのみ		
Q	$\bar{x}_p$	$\bar{x}_n$	$\overline{E(\{p\})}$	$\overline{E(\{n\})}$	$\overline{E(\{p,n\})}$	$\overline{ER}$	$\bar{I}_p^*$	$\bar{I}_n^*$	$\bar{I}_p^\sharp$	$\bar{I}_n^\sharp$	$\bar{I}_u^\sharp$	$\sharp(p)$	$\sharp(n)$	$\sharp(u)$	$\overline{E^S(\{p\})}$	$\overline{E^S(\{n\})}$	$\overline{Op}$
Q1	0.48	0.51	0.16	0.19	0.32	0.33	0.49	0.51	0.32	0.35	0.33	45%	39%	16%	0.36	0.49	0.35
Q2	0.51	0.56	0.20	0.25	0.31	0.24	0.48	0.52	0.36	0.40	0.24	41%	45%	14%	0.49	0.56	0.45
Q3	0.63	0.38	0.39	0.14	0.24	0.23	0.62	0.38	0.51	0.26	0.23	67%	24%	8%	0.58	0.58	0.53
Q4	0.61	0.45	0.33	0.17	0.28	0.21	0.58	0.42	0.47	0.31	0.21	59%	31%	10%	0.56	0.57	0.50
Q5	0.52	0.44	0.25	0.17	0.27	0.32	0.54	0.46	0.38	0.30	0.32	47%	41%	12%	0.53	0.41	0.41
Q6	0.36	0.55	0.09	0.29	0.26	0.36	0.40	0.60	0.22	0.42	0.36	29%	53%	18%	0.32	0.54	0.38
Q7	0.50	0.42	0.21	0.12	0.30	0.38	0.54	0.46	0.35	0.27	0.38	49%	29%	22%	0.42	0.42	0.33

平均値である．ただし，$\bar{I}_p^*$ などの統合値の平均値は，$\overline{E}$ から求めた値に一致する．たとえば，$\bar{I}_p^* = \frac{1}{2}[\overline{E(\{p\})} + 1 - \overline{E(\{n\})}]$ となる (Op はこのような性質を持たない)．

$\sharp(p)$ は，$E(\{p\}) > 0$ となる回答の出現割合である．$\sharp(p)$ は，$x_p = x_n$ のとき，すなわち $E(\{p\}) = E(\{n\}) = 0$ の場合の出現割合である．$\sharp(p)$ は,「はい」を高く回答した人の割合，$\sharp(n)$ は,「いいえ」を高く回答した人の割合，$\sharp(u)$ は,「はい」と「いいえ」を同一に回答した人の割合である．$\overline{E^S(\{p\})}$ は，$E(\{p\}) > 0$ となる $E(\{p\})$ の平均値である．

$E(\{p\})$ と $E(\{n\})$ は，個別の回答では，正となるのは高々1 つであるが，$\overline{E(\{p\})}$，$\overline{E(\{n\})}$ は，回答者によって $E(\{p\})$ と $E(\{n\})$ とで正になるものが異なるので，両方とも正になりうる．

設問は，33 個あるうち最初の 7 問を利用し，Q1:「日本製のものより海外ブランドのほうが価値がある。」，Q2:「ブランド品を身につけると他の人より魅力的になれる。」，Q3:「周りの人が持っていないブランド品を所有したい。」，Q4:「他の人が持っているブランド品を持ちたくない。」，Q5:「ブランド品はステイタスシンボルになりうる。」，Q6:「ブランド品を持つことでその人の価値が高められる。」，Q7:「ブランド品を身につけていると優越感を感じる。」である．

Op をみると Q2,3,4 が高く，これらの設問は自分の行動に関するもので，回答しやすいものである．他の設問は価値観や心情に関すものであり，回答しにくい．

Q1 をみると，統合値をみるとともに，n が大きな値を示しているのに対して，出現割合では $\sharp(p) > \sharp(n)$ と p が大きい．これは，$E^S(\{p\}) < E^S(\{n\})$ となっており，「いいえ」を高く回答している人は「はい」との差が大きく回答している．また，$x_p = 0, x_n = 1$ という回答も多い．これは，少数だが，つよく「いいえ」を支持する人の存在を示している．

5 おわりに

[6] から改良した FCR 法を提案した．[6] では，多項目に拡張しているが，同様に多項目に拡張する方法を整理して議論したい．

参考文献

[1] Shapley, L.: A value for n-person games. Contribution Theory of Games, II. Annals of Mathematics Studies, 28,307-317, 1953.

[2] 小田哲久:ファジィ多項目評定法の特徴について，日本経営システム学会誌，Vol.12, No.1, pp.23-32, 1995.

[3] 藤本勝成: 意思決定とメビウス反転, 日本ファジィ学会誌, 10, 2, 206-214, 1998.

[4] 小田哲久 : FCR 法統合値の新アルゴリズム – 提案と数値的分析による比較 –, 日本経営工学会論文誌 51(2), 93-107, 2000.

[5] 高萩栄一郎: 代替案の相対的な特徴分析 – 集合関数による表示とその解釈 –, 知能と情報 (日本知能情報ファジィ学会誌), Vol. 25, 827-833, 2013.

[6] 高萩栄一郎: データの集合関数表示第 18 回 曖昧な気持ちに挑むワークショップ講演論文集（日本知能情報ファジィ学会）, 53-58, 2013.

[7] 小田哲久 : 評定尺度法へのファジィ論的アプローチ : FCR 法，IR 法について，心理学評論，Vol. 56(1),pp.67-83, 2014.

連絡先

高萩栄一郎 (専修大学商学部)

E-mail : takahagi@isc.senshu-u.ac.jp

ソフトウェアgetRNIAによるアンケートデータ分析

An Application of a Data Mining Software getRNIA to Questionnaire Data

山口 直人[1]　伍 卯[1]　中田 典規[2]　酒井 浩[1]
Naoto Yamaguchi[1]　Mao Wu[1]　Michinori Nakata[2]　Hiroshi Sakai[1]
[1] 九州工業大学大学院 工学府
[1]Graduate School of Engineering, Kyushu Institute of Technology
[2] 城西国際大学 経営情報学部
[2]Faculty of Management and Information Science, Josai International University

Abstract: This abstract reports the application of a data mining software *getRNIA* to students' questionnaire data set. We briefly show the obtained rules, the tendency and the property of this data set. Such obtained results show us the evaluation of the students' current opinions, and they will be useful for much better educational future planning.

1　はじめに

本研究室では，ラフ集合の枠組みによる表データ解析の研究を行っている．この枠組みでは，通常，指標値 support と accuracy を用いて，データ中に頻繁に出現し，矛盾の少ない含意式をルールの候補として取り出す．現在，ソフトウェア *getRNIA* を実現し，その応用を進めている．本ツールを用いて，某学生アンケート（対象数 2108，属性数 55，欠損値 2405）の分析を行い興味ある結果を得たので報告する．他のデータに対しても，本分析手順と同様の手法によりデータ分析を行えると考える．

2　学生アンケートの分析

この表データは，大学生の生活状況や学習状況などを調査したアンケートをまとめたものである．この表データを用いて，授業の理解度を特徴付ける規則を検討した．決定属性は「属性 43 : 授業理解度（AT43）」で，属性値は「1:よく理解できている」,「2:かなり理解できている」,「3:あまり理解できていない」,「4:全く理解できていない」である．

分析の興味は，よく理解できる場合と全く理解できない場合の両極端な結論部を持つ 2 つの含意式，条件部 $\Rightarrow [AT43,1]$，または条件部 $\Rightarrow [AT43,4]$ の取出しとその内容把握にある．いずれの含意式も今後の教育支援を行う際の基礎データになると考える．

2.1　一般のルール生成

先ず，support を 0.2，accuracy を 0.6 とし，79 個のルールを得た．しかし，条件部 $\Rightarrow [AT43,2]$，または条件部 $\Rightarrow [AT43,3]$ の含意式のみであった．そのうち，特に指標値が高い 4 個のルールを表 1 に示す．指標値 *minsupp* から *maxacc*，*Low/Up* については別稿に記載の通りである．

表 1: *getRNIA* が生成した特徴的なルール

ルール	minsupp	minacc	maxsupp	maxacc	Low/Up
[AT40,2]⇒[AT43,3]	0.243	0.698	0.261	0.751	Lower
[AT42,2]⇒[AT43,3]	0.407	0.66	0.426	0.689	Lower
[AT55,1]⇒[AT43,3]	0.311	0.65	0.335	0.698	Lower
[AT25,1]⇒[AT43,3]	0.485	0.646	0.509	0.675	Lower

表 2: AT43 における選択の割合．[AT43,1] も [AT43,4] も出現が 1 割未満である．

属性値	割合 (人数)
1: よく理解できている	4.7%(100)
2, 3: 中庸	86 %(1811)
4: 全く理解できていない	7.5%(158)
nil: 無回答	1.8%(39)

興味の対象である条件部 $\Rightarrow [AT43,1]$，または条件部 $\Rightarrow [AT43,4]$ を得ることができず考察したところ，いずれの含意式も support=0.2 を満たさないとわかった（表 2）．ここで，support の値を低く設定すれば，[AT43,1] や [AT43,4] を特徴付けるルールを取り出せるが，無駄なルールも取り出してしまう．実際，support を 0.001 とするとルールの数は約 15000 個にもなった．

属性 43 については，属性値 2 や 3 が全体の大半（多数派グループ）を占め，属性値 1 や 4 は少数派グループである．通常のデータマイニングでは自動的に多数派のルールを得るが，今回の興味の対象は少数派におけるデータマイニングになっている．

2.2　少数派グループにおけるルール生成

そこで，授業理解度を [AT43,1] または [AT43,4] と回答した学生 258 名について分析した．（この手法

については，妥当性の保証までまだ考慮していない．15000 個ほどのルールの候補から結論を [AT43,1] または [AT43,4] とする含意式を取出し，ソーティングするなど他の種々の手法も考えられる．）今回，それらの一例として対象を制約して実験を行った．その結果のうち，指標値が高い 5 個のルールを表 3 に示す．

表 3: 少数派グループにおけるルールの意味

ルール	ルールの意味
[AT40,1]⇒[AT43,4]	満足できる授業 20% 未満 ⇒ 授業は全く理解できていない
[AT20,5]⇒[AT43,4]	大学生活が不満 ⇒ 授業は全く理解できていない
[AT42,1]⇒[AT43,1]	授業中の態度真剣 ⇒ 授業はよく理解できている
[AT19,2]⇒[AT43,1]	目的が専門知識や技術を身につける ⇒ 授業はよく理解できている
[AT28,1]⇒[AT43,1]	図書館をよく利用している ⇒ 授業はよく理解できている

表 3 は，授業理解度が極めて高い学生 [AT43,1] と，極めて低い学生 [AT43,4] を特徴付けるルールである．決定属性値を限定することにより，表 1 では得られなかった少数派のルールを取り出すことができた．これらのルールを次章で示す Question/Answering を用いて，さらに詳しく分析した．

2.3 Question/Answering を用いた分析

Question/Answering は与えられた条件属性，決定属性，条件属性値をもとに，最も妥当な決定属性値を決める手法である．属性を指定すれば，起こり得る各属性値の含意式と指標値を応答する．実際に，生成し得る全ての含意式とその指標値を調べ，それにより決定属性値を決める．本手法により，相対的に特徴がある含意式を見出すことが容易になる．例えば，図 1 から下記 2 つの特徴ある含意式を得る．

(A) 学生生活の目的と授業理解度の関係

（ルール 1）生活目的が研究，真理を追究し知識を得る ⇒ 授業をよく理解している．

（ルール 2）生活目的が就職の都合，学歴，サークル，人間関係を広める ⇒ 授業を理解していない．

他の条件属性についても同様の手順によるルール生成を行った．以下，特徴ある含意式を列挙する．

(B) 学年と授業理解度の関係

（ルール 3）4 年生は他学年よりも授業理解度が高い．

(C) 読んだ専門書数と授業理解度の関係

（ルール 4）読んだ専門書が多いほど授業理解度が高い．

(D) 興味を持つ授業の割合と授業理解度の関係

（ルール 5）興味を持つ授業が 2 割以下 ⇒ 授業を理解していない．

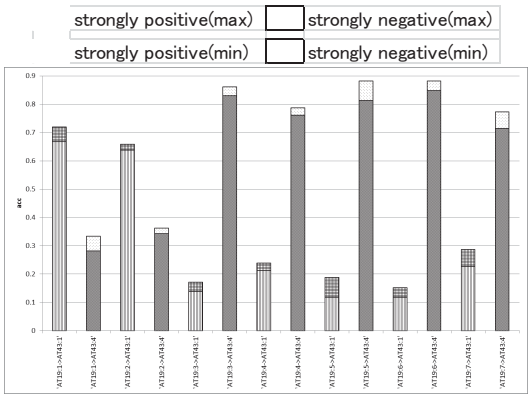


図 1: 学生生活の目的と授業理解度の関係．学生生活の目的 (属性 19，属性値は 1 から 7）と授業理解度（属性 43，属性値は 1 または 4）に関する全含意式，[AT19,1]⇒[AT43,1]，[AT19,1]⇒[AT43,4]，[AT19,2]⇒[AT43,1]，···，[AT19,7]⇒[AT43,4] を左から順に並べ，accuracy を縦軸にしたグラフである．棒グラフは積み上げ表示であり，下段は min の値，上段は max の値である．真の accuracy 値は min と max の間にある．accuracy が高い含意式ほど，より強く結論付けられると考えられる．[AT19,1] と [AT19,2] の選択と [AT19,3]，···，[AT19,7] の選択では傾向が異なる．

（ルール 6）興味を持つ授業が 6 割を超える ⇒ 授業をよく理解している．

(E) 出席の割合と授業理解度の関係

（ルール 7）出席率が 6 割以下 ⇒ 授業を理解していない．

（ルール 8）出席率が 9 割以上 ⇒ 授業をよく理解している．

(F) サークルと授業理解度の関係

（ルール 9）サークルを途中で退会した ⇒ 授業を理解していない．

3 おわりに

本研究では，*getRNIA* を用いて学生アンケートの分析を行った．授業理解度を決定属性として，どのような学生が授業をよく理解できているか，また全く理解できていないか調べた．また，本研究を通して新たな課題，少数派グループデータマイニングの必要性を確認した．今後，提案し実現したソフトウェア *getRNIA* を種々の実データに応用し，意味あるルールの取出しを考えたい．

連絡先
山口　直人，酒井 浩
九州工業大学 大学院 工学府
先端機能システム工学専攻
kityn1124@gmail.com

Solving Quadratic Bilevel Programming Problem with Intelligent Hybrid Neural Network

Jingru Li Junzo Watada
jingruli@fuji.waseda.jp junzow@osb.att.ne.jp
Graduate School of Information, Production and System, Waseda University

Abstract: In this paper, we proposed an intelligent method to solve the quadratic bilevel programming problem, which combines an improved genetic algorithm and a double layer iterative neural network. The genetic algorithm is used to select a set of potential solution combinations from the entire generated combinations of the upper level. Then, to effectively and efficiently determine the optimal solution of the lower level, we adapted the meta-controlled Boltzmann machine, which is formulated by comprising the Hopfield model (HM) and the Boltzmann machine (BM).

I. INTRODUCTION

Bilevel Programming Problem (BLPP) has been increasingly addressed in the literature. The problem involves two optimization problems where the constraint region of the upper level problem is implicitly determined by the lower level optimization problem [1], [2]. This mathematical programming model arises when two independent decision makers, ordered within a hierarchical structure, have conflicting objectives [1], [3]. The bilevel programming model is extremely useful to the fields like government policies, economic systems, finance, power systems, transportation and network designs, and is particularly suitable for conflict resolution [4], [5]. However, due to its inherent non-convexity and non-differentiability, bilevel programming problem is hard to solve. Even the simplest case—Linear BLPP—has been proved to be a NP-hard problem [1], [2]. A conventional approach to solve the bilevel programming problem is to transform the original two level problems into a single level one by replacing the lower level optimization problem with its Karush-Kuhn-Tuchker (KKT) optimization conditions. The prominent advantage of neural network is that it can converge to the equilibrium point (optimal solution) rapidly, and this advantage has been attracting researchers to solve bilevel programming problem using neural network approach.

In this study, we formulate a double layer neural network comprising the genetic algorithm, Hopfield network, and Boltzmann machine in order to effectively and efficiently select a limited number of units from those available units. The Hopfield network and genetic algorithm are employed in the upper layer to select the limited number of Boltzmann machine units, and BM is employed in the lower layer to decide the optimal solution/units from the limited number of units selected by the upper layer. The double-layered hybrid neural network, whose two layers connect corresponding units in the upper and lower machines, constitutes an effective problem solving method [6].

II. BILEVEL PROGRAMMING PROBLEM

Mathematically, the bilevel programming problem can be represented as

$$\begin{aligned} &\min_{\mathbf{x}} \quad F(\mathbf{x},\mathbf{y}) \\ &s.t. \quad \mathbf{G}(\mathbf{x},\mathbf{y}) \le \mathbf{0} \\ &\quad\ \min_{\mathbf{y}} \quad f(\mathbf{x},\mathbf{y}) \\ &\quad\ s.t. \quad \mathbf{g}(\mathbf{x},\mathbf{y}) \le \mathbf{0} \end{aligned} \tag{1}$$

where $\mathbf{x} \in R^{n_1}$ and $\mathbf{y} \in R^{n_2}$ are respectively the upper level variables and lower level variables. Similarly, functions $F :\in R^{n_1} \times R^{n_2} \to R^1$ and $f :\in R^{n_1} \times R^{n_2} \to R^1$ are the upper level and lower level objective functions, while the vector-valued functions $\mathbf{G} :\in R^{n_1} \times R^{n_2} \to R^{m_1}$ and $\mathbf{g} :\in R^{n_1} \times R^{n_2} \to R^{m_2}$ are called the upper level and lower level constraints. More specifically, we can transform and formulate the quadratic billevel programing problem as

$$\begin{aligned} &\min_{\mathbf{x}} \quad F(\mathbf{x},\mathbf{y}) = \frac{1}{2}[\mathbf{x}^T \quad \mathbf{y}^T]2\mathbf{P}\begin{bmatrix}\mathbf{x}\\ \mathbf{y}\end{bmatrix} + [\mathbf{a}^T \quad \mathbf{b}^T]\begin{bmatrix}\mathbf{x}\\ \mathbf{y}\end{bmatrix} \\ &s.t. \quad \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{y} \le \mathbf{r}_1 \\ &\quad\ \min_{\mathbf{y}} \quad f(\mathbf{x},\mathbf{y}) = \mathbf{y}^T\mathbf{Q}_0\mathbf{y} + (\mathbf{d} + 2\mathbf{Q}_1\mathbf{x})^T\mathbf{y} \\ &\quad\ s.t. \quad \mathbf{C}\mathbf{x} + \mathbf{D}\mathbf{y} \le \mathbf{r}_2 \end{aligned} \tag{2}$$

In this study, a genetic algorithm based hybrid double layer neural network method is employed to solve the quadratic bilevel programming model of problem (2).

III. HYBRID DOUBLE LAYER NEURAL NETWORK

In our study, we formulate a hybrid intelligent algorithm consisting of both Hopfield and Boltzmann machine neural networks called meta-controlled Boltzmann machine and hybrid with an improved genetic algorithm. In the upper level of bilevel programming problem, the intelligent genetic algorithm is used to effectively perform global search to find a set of possible feasible **x** values. This set of feasible **x** values will be substituted into lower level, which will generate a set of quadratic programming problems of variable **y**. Then these problems will be solved by using meta-controlled Boltzmann machine to get optimal $(\mathbf{x}^*, \mathbf{y}^*)$. The proposed algorithm is summarized as follows and is shown in Fig. 1:

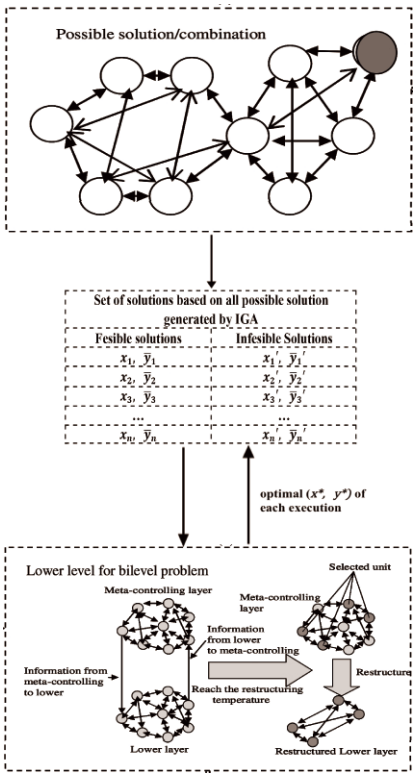


Figure. 1. Hybrid double layer neural network for solving the quadratic bilevel programming problem

Step 0. Start with a series randomly generated combinations. Then IGA will select a set of potential solution combinations for the upper level of the quadratic bilevel programming problem.

Step 1. Set each parameter to its initial value for meta-controlled Boltzmann machine.

Step 2. Input K_u and K_l.

Step 3. Execute the upper layer.

Step 4. If the output value of a unit in the upper layer is 1, add some amount of this value to the corresponding unit in the lower layer. Execute the lower layer.

Step 5. After executing the lower layer at a constant frequency, decrease the temperature.

Step 6. If the output value of a unit in the lower layer is large enough, add some amount of values to the corresponding unit in the upper layer.

Step 7. Iterate Step 3 to Step 6 until the temperature reaches the restructuring temperature.

Step 8. Restructure the lower layer using the units selected in the upper layer.

Step 9. Execute the lower layer until the termination condition is reached.

By above steps, the meta-controlled Boltzmann machine can effectively and efficiently select units from those available units to find the optimal solution. The Hopfield network works in the upper layer to delete the lower layer Boltzmann machine units, which are not selected in the upper layer during execution. This is achieved in Steps 3 through 6 of this algorithm. Then, the lower layer is restructured with those selected units. The Boltzmann machine is employed as the lower layer to find the optimal solution/units from the units selected by the upper layer, which is shown in Step 7 and Step 8.

IV. NUMERICAL EXAMPLE

In this section we will present an example as below to make a comparison [7]:

$$\min_{\mathbf{x}} \quad F = x^2 - 4x + y_1^2 + y_2^2$$

$$s.t. \quad 0 \le x \le 2$$

$$\min_{\mathbf{y}} f = y_1^2 + 0.5y_2^2 + y_1y_2 + (1-3x)y_1 + (1+x)y_2$$

$$s.t. \quad y_1 \ge 0,\ y_2 \ge 0$$

$$2y_1 + y_2 - 2x \le 1$$

Table 1. Comparison of the results by the proposed method and method in the reference

Method	$(\mathbf{x}^*, \mathbf{y}^*)$	$F(\mathbf{x}^*, \mathbf{y}^*)$	$f(\mathbf{x}^*, \mathbf{y}^*)$
Proposed algorithm	(0.8402, 0.7603, 0)	-2.0768	-0.5781
Algorithm in [7]	(1.0, 0, 1.0)	-2	2.5

We execute the proposed algorithm on the above problem with MATLAB 7.14 and we adopted values for the following parameters as: feasible population size: 20, infeasible population size: 20, crossover probability: p_c = 0.7, mutation probability: p_m = 0.2, maximal number of generations: *MaxGen* = 5, and the K for the meta-controlled Boltzmann machine is 0.3. Table 1 shows that the results found by the proposed algorithm are better than compared algorithm. By using the IGA, the upper level value will be searched in a very wide range, which will effectively avoid in sticking into local optimal. On the other hand, by using the meta-controlled Boltzmann machine, the proposed method performs pretty well in terms of the resulting solution accuracy, as well as efficiency of the global convergence.

REFERENCE

[1] Z. H. Gümüş, C. A. Floudas, "Global optimization of nonlinear bilevel programming problems." *Journal of Global Optimization*, 2001, 20: 1- 31.

[2] L. D. Muu, N. V. Quy, "A global optimization method for solving convex quadratic bilevel programming problems." *Journal of Global Optimization*, 2003, 26: 199-219.

[3] T. Edmunds, J. F. Bard. "Algorithms for nonlinear bilevel mathematical programming." *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics*, 1991, 21: 83-89.

[4] M. Carrion, J. M. Arroyo, A. J. Conejo, "A bilevel stochastic programming approach for retailer futures market trading." *IEEE Transactions on Power Systems*, 24(3), 1446-1456 (2009)

[5] B. Colson, P. Marcotte, G. Savard, "Bilevel Programming: A survey." *International Journal of Operations Research* 3(2), 87-107 (2005)

[6] T. Watanabe and J. Watada, "A Meta-Controlled Boltzmann machine for Rebalancing Portfolio Selection." *Central Eur. J. Oper*. Res. vol. 12, no.1, pp. 93-103, 2004.

[7] Y. Lv, Z. Chen, Z. Wan, "A neural network for solving a convex quadratic bilevel programming problem." *Journal of Computational and Applied Mathematics* 234 (2010) 505-511, Elsevier.

相補的協調関係を保存するコミュニケーション制約

On Communication restrictions under which complementary relationships among players are inherited

藤本 勝成
Katsushige FUJIMOTO
福島大学
Fukushima University

Abstract: In ordinary cooperative game theory, it is implicitly assumed that all coalitions of N can be formed, this is in general not the case. In order for players to be able to coordinate their actions, they have to be able to communicate. Generally, under communication-restricted situations, the k-monotonicity of the underlying game is not inherited by its network-restricted game. This paper investigates what types of networks preserve the k-monotonicity of games in restricted communication situations.

1 はじめに

プレーヤー全体の集合を N とした場合 (以下，本報を通して N をプレイヤー全体の集合とする)，通常の提携型ゲーム (N, v) では，あらゆる提携 $S \subseteq N$ が実現可能であることを仮定している．しかしながら，このようなケースは一般的とは言えない．実際には，提携 S を実現するためには，S の構成メンバーが互いにコミュニケーションをとる必要がある．これに対して Myerson[5] は，プレイヤー間相互のコミュニケーション構造を N 上の無向グラフ (N, E) で表現し，コミュニケーション制約下における提携型のゲーム (コミュニケーションゲーム) を提案した．

全単調性 (totally monotonicity) の概念は，Choquet [2] によって導入された，集合関数の単調性に関する 1 つの概念であり, 証拠理論 [3, 7] においては，その中心的な役割を果たしている．また，k-単調性 [2] は全単調性の 1 つ制限概念である．Chateauneuf and Jaffray [1] は，集合関数における k-単調性を，メビウス反転 (変換) を通して特徴付けている．また，Fujimoto ら [4] は，ゲーム理論の枠組みにおいて，正の限界相互作用性 (提携における相補的役割) を通して，k-単調性を特徴付けている．

k-単調なゲーム (N, v) がコミュニケーション制約 (N, E) の下にあり，提携形成において，何らかの制約を受けるとき，その k-単調性 (提携における相補的役割) は破壊されることがある．本稿では，常に k-単調性を保存するようなコミュニケーションネットワークの存在について議論する．

2 基本的概念

2.1 無向グラフの基本概念

本稿では，プレイヤー間のコミュニケーションネットワークを，**無向グラフ** $G = (N, E)$ によって表す．つまり，各プレイヤーをグラフの節点 $i \in N$ とし，各プレイヤー間のバイラテラルなコミュニケーションチャンネルをグラフの辺/エッジ

$$\{i, j\} \in E \subseteq \{\{i, j\} \mid i, j \in N, i \neq j\}$$

として表す．

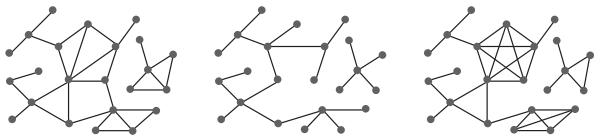


図 1: 無閉路グラフ，閉路完全グラフ

通常の提携型ゲームでは，すべてのプレイヤー間でコミュニケーションが可能であることが仮定されている．つまり，コミュニケーションネットワークが，**完全グラフ** (i.e., $E = \{\{i, j\} \mid i, j \in N, i \neq j\}$) として表されることが仮定されている．(混乱のおそれが無い限り，以下においては，表記の複雑さを避けるため，集合を表す “{”, や “,” や “}” を省略して，$\{i\}$, $N \setminus \{i\}$, $\{i, j, k\}$ などの表記に代って，i, $N \setminus i$, ijk のような表記を用いることがある．) また，$S \subseteq N$ に対して，$G(S) := (S, E(S))$ と表す．ここで，$E(S) := \{ij \in E \mid i, j \in S\}$ とする (e.g., $E(N) = E$).

以下の条件 P を満たす G の互いに異なる節点の列 $(i_1, \ldots, i_m)$ を節点 i と j の間の長さ m の**道** (path) と呼ぶ．[**条件 P** : $j = i_1$, $k = i_m$, and $\{i_l, i_{l+1}\} \in E$ $\forall l \in \{1, \ldots, m-1\}$]．節点 j と k の間に道が存在するとき，G において，j は k へ**到達可能** (reachable) であるといい，$j \sim_G k$ と表す．明らかに，二項関係 $\sim_G$ は，N 上の同値関係である．それゆえ，到達可能性の概念は，N の分割 $N/E := N/\sim_G$ を導く．そのとき，$S \subseteq N$ に対して，$C \in S/E(S) = S/\sim_{G(S)}$ は，S の**連結成分** (connected

component) と呼ばれる．また，S の連結成分全体の集合を $\mathscr{C}_G(S)$ で表す (i.e., $\mathscr{C}_G(S) := S/E(S)$)．また，節点の集合 (i.e., 提携)$S$ の任意の異なる 2 点 $i, j \in S$ が，$G(S)$ において到達可能であるとき，S は，G において**連結**であるという (i.e., $S/E = \{S\}$)．ここで，定義より，空集合および 1 点集合は，連結であることに注意されたい．無向グラフ $G = (N, E)$ が連結であるとは，N が G において連結であることをいう．

以下の条件 C を満たす G の節点列 $(i_1, \ldots, i_m)$ を G における**閉路** (cycle) と呼ぶ [**条件 C**: $i_1 = i_m$, and both $(i_1, \ldots, i_{m-1})$ and $(i_2, \ldots, i_m)$ are paths in G]．また，グラフ中に，全く閉路を含まないグラフを**無閉路グラフ** (cycle-free graph) と呼ぶ (e.g., **図** 1 (b))．連結な無閉路グラフは**木** (tree) と呼ばれる．以下の条件 CC を満たすグラフ $G := (N, E)$ は，**閉路完全** (cycle-complete) と呼ばれる [**条件 CC**：任意の G における閉路 $(i_1, \ldots, i_m)$ に対して，部分グラフ $G(\{i_1, \ldots, i_{m-1}\})$ が完全グラフとなる．i.e., $E(\{i_1, \ldots, i_{m-1}\}) = \{\{i_p, i_q\} \mid i_p, i_q \in \{i_1, \ldots, i_{m-1}\}, i_p \neq i_q\}$ (e.g., **図** 1 (c))].

例 2.1 **図** 2 のようなグラフ $G = (N, E)$ を考える (i.e., $N = \{1, 2, \ldots, 7\}$, $E = \{12, 15, 26, 37, 47, 56\}$)．このとき，$N/E = \{N_1, N_2\}$, where $N_1 := \{1, 2, 5, 6\}$ and $N_2 := \{3, 4, 7\}$ となる．つまり，N は，2 つの連結成分 N_1, N_2 に分割される．よって，G は連結なグラフではない．ただし，$(N_1, E(N_1))$, $(N_2, E(N_2))$ は，いずれも連結なグラフである．また，$(1, 2, 6, 5, 1)$ は閉路である．よって，G は，無閉路グラフではない．さらに，閉路 $(1, 2, 6, 5, 1)$ に対して，部分ブラフ $G(\{1, 2, 6, 5\})$ は，完全グラフとなっていない．よって，G は，閉路完全グラフでもない．また，節点 1 と 6 の間の道は，$(1, 2, 6)$ と $(1, 5, 6)$ の 2 種類がある．このグラフにおいて連結な節点の集合 (提携) は，以下の通りである：$\emptyset$, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 12, 15, 26, 37, 47, 56, 125, 126, 156, 256, 347, 1256.

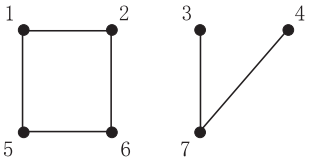


図 2: Communication network $G = (N, E)$

定理 2.1 無向グラフ $G = (N, E)$ が閉路完全グラフであるための必要十分条件は，任意の連結な節点の集合 $S, T \subseteq N$ に対して，その共通部分 $S \cap T$ もまた，連結となることである．

2.2 コミュニケーションゲーム

定義 2.1 (提携型ゲーム) プレイヤー全体の集合を $N(\neq \emptyset)$ とし，その部分集合 $S \subseteq N$ を**提携**とよぶ．また，$v(\emptyset) = 0$ なる関数 $v : 2^N \to \mathbb{R}$ を N 上の**特性関数**とよび，これらからなる (N, v) を**提携型ゲーム**とよぶ．

定義 2.2 (communication-network / situation) 無向グラフ $G = (N, E)$ を N の **communication network** とよぶ．ただし，$E \subseteq \binom{N}{2} := \{\{i, j\} \subseteq N | i \neq j\}$ とする．また，提携型ゲーム (N, v) と合わせた 3 つ組 (N, v, E) を **communication situation** とよぶ．

communication network によるコミュニケーション制約下において，提携を構成するためには，提携を構成する任意のプレーヤー間で，直接または間接的なコミュニュケーションパス/チャンネルが必要である．つまり，提携 $S \subseteq N$ が実現するためには，S が G において連結である必要がある．

定義 2.3 (実現可能性 (feasibility)) communiccation situation (N, v, E) において，提携 $S \subseteq N$ が**実現可能**であるとは，S が G において連結であることをいう．

例 2.2 今，図 2 で表されるようなコミュニケーション制約 $G = (N, E)$ の下にある提携型ゲーム (N, v) を考える (i.e., communication situation (N, v, E) を考える)．ここで，$v^E(S)$ は，**コミュニケーション制約 $G = (N, E)$ の下で，プレイヤーの集合 $S \subseteq N$ によって実現可能な最大利得**を表すと考える (当然，(N, v) を考える場合は，すべての $S \subseteq N$ が実現可能で，かつ，$v(S)$ は提携 $S \subseteq N$ によって実現可能な最大利得を表している)．この場合，プレイヤーの集合 $\{1, 2, 6\}$ は，G において連結であり，つまり，提携 $\{1, 2, 6\}$ が実現可能となる．よって，

$$v^E(\{1, 2, 6\}) = v(\{1, 2, 6\})$$

を獲得することができる．一方で，プレイヤーの集合 $\{1, 2, 3, 4\}$ では，プレイヤー 1 と 2 は，直接的なコミュニケーションパスをもっており，提携 $\{1, 2\}$ を構成することができるが，プレイヤー 3 と 4 はいずれも，他のどのメンバーとも連絡可能ではない．よって，このメンバーで実現可能な提携は $\{1, 2\}$, $\{3\}$, $\{4\}$ であり，彼らが獲得できる最大利得は

$$v^E(\{1, 2, 3, 4\}) = v(\{1, 2\}) + v(\{3\}) + v(\{4\})$$

となる．つまり，一般に，プレイヤーの集合 S によって獲得可能な最大利得は

$$v^E(S) = \sum_{T \in S/E} v(T)$$

ということになる．

定義 2.4 (コミュニケーションゲーム) Communication situation (N, v, E) 下における**コミュニケーションゲー**

ム (communication game / network restricted game) とは，以下の特性関数

$$v^E(S) := \sum_{T \in S/E} v(T) \quad \text{for each } S \subseteq N$$

をもつゲーム (N, v^E) として定義される．

2.3 k-単調性

Fujimoto ら [4] は，ゲーム理論の枠組みにおいて，“高々 k 人までの提携においては，常に正の相互作用が存在する (高々k 人までのプレイヤーは，提携形成において，常に相補的な役割を果たす) 状況” として，k-単調性を特徴付けている．

定義 2.5 ある整数 $k > 1$ に対して，提携型ゲーム (N, v) が，k-**単調**であるとは，任意の提携の族 $\{S_i\}_{i \in \{1,\ldots,k\}} \subseteq 2^N$ (必ずしも $S_i \neq S_j$ $\forall i, j \in \{1, \ldots k\}$ である必要はない) に対して，以下の不等式が成り立つことをいう：

$$v(\bigcup_{i \in \{1,\ldots,k\}} S_i) \geq \sum_{\substack{I \subseteq \{1,\ldots,k\} \\ I \neq \emptyset}} (-1)^{|I|+1} v(\bigcap_{j \in I} S_j). \qquad (1)$$

また，通常の単調性 (i.e., $v(S) \leq v(T)$ whenever $S \subseteq T$) を 1-単調性と呼ぶ．すべての正の整数 k に対して，k-単調性が成り立つとき，**全単調性** (または，∞-単調性) を満たすという．定義より (必ずしも $S_i \neq S_j$ $\forall i, j \in \{1, \ldots k\}$ である必要はないので)，$k' > k > 1$ のとき，k'-単調であれば，k-単調である．

例 2.3 $k = 2$ のとき，式 (1) は，

$$v(S_1 \cup S_2) \geq v(S_1) + v(S_2) - v(S_1 \cap S_2) \quad \forall S_1, S_2 \subseteq N$$

と表され，**凸ゲーム** (convex game)，優モジュラー (supermodular) などと呼ばれる [8]．また，証拠理論 [7] における Bel 関数は，全単調な関数として定義されている．

コミュニケーション制約下における k-単調性の概念は，以下のように，コミュニケーションゲームを通して定義される．

定義 2.6 ある正の整数 k に対して，communication situation (N, v, E) が，k-**単調**であるとは，コミュニケーションゲーム (N, v^E) が，k-単調性を満たすことである．

3 コミュニケーション制約下における k-単調性

以下の例が示す通り，コミュニケーション制約により，提携行動の一部に制限がある場合 (i.e., 一部の提携形成が実行可能でない場合)，プレイヤー間の相補的な関係が破壊されてしまうことがある．本節では，プレイヤー間の相補的な関係が常に保存されるようなコミュニケーション制約の存在について議論する．

例 3.1 以下のような communication situation (N, v, E) を考える: $N := \{1, \ldots n\}$, $E := \{\{i, i+1\} \mid i = 1, \ldots, n-1\}$, i.e., *a line graph*,

$$v(S) := \begin{cases} 0 & \text{if } S = \emptyset, \\ |S| + 2 & \text{otherwise.} \end{cases}$$

このとき，(N, v) は単調 (1-単調) である．しかしながら，(N, v, E) は，単調 (1-単調) ではない．事実，

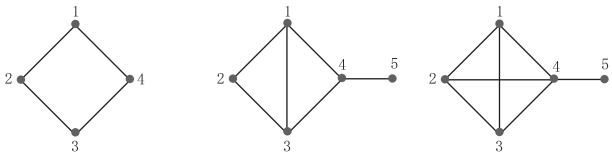
$$v^E(13) = v(1) + v(3) = 3 + 3 = 6 > 5 = v(123) = v^E(123).$$

例 3.2 (Nouweland and Borm [6]) $N := \{1, \ldots, 5\}$ とし，図 3 に示すグラフ (N, E) と，特性関数 $v(S) := |S| - 1$ $\forall$ $S \neq \emptyset$ からなる communication situation (N, v, E) を考える．このとき，(N, E) は閉路完全ではない (事実，$(1, 2, 3, 4, 1)$ は閉路であるが，$(1234,\ E(1234))$ は完全グラフではない)．また，(N, v) は 2-単調であるが，(N, v, E) は 2-単調ではない．事実，

$$\begin{aligned} v^E(124 \cup 234) &= v^E(1234) \\ &= v(1234) = 4 - 1 = 3, \\ v^E(124) + v^E(234) &= v(124) + v(234) \\ &= (3 - 1) + (3 - 1) = 4, \\ v^E(124 \cap 234) &= v^E(24) = v(2) + v(4) \\ &= (1 - 1) + (1 - 1) = 0. \end{aligned}$$

よって，

$$v^E(124 \cup 234) < v^E(124) + v^E(234) - v^E(124 \cap 234).$$



(a) (N,D) (b) (N,E) (c) (N,F)

図 3: (c) is cycle-complete, but (a) and (b) are not.

例 3.3 $N := \{1, \ldots, 4\}$ とし，図 3 に示すグラフ (N, D) と，特性関数

$$v(S) := \begin{cases} 1 & \text{if } S \supseteq \{2, 4\}, \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases}$$

からなる communication situation (N, v, D) を考える．このとき，(N, D) は閉路完全ではない．また，(N, v) は全単調であるが，(N, v, D) は 2-単調ではない (i.e., 全単調ではない)．

事実,

$$\begin{aligned} v^D(124 \cup 234) &= v^D(1234) \\ &= v(1234) = 1, \\ v^D(124) + v^D(234) &= v(124) + v(234) \\ &= 1 + 1 = 2, \\ v^D(124 \cap 234) &= v^D(24) = v(2) + v(4) \\ &= = 0 + 0 = 0. \end{aligned}$$

よって,

$$v^E(124 \cup 234) < v^E(124) + v^E(234) - v^E(124 \cap 234).$$

定理 3.1 $G = (N, E)$ を無向グラフ, $k \geq 2$ を整数とする. このとき, 任意の k-単調な提携型ゲーム (N, v) に対して, (N, v, E) が k-単調となるための必要十分条件は, G が閉路完全であることである.

4 まとめ

例 3.1 ∼ 3.3 より, 一般的には, コミュニケーション制約は, (2 人以上の) プレイヤー間の相補的な協調関係を破壊することがわかる. しかしながら, 定理 2.1, 3.1 より, 提携形成による実現可能性が共通部分に関して閉じている (i.e., $S, T \subseteq N$ が実現可能な提携である限り, 提携 $S \cap T$ もまた実現可能である) ようなネットワークによるコミュニケーション制約下においては, プレイヤー間の相補的な協調関係が保存されることがわかる. また, あらゆるプレイヤー間の相補的な協調関係が保存される場合は, このようなネットワーク構造を持つ場合に限られる.

また, 例 3.1 が示すように, (2 人以上の) プレイヤー間の相補的な協調関係を保存するようなネットワークであっても, 必ずしも単調性 (1-単調性) が保存されるとは限らないということは非常に興味深い.

参考文献

[1] Chateauneuf, A., Jaffray, J.-Y.: Some characterizations of lower probabilities and other monotone capacities through the use of Möbius inversion. Mathematical Social Sciences, (17), 263–283 (1989)

[2] Choquet, G.: Theory of capacities. Annals. Inst. Fourier (Grenoble), 5, 131-295 (1953)

[3] Dempster, A.P.: Upper and lower probabilities induced by a multi-valued mapping. Annals of Mathematical Statistics, 38, 325–339 (1967)

[4] Fujimoto, K., Kojadinovic, I., Marichal, J.-L.: Axiomatic characterizations of probabilistic and cardinal-probabilistic interaction indices. Games and Economic Behavior 55(1), 72–99 (2006)

[5] Myerson, R.: Graphs and cooperation in games, *Mathematics of Operations Research*, 2:225–229, (1977)

[6] van den Nouweland, A., Borm, P.: On the convexity of communication games. International Journal of Game Theory 19, 421–430 (1991)

[7] Shafer, G.: A mathematical theory of evidence. Princeton University Press, (1976)

[8] Topkis,D.M: Supermodularity and Complementarity, Princeton University Press, (1998)

[問い合わせ先]
〒 960-1296 福島市金谷川 1
福島大学共生システム理工学類
Phone/Fax 024 (548) 8436
e-mail:fujimoto@sss.fukushima-u.ac.jp

タブーサーチに基づくデータ予測のための ニューラルネットワークの構造最適化手法の提案

Construction of an Optimization Method of Neural Networks for Data Prediction Based on Tabu Search

林田 智弘
Tomohiro Hayashida
広島大学
Hiroshima University

西崎 一郎
Ichiro Nishizaki
広島大学
Hiroshima University

Abstract: Data classification with a high degree of accuracy using the neural networks (NN) requires heuristic structural optimization based on expert knowledge. However, the optimization procedure takes an immense amount of time and effort. Additionally, high-dimensional data is hard to classify, thus, it would appears that accuracy of data classification grows higher by proper selection and dimensional compression of input data. This study suggests new method for data classification by using NN. For dimensional compression of input data, the suggested method uses sandglass type neural networks (STNN), and tabu search algorithms are applied for input data selection and structural optimization of union between STNN and feed-forward neural networks (FNN).

１．はじめに

ニューラルネットワーク(NN) とは生物の学習機構を模倣した工学モデルであり, このような NN の構成するニューロンの数や構造を適切に設定することで，任意の非線形関数を高精度に近似することができる．さらに，NN は線形分離不可能な問題に対しても，比較的少ない計算量で良好な結果が得られるため, 定式化が困難な様々な問題に対し応用され, 学習時に使わなかった入力を入れても妥当な出力を得ることができる．このことから, 文章解析[22], 字認識[6]，音声認識[21] などの分類問題に FNN (Feed-forward Neural Network) が応用されている．また，ニューラルネットワーク内部でのフィードバックを考慮した RNN (Recurrent Neural Network)が，株価予測[19]，気象予測[4] などの時系列データに対して高い予測精度を持つことが報告されている．

NN は，扱うデータによって，適したネットワークの大きさや構造を決定しなければならない．その規模が小さすぎると十分な学習が行えず，逆に大きすぎると過学習がおこり，汎化能力の低下を招く．そのため，NN は専門的な知識に基づき設計され，さらに試行錯誤的にその構造が決定されていた[2, 3, 11, 22]．しかし，この方法では，多大な計算時間が必要であり，設計者の負担も大きい．

ニューラルネットワークの構造を定めるとき，対象のデータに適合するように各層のユニット数を少しずつ増減させながら，より良いパフォーマンスが得られるような調整方法がとられていた. つまり，ニューラルネットワークの構造に関して，類似した構造をもつニューラルネットワークのパフォーマンスの差は大きくないが，少しずつ改善していく方向へ構造を調整していくことが可能であることを意味する．このような調整方法は，近傍の集中的な探索とみなすことができる．遺伝的アルゴリズムを用いてのぞましいネットワーク構造，すなわち解の探索を行い，ニューラルネットワークの構造を自動的に最適化する手法が提案されている[7, 16, 18]．しかし，遺伝的アルゴリズムでは，ニューラルネットワークの構造最適化には有効であると考えられる解の近傍の集中的な探索が困難である．これに対して，タブーサーチ[12] は，近傍探索を基礎としたメタヒューリスティクスの一種であり，探索の集中化戦略と多様化戦略の組み合わせにより効率的な解の探索が行われ，巡回セールスマン問題[9, 13]，スパニングツリーの最短経路問題[5, 15, 14] や，その他多くの最適化問題に適用されている[1, 8, 10, 17, 20]．ニューラルネットワークの構造を最適化するために，タブーサーチを用いて構造の近傍を集中的に探索し，さらに，多様化戦略を組み合わせることによって，良好なパフォーマンスを発揮する構造を発見することが期待される．

本研究では，タブーサーチ[12] を用いた FNN の構造最適化手法を提案する．データ予測では，入力データに余分なデータや冗長なデータが含まれている場合もあり，これが予測精度の低下の原因になると考えられる．このため，入力データの選定や STNN (Sandglass Type NN)を用いた次元圧縮も行う．STNN を用いてデータの次元圧縮を行い，予測に必要な入力データを適切に選定しつつ，学習能力と汎化能力の高い NN の構造最適化手法の構築を目指す.

２．Sandglass Type NN (STNN)

STNN とは, 入力層と出力層のユニット数が同数であり，中間層のユニット数を入力層のユニット数よりも小さくした FNN の一種であり, STNN に入力データを復元出力する恒等写像を学習させることで，入力データの次元を圧縮することができる．STNN, FNN は中間層と出力層の伝達関数をシグモイド関数$f(x) = 1/\exp(-x)$として，誤差逆伝播法により結線重みと閾値を更新することで，任意の非

線形連続関数に対する高精度な近似が可能である．

例として，5 次元のデータに対応した STNN，および 5 入力 2 出力の FNN をそれぞれ図 1 (a), (b) に示す．

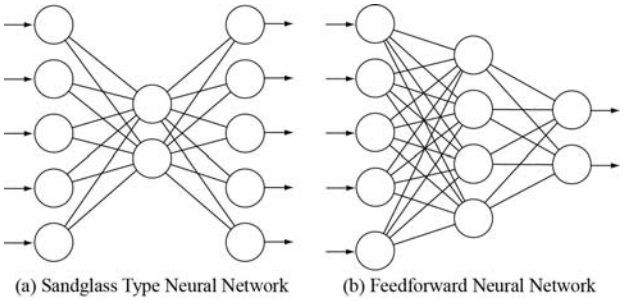


図 1　STNN および FNN の構造

3．タブーサーチ

パフォーマンスが比較的高いニューラルネットワークの構造に関する近傍には，より高いパフォーマンスを示すニューラルネットワークの存在が期待される．これまでのニューラルネットワークの構造最適化手法では，遺伝的アルゴリズムを用いたニューラルネットワークの構造最適化手法が提案されてきたが[7, 16, 18]，遺伝的アルゴリズムによる探索では，ニューラルネットワークの構造に関する近傍を集中的に探索することが難しい．

これに対して，近傍探索に基づく最適化手法であるタブーサーチ[12] を用いることで，類似した構造を集中的に探索することができる．タブーサーチとは，Glover and Laguna [12] により考案された，メタヒューリスティック解法の 1 つである．タブーサーチは近傍探索を基礎とした，準最適解の発見を目的としている．タブーリストは，長さが有限の待ち行列構造をしており，探索した解を一定期間(T_{tabu})記録し，タブーリストに記録されていない近傍解を次の解候補とすることで，探索の巡回を防ぐ．

4．ST-FNN の構造最適化

4.1. ST-FNN

入力データの次元を圧縮し，圧縮されたデータを FNN への入力データとした NN を考え，本研究ではこれを ST-FNN と呼ぶ．2 種類のニューラルネットワークを結合したネットワーク(ST-FNN) を図 2 に示す．

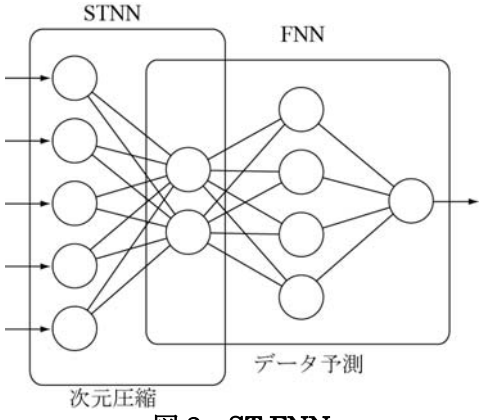


図 2　ST-FNN

4.2. ニューラルネットワークの構造最適化

本研究では，タブーサーチを用いて ST-FNN の構造最適化を行う．ニューラルネットワークの構造は 2 段階でそれぞれタブーサーチにより最適化され，1 段目で入力データの選定を行い，2 段目で，STNN の中間層のユニット数および FNN の中間層のユニット数を決定する．入力データを$(x_1, \dots, x_n)$，出力データを$(y_1, \dots, y_m)$ としたとき，1 段目のタブーサーチにおける解は，$A = (d_1, \dots, d_n)$と表される．$d_i = 1$のときはi 番目の入力データを ST-FNN の入力データとして選択し，$d_i = 0$のときはi 番目の入力データを選択しないことを意味する．現在の解Aからのハミング距離が 1，すなわち，$d_1, \dots, d_n$のいずれか 1 つを反転させたもので，タブーリストに記録されていない解集合をA の近傍解とする．ここで，d_iの反転とは，$d_i = 1$のとき 0，$d_i = 0$のとき 1 と変更することを意味する．sを STNN の中間層のユニット数，fを FNN の中間層のユニット数としたとき，2 段目のタブーサーチにおける解は，$B = (s, f)$と表され，ここも同様にBからハミング距離が 1 のもの，すなわち，$(s \pm 1, f), (s, f \pm 1)$のうちタブーリストに含まれていない解集合を B の近傍解とする．近傍解A, Bの評価値Fは，対応する構造を持つ NN を既定回数の誤差逆伝搬法(BP: Back Propagation) により重みを修正した後の，学習用データと汎化能力検証用データに対する平均二乗誤差e_Lとe_Eを用いて，

$$F = \frac{1}{e_L + e_E} \qquad (1)$$

により評価する．以下に提案手法のアルゴリズムを示す．

STEP0 初期解を生成
STEP1 入力データの選定
　STEP1-1 BP を用いた STNN の学習(TST 期)
　STEP1-2 FNN の学習(TF 期)
　STEP1-3 タブーリストの更新
　　探索を行った解をタブーリストに保存する．
　STEP1-4 近傍解の探索
　　現在の解からハミング距離が 1 で，タブーリストに含まれていない解を近傍解とし，次に探索する解を決定する．
　STEP1-5 最適解の保存
　　既定のタブー回数を満たしてないならば STEP1-1 へ．
STEP2 中間層のユニット数(s, f)決定
　STEP2-1 BP を用いた STNN の学習(TST 期)
　STEP2-2 FNN の学習(T_f期)
　STEP2-3 近傍解の探索
　　現在の解の近傍解に対して STEP2-1, 2-2 を行い，誤差の逆数を評価値とする．
　STEP2-4 タブーリストの更新
　　探索を行った近傍解をタブーリストに保存する．
　STEP2-5 次の解の生成，最適解の保存既定のタブー回数を満たしてないならば STEP2-1 へ．

STEP3 STEP1,2 で探索した解のうち，準最適解に対して，STNN，FNN に対して一定回数 BP を適用して終了する．

4.3. 数値実験

提案手法の有用性を検証するために，白ワイン品質データ[23]，シリアル人気度データ[23]，コンクリート強度データ[24]，不整脈データ[24]，パーキンソン病データ[24]，皮膚病データ[24]，乳がんデータ[24] を用いてシミュレーション実験を行い，FNN との比較を行った．なお，入力データは，すべて[0.05, 0.95]に正規化したものを各ニューラルネットワークの入力として与える．不整脈データと乳がんデータには，入力データに一部欠損が生じており，データ欠損している部分については，0 を入力として与えるものとする．データを 3 等分したものを D_1, D_2, D_3とする．FNN はD_1, D_2で学習し，ST-FNN ではタブーサーチ中の学習にD_1，検証にD_2 を用いる．FNN，ST-FNN 共に，D_3 を用いて性能を検証する．

上述の 7 種類のデータに対して，初期解をランダムに与えて 30 回実験を行った際の，検証誤差の最小値・最大値・平均を表 1 に示す．なお，出力が 0 あるいは 1 の 2 値データ(パーキンソン病，皮膚病，乳がん）に対しては，出力値が 0.5 以上のとき 1，0.5 未満のとき 0 と判定し，その正答率も示す．

表 1 より，提案手法は FNN と比べると，検証誤差が同等か，小さくなっており，正答率に関してはいずれも高く，高精度に予測することができた．入力データには予測に不必要なデータや，データの冗長性が含まれていることが考えられ，最適化された構造を持つ ST-FNN により，これらを適切に判別，次元圧縮することで，複雑なデータに対する高い予測，判別能力を得たと考えられる．

5．おわりに

本研究では，データの選定を考慮したニューラルネットワークの構造最適化手法を提案した．データ予測やデータ分類にニューラルネットワークを用いる場合には，入力データにはデータの予測精度の妨げとなる冗長性や不要なデータが含まれている場合がある．このため，STNN (Sandglass Type Neural Network) と FNN(Feed-forward Neural Network) を連結させたネットワークを ST-FNN と呼び，タブーサーチを用いた ST-FNN の構造最適化手法を提案した．数値実験の結果から，FNN のみでのデータ予測とほぼ同等，またはそれ以上のデータ予測能力が得られた．ニューラルネットワーク以外の手法との性能比較が今後の課題と考えられる．

参考文献

[1] M. Arikan and S. Erol, “A hybrid simulated annealing-tabu search algorithm for the part selection and machine loading problems in flexible manufacturing systems,” International Journal of Advanced Manufacturing Technology 59, pp. 669-679, 2012.

[2] A. Blanco, M. Delgado and M.C. Pegalajar, “Fuzzy grammatical interence using neural networks,” Mathware and Soft Computing 5, pp. 133-140, 1998.

[3] A. Blanco, M. Delgado and M.C. Pegalajar, “Fuzzy automation induction using neural network,” International Journal of Approximate Reasoning 27, pp. 1-26, 2001.

[4] T.W.S. Chow and C.T. Leung, “Neural network based short-term load forecasting using weather compensation,” IEEE Power & Energy Magazine 11, pp. 1736-1742, 1996.

[5] R. Cordone and G. Passeri, “solving the quadratic minimum spanning tree problem,” Applied Mathematics and Computation 218 pp. 11597-11612, 2012.

[6] K. Deb, A. Pratap, S. Agrwal and T. Meyarivan, “A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II,” IEEE Transactions on Evolutionary Computation 6, pp. 182-197, 2002.

[7] M. Delgado, M.P. Cuellar, M.C. Pegalajar, “Multiobjective hybrid optimization and training of recurrent neural networks,” IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics {Part B: Cybernetics 38, pp. 381-403, 2008.

[8] A. Duarte and R. Marti, “Tabu search and GRASP for the maximum diversity problem,” European Journal of Operational Research 178, pp.71-84, 2007.

[9] M. Gendreau, G. Laporte and D. Vigo, “Heuristics for the traveling salesman problem with pickup and delivery,” Computers & Operations Research 26, pp. 699–714, 1999.

[10] F. Geyik and I.H. Cedimoglu, “The strategies and parameters of tabu search for job-shop scheduling,” Journal of Intelligent Manufacturing 15, pp. 439-448, 2004.

[11] C. Giles, C. Miller, D. Chen, H. Chen, G. Sun and Y. Lee, “Learning and extracting finite state automate with second order recurrent neural networks,” Neural Computation 4, pp. 393-405, 1992.

[12] F. Glover and M. Laguna, Tabu Search, Kluwer Academic Publishers, 1997.

[13] Y.F. Hung and W.-C. Chen, “A heterogeneous cooperative parallel search of branch-and-bound method and tabu search algorithm,” Journal of Global Optimization 51, pp. 133-148, 2011.

[14] A. Kasperski, M. Makuchowski and P. Zielinski, “A tabu search algorithm for the minmax regret minimum spanning tree problem with interval data,” Journal of Heuristics 18, pp. 593-625, 2012.

[15] H. Katagiri, T. Hayashida, I. Nishizaki and Q.Q. Guo, “A hybrid algorithm based on tabu search and ant colony optimization for *k*-

表 1　実験結果

データ名 (入力数，出力数)		検証誤差 ST-FNN	 FNN	正答率 ST-FNN	 FNN
白ワイン[23]	最小	**0.0489**	0.0493		
	最大	**0.0540**	0.0559	—	—
(11,1)	平均	**0.0507**	0.0536		
シリアル[23]	最小	**0.0234**	0.0324		
	最大	**0.0624**	0.0904	—	—
(12,1)	平均	**0.0435**	0.0521		
コンクリート[24]	最小	0.0582	**0.0575**		
	最大	0.0700	**0.0645**	—	—
(7,3)	平均	0.0628	**0.0612**		
不整脈[24]	最小	**0.0896**	0.1245		
	最大	**0.1036**	0.1355	—	—
(279,1)	平均	**0.0976**	0.1292		
パーキンソン病[24]	最小	0.2047	**0.2019**		
	最大	**0.2201**	0.2602	**72 %**	58 %
(22,1)	平均	**0.2115**	0.2261		
皮膚病[24]	最小	**0.0146**	0.0215		
	最大	**0.0178**	0.0225	**96 %**	84 %
(34,6)	平均	**0.0158**	0.0222		
乳がん[24]	最小	0.0650	**0.0613**		
	最大	0.0716	**0.0652**	**95 %**	85 %
(30,1)	平均	0.0676	**0.0633**		

minimum spanning tree problems," Expert Systems with Applications 39, pp. 5681-5686, 2012.

[16] H. Katagiri, I. Nishizaki, T. Hayashida and T. Kadoma, "Multiobjective evolutionary optimization of training and topology of recurrent neural networks for time-series prediction," The Computer Journal 55, pp. 325-336 2012.

[17] J. Kluabwang, D. Puangdownreong and S. Sujitjorn, "Multipath Adaptive Tabu Search for a Vehicle Control Problem," Journal of Applied Mathematics, doi: 10.1155/2012/731623 [online], 2012.

[18] D.-C. Park, "Structure optimization of Bi-Linear recurrent neural networks and its application to ethernet network traffic prediction," Information Science, doi: 10.1016/j.ins.2009.10.005, 2009.

[19] D.V. Prokhorov, E.W. Saad and D.C. Wunsch,"Comparative study of stock trend prediction using time delay, recurrent and probabilistic neural networks," IEEE Transaction of Neural Networks 9, pp. 1456-1470, 1998.

[20] M.H. Sun, "A tabu search heuristic procedure for the capacitated facility location problem," Journal of Heuristics 18, pp. 91-118, 2012.

[21] B. de Vries and J.C. Principe, "A theory for neural networks with time delays," Proceedings of the 1990 Conference on Advance in Neural Information Processing Systems 3, San Francisco, CA, USA, pp. 162-168, 1990.

[22] A. Zeng, R. Goodman and P. Smyth, "Discrete recurrent neural networks for grammatical inference," IEEE Transactions on Neural Networks 5, pp. 320-330, 2008.

[23] "DoSS@d", http://mo161.soci.ous.ac.jp/@d/indexj.html, (online).

[24] "UC Irvine Machine Learning Repositor", http://archive.ics.uci.edu/ml/, (online).

連絡先

広島大学
林田　智弘
(E-mail: hayashida@hiroshima-u.ac.jp)
広島大学
西崎一郎
(Email：nisizaki@hiroshima-u.ac.jp)

多重知能とポジティブ心理学にもとづく最適人材選択システムの構築

Human Recruitment System Based on Multiple Intelligence and Positive Psychology

中岡　伊織[*1]　東出　浩教[*2]
Iori Nakaoka and Hironori Higashide
宇部工業高等専門学校[*1]　早稲田大学[*2]
Ube National College of Technology[*1] Waseda University [*2]

Abstract: In order to achieve a future business target and for eternal continuation and growth of a company, obtaining of human resources who shows performance is one of especially important element. Therefore, each company needs to employ talented people with natural virtue that improves atmosphere or raises a employee's motivation rather than needs to employ the talented people who are excellent only in capability. In this research, we describes the human recruitment model with consideration of capability and virtue, and relationship both capability, virtue and performance is clarified.

１．はじめに

近年，景気の悪化により従業員のリストラを行ったり，正社員として雇用するための新規採用者数を絞り込む企業が増加の傾向にある．採用は企業の人的資源の構成を決めるものであり，その企業の労働力の質と量を決定する．人材採用管理は企業活動の中核を構成し，かつ，中・長期の経営計画の遂行において非常に重要なファクターである．しかしながら，このような状況下においても企業が人材を採用しても，2~3 年で退職してしまうという若手社員の早期退職が問題になっている．その理由としては，本人の希望・やりがいと実際の会社における仕事のミスマッチや，社内における人間関係などがあげられる.そこで人材を採用する側である企業としては，いかに早期退職しない人材を採用するかということが必要とされている．一般に企業が人材を採用する際には主に，能力や徳(人間性)を重視して採用活動を行っている．能力では，学歴や各分野に対する能力，徳では協調性，リーダーシップ，コミュニケーション能力，創造性などがあげられる．そこで本研究では，能力や徳に着目し，企業において高いパフォーマンスをあげることができる社員を採用するためのモデルを構築することを目的とする．

２．多重知能理論

企業が人材を採用する際には，その人が持つ能力を最も重要視し評価を行う．人が持つ能力は専門分野に対する能力のみでなく，その対象範囲は非常に広い．そこで H. Gardner[1]は，人間の知能を多面的な角度からとらえる多重知能理論を提唱した．ガードナーはこの多重知能理論にて，人間には 7 つの異なる知能が存在するとした．具体的には，言語を学ぶ能力や目標を他制するために言語を用いる能力である言語的知能，問題を論理的に分析したり数学的な操作を実行する論理数学的知能，音楽的パターンの演奏や作曲,鑑賞のスキルに関する音楽的知能，問題解決や何かを作るために体を使う能力である身体運動的知能，広い空間の中の対象物を認識する能力である空間的知能,他人の意図や欲求を理解して，他人とうまくやっていく能力である対人的知能，自分自身を理解する能力である内省的知能に分類した．また，K. Tirri & P. Nkelainen[2]は，人間の多重知能を測るために，Hay や Bradford による精神性の定義にもとづいた精神的知能，および Gardner，Morris，Wilson による環境感受性スケールにもとづいた環境的知能を加えた 9 つの知能にもとづく調査指標を提案した．調査項目としては，言語的知能．論理数学的知能，音楽的知能，身体運動的知能，空間的知能，対人的知能，内省的知能，精神的知能については各 4 項目，環境的知能については 3 項目の計 35 項目存在する．本研究では表 1 に示すような，計 35 調査項目にもとづき,人材の能力を測ることとする．

表 1 多重知能理論にもとづく調査項目（一部抜粋）

書くことは私にとって自己表現するための自然な方法である
学校で私は数学や物理学,化学が得意だった
学校で,幾何学や空間認知を伴う課題は私にとって方程式を解くことより簡単だった
私は手先が器用である.
私は一度か二度曲を聞いたら、それをかなり正確にそれを歌ったり口笛でふいたりできる
知らない人ばかりの中でさえ、わたしは簡単に誰か話す相手を見つけることができる
私は私自身のなぜその行動や方法をとったのかを分析できる
忙しい日々の中でも、じっくり考えることは大切だと気づいている
私は自然と関連する美や経験を楽しんでいる

３．ポジティブ心理学

企業における人は非常に大きな経営資源の一つである．会社が成長していくには，全員が持ちうる能力を最大限に発揮するために，効率的な人材育成を行い，かつ，社内の雰囲気・ムードを良くするような人材を採用しなければならない．個人や社会を豊かなものにするポジティブ感情や強みについて研究する学術分野として M. Seligman[3]により提唱されたポジティブ心理学がある．このポジティブ心理学では人間の強みとしての特性として表 2 に示す 24 種類あげられている．本研究ではこのポジティブ心理学にもとづいた計 48 調査項目を利用することにより，人材の人徳を測ることとする．

表１　ポジティブ心理学にもとづく調査項目

創造性	公平さ
好奇心	リーダーシップ
向学心	チームワーク
柔軟性	寛容さ
大局観	慎み深さ
真情・誠実さ	思慮深さ
勇敢さ	自己調整
忍耐力	審美眼
熱意	感謝
親切心	希望
愛情	ユーモア
社会的知能	宗教性

４．人材評価モデル

本研究では探索的取り組みとして職種および年齢ごとに，個人として，およびグループにおいて高いパフォーマンスを発揮するためにはどの力が必要となるのかを明らかにする．そのため，まず人間の能力に関して検証を行う．本研究では調査対象職種をマーケティング，営業系，人事総務経理，経営・事業企画，IT 系（SE・NE など）の従事者の 5 つに分類し，年代は 20 代，30 代，40 代とし，各グループ約 50 名，計 780 名に対し能力・人徳・パフォーマンスに関してアンケート実験を行い，実務者の能力を調査した．

多重知能理論にもとづく調査結果の因子分析結果（因子負荷量）を表 3 に示す．表中において赤字で記しているものは，因子負荷量が 0.5 以上であることを示している．第 1 因子から順に，内省的知能，論理・音楽的知能，企画・フィードバック・可視化能力，空間的知能，身体運動的知能，対人的知能，環境・自然理解能力，理系能力が得られた．なお第 2 因子として得られた論理・音楽的知能は論理的知能と音楽的知能が一つの因子として得られているが，先行の多重知能理論を利用した研究でも同様の結果となっている．本研究では各因子にもとづいたスコアとポジティブ心理学にもとづくスコアを利用し，能力および人徳とパフォーマンスの関係を明らかにする．

表 3 能力に関する因子負荷量

	Factor1	Factor2	Factor3	Factor4	Factor5	Factor6	Factor7	Factor8
1	0.530	0.100	0.097	−0.059	0.015	−0.046	0.012	−0.053
2	0.192	−0.013	0.149	0.002	0.070	0.028	−0.026	*−0.476*
3	0.391	0.384	−0.266	0.014	−0.023	0.137	−0.029	−0.035
4	−0.048	0.244	0.593	0.026	0.066	−0.166	0.006	−0.053
5	0.010	0.082	0.083	−0.039	0.026	0.045	−0.024	*0.958*
6	−0.071	*0.567*	0.290	−0.015	−0.049	0.141	−0.013	−0.009
7	0.042	0.395	0.060	−0.074	−0.020	0.069	−0.035	0.203
8	−0.008	*0.543*	0.446	−0.032	−0.014	−0.109	−0.063	0.123
9	0.087	*0.470*	−0.129	0.153	0.029	−0.107	0.115	0.189
10	0.180	*0.599*	−0.049	−0.010	0.060	0.011	0.033	−0.043
11	0.300	*0.461*	−0.062	0.130	−0.022	−0.103	0.029	−0.075
12	0.280	0.058	0.194	0.160	0.060	−0.018	−0.011	0.047
13	−0.146	0.000	0.221	*0.825*	0.023	−0.020	−0.049	0.037
14	0.030	0.083	−0.115	*0.794*	0.000	0.006	−0.013	−0.016
15	0.062	0.393	0.169	0.081	−0.022	0.145	−0.067	−0.034
16	−0.069	0.000	−0.028	*0.933*	−0.027	−0.006	−0.024	−0.058
17	0.098	0.013	−0.170	0.041	*0.730*	0.092	−0.065	0.041
18	0.224	−0.128	−0.045	0.019	*0.726*	0.040	−0.072	0.038
19	−0.022	0.019	−0.052	0.071	*0.738*	0.002	−0.039	−0.006
20	−0.221	0.112	0.210	−0.143	*0.792*	−0.099	0.106	−0.040
21	0.123	−0.048	−0.148	−0.025	0.020	*0.901*	−0.113	0.068
22	−0.041	−0.034	0.104	0.021	0.024	*0.718*	−0.011	0.027
23	−0.196	0.175	0.045	0.001	−0.024	*0.612*	0.129	−0.097
24	−0.029	0.246	0.362	−0.041	0.008	0.322	0.027	−0.015
25	0.023	0.387	0.481	−0.053	0.025	−0.034	−0.042	−0.031
26	*0.510*	0.164	0.251	−0.089	−0.026	−0.075	0.018	0.045
27	*0.562*	0.145	0.078	−0.092	0.000	0.094	−0.085	−0.018
28	*0.558*	0.195	−0.005	0.032	−0.035	−0.027	−0.047	−0.023
29	0.148	−0.212	0.743	0.003	−0.090	−0.027	−0.024	0.058
30	0.317	−0.034	0.318	0.057	0.008	0.046	0.085	0.001
31	0.758	−0.143	0.082	−0.092	−0.001	−0.022	−0.027	0.031
32	0.141	−0.162	0.462	0.103	−0.047	0.123	0.068	0.062
33	0.235	−0.122	0.142	0.075	0.156	0.079	0.234	0.112
34	−0.038	0.010	−0.001	−0.061	−0.039	−0.073	*0.977*	−0.022
35	0.181	0.074	−0.146	0.054	−0.005	0.070	*0.505*	−0.005

５．おわりに

本研究では探索的取り組みとして，人材の能力の評価に多重知能理論，徳の評価にポジティブ心理学を用いて，人材のパフォーマンスとの関連性を明らかにした．企業はたくさんの人数で構成される組織であるため，今後は大量の採用候補の中から，最適な人材採用が可能とするシステムの構築に取り組みたい．

参考文献

[1] ハワード・ガードナー： MI：個性を生かす多重知能の理論，新曜社 (2001).

[2] K. Tirri, P. Nokelainen : Identification of multiple intelligences with the Multiple Intelligence Profiling Questionnaire III, *Psychology Science Quarterly*, Vol.50, No.2, pp.206-221 (2008).

[3] M. Seligman: “Authentic Happiness”, Nicholas Brealey Publishing (2004).

連絡先

宇部工業高等専門学校　経営情報学科
中岡 伊織
(Tel.: 0836-35-5130, E-mail: nakaoka ube-k.ac.jp)

テキストマイニングにもとづく ICT 企業の特許戦略分析

Patent Strategy Analysis of ICT Companies Based on Text-Mining

岡田　卓也[*1]　徳光　徹也 [*1] 中岡　伊織[*1]　朴　唯新[*2]　陳　韻如[*3]
Tetsuya Tokumitsu　Takuya Okada　Iori Nakaoka　Yousin Park and Yun-Ju Chen
宇部工業高等専門学校[*1]　県立広島大学[*2]　滋賀大学[*3]
Ube National College of Technology[*1] Prefectural University of Hiroshima[*2] Shiga University[*3]

Abstract: Japanese ICT companies still have been struggling with poor performance in spite of various management reforms since collapse of the bubble economy in the early 1990s. Therefore, we recognize the necessity to understand issues of their technology innovation strategies. Specifically, this paper discloses and analyzes patent strategies of Japanese large ICT companies, Sony, Sharp and Panasonic in smart phone market, whose share has increased in ICT industry.

１．はじめに

1990 年代初期まで強い競争力を保持していた日本の ICT 企業は，1991 年のバブル崩壊頃から多数の企業が業績不振に陥るようになった．日本の ICT 企業は競争力を回復させるために，直近 20 年間に人員削減や事業再編，協力企業との長期的な取引関係の見直しなどの様々な経営改革を実施してきたが，それらによって短期的には回復の兆しが現れたものの，持続的な競争優位を達成するには至らなかった．その理由としては，1. 日本の ICT 企業が過度な品質を追求し，イノベーションのジレンマに陥った[1] 2. デジタル家電製品のアーキテクチャが従来のすり合わせ型からモジュラー型に変化した[2] .3. デジタル家電製品が急速にコモディティ化(低価格化)し，苦労して開発した新製品から価値獲得に失敗してしまった[3]ことなどが議論されている．その中で我々は，日本の ICT 企業が技術開発戦略の方向性を見誤っているのではないかと考える．米国市場調査機関である Thomson Reuters 社が特許を用いて調査した 2012 年の世界 100 大革新企業の中には，多数の日本の ICT 企業（ソニーやシャープ，パナソニックなど）が上位に入っていることから，日本企業の技術開発能力が落ちているわけではない．むしろ，問題点は日本の ICT 企業が実施していた技術開発が経営成果に結びついていないと考えられることである．この仮説を検証するため，日本企業の技術開発戦略の方向性について他国の優良企業と比較検討する必要がある．本研究ではそのための探索的な取り組みの一つとして，日本の代表的 ICT 企業であるソニー・シャープ・パナソニックに着目し，これら企業の携帯電話およびスマートフォンに関連する特許戦略を明らかにする．携帯電話及びスマートフォン市場は，2007 年の Apple の iPhone の発表および発売により，その市場構造が大きく変化した業界の一つである．よって 2000 年以後のこの業界における各社の特許戦略とその変遷を可視化により明らかにし，その結果について検討する．

２．特許戦略

本研究では日本の ICT 企業の特許戦略を分析する．日本の特許情報は，全て特許庁における特許電子図書館（IPDL）にて管理されており，誰もが検索・閲覧することが可能となっている．各特許は IPC(International Patent Classification)，IPC を細分化した FI，F タームにおける分類コードが複数付与されている．中でも F タームは，特許情報（特許公報類）中に記載されている技術的事項を把握した上で，種々の技術観点（目的，用途，構造，材料，製法，処理操作方法，制御手段等）を付した F タームリストに照らして文献ごとに付与している．よって一つの文献には複数の F タームコードが付与されている．本研究では，特許情報分析（パテントマップ）からみた「スマートフォン」に関する技術開発実態分析調査報告書 CD-ROM 版[4]に記載されているスマートフォンに関係する特許に関する F タームを利用する．

３．各社の特許情報分析

3.1 特許公開件数による分析

一つ目のアプローチとしてスマートフォンに関係があるとされている全ての F タームに関する特許公開件数を図 1 に示す．図より Panasonic と Sharp は，ほぼ横ばいかわずかに上昇傾向を示している．対して Sony は 2009 年まで着実に特許公開件数を上昇させてきたが，それ以後大幅な下降傾向を見せていることがわかる．これは当該分野における Sony の特許申請件数に起因するものであり，企業内で何らかの方針転換があったものと推測される．

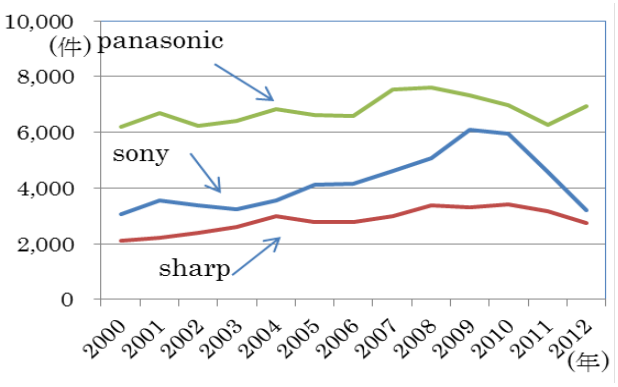


図１　各社における特許公開件数の推移

3.2 対応分析による分析

スマートフォンに関する一般的なワードと，各社の各年の特許戦略の関係性について対応分析を用いることで，各企業がどの年からスマートフォンに対応しだしたのか．また，フィーチャーフォンからスマートフォンへと市場が変化していく中でどのように戦略が変化したのか明らかにする．例として図 2 に Sony 図 3 に Panasonic の分析結果を示す．これらの図は特許が公開された日をベースに分析しているため，各社製品にその技術は反映されていると考えられる． Sony に着目すると，図 2 より Sony における各ワードは『縦型』に配置されており，2004 年以後，集中的にスマートフォン関連の特許を出している．また上述した 2007 年の iPhone ショックに合わせたかのように，2007 年 2008 年は多くの関係キーワードとの距離が近いことからも，業界の環境変化へ対応しようと試みていると考えられる．Panasonic に着目すると図 3 より年によって大きく戦略を変化させたというよりは既存の戦略を引き継ぎながら，戦略を修正させるインクリメンタルイノベーションを行っていることが見受けられた．また，Sharp においても同様の傾向が見られた．

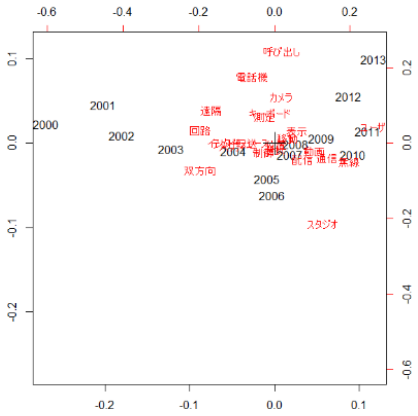


図 2　Sony における対応分析結果

図 3　Panasonic における対応分析結果

3.3 自己組織化マップによる分析

上述の対応分析を用いることにより一部のキーワード（20 個の F タームからワードを利用）と各社の各年の関係を明らかにすることができた．しかしながらこれらの結果は，総合的な評価を行えたとは言い難い．そこで自己組織化マップ（SOM）を用いることにより，より多次元のデータから分析を行うこととする．本研究では探索的な取り組みの一つとして，上位 100 位までの F タームより計 185 語を利用し分析を行う．図 4 より，Sharp と Panasonic は狭いエリアに各年が配置されているが，Sony は広いエリアに配置されていることが見受けられる．この点からも Sony は環境変化へ対応しようと技術開発戦略を様々に変化させようとしていることがわかる．

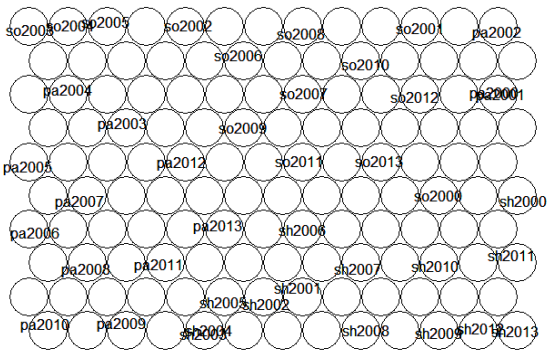


図 4 全社における自己組織化マップ

4．おわりに

本研究では日本の代表的 ICT 企業である Sony，Sharp，Panasonic におけるスマートフォン市場に対する特許戦略の推移を，対応分析および SOM を用いて可視化した．これらの結果より，Sony は市場の環境変化へ対応しようと様々な試みを行う探索（exploration）型企業と考えられる．Sharp，Panasonic は環境変化へ対応するのではなく，フィーチャーフォンで培った既存の戦略を維持する活用型（exploitation）型企業であると考えられる．今後は，日本のスマートフォンのシェアを考慮し Apple と Samsung を外国企業として分析対象に加え，二社についても同様の分析を行い，日本企業と比較を行う．

参考文献

[1] Christensen C. M. “The Innovator's Dilemma: The Revolutionary Book That Will Change the Way You Do Business”, HarperCollins (2003)
[2] 藤本隆宏，大鹿隆：製品アーキテクチャ論と国際貿易論の実証分析，経済産業研究所，06-J-015（2006）
[3] 延岡健太郎，伊藤宗彦，森田弘一：コモディティ化による価値獲得の失敗:デジタル家電の事例，経済産業研究所，06-J-017 (2005)
[4] パテントテック社．特許情報から見たスマートフォンに関する技術開発実態分析調査(2012)

連絡先

宇部工業高等専門学校　経営情報学科
中岡 伊織
(Tel.: 0836-35-5130, E-mail: nakaoka ube-k.ac.jp)

テキストマイニングにもとづく自動車企業の特許戦略分析

Patent Strategy Analysis of Auto Companies Based on Text-mining

徳光　徹也[*1]　岡田　卓也[*1]　中岡　伊織[*1]　朴　唯新[*2]　陳　韻如[*3]
Tetsuya Tokumitsu, Takuya Okada, Iori Nakaoka, Yousin Park and Yun-Ju Chen
宇部工業高等専門学校[*1]　県立広島大学[*2]　滋賀大学[*3]
Ube National College of Technology[*1] Prefectural University of Hiroshima[*2] Shiga University[*3]

Abstract: Japanese auto companies maintain their competitive advantages in the world regardless of worldwide financial crisis and global recession. Additionally it is deduced that dominant design in the industry changes from conventional petrol vehicles to new generation vehicles such as Hybrid Vehicle (HV). In particular, Toyota Motor Corporation (Toyota) is leading the entire Japanese auto industry, and Nissan Motor Company and Honda Motor Company are following Toyota. Moreover, Toyota has the largest HV market share in the world. Our purpose is comparing the three companies focusing on change of auto industry caused by HV unlike many of the other conventional research comparing Japanese auto companies at the corporate level. Specifically, this paper visualizes and compares their technology innovation strategies in the HV industry by using their patent documents as their ample source of technical and commercial knowledge.

１．はじめに

日本自動車メーカーは世界金融恐慌と世界同時不況の影響を受けているにもかかわらず，世界でもトップのシェアを誇っている．また現在，自動車業界は電気自動車やハイブリッド自動車などの次世代自動車の普及により，1909 年の T 型フォードの登場より続くドミナントデザインの変化が予想されている．図 1 は電気自動車 (EV)，プラグインハイブリッド自動車 (PHV)，ハイブリッド自動車 (HV) の普及率の推移を示しており，次世代自動車においては HV が他の 2 種より大きくリードしていることがわかる[1, 2]．HV 市場ではトヨタ自動車が競争優位を維持している．また，自動車業界全体でもトヨタ自動車の市場占有率が高く，次いで日産自動車，本田技研工業が後をつづくという現状である．

このような日本自動車メーカーの企業レベルでの国内または国際市場戦略を比較した研究は存在するものの，上述のような市場の変化を背景に技術開発の視点から分析したものは少ない．そこで本研究では，自動車メーカーの技術開発戦略について可視化することにより，各企業の特徴を明らかにすることを目的とする．また，可視化を行うにあたり企業の技術開発能力を表す指標である特許情報を利用し，各社の次世代自動車に対する技術開発戦略を明らかにする．具体的には，特許公開件数の推移データから各社の戦略の違いを明らかにする．さらに特許公開情報の形態素解析結果から，対応分析および自己組織化マップを用いた分析を行い，戦略の変化と特徴を比較検討する．

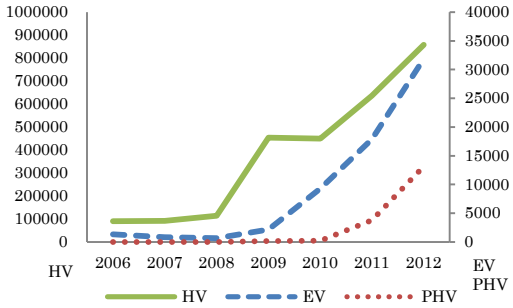


図 1　次世代自動車の普及率の推移

２．特許情報

日本の特許情報は，全て特許庁における特許電子図書館（IPDL：Industrial Property Digital Library）にて管理されており，誰もが検索・閲覧することが可能となっている．各特許は IPC（International Patent Classification），IPC を細分化した FI，F タームにおける分類コードが複数付与されている．中でも F タームは，特許情報（特許公報類）中に記載されている技術的事項を把握した上で，種々の技術観点（目的，用途，構造，材料，製法，処理操作方法，制御手段等）を付した F タームリストに照らして文献ごとに付与されている．よって一つの文献には複数の F タームコードが付与されている．本研究では，「特許検索ガイドブック～ハイブリッド自動車～」[3]で用いられたハイブリッド自動車関連の F タームが付与された特許を利用する．本研究で使用する HV 技術に関連する F タームの一部を表 1 に示す．

３．各社の特許戦略分析

本研究では探索的取り組みとして，トヨタ自動車，日産自動車，本田技研工業を出願人とする 2000 年から 2013 年までのハイブリッド自動車に関連する公開特許情報を，テキストマイニングすることに

表 1　HV 技術に関連する F ターム

F ターム	F タームテーマ
3D035	電気的推進装置の配置，取付け
3D039	動力伝達装置の配置～クラッチ，変速～
3D041	駆動装置の関連制御
3D034	動力伝達装置の配置～駆動
5H115	車両の電気的な推進･制御

より各社の特許戦略を分析する．なお，公開特許情報の形態素解析には MeCab を用いた．

３．１　特許公開件数によるアプローチ

一つ目のアプローチとして，HV の技術開発に関連する全ての F タームにおける各社の特許公開件数より分析する．特許公開件数の変化より，各社における技術開発への注力度を明らかにする．3 社におけるハイブリッド自動車関連の特許公開件数の推移を図 2 に示す．トヨタ自動車の公開件数が他 2 社を大きく上回っていることがわかる．また各社の特徴としては以下のことが見受けられる．トヨタ自動車は 2002 年から 2009 年まで件数を大幅に増やしているが，その後は減少している．公開件数の増加にはトヨタの人気車種であるプリウス（2 代目：2003 年発売，3 代目：2009 年発売，α：2011 年発売）やアクア（2011 年発売）との関連性が予想される．また，日産自動車は 2001 年から 2005 年までは増加し，その後は減少している．本田技研工業に関しては，堅調に推移している．

３．２　対応分析によるアプローチ

各社の HV に関連する技術戦略の推移と，各社の各年の特許戦略の関係性を明らかにする．HV 関連技術には，全ての HV 技術に関連する F タームの説明文書より，出現頻度の高い単語上位 24 個を採用した．例として図 3 にトヨタの分析結果を示す．

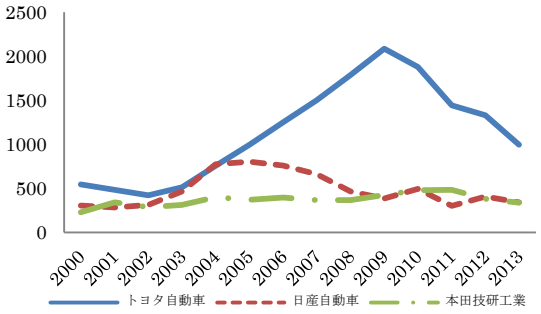


図 2　3 社における特許公開件数の推移

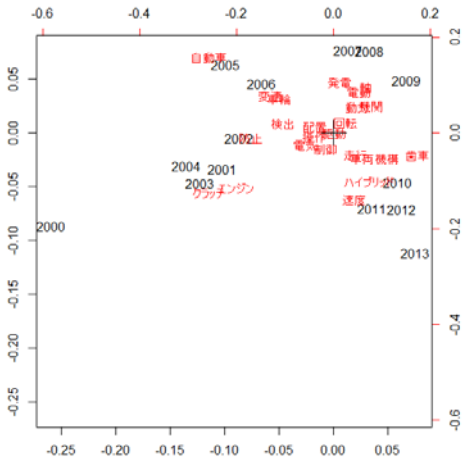


図 3　トヨタにおける対応分析結果

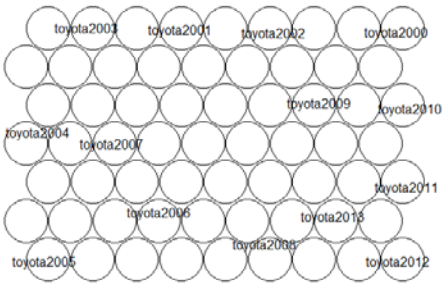


図 4　トヨタにおける自己組織化マップ

図 3 より，2001 年から 2004 年は「クラッチ」「エンジン」「防止」，2005 年から 2006 年は「自動車」「変速」「車輪」，2007 年から 2008 年は「発電」，「電動」「軸」「動力」「機関」，2010 年から 2012 は「歯車」「ハイブリッド」「速度」「機構」「走行」「車両」という技術と深く関係があることが見受けられる．このように，トヨタ自動車は，ある一定期間において技術戦略をシフトしていく傾向がある．

３．３　自己組織化マップを用いたアプローチ

上述の対応分析を用いた結果より HV 関連技術に関して各社の特許戦略を明らかにした．しかしながらこれらの結果は，一部の単語に関する特許件数からの分析であり，総合的な評価を行えたとはとは言い難い．そこで，全ての HV 技術に関連する F タームの説明文書より，出現頻度の高い単語上位 100 個を採用し，自己組織化マップを用いることにより，多次元的，包括的な分析を行う，例として図 4 にトヨタの分析結果を示す．図 4 より 2004 年から 2007 年は，それ以前以後のノードと離れていることがわかる．同時期には他時期と異なった戦略を行ったのではないかと予想できる．

４．おわりに

本研究では，日本自動車メーカー大手 3 社におけるトヨタ自動車，日産自動車，本田技研工業の特許戦略について推移を明らかにし，対応分析と自己組織化マップを用いてハイブリッド技術に関する各社の技術開発戦略の可視化を行った．今後は，本研究で得られた結果と実際の各社の特許開発戦略を比較・検討する必要がある．さらに，海外自動車メーカーにも分析の対象を広げ，日本自動車メーカーとの比較を行いたいと考えている．

参考文献

[1] 一般財団法人：自動車検査登録情報協会
[2] 一般財団法人：次世代自動車推進振興センター
[3] 特許庁：特許検索ガイドブック～ハイブリッド自動車～,2005

連絡先

宇部工業高等専門学校　経営情報学科
中岡 伊織
(Tel.: 0836-35-5130, E-mail: nakaoka ube-k.ac.jp)

康師傅のファジィ VRIO 分析

Fuzzy VRIO Analysis of Master Kong

賈　志聖
Chia Chih Sheng
大阪国際大学大学院
Graduate School of
Osaka International University

古殿　幸雄
Yukio Kodono
大阪国際大学
Osaka International University

Abstract: Tingyi (Cayman Islands) Holding Corp. (the “Company”), and its subsidiaries (the “Group”) specialize in the production and distribution of instant noodles, beverages and instant food products in the People’s Republic of China (“PRC”). The Group started its instant noodle business in 1992, and expanded into the instant food business and beverage business in 1996. In March 2012, the Group further expanded its beverage business, the strategic alliance between the Company and PepsiCo in the beverage business in the PRC was established. The Company is exclusively manufacturing, bottling, packaging, distributing and selling PepsiCo non-alcoholic drinks in China. In this paper, we try to research the success of management strategy and analyzed the VRIO analysis of the company, and we use fuzzy VRIO method to analyze the internal factors that Master Kong keep how to make the competitive advantage in China.

１．はじめに

康師傅株式会社と、その子会社（以下 ″康師傅″）は、中華人民共和国でインスタントラーメン、飲料、インスタント食品の生産と流通を専門に事業展開している[1]。康師傅は、1992年に即席麺事業を開始し、1996年にインスタント食品事業及び飲料事業に進出した。2012年3月に、康師傅は、一層の飲料事業の拡大を目指し、中国における飲料事業における康師傅とペプシコとの間で戦略的提携を行った。その結果、同社は、中国で製造、ボトル、パッケージ、配送、販売するまでを行うことで、ペプシコノンアルコール飲料を独占できるようになった。

康師傅の3つの主要な事業セグメントは、中国の食品業界のリーディングシェアを確立している。2012年12月の売上高に基づくと、康師傅は、インスタントラーメンとドリンク茶の市場で、それぞれ56.4％と44.2％の市場シェアを獲得した。

本論文では、康師傅の中国市場の発展と動向を分析することにより、その内部環境分析について考察する。

さて、企業の強みと弱みを分析するモデルを構築するため、マネジャーのスキル、組織リーダー、経済トレンド、そして企業成長といった要素をすべて統合した考え方が発展している。一般に、リソース・ベースト・ビュー（resource-based view of the firm；経営資源に基づく企業観）と呼ばれるこのフレームワーク[2]は、企業ごとに異質で、複製に多額の費用がかかるリソース（経営資源）に着目する。このような資源を獲得することで、企業は競争優位が獲得できると考える。

本論文では、ファジィ理論をVRIO分析[3]に応用することで、康師傅の内部環境分析を試みる。

２．ファジィVRIO分析

企業の経営資源の定義は、抽象度が高いため、企業分析に直接適用することは難しい。リソース・ベースト・ビューを企業分析に役立てるためには、より具体的なフレームワークを構築する必要がある。このフレームワークは、VRIO フレームワーク(VRIO framework)と呼ばれている。

VRIO フレームワーク分析のような定性分析には、ファジィ理論が有効であると考えられる。そして、ファジィ理論を VRIO 分析に応用することにより、より有効な企業戦略を策定でき、競争優位の構築と持続を維持できるのではないかと考えている。

まず、VRIO フレームワークについて触れておく。表１は、VRIO フレームワークである。VRIO 分析は、企業の経営資源を分析するために用いられる。VRIO 分析のフレームワークは、価値、稀少性、模倣困難性、組織の４つに区分されており、その区分ごとに

分析をすることで、企業の経営資源が競争優位をどれだけ持っているのかを把握できる。この４つの区分は、企業が従事する活動に関して発すべき４つの問いによって構成されている。

①価値に関する問い

「企業の保有する経営資源やケイパビリティは、企業が外部環境における脅威や機会に適応することを可能にするか」が、価値に関する問いである。

ある企業の経営資源に強みがあるためには、企業が保有する経営資源を活用することによって、外部環境における機会を捉え、脅威を無力化することができなければならない。超小型のエレクトロニクス製品をデザインし、製造販売するソニーの経営資源や、サブストレート、コーティングや接着剤で培った３Mの経営資源は、価値の高い経営資源である。

表1　VRIO フレームワーク

経営資源やケイパビリティ					
価値があるか	稀少か	模倣コストは大きいか	組織体制は適切か	競争優位の意味合い	経済的なパフォーマンス
No	-----	-----	Yes	競争劣位	標準を下回る
Yes	No	-----	↑	競争均衡	標準
Yes	Yes	No	↓	一時的競争優位	標準を上回る
Yes	Yes	Yes	No	持続的競争優位	標準を上回る

②稀少性に関する問い

経済性はあっても、数多くの競合企業が保有する経営資源は、競争優位の源泉にはなりにくい。ネットオークションやインターネット証券取引のシステム、POS システムは、価値のある経営資源であるが、多くの企業が保有しているため、このシステムを構築しただけでは競争優位の源泉にはなりにくい。

もっとも、多くの競合企業が保有する経営資源は、それが無価値なものであることを意味しない。価値はあるが稀少でないものは、業界における均衡状態を生み出し、企業の生存を保証するものと考えられる。この均衡の下では、特定の1社が他社に対して競争優位に立つことはないが、企業が生き残る条件である。また、業界全体が成長すれば、各企業の利益も増加する。

③模倣困難性に関する問い

価値があり、かつ稀少な経営資源は競争優位の源泉になるのは、経営資源の模倣が不可能であるか、不完全に模倣可能(imperfectly imitable)な場合である 。模倣困難な経営資源を最初に獲得した革新的企業は、持続的競争優位(sustainable competitive advantage)を手に入れることになる。

模倣するコスト上の不利をもたらす要因とは独自の歴史的条件、因果関係不明性、社会的複雑性、特許などである。

④組織に関する問い

価値があり、稀少で模倣困難な経営資源をもつ企業は、そうした経営資源を効率的に活用する組織を有していなければならない。組織に関する問いは、「企業は、自社が保有する経営資源が持つ潜在的ポテンシャルをフルに発揮するように組織されているか？」という問いである。

組織を構成する多様な要素が、この問いに対して重要な意味を持つ。主な要素としては、指揮・報告系統、マネジメント・コントロール・システム、報酬体系などがある。これらの要素は、単独では競争優位の源泉にはならないため、補完的な経営資源およびケイパビリティ(complementary resources and capabilities)と呼ばれている。

これらの４つの問いに対して、Yes、Noと答えることによって、企業の経営資源が競争優位をどれだけ持っているのかを判断する。しかし、４つの問いにYes、Noとはっきりと区分するよりは、どちらかと言えばYesであるとか、Noに近いなどの答えが出てくるものと考えられる。そこで、バーニーのVRIOフレームワークを基に、ファジィ概念を導入する。

表2は、４つの問いを入力値とし、競争優位を出力値としたものである。そこで、この４つの問いである「価値」、「稀少性」、「模倣困難性」、「組織体制は適切か」の各値に対して、どちらかと言えばYesであるとか、Noに近いなどの答えが入力されることになる。

表2　ファジィルールとメンバシップ関数

入力				出力
価値	稀少性	模倣困難性	組織体制は適切か	競争優位の意味合い
No	—	—	No	競争劣位
No	—	—	Yes	やや劣位
Yes	No	—	No	競争均等
Yes	No	—	Yes	やや競争均等
Yes	Yes	No	No	やや一時的競争優位
Yes	Yes	No	Yes	一時的競争優位
Yes	Yes	Yes	No	やや持続的競争優位
Yes	Yes	Yes	Yes	持続的競争優位

したがって、次のようなファジィルールを構成する。

① IF Value is No and Rarity is No and Imitability is Low and Organization is Not Good Then Competitive Advantages competitive Disadvantage.

② IF Value is No and Rarity is No and Imitability is Low and Organization is Good Then Competitive Advantage is Somewhat Competitive Disadvantage.

③ IF Value is Yes and Rarity is No and Imitability is Low and Organization is Not Good Then Competitive Advantage is Competitive Parity.

④ IF Value is Yes and Rarity is No and Imitability is Low and Organization is Good Then Competitive Advantage is Somewhat Competitive Parity.

⑤ IF Value is Yes and Rarity is Yes and Imitability is Low and Organization is Not Good Then Competitive Advantage is Somewhat Temporary Competitive Advantage.

⑥ IF Value is Yes and Rarity is Yes and Imitability is Low and Organization is Good Then Competitive Advantage is Temporary Competitive Advantage.

⑦ IF Value is Yes and Rarity is Yes and Imitability is High and Organization is Not Good Then Competitive Advantage is Somewhat Sustainable Competitive Advantage.

⑧ IF Value is Yes and Rarity is Yes and Imitability is High and Organization is Good Then Competitive Advantage is Sustainable Competitive Advantage.

これらのファジィルールを図示したものが表3である。

表3　ファジィルールにおける前件部のメンバシップ関数

ルール	価値	稀少性	模倣困難性	組織体制は適切か	競争優位の意味合い
①	No	—(No)	—(No)	No	Competitive Disadvantage
②	No	—(No)	—(No)	Yes	Somewhat Competitive Disadvantage
③	Yes	No	—(No)	No	Competitive Parity
④	Yes	No	—(No)	Yes	Somewhat Competitive Parity
⑤	Yes	Yes	No	No	Somewhat Temporary Competitive Advantage
⑥	Yes	Yes	No	Yes	Temporary Competitive Advantage
⑦	Yes	Yes	Yes	No	Somewhat Sustainable Competitive Advantage
⑧	Yes	Yes	Yes	Yes	Sustainable Competitive Advantage

３．康師傅のファジィ理論の特徴分析

ここでは、康師傅に対して、VRIOフレームワークに基づいて[4]ファジィVRIO分析を行う。

康師傅に対するファジィVRIO分析は、以下のように考えられる。

（１）価値の分析

康師傅は、台湾出身の魏応州氏が率いている。親日家の多い台湾出身であることに関係があるかも知れないが、日本企業との関係も深い。例えば、インスタントラーメンではサンヨー食品と、飲料ではアサヒ飲料と提携している。この他に、伊藤忠商事、カゴメ、日本製粉、亀田製菓などとも提携している。

康師傅のこれまでの成長の経緯は、中国の１人当たりGDPが1,500ドルを超えたあたりから生産設備と人員を一気に増加させている。このように、中国の消費水準の向上と共に成長してきた。今後も良くなったり悪くなったりといった景気変動は考えられる。しかし、そうした循環的な外部環境の変化よりも、もっと大きな構造変化、つまり「長年の高成長から、ようやく消費が爆発的に拡大する段階に入った」という大きな変化を捉え、これからも順調に規模を拡大させていくと予想できる。

このような観点で考えれば、「価値」は高いと判断できる。

（２）稀少性の分析

康師傅は、台湾の頂新グループの傘下企業である。頂新グループは魏一族が設立し、1950年代から台湾で油脂加工業を営んできたが、1988年に内モンゴルに加工工場を設立するなど、早い時期から中国大陸に進出した台湾企業として知られている。

1991年、頂新グループは「康師傅」を設立し、牛肉の醤油煮麺を主力商品とする即席麺の生産に乗り出した。「健康なコックさん」という意味の「康師傅」が、連日中国最大のテレビ局（CCTV）のCMに登場するという絶大な宣伝効果もあって、「康師傅」は3年で中国最大の即席麺メーカーに成長、1996年に香港証券取引所への上場を果たした。これは企業の稀少性を意味している。

即席麺は、様々な企業が存在していることも考慮して、稀少性は「ある程度有している」と判断できる。

（３）模倣困難性の分析

康師傅は、商標登録と保護戦略についてかなり重視している。中国の市場現状としては、模倣品を作る模倣業者は、全く同じ分野で同じものを作ることもあるし、或いは別の商品の分野で有名なブランドを登録して、それを悪用するケースもある。そのため消費者は、全く混合して誤認する様な結果となる。

商標保護のため、康師傅は、45種類の分野と商品を全て商標登録している。45 種類のカテゴリー、区分があって、その区分の中でまた細かい対象があるが、康師傅は、それらを全て登録したのである。

また、康師傅は、特許、著作権、商標権、名称、商号などを先取得して、それに対して保護する戦略を行っているので、これを十分利用する事によって、

かなり大きな効果が得られると考えられる。
康師傅が知的財産権に関する保護を行うことによって。他業者は模倣することが困難になる。したがって､｢模倣困難性｣は｢ある程度優位｣と判断する。
（４）組織の分析
台湾から中国大陸へ渡り、1992年にインスタントラーメンの生産を始めた「康師傅」の創業者、魏応州董事長は「企業の発展はチームワークが大切。マーケティング、生産、品質管理、営業などすべての部門が協力しなければ実現しない」と社内で繰り返し説いている。
康師傅がサンヨー食品と提携し、サンヨー食品から生産管理や品質管理の指導を受けたことで、成長が続いた。さらに、伊藤忠商事と提携し、飲料事業でのアサヒ飲料であり、野菜ジュース事業でのカゴメであり、パン事業でのパスコである。伊藤忠自身も、傘下のコンビニエンスストア「ファミリーマート」の中国展開では康師傅と合弁を組んでいる。日本企業の持つ資金力や信用力、技術力を利用し、中華圏におけるマーケティング能力や、中国人の社員教育のノウハウを持っている。
また､康師傅グループは、世界2位の食品飲料品メーカーであるペプシと戦略提携することに合意した。康師傅はペプシとの戦略提携によって実力を強化し、中国市場での優位を保ち、市場の拡大に従って長期的成長を続ける可能性を高めた。
したがって､｢組織｣に関しては｢やや適切である｣と判断できる。（表４）

表４　VRIO 康師傅のフレームワーク

康師傅の経営資源やケイパビリティ					
価値があるか	稀少か	模倣コストは大きいか	組織体制は適切か	競争優位の意味合い	経済的なパフォ-マンス
Yes	やや Yes	やや No	やや Yes	一時的競争優位	標準を上回る

以上の分析により、ファジィ推論を行った結果、「競争優位の意味合い」の項目は｢持続的競争優位」がかなり高いという結果となっている。(図１）つまり､康師傅が現段階の経営状況や経営企画･戦略は、適切であると考えられる。

４．結び
康師傅は、即席麺とペットボトル飲料で圧倒的なブランド力を持つ、中国を代表する食品メーカーである。市場シェアについて、康師傅の主要飲料製で品であるボトル入りの茶飲物とミネラルウォーターは市場1位であり、それぞれのシェアは45.8％と17.8％である。果汁飲料は19.3％のシェアで市場2位である。即席麺は55.7％のシェアで市場1位である。
本論文では、ファジィVRIO分析を提案し、このファジィVRIO分析を用いて、康師傅の経営状況、方針などについて検討した。その結果、中国市場において、競争優位の維持が出来ていることを明らかにした。

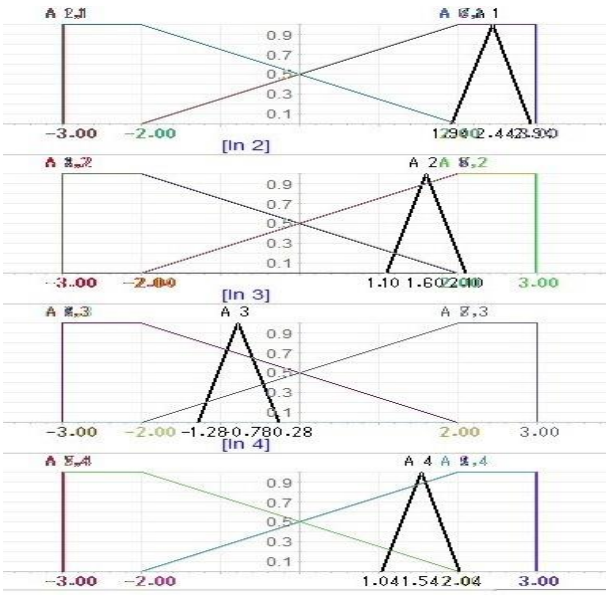


図１(a)　康師傅のファジィVRIO分析（入力値）

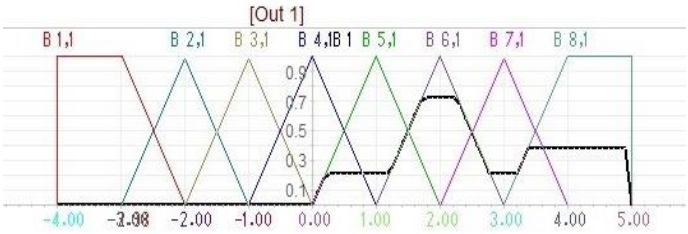


図１(b)　康師傅のファジィ VRIO 分析(出力値)

参考文献

[1] 翁望回『策略管理與競爭優勢』華泰文化出版社 2008 年
[2]Jay B.Barney:Gainingand Sustaining Competitive Advantage.(岡田正大訳『企業戦略論』上巻，ダイヤモンド社 2013 年)
[3] 陳・古殿：中国 BYD 自動車のファジィ VRIO 分析，日本知能情報ファジィ学会第 29 回ファジィシステムシンポジウム講演論文集，pp.373-378, 2013.
[4]賈・古殿：康師傅の経営戦略分析，日本知能情報ファジィ学会第 29 回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp. 369-372, 2013.

連絡先

大阪国際大学大学院経営情報学研究科
賈志聖：(Tel.: 072-858-1616, E-mail: d13m01@oiu.jp)

Type-2 Linguistic Random Regression Model

Fei Song
Waseda University
songphei@gmail.com

Shinya Imai
Waseda University
shinimai@violin.ocn.ne.jp

Junzo Watada
Waseda University
junzow@osb.att.ne.jp

Abstract: Information is sometimes given in in linguistic terms in real life vague in meaning. Thus, type-1 fuzzy set is introduced to modulate this uncertainty. Same words may give various meaning to people, where the uncertainty also exists when associated with the membership function of a type-1 fuzzy set. Type-2 fuzzy set is invented to express the hybrid uncertainty of both primary and secondary fuzziness. We built a type-2 Linguistic Random Regression Model based on credibility theory, which is more desirable with employing confidence intervals to deal with such hybrid uncertainty. It could accept random input and output and give a rise to a nonlinear programming problem focus on a well-trained model, which would be helpful and useful in linguistic assessment cases.

1. Introduction

Fuzzy sets play a pivotal role in computing with words being casted in the setting of granular computing [1]. Information granules are regarded as collections of elements that can be perceived and treated together because of their similarity, functional properties, or spatial or temporal adjacency [2], [3], [4]. In this sense, fuzzy logic becomes instrumental as an effective vehicle to manipulate information granules.

Most of the existing studies on modeling fuzzy regression analysis have focused on data consisting of numeric values, interval-like numbers, or fuzzy numbers without taking randomness into consideration. In practical situations, there exists a genuine need to cope with data that involve the factors of fuzziness and probability. For example, let us discuss experts' evaluation of products. Assume that we have 100 samples of the same agricultural product. Suppose five inspectors (experts) evaluate the products on the basis of ten attributes. Each expert grades each piece according to his experiences and expertise. These gratings are given linguistically, e.g., good, very good, bad, and very bad, or about 5, about 6, etc. When different inspectors give different grades, the grading can be understood stochastic in its nature, i.e., the differences among the five inspectors can be treated statistically, but each grade itself should be treated by considering the formalism of fuzzy sets. When we intend to build a multi-attribute model of the experts' evaluation, we have to consider this twofold uncertainty, i.e., uncertainty due to both fuzziness and randomness. Therefore, in the example considered here, fuzzy random data should be employed to evaluate the products. Moreover, if we measure the change of the fuzzy random values using their confidence intervals, we can handle the multi-attribute problem by taking advantage of statistical analysis.

2. Type-2 Fuzzy Set

Type-2 fuzzy sets were first described by Zadeh as a development for his fuzzy set theory. Type-2 fuzzy sets are "sets whose membership grades are themselves type-1 fuzzy sets". A type-2 fuzzy set, denoted by $\tilde{A}$, can be defined at the universe X as

$$\tilde{A} = \int_{x\in X}\int_{x\in J_x} \mu_{\tilde{A}}/(x,u)$$

where $J_x \in [0,1]$ is the set of primary membership grades of $x \in X$, with $u \in J_X, \forall x \in X$ and $\mu_{\tilde{A}}(x,u)$ is the type-2 membership function [5].

3. Creditability Theory

The motivation behind the introduction of the credibility measure is to develop a certain measure, which is a sound aggregate of the two extreme cases, such as the possibility (which expresses a level of overlap and is highly optimistic in this sense) and necessity (which articulates a degree of inclusion and is pessimistic in its nature). Based on credibility measure, the expected value of a fuzzy variable is presented as follows:

$$E[Y] = \int_0^\infty Cr\{Y \geq r\}dr - \int_{-\infty}^0 Cr\{Y < r\}dr$$

provided that at least one integral is finite.
Let ε be a fuzzy random variable with expected value e. Then, the variance of ε is defined by $V[\varepsilon] = E(\varepsilon - e)^2$.

4. Linguistic Model

TABLE I
LINGUISTIC VALUES OF EACH SAMPLE ω GIVEN BY EXPERTS

sample	Input Attribute k-th Value			Output Value
	1	⋯	K	Y
1	(L_{11}, p_{11})	⋯	(L_{1K}, p_{1K})	(Y_1, p_1)
2	(L_{21}, p_{21})	⋯	(L_{2K}, p_{2K})	(Y_2, p_2)
3	(L_{31}, p_{31})	⋯	(L_{3K}, p_{3K})	(Y_3, p_3)
4	$(good, 0.2)$	⋯	$(very\ good, 0.1)$	$(good, 0.1)$
⋮	⋮		⋮	⋮
ω	$(L_{\omega 1}, p_{\omega 1})$	⋯	$(L_{\omega K}, p_{\omega K})$	(Y_ω, p_ω)
⋮	⋮		⋮	⋮
N	(L_{N1}, p_{N1})	⋯	(L_{NK}, p_{NK})	(Y_N, p_N)

where $L_{\omega K}$ and Y_ω denote linguistic values of input k-th attribute and output value of ω-th sample, respectively.

We built a model based on the relationship between the assessments given for different attributes and the overall assessment of the object

totally. Watada et al. [6] propose fuzzy random regression model with confidence interval to deal with situations under hybrid uncertainty. The data given by experts are shown in Table 1 such as good, bad, extremely bad, as fuzzy random numbers. Then, we translate attributes from linguistic values L_i into fuzzy grades X_L making use of triangular membership functions:

$$X_L \equiv (a, b, c)$$

where X_L denotes the representative value of the fuzzy event, a is the central value and b, c are the left-side bound and right side bound, respectively. The estimation of the total assessment is written by the following fuzzy assessment function:

$$Y_i = f(X_{Li1}, X_{Li2}, \dots, X_{LiK})$$

where i = 1, 2...N , is the number of experts, K is the number of the attributes of the object.

5. Vertical Slice Reduction

Vertical Slice Centroid Type-Reduction (VSCTR) is a highly intuitive method employed by John [7]; the paper of Lucas et al. [8] renewed interest in this strategy. In this approach the type-2 fuzzy set is cut into vertical slices, each of which is defuzzified as a type-1 fuzzy set. By pairing the domain value with the defuzzified value of the vertical slice, a type-1 fuzzy set is formed, which is easily defuzzified to give the defuzzified value of the type-2 fuzzy set.

6. Type-2 Credibility Based Regression

Let us denote fuzzy linear regression model with fuzzy coefficients $\bar{A}_1, \dots, \bar{A}_K$ as follows:

$$\bar{Y}_i = \bar{A}_1 X_{i1} + \cdots + \bar{A}_K X_{iK}$$

In this study, we employ the confidence-interval based inclusion, which combines the expectation and variance of fuzzy random variables and the fuzzy inclusion relation satisfied at level h, to deal with this model above as discussed in [2], [9].

We consider the one-sigma confidence interval of each fuzzy random variable, we can express it as the following interval:

$$I\left(e_{X_{ik}}, \sigma_{X_{ik}}\right) = [E(X_{ik}) - \sqrt{Var(X_{ik})}, E(X_{ik}) + \sqrt{Var(X_{ik})}]$$

Then, the new confidence-interval-based fuzzy random regression mode is built as follows:

$$\begin{cases} min_{\bar{A}} \;\; J(\bar{A}) = \sum_{k=1}^{K} (\bar{A}_k^r - \bar{A}_k^l) \\ subject\ to \qquad \bar{A}_k^r \geq \bar{A}_k^l \\ \bar{A}_i = \sum_{k=1}^{K} \bar{A}_k I\left(e_{X_{ik}}, \sigma_{X_{ik}}\right) \supset_h I(e_{Y_i}, \sigma_{Y_i}) \end{cases}$$

The solution of model can be rewritten as a problem of N samples with one-output and K-input interval values. This problem is difficult to solve, since it consists of NK products between the fuzzy coefficients and confidence intervals. Type-2 fuzzy regression model can be developed to include the mean interval values of all samples in the model. Therefore, it is sufficient and necessary to consider only both two vertices of the end points of the interval of each dimension of a sample. For example, one sample with one input interval feature can be expressed with two vertices of the end points of the interval with a fuzzy output value.

7. Conclusion

In this paper we built a model for transferring linguistic data to type-2 fuzzy data and importing random regression model, in the end recover the result to linguistic data. After talking about type-2 fuzzy set and reduce function as well as linguistic transform, we use expectations and variances of fuzzy random variables to construct the confidence interval based fuzzy random data. The proposed vertices method can convert the original fuzzy random regression to a conventional fuzzy regression, with the heuristic algorithm, integrates linear programming and vertices checking, which enables us to handle the proposed regression by solving a series of linear programming problems.

参考文献⑨

[1] L. A. Zadeh, “What is Computing with Words,” Computing with Words in Information /Intelligent Systems, pp. VIII-IX, 2006.

[2] S. Li, S. Imai, J. Watada, “Building Linguistic Random Regression Model and its Application,” Proceedings of the International Conference on Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems KES-IDT, 2012.

[3] W. Pedrycz, “Computational Intelligence as an Emerging Paradigm of Software Engineering,” Proceedings of SEKE 2002, Ischia, Italy, July 15-19, pp. 7-14, 2002.

[4] J. Watada, W. Pedrycz, “A Fuzzy Regression Approach to Acquisition of Linguistic Rules,” Handbook of Granular Computing, pp. 719-732, 2008.

[5] J. M. Mendel and R. I. B. John, “Type-2 fuzzy sets made simple,” IEEE Transactions on Fuzzy Systems, vol. 10, no. 2, pp. 117-127, 2002.

[6] S. Imai, S. Wang, J. Watada, “Regression Model Based on Fuzzy Random Variables,” KES 2008, Part III. LNCS (LNAI), vol. 5179, pp.127-135, 2008.

[7] R. I. B. John, “Perception Modelling Using Type-2 Fuzzy Sets,” PhD Thesis, De Montfort University, 2000.

[8] L. A. Lucas, T. M. Centeno and M. R. Delgado, “General type-2 fuzzy inference systems: analysis, design and computational aspects,” Proceedings of FUZZ-IEEE 2007, pp. 1743-1747, 2007.

[9] J. Watada, S. Wang, W. Pedrycz, “Building Confidence-interval-based Fuzzy Random Regression Model,” IEEE Transactions on Fuzzy Systems vol. 11, no. 6, pp. 1273-1283, 2009.

Using k-Nearest Neighbors Algorithm to Solving Imbalanced Classification Problems

Zhigang XIONG
Waseda University

Junzo WATADA
Waseda University

Abstract: In this paper, for solving imbalanced classification problem, we pay more attention on examples in the boundary area between two classes. The fuzzy k-nearest neighbors algorithm is adapted to solve imbalanced classification problems.

1. Introduction

All famous classification algorithms assume dataset are almost evenly distributed among different classes. But, in imbalanced dataset, the majority class shares a very large portion among all. Some studies[1,2,3] show that conventional classification algorithms cannot work well for imbalanced classification problem.

Fuzzy KNN algorithm is extended from KNN algorithm by using fuzzy sets as the label of examples called fuzzy label. Keller et al. propose one fuzzy kNN algorithm[4]. Study[5] shows that Fuzzy KNN usually obtain better results than conventional KNN algorithm. However, this kind of extensional kNN still do not suit for imbalance problems. Hence, in this paper the authors try to find one light fuzzy kNN method, which would have good performance in the imbalanced classification problems.

2. Background knowledge

In kNN algorithm, we can use following equation to vote out the predicated class label for any unlabeled example.

$$C(x) = \underset{c}{\operatorname{argmax}} \sum_{i=1}^{k} s_i \times I(c = C(x_i))$$

where C returns the label of certain example, and I is an indicator function which returns 1 if its argument is true. And s_i represents the similarity between x and xi. Usually we use invert-distance as the similarity where $s_i = 1/d_i$

In fuzzy kNN algorithm, case, we use fuzzy number as class labels to let the classifier becomes more accurate. Hence we should define the membership function for those examples in training set. Then we can use fuzzy number's operations to predicate class label for unlabeled examples in a testing set. In [4], Keller et al. propose a good membership function as follows.

$$\mu_j(x) = \begin{cases} 0.51 + (n_j/k) * 0.49 & if \quad j = i \\ (n_j/k) & if \quad j \neq i \end{cases}$$

where both i and j represent the crisp class label of an example, while n_j means the number of examples with label j in k neighbors. Thus for each example in the testing set, we can use the following function to calculate the possibility of an example belonging to each class c.

$$\mu_c(x) = \frac{\sum_{i=1}^{k} \mu_{ci} \times s_i}{\sum_{i=1}^{k} s_i}$$

where u_{ci} represents the possibility of example i belongs to class c, and s_i is the similarity of example x_i. Usually the predicated output of a fuzzy-kNN classifier is the class with largest possibility among all alternative classes.

3. Proposed method

Looking at those examples in the boundary area between majority and minority classes, we find they can be grouped into two types. One type is the number of neighbors belonging to majority and minority class are almost equivalent, while another type is examples belonging to majority class are significantly more than examples belonging to minority class. For the first, conventional fuzzy-kNN classifiers can work well because the neighbors belonging to both classes are balanced in such local area. On the other hand, in the case of the second type, the predicated result will be always 0, which means such an example is identified as a member of majority class. Therefore, we should find another way to define the membership function which suits imbalanced classification problems.

In conventional fuzzy-kNN algorithm, the classifier is overly biased in favor of majority class, which is reflected in the term of 0.49* (n_j/k). The majority class gains advantage at this term in any neighbors. Such that we should reduce the influence it brought. Assume the memberships to minority and majority classes in a certain local area as written below, where the average proportion of minority examples among k neighbors is n^+ and majority class is n^-.

$$\text{Minority class: } \mu_c = \begin{cases} a & if \quad c = 1 \\ 1 - a & if \quad c = 0 \end{cases}$$

$$\text{Majority class: } \mu_c = \begin{cases} b & if \quad c = 0 \\ 1 - b & if \quad c = 1 \end{cases}$$

Hence, for an unlabeled example in such an area, the membership of class label is

$$\mu_c = \begin{cases} a * n^+ + (1-b) * n^- & if \quad c = 1 \\ b * n^- + (1-a) * n^+ & if \quad c = 0 \end{cases}$$

Intuitively, the output class label is depended on the values of both a and b. Supposing b=0.51, we can easily have that the possibility of belonging to two classes reaches the same while a=0.50+0.01* (n^-=n^+). Then we define the membership function to blur the class label of examples, in the training dataset as

$$\text{Minority class: } \mu_c = \begin{cases} 0.5 + 0.01 * (n^-/n^+) & if \quad c = 1 \\ 0.5 - 0.01 * (n^-/n^+) & if \quad c = 0 \end{cases}$$

Majority class: $\mu_c = \begin{cases} 0.51 & if \quad c = 0 \\ 0.49 & if \quad c = 1 \end{cases}$

How to get the n^- and n^+ in a certain local area is a trouble. Actually, we cannot exactly know either of them. Here, we propose one way to approximately calculate the label's membership for examples in a training set, seeing Algorithm1.

Algorithm 1 Calculate membership for each example in a training dataset

Input:
A certain k as the number of neighbors
Output:
The membership of each example e_i in the training set as μ_c^i

1: **for** each example e_i in the training set **do**
2: Get $k-1$ neighbors in the traning set of point e_i as $\{x_1, \cdots x_{k-1}\}$.
3: **Calculate** the proportion n_i^- of majority class in set $\{x_1, \cdots x_{k-1}, e_i\}$, and the proportion n_i^+ of minority class.
4: **end for**
5: **for** each example e_i in the training set **do**
6: **if** e_i belongs to majority class **then**
7: **Assign** $\mu_c^i = \begin{cases} 0.51 & if \quad c = 0 \\ 0.49 & if \quad c = 1 \end{cases}$
8: **else**
9: Get $k' = \lfloor \sqrt{2}k \rfloor$ neighbors in the training set of point e_i as $\{x_1, \cdots, x_{k'}\}$.
10: **Calculate** average value of n_i^- and n_i^+ for all examples in $\{x_1, \ldots, x_{k'}, e_i\}$ as $\widetilde{n_i^-}$ and $\widetilde{n_i^+}$.
11: **Assign** $\mu_c^i = \begin{cases} 0.5 + 0.01 * \left(\widetilde{n_i^-} / \widetilde{n_i^+}\right) & if \quad c = 1 \\ 0.5 - 0.01 * \left(\widetilde{n_i^-} / \widetilde{n_i^+}\right) & if \quad c = 0 \end{cases}$
12: **end if**
13: **end for**

Using above algorithm, we can obtain the membership of class label for each example in the training set. Then we compute the output membership for any unlabeled examples, seeing Algorithm2, where the highest possibility is the output of our classifier.

Algorithm 2 Predicate a certain label

Input:
A certain point x.
Output:
The predicated class label.

1: **Calculate** the membership for all examples in the training set, using *Algorithm1*.
2: Get k neighbors of such point x from training set as $\{x_1, \cdots, x_k\}$.
3: **Calculate** membership of $\mu_c(x)$ following the weighted function in Equation (2).
4: **Un-fuzziness** the fuzzy label $\mu_c(x)$ and output one class label for x.

4. Experimental results

We obtain an encrypted semiconductor products dataset from Intel. According to the introduction, the minority class is those defective products, while the majority class contains all qualified ones. And the dataset structure is shown below.

Table 2. Structure of Intel dataset.

Attributes	class label	category	feature1	feature2
Traning Data	0, 1	$1 \sim 210$	$174610 \sim 261970$	$174650 \sim 278140$
Testing Data	0, 1	$1 \sim 210$	$180800 \sim 299370$	$176670 \sim 301770$

In above table, the class label 0 indicates such a kind of products have good performance, while the class label 1 represents for defective products. The second attribute "category" is some identity of examples like batch number of products. The last two attributes in that table are two measurements of each product. Then we count the statistics for both training and testing sets.

Table 3. Statistics of Intel dataset.

	qualified products	defective products	total products	ratio of defective/total
Traning Data	107, 424	8, 890	116, 314	0.076
Testing Data	107, 529	8, 821	116, 350	0.076

Here we treat Euclidean distance as the similarity between two instances. We take k from 20 to 30 to test our proposed method, seeing Table 4. And our classifier reaches the best performance when k=24 with the highest G-mean 88.1%. Both TPR and TNR in all experiments are higher than 0.8 means neither TPR nor TNR is neglected. Then we compare with the results of other approaches described in [6,7] on the same dataset, as shown in Table 5.

Table 4. Experiments of proposal algorithm.

k	TPR	TNR	G-meanl
20	88.5%	86.5%	87.5%
21	88.6%	86.6%	87.6%
22	88.8%	87.2%	88.0%
23	88.9%	86.9%	87.9%
24	88.9%	87.4%	88.1%
25	88.9%	86.4%	87.7%
26	89.1%	86.1%	87.6%
27	89.1%	86.6%	87.8%
28	89.2%	86.0%	87.5%
29	89.3%	85.9%	87.6%
30	89.3%	85.6%	87.4%

Although our method does not give the best results, it can be regard as a good alternative method of others thanks for the good performance. Furthermore, our method is meaningful because we extending the conventional fuzzy-kNN classification method without doing any preprocessing on original dataset to let it be able to solve imbalanced problems.

Table 5. Comparing with other approches.

Model	G-mean	Model	G-mean
SVM-RBF	79.0%	PSO-SVM	88.4%
MIPS	87.8%	TSLM-ANN	87.9%
ANN	63.4%	PSO-LSSVM	82.4%
GASVM	88.1%	Proposed fuzzy kNN	88.1%

References

[1] Gary M.Weiss: Learning with rare cases and small disjuncts, Proceedings of 12th International Conference on Machine Learning 1995, pp.558-565.

[2] Miroslav Kubat, Robert C. Holte, Stan Matwin: Machine learnin for the detection of oil spills in satellite radar images, Machine Learning 1998, Volume 30, Issue 2-3, pp 195-215.

[3] Tom Fawcett, Foster Provost: Adaptive fraud detection, Data Mining and Knowledge Discovery 1997, Volume 1, Issue 3, pp 291-316.

[4] Keller J M, GrayMR, Givens J A: A fuzzy k-nearest neighbor algorithm, Systems, Man and Cybernetics, volume 15, no 4, pp. 580-585.

[5] Sarkar M: Fuzzy-rough nearest neighbor algorithms in classification, Fuzzy Sets and Systems, 2007, Volume 158, Issue 19, pp. 2134-2152.

[6] Watada J, Lin L C, Ding L, et al: A Rough-Set-Based Two-class Classifier for Large Imbalanced Dataset, Advances in Intelligent Decision Technologies. Springer 2010, pp. 641-651.

[7] Lei Ding, JunzoWatada, Lim Chun Chew, Zuwairie Ibrahim, LeeWen Jau and Marzuki Khalid, A SVMRBF Method for Solving Imbalanced Data Problem, ICIC-EL 2010, volume 4, no.6 (B) 2419-2424.

索　引　（論文集）

A

安達 康生 (大阪国際大学)： 107
赤間 世紀 (C-Republic)： 43, 51
荒木 智行 (広島工業大学)： 57

C

陳 韻如 (滋賀大学) ： 135, 137
陳 法恩 (大阪国際大学)： 37
CHEN, Di (Waseda University)： 19

E

遠藤 靖典 (筑波大学)： 63

F

FENG , Xioyan (Waseda University)： 23
藤本 勝成 (福島大学)： 125
福本 尚生 (佐賀大学)： 67, 91
古川 達也 (佐賀大学)： 67, 91

G

GUO, Yunglong (Waseda University)： 27

H

林田 智弘 (広島大学)： 129
東出 浩教 (早稲田大学)： 133
HSIA, Eugen (Waseda University)： 23
HUNGMING , Hung (Waseda University)： 111

I

IDENO , Takashi (Waseda University)： 95
池ヶ谷 紘正 (法政大学)： 73
IMAI, Shinya (Waseda University)： 143
稲井田 次郎 (日本大学)： 53
井上 勝雄 (広島国際大学)： 85
井上 太一 (佐賀大学)： 69
乾口 雅弘 (大阪大学)： 1, 43, 51, 115
伊藤 秀昭 (佐賀大学)： 31, 69, 67, 91

K

神田 未来 (広島工業大学)： 57
北口 樹 (室蘭工業大学)： 105
古殿 幸雄 (大阪国際大学)： 37, 139
工藤 康生 (室蘭工業大学)： 43, 51, 105
熊谷 美月 (広島国際大学)： 85
楠木 祥文 (大阪大学)： 93
KITAGAWA, Hanayuki (Waseda University)： 23

L

LI , Jingru (Waseda University)： 123

M

松田 修三 (法政大学)： 99, 73
松田 充夫 (大島商船高等専門学校)： 61, 99
松浦 崇 (広島工業大学) (広島工業大学)： 57
賈 志聖 (大阪国際大学)： 139
宮本 定明 (筑波大学)： 43, 51, 63
MELO, Haydee (Waseda University)： 17
宮武 直樹 (千葉科学大学)： 73, 99
水野 洸希 (室蘭工業大学)： 105
村井 哲也 (北海道大学)： 105, 43, 51
MURAKAMI, Hajime (Waseda University)： 95

N

中岡 伊織 (宇部工業高等専門学校)： 133, 135, 137
中田 典規 (城西国際大学)： 103, 121
仲田 紘平 (佐賀大学)： 31
西崎 一郎 (広島大学)： 129
野尻 賢司 (PM 研究)： 7

O

御前 憲廣 (日本大学)： 53
小田 哲久 (愛知工業大学)： 81, 117
岡田 卓也 (宇部工業高等専門学校)： 135, 137
OKUDA , Hiroki (Kinjo University)： 77
QUAN, Wei (Waseda University)： 15

大西 真一 (北海学園大学)： 47
大槻 美佳 (北海学園大学)： 47
小沢 和浩 (法政大学)： 73

P

朴 唯新 (県立広島大学)： 135, 137

S

SONG, Fei (Waseda University)： 143
酒井 浩 (九州工業大学)： 121, 103
新海 公昭 (東京家政学院大学)： 53
白川 幸子 (日本大学)： 53
菅野 道夫 (SCE 研究所)： 47

T

但馬 文昭 (横浜国立大学)： 61, 73, 99
高木 悟 (工学院大学)： 87
高萩 栄一郎 (専修大学)： 117
TAKEMURA, Kazuhisa (Waseda University)： 95
竹内 和広 (大阪電気通信大学)： 41
玉野 和保 (広島工業大学)： 57
TAMARI, Yuki (Waseda University)： 95
丹下 翔貴 (法政大学)： 73
谷野 哲三 (大阪大学)： 93
徳光 徹也 (宇部工業高等専門学校)： 135, 137
豊田 博美 (筑波大学)： 63
豊島 恒 (ジャパンテクニカルソフトウェア)： 47
津留 祐樹 (佐賀大学)： 67
鶴見 昌代 (大阪大学) ： 115

U

上江洲 弘明 (早稲田大学)： 89, 87

W

和久屋 寛 (佐賀大学)： 31, 67, 69, 91
WATADA , Junzo (Waseda University)： 13, 15, 17, 19, 23, 27, 35, 111, 123, 145, 145
伍 卯 (九州工業大学)： 121, 103
呉 一江 (大阪電気通信大学)： 41

X

XIONG , Zhigang (Waseda University)： 145
XU, Shan (Waseda University)： 35

Y

山口 直人 (九州工業大学)： 103, 121
山ノ井 髙洋 (北海学園大学)： 47
山下 元 (早稲田大学)： 53
森下 峻輔 (佐賀大学)： 91
山﨑 敏正 (九州工業大学)： 47
西山 善郎 (横浜国立大学)： 99
安高 真一郎 (大阪国際大学)： 107
横田 直彦 (大阪大学) ： 115
YU , Haiyu (Waseda University)： 27
YUAN, Meng (Waseda University)： 13

日本知能情報ファジィ学会 ソフトサイエンス研究部会
第 24 回ソフトサイエンス・ワークショップ 講演論文集
発行日： 2014 年 3 月 8 日

発行者：日本知能情報ファジィ学会ソフトサインス研究部会
第 24 回ソフトサイエンス・ワークショップ実行委員会
大 会 委 員 長 ： 和多田 淳三 (早稲田大学)
プログラム委員長： 高萩 栄一郎 (専修大学)
プログラム委員長： 小田 哲久 (愛知工業大学)

連絡先：〒808-0135 北九州市若松区ひびきの２－７
早稲田大学大学院情報生産システム研究科
和多田研究室内・第 24 回ソフトサイエンス・ワークシップ委員会
TEL: 090-3464-4929, email: 24ssw@list.waseda.jp