日本知能情報ファジィ学会 第 26 回 ソフトサイエンス・ワークショップ 平成 27 年度 東北支部研究会 講演論文集

2016 年 3 月 5 日(土)·6 日(日) 山形大学工学部



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, 東北支部

協 賛: 日本知能情報ファジィ学会 評価問題研究部会,

ESA(教育システム解析)研究会. 知的制御研究部会

プログラム (第 26 回ソフトサイエンス・ワークショップ)

3月5日(土曜日)

10.00 14.00 15.2 2 04 习入 喜世兴 即(末校 1.兴)	
13:00 - 14:00 セッション S1 司会 高萩栄一郎(専修大学)	
S1-1 Type-2ファジィ分割表を応用した学生のニーズ分析	0.1(0)
上江洲弘明(早稲田大学)	S-1 (2)
S1-2 ファジィ数を応用した教材構造分析	(-)
齋藤誠司, 瀧澤武信(早稲田大学)	S-5 (6)
S1-3 ファジィグラフの構造解析と応用I -AHP の拡張を含めて-	
津田栄(國學院高等学校),新海公昭(東京家政学院大学),山下元(早稲田大学)	S-7 (8)
14:10 - 15:30 セッション S2 司会 薮内賢之(下関市立大学)	
S2-1 色相のファジィシステム 一円錐形ファジィ集合の形状の影響—	
菅野直敏,森文彦(玉川大学)	S-9 (10)
S2-2 色彩に対する人間のあいまいな情報のファジィ理論的分析	
―あいまいさと可能性の関係について―	
三村渡,森文彦,菅野直敏(玉川大学)	S-13 (14)
S2-3 果物名称想起時における脳内部位について	
杉本幸司(北海学園大学),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(北海道大学),	
大西真一(北海学園大学),山崎敏正(九州工業大学)	S-17 (18)
S2-4 情報教育のためのプログラム説明における語使用の調査	
竹内和広, 宮本拓弥, 山下大貴(大阪電気通信大学)	S-21 (22)
14:10 - 15:30 セッション S3 司会 小田哲久(愛知工業大学)	
S3-1 二重メンバーシップをもつクラスタリング技法	
宮本定明(筑波大学)	S-23 (24)
S3-2 ファジィ測度の定義域の制限における相補性と代替性	5 25 (2.)
藤本勝成(福島大学)	S-27 (28)
S3-3 社会科学系における Web API を用いたデータ分析教育	J 27 (23)
井田正明(大学評価・学位授与機構),高萩栄一郎(専修大学)	S-29 (30)
S3-4 集合関数型ショケ積分を用いた協力ゲームの提案	2 23 (00)
高萩栄一郎(専修大学)	S-31 (32)
IMANON MA (A INSTALL)	5 51 (02)

15:20 - 16:20 セッション S4 司会 中岡伊織(宇部高専)

S4-1 データマイニング手法による国土政策に関する考察

新妻巧朗, 松田修三, 小沢和浩(法政大学)

S-35 (36)

S4-2 他の評定を考慮した望ましい理学療法士,作業療法士,看護師などの対応に関する評定検討 奥田裕紀(金城大学) S-39 (40)

S4-3 論理学小辞・事典に向けて(2)-論理を列挙する-

中島信之(富山大学)

S-43 (44)

16:50-17:00

ベストプレゼンテーション授賞式 司会 藤本勝成(福島大学)

3月6日(日曜日)

09:00 - 10:00 特別講演 司会 藤本勝成(福島大学)

ヒトをセンシングする

景山陽一(秋田大学)

P-1 (1)

10:10 - 11:10 セッション S5 司会 中島信之(富山大学)

S5-1 選好の確信度合を考慮した区間 UTA

乾口雅弘, 杉山寛(大阪大学)

S-47 (48)

S5-2 社会ネットワーク分析による研究開発組織におけるストラクチャーホールに関する一考察中岡伊織(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), 赤岡広周(徳山大学), 松野成悟(宇部工業高等専門学校),

三上喜貴(長岡技術科学大学)

S-49 (50)

S5-3 ファジィ情報理論に向けて:情報源符号化とエントロピーについて

荒木智行,大橋由侑,鈴木貴,前田俊二(広島工業大学)

S-51 (52)

プログラム (平成 27 年度 東北支部研究会)

3月5日(土曜日)

13:00 - 14:20 セッション T1 司会 野本弘平(山形大学)	
T1-1 介護時口腔ケアにおけるムース状洗滌剤の効果	
関順一郎, 秋山孝夫, 冨塚謙一(山形大学)	T-1 (56)
T1-2 カルマンフィルタを用いたむだ時間系の制御	
有泉隼天人, 秋山孝夫(山形大学)	T-3 (58)
T1-3 屋外における果実収穫適期判定を目的とした画像補正手法に関する検討	
草田育美, 石井雅樹, 山根治起(秋田県立大学)	T-5 (60)
T1-4 距離画像センサの較正を目的とした補正テーブルの作成に関する検討	
藤野慎也, 石井雅樹(秋田県立大学)	T-9 (64)
14:30 - 15:50 セッション T2 司会 秋山孝夫(山形大学)	
T2-1 河川堤防における植生の成長と色情報の経時変化に関する検討	
遠藤賢太, 石沢千佳子, 景山陽一, 西田眞(秋田大学),	
七尾重亮, 岩花賢, 長岐孝司(国土交通省)	T-13 (68)
T2-2 色順応変換を用いた背景差し替えの改善	
大井上俊,景山陽一,西田眞(秋田大学)	T-17 (72)
T2-3 LCD に表示される色の色度推定とちらつきに関する検討	
北野将伍, 石沢千佳子, 景山陽一, 西田眞(秋田大学)	T-21 (76)
T2-4 衛星画像データによる鳥海山沿岸海域における海底湧出地下水の特徴解析	
田村雅輝,白井光,高橋諄丞,景山陽一,西田 眞(秋田大学)	T-25 (83)
16:00 - 16:40 セッション T3 司会 景山陽一(秋田大学)	
T3-1 居住者と来訪者の街路計画の印象に関する研究(上山市実験)	
ーテキストデータによる解析ー	
野口成紀, 野本弘平(山形大学)	T-29 (84)
T3-2 空間認知におけるセレンディピティの研究(米沢市実験)	
- 撮影対象の属性・物理データによる解析 -	
佐藤大介, 佐藤亮, 野本弘平(山形大学)	T-33 (88)

16:50-17:00

奨励賞授賞式 司会 野本弘平(山形大学)

特別講演

ヒトをセンシングする

Human Sensing

景山陽一 Yoichi Kageyama 秋田大学 Akita University

Abstract: Our research interests include remote sensing, human sensing, image processing, and image information applications in order to make the interaction and interactive operation between humans and computer systems possible. Some topics are presented in this talk.

1. はじめに

高齢化社会において、私たちが"自分らしい豊かな生活"を過ごすために、ヒトを中心とした情報通信技術の開発に関する研究に取り組んでいる。例えば、口唇の動きから発話内容や発話者の感情を推定する技術、顔の表面情報を推定する技術等は、高度なマンマシンインタフェースの実現に役立てることができる。また、ヒトの感性や視覚特性を考慮した画像処理技術は、ユーザに優しいシステム構築を支援することができる。本発表では、私たちの研究グループが行っているヒトを対象とした研究内容について紹介する。

2. 発話に伴う口唇の動き特徴と発話者の感情変化推定

私たちが言葉を発生する際に得られる情報としては、音声に加えて"口唇の動き"が挙げられる。発話に伴う口唇の主な動きは、上下方向の開閉と左右方向の伸縮に大別される。これらの特徴は、①個人固有の特徴を有していること、②発話内容固有の特徴を有していることが明らかになっている[1].また、有声・無声の相違により口唇の動きが異なることを明らかにしている[2]. さらに、発話者および発話内容が特定されている条件下では、口唇特徴のばらつきに着目することにより発話者の感情変化が推定可能であることを明らかにした[3].

3. 情動喚起時における顔面表面温度解析

ヒトの感情の生起と自律神経の活動には深い関連があるため、血流変化等の生理的変化が表出することが知られている。そこで、被験者に対し約 10 分の映像コンテンツを提示して、受動的な刺激による笑いの情動喚起を行い、30fps で顔面頬領域の温度変化を計測した。その結果、喜びの情動が喚起されたときは頬の温度が上昇すること、情動が弱い場合には、温度変化も小さくなる傾向があることを明らかにした[4].

4. 色温度情報に着目した背景差し替え

ビデオチャットにおいて,カメラから得られた映像を加工することなく相手に送信した場合,人物の背景情報(自宅等の部屋の内部)に含まれる個人情

報も同時に相手に送信される.その対策として,人物領域のみをリアルタイムに抽出し,目的に応じて背景情報を任意の画像や映像に差し替える方法が有効である.しかしながら,人物領域と背景との間に色味の差が生じることによって,違和感が生じる場合がある.そこで,色温度特徴に着目し背景差し替えの違和感を軽減する方法を開発した[5].さらに,人物領域および背景領域両方の色の調整を行う色味変換(色順応変換)を施す背景差し替え手法も提案し,青被り・赤被り状況下における背景差し替えの違和感軽減が可能であることを明らかにしている[6].

参考文献

- [1] 西田他: 発話に伴う口唇の動きによる個人認証 技術, 高精度化する個人認証技術, NTS, pp. 253-263, 2014
- [2] T. Takahashi et al.: Basic Study of Lip Motion Fluctuation Due to Vocalization for Command Input Interfaces, IEEJ Trans. on Electronics, Information and Systems, Vol.134, No.10, pp.1429-1435, 2014
- [3]Y. Kageyama et al.: Analysis of Lip Motion Change Arising as a Result of Amusement Feeling, IEEJ Trans. on Electrical and Electronic Engineering, Vol.8, No.5, pp.538-539, 2013
- [4] 髙橋他: 頬領域の皮膚温度に着目した喜びの情動検出,電気学会論文誌 C, Vol.134, No.3, pp.353-354, 2014
- [5] 村上, 景山, 西田: 色温度特徴に着目した背景 差し替えの違和感軽減, 知能と情報, Vol. 25, No. 4, pp. 806-818, 2013
- [6]T. Murakami et al.: Background Replacement Using Chromatic Adaptation Transform for Visual Communication, Journal of Visual Communication and Image Representation, Vol.30, pp.242-251, 2015

本発表における一部の内容は、JSPS 科研費 24500140,15K00222,25919008 の助成を受けたものです。

連絡先

秋田大学大学院工学資源学研究科情報工学専攻 景山 陽一

(Tel: 018-889-2786, E-mail: kageyama@ie.akita-u.ac.jp)

Type-2 ファジィ分割表を応用した学生のニーズ分析

Students' Needs Analysis Applying Type-2 Fuzzy Contingency Table

上江洲 弘明 Hiroaki Uesu 早稲田大学 Waseda University

Abstract: Generally, we could efficiently analyze the inexact information by applying fuzzy theory. We would extend contingency table, and propose type-2 fuzzy contingency table. In this paper, we would discuss about type-2 fuzzy contingency table and a needs analysis method applying type-2 fuzzy contingency table.

1. イントロダクション

パソコンやタブレット,大容量インターネット 通信の普及により,メディア授業に対する大学生 の認識が大きく変遷してきた. 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 ルをベースとし、Type-2ファジィ分割表を応用し たアンケート分析を提案する.

2. ファジィ分割表

定義 1. ファジィ集合の濃度

全体集合 $U = \{x_i \mid i = 1, \dots, n\}$ に対し、ファジィ集 合Aの濃度|A|を以下のように定める:

$$|A| = \sum_{i=1}^{n} \mu_A(x_i)$$

 $|A| = \sum_{i=1} \mu_A(x_i)$ ここで, $\mu_A(x)$ はファジイ集合 A のメーンバーシッ プ関数である.

定義 2. ファジィ $m \times n$ 分割表

全体集合 $U = \{x_i \mid i = 1, \dots, n\}$ 上のファジィ集合 $A_1, \cdots, A_n, B_1, \cdots, B_m$ を考える. このとき, ファジィ $m \times n$ 分割表を表 1 のように定める:

表 1. ファジィ $m \times n$ 分割表

	A_1		A_n	Sum
B_1	f_{11}	•••	f_{1n}	$ B_1 $
:	:		:	:
B_m	f_{m1}	•••	f_{mn}	$ B_m $
Sum	$ A_1 $	•••	$ A_n $	n(U)

$$\sum_{i=1}^{n} \mu_{A_{i}}(x_{k}) = 1, \qquad \sum_{i=1}^{m} \mu_{B_{i}}(x_{k}) = 1$$

$$f_{ij} = |A_{j} \cap B_{i}|$$

$$\mu_{A_{j} \cap B_{i}}(x) = \mu_{A_{j}}(x) \cdot \mu_{B_{i}}(x).$$

$$f_{ij} = |A_j \cap B_i|$$

$$\mu_{A_i \cap B_i}(x) = \mu_{A_i}(x) \cdot \mu_{B_i}(x).$$

筆者らはさらにファジィ m×n 分割表の定義を拡 張し、Type-2 ファジィ $m \times n$ 分割表を定義した. Type-2 ファジィ $m \times n$ 分割表を定義するためには, ファジィ数の平均・積,Type-2ファジィ集合の積集 合の定義が必要となるため、以下に定義しておく. また, 以下の定義中の α^* は以下のようなメンバーシ ップ関数により定められるファジィ集合である.

$$\mu_{\alpha^*}(x) = \alpha \quad (x \in \mathbf{R})$$

定義 3. ファジィ数の平均

 $x_1^*, x_2^*, x_3^*, ..., x_n^*$ を以下のように α -カットを持つ 実数のファジィ数とする.

 $C_{\alpha}(x_i^*) = [a_{\alpha,i}, b_{\alpha,i}] (\alpha \in \mathbb{R}, 0 \le \alpha \le 1)$ このとき,ファジィ数 $x_1^*, x_2^*, x_3^*, ..., x_n^*$ の平均 $\overline{x^*}$ を以 下のように定める.

$$\overline{x^*} = \bigcup_{\alpha \in (0,1]} \left(\alpha^* \cap C_{\alpha}(\overline{x^*}) \right)$$

$$C_{\alpha}(\overline{x^*}) = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_{\alpha,i}, \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n b_{\alpha,i} \right]$$

定義 4. ファジィ数の積

 u_1^*, u_2^* を以下のように α – カットを持つ実数 のファジィ数とする.

 $C_{\alpha}(u_i^*) = [a_{\alpha,i}, b_{\alpha,i}] \quad (\alpha \in \mathbf{R}, 0 \le \alpha \le 1)$ このとき,ファジィ数 u_1^*, u_2^* の積 $u_1^* \cdot u_2^*$ を以下 のように定める.

$$u_1^* \cdot u_2^* = \bigcup_{\alpha \in \{0,1\}} (\alpha^* \cap C_\alpha(u_1^* \cdot u_2^*))$$

$$\begin{split} u_1^* \cdot u_2^* &= \bigcup_{\alpha \in (0,1]} \left(\alpha^* \cap C_\alpha(u_1^* \cdot u_2^*) \right) \\ C_\alpha(u_1^* \cdot u_2^*) &= \left[\min_{(x_1, x_2) \in C_\alpha(u_1^*) \times C_\alpha(u_2^*)} x_1 \cdot x_2, \max_{(x_1, x_2) \in C_\alpha(u_1^*) \times C_\alpha(u_2^*)} x_1 \cdot x_2 \right] \end{split}$$

定義 5. Type-2 ファジィ集合の積集合

全体集合 $U = \{x_i \mid i = 1, \dots, n\}$ 上の Type-2 ファジィ集合 \tilde{A}, \tilde{B} を考える.

$$\tilde{A} = \{(x_i, u_i^*) | i = 1, ..., n\},\ \tilde{B} = \{(x_i, v_i^*) | i = 1, ..., n\}$$

ここで、 u_i^*, v_i^* はファジィ数である.このとき、積集合 $\tilde{A} \cap \tilde{B}$ を以下のように定める.

$$\tilde{A} \cap \tilde{B} = \{(x_i, u_i^* \cdot v_i^*) | i = 1, \dots, n\}$$

ここで、筆者らは Type-2 ファジィ $m \times n$ 分割表を以下のように提案する.

定義 6. Type-2 ファジィ m×n 分割表

全体集合 $U = \{x_i \mid i = 1, \dots, k\}$ 上で以下のような Type-2 ファジィ集合を考える.

$$\widetilde{A_1}, \dots, \widetilde{A_n}, \widetilde{B_1}, \dots, \widetilde{B_m}$$

$$\widetilde{A_p} = \{(x_{i,p}, u_{i,p}^*) | i = 1, \dots, k\},$$

$$\widetilde{B_q} = \{(x_{i,q}, u_{i,q}^*) | i = 1, \dots, k\}$$

$$(1 \le p \le n, 1 \le q \le m)$$

このとき、Type-2ファジィ $m \times n$ 分割表は以下のようになる.

表 2. Type-2 ファジィ $m \times n$ 分割表

	$\widetilde{A_1}$	•••	$\widetilde{A_n}$
$\widetilde{B_1}$	$\overline{f_{11}}$	•••	$\overline{f_{1n}}$
:	:		:
$\widetilde{B_m}$	$\overline{f_{m1}}$	•••	$\overline{f_{mn}}$

ここで、 $\overline{f_{ij}}$ は積集合 $\widetilde{A_i} \cap \widetilde{B_j}$ のグレードの平均 $\overline{u^* \cdot v^*}$ である.

3. 分析手法

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。

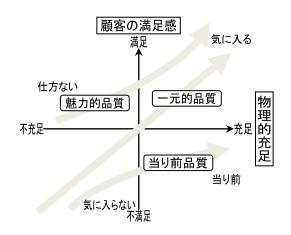


図 1. 物理的充足状況と顧客の満足感との 対応関係概念図

- ●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?」

表 3. 狩野モデルの分類マトリックス

-		- , ,	7372	, , , ,	
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	魅	魅	_
当然だろう	逆	無	無	無	当
特に何とも 思わない	逆	無	無	無	当
別にそれでも 構わない	逆	無	無	無	当
それは困る	逆	逆	逆	逆	懐

表における記号の意味は以下の通りである.

魅:あると魅力的な機能.

当:あって当然の機能.

一:線形. あればあるほど満足度があがるような機

無:無関心. あってもなくても気にならない程度の機能.

逆:逆効果. あると困る機能.

懐:懐疑的回答.回答が不整合.

ここで筆者は、狩野モデルをベースにした、 Type-2 ファジィ $m \times n$ 分割表を応用したニーズ分析手法を提案する.

- 1. 被験者に対し「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. アンケート結果をもとに、Type-2ファジィ集合 を作成する.

3. Type-2 ファジィ集合をもとに、Type-2 ファジィ5×5分割表を作成する. この分割表は 狩野モデルのマトリックスに相当するが、筆者らは以下のように分類項目を増加した(表4).

表 4. Type-2 ファジィ 5×5 分割表

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	$\widetilde{f_{11}}$	$\widetilde{f_{12}}$	$\widetilde{f_{13}}$	$\widetilde{f_{14}}$	$\widetilde{f_{15}}$
当然だろう	$\widetilde{f_{21}}$	$\widetilde{f_{22}}$	$\widetilde{f_{23}}$	$\widetilde{f_{24}}$	$\widetilde{f_{25}}$
特に何とも 思わない	$\widetilde{f_{31}}$	$\widetilde{f_{32}}$	$\widetilde{f_{33}}$	$\widetilde{f_{34}}$	$\widetilde{f_{35}}$
別にそれでも 構わない	$\widetilde{f_{41}}$	$\widetilde{f_{42}}$	$\widetilde{f_{43}}$	$\widetilde{f_{44}}$	$\widetilde{f_{45}}$
それは困る	$\widetilde{f_{51}}$	$\widetilde{f_{52}}$	$\widetilde{f_{53}}$	$\widetilde{f_{54}}$	$\widetilde{f_{55}}$

4. Type-2 ファジィ5×5 分割表から各カテゴリーに対する帰属度表を作成する (表 5).

表 5. 各カテゴリーに対する帰属度表

	不充足				充足	
- (無)	当 (無)	魅 (無)	懐	魅(有)	当(有)	- (有)
\overline{a}^*	$\overline{b^*}$	\overline{c}^*	$\overline{d^*}$	$\bar{e^*}$	$\overline{f^*}$	\overline{g}^*

ここで、表5における各帰属度はファジィ数となり、以下のように定められる.

$$\overline{a^*} = \overline{f_{51}^*}
\begin{cases}
\overline{b^*} = \bigcup_{\alpha \in (0,1]} \left(\alpha^* \cap C_{\alpha}(\overline{x_b^*})\right) \\
C_{\alpha}(\overline{x_b^*}) = \left[\sum_{j=2}^4 a_{\alpha,5j}, \sum_{j=2}^4 b_{\alpha,5j}\right] \\
\overline{c^*} = \bigcup_{\alpha \in (0,1]} \left(\alpha^* \cap C_{\alpha}(\overline{x_c^*})\right) \\
C_{\alpha}(\overline{x_c^*}) = \left[\sum_{i=2}^4 a_{\alpha,i1}, \sum_{i=2}^4 b_{\alpha,i1}\right] \\
\overline{d^*} = \bigcup_{\alpha \in (0,1]} \left(\alpha^* \cap C_{\alpha}(\overline{x_d^*})\right) \\
C_{\alpha}(\overline{x_d^*}) = \left[\sum_{i=2}^4 \sum_{j=2}^4 a_{\alpha,ij}, \sum_{i=2}^4 \sum_{j=2}^4 b_{\alpha,ij}\right] \\
\overline{e^*} = \bigcup_{\alpha \in (0,1]} \left(\alpha^* \cap C_{\alpha}(\overline{x_e^*})\right) \\
C_{\alpha}(\overline{x_e^*}) = \left[\sum_{j=2}^4 a_{\alpha,1j}, \sum_{j=2}^4 b_{\alpha,1j}\right]$$

$$\begin{cases} \overline{f^*} = \bigcup_{\alpha \in (0,1]} \left(\alpha^* \cap C_{\alpha}(\overline{x_f^*}) \right) \\ C_{\alpha}(\overline{x_f^*}) = \left[\sum_{i=2}^4 a_{\alpha,i5}, \sum_{i=2}^4 b_{\alpha,i5} \right] \\ \overline{g^*} = \overline{f_{15}^*} \end{cases}$$

5. 各カテゴリーに対する帰属度表から、加重平均 演算を用いてニーズの重みを計算する.このと き、各加重は以下の通りである(表 6).

表 6. 各入力に対する重み

	<u> </u>						
重み	入力	結論					
-1	一(無)	この機能は積極的に実装しない(G)					
-2/3	当(無)	この機能はできるだけ実装しない(F)					
-1/3	魅(無)	この機能は余裕があれば実装しない(E)					
0	無	どちらでもよい (D)					
1/3	魅(有)	この機能は余裕があれば実装する(C)					
2/3	当(有)	この機能はできるだけ実装する(B)					
1	一(有)	この機能は積極的に実装する(A)					

また、このときの重みはファジィ数とし、ファジィ数 \tilde{a} のメンバーシップ関数 $\mu_{\tilde{a}}(x)$ は以下のように定める:

$$\mu_{\tilde{a}}(x) = \max\{0, 1 - |3(x - a)|\}$$

筆者は、この加重平均演算の計算結果により得られるファジィ数を結論とする.

4. 適用事例

オープン科目「数学基礎プラスシリーズ」を受講した学生 2,241 名に対し、表 7 のような要望についてアンケートを行った(設問数は 6). 有効回答数は設問によってばらつきはあるが、240 前後である.

表 7. 要望

Q1,Q2	ToDo リストへの表示
Q3,Q4	試験等のリマインダメール
Q5,Q6	試験等の期限の統一化

このアンケートから、表8のような応答行列が得られる.

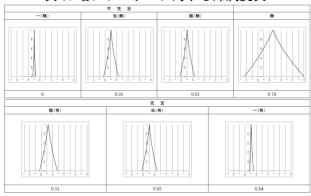
表 8. 応答行列

No.	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6
1	7	7	7	7	13	1
2	7	7	10	4	7	7
3	7	7	4	7	13	2
4	10	1	1	9	10	3
5	7	7	7	7	7	7
6	7	7	7	7	7	7
7	7	12	7	7	3	8
8	7	7	11	3	7	7
9	11	6	10	4	7	7
10	1	10	1	10	7	7
11	7	7	1	7	8	1
12	7	7	4	10	13	1
13	1	10	1	10	10	1
14	1	13	1	13	13	1
15	7	7	7	7	۵	6

┰	200	U	U	0	0	0	0	
	234	2	10	6	7	7	7]
	235	1	13	1	13	7	7]
	236	7	7	7	10	12	2]
Г	237	7	7	1	13	7	7	1
	238	1	1	1	1	1	1	Ì
	239	0	0	0	0	0	0]
	240	7	7	2	10	7	7]
Г	241	7	7	7	7	7	7	1
	242	7	7	2	7	7	7	Ì
E	243	7	7	6	7	7	7]
	244	7	7	1	10	10	2]

前述の分析手法により Q1,Q2 に対し、各カテゴリーに対する帰属度表を作成すると、表 9 のようになる.

表 9. 各カテゴリーに対する帰属度表



帰属度表から加重平均を計算すると、図2のようになる.

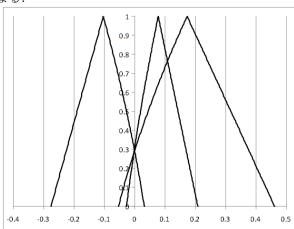


図 2. ファジィ加重平均

また、結論のファジィ数に関するその他の値は表 10 のようである.

表 10. 分析結果

	ToDo リスト	リマインダメール	試験等解答期限
ファジィ加重平均	0.078324	0.173297	-0.10338
重心	0.084673	0.188755	-0.11257
ファジィエントロピー	0.170076	0.372188	0.222228

この結果から、学生に対し要望を聞き入れるなら「ToDo リスト」「リマインダメール」の順に対応し、「試験等回答期限」については対応しない、とするのが望ましいと解釈できる.しかし、今回の分析結果はファジィ加重平均の値がどれも小さいので、受講者全体としてはこれらの要望はそれほど必要なものではないと判断される.

本稿は、早稲田大学特定課題研究助成費(課題番号 2015B-495)による研究成果の一部である.

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.
- [3] 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,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,pp.89-90, 2014.
- [4] 狩野モデルを応用したメディア授業における ニーズ分析,日本知能情報ファジィ学会ファジィシステムシンポジウム,ME1-3,2014.
- [5] H.Uesu: Type-2 Fuzzy Contingency Table Analysis and its Application the Seventh International Conference on Dynamic Systems and Applications, 2015.
- [6] H.Uesu: Needs Analysis Applying Type-2 Fuzzy Contingency Table, International Symposium on Management Engineering 2015, pp.35-38, 2015.
- [7] H.Uesu: Student's Needs Analysis Applying Type-2 Fuzzy Contingency Table for Media Lectures, Proceedings of the 28th Annual Conference of Biomedical Fuzzy Systems Association, pp.293-296, 2015.

連絡先

早稲田大学

上江洲 弘明

(Tel.: 03-3911-8473, E-mail: uesu@suou.waseda.jp)

ファジィ数を応用した教材構造分析

Instruction Structure Analysis Applying Fuzzy Number

齋藤 誠司 Seiji Saito 早稲田大学

Waseda University

瀧澤 武信

Takenobu Takizawa 早稲田大学

Waseda University

Abstract: When we investigate the similarity among the problems of the test, we apply fuzzy theory. The score of the test is used for analysis. But, the students may have some points deducted for miscalculation or added for intuition when we allow partial points. So, we need the method to consider the fuzziness of the score. In this paper, the authors regard the score of the test as fuzzy number and present a method to create membership function. We extend the conditional method of the instruction structure analysis and show example of graph applying proposed method to sample data.

1. はじめに

良い授業を行うためには各問題の類似性や順序性 について考察することが重要である. 生徒のテスト 結果を用いて教材構造分析を行うことにより, 生徒 がどのように問題を理解しているかを調べることが できる. しかし、生徒の点数は常に生徒の学力を反 映しているとは限らない. なぜなら, ケアレスミス で減点されたり、勘で書いた答えが合っていて加点 されるなどして点数が変動する可能性があるからだ. 本論文では生徒の点数があいまいなものであると考 え、生徒の点数をファジィ数として扱う、そのメン バーシップ関数の作り方と、それを用いた従来の手 法の拡張方法について述べていく.

2. 従来手法

まずは、教材構造分析の従来手法について述べて

m問の問題 $\{P_i|1 \leq i \leq m\}$ をn人の生徒 $\{S_k|1 \leq$ $k \le n$ } に行うと、得点行列 $X = (x_{ki})$ が得られる. ただし、生徒 S_k が問題 P_i に正答した場合は $x_{ki}=1$, 誤答した場合は $x_{ki} = 0$ とする. さらに、生徒の解答 に応じて途中点を与えるものとする

次に、得点行列 X から、表 1 にあるようなクロス 集計表を作成する.

表1 クロス集計表 Cii

		>14111 + + tj	
P_i	正解	不正解	合計
正解	а	b	a + b
不正解	С	d	c+d
合計	a + c	b+d	n

定義1.クロス集計表の要素

$$a = \sum_{k=1}^{n} x_{ki} x_{kj}, \qquad b = \sum_{k=1}^{n} x_{ki} (1 - x_{kj})$$

$$c = \sum_{k=1}^{n} (1 - x_{ki}) x_{kj}, \qquad d = \sum_{k=1}^{n} (1 - x_{ki}) (1 - x_{kj})$$

クロス集計表から、以下のようにして類似係数 s_{ii} を求める.

定義 2.類似係数

$$s_{ij} = \frac{a+d}{n} \in [0,1]$$

類似係数 s_{ij} から,類似行列 $S = (s_{ij})$ が得られる. 類似行列から、問題間の類似性を評価することがで きる.

3. 提案手法

点数をファジィ数とみなすためにメンバーシップ 関数を定義していく.まず、採点基準をn個に分ける と仮定する. そこで、点数 x_{ki} を次のように与える.

$$x_{ki} = \frac{m}{m} \in [0,1] \ (m = 0,1,...,n)$$

 $x_{ki} = \frac{m}{n} \in [0,1] \ (m=0,1,...,n)$ メンバーシップ関数を作成する際以下のことを仮 定する.

- (1) nが大きくなればなるほど、生徒の学力を正確に 評価できる.
- (2) nが同じ場合, 途中点より 0 点や 1 点が多いほど 生徒の学力を正確に評価できる.

この仮定をもとに、メンバーシップ関数を以下の ように定義する.

(i)
$$x_{ki} = 0$$

$$\mu_{x_{ki}^*}(x) = \max_{0 \le n \le 1} \{-nx + 1, 0\}$$

$$\mu_{x_{ki}^*}(x) = \max_{0 \le x \le 1} \{-nx + 1, 0\}$$
(ii) $0 < x_{ki} < 1$

$$\mu_{x_{ki}^*}(x) = \max_{0 \le x \le 1} \{1 - |n(x - x_{ki})|, 0\}$$
(iii) $x_{ki} = 1$

$$\mu_{x_{ki}^*}(x) = \max_{0 \le x \le 1} \{nx + 1 - n, 0\}$$

$$\mu_{x_{ki}^*}(x) = \max_{0 \le x \le 1} \{nx + 1 - n, 0\}$$

次に、ファジィ数の演算について定義していく. 以下, x_1^*,x_2^* は α -カット $C_{\alpha}(x_i^*)$ を持つファジィ数とす る.

$$C_{\alpha}(x_i^*) = \begin{bmatrix} a_{\alpha,i}, b_{\alpha,i} \end{bmatrix} (\alpha \in \mathbb{R}, 0 \le \alpha \le 1)$$
 $(\alpha \in \mathbb{R}, 0 \le \alpha \le 1)$ また,以下のメンバーシップ関数を定義する.

$$\alpha^* = \alpha \quad (x \in \mathbb{R})$$

定義 3. ファジィ数の積

積 $x_1^* \cdot x_2^*$ を以下のように定義する.

$$x_1^* \cdot x_2^* = \bigcup_{\substack{\alpha \in (0,1] \\ C_{\alpha}(x_1^* * x_2^*)}} \alpha^* \cap C_{\alpha}(x_1^* \cdot x_2^*)$$

$$\min_{(x_1, x_2) \in C_{\alpha}(x_1^*) \times C_{\alpha}(x_2^*)} x_1 \cdot x_2, \max_{(x_1, x_2) \in C_{\alpha}(x_1^*) \times C_{\alpha}(x_2^*)} x_1 \cdot x_2$$

定義 4. ファジィ数の和

和 $x_1^* + x_2^*$ を以下のように定義する.

$$x_1^* + x_2^* = \bigcup_{\alpha \in (0,1]} \alpha^* \cap C_{\alpha}(x_1^* + x_2^*)$$

$$C_{\alpha}(x_1^* + x_2^*) = [a_{\alpha,1} + a_{\alpha,2}, b_{\alpha,1} + b_{\alpha,2}]$$

$$C_{\alpha}(x_1^* + x_2^*) = [a_{\alpha,1} + a_{\alpha,2}, b_{\alpha,1} + b_{\alpha,2}]$$

定義 5. ファジィ数のスカラー倍

スカラー倍 kx_1^* ($k \in [0,1]$)を以下のように定義する.

$$kx_1^* = \bigcup_{\alpha \in [0,1]} \alpha^* \cap C_{\alpha}(kx_1^*)$$

$$C_{\alpha}(kx_1^*) = \left[ka_{\alpha,1}, kb_{\alpha,1}\right]$$

次に、類似係数 s_{ii} と類似行列 $S = (s_{ii})$ を拡張する. 定義 6. ファジィクロス集計表の要素

定義 7. ファジィ類似係数

$$s_{ij}^* = \frac{1}{n}(a_{ij}^* + d_{ij}^*)$$

 $s_{ij}^* = \frac{1}{n}(a_{ij}^* + d_{ij}^*)$ ファジィ類似係数 s_{ij}^* から,ファジィ類似行列 $S^* = (s_{ii}^*)$ を得る.

4. 例と結果

今回は図1にあるようなサンプルデータを用いて, ファジィ類似行列を作成する.

また、提案手法を用いると図2にあるようなファ ジィ類似行列を作成できる.

$S_k P_i$	1	2	3	4	5	6
1	1	1	1	1/2	1	1/3
2	1	1	1	1/2	1	1/3
3	1	1	1	1/2	1	1/3
4	1	1	1	1/2	1	1/3
5	1	1	1	1/2	1	1/3
6	1	1	1	1/2	1	1/3
7	1	1	1	1/2	1	1/3
8	1	1	1	1/2	1	1/3
9	1	1	1	1/2	1	1/3
10	1	1	1	1/2	1	1/3
11	1	0	1	1/2	1	2/3
12	1	0	1	1/2	1	2/3
13	1	0	1	1/2	1	2/3
1.4	1	0	1	1/2	1	2/3
15	1	0	1	1/2	1	2/3
16	1	0	1	1/2	1	2/3
17	1	0	1	1/2	1	2/3
18	1	0	1	1/2	1	2/3
19	1	0	1	1/2	1	2/3
20	1	0	1	1/2	1	2/3
divide scoring criteria into	1	1	2	2	3	3

図 1.得点行列X

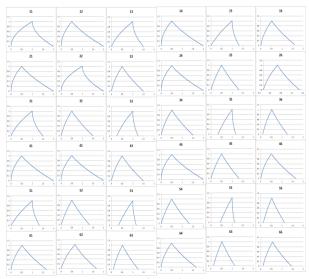


図 2.ファジィ類似行列S*

ファジィ類似行列から,以下のことが分かる.

- (1) nが大きいほどメンバーシップ関数の形は細く なる.
- (2) 0 点や 1 点が多いほどメンバーシップ関数の形は 細くなる.
- (3) メンバーシップ関数の頂点のx座標と類似係数は 一致する.

5. おわりに

本論文では生徒の点数をファジィ数ととらえ, 類似係数などをファジィ数が扱えるよう拡張した. この手法は実際のデータにも応用できると考えて いる. これからは、教材構造分析に応用してその 有効性を確認したいと考えている.

参考文献

- [1] 山下 元, 瀧澤 武信; 「ファジィ理論基礎と応用」, 共立出版, 2010.
- [2] H.Uesu: "Student's Needs Analysis Applying Type-2 Fuzzy Contingency Table for Media Lectures", Proceedings of the 28th Annual Conference of Biomedical Fuzzy Systems Association, pp.293-296, 2015.
- [3] S.Saito, T.Takizawa; "Instruction Structure Analysis of High School Mathematics Applying Fuzzy Clustering", Proceeding of the 28th Annual Conference of Biomedical Fuzzy System Association, pp.183-187, 2015.

連絡先

早稲田大学

齋藤 誠司

(Tel.: 03-3203-4141, E-mail: seiji9q.kmhn@gmail.com) 早稲田大学

瀧澤 武信

(Tel.: 03-3203-4141, E-mail: takizawa@waseda.jp)

ファジィグラフの構造解析と応用 I - AHP の拡張を含めて-

Structure Analysis of Fuzzy Graph and its Application I
—Fuzzy Extension of AHP Method —

津田 栄 Ei Tsuda 國學院高校

新海公昭 Kimiaki Shinkai 東京家政学院大学 山下 元 Hajime Yamashita 早稲田大学

Kokugakuin High School

Tokyo Kasei Gakuin University

Waseda University

Abstract: Fuzzy information such as human relation is effectively represented as fuzzy graph. However, it is very difficult to clarify the global structure of the fuzzy graph. As to this problem, Yamashita (1989) and others developed approximation algorithm method which could significantly clarify the characteristics of the fuzzy graph. Furthermore, Tsuda (1996) and others proposed the Fuzzy Shapley value which could represent the important degree of each node in the fuzzy graph. One of the remaining challenges is a sequence analysis among nodes of the fuzzy graph.

This article proposes a new index "fuzzy core index" to represent the importance of each node in sequence analysis. According to this proposed index, we can solve the remaining challenge described above and furthermore, we can extend the AHP method. Firstly, we present the overview of the approximate analysis and the Fuzzy Shapley value. Secondly, we propose the new index for sequence analysis. Finally, we show the effectiveness of the proposed index through case study.

1. はじめに

人間関係などのあいまいな情報は、ファジィグラフとして表されが、一般にファジィグラフは複雑で全体構造を明らかにすることは非常に難しい.この問題に関して、山下(1989)らは、近似アルゴリズムを提案し、また、津田(1996)らは、ファジィシャプレイ値を考案した.これらの貢献により、グラフ全体の構造をかなり明らかにすることができるようになった.残る課題の1つとして、ファジィグラフの系列分析に関する問題がある.

本論文では、前述の系列分析に関する問題を解決することができる新しい指標「ファジィコアインデックス」を提案する. さらに提案指標を応用することで、AHP の手法を拡張することができるので説明する.

2. ファジィグラフの構造解析

ファジィグラフG=(V,T)は、ノードの有限集合 $V=\{v_i \mid 1 \leq i \leq n\}$ と、ノード v_i からノード v_j への関連度を表すファジィ関連行列 $T=(t_{ij})$ ($0 \leq t_{ij} \leq 1$)で表される。ここで、ファジィ関連行列Tは、ファジィ関連構造グラフTと等価と考えることができる。ファジィ関連構造グラフTを近似N値分析すると、近似N値グラフ T^* が得られる[1]。また、ファジィ関連行列Tに関して類似分析を適用すると、ノード v_i とノード v_j の類似度を表すファジィ類似構造グラフ $S=(s_{ii})$ が得られる。ここで、ファジィ類似

構造グラフの中におけるノード v_i の重要度は以下で定義されるファジィシャプレイ値 σ_i で測ることができる[2]:

$$\sigma_i = \frac{\sum_{j} s_{ij}}{\sum_{i} \sum_{j} s_{ij}}.$$

さらに、ファジィ類似構造グラフSの推移包から分割樹形図Pが得られる。ここで、近似N値グラフ T^* 、分割樹形図P、ファジィシャプレイ値 σ_i の情報を要約することで、ファジィ関連構造グラフTの全体の構造をかなり明確にすることができる認知構造グラフ ϕ が得られる。さて、ここで残っている課題の1つが、系列分析がある。認知構造グラフ ϕ を用いてノードを順序付けしようとすると、一般に全順序構造ではなく半順序構造になる場合が多い。そこで、より詳細な系列分析が必要となる。

ファジィコアインデックスとファジィコアバリュー

関連構造グラフにおいて、ノード v_i に対する ノード v_i の重要度は、以下で定義されるファジィコアインデックス c_{ij} で測ることができ、ファジィコア行列 $C=(c_{ij})$ からノード v_i の重要度を表すファジィコアバリュー $c(v_i)$ を得ることができる.

$$c_{ij} = \begin{cases} \frac{t_{ij}}{t_{ji}}, & \frac{t_{ij}}{t_{ji}} < 9\\ 9 & \frac{t_{ij}}{t_{ji}} \ge 9 \end{cases}, c_{ji} = \frac{1}{c_{ij}} \text{ in } t_{ij} \ge t_{ji}$$

$$c_{ji} = \begin{cases} \frac{t_{ji}}{t_{ij}}, & \frac{t_{ji}}{t_{ij}} < 9\\ 9, & \frac{t_{ji}}{t_{ij}} \ge 9 \end{cases}, c_{ij} = \frac{1}{c_{ji}} \text{ in } t_{ij} \ge t_{ij}$$

$$Cv = \lambda_{\max} v, v = (c(v_i)), \lambda_{\max} \ge n$$
.

この指標を適用することで、より詳細な系列分析が可能となる.ここで、 λ_{\max} はファジィコア行列Cの最大固有値で、vは λ_{\max} に対応する固有ベクトルである.

4. 事例研究

ファジィ関連構造行列T(図 1)からは、ファジィ関連構造グラフT(図 2)が得られる. 近似 3 値グラフ T^* 、分割樹形図P、ファジィシャプレイ値 σ_i の情報を要約することで、認知構造グラフ ϕ (図 3)が得られる. 図 3 において系列分析を行うと、 $v_3 \rightarrow \{v_1, v_6, v_5\} \rightarrow \{v_2, v_4\}$ のような全域歩道が得られるが、半順序構造となるため、より詳細な分析がのぞまれる.

ファジィコアインデックス c_{ij} を適用し,ファジィコア行列 $C=(c_{ij})$ (図 4)において固有ベクトルを利用してファジィコア値 $c(v_i)$ を計算すると,全域歩道 $v_3 \rightarrow v_5 \rightarrow v_6 \rightarrow v_1 \rightarrow v_2 \rightarrow v_4$ が得られ,全順序構造となる.さらに, c_{ij} や c_{ji} に関しては,一対比較ではなくデータから得ることができるので,この意味において,ファジィコアインデックスを用いることは,AHP の手法を拡張していることになる.

1	1.00	0.56	0.96	0.73	0.84
0.68	1	0.37	0.95	0.49	0.62
1.00	1.00	1	1.00	0.94	0.96
0.63	0.93	0.35	1	0.43	0.59
0.98	1.00	0.72	0.90	1	0.74
0.94	1.00	0.60	1.00	0.62	1

図 1. ファジィ関連構造行列 T

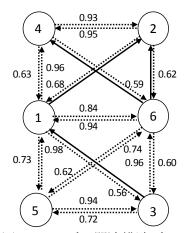


図 2. ファジィ関連構造グラフT

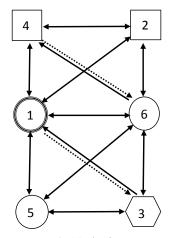


図 3.認知構造グラフ ♦

						FCV
1	0.68	1.79	0.66	1.34	1.12	0.161
1.47	1	2.70	0.98	2.04	1.61	0.239
0.56	0.37	1	0.35	0.77	0.63	0.089
1.52	1.02	2.86	1	2.09	1.69	0.247
0.74	0.49	1.31	0.48	1	0.84	0.119
0.89	0.62	1.60	0.59	1.19	1	0.144

図 4.ファジィコア行列 C

参考文献

[1] H.Yamashita:Approximation Algorithm of Fuzzy Graph and Its Application, Int'l Congress of Fuzzy System Association III, TH-5, 1989.

[2] 津田 栄, 山下 元: シャプレイ値を応用したファジィソシオグラム分析, 第 12 回ファジィシステムシンポジウム, pp.717-720, 1996.

[3] 津田 栄, 新海 公昭, 山下 元: ファジィグラフの特性解析と応用, バイオメディカル・ファジィ・システム学会年次大会講演論文集, 2015.

[4] K. Shinkai, E. Tsuda and H. Yamashita: Characteristic Analysis of Fuzzy Graph and its Application, In Proceedings of the Annual Conference of Biomedical Fuzzy Systems Association, Kumamoto, November, 2015.

連絡先

東京家政学院大学

新海 公昭

(Tel.: 042-782-0974,

E-mail: k-shinkai@kasei-gakuin.ac.jp)

色相のファジィシステム

―円錐形ファジィ集合の形状の影響―

Fuzzy Set Theoretical Approach to the Color Triangle System: Shape effects of conical fuzzy set

菅野 直敏 Naotoshi Sugano 玉川大学工学部 Tamagawa University 森 文彦
Fumihiko Mori
玉川大学工学部
Tamagawa University

Abstract: The present study considers a fuzzy color system in which three membership functions are constructed on a color triangle. For a given fuzzy input, this system outputs the center of gravity of three weights that are associated with respective grades. Three fuzzy sets (red, green, and blue) are applied to the color triangle relationship. By evaluating the attributes of redness, greenness, and blueness, a target color can be easily obtained as the center of gravity of the resulting fuzzy set. The output of the system is a tone triangle, which includes a compound vector with three weights (scalars) in color space. The difference between the resulting inference output and the transforming output is shown by the nonlinear characteristic between the redness r_o of the output (consequent) and the chromaticness c_o of the output (transformation). Shape effects of conical fuzzy set are investigated.

1. はじめに

本稿では、加法混色を用いた色相(カラー)のトライアングル(color triangle)上でのファジィ表現手法について報告する.ここではカラートライアングル上の三角錐台のような入力ファジィ集合(前件部)と円錐形ファジィ入力との関係を調べる[2]. カラートライアングルは色相と彩度の関係を示している[4]. 主要色と白は同じカラートライアングル上に表現でき、カラートライアングル上のあいまいな色の属性情報の近似推論値をトーントライアングル(tone triangle)上に示すことができる(図 1). 入力のファジィ集合の形状の影響について報告する.

2. カラートライアングルとトーントライ アングル

図2aで赤(red)の成分 (R,G,B) は (1,0,0) であり,三角座標 (r,g,b) も同じ(1,0,0)である。また緑(green)と青(blue)も成分と座標が同じになる。たとえば,黄(yellow)の成分 (R,G,B) は (1,1,0)であり,カラートライアングル上の三角座標 (r,g,b) は (0.5,0.5,0)となる。このように図2aの色立体上部表面の色は正三角形RGB中に示すことができる。

ここでは、図2bのような色立体中のトーントライアングルは同じ色立体中にあるドット部分である. 色相を赤Rとすると図のトライアングルが決まる.

図1はカラートライアングルからトーントライアングルへの写像を示している。後件部の新しいカラートライアングル上にファジィ推論の結果を出力するが、さらにトーントライアングル(最終部)への変換をすることで新しい結果を示した。図1のカラートライアングル(後件部)への推論はSugano (2007)で報告した[2].

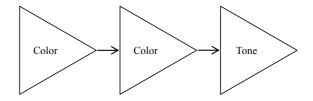
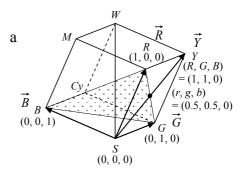


図1 色相のファジィシステムの構成



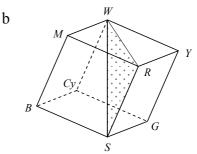


図2 カラーベクトルとカラートライアングル(*a*)および トーントライアングル(*b*)

図3aのようなカラートライアングル上のRGBシステムを考える。図3bはトーントライアングルであり、色相(hue)、白(white)、黒(schwarz)はC, W, Sのように省略する。他には灰(gray)、暗い(dark)、明るい(light)、くすんだ(dull)がある。図3bのCは maximal colorである[1].

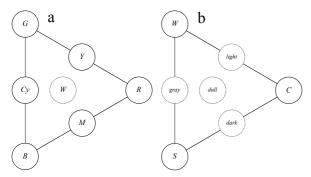


図 3 カラートライアングル(a)とトーントライアングル (b)の模式図

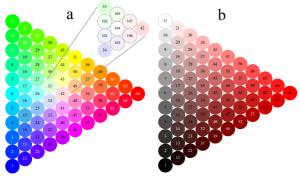


図4 66色のカラートライアングル(a)とトーントライアン グル(b)

図4aにおいて主要色はNo.1: B, No.6: Cy, No.11: G, No.46: M, No.51: Y, No.66: Rである. 中心部分には, No.34, No.35, No.42があり, これらの中に右上の詳細図にある7色(No.101-107)が含まれて, 中央にNo.104: Wがある. 図4bの色名はNo.1: black, No.6: gray, No.11: white, No.46: dark (or deep), No.51: light (or pale), No.66: maximal colorである. ここではNo.66はRである.

3. 色相のファジィシステム

図5はファジィシステムを表しており、カラートライアングル $(R_i \ G_i \ B_i)$ の中線に平行な軸上に赤み (redness) r_i , 緑み (greenness) g_i , 青み (blueness) b_i がある。図5aでは、赤みが増すと赤成分の度合い μ_k が縦方向に増加する。これが赤のファジィ集合を形成する。また、このファジィシステムでは入力ファジィ集合 A_k (前件部)、ファジィ入力 I_n 、出力クリスプ集合 O_k (後件部)、およびファジィ出力O'を示している。図Saは三角座標 (r_i,g_i,b_i) で、図Sbは三角座標 (r_o,g_o,b_o) で、図Scは座標 (r_o,uk) で表されている。ファジィルールは次のように示される。

$$R^{k}$$
: if U is A_{k} then V is O_{k} (1)

ここで、k はルール番号 (k=1, 2, 3) である。U=(r_i, g_i, b_i) は入力座標,V=(r_o, g_o, b_o) は出力座標である。 入力ファジィ集合 A_k (前件部) は頂点 R_i , G_i , あるいは B_i における三角錐台のような形状であり,ファジィ入力 I_n は円錐,出力クリスプ集合 O_k (後件部) は頂点 R_o, G_o , あるいは B_o におけるシングルトンである.ファジィ集合 O_k i は縦矢印で示されている.もし入力が i i0 であれば,出力は i0 i0 である.

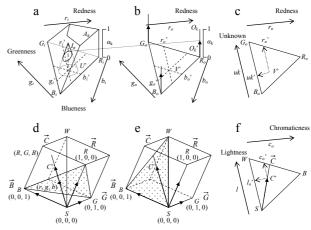


図5 色相のファジィシステム

ファジィ推論の方法は次のようである.ここで入力を $r_i = r_i$ ', $g_i = g_i$ ', $b_i = b_i$ 'とすると $U' = (r_i', g_i', b_i')$ となる.

- 1) ルール R^k の入力で $\alpha_k = A_k(U^*), k=1, 2, 3$ である.
- 2) ルール R^k の出力で、出力クリスプ集合 O_k はシングルトン (縦棒) である.
- 3) $O_k' = \alpha_k O_k$, ここで O_k' はファジィ集合 (縦矢印), また O_k はクリスプ集合 (縦棒) である. ルール R^1 , R^2 , R^3 の最終推論結果は O'である.

 $O' = \alpha_1 O_1 \cup \alpha_2 O_2 \cup \alpha_3 O_3 = O_1' \cup O_2' \cup O_3'$ (2) 出力座標 $V' = (r_o', g_o', b_o')$ は三角座標上のファジィ集合 O'の重心で, $V' = (r_o', uk')$ は普通の座標上のファジィ集合 O'の重心である.uk'は辺 BG 上の値(B からの距離)である.

また、緑と青のメンバーシップ関数は図 6 のファジィ集合を W_i 中心に 120 度ずつ回転したものであり、同様な式により記述される.ファジィ入力 I_n と前件部のファジィ集合 A_k の積集合は $A_k \cap I_n$ である.一致度は α_k =Height $(A_k \cap I_n)$ で決まる. O_k = $\alpha_k O_k$ は後件部の R_0 , G_0 , $G_$

これら三角形の頂点にある 3 本の縦矢印をファジィ集合とみなし脱ファジィ化する(図 5b の V).図 5d は RGB 色立体であり,図 5b の各重みをベクトル空間に戻し,これらの合成ベクトルを作る.図 5e でこのベクトルを含むトーントライアングル(この例では直角三角形)を取り出し,図 5f のように正三角形に直すことで,トーントライアングル上の変換出力を示すことができる.ここで,トーントライアングルは CWS(図 3b)と同じ三角形で色相 C が B (blue) となっていることを示している.

4. 色相のファジィシステムの出力

図 7 は前件部のカラートライアングル上の red のファジィ集合 (三角錐 A_k) に B から G 方向へ光を当て redness 軸上の射影を右上がりの傾きをもつ台形で示している. あいまいな色彩であるファジィ入力としての円錐形 I_n を射影すると二等辺三角形になる. たとえば,この三角形 (h=0.8, d=20%) の中線が redness r_i =20%の位置で一致度は 0.48 となる.

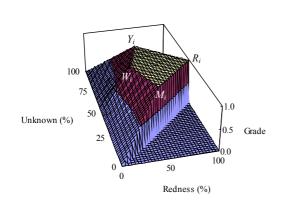


図 6 赤のファジィ集合

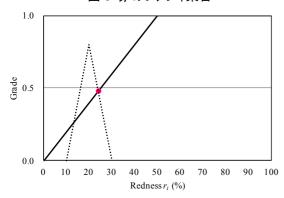


図7 カラートライアングル上のファジィ入力の射影

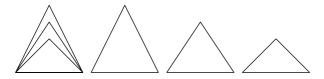


図8 ファジィ入力の形状変化

図9は後件部の新しいカラートライアングル上の横軸: redness の値 r_o と縦軸: unknown の値 uk の関係を示している. 図 9a はクリスプ入力 (円錐形ファジィ集合の中線に位置するシングルトン) に対する推論出力を示している. クリスプ入力の座標とこのクリスプ入力に対する推論出力は異なることが分かる. ところが, R, Y, G, Cy, B, M の位置は変化しない. 新しいカラートライアングルの各辺から外れることはない. クリスプ入力に対する他の推論結果はカラートライアングルの中央に集まる. これはファジィ集合の形状や重心の計算に依存する.

図 9b-d はファジィ入力に対する推論出力を示し、すべての入力に対してカラートライアングルの中央Wに集まる.図の上段は高さh=1.0の入力のクリスプ集合とファジィ集合で、左側の円錐の直径d=0%(棒状)は三角形の頂点および辺上に推論結果が出ている.R,Y,G,Cy,B,M の位置は変化しない.右側の40%と直径が大きくなると、カラートライアングル中央に大きく集中している.また高さh が 0.8 と小さくなると点の数が減少している.66の入力を加えているがいくつかは重なり少なくみえる.

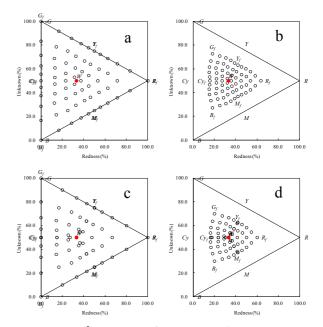


図 9 クリスプ入力とファジィ入力に対するカラートライアングル上の推論結果 (h, d)= a: (1.0, 0%), b: (1.0, 40%), c: (0.8, 0%), d: (0.8, 40%)

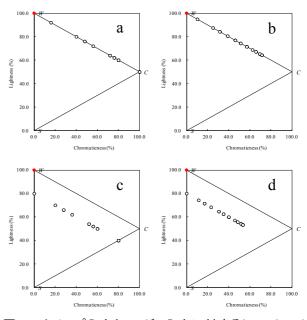


図 10 クリスプ入力とファジィ入力に対するトーントライアングル上の変換結果 (h, d)= a: (1.0, 0%), b: (1.0, 40%), c: (0.8, 0%), d: (0.8, 40%)

図 10 はトーントライアングル上への変換結果で横軸 chromaticness と縦軸 lightness の関係を座標(c_o , l_o)で示す.後件部の新しいカラートライアングル上へ red と green と blue のファジィ集合の一致度を色立体のベクトル空間へ移し,各成分ベクトルから得られる合成ベクトルの先端をトーントライアングル上に示した.図 10 上段は高さ h=1.0、下段は h=0.8 である.図 10a は入力としてのクリスプ集合と図10b-d はファジィ集合に対する出力である.左側の円錐の直径 d=0%の場合には三属性が0%カラートライアングル上のクリスプ入力に対して,トーントライアングルの C 点あるいは辺 CS 上で出力する.

C 点はあいまいさがないことを示している. 右側の 40%と直径が大きくなると, W (100% whiteness) の方向に移動することから,入力ファジィ集合の直径の増加に対してあいまいさは増している. 前述のカラートライアングルの中央に大きく集中していることに関係する. また高さ h が 0.8 (下段) と高さを低くすることで,図 10 の辺 CW 上からトーントライアングルの内側(辺 CW の下)に入る. また辺 CW からの距離,つまり blackness s が 10%,20%と増加し,点の数が減少している. 66 色が入力されているが,頂点 C に近い方から 4 点,3 点,3 点,1 点の計 11 点に重なっている. ここで,あいまいさ(vagueness)は whiteness 方向,可能性(possibility)は blackness と逆方向であるとする.

図 11a で辺 CS から頂点 W までの距離で CS に最も近い点までの距離に対する比を vagueness とする.

図 12 は横軸 pre-vagueness(後件部)と縦軸 post-vagueness(変換部)の関係を示す.図 12a 横軸は図 10 の後件部 R- R_f 間距離と R-W 間距離の比を vagueness とした.三角形ファジィ集合の高さ h=1.0(\triangle),h=0.9(\bigcirc),h=0.8(\diamondsuit),および h=0.7(\square) と変化させた.図 8 のように高さ h および形状が変わると vagueness は変化する.底辺を d とすると,d=0%で h=1.0(\triangle) はシングルトンである.h=0.9(\bigcirc),h=0.8(\diamondsuit),および h=0.7(\square) と高さが低くなるが,vagueness はあまり変化しない.底辺 d=10,20,30,40%では三角形の変化となる.

図 12a 縦軸は変換部 CS-W 間距離を図 11a のように測る. 三角形の底辺 d を広げると vagueness は増えるが,高さh を変えても vagueness は変化しない.

図 11a で vagueness の最大値は W (c_o , l_o) = (0%, 100%) であり、ここを 100%とするが、図 11b で h=0.8 において最大値は lightness 軸上の W (c_o , l_o) = (0%, 80%) 以上にはならないため、Wを 100%とする.

図 12b は図 11b のように、入力のh の大きさによって正規化した結果であり、理論値に近づいている。図 5 から次式が導かれ、vagueness の理論値が求まる.

$$c_o = \frac{100}{\frac{50}{r_o} + \frac{1}{2}} \tag{3}$$

新しいカラートライアングル(後件部)からトーントライアングルへの変換後に vagueness がどのように変わるかを見ると、図 12a は多対一の関係を示し、図 12b はほぼ一対一の対応関係を示す.

5. おわりに

本稿では、カラートライアングル(前件部)から新しいカラートライアングル(後件部)へ[3]、さらにトーントライアングル(最終部)への写像を考えた.特にクリスプ入力とファジィ入力に対してもカラートライアングル(後件部)上の推論値とトーントライアングル上の変換値で非線形な特性を示す.またあいまいさ(vagueness)は可能性(possibility)に影響されることが分かった.

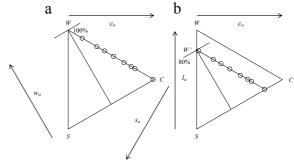
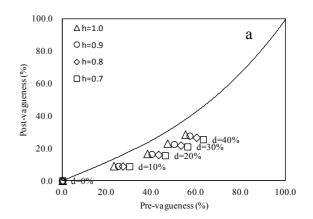


図 11 トーントライアングル上の変換結果の vagueness $a: W(c_o, w_o, s_o) = (0\%, 100\%, 0\%), b: W(c_o, l_o) = (0\%, 80\%). c:$ chromaticness, w: whiteness, s: blackness



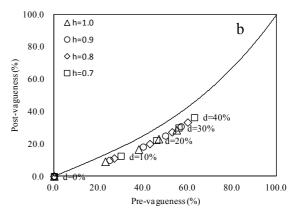


図 12 カラートライアングル上の vagueness とトーントライアングル上の vagueness の関係. *a*: 正規化しない結果および *b*: *h* で正規化した結果(曲線は理論値)

参考文献

- [1] L. Sivik, "Color systems for cognitive research." in *Color Categories in Thought and Language*. C. L. Hardin, and L. Maffi, Eds. Cambridge University Press, New York, 1997, pp. 163-193.
- [2] N. Sugano, "Fuzzy set theoretical approach to the RGB triangular system," *Journal of Japan Society for Fuzzy Theory and Intelligent Informatics*, vol. 19, no. 1, pp. 31-40, February 2007.
- [3] N. Sugano, "Fuzzy set theoretical approach to the tone triangular system," *Journal of Computers*, vol. 6, no. 11, pp. 2345- 2356, November 2011.
- [4] R. J. D. Tilley, Colour and Optical Properties of Materials, An exploration of the relationship between light, the optical properties of materials and colour. John Wiley & Sons, New York, 1999.

連絡先 sugano@eng.tamagawa.ac.jp

色彩に対する人間のあいまいな情報のファジィ理論的分析 一あいまいさと可能性の関係について一

Fuzzy Set Theoretical Analysis of Human Membership Values on the Color Triangle: Relationship between the vagueness on the color triangle (consequent) and vagueness on the tone triangle (transformation)

三村渡 Wataru Mimura 玉川大学 Tamagawa University 森文彦 Fumihiko Mori 玉川大学 Tamagawa University 菅野直敏 Naotoshi Sugano 玉川大学 Tamagawa University

Abstract: The present study considers a fuzzy color system in which three membership functions are constructed on a color triangle. This system can process a fuzzy input to a color triangle system and output the center of gravity of three weights associated with respective grades. Three fuzzy sets (red, green, and blue) are applied to the color triangle relationship. By treating the attributes of redness, greenness, and blueness on the color triangle, a target color can be easily obtained as the center of gravity of the output fuzzy set. In the present paper, 0% triangle is consisted of the lines of 0% redness, 0% greenness, and 0% blueness of the attributes. The colors on 0% triangle, map into the right corner of tone triangle (on C or near C). The difference between the resulting inference output and the transforming output is shown by the nonlinear characteristic between the redness r_o of the output (consequent) and the chromaticness c_o of the output (transformation). The vagueness is influenced by the possibility.

1. はじめに

本稿では、色彩に対する人間の「あいまいさ」を 可視化し、ファジィ推論を用いてそのスケールを示 すことを目的とする。カラートライアングル上の三 角錐台のような入力ファジィ集合(前件部)と実験 により得られた集合平均値(ファジィ集合)との関 係を調べ、あいまいな色の属性情報の近似推論値を 求める。また、あいまいさと可能性の関係について 報告する。

2. 加法混色とカラートライアングル

加法混色とは色光の 3 原色である赤 (Red),緑 (Green),青 (Blue) を組み合わせて色彩を表現する方法である[1]. 図 1 の RGB 色立体は加法混色で作られた色空間である。それぞれの軸は 3 原色に対応しており,色ベクトル C は各色成分ベクトル RGB の合成ベクトルとして次のように示される.

$$\vec{C} = \vec{R} + \vec{G} + \vec{B} \tag{1}$$

図 2a は加法混色で表現された 66 色のカラートライアングルである[]. このトライアングルは図 1a の RGB 色立体の赤(Red),緑(Green),青(Blue)を頂点としたトライアングル(ドット部分)である. これは色相と彩度で表される. カラートライアングル上の三角座標 (r,g,b) により与えられる位置は R (赤成分),G (緑成分),B (青成分)の量に対応している. 各成分が最大の時,白 (W) を表現することができる. カラートライアングル上で R (赤成分),G (緑成分),B (青成分)の比率が色彩を表現し,3つの属性の和が 100 %に等しくなる.

色ベクトルの方向のみを表す色度 r, g, b は以下のようになっている[2].

$$r = \frac{R}{R + G + B} \tag{2}$$

$$g = \frac{G}{R + G + B} \tag{3}$$

$$b = \frac{B}{R + G + B} \tag{4}$$

$$r+g+b=1 (5)$$

図 2b は 66 色のトーントライアングルである.図 1b の RGB 色立体の色相 (Hue),白 (White),黒 (Schwarz) を頂点としたトライアングル (ドット部分)である.この場合色相は赤である.これは明度と彩度で表される[3].

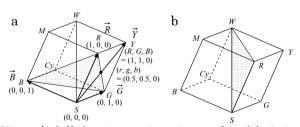


図1 色立体中のカラートライアングル (a) とト ーントライアングル (b)

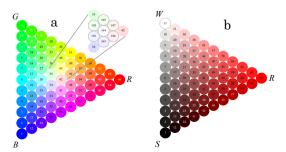


図 2 66 色のカラートライアングル (a) と 66 色 のトーントライアングル (b)

3. 色相のファジィシステム

図3は色相のファジィシステム[4][5][6]を表しており、カラートライアングル(R_i G_i B_i)の中線に平行な軸上に赤み(redness) r_i 、緑み(greenness) g_i 、青み(blueness) b_i がある。図3aでは、赤みが増すと赤成分の度合い μ_k が縦方向に増加する。これが赤のファジィ集合を形成する。また、このファジィシステムでは入力ファジィ集合 A_k (前件部)、ファジィ入力 I_n 、出力クリスプ集合 O_k (後件部)、およびファジィ出力O を示している。図3aは三角座標 (r_i , g_i , b_i)で、図3bは三角座標 (r_o , g_o , b_o)で、図3cは座標 (r_o , uk) で表されている。ファジィルールは次のように示される。

$$R^k$$
: if U is A_k then V is O_k (6)

ここで,k はルール番号(k=1,2,3)である.U=(r_i,g_i,b_i) は入力座標,V=(r_o,g_o,b_o) は出力座標である.入力ファジィ集合 A_k (前件部) は頂点 R_i , G_i , あるいは B_i における三角錐台のような形状であり,ファジィ入力 I_n は円錐,出力クリスプ集合 O_k (後件部) は頂点 R_o,G_o ,あるいは B_o におけるシングルトンである.ファジィ集合 O_k であれば,出力は O_k である.

ファジィ推論の方法は次のようである.ここで入力を $r_i = r_i$ ', $g_i = g_i$ ', $b_i = b_i$ 'とすると $U' = (r_i', g_i', b_i')$ となる.

- 1) ルール R^k の入力で $\alpha_k = A_k(U'), k = 1, 2, 3$ である. 2) ルール R^k の出力で,出力クリスプ集合 O_k はシングルトン(縦棒)である.
- 3) $O_k' = \alpha_k O_k$, ここで O_k' はファジィ集合 (縦矢印), また O_k はクリスプ集合 (縦棒) である. ルール R^1 , R^2 , R^3 の最終推論結果は O'である.

$$O' = \alpha_1 O_1 \cup \alpha_2 O_2 \cup \alpha_3 O_3 = O_1' \cup O_2' \cup O_3'$$
 (7)

出力座標 $V'=(r_o',g_o',b_o')$ は三角座標上のファジィ集合 O'の重心で, $V'=(r_o',uk')$ は普通の座標上のファジィ集合 O'の重心である.uk'は辺 BG 上の値(Bからの距離)である.

また、緑と青のメンバーシップ関数は図 4 のファジィ集合を W_i 中心に 120 度ずつ回転したものである. ファジィ入力 I_n と前件部のファジィ集合 A_k の積集合は $A_k \cap I_n$ である. 一致度は α_k =Height ($A_k \cap I_n$)で決まる. O_k = $\alpha_k O_k$ は後件部の R_o , G_o , B_o における各重みと考える.

これら三角形の頂点にある 3 本の縦矢印をファジィ集合とみなし脱ファジィ化する(図 3b の V)。図 3d は RGB 色立体であり,図 3b の各重みをベクトル空間に戻し,これらの合成ベクトルを作る。図 3e でこのベクトルを含むトーントライアングル(この例では直角三角形)を取り出し,図 3f のように正三角形に直すことで,トーントライアングル上の変換出力を示すことができる。ここで,トーントライアングルは CWS(図 3b)と同じ三角形で色相 C が B (blue)となっていることを示している。

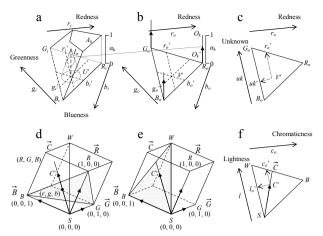


図3 色相のファジィシステム

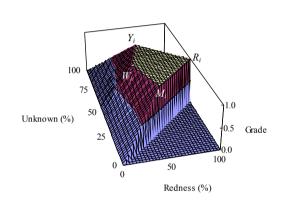


図4 赤のファジィ集合

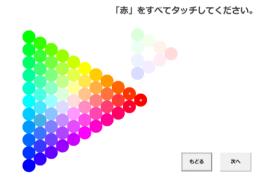


図 5 アンケート調査画面(GUI)

4. 実験方法

Microsoft Visual Basic 6.0 でアンケート調査プログラムを作成し、タッチセンサ付きディスプレイを用いて、男性 87 名、女性 78 名、計 165 名の被験者にアンケートを行った[5]. 被験者には 66 色のカラートライアングルを見てもらい、赤、緑、青、シアン(青緑)、黄、マゼンタ(赤紫)の6 色について、各色だと思う場所をすべてタッチしてもらう実験を行

った(図 5). アンケート評価方法は P 法 (Partition Method) を用いて実験を行った[7][8]. この評価法は 1 か 0 を入力し、境界をつくる方法である. データ はクリスプ集合となる. アンケートから得られた色 彩に対するメンバーシップ値を集合平均し、データをファジィシステムに入力した.

5. 実験結果および考察

図 6 は赤に対する集合平均値(ファジィ集合)である. grade は 66 色中の色彩範囲を選択した被験者の数に対応しており、その色である可能性を示す.

図7は新しいカラートライアングル(後件部)上の推論結果である. 横軸の redness と縦軸の unknown の関係を示している. あいまいさは結果が Wに近いほど大きくなる. 赤の結果は真の赤 R(頂点)に近いので他の色と比べあいまいさが小さい.

図 8 はトーントライアングル上への変換結果である. 横軸の chromaticness と縦軸の lightness の関係を示している. あいまいさは結果が W に近いほど大きくなり、可能性は辺 CW に近いほど高くなる. 赤の結果は W から離れており、他の色と比べあいまいさが小さい. マゼンタの結果は辺 CW から離れており、他の色と比べ可能性が低い.

図 9 はトーントライアングル上の変換結果のあいまいさ(vagueness)を示す模式図である.図 9a では,辺 CS から頂点 W までの距離に対する,辺 CS から変換出力までの距離の比を vagueness とする.辺 CS から頂点 $W(c_o, w_o, s_o)$ = (0%, 100%, 0%)の距離が vagueness 100%を示す.図 9b では,辺 CS から点W'(辺 WS 上)までの距離に対する,CS から変換出力までの距離の比を vagueness とする.h=0.8 の入力をした場合を示し,辺 CS から点 W'(c_o, l_o) = (0%, 80%)の距離が vagueness 100%を示す.

図 10 は縦軸の新しいカラートライアングル上のあいまいさ(pre-vagueness)と横軸のトーントライアングル上のあいまいさ(post-vagueness)の関係を示している. pre-vagueness は図 7 の真の色から Wまでの距離に対する,真の色から推論出力までの距離の比とする. 図 10a の post-vagueness は図 9a のように h で正規化しない結果であり,図 10b は図 9b のように h で正規化した結果である. また,曲線はファジィシステムにおける redness と chromaticness の非線形な特性を示した理論値である. 図 3 から次式が導かれ,vagueness の理論値が求まる.

$$c_o = \frac{100}{\frac{50}{r_o} + \frac{1}{2}} \tag{8}$$

図 10a では可能性の低いマゼンタの結果の pre-vagueness の値が小さく出ているが,図 10b では 大きくなり理論値に近づいた.よってこのファジィシステムにおいて,h で正規化する方法が vagueness を示しているのではないかと考える.

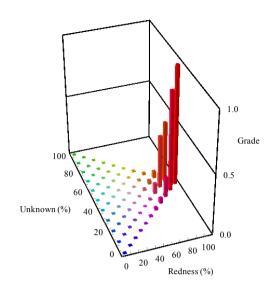


図 6 赤に対する集合平均値(ファジィ集合)

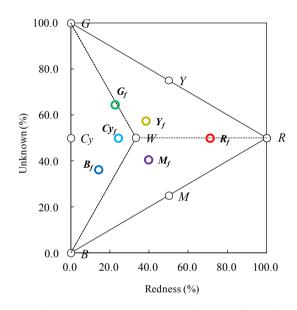


図 7 新しいカラートライアングル上の推論結果

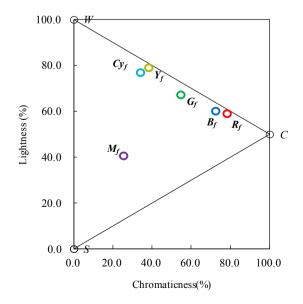


図8 トーントライアングル上への変換結果

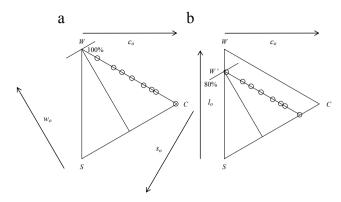
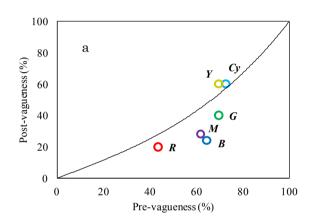


図 9 トーントライアングル上の変換結果の vagueness $a: W(c_o, w_o, s_o) = (0\%, 100\%, 0\%), b: W'(c_o, l_o) = (0\%, 80\%). c: chromaticness, <math>w$: whiteness, s: blackness



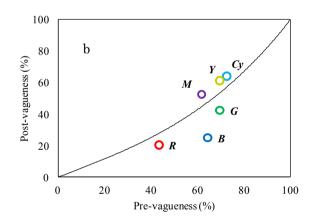


図 10 新しいカラートライアングル上の vagueness とトーントライアングル上の vagueness の関係. *a*: 正規化しない結果および *b*: *h* で正規化した結果 (曲 線は理論値)

6. おわりに

本稿では、色彩に対する人間の「あいまいさ」を ファジィ集合として可視化し、ファジィ推論を用い てそのスケールを新しいカラートライアングル(後 件部)およびトーントライアングル(変換結果)上 に示した. ファジィシステムにおいて,カラートライアングル(前件部)から新しいカラートライアングル(後件部)へ,さらにトーントライアングル(変換結果)までの写像を示すことによって,あいまいさが可能性に影響されることを明らかにした.

今後はさらに実験を重ねてあいまいさについて分析する.

参考文献

- [1] Tilley, R. J. D.: Color and Optical Properties of Materials, An exploration of the relationship between light, the optical properties of materials and color. John Wiley & Sons, New York, 1999.
- [2] Valberg, A.: *Light Vision Color*. John Wiley & Sons, New York, 2005.
- [3] Sivik, L.: Color systems for cognitive research. in Color Categories in Thought and Language. Hardin, C. L. and Maffi, L. Eds. Cambridge University Press, New York, pp.163-193, 1997.
- [4] Sugano, N.: Fuzzy set theoretical approach to the RGB triangular system, *Journal of Japan Society for Fuzzy Theory and Intelligent Informatics*, Vol. 19, No. 1, pp. 31-40, February 2007.
- [5] Kato S., Shinomiya I., Mori F., Sugano N.: Fuzzy Set Theoretical Analysis of Human Membership Values on the Color Triangle-Mapping from the Color Triangle (antecedent) via the Color Triangle (consequent) to the Tone Triangle - , Proc. of ICPRAM 2014 Angers, Loire Valley, No92, pp.239-246, March 2014.
- [6] 菅野直敏:解説 ファジィ理論の色彩への応用, 知能と情報(日本知能情報ファジィ学会誌) Vol.26, No.3, pp.84-100, 2014.
- [7] 三村渡,森文彦,菅野直敏: 色彩に対する人間の あいまいな情報のファジィ理論的分析,第 41 回 ファジィ・ワークショップ講演論文集,pp.71-74, 2015.
- [8] 三村渡,森文彦,菅野直敏:色調に対する人間の あいまいな情報のファジィ理論的分析,第 28 回 バイオメディカル・ファジィ・システム学会年 次大会講演論文集,pp.99-102, 2015.

連絡先

玉川大学

E-mail: mmrwa0is@engs.tamagawa.ac.jp

森 文彦

E-mail: morif@lab.tamagawa.ac.jp

菅野 直敏

E-mail: sugano@eng.tamagawa.ac.jp

果物名称想起時における脳内活動部位について

Spatiotemporal Brain Activities on Recalling Fruit Names

杉本幸司

山ノ井髙洋

豊島 恒

Koji Sugimoto 北海学園大学 Takahiro Yamanoi 北海学園大学

Hisashi Toyoshima ジャパン・テクニカル・ソフトウェア

Hokkai-Gakuen University

Hokkai-Gakuen University

Japan Technical Software

大槻美佳

大西真一

山﨑敏正

Mika Otsuki 北海道大学

Shin-ichi Ohnishi 北海学園大学

Toshimasa Yamazaki 九州工業大学

Hokkaido University

Hokkai-Gakuen University Kyushu Institute of Technology

The authors have measured electroencephalograms (EEGs) from subjects observing images of part of fruit and recalling them silently. The equivalent current dipole source localization (ECDL) method has been applied to those event related potentials (ERPs): averaged EEGs. ECDs were localized to the primary visual area V1 around 100msec, to the ventral pathway (TE) around 270msec, to the parahippocampal gyrus (paraHip) around 380msec. Then ECDs were localized to the Broca's area around 450msec, to the fusiform gyrus (FuG) around 600msec, and again to the Broca's area around 760msec. Process of search and preservation in the memory has been done from the result of some ECDs to the paraHip.

1. はじめに

ヒトが言語を認知する際には、これまで言語野と 言われてきた左側頭部の受容性言語野(Wernicke 野)や表出性言語野(Broca 野)のみではなく、様々な 部位が言語処理に関与していることが昨今明らかと なってきている. 現在では, 入力に関しては, 語音 → 語音の弁別・認知(上側頭回など) → 意味の認知 (Wernicke 野など)を経る過程,出力に関しては, 語の想起(Broca 野など) → 音の選択・配列(前頭葉 や頭頂葉) → 発語コントロール(中心前回)を経る 過程が想定されている. また Wernicke 野に関して は、音の弁別や音韻的処理後の過程、すなわち、意 味の処理ないし音と意味の連合などを司っていると 考えられており、Broca 野に関しては、発語そのも のではなく発語の前段階, すなわち語の想起などの 処理に関与していると考えられている. また, 言語 処理に関する脳部位(Wernicke 野, Broca 野, 角回 など)の優位性は、利き手によって異なり、右利きの 99%以上および左利きの70%前後が左半球優位とさ れている.

しかしながら, 言語処理は文字の認識, 言語の理 解(発音や文法など), 意味理解(語彙など)というよう な複数のプロセスが複雑に絡み合っており、厳密に 各現象を分離することが困難である. さらに、1 つ の部位が複数の役割を果たすということも考えられ る. そのため、ヒトの脳における個々の部位がどの ような処理を行っているかを明確に示すことは非常 に困難とされている.

一方,日本人における文字言語処理において,漢 字とひらがなの想起や書字に際して, 脳内において 使用する部位が異なることはよく知られている[1]. 著者らの一部は,左右視野に提示された言語刺激(漢 字とひらがなの単語)に対する脳活動について等価

電流双極子推定(Equivalent Current Dipole source Localization: ECDL)法[2]による推定を行い、左右 脳機能に差が存在すること, そして漢字とひらがな の認知では優位脳半球が異なることなどを確認した

本研究では、被験者に対し、果物画像を提示し、 その名称を想起させる実験を行い, この際の脳波 (Erectroencephalogram: EEG)を計測し、計測した EEG を解析することで脳内活動部位および脳内活 動経路の時空間的推定を行った.

2. 提示した視覚刺激と脳波計測装置

被験者に対して、「サクランボ」と「バナナ」、「カ キ」など、10 種類の果物の線画(図 1)を提示し、そ れらの名称を想起させた. 本研究では, 10種類の画 像のうち「サクランボ」提示時における脳波解析を 試みた結果を報告する.

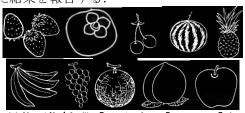


図1 果物画像(上段「イチゴ」、「カキ」、「サクラン ボ」、「スイカ」、「パイナップル」下段「バナナ」「ブ ドウ」「メロン」「モモ」「リンゴ」)

実験は、まず被験者に対し画面中央に注視点を 4 秒間提示し、これをマスキング画面とした. マスキ ングは眼球運動を抑制し、脳波計測開始時の波形を 安定させる効果がある. その後, 画面中央に視覚刺 激を3秒間提示した. 視覚刺激提示開始時から3秒 間の EEG を計測した. 以上のサイクルを 40 回繰り

返し、1 サイクルとして、2 サイクルを 1 セットとした。なお、視覚刺激はランダムに提示した。

3. 脳内処理部位の推定方法

実験で得られた EEG に対して画像ごとに分割し、加算平均を行い、各画像における事象関連電位 (ERP) データを得た.この ERP データに対し、ECDL 法を適用した.一般に、ECDL 法では、頭部モデル内に ECD を置いて、頭皮上の電位分布の理論値を計算する「順問題」と、理論値と計測値の誤差が最小となるように ECD パラメータを最適化する「逆問題」を解く.逆問題の解析は、不良最適化問題となり、格子点に初期値を設定した数値解析法を用いて解く.頭部モデルとしては、導電率の異なる頭皮、頭蓋骨および皮質の3層の同心球としてモデル化した.

被験者の同心球モデルの設定には各被験者のMRIを利用した.また,推定結果の精度および信頼性については,それぞれ,Goodness of fit (GOF) および統計的な信頼限界の値によって評価した.これらの解析には PC 版ダイポール推定ソフトウェア(SynaCenterPro: NEC) を用いた.なお,推定結果のうち GOF 値が 99%以上,95%の信頼限界が 1mm以下である結果を採用した.著者らが用いているダイポール推定ソフト SynaCenterPro では,推定された結果のダイポールが被験者の MRI にスーパー・インポーズされ表示される.

4. 脳内処理部位の推定結果

本研究では Y.Y.(右利き, 22 歳, 女性) および K.S (右利き, 22 歳, 男性) の, 画像「サクランボ」に対する想起時の ERP データの解析を行った. 被験者の実験 ERP は以下の通りである. (図 2 (K.S.))

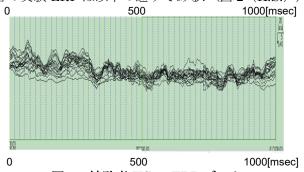


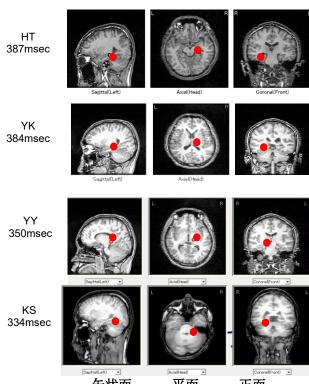
図 2 被験者 KS の ERP データ

先行研究[3], [4], [5], [6]や[11]などの結果では, 350msec 以後で視覚刺激に対する初期認知がなされ, それ以降で言語処理などの高次処理がなされると考えられている. 図2の ERP データでもこのことが読み取れる。したがって本研究においてもそのことを考慮に入れながら, 脳内活動部位の推定を行った.

今回及び先行研究における SynaCenterPro による推定結果の例を図 3, 図 4 に示す. なお, 被験者に関する情報は表 1 のとおりである. No.1 および 2 が先行研究, No.3 およびNo.4 が今回の被験者である.

表1 被験者についてのデータ

No.	被験者	利き手	年齢	性別	提示画像
1	H.T.	右	22	男	バナナ
2	Y.K.	左	22	男	カキ
3	Y.Y.	右	22	女	サクランボ
4	K.S.	右	22	男	サクランボ



矢状面 平面 正面 図3 推定された ECD 結果の例1

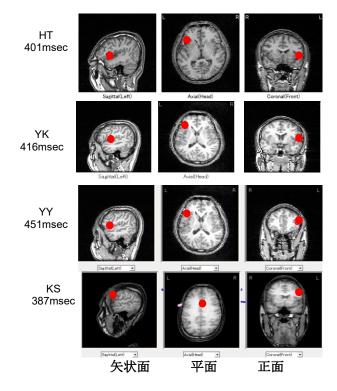


図4 推定された ECD 結果の例2

被験者において、SynaCenterPro により推定された主な ECD とそれらが推定された潜時の関係を以下に示す(表 2).

表 2	被験者の	ECD	推定部位	د در	その港時
4X ZI	19メ 80大 7日 マノ	עטע		<u> </u>	しょうしゅん

~			- C - IH - 1
波験者	V1	R TE	R ParaHip
YY	88	276	350
KS	119	277	334
	R FuG	R ParaHip	R ParaHip
	361	375	380
	377	380	
	R ParaHip	Broca	L Insula
	386	451	466
		387	
	R ParaHip	R ParaHip	Broca
	485	487	540
	430	470	530
	R FuG	Broca	R AnG
	606	645	652
	585	601	683
	R AnG	R FuG	R Wernicke
	655	678	729
		754	
	R Broca		
	760		
	828	[m	sec]

なお, これら以外にも潜時 305ms から潜時 403ms で右海馬傍回 R ParaHip における活動が 繰り返し推定された.

5. 脳内処理部位の推定結果

被験者における,推定された ECD の部位と潜時の表(表 2)から,「サクランボ」の名称想起時の脳内活動経路について考える.冒頭で示したように,現在,言語の認知に関して,入力・出力時における経路が想定されている.このことより, $V1 \to TE \to R$ ParaHip $\to R$ FuG $\to R$ ParaHip $\to B$ roca を経る経路(図 5),そして,Broca $\to R$ LInsula $\to R$ ParaHip \to Broca $\to R$ FuG $\to R$ Broca $\to R$ Rug $\to R$ Broca $\to R$ Rug $\to R$ Fug $\to R$ Broca $\to R$ Rug $\to R$ Rug $\to R$ Broca $\to R$ Rug $\to R$ Rug $\to R$ Broca $\to R$ Rug $\to R$ R

本研究では「サクランボ」提示時における名称想起時に対する脳波解析を行ったが、「バナナ」「カキ」における脳波解析の先行研究がある. 推定された ECD とそれらが推定された潜時の関係を以下に示す(表 3).

表3 推定部位とその潜時の先行研究との比較

		先行研究		今回の研究	
		バナナ	カキ	サクランボ	
		H.T.	Y.K.	Y.Y.	K.S.
1	V1	146	87	88	119
2	R TE	291	316	276	277
3	R ParaHip	387	384	350	334
4	R FuG	391	401	361	377
5	R ParaHip	401	416	375	380
				380	
				386	
6	Broca	436	512	451	387
7	L Insula	442	522	466	
8	R ParaHip	508	548	485	430
		534		487	470
9	Broca	569		540	530
10	R FuG	584		606	585
11	Broca			645	601
12	R AnG	626		652	683
				655	
13	R FuG	655		678	754
14	R Wernicke	662	681	729	
15	Broca		711(L)	760(R)	828

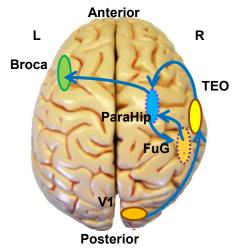


図5 「サクランボ」における入力経路

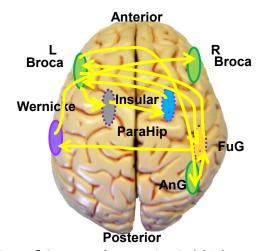


図6 「サクランボ」における出力経路

6. 考察

画像「サクランボ」想起時において、言語や認知などに関連する多数の処理に関わっているとされている角回や、Broca 野、Wernicke 野など言語野とされる部位での活動が確認された。角回で推定された ECD は、その後 Wernicke 野で推定された。この際に入力された情報の統合が行われたと考えられる.

被験者 Y.Y.の推定結果では、言語野とされる Broca 野、Wernicke 野などの活動の多くが左大脳半球に集中していることが確認できる. したがって Y.Y.の言語野は左半球優位であると考えられる. 一方で潜時 760msec においては右 Broca 野での活動も見られる. このことから、右半球の活動も時折見られると考えられる.

また、記憶に関わる部位として知られている海 馬・海馬傍回、紡錘状回においては、脳の左半球で は主に言語記憶を、右半球では主に非言語記憶を司 っているといわれている。本研究においても右海馬 傍回での活動が、複数回にわたり推定されたことか ら、名称想起において非言語記憶における何らかの 処理が優先的に行われ、しかもそれが常に記憶の探 索・整理・保持が行われていると考えられる。

先行研究との比較においては、入力経路としては 本研究においても先行研究においても記憶処理に関 わる海馬傍回や紡錘状回の部位で活発な脳活動がな されていたと思われる. 出力経路においては、本研 究においても先行研究においても島皮質を経由して いる. 島皮質は、食べ物における味覚に関係すると いわれており、いずれの場合も刺激として提示され た果物における味覚の意識的な欲望などと関連があ ると考えられる.

一方で、先行研究の「バナナ」想起時および本研 究の「サクランボ」想起時の推定においては、言語 や認知などに関連する多数の処理に関わっていると されている角回や、Broca 野、Wernicke 野など言語 野とされる部位での活動が確認された. 角回で推定 された ECD は、その後 Wernicke 野で推定された. この際に入力された情報の統合が行われたと考えら れる. ところが先行研究の「カキ」想起時において は、角回や Broca 野における活動があまり見られな いままに、その後 Wernicke 野で推定されている. これは、「サクランボ」と「バナナ」には共通するが、 「カキ」はこれらとは異なるなにがしかの要因があ るためとも考えられる. しかしそれがどの要因に対 応するものであるかは本研究では明らかにはできな かった. それがもし視覚的な要素で認知時による影 響であるとすれば「細長い果物」と「丸い果物」で あるとか、もし想起時による影響でるとすれば果物 の和洋の違いであるとか単語の長さであるとか考え られる. 今後の研究で明らかにしたい.

謝辞

本研究の一部は,2013年度で終了した文部科学省 私立大学戦略的研究基盤形成支援事業に伴う「電磁・光センシングを主体とする生体関連情報の先進 的計測・処理技術の開発と応用」の機器を用いて行われた

参考文献

- [1] M. Iwata, M. Otsuki, et al.: "Mechanisms of writing, Neurogrammatology" (Japanese), IGAKU-SHOIN Ltd, pp.179-220, 2007.
- [2] T. Yamazaki, K. Kamijo and A. Kenmochi: "Accuracy of Multiple Equivalent Current Dipole Source Localization from EEG in Terms of Confidence Limits for Radial Distances", Bio Medical Engineering, 37-4, pp.336-341, 1999.
- [3] T. Yamanoi, et al.: "Dominance of recognition of words presented on right or left eye -Comparison of Kanji and Hiragana-", Modern Information Processing from Theory to Applications, pp. 407-416, Elsevier Science B.V., Oxford, 2006.
- [4] Y. Tanaka, T. Yamanoi, M. Otsuki et al.: "Spatiotemporal Brain Activities on Recalling Body Names", 22th Soft Science Workshop, pp.27-28, 2012.
- [5] 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.
- [6] H. Toyoshima, T. Yamanoi, T. Yamazaki and S. Ohnishi: "Spatiotemporal Brain Activity During Hiragana Word Recognition Task", Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol. 15, No. 3, pp. 357-361, 2011.
- [7] Geschwind and A. M. Galaburda: "Cerebral Lateralization", The Genetical Theory of Natural Selection, Clarendon Press, Oxford, 1987.
- [8] K. Parmer, P. C. Hansen, M. L. Kiringelbach, I. Holliday, G. Barnes, A. Hillebrand, K. H. Singh and P. L. Cornelissen: "Visual word recognition: the first half second, NuroImage", Vol. 22-4, pp. 1819-1825, 2004.
- [9] John P. J. Pinel: "Biopsychology", 5th Edition, Allyn & Bacon, 2002.
- [10] Mark F. Bear, Barry W. Connors and Michael A. Paradiso: "Neuroscience: Exploring the Brain", 3th Edition, Lippincott Williams & Wilkins, 2006.
- [11]田中良典, 山ノ井髙洋, 大槻美佳, 豊島 恒, 大西真一,山崎敏正 身体部位名称想起時における脳内部位活動について ソフトサイエンス・ワークショップ講演論文集 23 pp.76-79, 2013.

情報教育のためのプログラム説明における語使用の調査

An investigation of word usage in explanation of programs as a basis for computation literacy education

竹内 和広

宮本 拓弥

山下 大貴

Kazuhiro Takeuchi

Takuya Miyamoto 大阪電気通信大学

Hiroki Yamashita

Osaka Electro-Communication University

Abstract: Computer engineers use some general words as technical words for describing features, functions or way of process in computer programs. This article reports a part of our investigation of such usage of general words.

1. はじめに

プログラミングは情報技術における専門技能として重要な位置づけにある。著者らは、プログラム初心者が中級に至る過程の中で、プログラムの部分パターンを意識的に理解させるためには、プログラム内容を他人に説明させることが有効と考えている。本稿ではその考えの背景と、教材としての説明対象となるプログラム部分の選定に関する調査を報告したい。

2. 初心者によるプログラム説明

プログラムの基本構造そのものは専門家でなくとも理解できる。例えば、GUI プログラミング言語である Scratch[1]では、情報を専門としない中学生や高校生でも条件分岐や繰り返しといったプログラムの基本構造を学習できるとされる。しかし、プログラムは、基本構造を組み合わせて目的を達成することが本質である。この点をプログラム初心者がどう自覚的にとらえているかは明らかではない。

そこで、プログラムの基本構造の組み合わせについて、プログラム初学者の認識を確認するための調査を行った。具体的には、プログラムの基本文法を学んだ情報系学科の大学生が、プログラムの基本構造をどのような自然言語で他人に説明するか調査した。学生は半期 15 回講義・演習で C プログラミングの基礎を学んだ 150 名の大学 1 年生である。この大学生に対して、プログラム例やプログラム構成概念を自然言語によって説明をさせる調査を実施した。

調査のうち、プログラム例を説明させる試みについて端的に紹介する。図1が説明を要求した2つのプログラム例であり、調査を行った大学生が15回の授業内で学んだ内容に含まれる。

どちらのプログラムの説明にも「c に a の値を代入、a に b の値を代入、b に c の値を代入する。」といった単に時系列の手続きを日本語にしただけの説明がある。しかし、繰り返しと配列の入った②の例では、有効回答 101 件のうち 68%が「最大値」、あるいは「最大の値」といった表現を使い、最大値を求めるプログラムという説明を書いた。それ対して、何の制御構造も含まれていない①の説明では、有効回答 124 件中の 16%にしか、「値の交換」や「入れ替え」という表現は見られなかった。この結果は、

プログラムの動作の流れを読むことできても、交換といったプログラムの特定パターンが果たす目的や 機能に気付けているとは限らない、あるいは意識で きているとは限らない問題を示している。

このことから、教示の際に、プログラムの特定部分が果たしうる目的を、明確な言語によって説明させることにより、意識させることが重要ではないかと考え、次節に述べる調査を着想した。

プログラム例① c=a; --h:

a=b; b=c;

プログラム例②
/* 配列 a の各要素には整数値が入っている*/
max=a[0];
for(i=1; i<10; i++){
 if(a[i]>max) max=a[i];
}

図1 調査を行ったプログラム例

3. プログラム中の語使用の調査

前節の調査結果において②の例が最大値を求めるプログラムと説明できた一因には、max という最大値を想起させる語が使われていることも考えられる。プログラミング言語は人工言語であるが、その記述において変数や関数名といった識別子に自然言語の語が用いられる。そして、特にオブジェクト指向のプログラミング言語では、クラスに対してメソッドを定義する関係から、動詞と名詞の述語項構造といった自然言語の知識特性が顕著に反映されているものと考えられる。つまり、プログラムのパターンとそれを説明する語を結ぶ手がかりとして識別子命名の分析が有用と考えられる。

プログラムのパターンを経験的に整理したものには、GoFのデザインパターン[2]がある。しかし、デザインパターンは情報教育の初学者の教材としては対象とする粒度が大きすぎるように思われる。

プログラムの利用目的は数理的な対象から、社会 的な対象まで幅広い。初中級の学習者が学ぶべき、 基本パターンと言語説明との対応を調査するため、 目的が形式的に記述されている数理プログラムの実装について調査することを考えた。具体的には、同じ目的をもちながら、別の開発者が作成した複数の実装の中で共通して用いられる語を抽出することで、プログラム例のパターンを発見する上で適切な語の候補を得たい。

調査は、初中級の数理プログラム例題としてよく 実装される、決定木とニューラルネットワーク(以 下 NN)のオープンソースプログラムを対象とした。 具体的な決定木、NN の実装として、それぞれ 6 プロジェクトの Java 言語で書かれたプログラムを選 んだ。

調査対象として2種類の数理的題材を選んだものの、オブジェクト指向のクラス定義は、プログラム開発者がクラス名、メソッド名に選ぶ語に自由度が存在する(前者をクラス語、後者をメソッド語と呼ぶ)ため、単なる識別子比較では検討が難しい。

そこで、前者の多様性には、情報検索分野で良く用いられる tf.idf 値を使って、クラス語の候補語を抽出した。tf.idf 値は、当該の記事では特徴的に数多く出現する様を表す統計指標で、Wikipedia の NNと決定木に関する記事[3]に適用すると、NN ではneural や layer, 決定木だと branch や attribute といった語が、それぞれに特徴的だということが得られる。これらの語の多くは、クラス名として使われる語の候補と考えた。

他方、メソッド語の多様性への対応には関連語マイニングツール[4]を用いた。例えば、NNのあるプログラムにおいてlayerクラスにnextメソッドを直接実装していなくても、layerという語を持つ識別子がnextという語をもつ識別子と関係性を持つことを認定する。このことにより、特定のクラスに関する操作を定義する複数のプロジェクトに共通する語を、より柔軟に見ることができる。

調査結果の一部を表 1 に示す。これらの語は、決定木および NN の Wikipedia 記事による説明で、以下の条件を満たすメソッド語の例である。

- i. クラス語の候補と関係性を持ったメソッド語
- ii. 上記 i で発見したメソッド語であり、発見した 例と等価なクラス・メソッド関係を持って 2 つ 以上のプロジェクトで出現する
- iii. プログラム関連の教科書のサンプルプログラムでメソッド語となっている。

表 1 ではさらに、iii の条件を分類して提示した。 具体的には、分類 A は、デザインパターンに関する 教科書 [5]のサンプルプログラムで出現したメソッ ド語、分類 B はアルゴリズムに関する辞典[6]のサン プルプログラムに出現したメソッド語、分類 A+B は左記教科書の両方ともに出現するメソッド語であ る。

表1が示すように、教科書や辞典のプログラムサンプルの識別子に出現する語は、特定目的のプログラムにおいて、開発者が異なっていても共通して使用されるメソッド語群があることを確認した。また、

分類 A+B 項目のメソッド語の例が示すように、デザインパターンを意識的に採用したプログラムであっても、デザインパターンに特有なメソッド語ばかりを使う訳ではなく、デザインパターンよりも粒度の低いプログラムパターンが存在しうることが推察できる。

表 1 複数のプロジェクトで共通して使用されたメ ソッド語

分類	決定木	NN
Α	label, iterator,	trace, iterator,
	factory	factory
В	split, merge, new,	index, weight,
	key, reduce	error, verify
A+B	set, value, count,	list, array, line,
	add	input, next, get

4. まとめ

本稿の調査では、中規模プログラムの構成において語レベルで共通して用いられるメソッド語の存在を確認した。それらの語は、プログラム関連の教科書に掲載されているサンプルプログラムの識別子においても一般的に使用されており、今後、これらの語に基づいて、教育向けのプログラムパターンを発見していきたい。また、収集したメソッド語を使い、プログラムのパターンを説明する上で適当な自然言語の表現を検討していきたい。さらに、知見の応用として、プログラムの部分構成と自然言語の表現を対応づけた GUI プログラミング環境を開発していく予定である。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費(研究課題番号:15K01100) の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] M. Resnick et al.: Scratch: Program for All, Communication of ACM, 52-11,pp.60-68, 2009
- [2] E.Gamma et al.: Design Patterns, Addison-Wesley, 1994
- [3] https://en.wikipedia.org/wiki/Artificial_neural_network および https://en.wikipedia.org/wiki/Decision_tree
- [4] 山下大貴他: WordNet および Wikipedia と連携 するソースコード上の関連語マイニングツール,

SES2014 予稿集, pp194-195, 2014

- [5] 結城 浩: 『増補改訂版 Java 言語で学ぶデザインパターン入門』. 技術評論社, 2008
- [6] 奥村晴彦他: 『Java によるアルゴリズム事典』. 技術評論社, 2003

連絡先

大阪電気通信大学情報通信工学部 竹内和広

(E-mail: takeuchi@isc.osakac.ac.jp)

二重メンバーシップをもつクラスタリング技法

Clustering Using Twofold Memberships

宮本 定明

Sadaaki Miyamoto

筑波大学

University of Tsukuba

Abstract: Two methods of clustering using twofold memberships to clusters are studied. Rough K-means by Lingras use upper and lower memberships, which have variations and generalizations, also have drawbacks: the method does not have a good clustering rule. More generally, the idea of overlapping clusters have difficulties in analyzing their theoretical properties. In contrast, when we give up overlapping clusters, fuzzy c-means and their variations are easily derived and their properties are simple and easy to understand. In this report we overview two techniques based on the latter idea. Two membership matrices are used for an objective function of fuzzy c-means. Moreover a matrix uses a noise cluster while the other not. An illustrative example is shown.

1 はじめに

比較的最近、2 つのメンバーシップをもつファジィ集合の制御への応用が盛んになり、かつ以前よりクラスターのファジィモデルや制御への応用が論じられていることをみると、2 つのメンバーシップをもつクラスタリング技法について考察しておくのが有用であると考えられる。

一方でラフ集合 [10] に関連して、Lignras ら [6] によって rough K-means というクラスタリング技法が提案されている。またそれに続く研究 [4] によって、rough K-means に対応する目的関数が導入され、その理論的基盤が明らかにされてきたことにも注目する必要がある。この技法では、上近似と下近似に対応する2 つのメンバーシップが想定されている。

Fuzzy c-means [1,8,9] におけるクラスタリングルールとその意味付けについては、筆者を含む研究グループが明らかにしてきた。しかしながら、この方法を上記の rough K-means に適用しようとしても、有用なクラスタリングルールを得ることは難しい。このことは、rough K-means の有用性が限定的であることを示唆している。

ここでは、rough K-means ではなく、fuzzy c-means から自然に導出される二重メンバーシップクラスタリング技法に着目し、その理論的性質について検討する。特に、ノイズクラスタリング [2,3] を用いた方法に注目する。

2 ファジィクラスタリングと二重のメンバー シップ

Rough K-means についての説明は省略し、fuzzy c-means とその変形について述べよう。クラスタリングすべき個体集合を $X=\{x_1,\ldots,x_N\}$ とし、各 x_i はユークリッド空間 R^p 内の点: $x_i=(x_i^1,\ldots,x_i^p)^\top$ ($i=1,\ldots,N$)とする。クラスター数は c とし、クラスターの代表点 $v_i=(v_i^1\ldots,v_i^p)^\top$ を並べた行列を $V=(v_1,\ldots,v_c)$ とする。また、ユークリッドノルムを用いて $d(x,v_i)=\|x-v_i\|^2$ とおく。個体 x_k のクラスター i への帰属度行列は $U=(u_{ki})$ で表すが、いまーつの帰属度行列を $T=(t_{ki})$ とし、U と T を用いる。U と T には、次の制約条件が課される。

$$\sum_{i=1}^{c} u_{ki} = 1, \ k = 1, \dots, N,$$

$$u_{lj} \ge 0, \ l = 1, \dots, N, \ j = 1, \dots, c$$

$$\sum_{i=1}^{c} t_{ki} = 1, \ k = 1, \dots, N,$$

$$t_{li} \ge 0, \ l = 1, \dots, N, \ j = 1, \dots, c$$

2.1 二重メンバーシップをもつ目的関数 次の目的関数を考察しよう。

$$J_1(T, U, V) = \sum_{k=1}^{N} \sum_{i=1}^{c} \{ (t_{ki})^{m'} + (u_{ki})^m \} d(x_k, v_i),$$

$$(1 < m' < m). \tag{1}$$

適当な初期値を与え、これをT, U, Vについて交互最 適化することを収束するまで繰り返す。最適解は次の ようになる。

$$t_{ki} = \frac{\frac{1}{d(x_k, v_i)^{\frac{1}{m'-1}}}}{\sum_{j=1}^{c} \frac{1}{d(x_k, v_j)^{\frac{1}{m'-1}}}}$$
(2)

$$u_{ki} = \frac{\frac{1}{d(x_k, v_i)^{\frac{1}{m-1}}}}{\sum_{j=1}^{c} \frac{1}{d(x_k, v_j)^{\frac{1}{m-1}}}}$$
(3)

$$v_{i} = \frac{\sum_{k=1}^{N} \{(t_{ki})^{m'} + (u_{ki})^{m}\} x_{k}}{\sum_{k=1}^{N} \{(t_{ki})^{m'} + (u_{ki})^{m}\}}$$
(4)

収束したときの v_i を用いて、クラスタリングルールを 表す分類関数 [8,9] を定義する。

$$T_{i}(x;V) = \frac{\frac{1}{d(x,v_{i})^{\frac{1}{m'-1}}}}{\sum_{j=1}^{c} \frac{1}{d(x,v_{j})^{\frac{1}{m'-1}}}}$$

$$(5) \qquad \sum_{i=0}^{c} t_{ki} = 1, \ 1 \le k \le N, \ t_{lj} \ge 0, \ 1 \le l \le N, \ 0 \le j \le c$$

$$U_{i}(x;V) = \frac{1}{\frac{1}{d(x,v_{i})^{\frac{1}{m'-1}}}}$$
と変化する。これに対して U は、ノイズクラスターへ $U_{i}(x;V) = \frac{1}{\frac{1}{d(x,v_{i})^{\frac{1}{m-1}}}}$ (6) の帰属性を表さない。 交互最適化における最適解は次式で与えられる。

さらに

$$\mathcal{T}_i = \{ x \in \mathbf{R}^p : T_i(x; V) > T_j(x; V), \ \forall j \neq i \}$$
 (7)

$$\mathcal{U}_i = \{ x \in \mathbf{R}^p : U_i(x; V) > U_j(x; V), \ \forall j \neq i \} \quad (8)$$

とおくと、次の命題が成立する。以下証明は省略する。 命題 1. $T_i = U_i$ であり、両者はともに v_i を中心とす るボロノイ集合 [5,8] となる。

命題 2. 関数 $T_i(x;V)$, $U_i(x;V)$ について、次の性質 が成立つ。

$$T_i(v_i, V) = U_i(v_i, V) = 1 \tag{9}$$

$$\lim_{\|x\| \to \infty} T_i(x, V) = \lim_{\|x\| \to \infty} U_i(x, V) = \frac{1}{c}$$
 (10)

$$T_i(x, V) \ge U_i(x, V), \quad x \in \mathcal{T}_i.$$
 (11)

これらの結果をラフ集合の概念 [10] に比較すると、 T と U はそれぞれ上近似的なクラスターと下近似的な

クラスターを表すかのように考えられる。またこれら の分類関数 $T_i(x;V)$, $U_i(x;V)$ は命題 2 で示されるよ うに、通常の fuzzy c-means におけるメンバーシップ 関数と同様の性質をもっている。しかしながら、rough K-means にみられるようなオーバーラップするクラス ターは生じない。

2.2 ノイズクラスタリングを用いた目的関数

次に、ノイズクラスタリング [2, 3] のアイデアを用 いた目的関数を考える。

$$J_2(T, U, V) = \sum_{k=1}^{N} \sum_{i=1}^{c} \{ (t_{ki})^{m'} + (u_{ki})^m \} d(x_k, v_i)$$
$$+ \sum_{k=1}^{N} (t_{k0})^{m'} \delta^2, \ (1 < m' < m). \ (12)$$

最適解は次のようになる。なお、 $T=(t_{ki})$ について は、 $0 \le i \le c$ で、第0クラスターがノイズクラスター である。よって、制約条件は、

$$\sum_{i=0}^{c} t_{ki} = 1, \ 1 \le k \le N, \ t_{lj} \ge 0, \ 1 \le l \le N, \ 0 \le j \le c$$

$$t_{ki} = \frac{\frac{1}{d(x_k, v_i)^{\frac{1}{m'-1}}}}{\sum_{j=1}^{c} \frac{1}{d(x_k, v_j)^{\frac{1}{m'-1}}} + \frac{1}{\delta^{\frac{2}{m'-1}}}},$$
 (13)

$$t_{k0} = \frac{\frac{1}{\delta^{\frac{2}{m'-1}}}}{\sum_{j=1}^{c} \frac{1}{d(x_k, v_j)^{\frac{1}{m'-1}}} + \frac{1}{\delta^{\frac{2}{m'-1}}}},$$
 (14)

$$u_{ki} = \frac{\frac{1}{d(x_k, v_i)^{\frac{1}{m-1}}}}{\sum_{i=1}^{c} \frac{1}{d(x_k, v_i)^{\frac{1}{m-1}}}}$$
(15)

$$v_{i} = \frac{\sum_{k=1}^{N} \{(t_{ki})^{m'} + (u_{ki})^{m}\} x_{k}}{\sum_{k=1}^{N} \{(t_{ki})^{m'} + (u_{ki})^{m}\}}$$
(16)

そこで、前節と同様に、収束したときの v_i を用いる

$$T_{i}'(x;V) = \frac{\frac{1}{d(x,v_{i})^{\frac{1}{m'-1}}}}{\sum_{j=1}^{c} \frac{1}{d(x,v_{j})^{\frac{1}{m'-1}}} + \frac{1}{\delta^{\frac{2}{m'-1}}}}, \qquad (1)$$

$$T_{0}'(x;V) = \frac{\frac{1}{\delta^{\frac{2}{m'-1}}}}{\sum_{j=1}^{c} \frac{1}{d(x,v_{j})^{\frac{1}{m'-1}}} + \frac{1}{\delta^{\frac{2}{m'-1}}}}, \qquad (1)$$

$$U_{i}'(x;V) = \frac{\frac{1}{d(x,v_{i})^{\frac{1}{m-1}}}}{\sum_{j=1}^{c} \frac{1}{d(x,v_{j})^{\frac{1}{m-1}}}} \qquad (1)$$

および

$$T_i' = \{x \in \mathbf{R}^p : T_i'(x; V) > T_i'(x; V), \ \forall j \neq i\}$$
 (20)

$$T_0' = \{ x \in \mathbf{R}^p : T_0'(x; V) > T_i'(x; V), \ \forall j \neq 0 \}$$
 (21)

$$U_i' = \{x \in \mathbf{R}^p : U_i'(x;V) > U_i'(x;V), \ \forall j \neq i \}$$
 (22)

と定義する。

 $U_i'(x;V)$ と U_i' については、命題 1,2 と同様の性質が成立つが、 $T_i'(x;V)$ と T_i' は変化する。

命題 3. T_i' は v_i を中心とするボロノイ集合と球

$$\{x \in \mathbf{R}^p : d(x, v_i) < \delta^2 \}$$

の共通部分となる。

命題 4. 関数 $T'_i(x;V)$ について、次の性質が成立つ。

$$T_i'(v_i, V) = 1 \quad (i \neq 0)$$
 (23)

$$\lim_{\|x\| \to \infty} T_i'(x, V) = 0 \quad (i \neq 0)$$
 (24)

$$\lim_{\|x\| \to \infty} T_0'(x, V) = 1. \tag{25}$$

図 1 はノイズクラスタリングを用いた場合の二重メンバーシップの概念を表したものであり、円内の領域は T_i' 、直線で表されたボロノイ集合は U_i' を表している。このように、ノイズクラスタリングの導入によって、クラスターの'下近似'T の性質は大きく変化する。これに対して、'上近似'U の性質は変化せず、オーバーラップするクラスターは生じない。

3 おわりに

二重のメンバーシップをもつクラスタリング技法として、fuzzy c-means から比較的自然に導かれる 2 つ

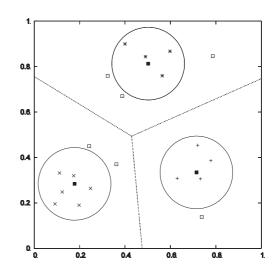


図 1: ノイズクラスタリングを用いた二重メンバーシップの概念図

の方法を紹介し、その性質を調べた。結果として、クラスターの上近似を拡大することは難しいが、クラスターの下近似を限定することは、ノイズクラスタリングの考え方を用いることによって自然と可能になることがわかった。同様の考え方は、他のクラスタリング技法でも可能で、クラスターのコアを抽出するような場合 [7] に有用であると思われる。

本稿の二重メンバーシップクラスタリングは、未だ 理論的興味に留まっているが、複数のメンバーシップ をもつファジィ制御やファジィモデルなど様々な応用 が可能であると思われる。今後の研究が待たれる。

謝辞

本研究には科研費 26330270 の補助を受けた。記して謝意を表する。

参考文献

- [1] J. C. Bezdek, Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms, Plenum, 1981.
- [2] R. N. Davé, Characterization and detection of noise in clustering, *Pattern Recognition Letters*, Vol. 12, pp. 657–664, 1991.
- [3] R. N. Davé, R. Krishnapuram, Robust clustering methods: a unified view, *IEEE Trans. Fuzzy* Syst., Vol.5, No.2, pp. 270–293, 1997.

- [4] N. Kinoshita, Y. Endo, On objective-based rough hard and fuzzy c-means clustering, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol.19, pp.29-35, 2015.
- [5] T. Kohonen, Self-Organizing Maps, 2nd Ed., Springer, Berlin, 1997.
- [6] P. Lingras, G. Peters, Rough clustering, WIREs Data Mining and Knowledge Discovery, Vol.1, No.1, pp.64-72, 2011.
- [7] S. Miyahara, S. Miyamoto, A Family of Algorithms Using Spectral Clustering and DBSCAN, Proc. of 2014 IEEE International Conference on Granular Computing (GrC2014), Noboribetsu, Hokkaido, Japan, Oct. 22-24, 2014, pp.196-200.
- [8] 宮本定明: クラスター分析入門, 森北出版, 1999.
- [9] S. Miyamoto, H. Ichihashi, K. Honda, *Algorithms for Fuzzy Clustering*, Springer, 2008.
- [10] Z. Pawlak, Rough Sets, Kluwer, Dordrecht, 1991.

連絡先

宮本 定明

〒 305-0003 茨城県つくば市天王台 1-1-1 筑波大学 システム情報系

E-mail: miyamoto@risk.tsukuba.ac.jp

ファジィ測度の定義域の制限における相補性と代替性

Complementarity and Alternativity in restriction of fuzzy measures

藤本 勝成 Katsushige FUJIMOTO

福島大学

Fukushima University

Abstract: Complementarity and alternativity relations among attributes, in multi-attribute decision problems, can be represented by using the notion of k-monotonicity (or superadditivity) and k-altanativity (or subadditivity) in fuzzy measure representation, respectively. When ranges of interaction among attributes are restricted, these relations are not generally preserved. This paper investigates which types of restrictions preserve these relations.

1 はじめに

ファジィ測度は,属性間の相互作用(相補性,代替性)を表現するために提案された [1]。しかしながら,その表現力と引き換えに,n 属性の対象に対して, 2^n-1 個ものパラメータを必要とし,実用上,必ずしも扱いやすいモデルとは言いがたい。これに対して,包除族モデル [2] やk 加法的モデル [3] が提案されている。これらの 2 つのモデルは,本質的には同等であり,全ての「属性の集合」の間における相互作用を考えるのではなく,ある範囲までに限定して,相互作用を考えるものである。

本報では「単純に相互作用を考える範囲を限定し」範囲を超えた相互作用に関する情報を破棄した場合」その定性的な意味での相互作用は保存されるのか否か」ということに注目して議論する。

2 基本的概念

2.1 相補性と代替性

定義 **2.1** (ファジィ測度) N を空でない集合とする。N 上の集合関数 μ (i.e., $\mu:2^N\to\mathbb{R}$) がファジィ測度 (または容量) であるとは , 以下の 2 条件を満たすことをいう。

$$(1) \quad \mu(\emptyset) = 0$$

(2)
$$A \subseteq B \subseteq N \Rightarrow \mu(A) \leq \mu(B)$$

定義 2.2 (ファジィ測度のメビウス変換 [4]) ファジィ測度 $\mu:2^N\to\mathbb{R}$ のメビウス変換とは以下のように表される関数 $\Delta^\mu:2^N\to\mathbb{R}$ のことをいう:

$$\Delta^{\mu}(S) := \sum_{T \subseteq S} (-1)^{|S \setminus T|} \mu(T) \quad \text{for} \ \ S \in 2^{N}.$$

また , μ と Δ^{μ} の間には , 次式により 1 対 1 の関係がある [4]:

$$\mu(S) = \sum_{T \subseteq S} \Delta^{\mu}(T) \quad \forall S \in 2^{N}. \tag{1}$$

定義 2.3 (優加法性・劣加法性) ファジィ測度 $\mu:2^N\to\mathbb{R}$ において,ある $S,T\in 2^N$ $(S\cap T=\emptyset)$ が

$$\mu(S \cup T) \ge \mu(S) + \mu(T) \tag{2}$$

を満たすとき,S と T の間には優加法性があるといわれ,すべての $S\cap T=\emptyset$ である $S,T\in 2^N$ に対して,(2) 式が成り立つとき, μ は優加法的であると言われる.一方で,劣加法性は逆の不等号

$$\mu(S \cup T) \le \mu(S) + \mu(T) \tag{3}$$

によって定義される。つまり,優加法性は,相補性の1つの表現となり,劣加法性は代替性の1つの表現となる。一方で,高萩[5]は,主観的評価の観点から,優加法性をバランス重視の評価,劣加法性を個性重視の評価の表現として取り扱っている.また,優加法性,劣加法性の概念は次のように一般化される。

定義 2.4 (優・劣モジュラー) 関数 $\mu:2^N\to\mathbb{R}$ が

$$\mu(S \cup T) \ge \mu(S) + \mu(T) - \mu(S \cap T) \quad \forall S, T \in 2^N \quad (4)$$

を満たすとき , μ は優モジュラーと呼ばれる。また , 優モジュラーは , ゲーム理論においては , 凸ゲームと呼ばれ 1 つの重要なクラスを構成している。一方 ,

$$\mu(S \cup T) < \mu(S) + \mu(T) - \mu(S \cap T) \quad \forall S, T \in 2^{N} \quad (5)$$

を満たすとき, μ は劣モジュラーと呼ばれる。 $S\cap T=\emptyset$ のとき,(4) 式と (2) 式((5) 式と (3) 式)は一致する。 これらは,さらに以下のよう一般化される。

定義 2.5 (k-単調性・k-代替性 [6]) ある整数 $k\geq 2$ と任意の $\{A_i\}_{i=1}^k\subseteq 2^N$ に対して,関数 $\mu:2^N\to\mathbb{R}$ が

$$\mu(\bigcup_{i=1}^{k} A_i) \ge \sum_{\substack{I \subseteq \{1,\dots,k\}\\I \neq \emptyset}} (-1)^{|I|+1} \mu(\bigcap_{i \in I} A_i) \qquad (6)$$

を満たすとき, μ はk-単調であるといわれる。また,

$$\mu(\bigcap_{i=1}^{k} A_i) \leq \sum_{\substack{I \subseteq \{1,\dots,k\}\\I \neq \emptyset}} (-1)^{|I|+1} \mu(\bigcup_{i \in I} A_i)$$
 (7)

を満たすとき, μ は k-代替であるといわれる。また, μ が k-単調であることと, μ の双対 ν (i.e., $\nu(S):=\mu(N)-\mu(N\setminus S)$ $\forall S\in 2^N$) が k-代替であることは同値である。ここで,k=2 のとき,(4) 式と (6) 式 ((5) 式と (7) 式) は一致する。つまり,優モジュラーと凸ゲームと 2-単調関数は同じ概念であり,劣モジュラーと 2-代替関数も同じ概念である.また,証拠理論における Bel 関数は,任意の整数 $k\geq 2$ に対して (6) 式を満たす.このような関数を ∞ -単調 関数と呼ぶ。

2.2 相互作用の制限

ファジィ測度のパラーメータ削減を目的として,これまでに,以下のような包除族 [2] や k 加法性 [3] の概念が提案されてきている。

定義 2.6 (包除族 [2]) $\mathcal{C}\subseteq 2^N$ がファジィ測度 $\mu:2^N\to\mathbb{R}$ に関する包除族であるとは,任意の $C\in\mathcal{C}$ に対して $D\supsetneq\mathcal{C}$ ならば $\Delta^\mu(D)=0$ となることをいう。また,任意の $C\in\mathcal{C}$ に対して, $\Delta^\mu(C)\ne 0$ となるとき,包除族 \mathcal{C} は,既約であるという。つまり,既約な包除族 \mathcal{C} を持つファジィ測度 μ は, $\max_{C\in\mathcal{C}}|C|$ -加法的である。

定義 2.7 (k 加法性 [3]) ファジィ測度 $\mu:2^N\to\mathbb{R}$ が k 加法 的であるとは,|S|=k なる $S\subseteq N$ が存在して, $\Delta^\mu(S)\neq 0$ となり,全ての |T|>k なる $T\subseteq N$ に対して, $\Delta^\mu(T)=0$ となることをいう。

これらの 2 つの概念は , いずれも , メビウス変換 Δ^μ を相互作用を担う要素と考え , ある範囲以上の相互作用を無視する (考えない) という立場でパラメータの削減を実現するものである。その結果 , 通常 $2^{|N|}-1$ 個のパラメータを必要とするファジィ測度のパラメータ数を $|\{C\subseteq N\mid \Delta^\mu(C)\neq 0\}|$ 個に削減している。

3 局所的な相互作用の制限と全体における相互作用

本節では,与えられたファジィ測度 $\mu:2^N\to\mathbb{R}$ の k-単調・代替性や優・劣加法性などの性質が,単純に,属性間の相互作用を考えるを範囲を $\mathcal{C}\subsetneq 2^N$ に制限した $\mu_{\mathcal{C}}$ (つまり,

$$\Delta^{\mu_{\mathcal{C}}}(S) = \begin{cases} \Delta^{\mu}(S) & \text{if } S \in \mathcal{C} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$
 (8)

と式 (1) から導かれる $\mu_{\mathcal{C}}$) において , どのようになるのかについて考察する。

例 3.1 一般には , μ の k-単調・代替性や優・列加法性は , その制限 μ _C においては保存されない。例えば ,

 $N=\{1,2,3,4\},\ \mu(S)=|S|-1\ ext{if}\ S
eq\emptyset,\ \mathcal{C}:=2^N\setminus\{2,4\}$ (i.e., $\Delta^\mu(S)=(-1)^{|S|}\ ext{if}\ |S|>1,\ ext{and}\ 0\ ext{otherwise}$) であるとき, μ は 2-単調であるが, $\mu_\mathcal{C}$ は 2-単調でない。事実,

 $\mu_{\mathcal{C}}(124 \cup 234) < \mu_{\mathcal{C}}(124) + \mu_{\mathcal{C}}(234) - \mu_{\mathcal{C}}(124 \cap 234)$

となる。

命題 3.1 $\mathcal{C}\subseteq 2^N$ が , 以下の条件を満たすとき , μ の優・劣加法性は $\mu_{\mathcal{C}}$ においても保存される:

1. $S, T \in \mathcal{C}$ and $S \cap T \neq \emptyset \Rightarrow S \cup T \in \mathcal{C}$.

命題 ${\bf 3.2}~{\cal C} \subseteq 2^N$ が , 以下の条件を満たすとき , μ の k-単調・代替性は $\mu_{\cal C}$ においても保存される :

- 1. $S, T \in \mathcal{C}$ and $S \cap T \neq \emptyset \Rightarrow S \cup T \in \mathcal{C}$.
- 2. $S, T \in \mathcal{C}$ and $S \cap T \neq \emptyset \Rightarrow S \cap T \in \mathcal{C}$.

命題 ${\bf 3.3}$ ${\cal C}\subseteq 2^N$ が , 命題 3.1,3.2 のそれぞれにおいて , 与 えられた条件を満たさないとき , これらの性質を満たさな い μ が存在する。

参考文献

- [1] Sugeno,M.: Theory of fuzzy integrals and its applications. PhD thesis, Tokyo Institute of Technology, (1974)
- [2] Sugeno, M, Fujimoto, K., Murofushi, T.: A Hierarchical Decomposition of Choquet Integral Model. Int. J. of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-based Systems, Vol.3, No.1, pp.1-15 (1995)
- [3] Grabisch, M.: k-order additive discrete fuzzy measures and their representation, Fuzzy Sets and Systems, 92(2), (1997)
- [4] Rota, G.C.: On the foundations of combinatorial theory. I. Theory of Möbius functions, Z. Wahrscheinlichkeitstheorie und Verw. Gebiete, 2, 340–368, (2004).
- [5] 高萩栄一郎: ファジィ積分による多属性の特性値の総合評価法. 第10回ファジィシステムシンポジウム講演論文集,813-816 (1994).
- [6] 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)

[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

社会科学系における Web API を用いたデータ分析教育

Specialized subject for data analysis with Web API in social sciences

井田 正明 Masaaki Ida 大学評価・学位授与機構

National Institution for Academic Degrees and University Evaluation 高萩 栄一郎 Eiichiro Takahagi 専修大学 Senshu University

Abstract: Data scientists utilize big and open data from internet for their management activities. This article considers specialized subject for data alanysis with Web API in social sciences and related issues as follows: classification of required knowledge, data source, analytical skill, visualization and reporting, and Web API.

1. はじめに

近年、社会データのオープン化や組織内データの集積が急速に進み、複雑かつ膨大なデータを分析するデータサイエンティストの育成が必要とされてきている[1].しかしながら必要とされる知識やその教育カリキュラムについての検討は現在途上にある.本稿では、とくに社会科学系におけるデータ分析教育の一例として、Web APIによるネットワークからの情報取得とデータ分析に関するプログラミング教育について考察する.

2. データ分析と人材育成

データ分析人材の必要知識として、CRISP-DM(業界横断型データマイニング標準プロセス[2])では、「IT 系スキル(サーバ、データベース、プログラミングなど)」、「分析系スキル(統計解析、AI、ソフトサイエンス、可視化など)」、「ビジネス系(各業務分野でのスキル、業界・業務知識、理解力、説明力、プロジェクト推進力など)」が挙げられている。またこれらは、「データエンジニアリング力(data enineering)」、「データサイエンス力(data science)」、「ビジネス力(bussiness problem solving)」といった形での分類もなされている[3]。このようなデータ分析を行う人材に求められる知識・スキルの分類・構造化を行った上で、各種の人材育成プログラムの中で教育方法が詳細化されることになる。

3. 人材に必要とされる知識

社会科学系の人材にとって重視される知識としては、個別業務分野の分析に利用可能なデータの入手方法、そのデータ定義の解釈および様々なデータの特性についての知識が重要となる。また個別分野での分析に用いる各種のデータソース(データベース)の実際の利用方法についての知識が重要となる。

これに関しては、近年、自組織(企業など)内の データのみならず、国や自治体、企業、大学等の組 織構成や組織活動の情報など組織に関わるデータが 説明責任の観点から積極的に情報公開が進められて きた. それらは電子的に再利用可能な形式で公開が 進んできており、情報提供の形態としては、これまでの PDF や Excel 形式から発展し Web API による XML, JSON 形式での公開が急速に進展しつつある (例えば、政府統計の総合窓口(e-Stat) [4]). 財務分野 においては、 XBRL (eXtensible Business Reporting Language) は、各種の財務報告の情報を作成、流通、利用できるように標準化された XML 技術に基づくデータ記述言語であり世界的に財務分野の実務において活用されている[5]. また、教育分野 (大学組織情報) においてもデータの公開が進んでいる (例えば、大学ポートレート[6]).

分析系スキルについては、多変量解析やAI系の知識など高度な数理的知識が望まれるが、実用上は記述統計の手法で分析が十分な場合も多い.むしろそれらよりも分析評価指標の定義および分析結果の理解と解釈、また他者への説明のためのわかりやすい分析結果のインタラクティブ性を含んだ可視化・手法の知識が重要となる.これに関しては、表計算ソフトにはさまざまな機能(グラフ、ピボットテーブル、フィルタリング等)があり、これまでの大学教育においてその教育が実施されてきているといえる.也かしながら今後のオープンデータとWebAPIの要となってくると考えられる.

4. 社会科学系におけるデータ分析教育

前節までの考察を踏まえて、社会科学系における Web プログラミングとデータ分析教育の一例を以下 に示し考察を行う(専修大学の専門科目「プログラ ミング B」[7]). そこでは、一般の Web サービス (RSS 等)を活用したプログラミングに加え、用意した Web API の仕組みを利用してネットワーク経由でのデー タ処理およびデータ可視化法を強調している. 個別 分野例として利用データは財務情報 (XBRL) として 財務分析を実施し、他のウェブサービスとの連携も 行う. 講義内容の概要は以下である.

【Web プログラミングの基礎】

- ・ HTML, CSS, JavaScript の基礎, ライブラリ
- ・ ユーザインタフェース,可視化,グラフ作成
- ・ XML, ウェブサービス (Ajax, JSONP)
- · ネットワーク資源活用 (RSS や Web API)

【財務分析の基礎】

- 有価証券報告書,財務分析指標の理解
- EDINET のデータおよびファイルの構成,利用 方法の理解
- ・ XBRL:インスタンスとタクソノミの理解
- 財務情報の分析方法

これら講義内容に基づきこの授業科目の課題内容(複数)は以下である.

【課題1】ネットワークを介してデータを受け取り、HTML, CSS, JavaScript, 各種ライブラリを総合してプログラミングを行う:画面構成(レスポンシブデザイン,アコーディオン,マルチタブ). CSS (カラー, 罫線,イラスト,写真,マウスオーバー等).制御構造(簡単なゲーム). Form (ボタン,チェックボックス,プルダウンメニュー). 各種 Web サービス(RSS,地図,チャート).

実習においては次の点に注意した:課題の複数回提出により教員からの指摘(フィードバック)を得る.サンプルを配布するとともに,自主性を重んじ自らネット等の調査で解決できるようガイドする.プログラム開発においては少しずつ改良させこまめにデバッグしながら進める.プログラム中にはコメントやインデントを丁寧に入れ読みやすくする.

【課題 2】XBRL Web API 等を活用しデータ分析プログラミングを行う.

- ・有価証券報告書の生成:ある企業を1社選び,XBRLのWeb APIを使って,有価証券報告書(表紙,貸借対照表,損益計算書)を表示するプログラムを作成する.前年度と本年度の情報を表示させる.財務分析指標として3種以上を計算し,表(テーブル)として表示させる.XBRL以外のWebサービスと組み合わせる(地図,企業ニュース,株価).
- ・財務分析による複数会社の比較:ある業種(例,輸送機械)の中のから任意の3社を選択できるようにし(インタラクティブ性を持たせ),財務分析指標の経年比較を5種以上についてテーブルで表示させるプログラムを作成する.またライブラリを使用し,チャート(棒グラフなど各種)を表示させるプログラムを作成する.

分析プログラム開発の実習においては次の点に注意した:XBRLにおける項目(英語表記),および各種の属性値(ディメンションに相当)の説明に十分に時間をとる. 既存の財務分析ツールも紹介する. 画面構成や表示は CSS や jQuery の機能などを取り入れた見やすい画面にする(table タグによるフォームの整頓. 各種グラフごとに棒や線の色を変える).

上記の課題における(ネットワークを介した)データソースとなる財務情報 API はつぎのようなものである:XBRL データは、EDINET よりファイル集合として提供されている。クロスドメインの制限で別ドメインにあるデータを読み込むために JSONP を利用する.ネットワーク経由で XBRL データを利用できるようにするため、財務情報 Web API(XBRL の JSONP)を開発し、このウェブサービスを授業で利用できるようにした。一般にネットワークを介したプログラミングは複雑であるため、サンプルプログラムを受

講生に提供しその説明を十分に行った.

以下に, 財務情報 Web API, および財務分析のサンプルを示す (図 1,2).

図1 財務情報 Web API の例 (JSON)

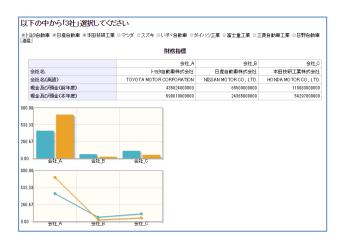


図2 財務分析のサンプル (表・グラフ表示)

参考文献

- [1] T. H. Davenport, Harvard Business Review, Oct., 2012.
- [2] P. Chapman, CRISP-DM User Guide, 2014.
- [3] データサイエンティスト協会,「データサイエンティスト スキルチェックリスト, 2015: https://www.datascientist.or.jp/common/docs/skillcheck.pdf
- [4] 政府統計の総合窓口(e-Stat) API 機能: http://www.e-stat.go.jp/api/
- [5] 井田正明, 組織に関する情報の表現と活用, 日本知能情報ファジィ学会誌, Vol.25, No.5, pp.144-152, 2013.
- [6] 大学ポートレート: http://portraits.niad.ac.jp/
- [7] 高萩栄一郎,井田正明:専修大学商学部での XBRL 教育,専修大学商学論集,第100号,pp.121-134,2015.

集合関数型ショケ積分を用いた協力ゲームの提案

A Proposal for Cooperative Game using Choquet Integral with respect to Set functuin.

○ 高萩 栄一郎 (Eiichiro Takahagi)

專修大学商学部 (School of Commerce, Senshu University)

Abstract: Using the Choquet integral with respect set to functions defined as the product-sum calculation between a set function and a fuzzy measure, we analyze coalitions among set functions that are a cooperative game.

Keywords: set function, Choquet integral, linear programming, supermodular, cooperative game

1 はじめに

この集合関数型ショケ積分を用いた協力ゲームを定義するため,2節で集合関数型ショケ積分を説明し,3節で集合関数型ショケ積分を用いた協力ゲームの性質を考察する.

本稿では証明等は省略している.詳細は別稿に譲り たい.

2 集合関数型ショケ積分

2.1 ショケ積分と集合関数型ショケ積分

単調なファジィ測度 μ と入力値 $x=(x_1,\ldots,x_n),x_i\geq 0$ を与えたときのショケ積分は,

$$f_{\mu}^{C}(\boldsymbol{x}) \equiv \sum_{i=1}^{n} [x_{\sigma(i)} - x_{\sigma(i+1)}] \mu(\{\sigma(1), \dots, \sigma(i)\})$$
 (1)

で定義されている [1] . ただし , $\sigma(i)$ は置換で , $\,x_{\sigma(1)}\ge\dots\ge x_{\sigma(n)},\,x_{\sigma(n+1)}=0$ とする .

集合関数型ショケ積分 [2] では,入力値を集合関数 $\eta(\eta:2^X \to \mathbf{R}^+)$ で表し, η とファジィ測度 μ について,各集合の関数値の積の和とする.

$$f_{\mu}^{\text{PS}}(\eta) \equiv \sum_{A \in 2^X} [\eta(A)\mu(A)]$$
 (2)

例 1 2 人の作業員がおり,その 1 時間あたりの制作量はファジィ測度 μ で与えられている. 1 日目,作業員

1 は 5 時間 , 2 は 8 時間作業をしたとする($\boldsymbol{x}^1=(5,8)$). ともに一緒に働き始め , 1, 2 ともに 5 時間 , 2 単独で 3 時間作業したとすると総作業量はショケ積分で計算でき ,

$$f_{\mu}^{C}(\mathbf{x}^{1}) = (8-5)\mu(\{2\}) + 5\mu(\{1,2\})$$
$$= 3\mu(\{2\}) + 5\mu(\{1,2\})$$
(3)

となる.2 日目,1 は 8 時から 5 時間,2 は 9 時から 8 時間作業した.この場合,1 単独 1 時間,2 単独 4 時間,1,2 ともに 4 時間作業したことになり, $\eta^2(\{1\})=1$, $\eta^2(\{2\})=4$, $\eta^2(\{1,2\})=4$ となる.総作成量は,集合関数型ショケ積分で計算でき,

$$f_{\mu}^{PS}(\eta^2) = \eta^2(\{1\})\mu(\{1\}) + \eta^2(\{2\})\mu(\{2\}) + \eta^2(\{1,2\})\mu(\{1,2\})$$

$$= 1\mu(\{1\}) + 4\mu(\{2\}) + 4\mu(\{1,2\})$$
(4)

2.2 性質

ショケ積分は,集合関数型ショケ積分で表現できる.関数 $\eta=g(x)$ を次のように定義する.xの式(1)のショケ積分の置換についての最大鎖を $\theta=\{C_0,C_1,\ldots,C_n\}$ ただし, $C_i=\{\sigma(1),\ldots,\sigma(i)\},$ $C_0=\emptyset$ とする.

$$\eta(A) = \begin{cases} x_{\sigma(i)} - x_{\sigma(i+1)} & \text{if } A = C_i \in \theta \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases}$$
(5)

割り当てた η を g(x) とする.この η での集合関数型ショケ積分の出力値はショケ積分の出力値に一致する.

$$f_{\mu}^{\mathrm{PS}}(g(\boldsymbol{x})) = f_{\mu}^{C}(\boldsymbol{x}) \tag{6}$$

例 2 例 1 の 1 日目の $x^1=(5,8)$ では, $x_2^1 \ge x_1^1$ より $\sigma(1)=2,\sigma(2)=1$ となる. $\theta=\{\emptyset,\{2\},\{1,2\}\}$ となり, $\eta^1(\{1\})=0,\eta^1(\{2\})=3,\eta^1(\{1,2\})=5$ となる.

 $f_{\mu}^{\mathrm{PS}}(g(\pmb{x}^1))=3\mu(\{2\})+5\mu(\{1,2\})$ となり , 式 (3) に一致する .

2 つの入力 $x^1,\,x^2$ に対して, $x^3=x^1+x^2$ としたとき,同じ μ を使ったショケ積分でも

$$f_{\mu}^{\mathrm{C}}(\mathbf{x}^{3}) \leq f_{\mu}^{\mathrm{C}}(\mathbf{x}^{1}) + f_{\mu}^{\mathrm{C}}(\mathbf{x}^{2})$$

となり,2つのショケ積分の出力値の和は,2つのベクトルの和のショケ積分の出力値には一般には一致しない.集合関数型ショケ積分の場合

$$f_{\mu}^{\text{PS}}(\eta^1 + \eta^2) = f_{\mu}^{\text{PS}}(\eta^1) + f_{\mu}^{\text{PS}}(\eta^2)$$
 (7)

となる.

例 3 例 1 と 2 の $\eta^1+\eta^2=\eta^3$ を計算すると $\eta^3(\{1\})=1,\eta^3(\{2\})=7,\eta^3(\{1,2\})=9$ となる.例 2 と式 (4) より,

$$f_{\mu}^{\text{PS}}(\eta^1) + f_{\mu}^{\text{PS}}(\eta^2) = 1\mu(\{1\}) + 7\mu(\{2\}) + 9\mu(\{1,2\})$$
$$= f_{\mu}^{\text{PS}}(\eta^3) \tag{8}$$

となる.

2.3 最適化

所与のxに対して、 η は、g(x)をはじめ、さまざまにつくることができ、そのつくり方により、あるファジィ測度 μ に対する集合関数型ショケ積分の出力値が異なる。そこで、あるxと μ を与えたとき、集合関数型ショケ積分の出力値を最大化(または最小化)する問題を考える。この問題は、簡単な線型計画法の問題として定式化できる。

(最大化)
$$f_{\mu}^{\mathrm{PS}}(\eta^*) = \sum_{A \in 2^X} \eta^*(A)\mu(A)$$
 (9) ただし $\sum_{A \ni i} \eta^*(A) = x_i, \ i = 1, \dots, n$ $\eta^*(A) \ge 0, \forall A$

最小化問題の場合 , 式 (9) を最小化する問題とする . 最大化された η^* は , μ が加法的な場合など一意ではないことがある .

2.4 Supemodular

ファジィ測度 μ が次の条件を満たすとき Supermodular という .

$$\mu(A \cup B) + \mu(A \cap B) \ge \mu(A) + \mu(B), \ \forall A, B \in 2^X$$
(10)

 μ が Supermodular であれば , 2.3 節で最適化された η^* は , 1 つの最大鎖のみ要素のみ 0 より大きくなり , し

表 1 最適値, Supermodular

							$\{1, 2, 3\}$
μ^1	0.2	0.1	0.7	0.1	0.8	0.2	1
η^{*1}	1	0	3	0	4	0.2	0
η^{*3}	1	0	3	0	0	0	0
η^{*4}	0	0	0	0	4	0	0
μ^2	0.2	0.1	0.4	0.1	0.4	0.5	1
η^{*2}	4	0	0	0	1	0	3

たがって,この集合関数型ショケ積分はショケ積分で表現できる.

また,1つのショケ積分で表現できない場合でも,複数のショケ積分の和で表現できる.

例 4 表 1 は,n=3 で x=(8,3,4) のとき,2 つのファジィ測度 μ^1,μ^2 を与えたとき,2.3 節の方法で,最適化問題を解き,それぞれのファジィ測度の最適値の集合関数 η^{*1},η^{*2} を求めたものである.また,最適値はそれぞれ, $f_{\mu^1}^{PS}(\eta^{*1})=5.5,\,f_{\mu^2}^{PS}(\eta^{*2})=4.2$ である(それぞれの $\mu(A)$ と $\eta^*(A)$ の値の積和が集合関数型ショケ積分値の出力値になっていることが確認できる).

 μ^1 は,優加法的であるが,Suprmodular ではない.例えば,式(10)で, $A=\{1,2\}$ $B=\{1,3\}$ とすると, $\mu_1(\{1,2,3\})+\mu^1(\{1\})$ $\not\geq \mu^1(\{1,3\})+\mu^1(\{1,2\})$ である.0 より大の集合をアクティブな集合とすると, μ^1 のアクティブな集合の集合は, $\{\{1\},\{1,2\},\{1,3\}\}$ である.これを被覆する最大鎖は,2 つ以上必要である. $\theta^3=\{\emptyset,\{1\},\{1,2\},\{1,2,3\}\}$, $\theta^4=\{\emptyset,\{1\},\{1,3\},\{1,2,3\}\}$ と す れ ば $\{\{1\},\{1,2\},\{1,3\}\}\subseteq\theta^3\cup\theta^4$ である. $\eta^{*1}=\eta^{*3}+\eta^{*4}$ であるので, $f_{\mu^1}^{PS}(\eta^{*1})=f_{\mu^1}^{PS}(\eta^{*3})+f_{\mu^1}^{PS}(\eta^{*4})$ である.また $x^3=(4,3,0)$ $x^4=(4,0,4)$ とすれば, $\eta^{*3}=g(x^3),\eta^{*4}=g(x^4)$ であるので,

$$f_{\mu^1}^{PS}(\eta^{*1}) = f_{\mu^1}^C(\boldsymbol{x}^3) + f_{\mu^1}^C(\boldsymbol{x}^4)$$
 (11)

となり2つのショケの和になる.

 μ^2 は,Suprmodular でである.アクティブな集合 $\{\{1\},\{1,3\},\{1,2,3\}\}$ は,1 つの最大鎖 $\theta^2=\{\emptyset,\{1\},\{1,3\},\{1,2,3\}\}$ で被覆され,

$$f_{\mu^2}^{PS}(\eta^{*2}) = f_{\mu^2}^C((8,3,4)) \tag{12}$$

表 2 各プレイヤーの資源保有量

	$ vert \mathrm{R1}(oldsymbol{x}^{\{1\}})$	$\mathrm{R2}(\boldsymbol{x}^{\{2\}})$	$\mathrm{R3}(\boldsymbol{x}^{\{3\}})$	$\mathrm{R4}(\boldsymbol{x}^{\{4\}})$
Player 1	0	10	10	0
Player 2	8	0	0	10
Player 3	2	10	2	10
Player 1 Player 2 Player 3 Player 4	20	5	20	2

となる.

3 ショケ積分型協力ゲーム

m プレイヤーの協力ゲームを考える $Y=\{1,2,\ldots,m\}$. 各プレイヤーは,n 種類の入力値(資源など) $X=\{1,2,\ldots,n\}$ を持っており,その資源を組み合わせて,出力している.利得関数 π は,ショケ積分または集合関数型ショケ積分の出力値とする.そのとき用いられるファジィ測度は共通で, μ とする.各プレイヤーの結託では,それに参加するプレイヤーの入力値の和に関するショケ積分の出力値とする.

プレイヤー $j,j=1,\ldots,m$ は,それぞれ,n 種類の入力値をもつ $x_i^{\{j\}},i=1,\ldots,n,$ $x_i^{\{j\}}\geq 0, \forall i,j$.また, $m{x}^{\{j\}}=(x_1^{\{j\}},\ldots,x_n^{\{j\}})$ とする.

また,結託 $D\subseteq Y$ の入力値のベクトル x^D は,その結託に参加するプレイヤーの入力値のベクトルの和とする.

$$\boldsymbol{x}^D = \sum_{j \in D} \boldsymbol{x}^{\{j\}} \tag{13}$$

例 5 4 つの作業所 (m=4) があり , それぞれ , 非熟練工 (R1) , 熟練工 (R2) , 機械 A(R3) , 機械 B(R4) の 4 つの資源を組み合わせて生産している . それぞれの作業所の資源の保有量を表 2 に示す .

1 時間あたりの生産量は,表 3 のファジィ測度 μ で表され,各作業所および作業所の結託で同じである.また,優加法的 $\mu(A\cup B)\geq \mu(A)+\mu(B), \forall A,B,A\cap B=\emptyset$ になっている.

作業員 (非熟練工と熟練工)1 人と機械 1 台で大きな生産をあげるように設定されている.機械 A(R3) は,熟練工 (R2) と組み合わせると大きな出力を,機械 B(R4) は,熟練工 (R2) または非熟練工 (R1) と組み合わせると大きな出力が得られる.

表 3 例 4 のファジィ測度 $\mu(A)$

{1}	{2}	$\{1, 2\}$	{3}	{1,3}
1	2	3	0	3
$\{2, 3\}$	$\{1, 2, 3\}$	{4}	$\{1, 4\}$	$\{2, 4\}$
12	14	0	20	23
$\{1, 2, 4\}$	{3,4}	$\{1, 3, 4\}$	$\{2, 3, 4\}$	$\{1, 2, 3, 4\}$
24	0	23	25	32

表 4 例 5 の利得関数 $\pi^C = f^C(\boldsymbol{x}^D)$ と $\pi^{PS} = f^{PS}(\eta^{*D})$

D	$oldsymbol{x}_1^D$	$oldsymbol{x}_2^D$	$oldsymbol{x}_3^D$	$oldsymbol{x}_4^D$	$\pi^{C}(D)$	$\pi^{PS}(D)$
{1}	0	10	10	0	120	120
{2}	8	0	0	10	160	160
$\{1,2\}$	8	10	10	10	306	308
{3}	2	10	2	10	248	248
$\{1,3\}$	2	20	12	10	304	368
$\{2, 3\}$	10	10	2	20	256	436
$\{1, 2, 3\}$	10	20	12	20	554	556
$\{4\}$	20	5	20	2	151	155
$\{1,4\}$	20	15	30	2	261	275
$\{2,4\}$	10	10	2	20	353	363
$\{1, 2, 4\}$	28	15	30	12	465	491
${3,4}$	22	15	22	12	447	461
$\{1, 3, 4\}$	22	25	32	12	560	581
$\{2, 3, 4\}$	30	15	22	22	649	657
$\{1, 2, 3, 4\}$	30	25	32	22	761	777

3.1 ショケ積分型協力ゲーム

まず,利得関数をショケ積分で計算する問題を考える.ショケ積分型協力ゲームの利得関数 π^C を

$$\pi^C(D) = f_\mu^C(\boldsymbol{x}^D), \ \forall D \in 2^Y$$
 (14)

で定義する.例 5 で示すように , ファジィ測度 μ が優加法的であるにも関わらず , π^C に単調性はない .

例 ${f 5}$ 表 2,3 の値を使って,各結託の利得関数 π^C を計算する(表 4 の $\pi^C(D)$ 列).

この利得関数は、単調性はない、例えば、 $\pi^C(\{1,3\}) \not\ge \pi^C(\{1\}) + \pi^C(\{3\})$ である、特に、Player 1 は、R2 とR3 をうまく組み合わせており、Player 3 と組むことにより余分に組み合わせをし、ショケ積分のような組み合

表 5 例 6 の $\eta^{*D}(A)$

$D \mid A$	{1}	{2}	$\{1, 2\}$	}{3}	$\{1, 3\}$	$\{2,3\}$	$\{1, 2, 3\}$	}{4}	$\{1, 4\}$	$\{2,4\}$	$\{1, 2, 4\}$	}{3,4}	$\{1, 3, 4\}$	$\{2, 3, 4\}$	$\{1, 2, 3, 4\}$
{1}	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
{2}	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0
$\{1,2\}$	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	2	0	6
{3}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	2
$\{1,3\}$	0	0	0	0	0	10	0	0	0	8	0	0	0	0	2
$\{2, 3\}$	0	0	0	0	0	0	0	0	8	10	0	0	2	0	0
$\{1, 2, 3\}$	0	0	0	0	0	2	0	0	0	10	0	0	2	0	8
$\{4\}$	0	0	0	0	13	0	5	0	0	0	0	0	2	0	0
$\{1, 4\}$	0	0	0	0	13	10	5	0	0	0	0	0	2	0	0
$\{2, 4\}$	0	0	0	0	0	0	0	0	8	10	0	0	2	0	0
$\{1, 2, 4\}$	0	0	0	0	3	2	13	0	0	0	0	0	12	0	0
$\{3, 4\}$	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	7	0	5
$\{1, 3, 4\}$	0	0	0	0	0	10	10	0	0	0	0	0	7	0	5
$\{2, 3, 4\}$	0	0	0	0	0	0	8	0	8	0	0	0	7	0	7
$\{1, 2, 3, 4\}$	0	0	0	0	0	2	8	0	0	0	0	0	7	0	15

わせを強いた場合,出力値が減少するという結果を招いている.

3.2 集合関数型ショケ積分による協力ゲーム

集合関数型ショケ積分では,利得関数に 2.3 節で定義 した最大値とする.

$$\pi^{PS}(D) = f_{\mu}^{PS}(\eta^{*D}), \ \forall D \in 2^{Y}$$
 (15)

 $\pi^{PS}(D)$ は,単調性 $\pi^{PS}(D_1 \cup D_2) \geq \pi^{PS}(D_1) + \pi^{PS}(D_2), \forall D_1, D_2, D_1 \cap D_2 = \emptyset$ がある. η^{*D_1} を x^{D_1} の最大値の η , η^{*D_2} を x^{D_2} の最大値の η とすれば, $\eta^{*D_1} + \eta^{*D_2}$ は,2.3 節での LP の実行可能解の 1 つであり,最大化問題であるので, $f_\mu^{PS}((\eta^{*D_1} + \eta^{*D_2})^*) \geq f_\mu^{PS}(\eta^{*D_1} + \eta^{*D_2})$ となる.

例 ${f 6}$ 表 2,3 の値を使って,各結託の利得関数 π^C を計算すると表 4 の $f^{PS}(\eta^{*D})$ の列になる.また,表 5 は,各結託 D での $\eta^{*D}(A)$ の値である.

この f^{PS} には,単調性がある.例えば, $\pi^{PS}(\{2,3\}) \geq \pi^{PS}(\{2\}) + \pi^{PS}(\{3\})$ である.これは,表 5 の $D=\{2,3\}$ の行のように, $\eta^{*\{2,3\}}(A)$ のアクティブな集合は, $\{\{1,4\},\{2,4\},\{1,3,4\}\}$ である.これを 2 つの最大鎖で被覆させると, $\theta_1=\{\emptyset,\{1\},\{1,4\},\{1,2,4\},\{1,2,3,4\}\}$,

 $\theta_2=\{\emptyset,\{2\},\{2,4\},\{1,2,4\},\{1,2,3,4\}\}$ $\theta_3=\{\emptyset,\{1\},\{1,3\},\{1,3,4\},\{1,2,3,4\}\}$ となる (他の分け方もある) . $f_\mu^{PS}(\eta^{*\{2,3\}})$ を 3 つのショケ積分に分けると

$$f_{\mu}^{PS}(\eta^{*\{1,3\}}) = f_{\mu}^{S}((8,0,0,8)) + f_{\mu}^{S}((0,10,0,10)) + f_{\mu}^{S}((2,0,2,2))$$
(16)

となる.この場合,Player 2 と 3 の合併後,x=(8,0,0,8),x=(0,10,0,10),x=(2,0,2,2),の 3 グループに分け,別々にショッケ積分の組み合わせで作業すれば,最大の出力を得ることを示している.

参考文献

- [1] 菅野道夫, 室伏俊明: ファジィ測度 (講座ファジィ 3), 日刊工業新聞社, 1993.
- [2] 高萩栄一郎: 集合関数とファジィ測度の積によるファジィ積分, 第 19 回 曖昧な気持ちに挑むワークショップ講演論文集.23-26. 2014.

連絡先

高萩 栄一郎

E-mail: takahagi@isc.senshu-u.ac.jp

データマイニング手法による地方再生のための国土政策への提言

Proposal to the National Land Policy for Rural Policy using Data Mining Techniques

新妻巧朗

Takurou Niitsuma 法政大学 Hosei Univ. 松田修三

Shuzo Matsuda 法政大学 Hosei Univ. 小沢和浩

Kazuhiro Ozawa 法政大学 Hosei Univ.

Abstract: In this paper, taking into account of the decrease in rural population, based on the number of industry workers, using data mining techniques, classify the region and find the characteristics of the region. Further from the point of view of the industrial structure, it is intended to make suggestions for the future and national land policy of the provincial city. **Keywords**: data mining, decrease in rural population, provincial city

1. はじめに

現代の日本は大きな社会の変化の波にさらされている。 その中でも非常に大きいのは、人口減少である。人口減 少は長らく警鐘が鳴らされ続けていたが、実際に減り始 めたことが知られたのは2005年の国勢調査によってであ る。これには、多くの要因が存在すると考えられるが、 その一つに東京一極集中による地方の衰退(人口減少)が 考えられる。東京に政治や経済の中枢機能が過剰に集ま ったことで、地方から多くの企業が転出し、結果として 地方の経済力の低下や雇用の減少を引き起こしている。 地方から東京へのこの人口流出現象が地方間格差を生ん だといえる。さらに、地方からの労働力などの転出が、 地方都市の規模の縮小の要因となっている。また、この 東京一極集中の問題には、東京の合計特殊出生率は長ら く他県を大きく引き離すほど低い値であり続けているこ とにもある。東京都の合計特殊出生率は長年改善の余地 を見せていない。その間にも地方の若者は格差などを理 由に東京に移動しつづけている。その地域における人口 を再生産が期待される若年層が慢性的に合計特殊出生率 の低い東京都に移動してしまう。東京都が地方から人口 を再生産する余地のある生産年齢人口を吸い込むという 形で、日本の人口減少を加速させているといえる。こう した問題への対処として挙げられるものが政策的に経済 格差を埋めることで三大都市圏、特に東京圏への移転を できるだけ減少させることである。経済を生み出す労働 力が流出すると、その地域経済は衰退してしまうからで ある。また、ひとくちに地方といっても特にこのような 人口流出現象が顕著である都市とそうでない都市が存在 する。そういった地域の特徴に焦点を当て、なぜその違 いが存在するのかを検討する必要がある。

本論文は、このように地方の人口減少を前提に、産業別従業者数をもとに、データマイニング手法を用いて地方の分類とその特徴を明らかにする、さらに産業構造の視点から、これからの地方の都市の方向性や国土政策への提言を行うためのものである。

2. 産業構造からの地域の分類とその基準の特定

産業構造から地域の特徴を抽出するために、「平成 26 年経済センサス - 基礎調査」[1]の「事業所に関する集計」 から第 12 回改訂産業分類(総務省統計局)に基づいて集 計された都道府県の産業別従業者数の構成比率を利用する

はじめに、このデータをもとに都道府県の「産業別従 業者数の構成比率」を作り、クラスター分析を用いて、 類似している地域を分類した。分析ではユークリッド距離とウォード法を用いた。その結果を図 1 に示す。クラスター分析の結果、おおよそ 6 つのクラスターに分類された。はじめに A と B に分類され、A は A(1) と A(2)に、B は B(1)、B(2)、B(3)に分けられた。B(3)はさらに、B(3)a と B(3)b に分類された。この結果を表 1 に示す。

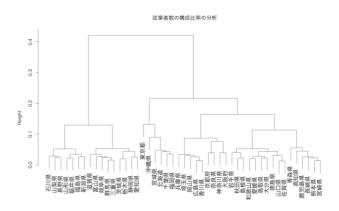


図 1 クラスター分析結果

表 1 それぞれのクラスターに属する都道府県

A(1)	A(2)	B(1)	B(2)	B(3)a	B(3)b
石川県	茨城県	北海道	埼玉県	岩手県	青森県
福井県	栃木県	宮城県	兵庫県	秋田県	高知県
山梨県	群馬県	千葉県	香川県	和歌山県	長崎県
長野県	富山県	福岡県	岡山県	鳥取県	熊本県
山形県	岐阜県	沖縄県	広島県	島根県	宮崎県
福島県	静岡県		京都府	山口県	鹿児島県
新潟県	愛知県		神奈川県	徳島県	
	三重県		大阪府	愛媛県	
	滋賀県		奈良県	佐賀県	
				大分県	
	石川県 福井県 山梨県 長野県 山塩島県 新潟県	石川県 茨城県 福井県 栃木県 山梨県 群馬県 長野県 富山県 山形県 岐阜県 新潟県 愛知県	石川県 茨城県 北海道 福井県 栃木県 宮城県 山梨県 古城県 十葉県 長野県 富山県 山路県 加米県 韓阜県 沖縄県 新潟県 愛知県 三重県	石川県 茨城県 北海道 埼玉県 福井県 栃木県 宮城県 長庫県 山梨県 石川県 石川県 西川県 長野県 富山県 福岡県 四山県 山北県 広島県 京都府 新潟県 変知県 7、京都府 丁寅府 丁寅府	石川県 茨城県 北海道 埼玉県 岩手県 福井県 栃木県 宮城県 長庫県 秋田県 山梨県 五丁東県 香川県 和歌山県 長野県 富山県 福岡県 岡山県 島取県 山杉県 岐阜県 沖縄県 広島県 山口県 新潟県 愛知県 神奈川県 徳島県 五里県 次資県 奈良県 佐賀県

この各クラスターの差異を特定するために、「産業別従業者数の構成比率」の主成分分析を行うことにした。クラスターの代表値を、クラスター内の都道府県のデータの平均値とした。主成分分析は、分散を情報量として捉えているため、クラスター内の分散を打ち消す必要があるからである。主成分分析の結果、第一主成分と第二主成分で寄与率が約8割あるため、この二つを採用した。その結果が図2、3である。図2の第一主成分は、正の方向に都市に立地しやすいサービス業が位置し、負の方向にそれ以外の産業が立地していることがわかる。以降、都市に立地しやすい産業を「都市型サービス業」とする。図3の第二主成分では、正の方向は主に小売業などの地域に密着したサービス業が位置し、負の方向はほぼ製造業の成分が占めている。以降、地域に密着したサービス業を地域密着型サービス業とする。また、この第一主成

分を横軸に、第二主成分縦軸にしてプロットしたものが図4である。都市型サービス業の方向に東京都が突出して位置していることがわかる。また、地域密着型サービス業の方向には、北海道や福岡県などのB(1)と青森県や鹿児島県などのB(3)bが位置している。そして、製造業の方向には、愛知県や茨城県といった企業城下町を多く有する都道府県を擁するA(2)や多くの食品製造業が立地している新潟県などのA(1)が位置している。

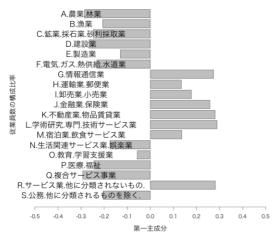


図 2 第一主成分

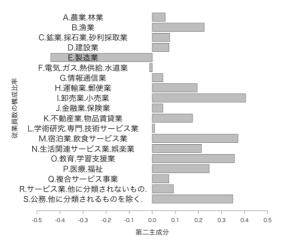


図 3 第二主成分

3. 産業と労働生産性

図 5 は、日本全体の産業ごとの労働生産性と就業者数の関係を示している。また、産業分類は内閣府による経済活動別分類 (SNA 分類) [2]を使用している。

このグラフにおいて、不動産業が約30,000円と突出しており、他の産業のデータがわかりにくくなるため、上限を10,000円とした。図5によると、日本の生産性で最も高いと言えるのは、不動産業、電気・ガス・水道業、情報通信業であることがわかる。しかし、就業者数はいずれも少ないため、地域経済に大きく貢献しているとはいえない。就業者数で見た場合、最も多いのはサービス業、

卸売・小売業、製造業である。この内、最も就業者数が 多いのはサービス業であるが、この業種の労働生産性が 第一産業の次に低いことがわかる。逆に製造業は比較的 高い生産性を誇っており、かつ就業者数が日本の中でも 多いということになる。これが地域経済の明暗を分けて おり、前者のサービス業が産業の中心になっている地域 は、産業基盤が弱いことを示しているといえる。また、 このサービス業は第二主成分の正方向、つまり地域密着 型サービス業に多い。

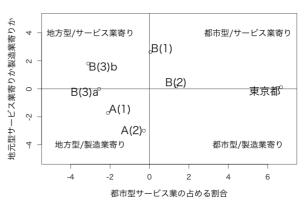


図 4 主成分得点プロット

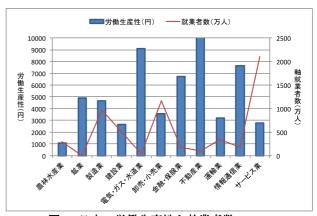


図 5 日本の労働生産性と就業者数(2013)

4. 主成分の原因の特定

ここで最も生産性の低いとされる地域密着型サービス 業を多く有する地域の産業基盤を強くするためには、三 つの対策が考えられる。

- ① 大量の雇用者を抱えることができる製造業の大規模な工場や企業を誘致し城下町を作ること。
- ② 地域密着型サービス業の生産性を向上させる。
- ③ 都市型サービス業が立地できるような条件を整える。

生産性の点で最も望ましい政策は、①である。しかし、 製造業はより賃金が低いとされる新興国に工場を作ることも多く現実的ではない。②が最も実現可能性があり、 賃金が生産性に直結しているために、慢性的に低賃金な 業種の賃金を政策的に上げる必要がある。しかし、これは都道府県が行うべき政策とはいえない。最後に③であるが、この効果について検証を試みる。

ここまでの分析において、都市型サービス業が立地する条件として第一主成分が正の値になる地域であることが求められる。はじめに、この第一主成分が人口の集積によって生まれるものではないかと仮定した。そのため、人口集中地区の人口密度とその面積を説明変数に、第一主成分の値を被説明変数にして重回帰分析を行った。表2はその結果である。調整済み決定係数は約0.716で、信頼性は妥当な結果であるといえる。この分析結果は、人口集中地区の人口密度とその面積はともに正の値に比例して、都市型サービス業の比率が大きくなるということを示している。

表 2 第一主成分と人口集中地区の関係

Coefficients:	Estimate	Std.Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	1.53E-17	0.07778	0	1
人口集中地区人口密度	0.4226	0.1459	2.897	0.00585
人口集中地区面積比	0.4663	0.1459	3.196	0.00258

つまり、③はコンパクトシティ政策で実現されるといえる。これは、人口減少がはじまっている日本にとっては理にかなった政策である。「国土交通省白書 2015」[7]においても、市区町村の人口密度が低ければ低いほど一人あたりの行政コストが増しているという分析結果が出ている。また、こうして特定の地域に人口を集中させ、人口密度が増加させることによって、その地域の商圏人口が増やすことができる。それによって、これまで需要が足りないなどの問題で、進出できなかった企業や店舗がそこに立地できる可能性が広がり、雇用機会を増やすことにも繋がるのである。

5. GIS (地理情報システム) による主成分の解釈

これまではデータマイニング的手法を用いてきたが、 ここからは地理的な特徴を検討するために GIS による分 析を行う。図6、図7は第一主成分、第二主成分を都道府 県の産業別従業者数の構成比率から主成分得点を出して、 それを地図[5][6]上に表示したものである。クラスターの 主成分を都道府県の産業別従業者数にかけることで主成 分得点を算出しているため、本来の主成分の手法から逸 脱している。しかし、主成分分析における主成分得点と は、分散を情報量とおいて、最も情報量の多い二軸の平 面に表示した数値のことである。そして、都道府県の産 業別従業者比率は、クラスターの産業別従業者比率の元 となるデータである。つまり、クラスターの差異を最も 説明している軸にこの変量を当てはめる操作である。そ のため、この操作によって重大な問題が発生するとは考 えられない。この図は第一主成分を標準正規分布にもと づいて 5 段階に色分けをしている。色が濃い赤色なるほ ど、第一主成分が都市型サービス業の従事者の比率が高 いことを意味し、薄い黄色に近づくほど比率が低いこと を意味する。この図において最も赤い色を示しているの は東京都である。それに次いで大阪府が赤くなっている。 これは一般的なイメージから見ても極めて妥当な結果で ある。この地図を詳細に読み取ると、東京都、大阪府を 中心に遠ざかっていくほどに色が薄くなり、第一主成分

が低い値であることがわかる。中心から遠くなればなるほど、その地域の中心的役割を担ってきた地域、つまり福岡県や宮城県などの地域が周囲に比べて色が濃いことがわかる。また、図7は第二主成分を同じようにプロットした地図である。この地図は青色が濃くなるほど、製造業従事者の比率が高くなり、薄くなるほど地域密着型サービス業の比率が高くなることを示している。この図でもっとも最も濃い色を示している地域は東海地方や群馬県、富山県、滋賀県である。これらの都道府県は、企業城下町を有していることからも妥当な結果だといえる。また、最も色が薄い地域は、第一主成分と同様に日本の端に属する地域に多いことがわかる。これらの地域の特徴は人口密度が低い傾向にあることがわかる。図8の地方別人口密度[3][4]のグラフである。

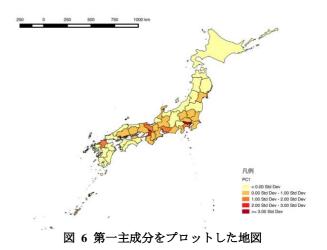


図 7 第二主成分をプロットした地図

また、図9は完全失業率の上位15件であるが、都市部に属する都道府県は外部の都道府県から職を得る目的で人口が恒常的に流入するため、完全失業率が高いことは当然だと言える。しかし、それらの都道府県を除くとこれまでの分析のとおり、地域密着型サービス業従事者の比率が高い日本の端の地方に所属する都道府県が多いこと

がわかる。こうした中央から遠く、人口の少ない地域ほど産業基盤が弱いことがわかる。

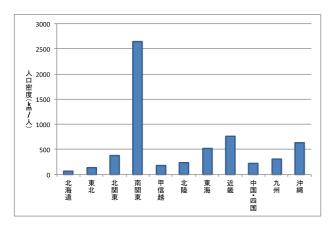


図 8 地方別人口密度

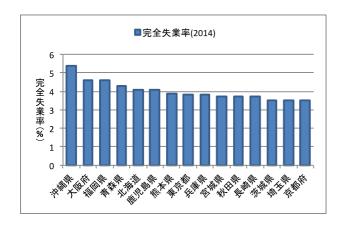


図 9 完全失業率の上位 15 都道府県

6. おわりに

これまでの分析の結果、首都圏から遠く離れ人口が希 薄な地域ほど、比較的労働生産性の低い地域密着型のサ ービス業に従事している割合が多くなることがわかる。 人口が減少することを前提に、これらの地域の産業基盤 を強化しなければならないが、そのためには地域の産業 全体の労働生産性を上げる必要がある。それには、地域 密着型サービス業の一人あたりの産出額を増やすために、 賃金を上げるか、労働生産性の高い都市型サービス業を 増やす必要がある。地方政策としては後者を推し進める 必要があるが、後者は人口集中地区の密度と広さが鍵と なってくることがわかった。つまり、これからの地方は 人口が希薄な地域ほど人口を集約することが重要になる。 このような政策を実際に実現しているのが富山市であ る。郊外化している街を中心街に集約していく政策を推 し進めコンパクトシティ化を推進している。具体的には、 「富山ライトレール」や「まちなか居住推進事業」によ って、数々の成果を上げ OECD が 2012 年にとりまとめた 「コンパクトシティ政策:世界 5 都市のケーススタディ

と国別比較」[8]において、メルボルン、パリ、ポートランド、バンクーバーと並んで富山市がコンパクトシティのモデルケースとして紹介されている。

しかし、すべての地方都市がこのようなコンパクトシティ化が最適なものであるとは限らない。今や都道府県間の人口や経済格差は激しく、それによって自治体が行う政策の規模も検討が必要である。広大な土地を有し人口が希薄な地域では北海道の事例が参考になる。北海道は地方の単位で一つの自治体になり、北海道人口の約1/3以上が住む札幌市のような政令指定都市を作っている。北海道に札幌市がなければ、より雇用が少なく、人口流出の激しい地域になっていたことが考えられる。このような中心の役割を担う都市こそが地方の経済を支え、雇用を創出し、その地方からの人口流出の防波堤の役目を果たしている。

参考文献

- [1] 総務省統計局 (2015) 『平成 26 年経済センサス 基礎調査』http://www.stat.go.jp/data/e-census/2014/ (2015年 12 月ダウンロード)
- [2] 内閣府(2014)『2013 年度国民経済計算(2005 年基 準・93SNA)』
- [3] http://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/data/data_list/kakuhou/fi les/h25/h25_kaku_top.html(2015 年 12 月ダウンロード)
- [4] 総務省 (2015)『住民基本台帳に基づく人口、人口動態及び世帯数 (平成 27 年 1 月 1 日現在)』 http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01gyosei02_03000062.html (2015 月 12 月ダウンロード)
- [5] 国土地理院 (2015) 『平成 26 年全国都道府県市区町村別面積調』 http://www.gsi.go.jp/KOKUJYOHO/MENCHO/201410/opening.htm (2015 年 12 月ダウンロード)
- [6] 国土地理院 (2014)、 『地球地図日本』、 http://www.gsi.go.jp/kikakuchousei/kikakuchousei40182 .html (2015 年 12 月ダウンロード)
- [7] 行政区域 (2015)、『国土数値情報ダウンロードサービス』、http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html (2015 年 12 月ダウンロード)
- [8] 国土交通省 (2015) 『第 I 部 第 2 章 第 2 節 時代に 合った構造的な地域づくり (国土交通白書 2015)』、 (P.81-93)
 - http://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/h26/hakusho/h27/ind ex.html
- [9] OECD(2012)『コンパクトシティ:将来の道』 http://www.oecd.org/tokyo/newsroom/governance-comp act-cities-the-way-of-the-future-japanese-version.htm

連絡先

小沢和浩: 法政大学経済学部 〒194-0298 町田市相原町 4342 新妻巧朗:法政大学経済学部経済学科 〒194-0298 町田市相原町 4342 E-mail:takurou.niitsuma.9t@stu.hosei.ac.jp

他の評定を考慮した望ましい理学療法士、作業療法士、看護師などの対応に 関する評定検討

Comparison of Four Methods to Examine the Desirable Degree of Self-Participation in Determining of the Contents and the Method of Medical Services

奥田裕紀 Hiroki Okuda 金城大学

Kinjo University

Abstract: The purpose of this research is to propose and compare four methods to examine the desirable degree of self-participation for ordinary people in determining the contents and the methods of medical services from medical service workers. The research participants are 150 ordinary Japanese people. 39 evaluation items are divided into three groups according to the participation level of patients in the determination of the contents and the methods of medical services. The three groups are called low, medium, and high degree self-participation item groups. The participants were asked to assume three cases of mild, moderate and serious illnesses or injuries. In all of the three cases, the participants were asked to evaluate the degree of desirability of each item on the 7-point scale. Characteristics of four proposed methods and the factors of ambiguity and uncertainty of evaluations in this research are discussed.

1. はじめに

①対象者の医療関係者への希望

病気やケガの診察・治療を受ける病院の患者や医療福祉施設の利用者など(対象者)が、理学療法士、作業療法士、看護師などの医療関係者に対してどのような対応(コミュニケーション、対人関係、自己決定の尊重など)を望むのかに関して検討することは、重要な課題である。一般の人達(対象者)が、医療関係者にどのような対応を望むのかは、当該の人の病気・ケガなどの重症度や、対象者の年齢、各人の特性

そこで、奥田(2015)は、検査・治療方針、 方法などに関する説明、選択・決定、確認・変 更などに関する13の項目について、対象者自身 の自己関与度が小さい項目群、中程度である項 目群、大きい項目群(各項目群13項目×3の36 項目)を構成した(各々、大自己関与項目群、 中自己関与項目群、小自己関与項目群とされた)。 そして研究参加者に対して、各項目群の各項

などによって変化する可能性が考えられた。

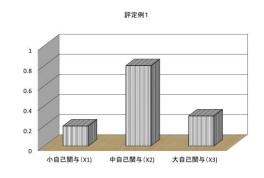
目の望ましさなどについて7段階尺度による評定を求めた。この結果、小自己関与項目群、中自己関与項目群、大自己関与項目群の対応する各項目(同条件の同番号の項目)に、各々評定値が得られることとなった。

例えば、同一条件における"セラピストなど が専門家の立場から必要だと思う検査や治療、 生活習慣の改善などがある場合には、必ず行っ てもらいたい"(小自己関与項目群)、"セラピ ストなどが専門家の立場から必要だと思う検 査や治療、生活習慣の改善などがある場合には、 何度も説得して納得させてもらいたい"(中自 己関与項目群)、"たとえセラピストなどが専門 家の立場から必要だと思う検査や治療、生活習 慣の改善などであっても、自分が拒否した場合 はそれ以上勧めないでもらいたい"(大自己関 与項目群)の各項目に評定値が得られた。

このように複数の項目群の対応する(同一条件・同番号の)項目について全て望ましい(あるいは望ましくない)と評定することは、評定

上の矛盾と考える人もいるであろう。

また、図1に示した 評定例1、2では、2例とも中自己関与項目群の項目の評定値は同一であるが、小自己関与項目群、大自己関与項目群の項目の評定値は異なっている。



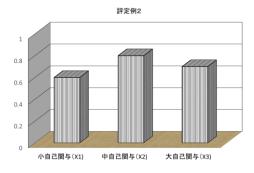


図1 評定例1、評定例2

この場合、各項目について、他の項目群の対応する項目(同一条件における同番号の項目)の評定値を考慮した評定値を求めることも可能であるが、その方法については、複数のものが考えられ、各方法によって得られる値の示す意味、値の特性は異なることになろう。

②本研究の目的

本研究では、小、中、大自己関与項目群において他項目群の対応する(同一条件・同番号の)項目の評定値を考慮した評定値について、複数の算出方法を提示し、各方法の特性や、本研究において対応する各項目に、評定が示される要因について検討を行うこととした。

2. 方法

① 研究参加者

研究参加者は、青年群 (大学生、18 歳~22 歳)、中年群 (40~49 歳)、および高齢者群 (60 歳以上) 各々50 人であった。これらの研究参加者は、医療の対象者となる可能性のある一般の人達で、医療従事者や医療関係資格の取得を目指す学生は含まれていなかった。

② 病気・ケガなどの重症度条件

本研究では、病気やケガの重症度(重篤度)について、軽度(短期間で完治する程度)、中程度(1か月ほどの入院を必要とする程度)、重度(命にかかわるような場合)の3条件を想定してもらい、各条件について、医療関係者の対象者に対する対応・対人コミュニケーションとしての望ましさなどについて、評定を求めることとした(従って、各研究参加者は同じ項目について、軽度条件、中程度条件、重度条件の3回評定を行うことになった)。

③ 評定項目および項目群

医療場面における検査、治療方針・方法などに関する説明、選択・決定、確認・変更などに関する 13 の項目(第 1~13 項目)が選択された。これら 13 の項目に関して、対象者自身の関与度が大きい項目、関与度が中程度の項目、関与度が小さい項目が選択された。

本研究では、この他の項目に関しても評定を 求めたが、本論文では、小・中・大自己関与項 目群の評定結果について検討することとし、他 の結果は別に報告することとする。

④ 各項目の評定方法

研究参加者に、各評定項目が、リハビリテーション・医療の現場において、理学療法士、作業療法士、看護師などの医療関係者の対象者への対応、対人コミュニケーションとして望ましいと思う程度などについて、7段階の尺度で評定することを求めた。7段階の評定値は、0~1までの値に変換した。

⑤ 他項目群の対応する項目の評定値を考慮した 評定値の算出方法

本研究では、算出方法として以下のものを検討した。

(A) 他項目群評定值考慮方法 I (MAX,0 法)

小、中、大自己関与項目群の対応する(同一条件・同番号の)項目の評定値のうち最大値については、そのままの値(最大値)とし、他の項目群の評定値は、0とする方法である。

この方法は、3項目群の対応する(同一条件・同番号の)項目のうち評定値が最大である項目の評定値以外は、評定間の矛盾あるいは、評定の際の誤りとみなし、0としてしまう方法と考えることができよう。ただし、この方法では、図1に示した、2例の中自己関与項目群の評定値は、同一となり、2例の小自己関与項目群、大自己関与項目群の評定値は全て0となり、2例の評定の差異を示せないことになる。

(B)他項目群評定値考慮方法 II (3 項目群評定値 和除算法)

対応する(同一条件・同番号の)小、中、大自己関与項目群の評定値を、各々、X1、X2、X3 としたとき、小、中、大自己関与項目群の値を、各々X1/(X1+X2+X3)、X2/(X1+X2+X3)、X3/(X1+X2+X3)とする。ただし、X1+X2+X3=0の場合は、値を0とする方法である。この方法では、例1と例2を比較すると、中自己関与項目群の値は、小、大自己関与項目群の評定値が大きい例2の場合の方が、例1の場合よりも小さくなり、評定の差異が示されることとなる。

(C)他項目群評定値考慮方法Ⅲ(他項目群不支持加算法)

対応する(同一条件・同番号の)小、中、大自己関与項目群の評定値を、各々、X1、X2、X3 としたとき、小、中、大自己関与項目群の値を、各々(X1+(1-X2)+(1-X3))/3、(X2+(1-X1)+(1-X3))/3、(X3+(1-X1)+(1-X2))/3とする方法である。この方法は、当該の項目群の評定値に、他の項目群の対応する項目が望ましいと思われなかった分の評定値を加算し、算

出値の最大値が1となるように(当該項目群の評定値が1、他の2項目群の評定値が0の場合)、加算値の1/3としたものと考えられよう。

(D) 段階評定法(方法 0)

この他に、7段階評定によって得られた評定値(0-1 に変換)を、(他項目群の対応項目の評定値にかかわらず)そのまま用いる方法(方法0)も考えられる。

3. 結果および考察

① 各方法による各群各条件の平均値

図2~5に、7段階評定による(方法0の)各群各条件の評定平均値、および提示した3つの方法(方法 I~III)による各群各条件の平均値を示した。各方法による各群各条件の平均値は、重度条件の中自己関与項目群が最も高くなるという、基本的なパターンは共通しているが、方法IIの場合に群間の相対的な差異が最も大きくなった。また、方法 I、II、IIIともに、他群の評定値を考慮しない場合(方法0)よりも平均値が低下し、方法 IIでは、最も高い群・条件の平均値でも0.5に達していない。

② 本研究の評定の多義性・不確定性について

本研究では、軽度、中程度、重度の病気やケガの場合を想定して評定することを求めたが、どのような病気・ケガであるのか、自分がその時どんな状態であるのかについて限定はしていない。このため、研究参加者が想定するものがどのような病気、ケガであるのか、そのとき自分はどのような状態と想定するか(健康な状態に近い理解能力・判断能力・意思表示能力を保持しているのか、あるいは自分自身の状態、治療・検査の内容などを適切に理解・判断できない、自由に意思表示できない状態なのか)は特定されない。

このため研究参加者は、想定する病状・ケガ・ 自分自身の状態により、異なったことを思い・ 希望する可能性があり、評定が多義的になるこ とは、必ずしも評定上の矛盾とは言えないと思 われる(異なる状況において、各項目群の項目 を望ましいと思う程度が異なる可能性がある)。

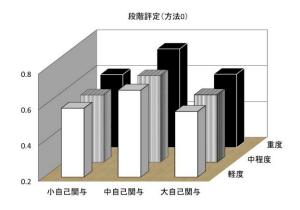


図2 段階評定による各群各条件の評定平均値

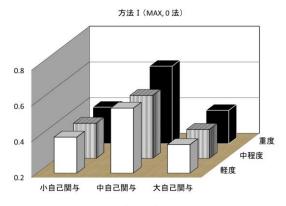


図3 方法 Iによる各群各条件の平均値

また、本研究の評定は、実際の医療場面ではなく、仮想的な状況を想定して評定するよう求めているので、研究参加者が、実際の場面で自分がどのように思うのか・希望するのかについては、様々な可能性があり1つには決められないと認知する可能性もあろう(この場合、評定には、不確定性、あいまいさがあろう)。

③ 本研究における評定の意義

本研究のように、仮想的な状況を想定し、その状況における医療関係者の対象者への対応の望ましさの評定を求めても、評定には多義性、不確定性がある可能性がある。しかしながら、多くの人達がどのような対応を望むのかという標準的なデータを、医療関係者や一般の人達に

提供することには、一定の意義があろう。

また、実際の病気・ケガの場合には、対象者 が適正な理解・判断を行ったり、当人の意思を 確認したりすることが困難になることもあるの で、当該の人が、通常の理解・判断・意思伝達 能力を保持している時に、どのような希望を示 していたかに関する情報を提供することにも意 義があると思われる。

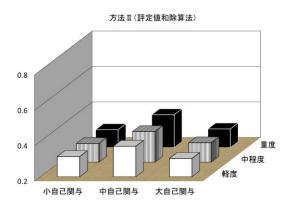


図 4 方法Ⅱによる各群各条件の平均値

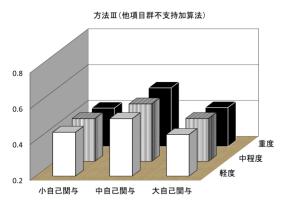


図 5 方法皿による各群各条件の平均値

4. 参考文献

[1] 異なる年齢群における理学療法士、作業療法士、看護師などに希望する対応 第20回曖昧な気持ちに挑むワークショップ, 1-4, 2015

5. 連絡先

〒924-8511 石川県白山市笠間町 1200 金城大学

TEL. 076-276-4400、FAX. 075-236-4306 E-mail: okuda@kinjo.ac.jp

論理学辞・事典に向けて(2) ─ 論理(学)を列挙する —

Toward Dictiopedia of Logics(2)

— List of Logics —

中島 信之 NAKAJIMA, Nobuyuki

1 はじめに

すでに述べたことで,しつこくて恐縮だが,『論理学 小辞・事典』は,ホームページ上で更新日を入れて公 開している.アドレスは

http://w01.tp1.jp/ sr11283374/です.

さて、わたしも歳が歳だから(実は先立つものが先立ちにくくなったから)、参加するのはソフトさイエスと曖昧さのワークショップ— これらは「大人の」ワークショップだからね — ぐらいにしようかと.

参加するなら参加するで、やはり発表なしというのは味気ない。今回も何を発表しようかな、と首をひねった。

『論理学小辞・事典』のネタを仕込みがてら、三浦の『ラッセルのパラドクス』に目を通していると、この書は論理学の教科書ではなく、哲学の教科書だから、論理学に深入りしていないが、内包論理学という名にぶっつかった。ふーむ、論理(学)を挙げてみるのも悪くないか。

参考にしたのは、細井の『情報科学のための論理数学』、古森らの『現代論理学序説』、『岩波 情報科学辞典』である.

2 論理の列挙

上掲4書に出てきた論理(学)を列挙してみよう. 『ラッセルのパラドクス』[10]: 伝統的アリストテレスの論理学と現代論理学,標準論理学,上述の内包論理学.

『情報科学のための論理数学』[3]: 目次に,定番の古典命題論理,直観主義命題論理,(古典および直観主義)述語論理,多値論理,様相論理にくわえ,組み合わせ論理,マルチ様相論理とダイナミック論理.

本文に入って,2 値論理,断片論理体系,(古典論理と直観論理の間の)中間論理,さらに様相論理の周

辺論理として,時相論理,認識論的論理,義務論的論理,真偽論的論理など.組み合わせ論理の中に前論理がある.

古森らの『現代論理学序説』[4]:おおよそ『情報科学のための論理数学』と同じものがあり、さらに部分構造論理、細かくは、ランベック計算、線形論理、超直観主義論理、ヨハンソンの最小論理、パラコンシステント論理、適切論理、および固有名をもたないいくつかの論理、ファジー論理など、

『岩波 情報科学辞典』[13]:上記以外に, λ 論理, 関係論理, クリーネの論理, 構成的論理, 自己認識論理, 正論理, 負論理, 多種論理, 多類論理, デフォルト論理, 等号(等式)論理, 配線論理, 非単調論理, 布線論理, ホーア論理, 無限論理など.

3 論理各論

いやあ, 意外とあるもんだ. — これから論理の各論を解説することにしよう.

細井 [3] は、まえがきで「"論理"自身、十人十色のイメージで受けとめられているのが現状だろう。工学者の"論理"、数学者の"論理"、哲学者の"論理"などには、かなりの差異がある.」と書く.かれ自身は"論理"を「数学的論証の手続き(という本来の立場)」ととらえる([3]、p.131)

工学者の"論理" 細井のいう工学者とは、情報科学・工学者の謂いだろう.情報科学であつかう"論理"の最大の特徴は、含意をもたない、あるいは(もっていても)そのあつかいが軽い、ということである. それに対し、論理学者(数学者)の"論理"は、含意こそが論理の主役である.

『情報科学辞典』の記号論理学の項に、「計算機科学における論理学の役割は、論理代数と論理回路の関係に見られるように早くから認識されていた.」とある.

3.1 正統 (?) の "論理"各論

"論理"を列挙し解説するにあたって、まずは正統的なところから —

古典論理 classical logic. 古典 2 値論理ともいう. 古典論理というと、伝統論理学と紛らわしいので、標準論理 standard logic ということもある. これに近いものに伝統論理(学) traditional logic がある. これは、アリストテレスに始まり、中世ヨーロッパでストア学派によって展開された論理学である. 現在の古典論理学は伝統論理学よりも(数学的に)洗練されている. あらゆる論理の根底に古典論理がメタ論理として厳然とある.

標準論理で成り立つ定理や推理が成り立ち、しかもそれ以上の定理や推理が成り立つとき、拡張論理とよぶ.逆に、標準論理学で成り立つ定理や推理のうちのいくつかが成り立たない論理学を、代替論理とか逸脱論理とよぶ([9], p.204).

【様相論理とその周辺論理(1)】

拡張論理の代表が様相論理 modal logic である,杉原 [15] は「非古典論理学」に分類するが — . 様相論理は古典論理+様相演算子で作られる. 様相演算子には、必然の□と可能の◇とがある. 様相論理の公理体系は、「特別の名称を有するものだけでも 100 近くある.」([15]、p.10). 様相論理は部分の真理値からは全体の真理値が決定されない内包論理の一種と見ることができる(Wikipedia).

内包論理 intentional logic 水谷 [11] による. 論理式 \square A は,様相論理では「必然的に A」と解釈されるが,それ以外にもいろんな解釈ができる.そうした解釈のもとで,それぞれの論理がある.これらを総称して内包論理とよぶ.内包論理には時制論理(後述),義務論理,認識論的論理などなどがある.

義務論理 1 deontic logic は、「義務である obligatory O」と「許される permissible P」という様相演算子をもつ。

様相論理の周辺論理を見たのは細井の『情報科学のための論理数学』[3] が最初だったので、何となく情報科学に特化したものかと(うかつにも)思った. だけど様相論理の周辺論理を内包論理というのだとわかって見直すと、三浦の『ラッセルのパラドクス』(という哲学書)ですでにその名を目にしていた.

— 閑話休題.

Wikipedia を見ると、義務論理の起源は紀元前後のインドや古代ギリシャですでに関心をもたれ、かのライプニッツも言及していた. 20世紀に入って、形式

的体系がマリー Mally によってあたえられた. こう見てくると,義務論理は情報科学よりも古い!ことがわかる.

【非古典論理】

これら以外はすべて非古典論理である.非標準論理 ともいう.非古典論理は真偽以外の真理値をもつ.こ の意味ではすべて多値論理である.

まず直観(主義的)論理 intuitionisite logic で、代替論理の 1 である。ブラウアーによって創始され(1919年、「直観主義集合論」)、ハイティングによって完成された(1930年)。直観論理は、真であるか否かでなく、真であることを証明する手段をもっているか否かを問題にする。その結果、排中律 $p \lor \neg p$ を認めず、したがって帰謬法(背理法)を認めない。二重否定の法則も排除する。直観論理の完全性は証明されている。

直観論理も多値論理の1つだが、多値論理というとき、通常ウカシエヴィッツやその他の**多値論理**を意味する(ウカシエヴィッツの3値論理は1920年、可算無限多値論理は1930年).

最後に**ファジィ論理**があるが,まだまだ発展途上段 階である.

3.2 情報科学の"論理"各論

『情報科学のための論理数学』[3] や『現代論理学序説』[4] で初めてお目にかかった諸"論理"は、どの程度情報科学のものなのか?

Wikipedia で検索し、その参考文献で見た論文を富山大の図書館でコピーして、さらにその参考文献から、それぞれの起源を追跡した、非単調論理と自己認識論理についての論文が各2篇(計4篇 — 全部で50枚=500円也)が得られた。

非単調論理: 古くは非単調推論 Non-monotonic reasoning とある. D. McDermott et al.[8] (1980年) がもっとも早いようである.

自己認識論理: W. Marek et al.[6] (1991年) がもっとも早いが、講演論文集にまで範囲を広げると、1984年の非単調論理のワークショップにまで遡る(ちょっと間が開きすぎているが…).

デフォルト論理: 1980 年に論文がある. Artificial Intelligence 誌なので、もう 1 度大学に行かねばならない. サーカムスクリプション (後述) についても同誌にあるらしい.

時相論理: 1977 年,「プログラムの時相論理」, IEEE コンピュータ科学の基礎に関するシンポジウム. Wikipedia にあった雑誌は図書館になかった.

¹または義務論的論理とも.

その他,ホーア論理は項目はあったが,参考文献の記載はなく,多類論理,等式論理は項目自体がなかった.

数理論理学では、構造が同じなら同じ名でよばれるが、情報科学では、どうやら構造が同じでも現実(回路)との対応が異なれば、異なる名になるらしい、その代表?が、正論理、負論理 positive logic、negative logic で、論理回路を物理的に実現するにあたって、物理量または状態のエネルギーの高ー低に、1-0を対応させることを正論理、逆に0-1を対応させることを負論理という(『情報科学辞典』).

あるいは、情報科学では構造よりも何に使うかどう 使うかが重要らしい。たとえば配線(ワイヤード、布 線)論理 wired logic がそうで、計算機の制御機構を実 現する方式の1つ。制御に必要な論理を直接順序回路 として実現する方法をいう(『情報科学辞典』)。コン ピュータの制御部と演算部で行われすべての命令の実 行を、電子回路だけで制御する方法のこと(ASCII.jp デジタル用語辞典)。

これら以外にも、「情報科学関連の論理」があるが、 情報学に特有のものかどうかは(わたしには)よくわ からない.

3.2.1 様相論理の周辺論理(2)

様相論理 — 正統の — については、上で紹介したが、これにつながる論理の名が『情報科学のための論理数学』[3] などであがっている.

様相概念としては、□と◇以外にも、以下のようなものがある. 時制 tense (時相論理),「知っているknown」と「信じている believed」(認識論的論理 epistemic logic).

さらに、計算機の基礎理論では、「計算できる」、、「計算が終わるだろう」、「プログラムは正しいと考えられる」、「確かめられた」などの概念が使われるが、これらも一種の様相概念と考えられる、という.(『情報科学のための論理数学』[3]、p.205)

時相論理 tense logic 命題の真偽が時間に依存する論理. 時相演算子はF, Pが基本で,任意の論理式Aに対して,FA, PAは,それぞれ「未来のある時点でAは真」および「過去のある時点でAは真」と解釈される.これらから, $GA \equiv \neg F \neg A$ 未来のすべての時点でAは真である, $HA \equiv \neg P \neg A$ や, $\Box A \equiv GA \land HA \land A$: つねにA が真である, $\diamondsuit A \equiv \neg \Box \neg A$: いつかはA は真である,などの演算が導入される.時相論理の解釈は時点t をパラメータとして与えられることを除けば通常の論理と同様である.時相論理は,時空間概念をともなう推論,並行プログラムの仕様記述,検証など

に応用されている(『情報科学辞典』).

ホーア論理 Hoare's logic (ホーアの公理系ともいう). ホーアによって始められたもので、Algol 型プログラムに対する公理的意味論である. Wikipedia には「コンピュータプログラムの正当性について厳密に推論する論理規則群を備えた形式体系」とある.

動的(ダイナミック)論理 dynamic logic 様相論理の一種で、プログラムごとに、その実行後の状態を表す様相演算子を導入した体系、プログラムの公理的意味論の一つとも見なせる。ホーア論理を拡張した体系になっている。

3.2.2 非単調論理とその周辺

そのしばらく前 — どのくらい前なのかは,まだ調べていないが — から,コンピュータで常識推論(論理)をあつかう方法が模索されてきた.その成果の 1つ(だと思う)が非単調論理で,1980年,マクダーモットら McDermott & Doyle [8] に始まる.だが,これに 2年先だって,かれらの MIT 人工知能研のメモ 2 が公開されており,このメモが多大の関心をよびおこした.マクダーモットらの [8] はあまりに粗っぽかったのであろう,さまざまな論議を巻きおこした.

非単調論理に関する仕事は、マクダーモットらの論文と同じ巻の Artificial Intelligence 誌に掲載された (27 ページから 132 ページまでを占めており、非単調論理の特集号の観がある.).

まずマクカーシー McCarthy [7] がサーカムスクリプションを、ライター Riter [14] がデフォルト論理を、さらに 4 年後(1984 年)、Moore が自己認識論理を提唱した([5])、もうすでにこの頃には、新たな知見は論文でなく、さまざまな国際会議・シンポジウムの講演論文集で発表されるようになっていた。あとから追っかけるのは容易でない。

これらの解説をしておこう.

まず**非単調論理** non-monotonic logic だが,不完全な知識の記述を許容すると,推論が非単調になる.そのときの論理をいう.正確には(?),

定義 [8] 新たな公理群の導入がいくつかの定理の不成立をもたらす論理を非単調論理という(序、p.41). 単調性を正確に定義すると:理論 S の定理を $Th(S) = \{p \mid S \vdash p\}$ と書く、2 つの理論 A, B は $A \subset B$ ならば $Th(A) \subset Th(B)$ のとき単調という(p.44).

今,よく用いられている「Tweety は飛ぶか?」で 説明しよう.

事実: Tweety は鳥である. ところで「鳥は飛ぶ」と

 $[\]frac{2}{2}$ このメモが(公式には)最初だろうと思う.

いう一般的(常識的)知識がある。この知識と事実とから「Tweety は飛ぶ.」が得られる。だが一, Tweetyがペンギン(あるいはダチョウでも可)だとわかると,上記の結論は撤回される。(こういう推論を非単調推論という。)

推論において、記述されていること以外は考慮しない³、という立場を1階述語論理の世界で定式化したものをサーカムスクリプション circumscription という. 不完全な知識(前提)にもいろいろある.

推論において、たとえば「机の脚の数」として4が常識(典型)的な値として、しばしば使われる. こういう値を暗黙(デフォルト)値といい、そのときの論理をデフォルト論理 default logic という.

(正しいと)信じられている知識(前提)にも,ある個人(推論者)によって信じられているというものと広く一般に信じられているものがある([5]).この「信じられている」を \mathbf{B} なる様相演算子として表した論理を自己認識論理 auto-epistemic logic という.信じるという行為には,「「 α であることを信じる($\mathbf{B}(\mathbf{a})$ 」から β が導かれる」ことを信じる($\mathbf{B}(\mathbf{B}\alpha)$),といった入れ子構造のものもある.たぶん,一自己認識論理なる名称はここから来ているのだろう([5]によれば,この名称はムーア [12]による,という).

危惧 — 個人的感想だが

なんだかんだと 10 篇以上論文を集めて眺めてみた4が、どうも気に入らない. というのも、これは欧米人の通弊(?)だが、売り込み上手で理屈を捏ねたがる. 単調論理関連の論理は、じつに多大の論文の生産に貢献したが、はたして「何か」を生みだしたか?富山大の図書館で「人工知能」誌の最近号を調べたいと思ったが、1993年までしかなかった. 21 世紀に入ってからはどうだったのだろうか.

3.2.3 その他の論理

多類(多種)論理 many-sorted logic は,論理式に現れる変数(variable)に種類(sort)の区別を設けている.たとえば, $\forall x \forall y A(x,y)$ において,変数 x はスカラー,y はベクトルと定めるとき,スカラーとベクトルが種類である(『情報科学辞典』).

等式 (等号) 論理 equational logic は,等式だけを 論理式として許す論理.等号記号=以外の述語記号を もたず,量化記号も全称記号だけに制限された 1 階述 語論理. バーコフによる等式論理の完全性定理が成り立つ(『情報科学辞典』).

4 おわりに

今回の発表だけなら(失礼!)わざわざ大学図書館まで行って論文をコピーするまでもないかもしれぬと思う一方、『論理学小辞・事典』のためには調べられる範囲は調べなきゃね、とも思った.

参考文献

- [1] Mertin Davis, The mathematics of non-monotonic reasoning, Artificial Intelligence, 13, 73-80, 1980
- [2] Georg Gottlob, Translationg default logic into atandard aoutoepistemic logic, J. ACM, 42, 711-740, 1995
- [3] 細井勉,情報科学のための論理数学,日本評論社,1992
- [4] 古森雄一,小野寬晰,現代数理論理学序説,日本評論 社,2010
- [5] Hector Levesque, All I know: A study in autoepistemic logic, Artificial I telligence, 42, 263-309, 1990
- [6] Wiktor Marek, Miroslaw Truszczynski, Autoepistemic logic, J. ACM, 38, 588-619, 1991
- [7] John McCarthy, Circumscription A form of Nonmonotonic Reasoning, Artificial Intelligence, 13, 27-39, 1980
- [8] Drew McDermott, Jon Doyle, Non-monotonic logic I, Artificial Intelligence, 13, 41-72, 1980
- [9] 三浦俊彦,可能世界の哲学 「存在」と「自己」を 考える —, NHK ブックス, 1997
- [10] 三浦俊彦, ラッセルのパラドクス, 岩波新書, 2005
- [11] 水谷京平,様相論理と内包論理,(Wikipedia で検索), 2008 (?)
- [12] Robert C. Moore, Semantical considerations on nonmonotonic logic, Artificial Intelligence, 25, 75-94, 1985
- [13] 長尾真ら編,岩波情報科学辞典,岩波書店,1990
- [14] R. Reiter, A logic for default reasoning, Artificial Intelligence, 13, 81-132, 1980
- [15] 杉原丈夫, 非古典論理学, 槙書店, 1975

[問い合わせ先]中島 信之930-0077 富山市磯部町 2-1-24TEL & FAX:076-493-2104

 $^{^3}$ 有名な「3 人の宣教師と 3 人の人食い人種のパズルがある。問題がふれていない「上流に橋がある」とか「ヘリコプターを使う」などは解答に用いない([7]).

⁴読むのは大変だった. 今も読み切れていない.

選好の確信度合を考慮した区間UTA

Interval UTA Incorporating Certainty Levels of Preference

○ 乾口 雅弘,

杉山 寛

O Masahiro Inuiguchi,

Tomo Sugiyama

大阪大学 大学院基礎工学研究科

Graduate School of Engineering Science, Osaka University

Abstract: We propose an interval UTA method which reflects different certainty levels of preference into a nested set of interval utility function models. The proposed method accommodates different certainty levels of preference such as "a is better than b with strong certainty", "a is better than b with certainty" and "a is better than b with weak certainty". After describing the interval UTA method briefly, we describe three approaches to the identification of a nested set of interval utility function models. To compare three approaches as well as to emphasize the difference between certainty levels and levels of utility differences, we conduct numerical experiments. The results support the usefulness of the proposed method.

1 はじめに

選好情報から決定者の好みをモデル化し、決定支援 に用いる Preference Learning が研究されている. 本研 究では,加法的効用関数を用いて決定者の選好を表現 する UTA 法を取り上げる. 与えられる選好情報は一 つのモデルを定めるのに十分とは限らず,また,評価 値を一つの値で与えられるほど人は精密な評価を行っ ているとは限らない.これらの観点から決定者の加法 的効用関数を区間モデルに表す区間 UTA 法 [1] が提案 されている.従来「aをbより確かに好む」といった明 確な選好情報が扱われてきた.しかし,決定者の評価 の曖昧さを鑑みれば,提供される選好情報にも確信度 合に相違があると考えられる.確信度合を導入するこ とにより、決定者が選好を表現しやすくなるとともに、 より細かい情報が入手できると期待できる. 本研究で は,確信度合の異なる選好情報が扱えるように,区間 UTA 法を拡張するとともに,その有用性を議論する.

2 区間 UTA 法

区間 UTA 法では,周辺効用関数を区分的線形関数で表現し,各区分の効用の増分を区間で定めることにより,効用関数を区間モデルとして表す.すなわち,基準 g_i の値域 $[x_i^0,x_i^{m^i}]$ に区分点 $x_i^1,x_i^2,\dots,x_i^{m_i-1}$ を設け, m_i 個の区分に分け,区分 $[x_i^{j-1},x_i^j]$ における効用の増加量 δ_{ij} を区間 $[c_{ij}-w_{ij},c_{ij}+w_{ij}]$ で表現する.

$$f(\delta_{ik}|a_1, a_2) = \sum_{i \in V_1} \frac{x_i^{k_i(a_2)} - g_i(a_2)}{x_i^{k_i(a_2)} - x_i^{k_i(a_2) - 1}} \delta_{i(k_i(a_2) - 1)}$$

$$+ \sum_{i \in V_1} \sum_{k=k_i(a_2)}^{k_i(a_1) - 1} \delta_{ik} + \sum_{i \in V_1} \frac{g_i(a_1) - x_i^{k_i(a_1) - 1}}{x_i^{k_i(a_1)} - x_i^{k_i(a_1) - 1}} \delta_{ik(a_1)}$$

を用いると,代替案 a_1 と a_2 との効用の差 $D(a_1,a_2)$ は, $D(a_1,a_2)=f(\delta_{ij}|a_1,a_2)-f(\delta_{ij}|a_2,a_1)$ と δ_{ij} の関数として与えられる.ただし, $V_1=\{i\mid g_i(a_1)>g_i(a_2)\}$, $V_2=\{i\mid g_i(a_2)>g_i(a_1)\}$, $k_i(a_j)=\min\{k\mid g_i(a_j)\leq c_i^k\}$ である. δ_{ij} は, $\delta_{ij}\in [c_{ij}-w_{ij},c_{ij}+w_{ij}]$ という区間制約に加えて,無差別情報から定められる線形制約 Con を満たす必要がある [1].区間モデルが与えられると,これらの制約を満たす任意の δ_{ij} について $D(a_1,a_2)>0$ となれば, a_1 が a_2 より好まれると推定できる

一方,モデル推定の際には, $\lambda\in[0,1]$, $N=\{1,\ldots,n\}$, $M_i=\{1,\ldots,m_i\}$ とするとき,与えられた選好情報に整合し,次の評価関数が最大となる c_{ij} と w_{ij} が,線形計画問題を解くことにより求められる.

$$\frac{(1-\lambda)\min_{i\in N}\min_{j\in M_i}w_{ij} + \lambda\sum_{i\in N}\frac{1}{nm_i}\sum_{j\in M_i}w_{ij}}{\sum_{i\in N}\sum_{j\in M_i}c_{ij}}$$
(2)

3 提案法

決定者が次の3種類の選好を与える場合を考える.

- 1. 強い確信で a_1 を a_2 より好む $(a_1 \succ^{P1} a_2 \in \mathcal{I}_{P1})$,
- 2. 確信して a_1 を a_2 より好む $(a_1 \succ^{P2} a_2 \in \mathcal{I}_{P2})$,
- 3. 弱い確信で a_1 を a_2 より好む $(a_1 \succ^{P3} a_2 \in \mathcal{I}_{P3})$

これらの他に,無差別情報 $(a_1 \sim a_2 \in \mathcal{I}_I)$ も与えられる.本研究では,これらの情報をうまく表現できるモデル推定法について考察する.

これらの情報は,選好の強さの相違ではなく選好の確信度合の相違を表している.そこで,3種類の選好ごとに一区間モデルを作成し,各度合の選好を対応す

る区間モデルを用いて表すことを考える.この際「強い確信」「確信」「弱い確信」の順に確信度合が低下することを反映して, \succ^{P1} を表す区間モデル (\mathcal{U}_1) が \succ^{P2} を表す区間モデル (\mathcal{U}_2) を包含し, \succ^{P2} を表す区間モデルが \succ^{P3} を表す区間モデル (\mathcal{U}_3) を包含するように設定する. \mathcal{U}_l の区間パラメータを c_{ij}^l 、 w_{ij}^l と表記すると (l=1,2,3) ,この包含条件は,

$$\begin{pmatrix}
c_{ij}^3 + w_{ij}^3 \le c_{ij}^2 + w_{ij}^2 \le c_{ij}^1 + w_{ij}^1 \\
c_{ij}^1 - w_{ij}^1 \le c_{ij}^2 - w_{ij}^2 \le c_{ij}^3 - w_{ij}^3
\end{pmatrix} i \in N,
j \in M_i$$
(3)

と表せるので,この制約を加えて三つのモデルの推定を考える.外側のモデル U_1 を定める際は選好情報 \mathcal{I}_{P1} , \mathcal{I}_I が,中央のモデル U_2 を定める際は選好情報 \mathcal{I}_{P1} , \mathcal{I}_{P2} , \mathcal{I}_I が,内側のモデル U_3 を定める際は選好情報 \mathcal{I}_{P1} , \mathcal{I}_{P2} , \mathcal{I}_{P3} , \mathcal{I}_{P3} , \mathcal{I}_{I} が用いられることになる.

これらを定める場合,いずれのモデルから求めるかにより得られる結果が異なる.順列を考えれば 6 通りあるが, U_2 を最初に求める場合は次に U_1 と U_3 のいずれを先に求めても解くべき問題は同じになるので,5 通りの方法が考えられることになるが,本研究では単純に内側から順に求める方法 (\uparrow) を考える.後者の場合,選好情報から得られる情報を加えていくので,二つ目以降のモデルが求められないことがある.これを避けるため, \mathcal{I}_{P1} , \mathcal{I}_{P2} , \mathcal{I}_{P3} , \mathcal{I}_{I} から得られる c^l_{ij} 、 w^l_{ij} , $i\in N$, $j\in M_i$,l=1,2,3 に関する制約と制約 (3) を最初から加え,評価関数 (2) を U_1 , U_2 , U_3 のものに変更して 3 モデルを求める方法も考えられる.さらに,初めから 3 モデルの関係を

$$c_{ij}^{3} + w_{ij}^{3} + \varepsilon \leq c_{ij}^{2} + w_{ij}^{2} + \varepsilon \leq c_{ij}^{1} + w_{ij}^{1},$$

$$c_{ij}^{1} - w_{ij}^{1} + \varepsilon \leq c_{ij}^{2} - w_{ij}^{2} + \varepsilon \leq c_{ij}^{3} - w_{ij}^{3},$$

$$2w_{ij}^{3} \geq \varepsilon \geq 0, \ i \in N, \ j \in M_{i}$$

$$(4)$$

と定め , \mathcal{I}_{P1} , \mathcal{I}_{P2} , \mathcal{I}_{P3} , \mathcal{I}_{I} による制約のもとで , ϵ を 最大化して 3 モデルを同時に求める方法が考えられる .

4 数値実験

3種類の提案法を比較するとともに, a_1 と a_2 との選好差が a_3 と a_4 との選好差に比べ十分大きければ, $a_1 \succ a_2$ を $a_3 \succ a_4$ より確信するといえることから,選好の確信度合の相違を選好差の大小で置き換えた UTA 法と比較する.なお, $a_1 \succ a_2$ を $a_3 \succ a_4$ より確信するといえることから, a_1 と a_2 との選好差が a_3 と a_4 との選好差より大きいとは言い切れないので,選好差の大小に置き換えたモデル化は必ずしも妥当ではない.まず,三つの区間の入れ子モデルから一部の選好情

まず,三つの区間の入れ子モデルから一部の選好情報を採取し,本提案のモデル化と選好差によるモデル

表 1: 実験結果

	+	†	(3) ↓	(3) ↑	同時	UTA
\mathcal{U}_3	0.8221	0.7189	0.8221	0.6432	0.4492	0.0995
\mathcal{U}_2	0.7965	0.6893	0.7965	0.6705	0.6298	0.1124
\mathcal{U}_1	0.8053	0.7360	0.7360	0.7360	0.7267	0.1176
\mathcal{U}_3	0.5576	0.6253	0.5359	0.4257	0.3906	0.3852
\mathcal{U}_2	0.5488	0.4592	0.5256	0.3988	0.4468	0.5010
\mathcal{U}_1	0.2572	0.2381	0.3200	0.2001	0.2868	0.5898

化を,代替案比較での真のモデルとの一致度を調べた. 本稿では,次の一致度を用いる.選好差によるモデル 化では,一対比較で判定不能になることはないので,判 定不能と無差別を同等に扱った.各レベルごとに,真 のモデルと推定モデルの両方が強選好で一致するペア 数を pp^i , 無差別か判定不能となるペア数を cc^i , 真の モデルで強選好となるペア数を tp^i , 無差別か判定不 能となるペア数を tc^i , 推定モデルで強選好となるペア 数を ep^i , 無差別か判定不能となるペア数を ec^i とし 強選好に関する \mathbf{F} 値 $\mathbf{F}p^i=2pp^i/(tp^i+ep^i)$ と無差別 か判定不能に関する F 値 $Fc^i=2cc^i/(tc^i+ec^i)$ を求 め、これらの積で一致度を定める、表4の上3段に実 験結果を示す.UTAの値に比べ他手法の値はずっと大 きく,選好差によるモデル化より提案法によるモデル 化の方が圧倒的に優れていることが分かる.3種類の 提案法の中では,内側から外側へ求める↓,(3)↓が良 い結果を示している.

逆に,通常の加法的効用関数を想定し,選好差の大小に関する選好情報を用いて,本提案のモデル化と選好差によるモデル化を行い同様な比較をした.その結果を表 4 の下 3 段に示す.やはり,選好差によるモデル化 (UTA) が良い結果を導くものの,提案法によるモデル化 $((3)\downarrow)$ でも十分な精度が得られている.

参考文献

[1] M. Inuiguchi, A. Okumura, R. Słowiński, S. Greco, "Semi-robust multiple criteria decision aiding by interval UTA method," CD-ROM Proceedings of the 12th International Conference on Modeling Decisions for Artificial Intelligence, pp.123–136 (2015)

連絡先

大阪大学大学院基礎工学研究科 乾口 雅弘 E-mail: inuiguti@sys.es.osaka-u.ac.jp

社会ネットワーク分析による研究開発組織における ストラクチャーホールに関する一考察

A Study of Structural Hole on R&D Organization by Social Network Analysis

中岡 伊織*¹ 朴 唯新*² 陳 韻如*³ 赤岡 広周*⁴ 松野 成悟*¹ 三上 喜貴*⁵ Iori Nakaoka*¹, Yousin Park*², YunJu Chen*³, Hirochika Akaoka*⁴, Seigo Matsuno*¹ and Yoshiki Mikami*⁵ 宇部工業高等専門学校*¹ 県立広島大学*² 滋賀大学*³ 徳山大学*⁴ 長岡技術科学大学*⁵ National Institute of Technology, Ube College*¹ Prefectural University of Hiroshima*² Shiga University*³ Tokuyama University*⁴ Nagaoka University of Technology*⁵

Abstract: The arrangement of R&D staff refers to the issue of the linkage between structural holes in a network. In order to examine the linkages between multiple R&D projects in a company, we use the patent information as the index of R&D capability and examine our propositions by social network analysis. In this paper we focus on top-shared companies in Japanese cosmetic industry, and suppose that these companies keep their market shares due to their smoothly changes of business fields to cope with the threat of new comers from other industries. The analysis in this paper include: 1) calculate the constraint, and create heat maps to visualize the change of the constraint, 2) examine the changes of research area that structural hole personnel are concerned with.

1. はじめに

新製品の開発は、競争優位性を獲得するために必 要であるが、その新製品開発および開発プロセスは、 技術開発を行う組織の管理に大きく影響を受ける. 各企業は、複数の R&D プロジェクトを持っている ので、R&D プロジェクト間の連携は技術開発を行 う企業において重要な課題となっている. このよう な組織における連携に着目した研究として, Granovetter による弱い紐帯の強みと、Burt によるス トラクチャーホールがある. Burt によるとストラク チャーホールにある人員は、広い範囲から情報が取 得できることや、異なる領域の間で情報を制御でき ること, 昇進や賃金の面で優位性を持つと指摘され ている[1]. このストラクチャーホールに関する研究 は上記のように人的資源管理の観点からの研究は多 く行われているが、企業における技術開発組織に関 する研究はまだ少ない.

日本の化粧品産業は大手5社で全体の約8割のシェアを占めているという寡占市場であるが,近年新規参入が相次いでいる.また多くの新規参入企業が存在するにもかかわらず既存企業のシェアが落ちているというわけではない.既存企業は対策として,技術開発に携わる人員を効率的に転換させているのではないかという仮説が考えられる.そこで本研究では化粧品業界の上位企業である資生堂,花王,ポーラ・オルビスホールディングス,コーセーの4社に着目し,技術開発能力を表すと考えられる特許情報を用いて,各社の技術開発に携わる人員について検討する.

2. 化粧品業界

市場そのものの拡大を追い風に、一定の成長を維持してきた日本の化粧品メーカーだが、近年化粧品市場や 顧客は成熟化し、その伸びに陰りが見え始めた、化粧品市場の成熟化の要因として、1. バブル経

済崩壊によって購買力がおちこんだこと,2. 若い世代では厚化粧が嫌われだしたこと,3. 人口構造に変化が起きたことが指摘されている[2]. なお,化粧品業界の販売金額と販売個数の推移をみると,販売金額は2000年代初頭より横ばいが続いているが,販売個数は増加していることから単価が減少していることが分かる.市場や顧客の成熟化からコモディティ化が進んでいると考えられる.

化粧品業界が成熟化している一方,2000 年以降異業種からの新規参入が相次いでいる. 特に,2006 年は5 社,2008 年は3 社,2009 年は4 社 と2006年から2009 年を中心に多く参入してきている.

3. 特許情報

本研究では日本の化粧品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にて管理されており、誰もが検索・閲覧すること可能となっている.各特許は IPC、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、化粧料に関係するとされている F ターム (4C083) が付与された特許情報を利用する.

4. 技術開発戦略分析

4.1 技術開発ネットワーク

各社のネットワーク図として 2000 年の例を図 1 に示す. 図中の点は特許申請者を表しており、申請者が複数人存在する場合には線で繋がれている. 図 1 より、資生堂はプロジェクトごとのつながりが見られるが、その他の企業 (花王、ポーラ、コーセー)は分離して研究開発いることがわかる. 各社ともほぼ全ての年において同様の傾向が見受けられた.



(a) 資生堂 (b) 花王 (c) ポーラ (d) コーセー 図 1 2000 年の各社の技術開発ネットワーク

4.2 ストラクチャーホール人員の変化

技術開発を行う企業において、新製品の研究開発 プロジェクトをいかに管理すべるかは非常に重要な 課題の一つである. その際, 既存のコア能力(Core Capabilities) をベースに持続的に開発するか, ある いは、既存のコア能力を解体・破壊し、新たな能力 を開発するかという難問に直面することになる. こ れについて D. Leonard-Barton は、企業は研究開発プ ロジェクトにおいて既存のコア能力によるコア硬直 性(Core Rigidities)のパラドックス問題に直面する と指摘している[3]. 企業は従来までの競争優位をも たらしていた既存のコア能力に膠着してしまうこと で、既存のコア能力が新たな環境変化に対応する新 たなコア能力の構築を妨げる構造慣性と抵抗を起こ し、企業にコア硬直性をもたらす危険性がある. ま た, R. Katz らはプロジェクトメンバーのプロジェク トへの平均参加年数と開発成果には逆U字型の関係 があり、プロジェクトメンバーの同質性はチームワ 一クを強化させるが、行き過ぎると外部の変化に適 応できなくなると報告している[4]. そこで, ストラ クチャーホール度合いを表す拘束度用いて、技術開 発に携わる人員の組織構造変化を表現するため, i 年の拘束度上位 j%の人員が, i+1 年の上位 j%にど の程度存在したかという条件付き確率をヒートマッ プにて表す.なお、図2に資生堂の結果を、図3に 花王の結果を示す. 図中において色が薄いほど変化 が激しいことを意味する. 各社のヒートマップを見 ると、資生堂は毎年30%程度のコア人員(ストラク チャーホール人員) を翌年に持ち越すといった計画 的な人員構成を行っている. 対して, その他の企業 は新規参入など市場の変化に対応するためか、その

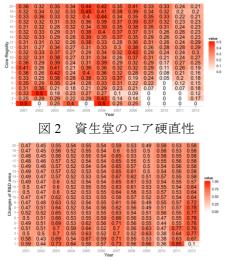


図4 資生堂の技術開発領域の変化

時にあわせた新規の人材をコアとして採用している 傾向が見受けられた.

4.3. ストラクチャーホール人員の技術開発領域

研究内容の変化を見るために、コア人員の扱う技術領域の変化について分析する. 拘束度の高い人材の扱う技術開発領域の変化を、図 4 および図 5 に示す. 拘束度の高い人材が扱った特許に付与された F ターム情報より、技術開発領域の新規開拓率を算出した. 色が濃いほど新しい領域を扱っていることを表している. 資生堂は全体的にほとんど色に変化がなく、毎年半分程度は新しい技術を扱っていることが分かる. 対してその他の企業は色が薄い年や濃い年が存在しており、新しい技術に取り組んでいる年が周期的にあることが分かった.

5. おわりに

本研究では各社の技術開発に携わる人員について分析した. 4 つの企業を分析したところ, 4 社とも新規参入が多い状況の中で研究開発に取り組み, 技術を転換する傾向があると見られる. そのうち, 資生堂はリーダー企業, 花王などはフォロワー企業なので, 結果の差は市場におけるポジションとのような関連性があるのか, 次の課題にしたい.

参考文献

- [1] Ronald S. Burt, Structural Holes: The Social Structure of Competition, Harvard University Press, 1992
- [2] 村山和恵,成長市場における企業の経営戦略 -化粧品業界を事例 とした考察-,新潟青陵大学国際コミュニケーションセンター,2004
- [3] D. Leonard-Barton "Core Capabilities and Core rigidities: A Paradox in Managing New Product Development" Strategic Management Journal, Vol. 13, pp. 111-125, 1992
- [4] Katz, R., & Allen, T. J., Investigating the Not Invented Here (NIH) Syndrome: A Look at the Performance, Tenure, and Communication Patterns of 50 R & D Project Groups. R&D Management, vol. 12: 7-19, 1982

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)

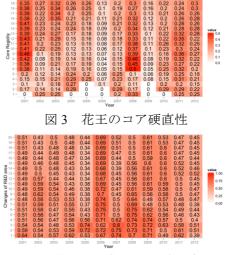


図 5 花王の技術開発領域の変化

ファジィ情報理論に向けて:情報源符号化とエントロピーについて

Towords Fuzzy Information Theory: On Entropy of Fuzzy Information

荒木智行 大橋由侑 鈴木 貴 前田俊二

Tomoyuki Araki Yu Ohashi Takashi Suzuki Shunji Maeda

広島工業大学大学院 工学系研究科 電気電子工学専攻

Graduate School of Science and Technology,

Hiroshima Institute of Technology

Abstract: Studies on fuzzy information theory, especially, fuzzy entropy have been done by many researchers. This study presents a new concept of fuzzy entropy based on fuzzy logical sentences and incompletely specified fuzzy switching functions.

1 まえがき

文献 [7,8] での議論から出発した著者らの前回の報告 [1] では,ファジィ論理文により人間が「あいまいさ」をともなった状況で意思疎通を行うことを前提に,ファジィ論理文で表現される不完全指定されたファジィ論理関数の性質について調べた.そして不完全指定されたファジィ論理関数の簡単化を通して,ファジィ情報の情報源符号化について議論した.このとき f_{CD} を不完全指定ファジィ論理関数の主加法標準系, f_{CC} を主情報標準系とすると,ファジィ論理文 f は $f\in[f_{CD},f_{CC}]$ となり,確定できないあいまいさを情報として含んでいる.さらに情報源符号化を行ったとき $f\in[f_{M0},f_{M1}]$ となり f の値を一意に決められないあいまいさを含んでいる(ただし,f の最簡形式を f_{M0} ,最簡乗法形式を f_{M1} とする).

本報告では,不完全指定されたファジィ論理関数の 観点からファジィ情報量,ファジィエントロピーを考察 し(n 変数)不完全指定ファジィ論理関数が,定義域の ある点について,どれくらいの不確定さ(ambiguity) を持っているかが ambiguity に関する情報量であり,定 義域全般での平均値が ambiguity のエントロピーであ ることを示す.

2 ファジィ集合再考

向殿 [3] はファジィ集合の持つ特徴として以下の二つの点に着目した.

- (i) ファジィ集合を表現する記号はラベルである.
- (ii) ラベルで表現されたファジィ集合の意味はメンバー シップ関数によって与えられる.

「ラベル」とは、ファジィ集合の名前である.例えば「若い(YOUNG)」、中年(MIDDLE)」、「高齢(OLD)」などがある.二人の人間(送信者 Alice、受信者 BoB)が「あの人は高齢である」と会話したとき、「高齢(OLD)」というラベル情報が交わされたことになる.そのとき、Alice と Bob は「高齢(OLD)」とはどんな意味かということを伝えていない.すなわち「高齢(OLD)」というラベルだけを送受信し、「高齢(OLD)」の意味すること(メンバーシップ値)を通信していない.各々が持っている「高齢(OLD)」という「ラベル」から Alice と Bob は独立に「意味」を想定して情報交換を行っている.メンバーシップ値は交換してないが、それは常識の範囲としてコミュニケーションが成立している.

本報告では、ラベル情報の通信によりファジィ情報 は通信されることを前提に、ファジィ集合のラベルと 結合子(NOT, AND, OR)で記述可能なファジィ論理 文を用いてコミュニケーションを行うことを考察する.

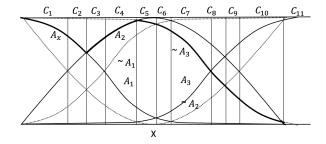


図 1: ファジィ集合 A_1,A_2,A_3 から生成されたファジィ論理文 A_X とメンバーシップ値.ここでは C_1,\cdots,C_{11} のセルしか現れていない.しかし n 個のファジィ集合がある場合,最大 $2^n n!$ 個のセルが存在する.その意味でファジィ論理文は不完全指定されたファジィ情報である.

定義 1 (ファジィ論理文) A_1, A_2, \cdots, A_n を全体集合X上のファジィ集合の名前(ラベル)とする.このとき,

- (i) A_1, A_2, \dots, A_n はファジィ論理文である.
- (ii) F ,G がファジィ論理文であれば $\sim F$, $F \wedge G$, $F \vee G$ はファジィ論理文である .
- (iii) ファジィ論理文は以上で定まるもののみである.

図 1 の太線は , セル $C_1 \sim C_{11}$ でファジィ集合 A_1,A_2,A_3 の肯定または否定に重なるファジィ論理文のメンバーシップ値を表現している.ただし $\sim \mu_{A_i}(x)=1-\mu_{A_i}(x)$, $\mu_{A_i}(x)\cdot\mu_{A_j}(x)=\min(\mu_{A_i}(x),\mu_{A_j}(x))$, $\mu_{A_i}(x)\vee\mu_{A_j}(x)=\max(\mu_{A_i}(x),\mu_{A_j}(x))$ と定義する.

ここで得られたファジィ論理文は,不完全指定されたファジィ論理関数 [2] で表現可能である(詳細略). このことを前提にして,ファジィ符号を不完全指定されたファジィ論理関数として論じてゆく.

3 情報量再考

図 2 は , B-3 値論理やファジィ論理を考察する際に重要となる半順序関係 (\preceq) である 1/2 は不明な状態に対応し , 0 および 1 の上界になる . Shannon [7,9] の情報量 (\boxtimes 2(a)) はシンボルの生起確率に基礎に置き定義されている 1/2 は 0 または 1 が生じているか否か不明

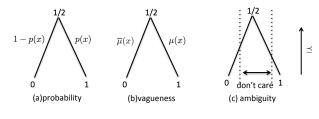


図 2: あいまいさの半順序関係と情報量

の状態を示している.不明な状態からシンボル1 に遷移する確率はp(x)であり,0へは1-p(x)で遷移するものとする.このとき 1 になり得る情報量は $p(x)\log_2 p(x)$ であり,0 に対しては $(1-p(x)\log_2 (1-p(x))$ である.当然ながらp(x)+(1-p(x))=1 となり確率としての加法性が成立している.

これまで素朴なファジィ集合として与えられた情報の情報量に関して研究がなされてきている [4,5,6]. 図 2(b) において $\overline{\mu}(x)$ は $\mu(x)$ で特徴付けられたファジィ集合の補集合のメンバーシップ関数である.このとき Shannon の情報量とは異なり,一般的には $\mu(x)+\overline{\mu}(x)$ は必ずしも 1 ではない.このときメンバーシップ値が 1 になる情報量は $\mu(x)\log_2\mu(x)$ であり,0 になる情報量は $\overline{\mu}(x)\log_2\overline{\mu}(x)$ である.

図 2(b) におけるファジィ集合では,ファジィ集合の台集合は,基本的にメンバーシップ値が不完全に指定されたケースを含んでいない.本報告では,台集合の要素が不完全に指定された(さらに詳しく言うと,ファジィ集合の基本的な性質を崩すこと無くメンバーシップ値が dont't care になる)ケースを考察する.このようなケースは図 2(c) で示されるような場合である.このとき半順序集合 $<[0,1], \preceq>$ は,演算(\sim,\cdot,\lor),定数 (0,1) と共にクリーネ代数を成しているが,ファジィ集合のメンバーシップ関数は不完全指定されたファジィ集合のメンバーシップ関数は不完全指定されたファジィ論理関数となっている [1] .ここでのあいまいさは vagueness ではなくファジィ集合上の ambiguity となる.ファジィ集合(注:ファジィ集合は vagueness を持った集合)上での ambiguity が持つ情報量を以降,定義・考察してゆく.

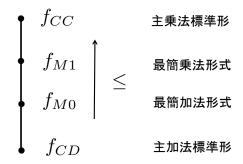


図 3: T-equivalent な関数の代数的構造

4 代数的構造と ambiguity

4.1 T-Equivalent なファジィ論理関数の代数的構造 文献 [2,1] に示されているように,ある不完全指定ファジィ論理関数 f と T-equivalent [2] な不完全指定ファジィ論理関数には図3のような構造があることが知られている.ここで \le は通常の大小関係である. f_{CD} は最小元であり, f_{CC} は最大元である.最簡加法(乗法)形式はリテラル数最少の加法(乗法)形式である.

4.2 T-Equivalent なファジィ論理関数の dont'care の大きさ

図 3 から明らかなように不完全指定ファジィ論理関数 f の持つ最大の $\mathrm{dont'care}$ 区間は $[f_{CD},f_{CC}]$ となる.また最小の $\mathrm{don't}$ care 区間は $[f_{M0},f_{M1}]$ となる.

4.3 点 *x* における情報量

定義 2 全体集合を X として $x \in X$ における ambiguity を以下のように定義する .

$$a(x) = \frac{f_{M1} - f_{M0}}{f_{CC} - f_{CD}} \tag{1}$$

尚,右辺の関数,例えば f_{CD} は本来 $f_{CD}(x)$ と書くべきであるが,誤解の生じない限り (x) は省略することとする.

式 (1) で定義した ambiguity は,ファジィ測度の公理を満たしている(詳細略).したがって a(x) は測度として見なすこともできる.

ここから ambiguity の情報量を以下のように定義できる.

定義 3 定義 2の ambiguity の情報量を以下で定義する.

$$I(x) = -\log_2 a(x) = -\log_2 \frac{f_{M1} - f_{M0}}{f_{CC} - f_{CD}}$$
 (2)

5 ファジィ情報のエントロピー

5.1 連続値のエントロピー

文献 [9] (4章 連続情報と信号空間)において,離散的ではなく連続的な情報のエントロピーについて考察されている.通常の (Shannon 流の) エントロピーの定義は離散的な n 個の情報量の期待値を求めるものであり,以下のような H(X) として定義されている.

$$H(X) = -\sum_{i=1}^{n} p_i \log_2 p_i \text{ trib } \sum_{i=1}^{n} p_i = 1$$
 (3)

これは n 個の離散的な信号空間におけるエントロピーを定義しているが,文献 [9] では,これを連続情報(実数濃度の情報)に拡張している.

定義 4~X を実数濃度の定義域して $x(\in X)$ が生起する確率を p(x) とする.このときエントロピーは以下のように定義できる.

$$H(X) = -\int_X p(x)\log_2 p(x)dx$$
 ただし $\int_X p(x)dx = 1$

ただし,このエントロピーの定義は順序尺度的なエントロピーであり,利用するときには注意を要する(詳細略).

5.2 ファジィ情報のエントロピー

式 (4) の考え方に従ってファジィ情報のエントロピーを定義する.

定義 5 定義域を実閉区間 X=[s,t] とし, $\ell=t-s$ と置く.このときファジィ情報のエントロピーは以下の式で定義される.

$$H_{FI}(X) = -\frac{1}{\ell} \int_{s}^{t} a(x) \log_2 a(x) dx \tag{5}$$

尚,係数 $\frac{1}{\ell}$ は,エントロピーを規格化して比例尺度とするためのものである.また a(x) は定義 2 で定義された ambiguity である.

定義 5 は , 点 x における ambiguity の情報量を定義域全体 (X) ついて積分したものであり , don't care を持つファジィ情報の情報量として妥当なものであると考える . また定義 4 では「相対的」というあいまいさが含まれていたが , 定義 5 では , 係数 $\frac{1}{\ell}$ を使用して比例尺度的なエントロピーとなるよう定義した .

6 タイプ2ファジィ集合との関連

定義 5 において,定義域を規格化することにより,図 1 はタイプ 2 のファジイ集合と見なすことも可能となり,またそのエントロピーも考察可能となった.タイプ 2 ファジィ集合においては,

条件1 正規性(normal)

条件 2 凸性 (convex)

を仮定すると代数的な構造も自然に導けたが,条件1または条件2のいずれかを外すと,その代数的構造は複雑になる.これまで様々な試み[10,11]もされているが未解決の問題を多く残している.文献[10,11]およびその参考文献にある研究は,条件1または条件2の少なうとも一方を外したときに,完全指定されたタイプ2ファジィ集合の中でどのような構造が現れるかを考察している.しかしながら本報告のように,定義域の条件をさらに緩めて,不完全指定された大きな定義域を考えれば,よりシンプルな代数構造が現れる可能性がある.この問題は今後の課題として残される.

7 むすび

本報告では,ファジィ情報としてファジィ論理文を 仮定したときの情報量,エントロピーの明確な定義を 行った.その結果からタイプ2ファジィ集合への本研 究の適用の可能性について検討を行った.

参考文献

[1] 荒木,大橋,鈴木,前田,ファジィ情報と情報源符号化について,多値論理研究ノート,第38巻,第2号,pp.2_1-2_10,2015.

- [2] 荒木,向殿,不完全指定ファジー論理関数の簡単化,電子情報通信学会論文誌,D-I,Vol.J82-D-I, No.6,pp.669-678,1999.
- [3] Mukaidono, M., Representation of Fuzzy Data with Fuzzy Logic Expression, In M. M. Gupta, A.Kandel, W. Bandler and J. B. Kiszka (Eds.), Approximate Reasoning In Expert Systems, Elsevior Science Publishers B.V. (North-Holland), 1985.
- [4] Kosko, B., Fuzzy Entropy and Conditioning, Information Sciences 40, pp.165-174,1986.
- [5] Rudas, I.J. and Kaynak, M. K, Entropy-Based Operation on Fuzzy Sets, IEEE Trans. on Fuzzy Systems, Vol.6, No.1, 1998.
- [6] Al-sharhan, S., Karray, F., Gueaieb, W. and Basir, O., Fuzzy Entropy: a Brief Survey, 2001 IEEE International Fuzzy Systems Conference, pp.1135-1139, 2001.
- [7] Rudolf Seising, 60 years "A Mathematical Theory of Communication" - Towards a "Fuzzy Information Theory", Proc. IFSA-EUSFLAT 2009, pp.1332-1337, 2009.
- [8] Mendel, J. et al, What Computing with Words Means to Me, IEEE Computational Intelligence Magazine, pp.20-26, Feb. 2010.
- [9] 甘利,情報理論,ちくま学芸文庫,2011.
- [10] 高木,非凸なファジィ真理値とその諸性質,日本 知能情報ファジィ学会,ファジィシステムシンポ ジウム講演論文集,pp.477-480,2007.
- [11] 菊池,多重区間真理値を取る関数の性質について, 日本知能情報ファジィ学会,ファジィシステムシンポジウム講演論文集,pp.487-492,2007.

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

荒木智行

E-mail: araki@ieee.org Tel:082-921-4303

1

介護時口腔ケアにおけるムース状洗滌剤の効果

Effect of mousse-like cleaning agent in the oral care for the cared person

関順一郎 Junichiro Seki 山形大学 秋山 孝夫 Takao Akiyama 山形大学 富塚 謙一 Kenichi Tomitsuka 山形大学 Yamagata University

Yamagata University

iversity Yamagata University

Abstract: In Japan in recent years, by the progress of the aging population society, the development of long-term care environment as needed and maintenance of health are increasingly required. By the maintenance of health, national medical expenses are suppressed, and the welfare is improved. Improvement and maintenance of oral function by dental checkup is necessary for the maintenance of health. In this study, as part of oral care, and to examine the effect of oral cleaning mousse was fabricated in order to efficiently and safely remove dirt in the mouth.

Key words: maintenance of health, oral care, mousse-like cleaning agent

1.緒言

近年の本邦では、人口減少と少子高齢化により、健康の維持と必要に応じた介護環境の整備が求められるようになってきている。健康の維持は、国民医療費の抑制のみならず、成人病の減少により福祉の向上にも寄与する。

一般に健康の維持には、特に成人病を対象とした検診の 普及と受診率の向上ならびに予防法の徹底、減塩食の普及 などによる血圧管理や糖尿病予防のための栄養状態の改 善、歯科検診による口腔機能の維持や改善などが必要とさ れている.

歯科検診で口腔内の疾患を加療することは,良好な栄養 状態の維持に寄与する.また日常的に口腔内を良好な状態 に保つことは,各種歯科疾患の予防のみならず,嚥下性肺 炎発生率の低下などで,全身疾患の改善にも役立つとされ ている.さらに,がん治療や糖尿病の治療に際しては,口 腔ケアの重要性が認識されている.

本研究では、口腔ケアの一環として、口内の汚れを効率的かつ安全に除去するために試作した口腔洗滌ムースの効果を調べるため、口内の汚れモデルを作製して実験を行い、検討した.

2.実験機材および方法

2.1 実験機材

効果を評価するものとして,洗浄剤はマウスウォッシュクリア (株式会社ピノーレ),水溶性アズレンうがい薬 (株式会社践田飴),イソジンうがい薬 (株式会社明治・ファルマ株式会社),新たに試作した洗滌液等をムース状にしたもの,比較対象として義歯洗滌剤の酵素入りポリデント(アース製薬株式会社,グラクソ・スミスクライン株式会社).犬・猫用歯みがきジェル(株式会社ペッツルート),お口を洗うジェル(日本歯科薬品株式会社),デンタークリア MAX(ライオン株式会社),バイオティーントゥースペースト(ティーアンドケー株式会社),SHオーラルクリーンジェル(日本ゼトック株式会社),ガム・デンタルリンス爽快タイプ(サンスター株式会社),デント・システマデンタルリンス Na(ライオン株式会社)を用いた.

また新たに試作した洗滌液を作るために使用した薬品とは、ラウリル硫酸ナトリウム、グリセリン、ソルビトール、パルミチン酸、ミリスチン酸、ラウリン酸、ツィーン20を用いた.

汚れモデルとして、マーガリン・ネオソフトハーフ(雪印メグミルク株式会社)とフラワー薄力粉(株式会社日進)と水道水を混ぜたもの(重量比2:4:6)を用いた.

機器として,ハンディ型分光色差計 NF777 (日本電色工業株式会社.以下色差計とする),送風定温恒温機

DKN402 (ヤマト科学株式会社. 以下恒温機とする),電子上皿天秤 SW3200D (株式会社島津製作所),電子上皿天秤 PB303·S (メトラー・トレド株式会社),

撹拌機 RECIPROSHAKER TS-12 (Thomas Scientific Company. 以下攪拌機とする)を用いた.

2.2 実験方法

はじめに汚れモデルをスライドグラスの上にのせ,均一に伸ばす.マーガリン,小麦粉,水を混ぜたもの(重量比2:4:6)を汚れモデルとする.汚れモデルの1試料あたりの量は0.2gとし,また,汚れモデルは最初から色が白に近いという点から,プロスペック歯垢染色液(ジーシー)を1試料あたり2滴(0.08ml)均一に塗った.

次に各試料を恒温機の中に入れ、1時間乾燥させる.中の温度は体温に近い36度に設定した.

実験 1

乾燥後,各試料を取り出し,色差計を用いて測色を行う. 塩ビ板の上にナフロンシートを重ね,その上にラップを敷き,汚れのついている面を下にして試料を上に置く.その上から色差計をあてて測色を行う.

測色後,各洗滌液の中に一定時間(0.25 時間,0.5 時間,1 時間,2 時間,3 時間,6 時間,24 時間)浸漬させる.このとき,密封容器の中にいれた状態で,中の温度を36度に設定した恒温機の中にいれた.

洗滌液の作り方は各洗滌液の本来の使用方法にのっと ったものとした.

一定時間浸漬後試料を取り出し,各洗滌液そのものの色をおとすため,流水下(水道水)に10秒さらす.

そして, 乾燥後に測色した時と同じ方法で色差計を用いて測色を行う.

実験 2

乾燥後,各試料を取り出し,色差計を用いて実験1と同様の方法で測色を行う.

シャーレの中央に両面テープで汚れモデルを固定する. その上に作製したムース 0.2g, ジェル 0.3g をのせる. 重しとして 500 円玉 (7.0g) 2 枚を両面テープで上に張り付けたスポンジを 36 度のお湯に 5 秒浸し, 水を切った後, ジェル, またはムースの上にのせ, シャーレのふたをして, 撹拌機で 5 分撹拌する (0.27m/s). その後試料を取り出し, 流水下 (水道水) に 10 秒さらす.

そして, 乾燥後に測色した時と同じ方法で色差計を用いて測色を行う.

3.実験結果

本実験で用いた表色系は、 $L^*a^*b^*$ 表色系である。 L^* は明度を表し、その値が大きいほど白に近づく。本実験の標準色は白(L^* =83.46)なので、この L^* で汚れの量の変化を比べる。

汚れモデルで重量を 0.15g, 0.4g, 0.7g と変化させて実験を行った結果を Fig.1 に示す. 塗布面積を同じにしたので,厚さが変化することになる. また,汚れモデル 0.2g で行った実験 1 の結果を Fig.2 に示す.

マウスウォッシュに対しては浸漬させてから 15 分後の データを 5 回実験した. 実験 2 で洗滌効果の高かった 2 つのムースの,実験後の明度の比較を Fig.3 に示す. P ムースは,ボウルの中に水道水 101.255g,ラウリル硫酸ナトリウム 10g,グリセリン 5g,ソルビトール 5g,飽和脂肪酸(ミリスチン酸,ラウリン酸,パルミチン酸)それぞれ 1g,水酸化カリウム 0.745g (mol 計算より),ツィーン 20 を 5g 入れ,湯煎で温めて混ぜ合わせ,泡ポンプに入れたものである.ツィーン 20 を 10g にするとムース化しなかった.

デンタームースの作製法は以下の通りである. 試料 (デンター,トゥースペースト) 70g をボウルに入れ,水 20cc を加えて泡立てる. ゼラチン 5.0g を水 40cc に 15 分浸し ゲル化したものを,電子レンジ 600W で 20 秒加熱してゾル化させる. 先ほどの試料を入れたボウルにゾル化させた ゼラチン水を入れる. そしてそのボウルをそれより少し大きめのボウル (氷水をいれた) に入れ,その状態で試料とゼラチン水をかき混ぜ,器に移す. これを冷蔵庫で 15 分冷やす.

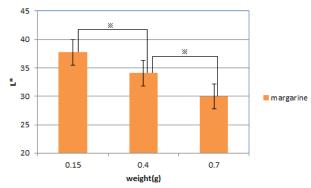


Fig.1 Changes in the brightness of the dirt for the several weights of the dirt (margarine)

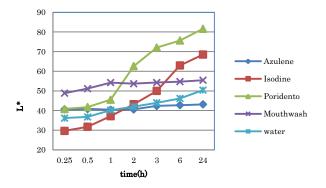


Fig.2 Time variation of brightness for the several cleaning agents (margarine)

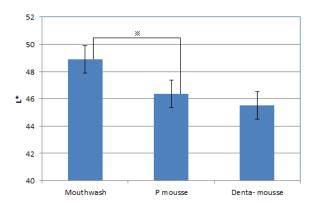


Fig.3 Comparison of brightness among cleaning agents.

4.考察

Fig.1 から、汚れの量が少なくなると L^* の値が大きくなることがわかる。

Fig.2 より, 2時間以上になると酵素入りポリデントを使用すると汚れが早く落ちることがわかるが,比較対象の義歯洗浄剤でありうがい薬に用いることはできない.また,イソジンうがい薬が汚れモデルを染めてしまい,L*が低い値となってしまったので,測色による評価には適さない.

うがい薬は短時間で効果が出た方が良いので、同図より、 15分後の値を見てみると、マウスウォッシュクリアが一 番大きく、早い段階で効果が出ていることがわかった.こ のことから比較のため Fig.3 のデータをとった.

Fig.3 より、有意差こそあるものの、洗滌液に近い洗滌効果が、誤飲などの危険性が減るムースにおいても認められた。Pムースにおいて、陰イオン性界面活性剤のラウリル硫酸ナトリウムと非イオン性界面活性剤ツィーン 20 などが有効であったと考えられる。粘性の高いツィーン 20 を 10 g に割合を増やしたところ、ムース化しなかったことから、粘性が大きくなるとムース化しないことがわかった。デンタームースは Pムースと有意差がなかったが、研磨剤が入っている点と価格が高くなってしまう点などから、Pムースがより良いといえる。

5.結言

- ・汚れの量が少なくなるとL*(明度)の値が大きくなることがわかった。
- ・マウスウォッシュクリアが短時間で効果が出ることがわかった。
- ・イソジンうがい薬が汚れモデルを染めてしまうので、測 色による評価には適さない
- ・ムースでも、マウスウォッシュクリア (洗浄液) に近い 洗滌効果があることがわかった.

参考文献

- (1) 実践編.むし歯・歯周病は感染症(眞木吉信著、少年 写真新聞社 2003 年 p11-p15, p19-p23)
- (2) う蝕細菌の分子生物学 (武笠英彦著、クインテッセンス出版株式会社 1997年 p5-p19)
- (3) 二酸化チタン光触媒を混入したシリコーンの耐候性 評価(修士学位論文,渡部惇史著 p7)
- (4) 界面と界面活性剤―基礎から応用までー(2009 年 日本油化学会 p259-p260)
- (5) 分光色差計 NF777 製品説明書(日本電色株式会社)

カルマンフィルタを用いたむだ時間系の制御

Control of the dead time system using a Kalman filter

有泉 隼天人 Havato Ariizumi 山形大学

秋山孝夫 Takao Akiyama 山形大学

Yamagata University

Yamagata University

Abstract: Dead time exists in a variety of systems, such as process system or mechanical system. And dead time give a bad influence on the stability and follow-up.

There are varieties of things to dead time of solution. In this paper, it is subject to the control of dead time system using the Smith method. This study assumes a system that includes the input disturbance and the observed noise. Smith method is poor response to disturbance. It eliminates the influence of the input disturbance if using a stabilizing compensator. However, it may remain the effects of environmental noise.

Kalman filter estimates the state from the noisy data. For that reason, we use a Kalman filter and Stabilizing compensator to remove the two kinds of noise. It is necessary to consider not inhibiting the signal from input to output. This study proposes an appropriate location for installing the Kalman filter.

Keywords: Kalman filter, Dead time, Smith method, Partial model matching, Stabilizing compensator

1. 緒言

むだ時間はメカニカル系や化学プラントなど、制御を伴う多く の場で発生する.そのむだ時間対策の一つとしてスミス法がある. スミス法は出力予測モデルを利用する方法で.事前に予測した値 から入力を決定することでむだ時間の無い場合と同様の手法で 制御を行うことができる.

しかしむだ時間以外に外乱や雑音がある場合、スミス法はそれ に対する応答が悪く、制御対象によっては長時間出力に影響が残 ってしまう場合もある.そのため,本研究ではカルマンフィルタ と外乱補償器を用い,入力外乱及び観測雑音を含むシステムに対 する応答が良好な制御系の設計を行うことを目的とする.

2. 問題設定

入力外乱及び出力外乱を含むスミス法を用いたむだ時間シス テムを Fig.1 に示す.

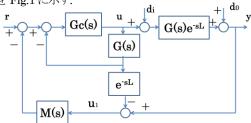


Fig.1 Block diagram without Kalman filter

ここで、G(s)はむだ時間要素を除いた安定な制御対象,L をむだ時 間,diを入力外乱,doを観測雑音,rを入力,yを出力,u,u1をその地点 での信号とする.d.doは正規性白色雑音とする.

このブロック線図において Gc(s),M(s)の設計及びカルマンフ ィルタの設置を行い、システムを安定化させる.

3.制御系の設計

まず,d=0,do=0として入力rから出力yへの伝達関数について 考える.

このとき, u1は(1)式のように表される.

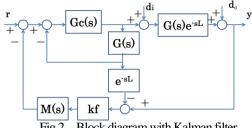
$$u_1 = y - uG(s)e^{-sL}$$
 (1)

これに対し,入力rから見たyは(2)式のように表される.

$$y = uG(s)e^{-sL} (2)$$

このyをu1に代入するとu1=0となる.よってu1での信号は入 力から出力までの信号に影響を与えない.

これを考慮し、Fig.1に対してFig.2のようなブロック線図のシ ステムを設計する.



Block diagram with Kalman filter

ここで、Gc(s)を制御器,kf をカルマンフィルタ,M(s)を外乱補償器 とする.

kfにはFig.3を使用する.

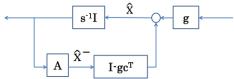


Fig.3 Block diagram of Kalman filter

ここで,g をカルマンゲイン, \hat{x} を状態推定値, \hat{x} を事前状態推定値とする.

4. 数值例

入力外乱di及び出力外乱doを含むシステムに対して制御を行う.数値例を以下に示す.

$$G(s) = \frac{1}{(s+1)(s+9)}$$
 L=0.5

di,doの分散はそれぞれ5,0.1とする.

制御器はPID制御で設計し、パラメータは部分的モデルマッチング法で設定した.制御器 Gosを(3)式のように設計する.

$$G_c(s) = 13.63 * \left(1 + \frac{1}{1.211s} + 0.061s\right)$$
 (3)

外乱補償器 M(s)は,虚軸に近い極を相殺する設計とし,

$$M(s) = \frac{17.86}{s+6} - \frac{5.93}{s+3} \tag{4}$$

とする.

カルマンフィルタの事前状態推定値を $\hat{\mathbf{x}}^-(\mathbf{t})$,カルマンゲインを $\mathbf{g}(\mathbf{t})$,状態推定値を $\hat{\mathbf{x}}(\mathbf{t})$,として以下の式で計算する.

$$\hat{x}^-(t) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -36 \\ 1 & 0 & -49 \\ 0 & 1 & -14 \end{bmatrix} \hat{x}(t-dt)$$

 $\hat{\mathbf{x}}(t) = \hat{\mathbf{x}}^-(t) + \mathbf{g}(t)\{y(t) - [0 \ 0 \ 1]\hat{\mathbf{x}}^-(t)\}$ このとき, $\mathbf{d} t$ =0.1 として時間刻みを小さくし,疑似的に連続系として計算を行う.

d=0 として r にステップ入力を入れた際の出力 y を Fig.4 に、r=0 として d に白色雑音を入れた際の y の出力を Fig.5 に、d0、d0、d0 をカルマンフィルタで出力した後の信号を Fig.6 に示す. 時間軸は d0.1 刻みで d0~15 の範囲として出力した.

シミュレーションを 10 回サンプリングし、出力と真値の誤差の平均を e_1 ,カルマンフィルタを適用した値との誤差を e_2 とすると、 e_1 =0.2343、 e_2 =0.05223となり、約78%の誤差が削減された.

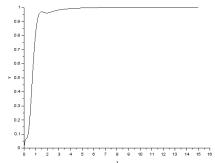


Fig.4 Step response of the system in the case of d=0

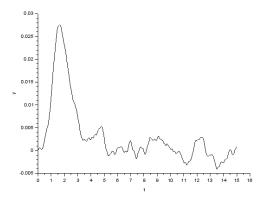


Fig.5 Noise output of the system in the case of d_i=0

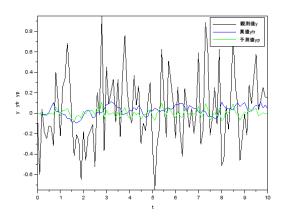


Fig.6 Comparison of the predicted value and the observed value for the true value

5. 結言

本研究では入力雑音及び観測雑音を含むむだ時間系に対して カルマンフィルタを用いて通常のスミス法より出力応答の良い 設計法を提示した。

シミュレーションを行った結果,Fig.4 を見るとモデルマッチングによるコントローラ設計ができていることが分かる.Fig.5 は diからの出力がほぼ 0 になっており,Fig.6 も推定値が真値に近づいている.また,ei,e2より約8割の誤差を減らしていることが分かり,十分な効果が出ている.よってシステムが安定し入力外乱及び観測雑音を低減でき,この設計法によるカルマンフィルタの設置が有用であることが示された.

参考文献

- (1)渡部慶二,むだ時間システムの制御,計測自動制御学 会,1993,pp12-14.
- (2)足立修一,丸田一郎,カルマンフィルタの基礎,東京電機大学 出版局,2012,pp111.

連絡先

山形大学

有泉 隼天人

(Tel.080-6025-5318, E-mail:tta64183@st.yamagata-u.ac.jp)

屋外における果実収穫適期判定を目的とした 画像補正手法に関する検討

Image Correction Method for Decision of Proper Time of Harvesting in Outdoor

草田 育美* Ikumi Kusada* *秋田県立大学

石井 雅樹*

山根治起**

Masaki Ishii* Haruki Yamane**

**秋田県産業技術センター

*Akita Prefectural University

**Akita Industrial Technology Center

Abstract: Recently, the technology to produce high commercial value crops without intuition and experience is required since decrease and aging of farmers has become problem in agriculture in japan. Therefore, the purpose of this study is development of the system to determine quality of fruits on the tree using digital camera. However, it was difficult to acquire exact color information of fruit because the lighting conditions were depend on the time and the weather in outdoor. In this paper, we discuss the image correction method to reduce the influence of the lighting conditions

1. はじめに

近年,国内農業では人口減少および少子高齢化が 課題となっており,工業技術を農業分野に展開する, いわゆる農工連携の動きが活発化している. 秋田県 内陸の横手平鹿地区ではりんごの栽培が盛んに行わ れている. しかし,秋田県においても農業就業人口 の減少,担い手の高齢化が進んでいることから,高 品質あるいは付加価値の高い農作物を経験や勘に頼 ることなく生産できる手法の確立が求められている.

高品質あるいは付加価値の高いりんごは、個々の成熟度を判定しながら収穫されており、収穫時の判定は果色用カラーチャートを用いた目視検査で行われている。しかし、これは感性情報を用いた官能検査であり、判定基準が定量的に定められていない。これまでに、りんごの階級分けを自動で行う検査機械は多数開発されている。しかし、これらの多くは、収穫後のりんごを対象としたものであり、検査対象には成熟したりんごと共に未熟のりんごも多数含まれているため、非効率的である。

本研究では、経験や勘に頼らない高品質あるいは 付加価値の高い農作物の生産支援を目指し、樹上に 着果した状態で農作物の品質判定を行う果実収穫適 期簡易判定システムの開発を目標としている.

先行研究では、収穫適期判定に用いる色彩情報として、HSV 色空間の H と L*a*b*色空間の a*の値に着目することが有効であることを明らかにした[1][2].しかし、屋外では時間や天候により照明条件が著しく変化するため、果実の正確な色彩情報を取得することができず、前述の判定手法を適用することが困難であった。そこで、本論文では、屋外における果実の収穫適期判定を目的とし、照明条件の影響を軽減するための画像補正手法について検討を行った。

2. 商品価値の高い農作物の収穫方法

商品価値の高い農作物の収穫方法として,カラーチャート(色指標)用いた収穫方法が挙げられる. 農作物のカラーチャートの使用例を図1に示す.



図1 カラーチャートの使用例

カラーチャートは、農作物、品種毎に定められており、作業者は農作物の表面色とカラーチャートの色を目視で比較し、収穫の可否を判定している. しかし、色の感じ方には個人差があることから、判断基準は統一されていないのが現状である. 特に高齢者の視覚特性としては、色が全体的に暗く見える、青色や緑色が顕著に暗く見えるといった特徴のあることが知られている.

したがって、本研究で目標とする果実収穫適期簡 易判定システムにより、収穫適期を定量的に判定す ることは、商品価値の高い農作物の栽培・管理に有 用と考える.

3. 提案手法

3.1 概要

提案する画像補正手法は、果実とともに撮影した補 正用カラーチャート(x-rite 社製,COLOR checker PASSPORT)の白、黒、グレーの画素値を用いた色調 補正および γ 補正から成る。補正は以下に示す色調 補正、 γ 補正,ハレーション除去の順で画素毎に行 う。

3.2 色調補正

色調補正は原画像を対象として行う.原画像の補 正用カラーチャートの白,黒の画素値を取得し,補 正後の画像のヒストグラムの最大値が取得した白の 値,最小値が黒の値になるよう,式(1)を用いて補正 を施す.

$$C = 255 \times \frac{P - black}{white - black} \tag{1}$$

上式において,Cは補正後の画素値を表し,Pは 原画像の画素値, white, black はそれぞれ取得した 白, 黒の画素値を表す. 上記の補正を施した結果を 図 2 に示す.

3.3 γ 補正

v 補正は色調補正を施した画像を対象として行う. 画像中のカラーチャートのグレー(反射率 18%)の画 素値を取得し、式(2)を用いて画素毎に補正を施す.

$$C = 255 \times \frac{P - black}{white - black} \tag{2}$$

式(2)において、Qは補正後の画素値、Cは色調補 正後の画像の画素値を表す. また, γ は以下の式(3) を満たすような値をとる. gray は取得した灰色の画 素値を表す.

$$(gray)^{\gamma} = 119 \tag{3}$$

上記の補正を施した結果を図3に示す.

3.4 ハレーション除去

ハレーションとは,画像中で強い光が当たった部 分の周囲が白くぼやけてしまう現象である. 画像に ハレーションが生じた場合,正確な色彩情報が取得 できないため、式(4)を用いて各画素の R.G.B の値の 標準偏差を計算し、 閾値以下をハレーションとして 除去する.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{3} \{ (R_n - RGB_{ave})^2 - (G_n - RGB_{ave})^2 - (B_n - RGB_{ave})^2 \}}$$
(4)

 R_n , G_n , B_n は各画素の R, G, B の値であり、 RGB_{ave} は 各画素の値の平均値を表す. 上記の補正を施した結 果を図4に示す.

4. 画像解析

4.1 解析に使用する画像

屋外で撮影した果実画像を対象とし、提案手法を 用いて果色用カラーチャートおよび果色の解析を行 った. 対象は秋田県果樹試験場で栽培中の 12 個の りんご(品種:やたか)であり、ふじの地色カラーチャ ートおよび補正用カラーチャートとともにデジタル



(a) 原画像

(b) 色調補正後の画像

図2 色調補正の結果





(a) 色調補正後の画像

(b) γ補正後の画像

図3 γ補正の結果





(a) γ補正後の画像

(b) ハレーション除去後

図4 ハレーション除去結果

カメラ(SONY 社製, NEX-3D)を用いて撮影した. 撮影はりんごが収穫されるまでの1ヶ月間、約1週 間間隔で5回実施した.また、撮影最終日には、収 穫した果実を果色用カラーチャートおよび補正用カ ラーチャートとともに屋内で撮影した. 撮影した原 画像および補正後の画像の一例を図5に示す.

4.2 果色用カラーチャートの解析

提案手法の有用性を確認するため、画像中の地色 カラーチャートを対象として, 補正手法の効果を検 証した. a*および H に着目した解析結果を図 6 およ び図7に示す.また、各チャート番号の値の標準偏 差を表1に示す.

本研究では撮影日の異なる画像を使用しているが, 補正後のカラーチャートの値は日付によらず一致し











1週目(9/5)

2週目(9/8)

3週目(9/16) (a) 原画像

4週目(9/22)

5週目(9/29)

収穫後(屋内)(9/29)













1週目(9/5)

2週目(9/8)

3週目(9/16)

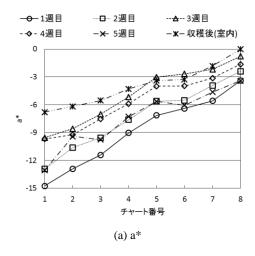
4週目(9/22)

5 週目(9/29)

収穫後(屋内)(9/29)

(b) 補正後

図 5 原画像および補正結果の一例 (サンプル No.1)



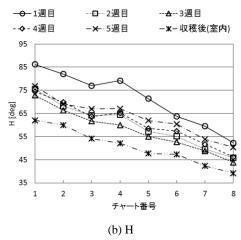


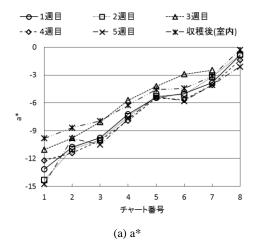
図 6 果色用カラーチャートの解析結果 (原画像)

ている状態が理想である。図 6 より,原画像における a^* ,H の値は撮影日の違いにより大きくばらついていることがわかる。一方,図 7 より,補正後のカラーチャートの値は,1 週目から収穫後(室内)においておおよそ一致していることがわかる。さらに,表 1 より,補正後のカラーチャートの標準偏差は原画像と比較して十分に低い値となっている。以上の結果は,提案手法が照明条件の変化による影響を軽減するための手法として有用であることを示唆している。

4.3 果色の解析

各画像のりんごの表面色および地色の解析を行い、提案手法の有用性を検証した. ハレーション除去処理の閾値は 35 に設定した. 図 8, 図 9 にサンプルNo.7 の表面色および地色の果色変化を,表 2 に各サンプルの果色変化における a*,H の近似曲線(二次関数)の決定係数を示す.

図 8, 図 9 において、表面色の a*の値は時間経過とともに増加し、H の値は減少する傾向が認められ、地色においても同様の傾向が認められた。また、原画像では a*,H の値にばらつきが認められるが、補正後の画像では生育状況に沿った値をとっていることがわかる。また、表 2 より、補正後の近似曲線(二



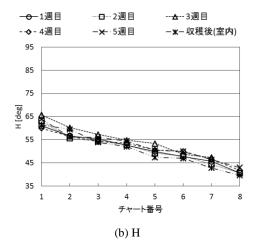


図7 果色用カラーチャートの解析結果 (補正後)

表1 果色用カラーチャートの標準偏差

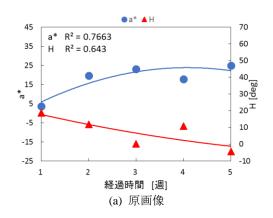
チャート	a	*	Н		
番号	原画像	補正後	原画像	補正後	
1	2.689	1.739	7.099	1.948	
2	2.029	0.909	6.554	1.729	
3	1.956	1.002	6.818	1.162	
4	1.595	0.795	8.095	1.006	
5	1.448	0.472	7.164	1.806	
6	1.418	0.961	5.304	1.120	
7	1.324	0.584	5.201	1.502	
8	1.267	0.616	4.262	1.168	

次関数)の決定係数は多くのサンプルにおいて表面 色,地色ともに原画像と比較して高いことが分かる. 以上の結果より,提案した画像補正手法は屋外での 果実収穫適期判定において有用であると考える.

5. 結 言

本研究では樹上に着果した状態で果実の収穫適期を定量的に判定する手法の開発を目標とし、屋外における照明変化の影響を軽減する画像補正手法について検討した.

果色用カラーチャートを解析した結果、補正後の



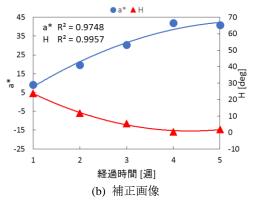


図8 果色(表面色)の解析結果 (サンプル No7)

カラーチャートにおける a^*,H の値の標準偏差は小さくなり、照明条件の変化による影響を軽減できることを示した。

果色の解析を行った結果,原画像の a*,H の値には撮影日の違いによりばらつきが認められたが,補正後の画像では生育状況に沿った値をとった. さらに,果色変化の近似曲線の決定係数は,表面色および地色において高い値となった.以上より,提案した画像補正手法は屋外での果実収穫適期判定において有用であると考える.

今後は補正後の画像を用いた果色評価を行い,収 穫適期の定量表現および適期判定に関する検討を実 施する予定である.

参考文献

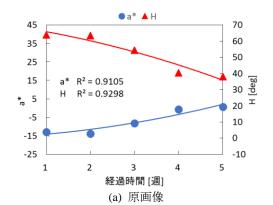
- [1] 土谷響造,石井雅樹:「色彩情報による果実収穫 適期判定手法に関する検討」,電子情報通信学 会総合大会,D-12-85,p160(2014)
- [2] 土谷響造,石井雅樹,山根治起:「色彩色差測定による果実の収穫適期判定手法に関する基礎検討」, 平成25年度日本知能情報ファジィ学会東北支部研究会,pp.52-55(2014)

連絡先

秋田県立大学システム科学技術学部 機械知能システム学科

石井雅樹

(Tel.: 0184-27-2220, E-mail: ishii@akita-pu.ac.jp)



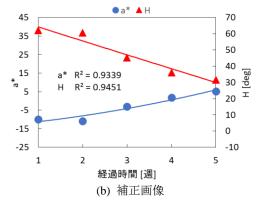


図9 果色(地色)の解析結果 (サンプル No.7)

表 2 果色変化の近似曲線(二次関数)の 決定係数

	1	# 7	r		1	Шh	Et.	
サンプル	a	表 *		I	a	<u>地</u> *		1
No.	原画像	補正後	原画像	補正後	原画像	補正後	原画像	補正後
1	0.591	0.975	0.653	0.952	0.878	0.914	0.874	0.946
2	0.740	0.790	0.789	0.976	0.901	0.889	0.920	0.955
3	0.700	0.950	0.804	0.972	0.786	0.995	0.955	0.988
4	0.869	0.996	0.849	0.925	0.971	0.986	0.959	0.968
5	0.888	0.824	0.838	0.961	0.906	0.953	0.960	0.981
6	0.744	0.890	0.795	0.991	0.875	0.976	0.906	0.980
7	0.766	0.975	0.643	0.996	0.930	0.934	0.911	0.945
8	0.818	0.997	0.518	0.825	0.839	0.926	0.919	0.921
9	0.879	0.779	0.870	0.845	0.983	0.962	0.975	0.985
10	0.425	0.556	0.619	0.968	0.883	0.966	0.865	0.968
11	0.770	0.947	0.769	0.985	0.984	0.918	0.929	0.991
12	0.686	0.982	0.674	0.967	0.916	0.915	0.934	0.951

距離画像センサの較正を目的とした 補正テーブルの作成に関する検討

Creation of a Correction Table for Calibration of an RGB-D Sensor

石井 雅樹 藤野 慎也 Shinya Fujino Masaki Ishii 秋田県立大学 Akita Prefectural University

Abstract: In a previous study, we discussed the calibration method of RGB-D sensor. However, there are two problems since the distortion of the far depth data is large. First, depth data is not accurately corrected. Secondly, the discontinuous point exists in the correction formula. In this paper, we have derived a correction formula from primary up until quintic function to solve the problem. We did a polynomial approximation using the least squares method in order to derive the correction formula. In addition, created the correction table by selecting an optimum correction formula for each pixel.

1. 緒 言

現在、ロボットの利用される環境は多様化してき ており、ロボット技術は豊かな社会を実現するため に大きく期待されている. 環境地図の生成は生活・ サービス分野で必要となるロボット技術の中で重要 視されている技術の一つである. 環境中をロボット が自律移動するためには、障害物の位置情報等の幾 何学的特徴により構成される環境地図が必要である. しかし、人間の生活空間のような多様な環境では事 前に環境地図を構築することは困難であるため、ロ ボットによる自律的な3次元環境地図構築手法が求 められている.

近年、安価で手軽に使用できる距離画像センサが 3 次元環境地図構築の分野で注目されている[1][2]. 距離画像センサとは、画像を撮影するカメラと、深 度計測を行うための赤外線カメラ, 赤外線プロジェ クタを搭載したセンサであり、代表的なものとして Kinect が挙げられる. 同センサは3次元形状情報と カラー画像情報を同時に取得可能であり,上述した ように安価であるといった利点が挙げられる. しか し、本来は高精度な測定を目的としたセンサではな いため、取得した距離情報に歪みが生じてしまうと いう欠点が存在する.

著者らは,屋内環境を移動するロボットを対象と し、自律的かつ高精度な3次元環境地図の構築を目 的とした基礎研究[3]および距離画像センサのキャ リブレーション手法[4][5]に関する検討を行ってき た. しかし、キャリブレーション手法では遠距離を 対象とした距離画像データの歪みが大きいため正確 な補正が行われない、補正式に不連続点が存在する という2つの課題を残した. そこで本論文では, 距 離画像センサのキャリブレーション手法に改良を加 え,補正後の環境地図の精度について比較と検討を 行う.

2. 提案手法

多項式近似によるキャリブレーション 本研究では、距離画像センサとして Xtion PRO

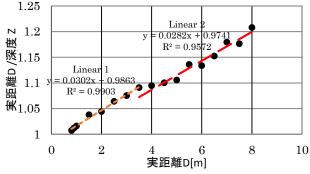


図 1 近距離, 遠距離用補正式

LIVE(ASUS 社製,以後 Xtion と表記する)を使用し た. 従来手法では、取得した距離画像の歪みを軽減 させることを目的とし、Xtion から得られた点群デ ータに対して, 画素毎に最小二乗法を用いて補正の ための線形関数を導出した. その結果, 近距離用お よび遠距離用の 2 種類の補正式(線形関数)を用いる ことにより、距離画像センサから得られる点群デー タの高精度な補正が可能であることを示した. しか し、遠距離のデータではばらつきを抑えることが難 しいこと、また、図1に示すように、2種類の補正 式の境界部分に不連続部が存在することが課題とし て明らかになった.

そこで本論文では、上述の問題を解決するため、 深度であるz座標の補正式を多項式近似により導出 し、比較検討を行った. 近似には最小二乗法を使用 し、比較には1~5次関数の5つの補正式を対象と して用いた.

具体的には, 実距離 D と深度 Z の比率D/Zを各距 離で算出し、最小二乗法を用いたn次関数による近 似を行い、各係数 a_n を算出することにより、式(1)お よび式(2)の補正式を導出した.

$$D/Z = a_n Z^n + a_{n-1} Z^{n-1} + \dots + a_1 Z + a_0 \tag{1}$$

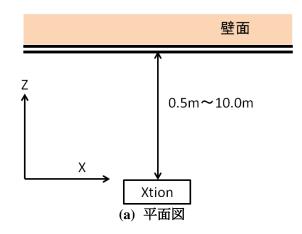
$$D/Z = a_n Z^n + a_{n-1} Z^{n-1} + \dots + a_1 Z + a_0$$

$$Z_t = (a_n Z^n + a_{n-1} Z^{n-1} + \dots + a_1 Z$$

$$+ a_n) \times Z$$
(2)



図2 データ取得環境



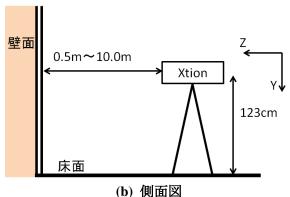


図3 データ取得環境の詳細

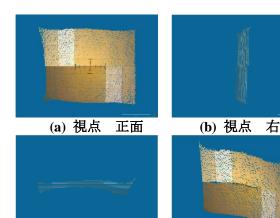
その後、Xtion からの画素毎のX軸方向、Y軸方向の角度 α 、 β を用いて補正後のX座標 X_t 、Y座標 Y_t を算出した(式(3)、式(4)).

$$X_t = Z_t \tan \alpha$$
 (3)
 $Y_t = Z_t \tan \beta$ (4)

2. 2 補正テーブル

距離画像センサの有する歪み特性は画素毎に異なり複雑である。そのため先行研究では、画素毎に線形関数を導出し補正を行った。しかし、画素によって歪みの傾向が異なることから画素毎に近似に使用する関数を設定する必要があると考える。

そこで本論文では,2.1 節で導出した5 つの補正式から各画素における最適な補正式を選択し,補正テーブルを作成した.具体的には,各画素における各補正式の決定係数を比較し,値が最も高い式をその画素の補正式として採用した.



(c) 視点 上 (d) 視点 斜め 図 4 平面距離画像(補正前)

3. キャリブレーションに関する実験

3. 1 距離画像の取得方法

本研究におけるキャリブレーション手法の補正式は Xtion を用いて取得した平面の距離画像データを用いて導出している. 距離画像データの取得は秋田県立大学 本荘キャンパス 体育施設棟で行った. 実験環境および環境の寸法を図 2 および図 3 に示す.

本研究では Xtion を壁面(平面)に正対させ、距離 を一定間隔ずつ離してデータを取得した. 具体的に は, Xtion を地面から 123[cm]の高さに設置し,壁 面までの実距離が 0.5[m]~1.0[m]の範囲では 0.1[m]間隔, $1.0[m] \sim 10.0[m]$ の範囲では 0.5[m]間隔 でデータを取得した. その際, 実距離 3.0[m]以上で 取得したデータには、点群データの下部に床面の写 り込みが認められた. そのため Xtion を上下反対に 設置して, 再度, 上記と同様にデータ取得を行い, 通常の状態で取得したデータの上部, 上下反対に設 置して取得したデータの下部を繋ぎ合せ、一様な平 面として用いることで補正式の導出に使用した. な お, 0.5[m]未満, および 10.0[m]より遠い範囲では, 十分な深度情報を得ることができなかったため,デ ータ取得は行わないものとした. 取得したデータの 一例として D=5.0[m]地点における距離画像を図 4に示す.

平面距離画像を解析したところ,実距離 $0.5 \sim 0.7 [m]$ の画像では中央付近にデータの欠落が見られ,8.5 [m]以上の画像では安定したデータの取得が困難であることが判明した.したがって本研究では実距離 $0.8 \sim 8.0 [m]$ の画像を使用した.

なお、本研究では、Xtion の位置を原点とし、水平方向を X 軸、垂直方向を Y 軸、奥行方向を Z 軸とし、点群データの各画素の座標は 3 次元座標系(X, Y, Z)と表記する. また、壁面までの実距離を D[m] とし、Xtion から得られた深度を Z[m]と区別して表記する.

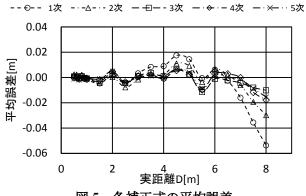


図 5 各補正式の平均誤差

表 1 各補正式の決定係数

	R ² >0.990	R ² >0.975	R ² >0.950	R ² >0.900
一次式	24121	179605	253359	269291
二次式	46403	193740	256994	269391
三次式	112209	238734	268819	269560
四次式	75930	221981	266133	269483
五次式	91818	231408	266970	269492

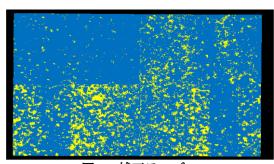


図 6 補正テーブル (一次:赤,二次:黄,三次:青)

表 2 補正テーブルにおける各補正式の占める割合

一次[%]	二次[%]	三次[%]
0.13	13.73	86.14

3. 2 多項式近似による補正結果

2.1 節で述べた手法により平面距離画像を用いて補正式を導出し、距離画像の補正を行った. 各補正式を用いた場合の平均誤差を図5に示す. 同図より、平均誤差は次数の増加に伴い減少していることがわかる. また、三次、四次、五次の平均誤差の違いは小さいことがわかる.

表1は各補正式の決定係数に着目した場合の該当する画素数を示している.決定係数の大きい画素の数は一次から三次までは次数が増える毎に増加しているが,四次,五次では三次と比較して減少している.このことから,計算コスト,平均誤差も考慮すると,補正式は三次式までで十分であると考える.よって,補正テーブルは一次式から三次式までの3つの補正式を用いて作成することとした.

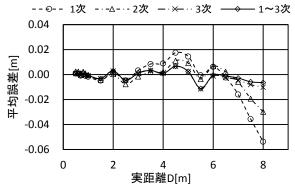


図7 各補正式および補正テーブルの平均誤差

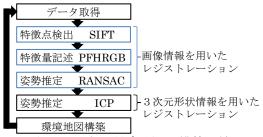


図8 3次元環境地図の構築手法

3.3 補正テーブルの作成結果

3.2 節で得られた知見を基に各画素で 3 つの補正式の決定係数を比較し、もっとも高い決定係数の補正式を選択して補正テーブルを作成した. 作成した補正テーブルを図 6 に示す. また、その際選択された補正式の割合を表 2 に示す. 図 6 の補正テーブルでは赤の画素が一次式、黄が二次式、青が三次式を示している. 図 6 および表 2 より大部分の画素で三次式が選択されているものの、少数ではあるが一次式、二次式が選択されている画素のあることがわかる. このことから、距離画像センサのキャリブレーションは画素毎に必要であることがわかる.

次に、補正テーブルを用いた場合を含む各補正式の平均誤差を図7に示す。補正テーブルの平均誤差はほぼ三次式と一致しているが、6.0[m]以上の遠距離における誤差が改善されていることが確認できる。以上の結果は、提案手法がデータのばらつきの大きくなる遠距離の補正に有用であることを示唆している。

4. 環境地図構築に関する実験

先行研究における3次元環境地図の提案では,画像情報を用いたレジストレーション手法(SIFT+PFHRGB 手法)により推定した初期姿勢を基に,3次元形状情報を用いてレジストレーションを行う手法(ICP スキャンマッチング)を提案した.図8に処理手順を示す.先行研究では上述の手法の有用性が明らかになったことから,本研究においても同様の手法を用いて地図構築を行う.

実験は秋田県立大学ロボット工学研究室で行った. 実験環境および概略図を図 9 および図 10 に示す. 先行研究で歪みが比較的小さかった直線経路(図 10, ①)と歪みが大きかった曲がり角(図 10, ②)を対象



図9 実験環境

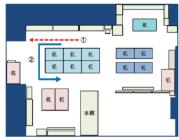


図 10 実験環境概略図



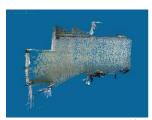
図 11 ロボット外観

として実験を行った. 距離画像データは図 11 に示すように, 距離画像センサを iRobot 社製の Roomba に搭載し, 移動速度を約 0.3[m], 旋回速度を約 0.12[rad/s], データ取得間隔を 0.7[FPS]として取得をした. なお, 補正は 3.2 節で最良の結果が得られた補正テーブルを用いて行った.

補正前後の環境地図構築結果を図 12 示す. 補正 後の直線経路の画像では補正前の地図に見られた歪 みや全体の収縮が軽減されていることがわかる. ま た, 曲がり角では全体に発生していた大きな歪みが 補正されている. これらの結果より, 本論文で提案 した距離画像センサのキャリブレーション手法は地 図構築に対して有用であると言える.

5. 結 言

本論文では距離画像センサのキャリブレーション 手法に改良を加え、高精度な深度情報の取得を目的 とし、多項式近似による補正式の作成と補正テーブルの作成を行った。その結果、連続した一つの関数 を用いて近似を行うことにより、従来手法が抱えていた不連続点の問題を解決した。また、補正テーブルを作成し、画素毎に最適な補正式の選択を行うことにより精度が向上することを確認した。さらに、地図構築実験では、補正テーブルを用いた補正によって地図の歪みが軽減され、提案手法の有用性を確認することができた。





a) 直線経路の環境地図





(b) 曲がり角の環境地図 図 12 補正前後の環境地図構築結果 (左図:補正前,右図:補正後)

本論文で構築した環境地図は局所的なものである ため、各補正式と補正テーブルの差異が小さく、構 築された地図から補正テーブルの明らかな有用性を 確認することができなかった。したがって、今後は 奥行きを有する単一平面を対象とし、実環境との誤 差を定量化することにより、提案手法の有用性を評 価する予定である。また、誤差の累積が予想される 広域な環境で地図構築を行い、提案手法の有用性を 評価する予定である。

参考文献

- [1] Peter Henry, Michael Krainin, Evan Herbst, Xiaofeng Ren, Dieter Fox: 「RGB-D Mapping: Using Depth Cameras for Dense 3D Modeling of Indoor Environments 」, Proc. of International Symposium on Experimental Robotics (ISER), (2010)
- [2] 横道政裕, 佐々木駿, 甲斐崇浩: 「RGB-D SLAM における画像特徴抽出手法の比較・検討」, 宮崎大學工學部紀要 41, pp.307-310, (2012)
- [3] 藤枝舜,石井雅樹:「距離画像センサを用いた 3 次元環境地図の構築に関する基礎検討」,情報処理学会第75回全国大会講演論文集(2),pp.593-594,(2013)
- [4] 石井雅樹, 平山真都: 「3 次元環境地図の構築を目的とした距離画像センサの歪み補正に関する検討」, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2014 講演論文集(ROBOMEC2014), 1P1-W10(1-2), (2014)
- [5] 石井雅樹, 佐藤俊太朗, 平山真都:「3 次元環境 地図の構築を目的とした距離画像センサのキャ リブレーション手法」, 画像電子学会誌, Vol.44, No.3, pp.426-435,(2015)

連絡先

秋田県立大学システム科学技術学部 機械知能システム学科 石井 雅樹 (Tel.:0184-27-2220, E-mail: ishii@akita-pu.ac.jp)

河川堤防における植生の成長と色情報の経時変化に関する検討

Study on the Relation between Vegetation Growth and Color Variation in River Bank

遠藤 賢太 1 石沢 千佳子 1 景山 陽一 1 西田 眞 1
Kenta Endo Chikako Ishizawa Yoichi Kageyama Makoto Nishida
七尾 重亮 2 岩花 賢 2 長岐 孝司 2
Shigeaki Nanao Satoshi Iwahana Takashi Nagaki

1秋田大学 Akita University

2国土交通省東北地方整備局秋田河川国道事務所

Akita Office of River and National Highway, Tohoku Regional Bureau, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

Abstract: In order to manage river bank, we investigated color variation of vegetation in river bank. In this study, we analyzed the results of investigation to predict vegetation growth. The results show that color features of vegetation may temporal change and the variation have a constant tendency.

1. はじめに

国土交通省東北地方整備局管理下の河川堤防では、河川環境の整備・保全を目的として、年2回除草が実施されている。除草を行う際の判断基準は、植生の種類や成長程度(面積や背丈など)である[1]. しかしながら、上記作業は人手により行われているのが実情である. 一方、河川堤防には河川管理用カメラが設置されており、任意の地点および時間ごとに静止画像(以下、堤防画像と表記する)の取得が可能である. したがって、堤防画像に画像処理を施して河川堤防の状況を自動的に収集し、定量的な評価を行うことは、河川堤防の維持管理を支援する技術の一つになり得ると考える.

本研究ではこれまでに、秋田県を流れる雄物川の堤防 画像を対象とし、植生の種類および着目地点における有 害植生の面積比率を推定する手法の開発を行ってきた[2]. また、現地調査を行い、芝とイタドリの色特徴に関して 検討を加えた。その結果、実際の芝とイタドリの色特徴 は異なるため、植生の種類を判別するための特徴になり 得ること、ならびに植生の色情報は成長に伴って経時変 化する可能性があることを明らかにした。

そこで本稿では、現地の植生が持つ色情報の経時変化 と成長の程度との関連について検討を加えたので報告す る.

2. 使用データ

2. 1 着目植生の特徴

芝は、地中に細かく根を張り巡らすため、保水性が高く、 流水により流出する土砂の量を少なくする効果がある.こ のため、場防斜面には芝が張られていることが望ましい.

一方, イタドリは草丈が高く広葉が密集し, 日光を遮るため, 芝を枯死させる. また, 根が太く四方に長く伸びるため, 河川堤防の空洞化・裸地化を進行させ, 河川堤防の弱体化を招く. そこで本研究では, 芝とイタドリを対象として検討を加える.

2. 2 対象地域

秋田県南部を流れる雄物川下流域の河川堤防を対象地域とした。具体的には、雄物川下流域の6地点(A11, A12, A21, B13, B22, C14)を対象とし、植生(芝およびイタドリ)の色情報変化を調査した。対象地域を図1に示す、なお、地点を表す記号の1桁目は地域を、2桁目は植生を表している。3桁目は植生ごとの識別番号である。例えば、A11地点は、対象地域が茨島河川公園であり、対象植生がイタドリという意味である。

2.3 堤防画像

本研究では、晴天時および曇天時にマルチキャスト CCTV (Closed circuit Television) 画像提供システムのカメラ設備を用いて堤防画像を取得している。堤防画像の例を図2に示す。画像サイズは720×480 画素であり、RGB各 256 階調の画像データである。堤防画像は任意の地点および時間ごとに取得することが可能である。本研究では、2015年5月15日から同年10月2日までの期間において、週1回程度(合計22回)、午前9時頃にズームの程度が異なる3種類の堤防画像を取得した。また、堤防画像と現地調査データとの比較を行うため、検討に用いる画像を選出した。従来研究[2]において、ズーム倍率の低い堤防画像を用いて植生分類を行うことにより、良好な結果が得られることを明らかにしている。そこで本研究においても、最もズーム倍率の低い堤防画像を用いた。一方、現地調査では色情報の取得を葉の表側部分から行うものの、低倍率の堤

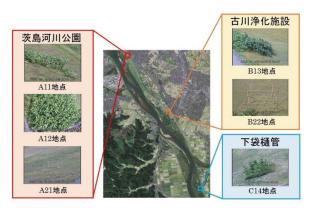


図1 対象地域(秋田県雄物川下流域)[3]



図2 堤防画像例 (A11 地点 2015 年 5 月 29 日取得)

防画像では葉の表側部分とその他の領域との判別は困難である。そこで、堤防画像においても葉の表側部分から色情報を抽出するため、イタドリに着目した堤防画像では、ズーム倍率の高い画像も検討に用いた。低倍率の堤防画像および高倍率の堤防画像のうち、堤防画像と現地調査データとの比較のため、現地調査を行った期間に取得された堤防画像データを検討対象とした(合計 155 枚)。

3. 色情報の取得方法

3.1 現地調査における色情報の取得

本研究では、i1Pro[4] (エックスライト社)を用いて、現地の植生における色情報を計測した。測定対象とする植生は、対象地域に繁茂している芝とイタドリとし、1 植生あたり25点以上の測定を行った。なお、検討には、分光反射率データを XYZ 値に変換して使用した。色情報の取得は、平成27年度5月29日より週1回程度、午前9時頃から11時頃までの間に行った(合計14回)。

3.2 堤防画像における色情報の取得

現地調査により取得した色情報と堤防画像から取得した色情報の比較を目的とし、堤防画像から植生の色情報を取得した。低倍率および高倍率の画像データにおける色情報抽出点の例を図3に示す。図中の赤い点が設定した抽出点である。具体的には、対象画像データから、芝とイタドリを含む領域を目視で判断し、色情報の抽出を行う点を植生ごとに各画像30点ずつ手動で設定し、RGB値を取得した。また、各抽出点より得られたRGB値をXYZ値に変換した。さらに、植生ごとにXYZ値の各平均値を算出した。

本研究では低倍率および高倍率の画像を対象に色情報の抽出を行った. 低倍率画像については芝とイタドリの領域を目視で判断し、色情報の抽出を行った. 一方、高倍率画像に対してはイタドリの領域の中から、さらに葉の表側領域を目視で判断し、色情報の抽出を行った.

3.3 色温度調整処理

天候は、堤防画像より取得される色情報に大きな影響を与えると考える.このため、堤防画像を用いて現地の植生の状況を推定する上で、取得データに含まれる天候の影響を軽減する必要がある.そこで、本研究では光の色を定量





図3 堤防画像からの色情報抽出例 (左:低倍率 右:高倍率)

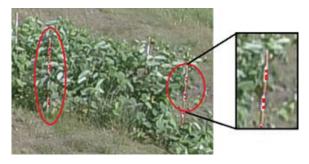


図4 ポールにおける白色領域からの色情報抽出例

的に表現する指標である「色温度」に着目し、堤防画像に対して色温度調整処理を施した。色情報抽出例を図4に示す。具体的には、色情報が一定であると考えられるポールの白色領域から色情報を取得し、取得したRGB値(1つの画像につき20箇所以上取得)を用いて色温度を算出し、一般的な屋外の色温度(逆数色温度150 MK-1)になるように色順応変換を施した。色順応変換とは、感覚系の慣れである色順応を定量的に表現したvon Kriesの色順応予測式を用いた画像の色変換処理である[5]。なお、この処理は、ポールが写り込むA11地点およびB13地点の堤防画像に対してのみ行った。

3.4 植生指標の算出

現地調査において、取得した植生の色情報と堤防画像の色情報を用いて、植生指標である GVI[6]および GEI[7] を算出し、経時変化との関連性について検討を行った. 各植生指標の算出式を以下に示す.

$$GVI = (G - R)/(G + R) \tag{1}$$

$$GEI = 2 G - (R + B) \tag{2}$$

上記式内のR, G, Bはそれぞれ, RGB 表色系における R値, G値, B値を示している. GVI は植生の展葉および開花・紅葉等に反応して値が減少する指標である. 一方, GEI は植生の展葉期に値が急激に上昇した後, 緩やかに下降を続け, 植生が枯れ始めると急激に値が下降するという性質を持つ. GVI が天候の影響を受けにくい指標であるのに対し, GEI は天候による影響を受けやすいという性質も併せ持つ.

4. 解析結果

4. 1 現地調査による植生の色情報に関する検討

現地調査により得られた各植生における X 値の経時変化を図 5 に示す。計測対象としたイタドリの対象植生に倒木や葉の変色などが生じたため、検討には8月7日までのデータを用いた(合計11日)。調査結果を見ると、植生の色情報は経時変化していること、イタドリの X 値と比較し、芝の X 値の値は大きいことがわかる。これは、植生の種類によって色情報の値や変化の程度が異なる可能性があることを示唆している。

4. 2 植生の色情報と成長の程度に関する検討

現地の植生が持つ色情報と成長の程度との関連について 検討を加えるため、取得した XYZ 値と植生の背丈を比較し た. C14 地点における比較結果を図 6 に示す. なお、図 6 に示す「背丈の差」は、前回測定した背丈との差分であり、

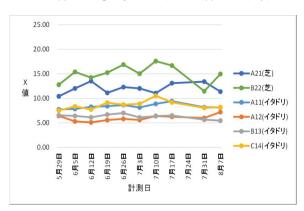


図5 芝およびイタドリにおける X 値の経時変化

植生の伸びを意味している. また, 芝は背丈が短く, 背丈の計測が困難であったため, イタドリのみを対象として検討を加えた

イタドリの色情報は特定の日まで上昇傾向を示した後,下降傾向に変化する.一方,イタドリの背丈は7月10日前後を境に伸びが確認されない.すなわち,色情報が上昇傾向から下降傾向に移り変わるピーク以前に,イタドリの背丈の伸びが止まっていることがわかる.このことは,イタドリにおける色情報の変化のピークを把握することで,イタドリの成長が鈍化する時期を把握できる可能性があることを示唆している.したがって,イタドリの成長が鈍化する時期を把握することは,河川堤防における除草時期の判断基準になり得ると考える.

また、植生は成長に伴い、背丈や葉・茎の数、葉緑素含有量などは増加することが一般的に知られている[8]. さらに、葉緑素含有量が大きくなると、Z値の変化は少ないものの、X値とY値は減少することが報告されている[9]. このことから、色情報の変化には、葉緑素含有量が影響していると考える. 図 6 において、色情報の変化がピークに達するまでは、葉緑素の少ない葉の若い領域が拡大したと考えられ、それに伴いX値とY値が増加した可能性がある. その後、葉の成熟に伴って葉緑素含有量が増加し、この結果としてX値とY値が減少した可能性がある.

4.3 堤防画像による植生の色情報に関する検討

低倍率の堤防画像から取得したイタドリの色情報を図7に示す。また、高倍率の堤防画像から取得した色情報を図8に示す。ただし、高倍率の画像において、葉の表側が揺らぎなどで判断できなかった場合は色情報の取得を行わず、

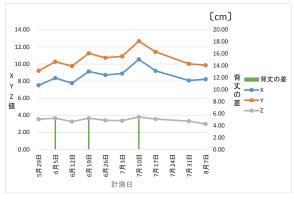


図 6 イタドリの XYZ 値と背丈の伸びの経時変化 (C14 地点)

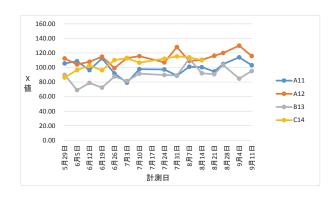


図7 低倍率の堤防画像から取得されたイタドリのX値

取得を行ったデータのみを用いて検討を行った.

低倍率の堤防画像から取得されるイタドリの XYZ 値は、経時変化していることがわかる(図 7 参照). このことは、堤防画像から取得された植生の色情報においても経時変化を捉えることが可能であることを示唆している. しかしながら、その変化に規則的な傾向が認められないため、変化の傾向についてさらに検討を加えることが今後の課題である.

一方、高倍率の堤防画像から取得したイタドリの X 値は徐々に減少していることがわかる(図8参照). これは、4.2 節で示したように、植生の成長に伴い葉緑素含有量が増加したことに起因して X 値が減少したためであると考える. しかしながら、現地調査の結果では値が上昇した後に下降したのに対し、高倍率の堤防画像における取得結果では常に下降を示している. これは、現地調査では 1 枚の葉を対象に色度計測を行ったのに対し、堤防画像を用いた色情報の取得においては、複数の葉を対象として色情報を取得したため、異なる傾向になったと考える. すなわち、現地調査で対象とした葉は若い領域の拡大に起因して、X 値が増加したものの、植生全体では葉緑素含有量は常に増加したため、堤防画像ではX値が減少したと考える.

また、高倍率の堤防画像からの色情報の取得は、低倍率からの取得とは異なり、葉の表側領域を目視で判断している。このため、影や葉の裏側といった外乱が除去され、より現地の植生の色情報に近い値が得られていると考える。したがって、高倍率の堤防画像を用いて色温度調整処理を施すことは、現地調査による結果との関連性を得る可能性がある。

4.4 植生指標に関する検討

低倍率の堤防画像から取得した植生指標および色温度調整処理を施した低倍率の堤防画像から得られた GVI を図 9 に、GEI を図 10 にそれぞれ示す. 低倍率の堤防画像から取得される GVI および GEI は、芝・イタドリともに経時変化しているものの、変化に規則的な傾向が認められない. また、これらの値は堤防画像から取得しているため、XYZ 値と同様に天候の影響を受けている可能性がある.

そこで、色温度調整処理を施した画像を用いて、植生指標の算出を行った。色温度調整処理後の GVI は色温度調整処理前の GVI と比較して、全体的に値が小さくなり、経時変化の振れ幅が縮小していることがわかる。このことは、色温度調整処理を施すことで、天候の影響が軽減できる可能性があることを示唆している。また、B13 地点における GVI 値は高倍率および低倍率、色温度調整前後いずれの結果においても、7月10日に大きく減少している。7月10日

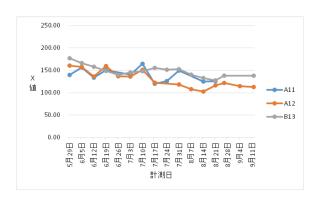
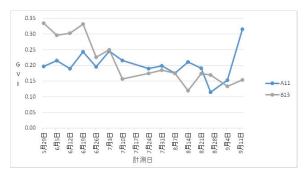
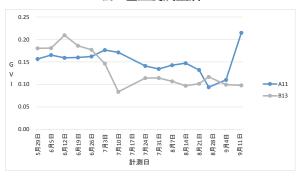


図8 高倍率の堤防画像から取得されたイタドリのX値



(a) 色温度調整前



(b) 色温度調整後

図 9 低倍率の堤防画像におけるイタドリの GVI

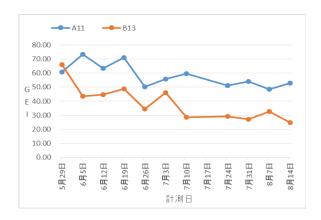
はイタドリが開花を始めた時期であり、開花の影響が反映された状況をGVIが示している可能性がある.したがって、GVIの変化に着目して検討を加えることは、除草時期の判断基準になり得ると考える.

一方、色温度調整処理後の GEI においても、振れ幅が小さくなっていることがわかる。振れ幅が小さくなるのに伴い、GEI の特徴である緩やかな減少が認められる。したがって、GEI の減少の傾向を予測することで、イタドリの成長を予測できることを示唆している。すなわち、イタドリの成長を予測することは、河川堤防における除草時期の判断基準に指針を与えると考える。

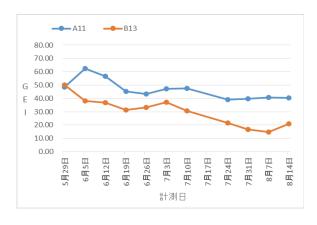
5. おわりに

本研究では、堤防画像を用いた植生の状況推定を目的とし、植生の成長と色情報の経時変化との関連について検討を行った。その結果、植生の色情報は経時変化し、その経時変化には一定の傾向があること明らかにした。

本研究の遂行に協力下された国土交通省東北地方整備局関係各位に感謝申し上げます.



(a) 色温度調整前



(b) 色温度調整後

図 10 高倍率の堤防画像におけるイタドリの GEI

参考文献

- [1]国土交通省秋田河川国道事務所 Web サイト: http://www.thr.mlit.go.jp/akita/index.html, Accessed 2015/7/1
- [2]景山, 松井, 村上, 石沢, 西田, 菅井, 齊藤, 五代儀, 昆:テクスチャ情報を用いた SVM による河川堤防の 植生分類,電気学会論文誌 C, Vol.135, No.3, pp.349-350, 2015
- [3]Google maps Web サイト: http://maps.google.co.jp/, Accessed 2015/7/25
- [4]i1 Color ユーザーマニュアル
- [5]大田:色彩工学 第2版,東京電機大学出版局,2005
- [6] A.A.Gitelson, Y.J.Kaufman, R.Stark, D.Rundquis: Novel Algorithms for Remote Estimation of Vegetation Fraction, Remote Sensing of Environment, 80(1), pp.76-87, 2002
- [7] A.D.Richardson, J.P.Jenkins, B.H.Braswell, D.Y.Hollinger, S.V.Oll-inger, M-L.Smith: Use of digital webcam images to track spring green-up in a deciduous broadleaf forest, Oecologia, 152, pp.323-334, 2007
- [8] M.ブラック, J.エーデルマン: 植物の生長, 河出書房新社, 1974
- [9] 長野, 重富: デジタルカメラを用いた稲単葉の葉色測定, 九州農業研究・第67号作物部会, p.7, 2005

連絡先

秋田大学

景山 陽一

(Tel.:018-889-2786,E-mail:kageyama@ie.akita-uc.jp)

色順応変換を用いた背景差し替えの改善

Improvement of Background Replacement using Chromatic Adaptation Transform

大井上 俊 Shun Oinoue 景山 陽一 Yoichi Kageyama 秋田大学 Akita University 西田 眞 Makoto Nishida

Abstract: Replacing a background of video chat with a landscape image is effective to protect privacy. However, if the illuminant colors of camera/landscape images differ widely, there is a possibility that users feel uncomfortable with the replacement result. Therefore, in our previous study, we have proposed a background replacement method using a chromatic adaptation transform in order to reduce the uncomfortable feeling. In this paper, we improve the method that can uses saturation.

1. はじめに

近年,情報通信システムの発展に伴い,ネットワークを介して相手の映像を見ながら会話する方法として,ビデオチャットが広く利用されるようになった.しかしながら,カメラから得られる映像を加工せずに相手に送信した場合,人物の背景(オフィスなどの室内)に含まれるプライバシ情報も送信されてしまう恐れがある.その対策の一つとして,人物の背景を任意の画像や映像に差し替える背景差し替え法の利用が考えられる.

一方,一般的な背景差し替えにおいて,人物領域および背景領域の光源色が異なることから,ユーザが背景差し替え結果に違和感を覚えてしまう可能性がある.筆者らはこれまでに,色温度特徴に着目した色順応変換[1]を用いた背景差し替え法を提案し,違和感を軽減した背景差し替えが可能であることを明らかにしている[2][3].しかしながら,従来手法は顔領域における明度値に影響を受け,背景差し替え結果の光源色(目標光源色)が大きく左右されてしまう場合を認めた.そこで本稿では,背景差し替えにおける違和感軽減を目的として,彩度に着目した目標光源色決定法について検討を加えた.

2. 撮影環境および使用画像データ

本研究では、Web カメラ (Logicool® HD Pro Webcam C920) を用いて、背景差し替えに使用す る動画像データを取得した.被験者を7名(20代男 性 6 名, 女性 1 名:人物 a~g) とし,被験者の上半 身を正面から撮影した. また, 照明機器および明る さの変化による影響を検討するため、 照明機器とし て D65 照明 (東芝:色比較・検査用 D65 蛍光ラン プ) および昼白色蛍光灯を用いた. さらに, それぞ れ点灯させる照明の数を調整し、3段階の明るさに 変えて撮影を行った.具体的には、表1に示す6つ の撮影条件下において 7 名の撮影を行い, 合計 42 の人物動画像データを取得している. なお, 本研究 は「秋田大学手形地区におけるヒトを対象とした研 究に関する倫理規定第6条第2項」に基づいた倫理 審査の承認を得た研究計画の下に、被験者本人の了 承を得て実験データを取得,利用している.

本研究では、光源色を定量的に表現可能な指標である「色温度」に着目し、背景差し替えに用いる風景画像[4]を選定した.具体的には、光源色が「色温度が高いと青みを帯び(青被りし)、色温度が低いと赤みを帯びる(赤被りする)」という特徴を有するため、青被り風景 3 枚および赤被り風景 3 枚の合計 6枚(No.1~No.6)を用いている。本稿で用いる風景画像データを図 1 に示す。

3. 従来手法の概要および課題

従来手法[3]は、von Kries の色順応予測式[5]に基 づき, 人物動画像(人物領域) および風景画像(背 景領域)の光源色の調整を行う色味変換(色順応変 換)を施して、背景差し替えを行う手法である. 具 体的には、図 2 に示すように、人物領域の光源色 W_F および背景領域の光源色WgをそれぞれWgWg間の光 源色 W_T と同一になるような色順応変換を施し、背景 差し替えを行っている.しかしながら、図3に示す ように、従来手法における目標光源色 W_r の決定法で は, 顔領域における明度値の影響を大きく受ける場 合を認めた. その理由として, ①従来手法では色飽 和が起こり始める光源色として, B成分および R成 分の飽和画素数の変化量が最大となる光源色を基に 目標光源色の範囲を設定していること, ②明度値が 高いほど, 色味変換による色飽和が起こりやすいこ との2点が挙げられる. 従来手法による目標光源色 の範囲決定法を図4に示す. そこで, 明度値に大き く左右されないパラメータ値を用いて目標光源色を 決定する手法の開発が不可欠であると考える.

表1 動画像データ取得時の撮影条件

24.2	293 PH 1200 /	> -04/0.00.2	1人/1ン ノトーー
撮影条件	照明種類	室内照度	人物頭上照度
撮影条件A	D65 照明	450.4 lx	311.7 lx
撮影条件B	D65 照明	$338.5 \mathrm{lx}$	$288.5 \mathrm{lx}$
撮影条件C	D65 照明	$297.5 \mathrm{lx}$	$250.6 \mathrm{lx}$
撮影条件D	昼白色	536.4 lx	388.4 lx
撮影条件E	昼白色	486.3 lx	351.2 lx
撮影条件 F	昼白色	331.5 lx	263.7 lx



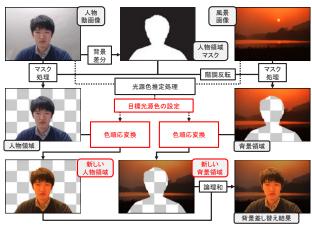


図 2 従来手法の概要[3]

顔領域の明度値が高い場合



• 顔領域の明度値が低い場合

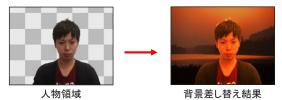


図3 従来手法による背景差し替え結果例

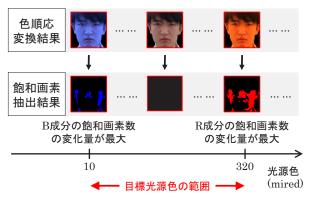


図 4 従来手法による目標光源色の範囲決定

4. 提案手法

本研究では、顔領域の明度値に大きく左右されない値として、HSV 表色系[6]における彩度に着目し、従来手法における目標光源色 W_T の決定法について検討を加えた。人物領域の光源色を W_F 、背景領域の光源色を W_B としたとき、以下の手順により W_T を決定する。

- 1. 人物動画像に対して顔検出[7]を行い, 顔領域を取得する.
- 2. 目標光源色の候補として $0\sim640$ mired まで 10mired刻みに65種の光源色 W_x $(x=0,\cdots,64)$ を用意する.次に,顔領域に対して $W_F \rightarrow W_x$ となる色順応変換を適用し,65種の色順応変換結果 A_x を取得する.
- $3. A_x$ の各平均画素値 (R_x, G_x, B_x) を求め、HSV 表色系における彩度 S_x を式 (1), (2) により算出する.

$$max = \max(R_x, G_x, B_x)$$

$$min = \min(R_x, G_x, B_x)$$
(1)

$$S_{x} = \begin{cases} 0 & \text{if } max = min \\ \left(\frac{max - min}{max}\right) & \text{else} \end{cases}$$
 (2)

- 4. 閾値として、事前に設定した彩度値 S_b および S_r を取得する. 以下、 S_b および S_r を彩度設定値と定義する.
- $5. S_{x-1} > S_b \ge S_x$ および $S_{x+1} > S_r \ge S_x$ となるxをそれぞれ x_b , x_r として取得する.
- 6.式(3)の条件に基づき、 W_T を決定する.

$$W_T = \begin{cases} W_{x_b} & if \ W_B < W_{x_b} \\ W_{x_r} & if \ W_B > W_{x_r} \\ W_B & else \end{cases}$$
 (3)

提案手法による目標光源色の範囲決定法を図 5 に示す.上記の手順で目標光源色 W_T を決定し、人物領域および背景領域に対して光源色が W_T となるような色順応変換を施し、背景差し替えを行うことで最終的な背景差し替え結果を取得する.

5. 実験

提案手法では事前に彩度設定値を設定する必要があるため、適切な彩度値を設定するために検討実験を行った.次に、提案手法の有用性を検証するため、従来手法との比較実験を行った.実験方法および実験結果を(I), (II) に示す.

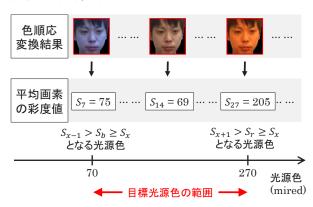


図 5 提案手法による目標光源色の範囲決定

(I) 彩度設定値の検討実験

適切な彩度設定値の検討を行うため、背景差し替 えを行った動画像を用いて、14 名の被験者(20 代 の男性 13 名,女性 1 名) に対して印象評価実験を 行った. 具体的には、事前に差し替え結果の違和感 が少ないと感じた彩度設定値 $S_b=80$, $S_r=210$ を 基準値として設定し、この基準値を中心に 10 刻み で 5 段階に尺度を設定した (S_b= { 60, 70, 80, 90, 100 }, $S_r = \{190, 200, 210, 220, 230\}$). 被験者は, 背景差し替え映像を視聴しながらこの尺度を調整し、 最も違和感が少ないと感じた尺度を選択した. 使用 する人物動画像および風景画像として、人物 a~g の動画像データおよび No.1~No.6 の風景画像から 選出して背景差し替えを行い,被験者1名につき合 計 36 回の回答を行った. なお、被験者本人が自身 の背景差し替え映像を評価する場合, 印象評価に影 響を与える可能性があるため,被験者自身の背景差 し替え映像は除外している. この実験による背景差 し替え映像の表示例を図6に示す.

撮影条件別の回答結果の平均値を表 2 に示す. 実験の結果から、 $S_b = 74$ 、 $S_r = 212$ の時に、最も被験者が違和感を覚えることなく、背景差し替えが可能であると考える. また、撮影条件(照明種類および明度による撮影環境)が異なる場合においても回答結果に大きな差異が見られない. このため、提案手法は明度および照明種類の影響を大きく受けることなく、背景差し替えの違和感が軽減可能であると判断される.

一方、撮影対象別に結果を比較すると、大きな差異は見られないものの、人物 e の青被り風景における背景差し替え結果において全体の平均値とは大きく異なる結果を得た.この原因としては、図7に示すように、同条件下で行った背景差し替え映像に対しても、人物の肌色などに起因して被験者に与える印象に大きく影響したことが考えられる.



図 6 背景差し替え映像の表示例

表 2 撮影条件別の回答結果の平均値

\$4 = \$\$\text{\$\pi\$}\$\$ \$\text{\$\pi\$}\$\$ \$\text{\$\pi\$}\$\$ \$\text{\$\pi\$}\$\$ \$\text{\$\pi\$}\$\$ \$\text{\$\pi\$}\$\$						
撮影条件	S _b (青被り風景)	S_r (赤被り風景)				
撮影条件 A	70.7	212.5				
撮影条件 B	73.9	212.2				
撮影条件 C	75.1	210.4				
撮影条件 D	74.7	207.9				
撮影条件 E	75.7	210.4				
撮影条件 F	74.0	216.4				
全体平均	74.0	211.6				

表 3 撮影対象別の回答結果の平均値

撮影対象	S _b (青被り風景)	S_r (赤被り風景)
人物 a	76.7	208.1
人物 b	73.3	211.9
人物 c	79.0	210.8
人物 d	78.3	212.9
人物 e	63.8	214.2
人物 f	74.1	210.7
人物g	77.7	212.5
全体平均	74.0	211.6





(a) 人物 e (S_hの回答平均値=63.8)

(b) 人物 c (S_h の回答平均値=79.0)

図7 青被り風景下における差し替え映像例

(Ⅱ)提案手法と従来手法を用いた比較実験

提案手法の有用性を検証するため、被験者を 17名(20代の男性 16名、女性 1名)とし、従来手法との比較実験を行った. 具体的には、提案手法および従来手法による背景差し替え映像を左右に並べて表示し、被験者に違和感が少ないと感じた差し替え映像を選択してもらった. 背景差し替え映像の比較表示例を図 8に示す. 提案手法に用いる彩度設定値は、実験 (I) の結果を基に、 $S_b=74$ および $S_r=212$ とした. なお、映像表示位置による回答の偏りを考慮して左右の配置はランダムとし、差し替え映像から受ける違和感が同程度である場合には「同程度である」と回答してもらった. 背景差し替え映像に用いる人物動画像および風景画像の選出は実験(I)と同様に行い、被験者 1名につき合計 36 回の評価を行った.

実験により得られた回答を撮影環境別に集計した 結果を表 4 に、撮影対象別に集計した結果を表 5 に まとめる。なお、回答結果を①:「提案手法による結 果の方が違和感が少ない」,②:「従来手法による結 果の方が違和感が少ない」, ③:「同程度である」と して示している. 撮影条件別の回答結果において, 撮影条件 D (昼白色照明, 照度:明るい) の赤被り 風景下における差し替え映像に関しては「同程度で ある」という回答が多かったものの、それ以外の条 件では「提案手法による結果の方が違和感が少ない」 という回答を多く得た. また, 撮影対象別の回答結 果においては、全ての条件下で「提案手法による結 果の方が違和感が少ない」という回答を多く得た. これらの結果は、提案手法は従来手法と比較し、違 和感の少ない背景差し替えが可能であることを示唆 している.



(a) 提案手法 (青被り風景下)



(b) 従来手法 (青被り風景下)



(c) 提案手法 (赤被り風景下)



(d) 従来手法 (赤被り風景下)

図8 背景差し替え映像の比較表示例

表 4 撮影条件別の回答集計結果

2 2 3/2/2/(1/2/ 1/2/						
撮影条件	青被り風景		赤被り風景			
東京 宋 什	1	2	3	1	2	3
撮影条件A	42	7	2	30	10	11
撮影条件 B	41	8	2	34	9	8
撮影条件 C	33	11	7	40	4	7
撮影条件 D	36	13	2	19	9	23
撮影条件 E	31	17	3	35	9	7
撮影条件 F	21	13	17	34	12	5
全体	204	69	33	192	53	61

表 5 撮影対象別の回答集計結果

	and the state of t					
撮影対象	青被り風景			赤被り風景		
1取於刈豕	1	2	3	1	2	3
人物 a	39	10	5	34	6	14
人物 b	28	14	1	37	5	5
人物 c	17	11	3	18	6	5
人物 d	22	11	11	18	7	12
人物 e	36	12	5	18	12	13
人物 f	32	5	2	38	8	7
人物g	30	6	6	28	9	5
全体	204	69	33	192	53	61

6. おわりに

本稿では、背景差し替えにおける違和感軽減を目的とし、彩度値に着目した目標光源色決定法を提案した. 提案手法は顔領域の明度値および照明種類による影響を大きく受けることなく、背景差し替えの違和感軽減が可能であることを明らかにした. また、提案手法は従来手法と比較し、違和感の少ない背景差し替えが可能であることを明らかにした.

今後は撮影対象人物の個人差を考慮するため、顔 領域から肌色を抽出し、輝度値を特徴量として用い る目標光源色の調整手法について検討を加える予定 である.

参考文献

- [1] 大田: 色彩工学 第 2 版, 東京電機大学出版局, 2005
- [2] 村上,景山,西田: 色温度特徴に着目した背景 差し替えの違和感軽減,知能と情報(日本知能情 報ファジィ学会誌), Vol. 25, No. 4, pp. 806-818, 2013
- [3] T.Murakami, Y.Kageyama, M.Nishida:
 Background replacement using chromatic
 adaptation transform, Journal of Visual
 Communication and Image Representation,
 Vol. 30, pp. 242-251, 2015
- [4] Tomo.Yun: ゆんフリー写真素材集, http://www.yunphoto.net/, Accessed 2016/2/1
- [5] Mark D.Fairchild: Color Appearance Models, John Wiley & Sons, 2013
- [6] 日本色彩学会: 新編 色彩科学ハンドブック[第3版], 東京大学出版, 2011
- [7] Willowgarage : OpenCV, https://www.willowgarage.com/, Accessed 2016/2/1

連絡先

秋田大学

景山 陽一

(Tel.: 018-889-2786, E-mail:kageyama@ie.akita-u.ac.jp)

LCD に表示される色の色度推定とちらつきに関する検討

Study on Estimation and Flicker of the Color Displayed on the LCD

北野 将伍 石沢 千佳子 景山 陽一 西田眞 Shogo Kitano Chikako Ishizawa Yoichi Kageyama Makoto Nishida 秋田大学

Akita University

Abstract: The human eyes have a characteristic to perceive as one mixed color when two colors switches at high speed. If this characteristic use for displaying image on the LCD, it will be able to prevent the illegal use of images published to the web. This study proposes a method to estimate a color displayed on the LCD by switching. In addition, we tested the relationship of the switching speed flicker.

1. はじめに

ヒトの視覚は、異なる2色が高速で切り替わると、 混ざり合った1色を知覚する特性を有している.こ の視覚特性を利用した混色法として, 継時加法混色 がある. 本研究では、液晶ディスプレイ(LCD)上 で 2 色を高速に切り替えて継時加法混色を行い, Web 上で公開される画像の不正利用を防止する手法の開 発を目的とする.

一般的に、継時加法混色により知覚される色(知 覚色)は、切り替え表示に用いた2色の中間的な色 になることが知られているものの[1], LCD 上で切 り替え表示を行った場合には、中間的な色にならな い場合が存在する. 本研究ではこれまでに, LCD 上 における知覚色の色度を推定する手法(従来手法) について検討を行った[2]. その結果, 色度を概ね推 定可能であったものの、計測値と推定値に差異が生 じる場合を認めた.また,切り替え速度が遅い条件 下ではちらつきが認識され,めまいや吐き気等の体 調不良を引き起こすことが知られている[3].

そこで本稿では、従来手法について検討を加え、 新たな色度推定手法を提案する. また, 切り替え速度 とちらつきの関係について検討を行った結果について も報告する.

2. 従来手法の概要と課題

従来手法の流れを以下に示す.

手順1. 階調値 255 におけるレッド, グリーン, ブルーの Y値の合計(階調値255におけるホワイトのY値 に相当) から推定に用いる輝度値を算出する.

手順2. 色温度と手順1で算出した輝度値を用いて、LCD 上で階調値255のホワイトが表示された際のXYZ 値を算出する.

手順3. 色域の座標と手順2で算出したホワイト XYZ 値を 用いて, 各サブピクセル[4]における XYZ 値の最大 値を算出する.

手順4. ガンマ値を用いて、手順3で算出したXYZ値を最 大値とするサブピクセルの入出力曲線を作成する. • 色度推定式

$$X = X_{max} \times \left(\frac{N}{255}\right)^{\gamma}$$
 (1) X :推定する色度, X_{max} :算出したサブピクセルの最大値,

N: 階調値、 γ : ガンマ値

従来手法は、カラーマネージメントソフトウェアと 内部センサを用いて補正された色域を有する LCD を対象として実験を行った(色域:レッド(0.6798, (0.3090), J = (0.1985, 0.6773), J = (0.1493, 0.6773)0.0494)). 一方, 一般的な LCD における色域は, sRGB 色空間に基づいた値を用いている[5](レッド $(0.640, 0.330), \ \mathcal{J} \mathcal{V} - \mathcal{V} \ (0.300, 0.600), \ \mathcal{J} \mathcal{V}$ ー (0.150, 0.060)). そこで本章では, sRGB 色空 間の値を用いた場合の従来手法の有用性について検 討を加える. 具体的には、sRGB 色空間に基づいた LCD (ASUS 製 VG248QE) 上での色度を計測し、 従来手法により推定した色度との比較を行った.

2.1 実験方法

- ①sRGB 色空間の色域を持つ LCD 上に計測対象色 の画像を表示し、色彩照度計を用いて色度を計測 をした. 計測対象色は, 使用色における階調値を 31 から 255 の範囲で 32 ずつ増加させたレッド, グリーン,ブルーの3系統色(合計24色),並び に階調値0(ブラック)の合計25色とした.
- ②従来手法の手順に従い色度推定を行った. なお, 実験機器,設定条件は以下の通りである.
 - · LCD(ASUS 製 VG248QE, 解像度 1920×1080 ピクセル, 応答速度(中間階調域[5]) 1ms, 最大輝度 350cd/m², True Color, 切り替え速度 (60~144Hz)
 - ・コンピュータ

CPU: Intel®CoreTM i7-4790 (3.60~3.40GHz),

RAM: 32GB,

GPU: NVIDIA@GeForce@GTX980 (4GB/GDDR5)

• 色彩照度計

Spectra Co-op 製 ColoSuke[6]

LCD の設定値

輝度:304.3cd/m², 色温度:6939K,

ガンマ値:2.2

色域:sRGB色空間 (レッド (0.640, 0.330), グリーン (0.300, 0.600) ブルー (0.150, 0.060))

2.2 実験結果

実験結果を図1に示す.図1は使用色グリーンにおける推定値と計測値の比較結果を示したものである.図1に示すように、X値、Y値、Z値いずれにおいても、推定値と計測値の大きな差が発生した.なお、レッドおよびブルーにおいても同様の結果が得られた.このため、従来手法において sRGB 色空間の色域を用いる場合については、推定方法の改良が必要である.

3. 従来手法の改良に関する検討

2.2 節の結果より、sRGB 色空間の色域にも対応可能な推定方法が必要であることが明らかになった. そこで、sRGB 色空間の値を用いた場合の推定値と計測値を近似させることを目的とし、計測値のみを用いた色度推定について検討を行った.

具体的には、従来手法の色度推定式(1)における X_{max} に、計測した値を代入して色度推定を行った。その結果、推定値が計測値に近似した。このため、色度推定に用いる XYZ 値の最大値には、計測値を用いることが有用と考える。また、LCD では、バックライトが点灯していることに起因して、階調値 0 のブラックにおける XYZ 値もわずかながら値を持っている。従来手法ではこの値の考慮がされていないため、階調値 0 の場合における XYZ 値の値も考慮した改良を行う。

4. 提案手法

3 章の検討結果を踏まえ、計測値のみを用いた色 度推定手法(提案手法)を提案する.提案手法の流 れを以下に示す.

・提案手法の流れ

手順1.推定に用いる色度の値として, 階調値 255 に おける使用色レッド, グリーン, ブルー, 並 びに階調値 0 における使用色ブラックの XYZ 値を計測する.

手順2.ガンマ値を用いて、手順1で計測したレッド、 グリーン、ブルーのXYZ値を最大値とする各 サブピクセルの入出力曲線を作成する.

• 色度推定式

$$X = (X_{max} - X_k) \times \left(\frac{N}{255}\right)^{\gamma} + X_k \tag{2}$$

X: 推定する色度, X_{max} : 手順1で計測した値 X_k : ブラックの色度,N: 階調値, γ : ガンマ値

5. 比較実験

提案手法の有用性を検討するため, 2 種類の比較 実験を行った.

5.1 提案手法における推定値と計測値の比較実験 提案手法を用いて色度推定を行い,算出された推 定値と計測値の比較を行った.実験の流れを以下に 示す.

(I) 実験方法

- ①2章の比較実験と同様の25色を対象色とし、提案手法で示した手順で使用色の色度推定を行った. なお、推定の際に、最も計測値に近似する条件を調査することを目的として、ガンマ値を2.0~2.9の範囲において、0.1刻みで変化させて色度推定を行った.
- ②上記①による推定値を2章で取得した使用色の計測値と比較した.

(Ⅱ) 実験結果

実験結果を図 2 および表 1 に示す. 図 2 のグラフは γ =2.3 における使用色グリーンの推定値と計測値を比較したものであり、横軸が階調値、縦軸が色度(XYZ 値)を示している. また、表 1 は計測値と推定値における各値の差を表している. なお、図 2 および表 1 は、ガンマ値を 2.3 に設定したときの結果を示している.

図 2 より,提案手法による推定値は,2 章における実験結果と比較し,計測値との差が減少していることがわかる.このことは,使用色の色度推定にLCD の計測値のみを用いる方法が LCD の設定値と計測値を併用する方法よりも有用であることを示唆している.また,表 1 よりガンマ値を 2.3 に設定した場合に,全ての色度における推定値と計測値の差が 10 未満となることを認めた.この結果は,2.0~2.9 のガンマ値を用いて算出した推定値と計測値の差において最少である.

以上の結果は、提案手法を用いる場合にはガンマ値を 2.3 に設定することで、計測値に近似した推定値を算出可能であることを示唆している.

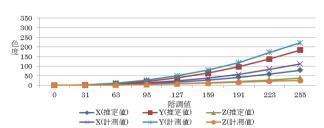


図1 従来手法における推定値と計測値の比較(グリーン)

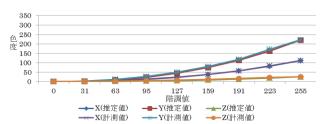


図 2 提案手法における推定値と計測値の比較 (グリーン, γ=2.3)

表 1 提案手法における推定値と計測値の値ごとの差 (γ=2.3)

		レッド			グリーン			ブルー	
階調値	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
31	0.59	0.30	0.10	0.41	1.00	0.23	0.18	0.01	1.04
63	1.85	0.95	0.30	1.11	2.98	0.77	0.55	0.13	3.09
95	2.72	1.41	0.55	1.17	3.97	1.36	0.53	0.58	3.18
127	3.48	1.82	0.84	1.01	4.84	2.07	0.30	1.31	2.25
159	3.58	1.86	1.06	0.29	4.68	2.70	0.46	2.38	1.43
191	3.59	1.91	1.15	0.46	4.10	3.07	1.48	3.64	6.41
223	5.42	2.85	0.92	1.83	8.60	3.25	1.08	4.13	3.93
255	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

5.2 色度推定式の比較実験

従来手法における色度推定式(1)(従来推定式)における X_{max} に対して、階調値 255 におけるレッド、グリーン、ブルーの XYZ 値およびガンマ値を代入することで、提案手法同様の色度推定が可能になると考える。そこで、従来推定式より算出された推定値および提案推定式より算出された推定値、並びに計測値の比較を行った。

(I) 実験方法

- ① 従来推定式の X_{max} に対して、2章の実験において計測した階調値 255 における使用色レッド、グリーン、ブルーの XYZ 値を代入し、各サブピクセルの入出力曲線を作成した。なお、ガンマ値は5.1 節の実験において最も計測値と近似した値である、 $\gamma=2.3$ を採用した.
- ② 上記①で算出した推定値,5.1節の実験結果および2章より取得した計測値と比較した.

(Ⅱ) 実験結果

各推定式による推定値と計測値との比較結果を図3、表2、並びに表3に示す.図3のグラフは、グリーンにおける従来推定式による推定値、提案推定式による推定値、並びに計測値を比較したものであり、横軸が階調値、縦軸が色度(XYZ値)を示している.また、表2は提案推定式の推定値と計測値の色度ごとの差を、表3は従来推定式の推定値と計測値の色度ごとの差をそれぞれ示している.なお、表2および表3において、値の差が1未満の箇所を赤、値の差が5より大きい箇所を青で示している.

図3より、従来推定式と提案推定式による推定値は、ともに計測値と近似していることがわかる。一方、表2と表3を比較すると、表2は表3と比較して赤で示した箇所が増加し(表2では39箇所、表3では35箇所),青で示した箇所が減少していることがわかる(表2では3箇所、表3では4箇所)。このことは、提案推定式が従来推定式と比較し、計測値に近似した値を推定可能であることを示唆している。

6. 切り替え速度とちらつきに関する検討

切り替え表示を行う際, LCD の切り替え速度が低いと画面の切り替わりが認識されやすくなり, ちらつきの原因になることが考えられる. そこで, 切り替え速度とちらつきの発生の関係性について検討を加えるため, 目視評価実験を行った.

6.1 目視評価実験

ちらつきの感じやすい切り替え速度を調査するために、LCD上に切り替え表示した画像の閲覧時にちらつきが発生しているか否かについて、目視評価実験を行った.具体的には、被験者 25名(20代男性23名、女性2名)を対象として、LCD上に異なる単色の画像2枚を切り替え表示によって表示し、表示された画像に対してちらつきを感じない場合には「〇」、ちらつきを感じる場合には「×」と被験者に回答してもらった.使用色は、レッド、グリーン、ブルーの3系統色であり、階調値を63から255の範囲で64ずつ増加させた合計12種類である.これ

らの使用色の中から、系統の異なる 2 色を選出して 組み合わせ、48 パターンの切り替え表示を行った。 また、実験に用いる LCD の切り替え速度は 100 Hz, 120 Hz,144 Hz の 3 種類とした.

実験では、1 種類の切り替え速度で 48 パターンの切り替え表示に対して行う目視評価を 1 セットとし、次のように切り替え速度を変更して 9 セットの目視評価実験を行った(全 432 パターン).

Step1. 切り替え速度を 144Hz, 120Hz, 100Hz の 順に変更する (降順).

Step2. 切り替え速度を 100Hz, 120Hz, 144Hz の 順に変更する (昇順).

Step3. Step1 と同様の順で切り替え速度を変更する

実験に用いたコンピュータおよび LCD は, 2 章における色度計測実験と同一の機器を使用した. また, 実験を行う前に, 被験者に対し視力などに関するアンケート調査を行った. さらに, 身体への影響の有無を把握するため, 実験の前後に体調に関するアンケート

(SSQ: Simulator Sickness Questionnaire[7][8])を行った.なお、本研究は「秋田大学手形地区におけるヒトを対象とした研究に関する倫理規定第6条第2項」に基づいて倫理審査の申請を行い、承認を得た研究計画の下にデータを取得し、これを実験に用いた.

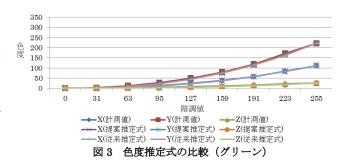


表 2 提案推定式による推定値と計測値における色度ごとの差

/		レッド			グリーン			ブルー	
階調値	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
31	0.59	0.30	0.10	0.41	1.00	0.23	0.18	0.01	1.04
63	1.85	0.95	0.30	1.11	2.98	0.77	0.55	0.13	3.09
95	2.72	1.41	0.55	1.17	3.97	1.36	0.53	0.58	3.18
127	3.48	1.82	0.84	1.01	4.84	2.07	0.30	1.31	2.25
159	3.58	1.86	1.06	0.29	4.68	2.70	0.46	2.38	1.43
191	3.59	1.91	1.15	0.46	4.10	3.07	1.48	3.64	6.41
223	5.42	2.85	0.92	1.83	8.60	3.25	1.08	4.13	3.93
255	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

表 3 従来推定式による推定値と計測値における色度ごとの差

		レッド			グリーン			ブルー	
階調値	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
0	0.33	0.33	0.59	0.33	0.33	0.59	0.33	0.33	0.59
31	0.92	0.63	0.68	0.74	1.33	0.82	0.51	0.32	1.63
63	2.17	1.27	0.86	1.43	3.29	1.33	0.86	0.19	3.66
95	3.01	1.70	1.08		4.26	1.88	0.83	0.29	3.71
127	3.75	2.08	1.31		5.10	2.54	0.56	1.04	2.72
159	3.80	2.08	1.45		4.90	3.09	0.25	2.17	1.04
191	3.75	2.07	1.43	0.30	4.26	3.36	1.32	3.48	6.12
223	5.51	2.94	1.08	1.92	8.69	3.41	0.99	4.04	3.78
255	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

値の差が1未満 値の差が5より大きい

6.2 実験結果および考察

目視評価実験の実験結果を図4および図5に示す。図4は各セットにおける使用色の組み合わせごとに「ちらついている」と回答された数(「 \times 」の数)を表したもので、横軸がセット No.、縦軸が「 \times 」の数を表している。なお、「 \times 」の数が多い例としてNo.28、「 \times 」の数が中間であった例として No.14、

「×」の数が少なかった例として No.41 をそれぞれ 代表例として示している. 図 4 より, 切り替え速度 が高速であるほど「×」の数が減少し, 切り替え速 度が低速であるほど「×」の数が増加している. こ のことは, 切り替え速度を高速にすることで, ちら つきの低減が可能であることを示唆している.

図 5 は、図 4 で示した使用色における組み合わせについて、各サブピクセルと階調値 0(ブラック)との輝度差を示したものである. 「 \times 」の数が最も多い例である No. 28 において、グリーンの輝度差が他の 2 つのサブピクセルと比較して大きいことがわかる.

光の 3 原色において,グリーンは輝度に関する値を保持している.ヒトの視覚は明暗の刺激に対して過敏に反応する特性を有しており [5], 2 つの使用色間における輝度の差が大きい場合に($211.24 \, {\rm cd/m^2}$),ちらつきが認識されやすくなる可能性がある.同様に,No.28 以外のちらつきが多く見られる組み合わせにおいても,1 つのサブピクセルの輝度差が,他の 2 つのサブピクセルと比較して大きい傾向が見られた.なお, $[\times]$ の数が少ない例である No.14,No.41 においては,3 つのサブピクセルの輝度差は小さいことがわかる($No.14:13.08 \, {\rm cd/m^2}$, $No.41:6.91 \, {\rm cd/m^2}$).この結果から,輝度差を考慮した使用色の組み合わせの検討が必要である.

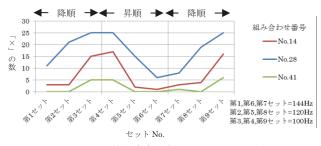


図 4 切り替え速度の変化とちらつきの関係

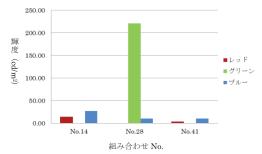


図 5 使用色における各サブピクセルの輝度差[cd/m²]

7. おわりに

本研究では、LCD 上で継時加法混色を行う際に用いる使用色の色度推定方法について検討を行った.また、ちらつきの発生と画像を切り替える速度の関係について目視評価実験を行い、検討を加えた.その結果、本稿で提案する計測値のみを用いた色度推定手法は、従来手法よりも良好に色度を推定可能であることを明らかにした.また、切り替え速度を高速にすることで、ちらつきの軽減が可能であることも明らかにした.しかしながら、使用色におけるである可能性が示されたため、今後は輝度差を考慮した使用色の組み合わせについて検討を行っていく予定である.

最後に, 本研究は, 科学研究費 (C) (No. 15K0014) の助成により行われたことを付記します.

参考文献

- [1] 日本色彩学会: 新編 色彩科学ハンドブック (第3版),東京大学出版会,2011
- [2] C. Ishizawa, N. Araya, Y. Kageyama and M. Nishida: Comparison between Measurements and Estimated Chromaticity of Colors Displayed by Switching Two Colors on a Liquid Crystal Display, Journal of the Institute of Industrial Applications Engineers, Vol. 4, No. 1, pp. 19-25, 2016
- [3] 厚生労働省: 厚生化学省特別研究光感受性発作 に関する臨床研究(速報版), http://www1.mhlw.go.jp/houdou/1004/h0414-2.html, Accessed 2016/1/21
- [4] 情報処理概論: Web サイト, http://www.infonet.co.jp/ueyama/ip/hardware /rgb.html, Accessed 2016/1/21
- [5] EIZO 株式会社: Web サイト, http://www.eizo.co.jp/, Accessed 2016/1/24
- [6] 株式会社スペクトラ・コープ: Web サイト, http://www.spectra.co.jp/colosuke.top.htm, Accessed 2016/1/21
- [7] 椿郁子,森田寿哉,相澤清晴,齊藤隆弘:明滅による不快症状を防止するための映像変換手法,信学論(D), Vol. J89-D, No. 7, pp. 1606-1609, 2006
- [8] SIMULATOR SICKNESS QUESTIONNAIRE (SSQ), http://w3.uqo.ca/cyberpsy/docs/qaires/ssq/SSQ va.pdf, Accessed 2016/1/21

連絡先

秋田大学 石沢千佳子

(Tel.:018-889-2473, E-mail:isizawa@ie.akita-u.ac.jp)

衛星画像データによる鳥海山沿岸海域における 海底湧出地下水の特徴解析

Feature Analysis of Groundwater Discharge Points in Coastal Regions around Mt. Chokaisan, Japan by Using Satellite Image DATA

田村 雅輝 白井 光 高橋 諄丞 景山 陽一 西田 眞

Masaki Tamura Hikaru Shirai Junsuke Takahashi Yoichi Kageyama Makoto Nishida 秋田大学

Akita University

Abstract: The flow of freshwater into the sea, known as submarine groundwater discharge, is a key factor for understanding the hydrological cycle in both sea and land regions. In our previous studies, we have detected groundwater discharge points based on the difference between freshwater and seawater by using the ALOS AVNIR-2 and the ALOS PALSAR data. In this study, we analyzed features appeared in water properties around groundwater discharge points by using ALOS AVNIR-2 data acquired in each season.

1. はじめに

海底地下水の湧出は、陸上と海洋を結ぶ水循環を考える上で重要である[1]. しかしながら、海底湧出地下水の水質・湧出量・湧出位置などは地域ごとに異なる. また、主な調査方法も直接採取に頼らざるを得ないのが現状である. 筆者らはこれまでに、人工衛星 ALOS により取得された AVNIR-2 データおよび PALSAR データを用いて、鳥海山沿岸海域における地下水湧出地点の位置推定、並びに特徴解析を行ってきた[2][3]. その結果、海底地下水の湧出位置推定や特徴解析に ALOS AVNIR-2 データおよび ALOS PALSAR データは有用であることを明らかにした. しかしながら、湧水地点と海水地点の差異を考慮した特徴解析は不十分であるのが現状である.

そこで本稿では、鳥海山の沿岸海域を対象とし、複数の時期に取得された ALOS AVNIR-2 データおよび ALOS PALSAR データを用いて、海底地下水湧出位置、特徴量の季節変動、並びに湧水地点と海水地点における特徴の差異について検討を行った。また、これまでの研究により得られた ISODATA 法による分類結果、専門家より得られた知見、並びに現地調査の結果を併用し、湧水と海水の差異による着目して、海底地下水湧出地点の特徴解析を行った。

2. 対象地域および使用データ

2.1 対象地域

鳥海山周辺の沿岸地域における湧出地下水の存在は、水産業従事者には経験的に知られていたものの、沿岸海域から湧出している地下水に関する検討は行われていないのが現状である。そこで本研究では、鳥海山からの海底地下水が湧出している秋田県にかは市象潟町および山形県遊佐町の日本海沿岸を対象として検討を行った。対象地域を図1に示す。

2.2 使用データ

本研究で用いる AVNIR-2 データは 4 種類の異なる波長域で観測されたバンドデータから構成されるマルチスペクトルデータであり、同一対象領域を観測したデータであっても着目するバンドデータによって得られるデータの特徴は異なる.また、PALSAR データは、海表面水温と大気温度との差が大きいと、海面と大気との間でエネルギー授受が発

生するため、後方散乱係数は大きくなり、海面が白く見える。一方、海表面水温と大気温度との差が小さいと、海面と大気との間でエネルギー授受が見られないため、後方散乱係数は小さくなり、海面が黒く見える[4]. このため、観測時の海表面水温および大気温度によって得られる情報が変化する。本研究では、2008 年 4 月 6 日(春季 AVNIR-2 データ)、2009 年 9 月 20 日(秋季 AVNIR-2 データ)、2009 年 2 月 25 日(冬季 AVNIR-2 データ)に得られた ALOS AVNIR-2 データ、2008 年 3 月 11 日(春季 PALSAR データ)、2010 年 2 月 2 日(秋季 PALSAR データ)、2009 年 2 月 2 日(秋季 PALSAR データ)、並びに 2 10 月 2 日(冬季 PALSAR データ)、に得られた ALOS PALSAR データを検討に用いた。

3. 提案手法

3.1 前処理

リモートセンシングデータは歪みを有するため,GCP (Ground Control Point)を選定し、2次変換[5]により内挿点を求め、3次たたみ込み内挿法[5]を用いて幾何補正処理を行った.次に、以下の領域にマスク処理を施した。



図 1 対象地域 (2009 年 9 月 20 日取得(R,G,B:バンド 3,2,1))

- (1) 海底湧出地点の特徴解析を目的とするため, 検討対象外となる陸域
- (2) 専門家の知見を踏まえ,地下水湧出の可能性 が低いと推測される陸域から約 500m 以上沖 合の範囲

3.2 大気補正

1 回散乱近似による補正手法[5]を用いて, AVNIR-2 データの近赤外域である第 4 バンドデータの情報に基づき,可視波長域である第 1,第 2, 第 3 バンドデータを対象とし大気補正を行った.

3.3 階調変換

2byte(65536 階調)の PALSAR データに対し, 累積度数分布を用いて 64 階調のデータに変換した.

3.4 テクスチャ特徴量の算出

PALSAR データは、単一輝度レベル情報のみを有している.しかしながら、テクスチャ情報[5]を併用することは、輝度レベル情報では判別できなかった状況把握を可能にすると考える.そこで同時生起行列[5]を用いてテクスチャ特徴量を算出し、最も良好な結果が得られたテクスチャ特徴量 mean を以後の検討に用いた.

3.5 ISODATA 法による分類

輝度値の類似度が高い領域ごとに分類するため、ISODATA 法[5]を用いて対象地域の分類を行った.次に、現地調査および専門家の知見による湧水分布状況を基に、海底湧出地下水の影響と推測されるクラスタ(湧水クラスタ)とそれ以外のクラスタ(海水クラスタ)を目視により判定した.

3.6 後方散乱係数の算出

湧水地点と海水地点における特徴の差異について 検討を行うため、湧水クラスタおよび海水クラスタ における後方散乱係数を算出した.なお、後方散乱 係数 σ は(1)式[6]を用いて算出した.

 $\sigma = 10\log_{10}DN^2 + CF \cdots (1)$

ここで, DNは, PALSAR データの輝度値, CFは校 正係数である. 校正係数[6]は, 春季データでは・83.4, 夏季, 秋季, 並びに冬季データにおいては・83.0 であ る.

3.7 領域抽出

季節を通して見られる海底湧出地下水の特徴解析を目的とし、3.5節で得られた分類処理結果を用い、各季節において共通して見られる湧水クラスタ領域および海水クラスタ領域を抽出した. 具体的には、各 AVNIR-2 データの分類処理結果より、湧水クラスタを抽出するマスク画像を作成した. 次に、作成したマスク画像を用い、論理積演算により各季節において見られる湧水クラスタ領域および海水クラスタ領域を抽出し各領域において比較検討を行った.

3.8 加算データの算出

3.7 節より得られたマスク画像を用いて,湧水地点および海水地点から DN 値を取得する.次に,取得された DN 値より各季節におけるバンドデータごとの合計値(加算データ)を算出した.

3.93次元散布図の作成

湧水地点および海水地点における特徴解析を行うため、各バンドデータより取得された DN 値、および作成した解析データを用いて、3次元空間における特徴について検討を行った。なお、第4バンドデータにおける水域の反射率は低いため、解析データより除外した。

4. ISODATA 法による分類結果および考察 4.1 AVNIR-2 データにおける分類結果

各 AVNIR-2 データの分類処理結果を図 2 に示す.なお、クラスタ数を任意の範囲(10~20)で設定しているため、使用するリモートセンシングデータによって、形成されるクラスタ数は異なる。本研究では、専門家の知見により作成した推定湧水分布状況および目視判読結果を基に、海底湧出地下水の影響と推測されるクラスタを"赤色、緑色、青色"などの濃い色で表示し、海底湧出地下水の影響が少ないと推測されるクラスタを"桜色、若緑色、空色"などの淡い色で表示している。以後の分類処理結果も同様である。

この結果,春季 AVNIR-2 データ,夏季 AVNIR-2 データ,並びに秋季 AVNIR-2 データにおいて,海 底地下水湧出地域である小砂川、三崎、並びに釜磯 (図2白枠内) に湧水クラスタが形成されているこ とがわかる. しかしながら、夏季 AVNIR-2 データ は、他時期の分類結果におけるクラスタ数が 10 で あるのに対し、形成されたクラスタ数が 19 と多い ため、湧水の影響とは異なる原因で発生したクラス タが存在していることが示唆された.このことは, データ取得前日に 23mm の降雨があり, 海および河 川における反射特性が変化したことに起因すると考 える. 秋季 AVNIR-2 データでは、釜磯において、 湧出地点とは異なるクラスタ (図 2 黄色クラスタ) が形成されている. この地域には、月光川からの河 川水が流入しており, この河川水は海底地下水湧出 地点における特徴が異なることに起因すると考える.

さらに、冬季 AVNIR-2 データにおける湧水クラスタは、対象地域全体に分布しており、海底湧出地下水の特徴解析が困難であることが明らかとなった、以上の結果は、春季 AVNIR-2 データ、夏季 AVNIR-2 データ、並びに秋季 AVNIR-2 データの分類処理結果は、海底地下水湧出地点の特徴解析に有

4.2 PALSAR データにおける分類結果

用であることを示唆している.

テクスチャ特徴量 mean を用いて分類した結果例を図3に示す.分類の結果,各季節のPALSARデータにおいて,湧水クラスタが小砂川,三崎,並びに釜磯に形成されていることがわかる.このことは,海水と湧水の水温差に起因し,海水地点と湧水地点における後方散乱係数が変化したためであると考える.また,各季節の分類結果において,あるクラスタを囲むように,異なるクラスタが形成されることを認めた.例えば,秋季データにおける三崎地域北

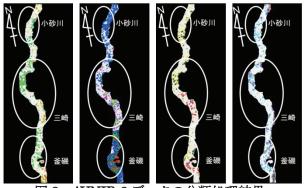


図 2 AVNIR-2 データの分類処理結果 (第 1, 第 2, 第 3 バンドデータ (左から春季, 夏季, 秋季, 冬季データ))

側(図3参照)では、赤色のクラスタを囲むように、緑色、青色、並びに黄色のクラスタが存在している. このことは、PALSARデータにおける分類結果から海底湧出地下水の広がりを判読可能であることを示唆している.

次に、各時期に取得された PALSAR データの分類結果における湧水クラスタの画素数を比較した.この結果、湧水クラスタの画素数はそれぞれ春季データにおいて約15000 画素、冬季データにおいて約16000 画素であり、夏季データにおける約36000 画素および秋季データにおける約23000 画素と比較し、少ないことがわかる.このことは、1月から3月にかけて対象地域における海底地下水湧出量が減少すること[7]、春季データおよび冬季データにおける海水温度[8]と湧水温度との差が小さいことに起因していると考える.

以上の結果は、各 PALSAR データを用いて算出 したテクスチャ特徴量 mean は、海底湧出地下水の 特徴解析に有用であることを示唆している.

5.3次元散布図作成結果および検討 5.1各季節におけるAVNIR-2データを用いた検討

各季節における DN 値の 3 次元散布図を図 4 に示す. 各 AVNIR-2 データにおいて,海水地点と湧水地点では異なる分布を示すことがわかる. また,各バンドで散布図を比較した結果,海水地点と湧水地点において,第 1 バンドデータでは,秋季および祭季 AVNIR-2 データにおいて差異が認められなかった.しかしながら,第 2 バンドデータおよび第 3 バンドデータにおいては,各季節で差異のあることが明らかとなった.このことは,第 1 バンドデータと比較して水域における吸収係数が低い[9]ことに起因し,対流などの湧水以外の影響を含んだ海中の情報を取得したため,湧水による海面状況の差異が第 1 バンドデータでは見られなかったと考える.

一方,第2バンドデータおよび第3バンドデータは,海底地下水の湧昇により海面の塩分濃度が変化し,海水地点と比較して反射特性が異なったため,DN値に差異が生じたと考える.したがって,AVNIR-2データを用いた対象地域における海底地下水湧出地点の特徴解析には,第2バンドデータおよび第3バンドデータが有用であることを示唆している.

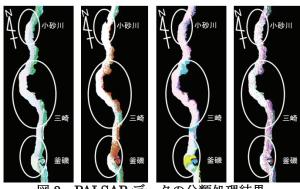


図3 PALSAR データの分類処理結果 (64 階調;特徴量 mean (左から春季, 夏季, 秋季, 冬季データ))

5.2 バンドデータによる季節の特徴に関する検討

AVNIR-2 データ (第 2 バンドデータおよび第 3 バンドデータ)と PALSAR データの比較を目的と し、各季節のデータを軸とした3次元散布図を図5 に示す. なお, 夏季 AVNIR-2 データおよび PALSAR データは取得年が異なるため,本検討から除外した. この結果,各3次元散布図において,湧水と海水の 画素群がそれぞれ生成された. さらに、AVNIR-2デ ータと PALSAR データを比較すると, AVNIR-2 デ ータでは、湧水と海水の画素群がそれぞれ1つずつ 生成されているのに対し、PALSAR データでは各季 節で2つの湧水画素群が生成された. このことは PALSAR データの持つ後方散乱係数の特性(2.2 節 参照)に起因するものであると考える.このため, 対象地域における湧水クラスタの分布について検討 を加えた.具体的には,各湧水画素群のヒストグラ ムを作成し, 各湧水画素群の中央を閾値として設定 した. 次に、閾値以上である地点 (湧水画素群 A) および閾値未満であった地点 (湧水画素群 B) に分 類し、湧水クラスタの分布図を作成した. 作成した 分布図を図6に示す.この結果,湧水画素群Bが三 崎地域の南部において存在していることが認められ る. この理由として,対象地域の海流および地形の 影響が考えられる. なお、海流データについては、 第二管区海上保安本部海洋情報部から日本海北部海 流観測報告書[10]が提供されている.しかしながら, このデータは対象地域よりさらに沖合の日本海北部 を対象としたデータであり、対象地域における詳細 な海流データの取得に至っていないのが現状である. このため, 対象地域内の詳細な海流を測定(算出) する必要がある.

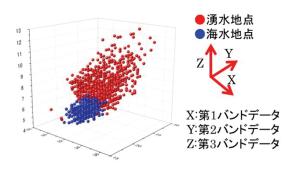


図 4 AVNIR-2 データの 3 次元散布図例 (夏季データ)

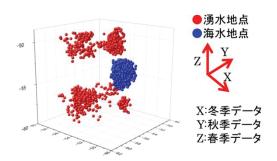


図 5 各季節のデータを軸とした 3 次元散布図例 (PALSAR データ)

5.3 加算データを用いた検討

加算データを用いた 3 次元散布図を図 7 に,加算データにおける分散値を表 1 にそれぞれ示す.この結果,湧水地点および海水地点において異なる画素群が生成された.これは,各季節における湧水地点および海水地点の特徴がそれぞれ強調されたためであると考える.また,湧水地点における分散値に着目したところ,すべてのバンドデータにおいて,海水地点と比較して大きい値を示すことが明らかになった.このことは,海底湧出地点において,海水および漁大び湧水が混在するため,様々な水温および塩分濃度の状態となった結果,DN値にばらつきが生じたと考える.

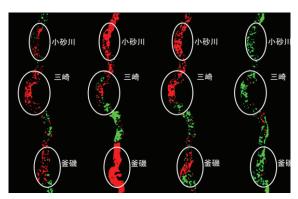


図 6 湧水画素群分布図(秋季 PALSAR データ) ■ 湧水画素群 A ■ 湧水画素群 B

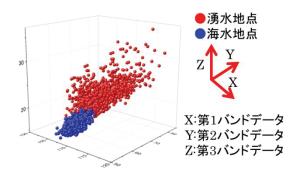


図7 加算データを用いて作成した3次元散布図

表1 湧水地点および海水地点における 加算データの分散値(サンプリング数:1000 点)

パチ / パス						
バンドデータ	湧水地点分散値	海水地点分散值				
1	7.17	1.14				
2	13.64	2.77				
3	7.38	0.89				

6. おわりに

本稿では、ALOS AVNIR-2 データおよび ALOS PALSAR データを使用し、鳥海山沿岸海域における海底地下水湧出位置、並びに湧水地点と海水地点の差異に着目した特徴解析に関する検討を行った。その結果、AVNIR-2 データ(第 2、第 3 バンドデータ)より取得した DN値、並びに後方散乱係数は湧水クラスタおよび海水クラスタで異なる特徴を有し、対象地域における海底地下水湧出地点の特徴解析に有用であることを明らかにした。

最後に、本研究の対象地域における地下水の特性 に関して、有益な御助言を賜っております秋田大学 肥田登名誉教授、現地調査に協力下された秋田県に かほ市象潟町、並びに山形県飽海郡遊佐町の関係各 位に謝意を表します.

参考文献

- [1] 丸井: 海底湧出地下水 -新たな資源としての可能性-, 日本水文科学会誌, Vol. 27, No. 2, pp. 85-94, 1997
- [2] 高橋, 白井, 景山, 西田: リモートセンシングデータを用いた鳥海山沿岸海域における地下水湧出地点の季節変化に関する検討, 日本素材物性学会平成26年度(第24回)年会,14-01,2014
- [3] 白井, 高橋, 景山, 西田: ALOS PALSAR による 鳥海山沿岸海域における地下水湧出地点の特徴 解析, 計測自動制御学会東北支部 第 296 回研究 集会, 296-5, 2015
- [4] 木村, 岡田: PALSAR 画像による見られた九州 近海の海況の特徴, 水産海洋研究, Vol. 73, No. 3, pp. 197-201, 2009
- [5] 高木, 下田(監修): 新編 画像解析ハンドブック, 東京大学出版会, 2004
- [6] 宇宙航空研究開発機構 Web Site: http://www.eorc.jaxa.jp, Accessed 2016/2/5
- [7] 菅原: 秋田県象潟海岸域における地下水の湧出 特性, 秋大地理, Vol.53, pp. 17-20, 2006
- [8] 気象庁 Web Site: http://www.jma.go.jp/jma/index.html, Accessed 2016/2/5
- [9] 新井: 独習 リモートセンシング, 森北出版株式 会社, 2004
- [10] 第二管区海上保安本部海洋情報部 ホームページ Web Site:

http://www1.kaiho.mlit.go.jp/KAN2/kaisyo/houkoku/pdf/04_nihonkai_hokubu.pdf,
Accessed 2016/2/5

連絡先

秋田大学

景山 陽一

(Tel:018-889-2786, E-mail: kageyama@ie.akita-u.ac.jp)

居住者と来訪者の街路景観の印象に関する研究 一テキストデータによる解析—

Study on impressions of streetscapes of residents and visitors
- An analysis by text data-

○野口成紀 ¹,野本弘平 ² ○Naruki Noguchi ¹,Kohei Nomoto ²

1山形大学工学部

¹Faculty of Engineering, Yamagata University ² 山形大学大学院理工学研究科

²Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University

Abstract: In this paper, we deal with impressions of streetscapes and analyze them using text data. The authors carried out an experience in which residents and visitors took a walk freely in a city, took pictures of interesting objects and described the reasons why they thought them interesting. The described text data were analyzed quantitatively and it was revealed that the residents had an impression based on daily experience and the visitors had an impression based on a new experience.

1. はじめに

人は日常的に周囲を見ることで外界の情報を 得ている.しかし見る人の属性により,同じ対象 物でも人によって全く違う印象を受けることが ある.ある光景を初めて見る人にとっては興味深 いものでも,何度も見ている人にとってはありふ れた光景として気に留めない場合もある.街路景 観には様々な情報が含まれているが,見慣れた居 住者と初見の来訪者の間で同じ印象を感じると は限らない.街の魅力を知るためには,居住者と 来訪者の景観の捉え方を把握し,それぞれがどの ような印象を持つかを明らかにする必要がある.

居住者と来訪者の街路景観の印象に関する先行研究として、野本ら[1]は自由散策での経路と撮影写真の構図から両者の違いを明らかにした. 栗田ら[2]はある景観における両者の評価構造の差異を解明した. 直井ら[3]は、住民の様相に着目し、街に対する両者の意識の違いを明らかにした. これまでの研究では、興味対象の比較を撮影写真やアンケートを用いる方法が一般的であり、テキストデータを利用した研究は少ない. しかし、テキストデータを定量的に解析すれば、街路景観の印象についての主観データを客観的に扱うことが可能となる.

本研究は、興味対象について説明した文章のテキストデータを統計的に解析することにより、居住者と来訪者の街路景観の印象の違いを明らかにする.

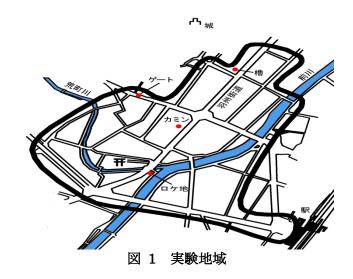
2. 実験概要

実験は山形県上山市中心部で行った.実験を行った地域は図1に示す駅周辺であり、東北に延びる羽州街道沿いに約700m、これと垂直な方向に約600mの範囲である. 期間は2014年の1月から3月の2カ月間であり、少々の降雪、積雪でも実施した.

上山市に3年以上在住している住人を居住者と

し、本実験で初めて訪れる人を来訪者とした.実験協力者は居住者が15名,来訪者が17名である.このうち指定課題を正しく遂行することのできなかった協力者は解析対象から除外し、居住者は12名,来訪者は13名のデータを解析対象とした.

実験協力者に与えられた課題は,60分間指定範囲内を自由散策し、その間興味対象を撮影し、自由散策後に撮影理由を記述することである.実験協力者の自由散策は必ず一人ずつ行い、途中誰かに会っても行動や判断を共にせず、最後まで自分一人で実験課題を遂行するように指示した.



3. テキストデータの解析

3.1. 形態素解析

得られた興味対象の説明文章は、表記のゆらぎを統一して電子化し、テキストデータとした.このテキストデータから言い回しの癖など、興味対象の解析に意味を持たない語をストップワードとして除外し、形態素解析を行った.また、解析に用いた品詞は名詞、動詞、形容詞、副詞の4つである.

3.2. 出現頻度の解析

居住者と来訪者との説明文を併せた中で、出現頻度が10以上の語を図2に示す.

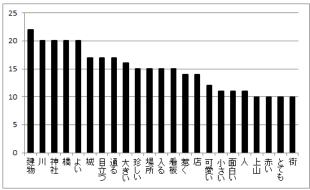


図 2 出現頻度の高い語

これらの出現頻度が高い語について、居住者と 来訪者との出現頻度の比較ができるように、散布 図として示したものが図3である.

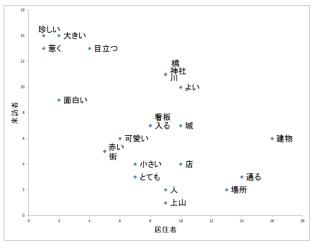


図 3 居住者と来訪者との出現頻度の比較

居住者によく出現し、来訪者にはあまり出現しない語として、「建物」、「通る」、「場所」などの語が挙げられる.一方、来訪者によく出現し、居住者にはあまり出現しない語として、「珍しい」、「大きい」、「面白い」などの語が挙げられる.

3.3. 共起グラフの生成

KH Coder[4]を用いて、居住者と来訪者それぞれの説明文章での出現頻度5度以上の単語について共起頻度を調べた。共出現をカウントする出現先の単位として、各写真の説明文章ごとの単位を用いた。

共起の強さを測る指標としては、Jaccard 係数を用いた、Jaccard 係数は、一対の語が出現した写真の部分集合をu、vとして、

$$Jaccard = \frac{|u \cap v|}{|u \cup v|}$$

で与えられる.本解析では、Jaccard 係数が居住者は 0.09 以上、来訪者は 0.08 以上の値を持つ語の対を共起している語の対として解析対象とした。また、共起頻度が 5 度以上でもこの基準によりどの語とも共出現しない語は、解析から削除された。

以上の処理で得られた居住者、来訪者それぞれの共起グラフを図 4, 5 に示す.これらのグラフにおいてノードの大きさは出現頻度を表し、各語を結ぶエッジ上の数値はJaccard係数を表している.グレーの濃さは媒介中心性の値に対応しており、これについては節を改めて説明する.

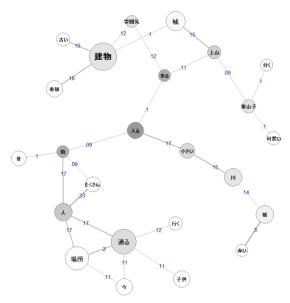


図 4 居住者の共起グラフ

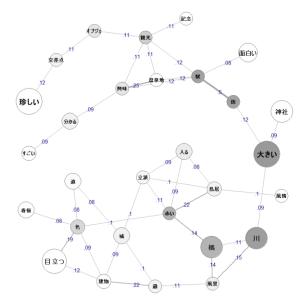


図 5 来訪者の共起グラフ

3.4. 島の生成

共起グラフを用いて、ノードの集まり(島)として概念を見出し、それらを結ぶエッジ(橋)として概念間の遷移を考えることができる。本研究では、大澤の方法[5]を参考に、図 4、5 の双方のグラフにおいて、単連結のパスを切除することで強く結びついた語の島を抽出した。

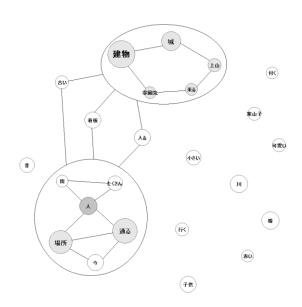


図 6 居住者の島と橋

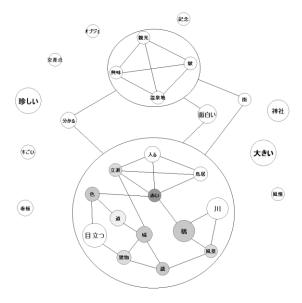


図 7 来訪者の島と橋

居住者と来訪者とで、島内にある各語の媒介中心性(Betweenness centrality)を表 1 に示す、それぞれの 2 つの島のうち、ノードの少ない島を島 1、多い島を島 2 とした.

媒介中心性は、ノード \mathbf{j} と \mathbf{k} の最短経路の数を g_{jk} 、 g_{jk} 上にノード \mathbf{i} を含む数を g_{jk} (\mathbf{i})とすると、

Betweenness centrality (i) =
$$\sum_{i \le k} \frac{g_{jk}(i)}{g_{jk}}$$

で与えられる. 媒介中心性の高い語は, 各島のハブ的な役割を担い, 島の特徴を表す語であると考えられる.

表 1 島内の語の媒介中心性

	居住者		来訪者	
	出現語	媒介中心性	出現語	媒介中心性
	上山	1.00	駅	0.00
白	来る	1.00	温泉地	0.00
島	城	1.00	観光	0.00
1	建物	1.00	興味	0.00
	雰囲気	1.00		
	人	6.00	赤い	22.50
	通る	1.50	色	12.83
	場所	1.50	城	11.33
	今	0.00	橋	10.33
	たくさん	0.00	蔵	9.00
白	街	0.00	立派	7.33
島 2			建物	6.33
			風景	6.33
			道	0.50
			Щ	0.00
			鳥居	0.00
			入る	0.00
			目立つ	0.00

居住者の島1の各語は一本の閉路により結ばれており、各語は平等である。一方来訪者の島1の各語は完全グラフを形成しているので、やはり平等である。このため、双方とも各語の媒介中心性は等しくなり、島を代表する語は存在しない。

一方で、居住者の島2の各語は { 人,通る,場所 } といった語の中心性が高く,街の人に対しての関心や過去に通った場所への印象と考えられる.また来訪者の島2の各語は { 赤い,色,城 } といった語の中心性が高く,赤い色をした橋や鳥居,大きな城などの目立つ対象への印象と考えられる.

3.5. 橋の生成

3.3.で設定した共起頻度の基準を下げ、島内の語と島外の語とで共起するパス全てを考えると、島外の語を媒介として島と島の間に橋を架けることができる。この橋は一方の島の特徴ともう一方の島の特徴を結んでおり、全体の構造にとって重要な位置付けとなる。2 つの島を結ぶ語に対して、以下の操作で橋を作成する。

- 並列のエッジに対しては Max 演算を用いて、 最も大きな共起頻度をその橋の値とする.
- 直列のエッジに対しては Min 演算を用いて, 小さい方の共起頻度をその橋の値とする.

以上の操作によって、各語は1つの共起頻度を持ち、これが2つの島を結ぶ橋となる。表2に橋渡しに使われた語とその橋の共起頻度を示す。また、島と橋を結んだグラフを図6、7に示す。

表 2 橋渡しする語と共起頻度

	出現語	Jaccard
	入る	0.09
	古い	0.08
	看板	0.07
居住者	小さい	0.06
古住有 	昔	0.06
	Л	0.05
	神社	0.05
	店	0.05
	分かる	0.08
	面白い	0.07
来訪者	街	0.07
	オブジェ	0.06
	大きい	0.06

3.6. 島と橋の解析

図6より居住者の島は { 建物, 雰囲気, 来る, 城, 上山 }, { 街, 人, 場所, たくさん, 通る, 今 } の2つであり,前者は上山市に対する観念的なイメージを表しており,後者は散策時に具体的な印象を表している. 橋渡ししている共起頻度の高い3語は{ 入る, 古い,看板 }である.

一方で、図7より来訪者の島は{興味,観光,温泉地,駅}、{目立つ,道,色,建物,城,立派,蔵,赤い,入る,鳥居,橋,風景,川}の2つであり,居住者同様,前者は上山市に対する観念的なイメージを表しており,後者は散策中に感じた具体的な印象を表している.橋渡ししている語は,{オブジェ,分かる,面白い,街,大きい}であり,頻度の高い3語は{分かる,面白い,街}である.

両者の島1を比較すると、居住者は日常の生活で感じている雰囲気やよく見る建物から、街のイメージを形成している.一方来訪者は観光地として、駅や温泉地といった観光資源から、街のイメージを形成している.

両者の島2を比較すると、居住者は自身の経験から、過去と現在を対比した印象を表している. 一方来訪者は初めて見る街の風景や建物など、新しい体験に基づいた印象を表している.

両者の橋渡ししている語を比較すると,居住者は日常的に見ている建物や場所から,歴史ある伝

統的な街の印象を持っていることが分かる.一方 来訪者は新しい体験から街の面白さや魅力を見 出しており、その土地ならではの目立つものによ く反応することが分かる.

このことから、居住者は日常の生活に基づいた 街の印象を持ち、来訪者は新しい体験に基づいた 街の印象を持つことが明らかになった.

4. おわりに

居住者と来訪者との街路景観の印象の違いを、 興味対象について記述したテキストデータから 解析した.観光誘致側である居住者が、観光に訪 れる来訪者の興味対象の特徴を掴んだ街興しを 行うことで、街の魅力をより伝えることができる と考えられる.今後、本実験で得られた撮影写真 のデータとの照合も行いながら、居住者と来訪者 の興味対象の違いについての規則性を明らかに していく計画である.

参考文献

[1] 野本弘平, 丸山昴:街の印象に関する居住者と来訪者の比較,日本知能情報ファジィ学会論文誌, Vol.27, No.2, pp.561-569, 2015.

[2] 栗田英治, 松森堅治, 山本徳司:地域住民及び地域外住民による棚田景観の認知・評価構造, 農村計画学会誌 27 巻論文特集号, 2009 年 2 月

- [3] 直井岳人,十代田朗,飯島祥二:観光地としての歴史的町並みにおける地元の生活の様相
- 訪問客のまなざしの対象と、それに対する住民の評価-,公益社団法人日本都市計画学会都市計画 論文集, Vol.48, No.1, 2013年4月
- [4] 樋口耕一: 社会調査のための計量テキスト分析 一内容分析の継承と発展を目指して一, ナカニシヤ出版, 2014
- [5] 大澤幸生: チャンス発見のデータ分析―モデル化+可視化+コミュニケーション→シナリオ創発, 東京電機大学出版局, 2006

連絡先

野本弘平

E-mail: Nomoto@yz.yamagata-u.ac.jp

街の価値あるものを発見する能力(セレンディピティ)と注意配分

An ability to discover something valuable in a town (serendipity) and distribution of attention

○佐藤大介 Daisuke Sato 佐藤亮 Ryo Sato 野本弘平 Kohei Nomoto

山形大学工学部 Faculty of Engineering, Yamagata University 山形大学工学部 Faculty of Engineering, Yamagata University 山形大学大学院理工学研究科 Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University

Abstract: Some people find something valuable when they walk in a town, but other people pass by without noticing the value. The ability to discover the something valuable by chance is called serendipity. Though it looks "by chance", the people who find the something valuable may have a specific pattern of distribution of attention certainly. This paper deal with the serendipity and the distribution of attention based on experimental data and quantitative analysis.

1. はじめに

近年,街おこしや観光開発など,観光客や旅行客の 来訪をうながすために街や観光地の魅力の再発見や 街単位,地域単位での特別性の確立に力をそそいで いる.こうした魅力や特別性を定め,外へ売り出して いくのはそこで暮らす居住者であり,観光客や旅行 客などの来訪者ではない.

野本らは、世間に広く認知された観光資源や誰もが見たいと強く望むような魅力を有する町ではなく、身近な街において普段は見過ごされている潜在的な魅力資源の発見を目的とし、長年の居住経験をもつ居住者とその地を初めて訪れる来訪者との間で興味や注意の向け方について分析した. [1]

伊藤は新宿御苑という観光名所において,来訪者 グループ毎にカメラを渡し苑内の好ましい風景を撮 影させ,印象に残ったものについてアンケートをと るという実験を行い,苑内の好まれる景観を,撮影場 所・視対象・構図から分析した. [2]

また,松本らは視覚的・景観的好印象を街路空間の魅力とし,これの大小が歩行速度にどのような影響を及ぼすのか分析し,街路空間の魅力と歩行速度との間に強い相関があることを明らかにした. [3]

以上の先行研究は,魅力資源や印象深い対象が静 的に存在することを前提としているが,本研究で検 討したいことはその魅力を発見する能力である.

街や観光地を歩く際,セレンディピティが高く魅力ある対象を見つけ出す人と,それに気づかずに通り過ぎる人とがいる.

本研究ではこの街の魅力ある存在を見出す人の行動・認知・感性に関する無意識の規則性を明らかにすることを目的としている.

2. 実験内容

実験参加者にウェアラブルカメラを装着した状態で指定ルートを歩行してもらい、その過程で興味を持った対象をカメラで撮影してもらうという実験を

行った.

2.1 実験参加者

実験参加者は,山形大学工学部に通う 19歳~26歳までの大学生および大学院生 35名である.

2.2 実験ルート

実験地は,山形県米沢市中央 4 丁目周辺のルートとした.このルートの総距離は約 1.1 kmであり,図 1 に示すようにコミュニティセンターの会議室から出発し.一周して再びそこに戻るものである.

この実験ルート沿いには古めかしい店や住宅,裁判所,公園などがあり,大通り以外は車両の通行も少ない閑静な環境である.



国土地理院の電子地形図にルートを追記して記載

この実験ルートの歩行に要した時間は平均 18 分 27 秒,標準偏差 2 分 34 秒であった.

2.3 概要

実験参加者には,実験開始前に北部コミュニティセンターの会議室において,実験や参加条件などの説明を行った.

なお,この実験は筆者等の所属する機関の実験倫理審査を受審し,合格したものである.

歩行実験において実験参加者の後ろを実験企画者 が追従し実験ルートを指示した.

また,実験開始地点に移動する前にウェアラブルカメラ・デジタルカメラ・メモ用紙・バインダーを配布した.

ウェアラブルカメラは歩行中の実験参加者の頭の 向きを録画するものである.また,実験参加者にはで きるだけ積極的に見たもの・感じたことを発話もら い.その発話を同じウェアラブルカメラで録音した.

実験ルートを歩行中に興味を持った対象をデジタルカメラで撮影してもらった. 撮影枚数には 10 枚以上30枚以下という条件を付けた.

メモ用紙・バインダーは実験参加者が歩行中にメモをするためのものである.

実験終了後,実験参加者と実験企画者とで再び会議室へ移動し,実験参加者に全ての撮影写真について撮影した対象(以降,撮影対象)を記述してもらった.また,撮影した写真から10枚を選択(以降,選択10枚)してもらい,10枚それぞれに対し2種類のセレンディピティ評価をしてもらった.撮影した写真の枚数は平均14.7枚,標準偏差4.2枚であった.

更に,選択した 10 枚の中から特に心象に残ったもの・興味を持ったもの 2 枚選択してもらい,人に紹介する文章を書いてもらった.

その間,実験企画者はウェアラブルカメラの映像と音声を確認し,何を見ているか,何を発話しているか解らなかった箇所を確認した.実験参加者の2種類のセレンディピティ評価終了後,ウェアラブルカメラの映像と音声をみながら実験企画者が解らなかった箇所を実験参加者と確認した.この確認の様子はボイスレコーダーで記録を行った.

全タスク終了後,実験参加者のプロファイルを記入してもらい,インセンティブを渡し実験終了とした.

3. セレンディピティの評価

セレンディピティは価値ある対象をみつける能力のことである.

しかし,その価値を考えると,他人が何と言おうとも自分が確信できる価値と,多くの人が共感してくれる価値とがある.

したがって本研究ではそれらを区別して,前者の価値を発見する能力を自己価値セレンディピティ,後者の価値を発見する能力を共感価値セレンディピティと呼ぶことにする.

3.1 評価法

自己価値セレンディピティの評価方法は以下の問に答えてもらうことにより評価した.

Q1. あなたが撮影した写真はどのくらいの価値があると思いますか?

以下の選択肢から最も当てはまるものを選んで番号 を記入してください.

- 1. 10年に1回見つけられるくらいの価値 (5点)
- 2. 1年に1回見つけられるくらいの価値 (4点)
- 3. 1ヶ月に1回見つけられるくらいの価値(3点)
- 4. 1週間に1回見つけられるくらいの価値(2点)
- 5. 1日に1回見つけられるくらいの価値 (1点)

共感価値セレンディピティの評価方法は以下の問 に答えてもらうことにより評価した.

Q2.あなたが撮影した対象をみんなに紹介したいと 思いますか?また,それに賛同があると思います か?

- 1. みんなに紹介したいと思うし,多くの人がそれに賛同 してくれると思う (4点)
- 2. みんなに紹介したいと思うし, 賛同してくれる人もいると思う (3点)
- 3. みんなに紹介したいと思うが, 賛同してくれる人がいるかどうかはわからない (2点)
- 4. みんなに紹介するほどではない (1点)

なお,実験参加者がこれらの評価を行う際の質問 用紙には,カッコ内の各点数は表記していない.

3.2 評価結果

自己価値セレンディピティについて,各評価得点のついた写真が全体で何枚あるかを図2に示す.

この分布は単峰性山なりとなった.

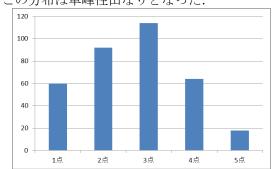


図2 自己価値セレンディピティに関する各評価得点の選定数の分布

共感価値セレンディピティについて,各評価得点 のついた写真が全体で何枚あるかを図3に示す.

この分布は高い評価が少ない傾向を示した.

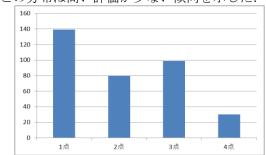


図3 共感価値セレンディピティに関する各評価得 点の選定数の分布

3.3 自己価値セレンディピティと共感価値セレン ディピティとの関係

前節を受け,自己価値セレンディピティと共感価 値セレンディピティとの関係を,実験参加者ごとに まとめたそれぞれの合計獲得点数から解析した. 図 4に両者の相関分布を示す.

決定係数 \mathbb{R}^2 が約0.12であることから,両者の間に 相関は認められず,本研究におけるセレンディピテ ィについて, 自己価値セレンディピティと共感価値 セレンディピティとを2つの独立した指標として扱 えることが分かる.

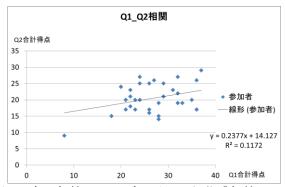
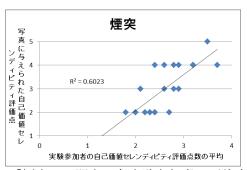


図 4 自己価値セレンディピティと共感価値セレン ディピティとの相関分布

3.4 自己価値セレンディピティの高い人ほど価値 を認める対象

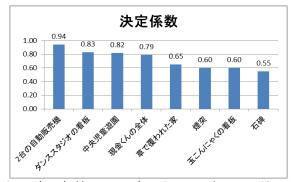
各実験参加者が選択した 10 枚の写真の自己価値 セレンディピティの平均とその撮影対象に与えた評 価点数との関係を解析した.

例として造り酒屋の煙突に関して,横軸に各実験 参加者の平均自己価値評価点数を取り、縦軸にその 実験参加者が煙突の写真に与えた自己価値評価点を 取り,両者の相関分布として図5に示す.



「煙突」に関する各実験参加者の平均自己価 値評価点数とその実験参加者が煙突の写真に与えた 自己価値評価点との相関分布

この相関図は、自己価値セレンディピティの高い 人ほど煙突の写真を高く評価していることを表して いる. その度合いは決定係数^{R2}として定量化される ので,同様の解析を各撮影対象について行い,その値 の上位のものをまとめて図6に示す.



自己価値セレンディピティの高い人の注目対 象(決定係数 0.5 以上のもの)

自己価値セレンディピティの高い人が注目してい る度合いが上位の図 6 に示される対象について,実 際に撮影された写真の例を図7~図14に示す.



2台の自動販売機 図8ダンススタジオの看板



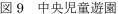




図 10 現金くんの全体



図 11





図 12 造り酒屋の煙突

図 13 玉こんにゃくの看板

図 14 石碑

3.5 共感価値セレンディピティの高い人ほど価値 を認める対象

3.4 と同様に、各実験参加者が選択した 10 枚の写 真の共感価値セレンディピティの平均とその撮影対 象に与えた評価点数との関係を解析した.

例として裁判所に関して,横軸に各実験参加者の 平均共感価値評価点数を取り,縦軸にその実験参加 者が裁判所の写真に与えた共感価値評価点を取り, 両者の相関分布として図15に示す.

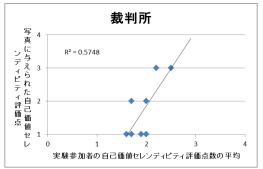


図 15 「裁判所」に関する実験参加者別計共感価値 評価点数と撮影対象別個共感価値評価点数との相関 分布

この相関図は、共感価値セレンディピティの高い人ほど裁判所の写真を高く評価していることを表している。 その度合いは決定係数 R^2 として定量化されるので、同様の解析を各撮影対象について行った。 その値が図 6 に示した値 0.5 以上であったものは裁判所のみである。 よって裁判所の決定係数 R^2 のみを図 16 に示す.

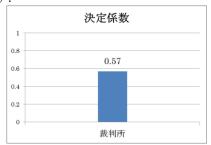


図 16 共感価値セレンディピティの高い人の注目 対象(決定係数 0.5 以上のもの)

共感価値セレンディピティの高い人が注目している度合いが規定値を超えた図 16 に示した対象について,実際に撮影された写真の例を図 17 に示す.



図 17 裁判所

3.6 価値ある対象の分布

3.4 で示した自己価値セレンディピティの高い人が注目した対象と 3.5 示した共感価値セレンディピティの高い人が注目した対象とについて,それぞれの存在位置を図の番号で図 18 に示す.



図 18 価値ある対象の分布 国土地理院の電子地形図にルートを追記して記載

4. おわりに

本研究は,街の価値あるものを発見する能力と注意配分との関係の解明を目的としていた.

自己価値セレンディピティの高い人が注目している対象は,裏通りや地味なところに存在する日常生活に根付いている,または普段の生活でよく目にするといった平凡なものであることが分かった.

今後は,写真の構図的法則や歩行中の実験参加者の発話,撮影理由,写真の紹介文などのデータを解析に加え,さらに無意識のセレンディピティについて解明していく計画である.

参考文献

[1]野本弘平, 丸山昴: 街の印象に関する居住者と 来訪者との比較, 知能と情報(日本知能情報ファジィ学会誌), Vol.27, No.2, pp.561-569, 2015

[2]伊藤弘:新宿御苑における好まれる景観と印象に残るものの関係, ランドスケープ研究, Vol.68, No.5 Landscape Research Japan, pp.463-466, 2004

[3]松本直司, 櫻木耕史, 東美緒, 伊藤美穂: 街路の 魅力と歩行速度の関係, 日本建築学会計画系論文集 Vol.77, No.678, pp.1831-1836, 2012

連絡先

山形大学大学院理工学研究科情報科学分野 野本 弘平

TEL: 0238-26-3332

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 26 回ソフトサイエンス・ワークショップ

(並行開催:平成27年度東北支部研究会)

発行日: 2016年3月5日

発行者: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 26 回ソフトサイエンス・ワークショップ実行委員会

実行委員長/プログラム委員長 藤本勝成(福島大学)