

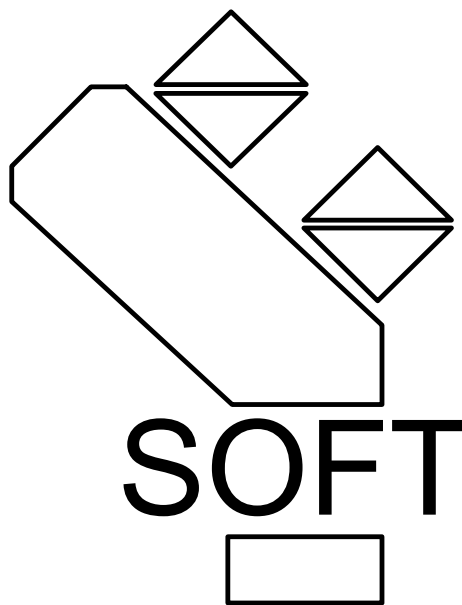
日本知能情報ファジィ学会・ソフトサイエンス研究部会

第 22 回ソフトサイエンス・ワークショップ

講演論文集

2012 年 3 月 9 日（金），10 日（土）

専修大学 神田キャンパス



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

協賛：日本知能情報ファジィ学会評価問題研究部会、

E S A（教育システム解析）研究会

ワークショッププログラム（目次）

1日目 2012年3月9日（金）

1A セッション 司会 小田 哲久

- 13:00-13:20 ファジィ理論の色彩への応用 ----- 11
菅野 直敏（玉川大学）
- 13:20-13:40 色彩系列に対する人間の感性情報のファジィ理論的分析 ----- 15
広瀬 亮太（玉川大学），石原 敏弘（玉川大学），菅野 直敏（玉川大学）
- 13:40-14:00 イチョウの黄葉と都市の微気候について（III） ----- 19
松原 健太（法政大学），松田 修三（法政大学），小沢 和浩（法政大学），
但馬 文昭（横浜国立大学），宮武 直樹（千葉科学大学）
- 14:00-14:20 銀コーティングナノワイヤーの太さと屈折率の測定とプラズモン効果（2） -- 23
但馬 文昭（横浜国立大学），西山 善郎（横浜国立大学），松田 充夫（大島商船高等専門学校）
宮武 直樹（千葉科学大），松田 修三，小沢 和浩（法政大学）
- 14:20-14:40 身体部位名称想起時における脳内部位活動について ----- 27
田中 良典（北海学園大学），山ノ井 高洋（北海学園大学），大槻 美佳（北海道大学），
豊島 恒（ジャパン・テクニカル・ソフトウェア），大西 真一（北海学園大学），
山崎 敏正（九州工業大学）

2A セッション 司会 但馬 文昭

- 14:50-15:10 ファジィ理論と自己組織化マップを用いた検索アプリケーションの開発と評価 -- 29
宮川 智成（東海大学），佐松 崇史（東海大学）
- 15:10-15:30 拡張ファジィ論理におけるIFSとHLSの比較（第2報） ----- 33
—IFS 領域内データに対する線形含意演算の比較—
黄 曉玉（愛知工業大学），小田 哲久（愛知工業大学）
- 15:30-15:50 自立生活支援ロボット ----- 37
王 碩玉（高知工科大学），石田 健司（高知大学），藤江 正克（早稲田大学）
- 15:50-16:10 Formulation of Linear Regression Model for Linguistic Random Data ----- 39
和多田 淳三（早稲田大学）
- 16:20 - 17:20 特別講演 司会 稲井田 次郎
理性と霊性 ―超越的なものへのアプローチの試み― ----- 1
石浜 弘道（日本大学）

2日目 2012年3月10日（土）

3A セッション 司会：井上 勝雄

- 9:00 - 9:20 理学療法士・作業療法士等のコミュニケーションスキル項目の検討 ----- 43
奥田 裕紀（金城大学）
- 9:20 - 9:40 ファジィ測度の優加法化，劣加法化と単調化 ----- 47
高萩 栄一郎（専修大学）

9:40 - 10:00	ファジィ数の定義についてⅢ-----	51
	稲井田 次郎 (日本大学), 白川 幸子 (日本大学), 御前 憲廣 (日本大学)	
10:00- 10:20	ファジィ論理のほとんど全て (24) -ファジィ含意三考-----	55
	中島 信之 (富山大学名誉教授)	
4A セッション 司会 北垣 郁雄		
10:30 - 10:50	BGMの記憶作業への影響—認知心理学的アプローチ— -----	59
	小此鬼 肇 (長岡技術科学大学), 中村 和男 (長岡技術科学大学)	
10:50 - 11:10	モバイル端末を用いたカーボンフットプリントの蓄積と提示-----	61
	金田 一希 (長岡技術科学大学), 永森 正仁 (長岡技術科学大学), 中村 和男 (長岡技術科学大学)	
11:10 - 11:30	音楽聴取による走者心拍数のファジィ制御-----	63
	原 隆幸 (立命館大学), 亀井 且有 (立命館大学)	
11:30 - 11:50	固有空間における姿勢変化からMWLをとらえる-----	67
	増島 和貴 (長岡技術科学大学), 中村 和男 (長岡技術科学大学)	
4B セッション 司会：藤本 勝成		
10:30 - 10:50	感性空間を用いたデザインサポートエージェントの実現に向けて-----	69
	宰川 潤二 (筑波大学), 鬼沢 武久 (筑波大学)	
10:50 - 11:10	PCマウスの視覚的使いやすさ感の比較研究 -----	71
	井上 勝雄 (広島国際大学), 中村 直樹 (広島国際大学)	
11:10 - 11:30	見解間の距離を平均化する集団意思決定法の提案-----	73
	大木 真 (熊本高等専門学校), 室伏 俊明 (東京工業大学)	
11:30 - 11:50	2部ネットワークにおけるファジィ集合を用いた重複コミュニティ 発見手法の比較と考察-----	77
	小島 亮一 (東京工業大学), 室伏 俊明 (東京工業大学)	
5A セッション 司会 中村 和男		
13:00 - 13:20	英語スピーキングのためのeラーニングと評価-----	81
	北垣 郁雄 (広島大学)	
13:20 - 13:40	AICに対する補正量とデータ数の影響-----	85
	小西 幹彦 (広島国際大学), 奥田 徹示 (大阪工業大学)	
13:40 - 14:00	ファジィ温度制御のSOMによるパラメタの決定と外乱の影響-----	89
	松田 充夫 (大島商船高等専門学校), 但馬 文昭 (横浜国立大学), 宮武 直樹 (千葉科学大)	
5B セッション 司会 中島 信之		
13:00 - 13:20	Admissibleな選好と階層型の菅野積分とChoquet積分-----	93
	藤本 勝成 (福島大学), 菅野 道夫 (European center for Soft Computing)	
13:20 - 13:40	グレード付きイルノウ集合とその計算-----	97
	乾口 雅弘 (大阪大学)	
13:40 - 14:00	Type-2ファジィ真理値の複素ベクトル表現とその応用 (2) -----	101
	荒木 智行 (広島工業大学)	

特別講演

理性と霊性——超越的なものへのアプローチの試み

Reason and Spirituality —Attempt on the Approach to Transcendence

石浜弘道(日本大学)

Hiromichi Ishihama (Nihon University)

Abstract

Humans are destined to ask metaphysical questions as Kant mentioned in his book, "Critique of Pure Reason". From the viewpoint of a history of idea, people have tried to think hard about the question, that is the soul, the world, God on reason for hundreds of years. But we have not found many ideas that everyone can agree on. Even so, our abilities and knowledge increase every day, and found spirituality in ours as the answers we are looking for. At the same time, spirituality was sent by Transcendence. Now I would like to prove this holy faculty through traditional religions and mysterious philosophers.

禁断の木の実を食べて以来私たち人類は、形体化できないもの、感覚器官のセンサーにかからないもの、超越的なもの、いわゆる形而上の世界を何らかの方法でとらえようとしてきた。それを想定し考え把握し、さらに認識しようとすることは私たちの願いであり、見果てぬ夢であった。それを手に入れることによって、私たちは神と同じ知的レベルに達しようとしたのである。だがそのアプローチは、思想家たちの膨大な時間と努力にもかかわらず、空しい試みであった。これをカントは次のように語っている。

「人間理性はその認識のある種類において特殊な運命を持っている。それは、人間理性が、拒絶することはできないが、しかし答えることもできないいくつかの問いによって悩まされているという運命である。拒絶することができないというのは、それらの問いが理性自身の本生によって人間理性に課せられているからである。答えることができないというのは、それらの問いが人間理性自身のあらゆる能力を超え出ているからである。」

(カント『純粋理性批判』AVII)

カントが語っている「問い」とは形而上的世界への問いであり、その答えを見つけることは不可能とわかっていても、理性の宿命として私たちは問い続けることをやめるわけにはいかないのである。そして当然のごとく、理性はこの問題解決に苦慮し、挫折していったのである。

確かに人間理性（知性）ではそれを捉えることは不可能であった。しかし人間にはさらに別の、より根源的な能力があるのではないか。それが人間のさらなる能力・方法論、*analogia*、*Symbol*、*Chiffre*、*Offenbarung*であり、理性に代わって形而上の世界を捉えるため新たに提出されたものであった。だがこれらも基本的には、4番目を除き理性をベースとしたものであり人間的制約が強すぎて、形而上的世界、特に宗教の世界を真に捉えるには十分とは言い難い。

これらの能力の問題点を浮かび上がらせながら、それらの能力が躓いた諸原因を克服しつつ、形而上の世界を正面から捉える役目を期待されたのが、今日話題となっている *spirituality*、*Geist*、いわゆる霊性である。これは私たちに内在する、しかし私たちの能力を超えたものであるゆえ、理性およびその他の能力の力不足を補うことができるのではないかと考えられる。そこで理性その他の能力の限界を明確にすることから、形而上的世界（特に宗教）に関する霊性の優位な働きをみてみたい。

I、理性の挫折

カントはこれまでの理性による形而上学へのアプローチに対して、それがことごとくに失敗した経過およびその原因を詳細に述べ、そこから理性によってはそれを捉えることは不可能でありつつも、理性によるわずかな接点を語る。彼は理性による形而上学の認識がことごとく失敗した原因は結局理性の越権にあったとして、伝統的に形而上学の対象であった魂、宇宙、神がその認識において挫折したことを論証する。有名なく誤謬推理＞ ＜アンチノミー＞ ＜神の存在証明批判＞である。

1 ＜誤謬推理＞心理学的理念

本来、認識対象に適用すべき悟性のカテゴリーを、魂という理念に適用してしまった。しかし魂はあくまでも思惟の所産であって経験の対象ではない。にもかかわらずこの魂を理性によって認識しようとしたところに大きな間違いが生じたのである。よってそこから結果した魂の性質＜単一性、単純、実体、非物質的＞は客観的な知識ではなく信仰の事柄なのである。

2 ＜アンチノミー＞宇宙論的理念

理性は上記と同様の過ちを宇宙（世界）という理念に対しても犯してしまった。その結果同等の資格を持つ反対の主張（定立、反定立）がともに成立することになってしまったのである。その一つを見てみると、「世界は時間的に有限か無限か」という理性の問いに対して次のような二つの主張が共に成立する。

定立—「世界は時間的に有限」と考えた場合、その反対が成立しないということからこの命題が正しいことをカントは語る。もし「世界は時間的に無限」となると、それは現在まで無限の時間が経過したことになる。しかし 無限とは時間が完結していないことであるが、現在ということは時間が完結しているであるゆえ、ここに矛盾が生じる。よって世界は時間的に有限となる。

反定立—「世界は時間的に無限」も同様に考えると、もし「世界は時間的に有限」となると、世界の始まり以前は物の存在しない空虚な時間となるが、空虚な時間においては物の生起は不可能であるゆえ先ほどの「有限」ということは成立しなくなり、結果的に世界は時間的に無限 となる。

こうして定立（有限）と反定立（無限）がともに成立してしまうのである。

3 ＜神の存在証明批判＞神学的理念

同様の理性の適用は神の存在証明に対してもむけられる。その一つ、「神の存在論的証明批判」についてみると、「神の存在論的証明」とは、神という概念を分析することによって、その内に「完全な存在」という神の特徴が含まれている。よって「完全は存在を含む」ということから「神は存在する」ということが結果する。ところが、この証明における神という概念の分析から結果する「存在」は、「である（判断の繫辞）」であって「がある（実在的述語）」ではない。よって、神の存在を証明するものではないというのがカントの批判である。

こうした理性の誤った使用、つまり形而上の世界が認識対象として実在し、それを僭越にも認識しようとした、「理念の構成的使用」という理性の間違った使用 である。それが実在し、世界を構成していると見る。よって認識の対象であるとしたのである。これに対して理性の正しい使用とは「理念の統制的使用」であり、あたかもそれが存在するかのように世界を見ることによって世界が統一的にみられるというだけなのである。こうして形而上的世界を捉えようとした理性（知性）の試みは、カントによってそれが悉く不可能であるということに決着したのである。（注 1）

では如何にしてこの形而上的世界を把握することが可能であろうか。思想家たちはそれに関して理性による試みとは異なる新たな方法論を展開した。ここではその主だったものをあげてみよう。トマス・アクィナスやカントによる *analogia*、エルンスト・カッシーラーによる *Symbol*、カール・ヤスパースによる *Chiffre*、カール・バルトによる *Offenbarung* である。次にこれらを概観したい。

Ⅱ、種々の試み

1、*analogia* (類比)

それは既知(有限)のものによって未知(無限)のものを推論しようとする思考法である。しかしその場合、既知のものに未知のものが制限、つまり有限なものに無限なものが制限されるというのがその欠点である。歴史上トマス・アクィナスを始め多くの思想家が神をアナログ的に把握しようとした。特にカントは現象相互間の因果関係をもととしてそこから現実の実体とのアナログにより形而上の世界を考えたのである。彼が試みたのは、理性認識の要求に基づき経験の諸対象からのアナログによる神の開明であった。このアナログ的の神把握とは、諸対象から「神そのもの」を究明するのではなく、現象間の関係に導かれて「諸対象と神との関係」をアナログ的に解明するということである。つまり質的に異なるもの(経験的諸対象と超越的な神)間に成立するアナログは関係としての把握であり、それは諸対象に関わるかぎりにおいての神解明であって、神そのものの本質解明ではない。いわば関係という窓を通して神の一面が把握されるにすぎないのであり、よってそこで把握された神は関係の一方の項である諸対象に制約され、諸対象の性質の延長線上に描かれたものとなり、神そのものの本質解明としては不十分ということになる。カントはアナログによる神把握のこのような限界を知りつつも、これが人間理性がその能力のぎりぎりにおいて可能な試みであったことを語っている。(拙書『カント宗教思想の研究』北樹出版 2002 年第 1 章)

2、*Symbol* (象徴)

十字架がキリスト教を、ハトが平和を間接的に示すように、象徴は象徴されるもの・形而上的なものを具象的なものによって表現する。それを文化の領域で体系的に展開したのが新カント派の哲学者エルンスト・カッシーラーである。

「言語や神話や芸術において私たちに立ち現れてくるシンボルの記号は、まず存在して、次にその存在を越えてさらに一定の意味を手に入れるというのではなく、その記号にあっては一切の存在が意味からはじめて生まれてくるのである。その内容はすべて完全に意味機能の一部になってしまっている」。このようにカッシーラーは象徴にその本質的あり方として、存在に対する意味的機能、客観化の機能の優位性を語ることににより文化の世界を確立した。(カッシーラー『シンボル形式の哲学(1)』生松敬三、他訳、岩波文庫1989年、31、81頁)

カッシーラーに代表される文化的象徴論、その悟性的解釈、それは解釈する自分と解釈される対象とを分離し、対象を客観的に解釈しようとするものである。だがそこから結果したものは、解釈者の手段と化した内容、実質を伴わない空しいこの世の偶像ではないか。そこに現れた象徴は平面的で有限ないわば記号化した象徴であろう。よって、彼の象徴論は文化の世界を解明したが、さらにその奥深く存在する宗教の世界までも解明できたと言いうるであろうか。

3、*Chiffre* (暗号)

象徴的な働きを実存との関係で徹底させることにより、暗号という形で超越者の世界を把握しようとしたのが実存主義の哲学者カール・ヤスパースである。

「暗号は超越者の言語として、限界の存在であり、この言語において超越者は人間に近くあるが、しかし超越者そのものとしてではない。暗号としての私たちの世界はそれをあますところなく解読(lesen)させてはくれない。超越者は、その遠隔の存在からのように疎遠な力としてこの世界へ入ってきて、そして実存に話しかける。超越者は実存に近寄るが、暗号以上のものを示すことはない」(K. Jaspers, Philosophie III, Metaphysik, 1932, Springer-Verlag, S. 164、鈴木三郎訳『形而上学』創文社 1971 年参照)。

ヤスパースの立場は、私たちの生が限界状況に直面し、それを主体的に引き受けるという実存的自由において開示されてくる超越者に触れるとき、超越者は暗号として私たちに提示され、それを私たちは主体的に解読するのである。同時にこの暗号の現れ方そのものが私たちの実存的態度にかかっており、私たちがこの暗号にいかに対処するかによって私たちの実存が決定され、自己の根源が覚知、現成されるという。(Jaspers, Der philosophische Glaube angesichts der Offenbarung, R. Piper, 1962, S. 485ff)

だが神学者カール・バルトが批判するように、ヤスパースの「超越者」は「非常にしばしば、人々は神とすることを語り、しかもこの暗号で持ってたただある何か、すなわち、あの、内容のない、無益で、根本においてひどく退屈な、いわゆる超越者のことが考えられている。それとは違い聖書の神は、被造物に対するご自分の義と栄誉を主張し、守り、回復し、また被造物の義とその栄誉を主張し、守り、回復するという意図を持って、働きかけ、語りかける神である」(K. Barth, Die Kirchliche Dogmatik III /4, Theologischer Verlag, 1998, S. 549f)。ヤスパースの暗号の神は、バルトが指摘するような、活ける、救いの神とはなりえないのではないかという批判に対して、彼はどのように答えるのであろうか。あるいはこれが哲学からのアプローチの限界なのであろうか。

4、Offenbarung,(啓示)

理性ではなく信仰のみによって、つまり、すべてを神にゆだねることで、答えは啓示という形で神から一方的に、無条件に来る、答えはすべて神の言葉・『聖書』にあるということを主張するのが、キリスト教の神学者カール・バルトである。

「創造者としての神は世界とは異なる。つまり、神はそのものとして、人間が被造物として直接認識しうるものの領域には属さない。神が私たちに開示された神として自ら現れないなら、神について私たちはいかなる言葉も語ることはできないし語るべきではない。人がそれを聖書の思いとして把握したとき初めて、そこで、神が自ら啓示したということ、つまり、神が私たちに具体的となった(形態)ということの聖書の言表の範囲を人が概観する」(K. Barth, KD. I /1, 1981, S. 338)。バルトにとり神の言葉・啓示は、ただ、聖書や説教という書かれ語られた言葉を聞くことからのみ知ることができるというわけである。よって、それがいかに感動的なものであっても、神の言葉・啓示である神人キリストを語らないとすれば、単なる人間世界の高貴な一面にすぎず、神の啓示とは何の関わりもないということである。

だが、バルトのように啓示によって神的世界を語ろうとすると、どうしてもキリスト教のみに限定され、さらに「神の言葉」という特殊啓示に限定されてしまう。そこから結果するのは、それ以外のものの啓示の可能性の排除である。多様な形に現れるであろう神の示しがすべて否定され、ただ『聖書』のみからくる「神の言葉」・「啓示そのもの」から表出した「形態」のみが唯一の正しい基準となるという狭い見解である。

このようにそれぞれ方法論による形而上学へのアプローチにはきわめて優れた点もあるが、バルト以外はほぼ人間的領域に左右され、純粋に形而上的世界を解明するには困難がともなう。一方、バルトの場合は確かに神を神から語ることでその本質を捉えようとするのではあるが、キリスト教神学の枠内で妥当する論述であるゆえ、その枠を越えた領域への説得力は弱いのではないか。そこでこれらを克服し宗教の世界を解明しようと

するのが spirituality の論理である。(拙書『霊性の宗教』北樹出版 2010 年第 2 章)

Ⅲ、spirituality (霊性)

1、霊性とは何か。

霊性は各宗教で語られてきたものであるが、それをどのように定義するかに関してはそれぞれの立場によって定義づけが異なり、定説と云うものを提供しにくい。ここでは議論のための足掛かりとして、多くの研究者に支持されている、スピリチュアルケアを行っている窪寺俊之の定義をから考えたい。

「スピリチュアリティとは人生の危機に直面して生きる拠り所が揺れ動き、あるいは見失われてしまった時、その危機的状況で生きる力や、希望を見つけ出そうとして、自分の外の大きなものに新たな拠り所を求める機能のことであり、又、危機の中で失われた生きる意味や目的を自己の内に新たに見つけ出そうとする機能のことである。」(窪寺俊之『スピリチュアルケア入門』三輪書店 2000 年、13 頁)

私も「自分の外の大きなもの」「自己の内」をキーワードとするこの定義にほぼ賛成であるが、私はスピリチュアリティを「機能」と云うよりも、自己の内外にある超越的な能力としてとらえたい。それが具象化された場合は①実体的な霊性とみなされ、純粋な力あるいは私たちの能力として考えた場合が②精神的な働きとしての霊性となると考える。

① 実体としての霊性は、霊魂、神霊、幽霊、精霊、霊界、オーラ、守護霊等々として、各宗教や神話、霊能者によって語られてきた。代表的な霊能者としてはルドルフ・シュタイナー、スウェーデンボルグ、最近では江原啓之があげられる。

② 精神的な働きとしての霊性は、主に、聖なるものの内にある属性としての能力、また私たちの聖なる世界に関わる能力である。それを語る代表的な人物をあげると、イグナチオ・ロヨラ、アビラの聖テレサ、鈴木大拙、パウル・ティリッヒ、カール・ヤスパース(注 2) があげられよう。

ここでは①の「実体としての霊性」を語ることは、それを否定するものではないが、それがしばしばオカルト的なものとなったり、錯覚や思い込みと混同したり、精神分裂病的な表象となったり、あるいは出来事の原因や失敗をこのような不可思議な存在のせいとすることで根本的な解決や責任を回避しようとするなど、その究明には種々の多様な側面からの考察が必要であるが、今回の思想的把握という観点からはその内容が逸れるゆえに別の機会としたい。

それに対して②の「能力としての霊性」は、私たちが「豊かな人生をおくる」ための宗教の実践方法として導入されていることが多い。そこで先ほど紹介した霊性を語る人物の中から、パウル・ティリッヒ(キリスト教神学者)、鈴木大拙(仏教学者)、さらに鎌田東二(神道系宗教学者)の指摘を手がかりとして、キリスト教、仏教、神道の霊性の共通な特徴を考えたい。

2、霊性の特徴

(1)キリスト教的霊性

ティリッヒによると、spirit、spirituality という言葉は「息」「風」を意味するヘブライ語の רוּחַ あるいは נְשָׁמָה、ギリシア語の πνεῦμα に由来するものと言われている。日本語では霊とか霊性あるいは精神と訳されている。

「主なる神は土の塵で人を形づくり、その鼻に命の息を吹き入れられた。人はこうして生きる者となった」(創世記 2 : 7)、「神の霊が私を造り、全能者の息吹が私に命を与えるのだ」(ヨブ記 33 : 4)、「イエスは娘の手を取り、『娘よ、起きなさい』と呼びかけられた。すると娘は、その霊が戻って、すぐに起き上がった。」(ルカによる福音書 8 : 55)

この聖書の箇所から推察できるように、霊性は生命性、創造性を基本的な特徴とする。西欧においてはやが

て、この靈性が mind(心)、intellect (知性) という意味にシフトしていった。そこでは靈性と肉体が分離し、元來靈性に含まれていた力の要素が失われ、知性的要素がその中心となった。よって生きた現実の力が表現されず、知的抽象的側面に限定されたのである。こうして、靈性の豊かな内容を捨象する傾向が強められ、靈性は肉体に対するものとしての精神へと狭められた。さらにその精神から意志や感情が分離され、単なる認識機能として、理性や知性とほとんど同義となってしまった。だが元來靈性は理性と異なりエロースを含み、情熱を含み、想像力を含んでいる、とティリッヒは指摘する (P.Tillich, Systematic Theology III, Uni. of Chicago Pre., 1976, p.21-24)。

彼にとって靈性とは、単に人間の諸能力に並ぶ一能力ではなく、それらすべてを含む豊かな能力であり、しかもそれは生命を与え、創造し活動する生ける力である。

(2) 仏教的靈性

仏教学者鈴木大拙は靈性が宗教の本質を捉えるのに不可欠であると語る。彼はその著『日本的靈性』の中でその働きや特徴を次のように述べる。「靈性を宗教意識と言ってよい。——宗教については、どうしても靈性ととも言うべき働きが出てこないといけないのである、即ち靈性に目覚めることによって初めて宗教がわかる」(鈴木大拙『日本的靈性』岩波文庫 2006 年 17 頁)。

「日本的靈性の情性的發展というのは、絶対者の無縁の大悲を指すのである。無縁の大悲が、善惡を超越して衆生の上に光被してくるゆえんを、もっとも大胆にもっとも明白に闡明してあるのは、法然—親鸞の他力思想である。絶対者の大悲は惡によりても遮られず、善によりても拓かれざるほどに、絶対に無縁—すなわち分別を超越しているということは、日本的靈性でなければ経験されない」(前掲書 25 頁)。

大拙によると、靈性と類似の概念である精神が肉体と対をなすことで二元論的なものとみなされるのに対して、靈性はそれらを超えるものであるという。「精神を物質に対峙させるのではなく、精神と物質との奥に、いま一つなにかを見なければならない」。大拙は精神を靈性に近い用いられ方をする概念としてあげてはいるが、精神は物質と対峙する概念であり、いわゆる対象論理的な概念である。これに対して、靈性はそれら二つの奥にあり両者を包括・融合するものとして、対象論理では捉えられない主客の彼方にある世界であり、高次の能力である。つまり靈性とは、精神の 4 つの能力(感性、情性、意欲、知性)に続く第 5 の能力ではなく、それぞれの精神的作用をその「真実性」において感受させる働きである(前掲書、16 頁)。こうして靈性は 4 つの能力がその真の働きをするよう、それらを背後で支え高める隠れた働きなのである。

ティリッヒの靈性が精神的諸能力をすべて含む生きた現実の力であるのに対して、大拙の靈性は精神の諸能力を真に活動させ活性化させる根源的な力であるということで、両者は一見異なる内実を持つものとみなされる。だがともに肉体・物質をも視野に入れ精神の諸能力と関係し、精神では到達しがたい宗教的深みに関与しうる能力という点で通底していると考えられる。

(3) 神道的靈性

神道における靈性の問題を考える場合、第一に取り上げなければならないのは、『古事記』、『日本書紀』をめぐる靈性の叙述である。この点に注目したのが江戸時代の国学者、本居宣長とその流れをくむ平田篤胤であろう。ただ問題は靈性に関する記紀の箇所は最初に登場する二神(高御産巢日神とかみむすびのかみと神産巢旦神とかみむすびのかみ)にのみ現れ、これをいかに解釈するかにその考察の中心が置かれている点である。

本居宣長はこの点を次のように語る。

「産巢日(むすび)は、字は皆借字(かりもじ)にて、産巢(むす)は生(むす)なり、其れは男子女子(むすこむすめ)、又苔の牟須(むす)など云牟須にて、物の成出るを云。日(び)は、書記に産靈と書かれたる、

霊の字よく当てり、凡ての物の霊異（くしび）なるを比と云、高天原に坐々（ざしざす）天照大神を、此地（くに）より瞻望（みさけ）奉りて、日と申すも、天地間に比類（たぐい）もなく、最（もとも）霊異に坐が故の御名なり。——されば産霊とは、凡て物を生成（な）することの霊異なる神霊（みたま）を申すなり。——さて世間（よのなか）に有（あり）とあることは、此天地を始めて、万（よろづ）の物も事業（こと）も悉に皆、此二柱の産巢日大御神の産霊に資（より）て成出るものなり。されば世に神はしも多（さは）に坐（ざせ）ども、此神は殊に尊く坐々て、産霊の御徳申すも更なれば、有（ある）が中にも仰ぎ奉るべく、崇（いつ）き奉るべき神になむ坐ける」（本居宣長『古事記伝（一）』岩波文庫 2003 年 179 頁～）

宣長は『古事記』の初めに出てくる三神のうちの高御産巢日神と神産巢日神を他の神々よりも重視し、さらにそれらをそれぞれ高御産霊日神、神産霊日神と『日本書紀』に従って解説し、そこから神の万物を生み出す霊的な産出力や生成力を読みとろうとする。

この神の霊的な力が私たちを生み出すだけではなく、さらに私たちにも本質的なものとして備わっていると考えたのが平田篤胤である。

「時に吾身観を作せ。わが身はこれ産霊神（むすびのかみ）。風・火・金・水・土(五大)を聚結し、而てその至善の霊性を分賦し玉へるものなり。身は遂に5大に帰り、ただ霊性のみ、無窮の吾なり。然るにすなわちわが身は天地と同体にして、わが神魂はすなわち産霊の神の分神、一切諸神霊祇と一切有情物と同根なり。然らば則ち吾が身は、即ち一箇の久延彦（くえひこ）なり。誰（た）が神か。誰が霊か。吾が願力を満たさざらんと。かくのごとく堅固に観（かん）しまわり、而して一点の妄想無く、目に惟（た）だ神の現形（げんけい）を観て、諸の物を見ず。耳に惟だ吾が呪声（じゅせい）を聞きて、諸の声を聞かず。手を拍ち、額を突く。稜威（いつ）を乞ひ吞むこと十遍。また手を拍ち、額を突きて祝詞を読む。」（『密法修事部類稿』平田篤胤全集 第 11 巻名著出版 1977 年 759 頁）。

平田篤胤は、わが身が産霊神の霊性を分与された分神であるとして、神と人間はその根底において霊性を有するゆえに同根であるという。つまり、人は本来、産霊神の霊性を受けて生まれたものであり、同じ能力、同じ善なる本性を部分的に受け継いでいる。私たちは神の分神であり、諸神霊祇と一切有情物とは同根なのである。それゆえ、私たちを含む生物はすべて肉体としては死後消滅するのに対して、この神に基づく霊性は私たちに本質的なものであり永遠であるとする。これによって私たちは久延彦（智の神）なる神と一体であるという境地にまで至る。鎌田東二によると、平田篤胤は吾身観という神道行法を編み出し、それを熱心に実践した人である。つまりこの行法によって、このような「神の現形を観る」境地に達した、久延彦なる神と同体であると観想したのである。（鎌田東二『神道のスピリチュアリティ』作品社 2003 年 195 頁～）

以上より三者に共通の霊性の特徴を考えると、

- ①神の霊性としては、万物を生み出しそれに命を与える根源的な生命力
- ②対象的知性を包む根源的な知性
- ③私たちの霊性としては、神との接点を持ちそこから神と同根となりうる神的能力であり、神的存在から与えられた霊性を何らかの行法によって強化発展させ、神的存在と一つとなる能力

という点をあげることができる。それは前述した窪寺俊之の定義を宗教的方面から補強するものと考えてよいであろう。

IV 霊性の覚醒・強化

私たちの内なる霊性を覚醒させ高めるには種々の方法があるが、各宗教によって編み出された修行方法として体系化されたものも多い。ここではまず行の立場から分類してみよう。

1、行の方法からの分類

声の行—読経、念仏、唱題、呪言、マントラ、祈り、聖歌

手の行—鉦、木魚、太鼓を打つ・叩く、両手をリズムカルに振る、たまふり、写経、印相

足による行—神社・寺院への参り、山岳登拝、聖地巡礼、回峰行、パワースポット

体による行—座禅(黙照禅、看話禅)、水垢離、火渡り、荒行、断食、礼拝(サラート)、数息観、ヨーガ、掃除(床拭き、ごみ掃除、トイレ掃除)

心の行—観法(日想観、水想観、九想観)、瞑想、八正道

道の行—、礼儀作法、武道(合気道、少林寺拳法、柔道、 - -)、芸道(茶道、華道、日本舞踊、 - -)

2、体系化された修行方法

イスラム教—五行①信仰告白シャハーダ ②礼拝サラート ③断食サウム ④喜捨ザカート ⑤巡礼ハッジ
仏教—八正道の実践、法然の唱名念仏、禅宗の座禅、十牛図、日蓮の御唱題、密教の四度加行しどけぎょう
(十八道行法、胎蔵界行法、金剛界行法、護摩行法)

キリスト教—イグナチオ・デ・ロヨラの『霊操』における4週のプロセス、(罪の認知と痛恨、キリストの救済活動の観想、キリストの受難の観想、キリストの復活の観想)

ヨーガの八支則(禁戒、勸戒、坐法、調息、制感、執持、静慮、三昧)

ヘーゲルの『精神現象学』(意識一般、自覚、理性、精神、宗教、絶対知)(注3)

(脇本平也『宗教学入門』講談社学術文庫1998年221頁～参照)

V、上記の実践による意識の昇華(霊性の深化)

上記の修行方法は、ロヨラの『霊操』のように、魂の昇華へと導くことを意図して編み出されたものが多い。素朴な意識から始まり、最終的な境地に導かれるのである。それをヴェーダーンタの哲学や唯識のように詳細に段階を追って考えることも必要ではあるが、あまりに一宗派の修行方法にこだわると煩瑣になりやすいので、ここでは簡単に、宗教学者梶尾直樹の4段階(身体、心、魂、霊)の分類に沿って意識の昇華を考えたい。(梶尾直樹『スピリチュアリティ革命』春秋社2010年51頁～参照)

1、身体的レベル

私たちは物理的身体であるゆえ生命維持、自己保存がその中心的活動である。さらに経済活動の原理がこの線上で発展するとともに、科学技術により豊かな社会が実現した。一方、盲目的な利益追求第一主義となって社会を席卷する場合もあり、結果的に人間疎外や環境破壊の主なる原因となってきた。便利で快適な生活を求める私たちの欲望を満たすため、理性(科学的知性)が多くのエネルギーや原材料を使い大量生産や技術革新や新製品の開発という形で、この功罪に関わってきたことは事実である。このレベルでは霊性はまだほとんど覚醒していない状態であろう。(注4)

2、心的レベル—心理学の対象 :

目先の身体的レベルの利己的な欲望から離れて、私たちは自然・地球、宇宙、大自然といった私たちが包む大いなるものを感じる意識がある。そうした大いなるものに生かされて私たちは生を営んでおり、守られているという意識である。霊性がその一步を歩み始めた段階であろう。この大いなるものへの意識は、神や仏という人格的なものを感じることで、宗教文化の世界を形成してきた。明確に神仏を感じなくとも何か大いなるもの、非日常的な感覚、不可思議なものの存在や運命的な力を感じる場合もこれに当たる。

さらにこの意識が高まることで、大いなるものを身近に感じ、それとの一体感を感得する場合がある。これがいわゆるエクスタシーである。だが、これは修行だけではなくドラッグやセックスによっても得られることがあり、オウム真理教はこの意識の高揚のためにこれらを一部用いた教団であった（キリストのイニシエーション、タントラヤーナ）。宮崎駿『トトロ』に描かれた神霊的存在(トトロ)と子供との関わりなどもこの意識において起こったとみることができる。

3、魂的レベル

ここは自他の一体性、自分が社会や環境と一体であるという霊性のレベルである。自然との一体感（環境）、他人との深い絆（社会）、先祖や神的存在への崇敬（宗教）など、この段階は自己と他者との一体感の意識であり、神仏等大いなる存在、絶対的存在の具体的な顕現の体験である。そこではまた、予知や身体離脱、託宣や啓示などのメッセージが伝達される。種々の宗教の霊能者、つまりシャーマンや旧約聖書の預言者たちが活躍した領域である。ただ、禅宗ではこの世界を「魔境」と呼び、不完全な悟りとして、その慢心や思い込みを警戒する。

4、霊的レベル—悟りの世界

大いなるもの、神仏、絶対的存在との合一の意識であり、自己が絶対者の中に溶け込む体験であると同時に、絶対者が自己の中に入った意識であろう（青年空海の虚空蔵菩薩体験）。意識の究極的な境地であり、仏教の空、古代インド哲学の梵我一如、キリスト教の生ける神との神秘的合一の意識（パウロが語る「内なるキリスト体験」）として語られたものである。私たちはこの具象的な姿をイエスや親鸞に見ることができる。それは霊性を完全な形で体得しそれを実現した境地である。

VI、霊性を十全に体得し霊の境地に生きた人々——イエス、親鸞、平田篤胤

・神の霊に全く捕えられ、それに純粋に徹底的に生きたイエス。イエスは「神の霊の現臨によって全く捕えられていた。つまり、神が彼の内に存した。このことが彼をキリストとした」。このようにティリッヒは神と一体となったイエス、つまりキリストを語る。キリストは神の霊の完全な体现者である。

・阿弥陀仏の大霊を自らの個霊に反映した親鸞。大拙にとって、「宇宙の大霊は、個己の霊性の最も受容性に富んだものの上に、自らを反映するものであると。それゆえ偉大なる個霊は、超個霊の反射鏡であるといつてよい。親鸞聖人の偉大なる個霊はこれをなしたのである」。霊性の最も鋭い親鸞において、超個霊が歴史的に現出し得たのである。大拙は親鸞をして「超個霊の個霊化」と語る。

・平田篤胤は「吾身観」という行法によって久延彦（智の神）なる神と一体となった境地を語る。それは「一点の妄想無く、目にただ神の現形を観て、諸の物を見ず。耳にただ吾が呪声を聞きて、諸の声を聞かず」の境地である。彼の語る神道的行法は、神的な「霊性の分賦」がその根底にあるということ、つまり人間の芯の部分が神的霊性であるということに基づき、修行によって神との一体化が可能となるということである。

VII、私たちの霊性的生き方——愛

霊性の覚醒・昇華が神・仏との一体化を目指すものであるなら、ティリッヒにとってそれは愛、つまり「他者との合一」として語られたものである(STⅢ,p.134-)。つまり、霊的レベルとは愛に満たされた世界、愛による他者との全き合一の世界であろう。仏教はこれを相即相入と語る。ここでいう他者とは他人であり、異文化であり、異国であり、人間以外の生物をも含むと考えよう。愛とはこの拡大された他者観との合一という考え方である。そしてさらにそれは他者を思いやる心、他者の立場に自分が立つ、共存という生き方としても働く

ものであろう。

形而上的な世界のみならず、今日の精神的に不安定な諸状況をみると、これまで文明社会をリードしてきた理性のみをもって私たちが今後も生きていくことには限界があろう。このような困難の中にあればこそ、これを克服するためには、他者との共生、さらには合一という新たな世界観を築きあげる霊的レベルの生き方・考え方がますます重視されるべきであろう。(注5)

《注》

- 1、カントは認識のレベルでは形而上学の構築の不可能を説いたが、道德の世界において新たな形而上学を打ち立てた。だがさらにその中心となる宗教・神をも道德的に捉えてしまったことに、彼の道德形而上学の限界があった。
- 2、ヤスパースの哲学には直接 **Geist** についての宗教的な論述はないが、彼は充実せる「絶対意識」として、愛、信仰、空想を語り、その内容がティリッヒの語る霊性と類似することから、その一人として挙げておきたい。
- 3、ヘーゲルの『精神現象学』における意識一般から絶対知へのプロセスは、修行方法というより精神の弁証法的展開とその分析である故に意識の進化発展と考えられ、この分類に当てはまると考える。
- 4、心理学や脳科学もこの領域の世界である。つまり表層意識、自己と他者の分別、感覚、知覚、情動、規則などを認識対象とする領域である。だが身体の世界に心理学や経済活動までも含めることはあまりにも大雑すぎるかもしれない。心理学等を考える場合、この領域を細分化することも必要であろう。
- 5、私たちは自らの内に眠っている、あるいは萌芽の状態にある霊性を、修行僧のように前述した行法の体系的な実践によって覚醒、昇華することはなかなか困難である。だがその一部でも生活の中に取り入れ、実践することは可能ではなかろうか。例えば、議論中に切れそうになった時に深呼吸を数回繰り返す(数息観)、心が乱れた時パワースポットに旅する(巡礼)、自分の住んでいる地域のゴミ拾いをする(掃除)、一日一回静寂な時間を持つ(瞑想)、お経を読む、讃美歌を歌う、癒し系の曲を聴く、数珠を身につける、自給自足やエコライフ、プチ菜食主義(断食)、などである。これら、先人が築いた行法を自分なりに改良し行い易くすることにより、それらを繰り返すこと、できれば仲間とすることで私たちの心が自分を取り戻し、対立と不安から宥和と平安へと、諸困難を克服する道が新たに開かれるのではないであろうか。

ファジィ理論の色彩への応用

Application of Fuzzy Set Theory to Color System

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 the color triangle. This system can process a fuzzy input to a color triangular system and output the center of gravity of three weights associated with respective grades. Three membership functions are applied to the color triangle relationship. By treating three coordinates 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. The differences between fuzzy input and inference output are described, and the relationship between inference outputs for crisp inputs and inference outputs for fuzzy inputs are shown in this paper.

1. はじめに

Sivik は色相を指定するのにファジィ集合に似た表現を使っている[3]. ここでは、ファジィ理論を用いたあいまいさを表現する方法およびあいまいさを計算する方法[1]として、ファジィ理論の色彩への応用について詳しく報告する.

本稿では、加法混色を用いたカラートライアングル (Color triangle) 上でのファジィ表現手法について紹介する. 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) と円錐形のファジィ入力との関係を調べる[7],[8]. カラートライアングルは色相と彩度の関係を示していて[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, このカラートライアングル上のあいまいな色の集合を明らかにするものである. このようなシステムはあいまいな色の属性情報の近似推論値を決めることができる. このファジィ理論的なアプローチは人間があいまいにしている色彩の情報処理などの応用に有効である.

2. カラートライアングルと加法混色

加法混色は異なる2色あるいは3色の光を混ぜるときに起こる. 赤 (Red), 緑 (Green), 青 (Blue) の3色の加法混色ですべての色彩 C をつくることができる. 一般に色ベクトルは三刺激値 (R : 赤成分, G : 緑成分, B : 青成分) と呼ばれる量と方向により次のように示される.

$$\vec{C} = \vec{R} + \vec{G} + \vec{B} \quad (1)$$

これは RGB カラーモデル (Color model) と呼ばれる. このコンセプトは平面図 (図 1) によって表すことができる.

このカラートライアングル平面 (ドット部分) の座標 (r, g, b) はさまざまな色彩を指定することができる. 座標により与えられる位置は色をつくる R (赤成分), G (緑成分), B (青成分) の量に対応している. カラートライアングルの中央を指定する座標は3原色を等量に混合した場合を表し, 各成分が最大するとき白 (W) になる. このような表記は色度図と

呼ばれる. これは色相と彩度で表され, 明度はない[2],[4]. カラートライアングル上で, R (赤成分), G (緑成分), B (青成分) の比率が色彩を指定し, 3つの属性の和は 100% に等しい.

ここで, 色ベクトルの方向のみを表すために色度 r, g, b は以下のようになる.

$$r = \frac{R}{R+G+B} \quad (2)$$

$$g = \frac{G}{R+G+B} \quad (3)$$

$$b = \frac{B}{R+G+B} \quad (4)$$

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

方向であるから三刺激値の比で示され, 式 (5) に示されるように和が 1 となる[10].

図 1 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. このようにほぼ全ての色は正三角形 RGB の中に示すことができる.

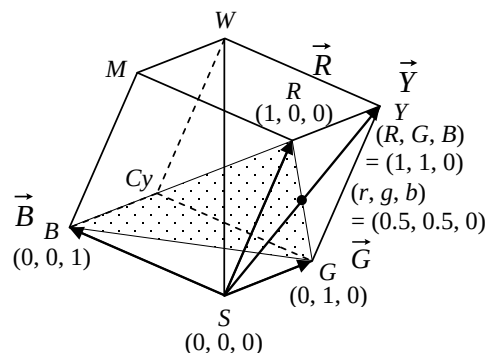


図 1 カラートライアングルと加法混色

3. 色相のファジィシステム

ここでは, カラートライアングル上の RGB シス

テムを考える. 図2のように主要色としての赤(Red), 黄(Yellow), 緑(Green), 青緑(Cyan), 青(Blue), 赤紫(Magenta), 白(White)は R, Y, G, Cy, B, M, W のように省略する. 図3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. これらの座標は $(r_1, g_1, b_1), (r_6, g_6, b_6), (r_{11}, g_{11}, b_{11}), \dots$ が選ばれ, r_n, g_n, b_n は n 番目の色の各座標である (n は No.). 中心部分に, No.34, No.35, No.42 があり, これらの中に右上の詳細図にあるような7色 (No.101-107) が含まれて, 中央に No.104: W がある. つまり, 3.3%区切りに色座標をとり, 加法混色を用いて各色成分を合成すると白を含んだトライアングルができる. ただし, 白を含むものを示すには 496 色が必要となる. その一部を図3右上に示す.

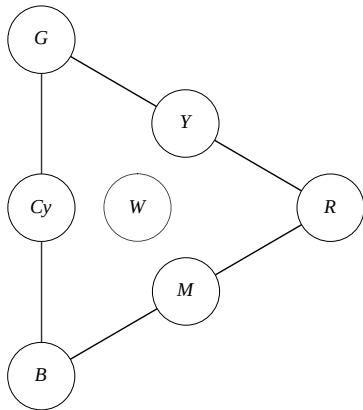


図2 カラートライアングルと主要色

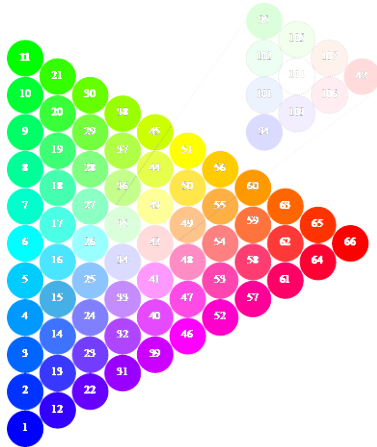


図3 66色のカラートライアングル

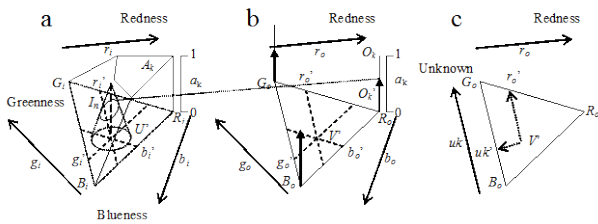


図4 色相のファジィシステム

図4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 ($R_i G_i B_i$) の中線方向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4a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とを意味している. 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स्प集合 O_k (後件部), およびファジィ出力 O' を示している. 図4aは三角座標 (r_i, g_i, b_i) で, 図4bは三角座標 (r_o, g_o, b_o) で, 図4c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.

$$R^1: \text{if } U \text{ is } A_1 \text{ then } V \text{ is } O_1 \quad (6)$$

$$R^2: \text{if } U \text{ is } A_2 \text{ then } V \text{ is } O_2 \quad (7)$$

$$R^3: \text{if } U \text{ is } A_3 \text{ then } V \text{ is } O_3 \quad (8)$$

ルール $R^k: \text{if } U \text{ is } A_k \text{ then } V \text{ is } O_k$ ($k=1, 2, 3$), ここで k はルール番号である. $U=(r_i, g_i, b_i)$ 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स्प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' は縦矢印で示されている. もし入力が A_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, $\alpha_k=A_k(U')$, ここで $k=1, 2, 3$ である.

2) ルール R^k の出力で, 出力クリस्प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स्प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.

$$O'=\alpha_1 O_1 \cup \alpha_2 O_2 \cup \alpha_3 O_3 = O_1' \cup O_2' \cup O_3' \quad (9)$$

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, $V'=(r_o', uk')$ はグラフィカルな座標上のファジィ集合 O' の重心である. uk' は線分 BG 上の値 (B からの距離) である.

赤の入力ファジィ集合 A_1 (前件部) は次のメンバーシップ関数により特徴付けられる.

$$\mu_1(r_i, uk) = r_i s; \quad r_i < \frac{1}{s} \quad (10)$$

$$\mu_1(r_i, uk) = 1; \quad r_i \geq \frac{1}{s} \quad (11)$$

ここで, s は射影 (Projection) の傾斜であり, 0.02 から 0.03 の範囲となる. 図7上の右上がりの2つの斜線の傾きを示す.

また, 緑と青のメンバーシップ関数は図5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.

表1はカラートライアングル上の色の三角座標における入力ファジィ集合 A_k のメンバーシップ値 $\mu_k(r_i', g_i', b_i')$ を示している. $\mu_k(r_i', g_i', b_i')$ は $\mu_k(r_i', uk')$ に等しい. このメンバーシップ関数 μ_k は7色 (R, Y, G, Cy, B, M, W) のメンバーシップ値に基づいている. この値はグレード (Grade) として図5に示す.

表 1 主要色のメンバーシップ値 $\mu_k(r_i', g_i', b_i')$

Color	Color coordinate			Membership value μ_k		
	r_i'	g_i'	b_i'	$k=1$	$k=2$	$k=3$
B_i	0.0	0.0	100.0	0.00	0.00	1.00
Cy_i	0.0	50.0	50.0	0.00	1.00	1.00
G_i	0.0	100.0	0.0	0.00	1.00	0.00
M_i	50.0	0.0	50.0	1.00	0.00	1.00
Y_i	50.0	50.0	0.0	1.00	1.00	0.00
R_i	100.0	0.0	0.0	1.00	0.00	0.00
W_i	33.3	33.3	33.3	1.00	1.00	1.00

図5は W_i を含んだ形のファジィ集合で示されている。ここで、上部の平面は菱形のような形状をしている(表1と図7参照)。斜面を形づくる式(10)で、平面上部を形づくるは式(11)で表される。

図6aは B, Cy, M を含むカラートライアングル上の21色のファジィ入力($I_1-I_6, I_{12}-I_{16}, I_{22}-I_{25}, I_{31}-I_{33}, I_{39}-I_{40}, I_{46}$)を示している(他の45色は描かれていない)。ファジィ入力は円錐形ファジィ集合で形づくられ、ファジィ集合は互いに重なり合っている。円錐形ファジィ集合の底面(円形)は隣の底面の中心を通るように作られている。図6bはaの円錐形ファジィ集合に付けられた番号を示し、この番号は0.5レベル集合の上部に示されている。色名はNo.1: B , No.6: Cy , No.46: M である。

図7は入力ファジィ集合 A_k (前件部)の底面としてカラートライアングル(下半分)を示し、あいまいな66色の円錐形ファジィ入力(I_1-I_{66})の1色が示されている。 $k=1$ (Redness)で、射影 $\text{Proj}(A_k)$ の台形斜線部分は式(10)で示される。傾きが大きい直線($s=0.03$)は Cy_i ($\mu_k=0$)と W_i ($\mu_k=1$)間の射影を、傾きの小さい直線($s=0.02$)は B_i ($\mu_k=0$)と M_i ($\mu_k=1$) (あるいは G_i と Y_i)間の射影を表している(表1と図5参照)。Redness軸上の $\text{Proj}(I_{24})$ は下から投影することによりできる円錐形ファジィ入力(I_1-I_{66})の射影の1つである。

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(図7右下参照)。一致度 $\alpha_k' = \text{Height}(A_k \cap I_n)$ で決まる。もし入力がクリスプであれば、 α_k' はダッシュのない α_k と書くことにする。 $\text{Proj}(O_k)$ は頂点 R_0 における後件部のクリスプ集合 O_k の射影である(図4b参照)。 $O_k' = \alpha_k O_k$ は後件部の R_0, G_0, B_0 における各重み(Weight)と考えることができる。これら三角形の頂点にある3本の矢印をファジィ集合とみなし脱ファジィ化(非ファジィ化)する。

4. 色相ファジィシステムの出力

あいまいな色がファジィシステムに入ると何が起るのか。このシステムはあいまいな色彩の入力データを単一色の出力データに変換することができる。たとえば、図7でNo.24の円錐形ファジィ入力は中心座標が $U' = (r_i', g_i', b_i') = (20, 20, 60)$ あるいは $U' = (r_i', uk') = (20, 30)$ で、単位は%である。円錐底面の直径は $d=23.0\%$ であり、あいまいさを表す。

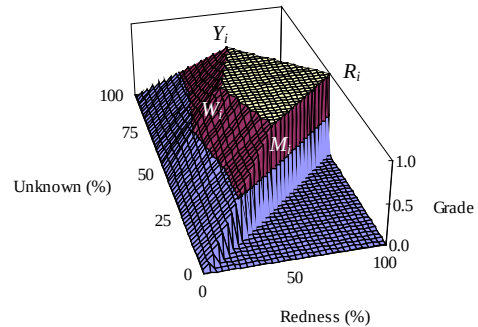


図5 赤のファジィ集合

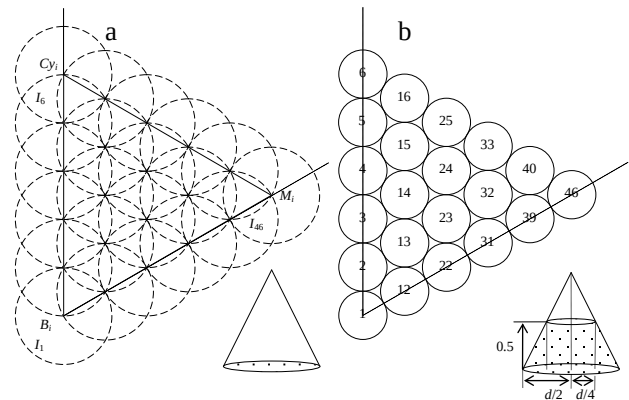


図6 カラートライアングル上の円錐形ファジィ入力の配置と0.5レベル集合

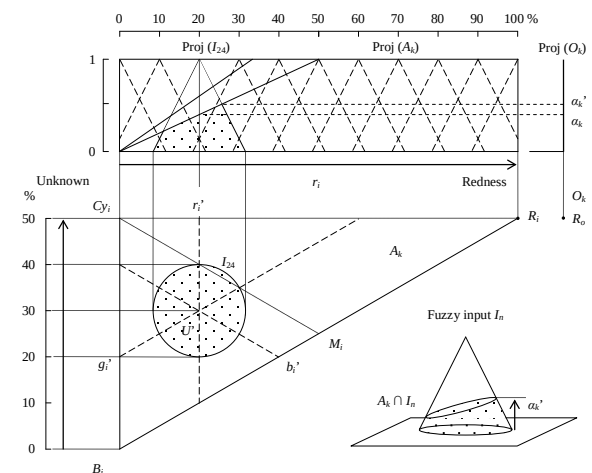


図7 カラートライアングル上のファジィ集合(前件部)と円錐形ファジィ入力

図8aは、横軸: 赤み Redness の値 r_0 と縦軸: 不明 Unknown の値 uk の関係を示している(図4c参照)。黒丸はクリスプ入力に対する出力を示している。白丸はクリスプ入力の位置を示している。ほとんどのクリスプ入力○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。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。この効果はファジィ集合の(三角錐台のような)形状や重心の計算に依存する。この結果は前

研究結果[5],[6]と異なる。すなわち、三角錐台のようなファジィ集合（前件部）を使うことによるクリस्प入力の集中効果は以前の研究[5],[6]の三角錐のファジィ集合（前件部）を使った結果では現れなかった。

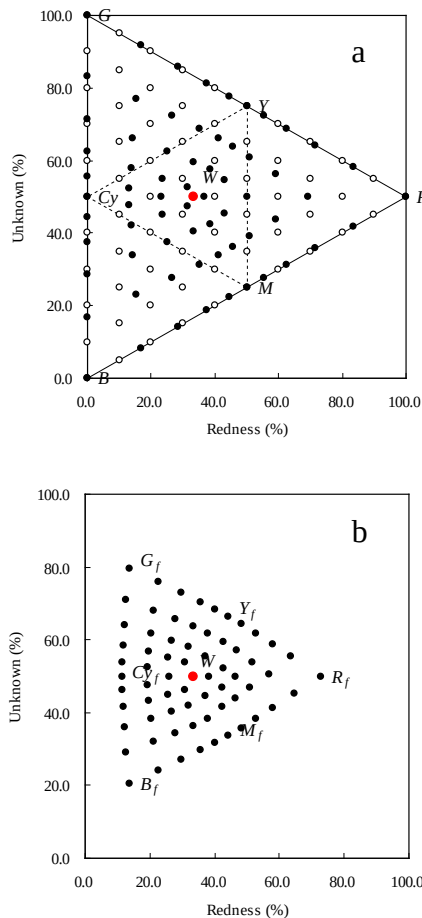


図8 クリस्प入力とファジィ入力の推論結果

図8bは、横軸：赤み Redness の値 r_o と縦軸：不明 Unknown の値 uk の関係を示している（図4c参照）。黒丸はファジィ入力に対する出力を示している。ファジィ入力に対する推論出力●はカラートライアングルの中央に集まる。クリस्प入力の推論結果とは明らかに異なり、ファジィ入力に対する結果が自然な変化をしている。このファジィシステムにおいて（図4）、カラートライアングル上にあいまいな色彩を入れることで（a）、システムはクリस्पな色彩情報（平均された単一色）を出し（b）、またグラフィカルな平面に色彩情報を表すことができる（c）。

5. おわりに

本稿では、色彩への応用としてカラートライアングル上のクリस्प出力を引き出すファジィシステムを提案した。このようなファジィシステムはあいまいな色彩入力としての円錐形ファジィ集合の射影からメンバーシップのグレードを簡単に算出することができる。RGB カラートライアングルは不明 Unknown 軸方向に属性をもっていないが、各々のグレードをもつ3つのパラメータ（重み）があいまい

な色彩を示し、単一色としての重心で示すことができる。

ここで紹介したファジィシステムは、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）へ写像することを考え、入出力関係を調べた。

主観でシステムを構築することができる点にファジィ理論のよさがあるといえる。ここで取り扱ったシステムは加法混色に基づくことにより、入力ファジィ集合の斜面（式（10））に使用されている。しかし、主観的な部分はほんの僅かな客観的なシステムとなっている。

このシステムは建物、芸術作品、被服、工業製品などの重要な色彩情報（たとえば、人が持つ色彩のあいまいさ[9]）を確かめるのに役立つことになる。

参考文献

- [1] 向殿政男, ファジィのはなし, 日刊工業新聞社, 1994.
- [2] 川上元郎, 色のおはなし, 日本規格協会, 1992.
- [3] L. Sivik, Color systems for cognitive research. In: C. L. Hardin, and L. Maffi, (eds.): Color categories in thought and language. Cambridge University Press, New York, pp.163-193, 1997.
- [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.
- [5] N. Sugano, Fuzzy natural color system using membership function of triangular pyramid on color triangle. Biomedical Soft Computing and Human Sciences, Vol. 10, No. 1, pp.1-10, Dec. 2004.
- [6] N. Sugano, Fuzzy set theoretical approach to achromatic relevant color on the natural color system. International Journal of Innovative Computing, Information and Control, Vol. 2, No. 1, pp.193-203, Feb. 2006.
- [7] N. Sugano, Fuzzy set theoretical approach to the RGB color triangle, In: Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems (B. Gabrys, R. J. Howlett, and L. C. Jain, Eds.), Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, Part III, LNAI Vol.4253, pp.948-955, Oct. 2006.
- [8] 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, Feb. 2007.
- [9] N. Sugano, S. Komatsuzaki, H. Ono, and Y. Chiba, Fuzzy set theoretical analysis of human membership values on the color triangle, Journal of Computers, Vol. 4, No. 7, pp. 593-600, July 2009.
- [10] A. Valberg, Light Vision Color. John Wiley & Sons, New York, 2005.

連絡先

玉川大学

菅野 直敏

Tel: 042-739-8402, E-mail: sugano@eng.tamagawa.ac.jp

色彩系列に対する人間の感性情報のファジィ理論的分析

Fuzzy Set Theoretical Analysis of Human Color Impression by Spatiotemporal Sequence

広瀬 亮太 石原 敏弘 菅野 直敏
Ryota Hirose Toshihiro Ishihara Naotoshi Sugano
玉川大学工学研究科
Graduate School of Engineering, Tamagawa University

Abstract: To investigate the effects of different spatial color sequences, we consider a hexagonal diagram and a color triangle that are expressed in the RGB color space. We assume that the projected route area and the projected route distance indicate the magnitude of naturalness for color sequences. We evaluate the majority of subjects of all ages have natural impressions when the route distance is short and the route area is large. Whereas a fuzzy system can process a fuzzy input(as the membership values of subjects) to an RGB system and output the center of gravity of three weights associated with respective grades. On the bases of human color impression, we propose a simple sensitivity model using a fuzzy inference. This model provides the natural order of spatial color sequences of several colors.

1. はじめに

人間は色彩に関して様々な感覚を持ち合わせている。本稿では、多種多様に存在する色彩を用いて人間の感性にどのような影響をもたらすのかを調べた。本研究では、カラートライアングルを用いたファジィ推論を用いて人間の色彩に対する感性情報を分析する。また、RGB色立体中での時空間パターンの色彩系列のファジィ推論を行い人間の色彩に対する感覚のあいまいさの分析を行う。

2. カラートライアングルと

ファジィシステム

赤 (Red), 緑 (Green), 青 (Blue) の 3 色の加法混色でから成る色彩 C を用いてカラートライアングルを作成する (図 1)。一般に色ベクトルは三刺激値 (R : 赤成分, G : 緑成分, B : 青成分) と呼ばれる量と方向により次のように示される。

$$\vec{C} = \vec{R} + \vec{G} + \vec{B} \quad (1)$$

このカラートライアングル平面の座標 (r, g, b) はさまざまな色彩を指定することができる。座標により与えられる位置は色をつくる R (赤成分), G (緑成分), B (青成分) の量に対応している。

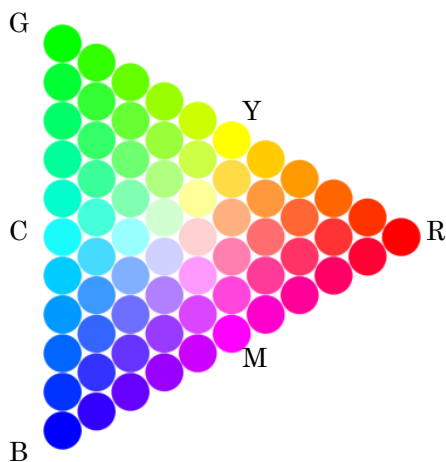


図 1 カラートライアングル[1]

図 1 のカラートライアングルを用いて、本研究の目的である「自然」に対しての被験者のファジィ集合を得る。得られた集合を用いてファジィ推論を行う。図 2 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, G, B) 上に赤み (Redness) r_i , 緑み (Greenness) g_i , 青み (Blueness) b_i がある。図 2a 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とを意味している。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स्प集合 O_k (後件部), およびファジィ出力 O を示している。図 4a は三角座標 (r_i, g_i, b_i) で、図 2b は三角座標 (r_o, g_o, b_o) で、図 2c は座標 (r_o, u_k) で表されている。

ファジィルールは次のように示される

$$R^1: \text{if } U \text{ is } A_1 \text{ then } V \text{ is } O_1 \quad (2)$$

$$R^2: \text{if } U \text{ is } A_2 \text{ then } V \text{ is } O_2 \quad (3)$$

$$R^3: \text{if } U \text{ is } A_3 \text{ then } V \text{ is } O_3 \quad (4)$$

ルール $R^k: \text{if } U \text{ is } A_k \text{ then } V \text{ is } O_k (k=1, 2, 3)$, ここで k はルール番号である。 $U=(r_i, g_i, b_i)$ 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स्प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 は縦矢印で示されている。もし入力が A_k であれば、出力は O_k である。この方法によって、被験者がどのような色部分を「自然」と感じているか、そしてその色が持つあいまいさの度合いを分析することができる。

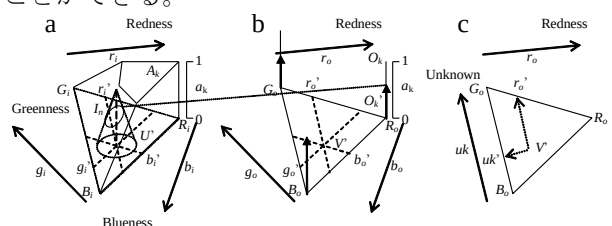


図 2 色相のファジィシステム[1]

3. 6色循環系列

基本6色(RGB色立体の各頂点から無彩色(白、黒)を除いた6色)を用いて、配列の異なる6色循環系列(色立体中の距離が最も短い系列をミニマム系列、それ以外をノンミニマム系列)を分析色光の三原色RGB(red, green, blue)をそれぞれの軸に持ち、0~1の範囲で変化する色立体の一边を256段階に分割し、その色立体中から基本6色(red, magenta, blue, cyan, green, yellow)を色立体での頂点、白(white)から黒(Schwarz)方向へ向けて斜影を行い抽出する。射影された正六角形を用いて、時間パターン(図2a)および空間パターン(図2b)を作成し、どのような6色循環系列が人はより自然と感じるか分析を行い、人間の色彩感覚モデル(図3)を構築する。

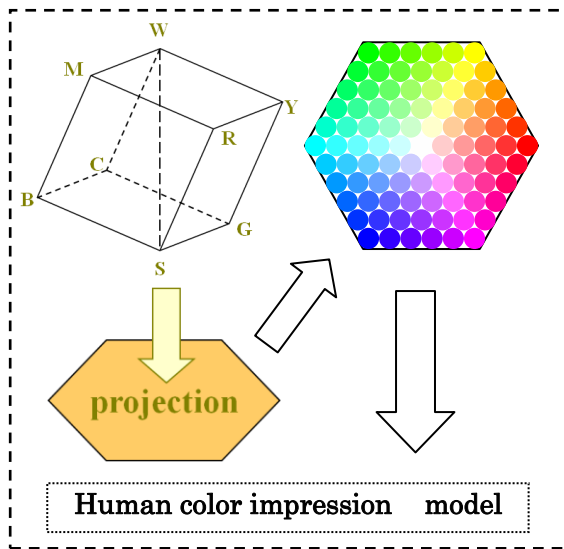


図3 6色循環系列の色彩感覚モデル

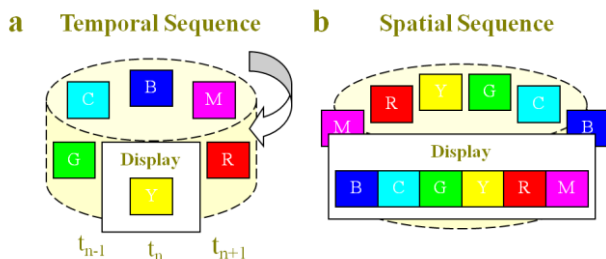


図4 時系列色循環モデル[2]

4. 結果・考察

学園祭等で計135名(男性75名、女性60名)の被験者からデータを取ることができた。

図5は自然な部分を1、それ以外を0としたPartition法(P法)によって得られた被験者の集合平均の値(a: Natural, b: Unnatural)の結果である。図6aがそれぞれの集合平均(10-65歳対象)の重心を示したもので、NaturalはCyan-Green寄りになり、反対にUnnaturalはMagentaに寄る結果となった。図7aは図6aの集合平均よりmin-max法を用いたファジィ推論の出力結果である。Naturalというキーワードでは重心がほぼ中心(White)になり、あ

いまいさの度合いが高くなっている。Unnaturalの結果は、集合平均と同様に重心がMagenta寄りになることがわかる。

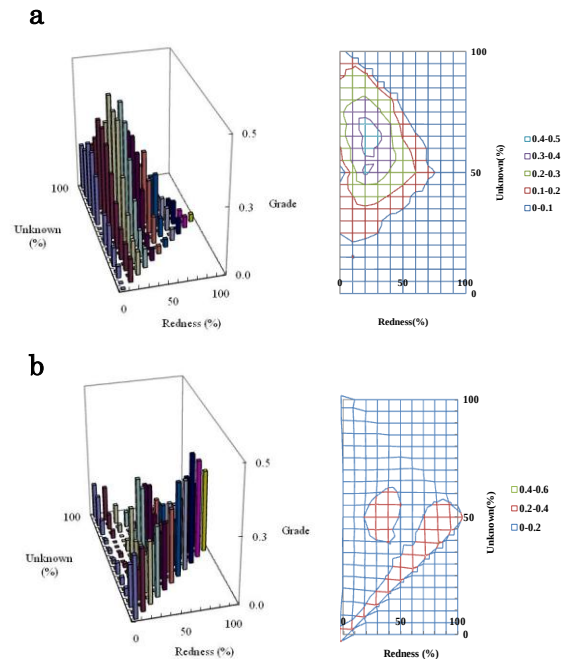


図5 自然・不自然の集合平均(縦棒グラフ:等高線)

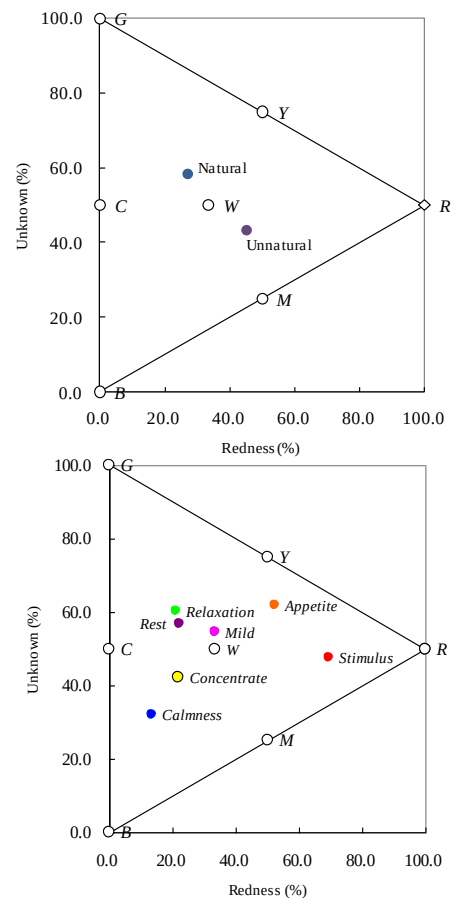


図6 本実験と印象語[1]の重心比較
(a:自然不自然 b:印象語)

図 6b と図 7b に印象語での集合平均の重心とファジィ推論の出力結果を示す[1]。この実験は「刺激のある色は赤」「冷静になる色は青」などの印象語[9]に対する色彩範囲を調べカールトライアングル上のファジィ集合とした[1]。その後、ファジィ推論を行った実験結果である。図 6a と図 6b を比較すると集合平均の重心では、Natural は Relaxation(緑)、Rest(紫)に近い所に重心が寄る。Unnatural はどの感性語にも寄らないことが分かる。ファジィ推論の出力結果である図 6b と図 7b を比較すると、図 7b の Stimulus (赤) や Appetite(オレンジ)のような場合は、言葉と色の関連性が高いが、他の色は中心 (White) になりどの色にも寄らないことがわかる。このことから Natural の推論の出力は中央に寄り、あいまいな印象語と言える。Unnatural は Magenta に少し寄る結果となった。

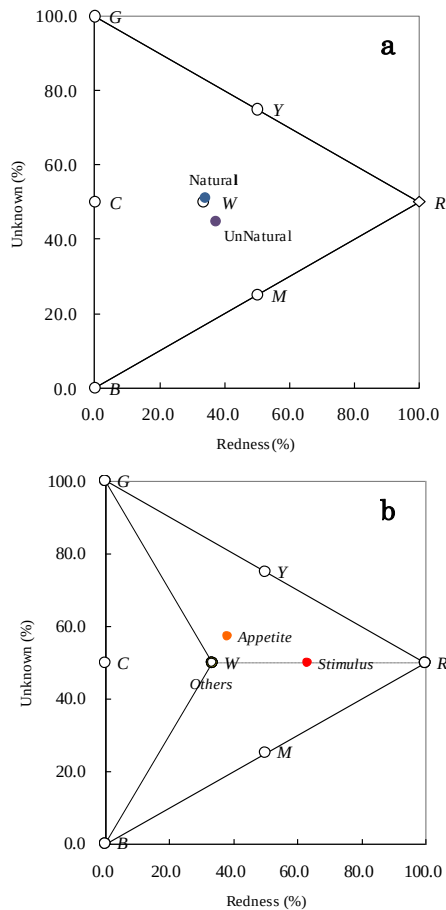


図 7 ファジィ推論出力結果比較
(a:自然・不自然 b:印象語)

6色循環系列の先行研究の結果では、図 8 に示すように 6 色を結ぶルート距離が短く、ルートエリアが大きいミニマム系列 (図 9) ほど人間は自然と感じるとわかっている[6]。本研究では、射影された六角形上の色循環において、彩度、循環方向、時間パターンにおいてもミニマム系列が自然に感じるかどうかを調べるために実験を行った。

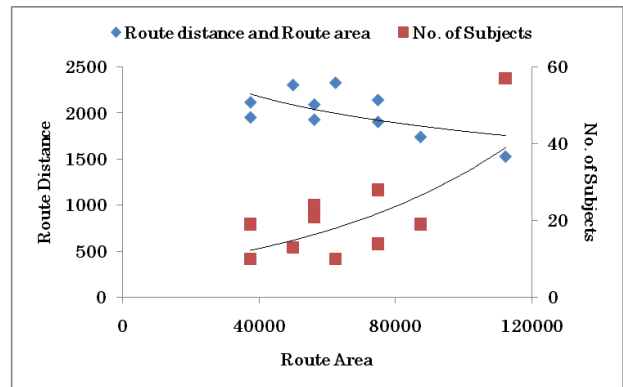


図 8 ルート距離・ルートエリアと人数の関係[6]

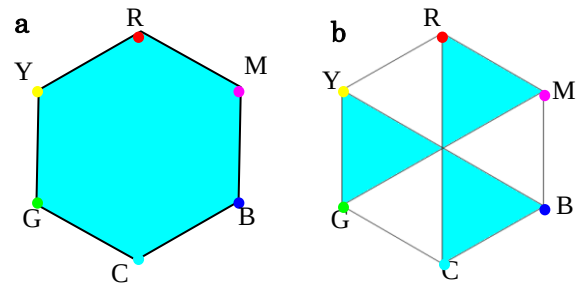


図 9 射影ルート距離と射影ルートエリア[2]
(a:ミニマム系列, b:ノンミニマム系列)

色の彩度に着目し、図 9 の射影ルートの外周を周る彩度の高い循環系列と、彩度の低い (徐々に内側に輪郭を狭めるような・面積が小さくなるような) 循環系列を提示し、実験を行った。次に、時間パターンである色循環系列を 2 つ提示 (6 色×2 循環を 300ms 毎に連続させる) し、どちらの色彩循環が自然に見えるかの実験を 3 パターン行った。また、これらの色彩の射影ルートを循環する際に、現在までは時計周りで 6 色循環系列を作成したが、反時計周りに射影ルートを循環する系列を用いての実験も行った。図 10 は空間パターンにおける色彩系列の彩度別におけるルート距離・ルートエリアにおける自然と回答した被験者の人数の関係を示している。ミニマム系列が 70%前後自然と回答された先行研究と同様に、特にルートエリアが大きいほど被験者は自然と感じる結果となった。時間パターンの 6 色循環系列実験では、ミニマム系列と、ノンミニマム系列の 3 パターンの比較実験を行った。図 11 がその結果となり、空間パターンである 6 色循環系列と同様にミニマム系列が約 7 割自然と回答された。

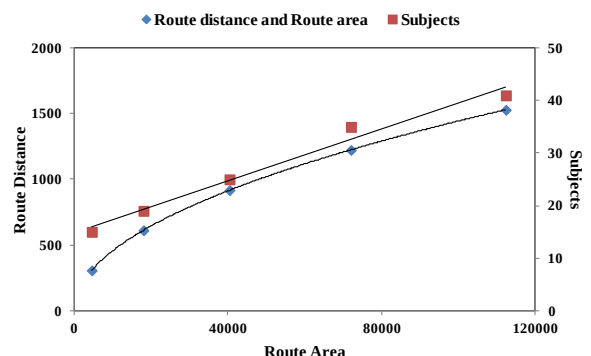


図 10 ルート距離・ルートエリアと人数の関係

表 1 時間パターン実験結果

ratio of minimum to nonminimum	
clockwise(counterclockwise)	
minimum	nonminimum
No.1	No.9
80%(70%)	20%(30%)
No.1	No.12
65%(62%)	35%(38%)
No.1	No.5
72%(66%)	28%(34%)

RGB 空間上での色彩の配列において、現在までの研究結果[2]に加えて、色彩の彩度、循環方向、また時間的な場合にも依存しないことが分かり、色彩循環において色彩を辿るルート距離が短く、ルートエリアが大きい配列が約 7 割自然となる事が分かった。

正六角形に射影された色彩から重心の算出を行い、その重心をカラートライアングル上に座標変換（図 12）を行いファジィシステム（図 2）にクリスプな入力としてファジィ推論を行う。これにより入力された色彩系列のあいまいさを出力することができる。

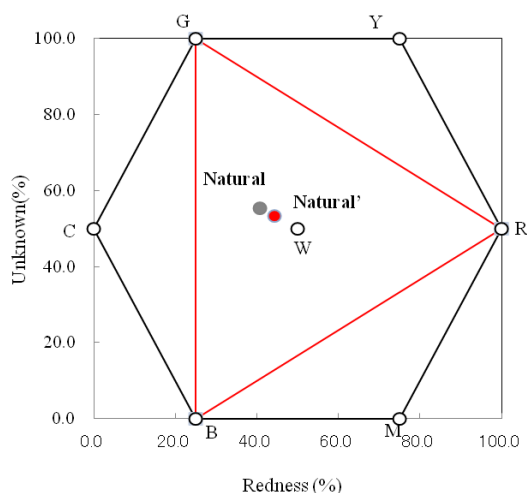


図 12 正六角形から三角形への重心変換

5. まとめ

本研究では RGB 系の色彩空間において、射影された正六角形上に位置する色彩をどう循環させても、それら色彩を辿るルート距離が短く、ルートエリアが大きい色彩系列が自然と選択されることを明らかにした。また、時空間パターン上に位置している色彩系列をクリスプな入力としてファジィ推論を行い、その色彩系列のあいまいさを出力することを可能とした。

参考文献

- [1] N. Sugano, and I. Shinomiya: Fuzzy Set Theoretical Analysis of Semantic Data as Human Membership Values on the Color Triangle, Proc. of Joint 5th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems (SCIS2010) and 11th International Symposium on advanced Intelligent systems (ISIS2010), Okayama, pp.681-686, FR-B3-1, Dec.10 (Dec.8-12), 2010.
- [2] N. Sugano: Natural Effect of Spatial and Temporal Color Sequence on Human Color Impression, In: Kansei Engineering and Soft Computing: Theory and Practice (pp.237-254). (Ed.) Ying Dai, Basabi hakraborty, and Minghui Shi, IGI Global, 2011.
- [3] 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, Feb. 2007.
- [4] L. Sivik, Color systems for cognitive research. In: C. L Hardin, and L Maffi, (eds.): Color categories in thought and language. Cambridge University Press, New York, pp.163-193, 1997.
- [5] J. J. Koenderink, Color for the Science, The MIT Press Massachusetts Institute of Technology, 2010.
- [6] N.Sugano, S.Nakagawa, Y.Negishi, T.Ishihara: Effect of Spatial Color Sequence with Minimum Distance on Human Color Impression and Model Behavior. Biomedical Soft Computing and Human Sciences, Vol.12, No.1, 1-7 BMFSA, 2007.
- [7] 広瀬亮太, 石原敏弘, 菅野直敏: 「色彩系列に対する人間の感性情報のファジィ理論的分析」第 24 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 30P-D-2, pp.309-312, 2011.
- [8] 石原敏弘, 広瀬亮太, 菅野直敏: 「基本 6 色の色彩系列による人間の色彩感覚の分析」第 24 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 30P-D-1, pp.305-309, 2011.
- [9] 野田幸子: 「色で工夫するヘルシーライフ らくらく健康術」毎日新聞, 2002.
- [10] 広瀬亮太, 石原敏弘, 菅野直敏: 「人間の色彩に対する感性情報のファジィ理論的分析」第 37 回ファジィ・ワークショップ講演論文集 pp.11-14, 2010.

連絡先

玉川大学工学部感性メディア研究室
 広瀬 亮太
 (Tel.: 042-739-8042,
 E-mail: hrsry0re@engs.tamagawa.ac.jp)

イチョウの黄葉と都市の微気候について (Ⅲ)

Visualization of a Suburban Area Climate using Yellow Leaves of Ginkyo(Ⅲ)

○松原 健太
Kenta Matsubara
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.

但馬 文昭
Fumiaki Tajima
横浜国立大学
Yokohama nat.Univ.

宮武 直樹
Naoki Miyatake
千葉科学大学
Chiba Inst.Sci.

1. はじめに

自然や都市の微気候環境（主に気温環境）をイチョウの黄葉の進行状態を観察し、黄葉の状況からその地域の気温環境の可視化およびそのモデル化に関する研究を行っている。研究対象としている地域は東京都の郊外に位置する多摩ニュータウン通りである。この通りの特徴は、周辺の地形的要因や人工構築物による人為的な要因及びこの両者の要因が混在する気候環境を備えていることである。本研究では街道沿いに街路樹として植栽されているイチョウ並木の1本1本の黄葉に注目し、黄葉度の感性計測を行っている。

2009年から2011年の3年間で得た観測データをもとに黄葉度の進行過程を表現する数理的モデル化を検討した結果、累積分布関数としてのロジスティック関数が気候環境に違いがあっても観測値とよく適合することが分かった。ここではこの数式モデルの有効性について報告する。

2. 調査対象地域

調査対象地域は、図1に示すように多摩ニュータウン通り(都道158号線)の京王永山駅付近から京王多摩境駅までの東西に伸びた12kmの区間である。測定はこの道路の南北側面(中央分離帯も含む)の約1200本のイチョウの黄葉の進行状況を観測する。調査地域の2011年現在の状況であるが、西部は自然が比較的多く残されており、東部へ向かって都市化が進んでいる。またこの多摩ニュータウン通りは二つの尾根(トンネルが貫通)が縦断しており、自然と都市化が混在し、調査対象地域の微気候も、この両気候が複雑に混在し合っているといえる。

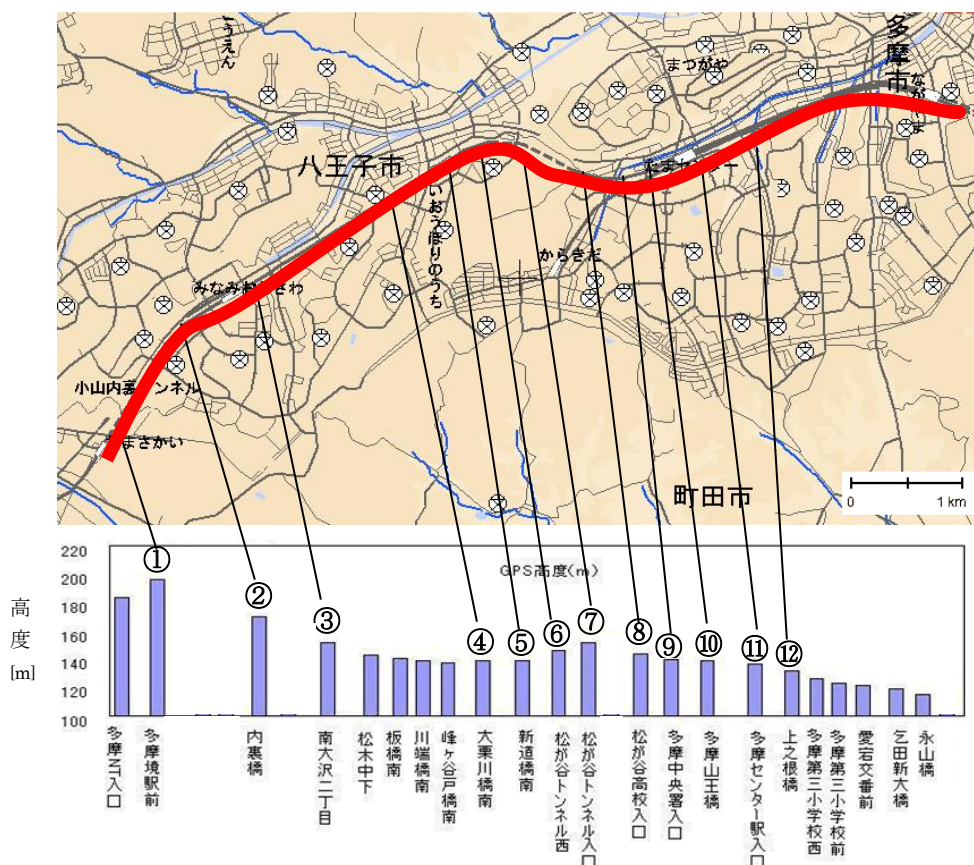


図1 調査対象地域および主要地点の高度

3. 計測方法

イチョウの黄葉は対象地域を 20～60 日間以上の期間をかけて進む。自然が比較的多い西部では一定の速度で進行していくのに対し、都市の中心部である東部は黄葉の始まりは遅いが短い期間で進むことが過去の測定⁽¹⁾からわかっている。観測方法は各年とも 9 月下旬から 12 月上旬までの約 70 日間を、一週間毎に車 (2011 年は徒歩) で移動しながらイチョウ並木を目視およびビデオカメラによる録画を行い、以下のような方法で黄葉度を数値化した。

黄葉度の数値化

イチョウの黄葉度は一本一本について、以下に示す程度を目安に 5 段階に数値化する。

0 … 未黄葉 (全体に緑)	1 … 2 割程度黄葉	2 … 5 割程度黄葉
3 … 7 割程度黄葉	4 … 完全黄葉	

区間分割と平均黄葉度

調査対象地域全域を 21 の区間に分割し、1 区間 (微気候区域と考える) を観測単位とした。1 区間あたりの距離範囲は区間により違いはあるが 200m 前後である。図 1 の下部に示されているのは主に都道 158 号線上の交差点名であり、その場所の高度を示している。また便宜上、区間名として交差点の名称を使用している。本研究では区間内に植樹されている十数本～数十本の木々の黄葉度の平均値を求め、その区間の黄葉度とした。

4. 結果

観測域でのイチョウの黄葉のふるまい

2009 年の結果の分析より黄葉のパターンはつぎに示す (1)～ (3) の要因により分類できることが分かった⁽²⁾。図 2 は 3 つの区間 (図 1 における②, ③, ⑪) についての黄葉度の変化を、2009 年と 2011 年について示したものである。

(1) … 自然の多い地域

▲ ②内裏橋

(2) … 都市化が進行中の郊外

■ ③南大沢2丁目

(3) … 都市化が進んだ郊外

● ⑪多摩センター駅入口

2011 年は 2010 年と同様に猛暑が続いた年であった。図 2 より、③⑪の都市化の進んでいる地域については 2009 年に比べ、黄葉の開始時期が遅れ、黄葉期間も短縮されていることがわかる。

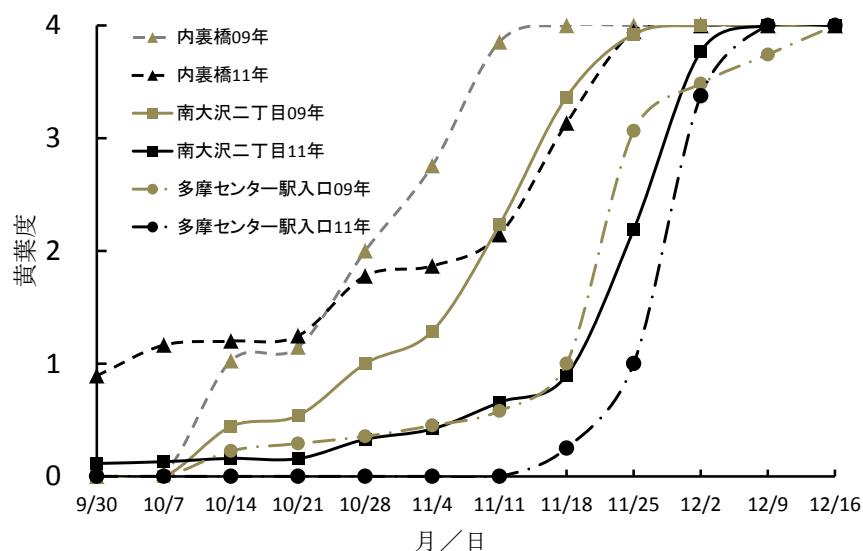


図2 2009年と2011年の黄葉度の変化

5. モデル化

イチョウの葉は、秋口にかけて昼と夜との比較的大きな気温差が生じることや周辺の最低気温が 10℃ 以下となることで色付きが始まり、さらに 5℃ 以下になると一気に黄葉が進むとされている。われわれはこのようなイチョウの緑葉から黄葉への進行過程をモデル化するために、「葉の黄葉の細かなメカニズムは考えない」、「葉の色が緑から黄に変化するという特徴のみに注目する」、「その変化の仕方は、ある気温を境に、はじめ木全体にあった緑葉は逐次黄葉へと変化していく」という前提のもと、上述した地域において 2009 年と 2010 年の観測で得たデータをもとに分析をおこなった。その結果、黄葉の進み方を表現するのに

ロジスティック関数が有効であることを示した⁽³⁾⁽⁴⁾．さらにこのモデル式の有効性を確認するために2011年の観測結果についても検証を行った．

ロジスティック関数によるイチョウの黄葉過程

黄葉度 y を与えるモデル式を式(1)に示す．

$$y(x) = \frac{A}{1 + B \cdot e^{-c(x-x_d)}} \quad (1)$$

ここで A は完全黄葉度 ($A=4$) を表し, B は黄葉の始まりに関係する係数となる．以下に述べる黄葉の開始日の決め方から, ここでは $B=9$ とした． x は観測を開始する日を基準日 ($x=0$) とし, その日からの日数である．基準日は原則として黄葉度が0である適当な日を選ぶ． c は黄葉が開始されてからの進行の速さに係わるパラメータとなる．もうひとつのパラメータ x_d は黄葉開始日, すなわち基準日から黄葉開始とした日までの日数を与える．

黄葉の開始とは, 黄葉度がある値 y_L (開始の閾値と考える) に達した日を目安とする．われわれはこの値を0.4 (完全黄葉に対して1割程度が黄葉した状態) とした．また黄葉期間 (黄葉日数) T を定量的に扱うために完全黄葉となる日についても目安となる閾値 y_H を考える．ここでは $y_H=3.6$ とし, この値に達した日を完全黄葉日 x_e (基準日から x_e 日目) とした．このような条件のもとでその区間の黄葉度観測データ (x と y) から, 区間ごとに式(1)における c と x_d の推定値を最小二乗法により求めた．一例として図1における③の区間 (区間名称: 南大沢二丁目) について, 2009年と2010年の観測データからそれぞれの年の c と x_d の値を推定し, それをもとに黄葉度進行曲線として, 観測値と共に図示したものが図3である．

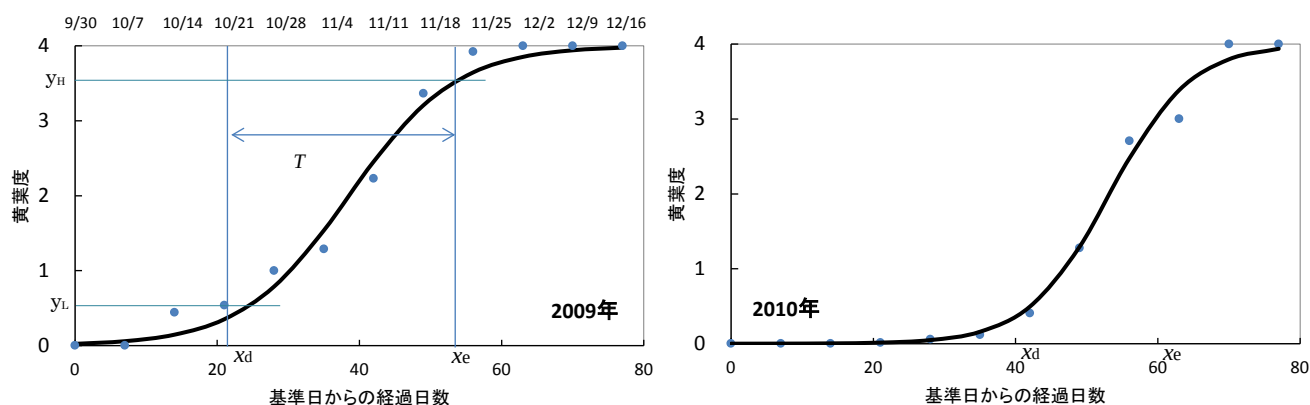


図3 南大沢二丁目の2009年と2010年の黄葉度の観測結果とロジスティック関数へのあてはめ

区間ごとに求めた c と x_d の値と, それより計算される完全黄葉日 x_e と黄葉期間 T ($T = x_e - x_d$) について21区間の中から9つの区間を選んで表1に示す．また表1に示す各区間の c と T の関係を図4に示す．図3の表示で, 計算に用いた c と x_d の値は表1の網掛け部分である．

表1 パラメータ c と x_d の推定値およびそれらより計算された黄葉日と黄葉期間

区間名		2009年				2010年				2011年			
		c	x_d	x_e	T	c	x_d	x_e	T	c	x_d	x_e	T
②	内裏橋	0.14	11	43	32	0.11	14	55	41	0.07	0	63	63
③	南大沢二丁目	0.13	22	55	33	0.17	41	66	25	0.21	43	65	22
⑤	新道橋	0.22	44	64	20	0.21	49	70	21	0.17	51	76	25
⑥	松ヶ谷トンネル西	0.13	24	58	34	0.33	58	71	13	0.29	58	73	15
⑦	松が谷トンネル入口	0.11	10	48	38	0.17	40	66	26	0.29	48	63	15
⑧	松ヶ谷高校入口	0.09	17	65	48	0.23	33	52	19	0.07	10	69	59
⑨	多摩中央署入口	0.19	42	64	22	0.14	38	69	31	0.14	41	73	32
⑩	多摩山王橋	0.14	37	68	31	0.19	45	68	23	0.22	49	68	20
⑪	多摩センター駅入口	0.20	41	63	22	0.20	45	67	22	0.39	53	64	11

*気象庁では黄葉日と呼んでいる．

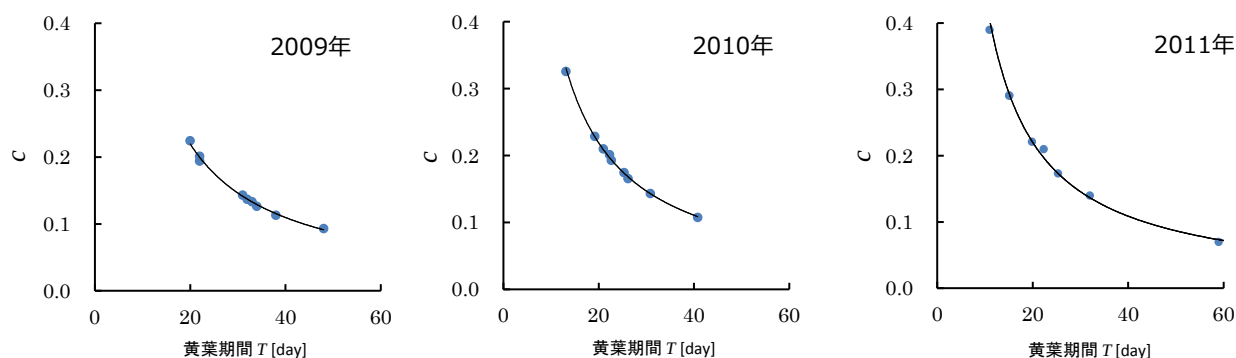
図4 係数 c と黄葉期間 T との関係

図4の結果より、黄葉の速さに関係する係数 c と黄葉期間 T の関係を3カ年すべてについて求めるといずれの年についても $cT=4.4$ （誤差率0.1%）という結果が得られた。

さらに表1より各区間の3カ年にわたる黄葉期間の推移を図5に示す。この図によりイチョウの黄葉の仕方に年々変化が見られる地域のあることが分かる。これよりその地域の気候環境が年単位で変動していることが伺える。

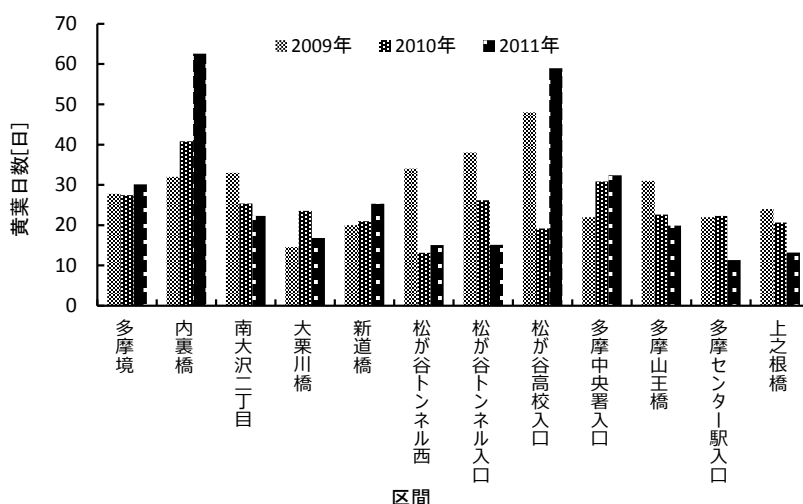


図5 各区間の黄葉期間の推移（2009年から3カ年）

6. おわりに

今回、感性データをもとに数理的手法を導入し、イチョウの黄葉度の解析を試みた。成長曲線を表すロジスティック関数を利用して、そのパラメータの決定を試みた結果、観測年による気温変動や地域による気候環境の違いがあってもよく実測に適合した。また、感性計測というあいまいさをある程度含んだ計測手法を用いても本目的のような場合には比較的よい精度の結果が得られると考えられる。さらにこのような観測を毎年継続することで、地域の気候環境の変化の様子を見ることができ、環境問題を考える上で意義があることと思われる。

＜参考文献＞

- (1) 小沢和浩, 田淵洋, 宮武直樹: “イチョウの黄葉度を利用した都市微気候の可視化”, 法政大学多摩研究報告 20, pp.81~98 (2005)
- (2) 角田明美, 松田修三, 小沢和浩, 宮下清栄, 但馬文昭, 宮武直樹: “イチョウの黄葉度を利用した都市微気候について”, ソフトサイエンス・ワークショップ講演論文集, Vol.20th, pp.63-64 (2010-3)
- (3) 松原健太, 松田修三, 小沢和浩, 但馬文昭, 宮武直樹: “イチョウの黄葉と都市の微気候について (II)”, 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21回ソフトサイエンス・ワークショップ講演論文集, pp. 77-80 (2011-3)
- (4) 松田修三, 松原健太, 小沢和浩, 宮武直樹: “ロジスティック関数を用いたイチョウの黄葉モデルの提案”, 法政大学多摩研究報告, 26, pp. 21-25 (2011)

連絡先: 松原 健太 法政大学工学部 システム制御工学科 kenta.matsubara.xv@stu.hosei.ac.jp
 松田 修三 法政大学理工学部 電気電子工学科 matuda@hosei.ac.jp
 〒184-8584 小金井市梶野町 3-7-2 042-387-6230

銀コーティングナノワイヤーの太さと屈折率の測定とプラズモン効果(2)

Determination of diameter and refractive index of a silver-clad nano-cylinder suggesting plasmon effect(2)

但馬文昭, 西山善郎
Fumiaki Tajima, Yoshio Nishiyama
横浜国大
Yokohama Nat.Univ.

松田充夫
Nobuo Matsuda
大島商船高専
Oshima Coll.
Maritime Tech.

宮武直樹
Naoki Miyatake
千葉科学大
Chiba Inst. Sci.

松田修三, 小沢和浩
Shuzo Matsuda, Kazuhiro Ozawa
法政大
Hosei Univ.

Abstract: A plane-polarized laser wave with a wavelength of 441.6 nm illuminates with a nano-cylinder coated by silver at normal incidence. The measured angular distribution of the scattered light intensity corresponds well with the one calculated by an analytic solution of scattering theory for the problem. Diameter, refractive index and their uncertainties of the cylinder are determined by the calculation at a minimum point of the uncertainty index.

Keywords: Light scattering, Silver-clad nano-cylinder, Diameter, Refractive index, Plasmon

1. はじめに

よく知られているように, ステンドグラスやリユクルグス・カップの赤い色はガラス中の金コロイド粒子の吸収による[1,2]。このような貴金属ナノ粒子の呈色は古くから知られている。この現象は微粒子の表面プラズモン共鳴によるものであり, 表面プラズモンを応用する科学技術分野はプラズモニクスと呼ばれ, 近年世界的な高まりを見せている。その主な理由として, 光の回折限界を超えるナノ領域での光制御を可能にする技術であること, 金属ナノ構造を理論, 実験の両面から設計・創製・解析する技術が発展したことなどが挙げられる。

しかし, 未だ十分にその挙動が解明されているとは言いがたい。それは, その現象を起こしている微粒子の近傍の電磁場(近接場)の強度などを知る必要があるが, このような微視的な情報を直接かつ正確に得ることが容易でないからである。例えば, 微小なプローブを目的の電磁場の中に挿入するために金属化した AFM (atomic force microscope) の単針を金属ナノ粒子の周辺で走査するという実験が試みられている[3]が, このような方法では, 現在までに意味のある情報を得るに至っていない。AFM 単針であっても, その大きさなどは金属ナノ粒子よりもはるかに大きく, プローブからの散乱が最も大きい擾乱となって, 肝心のナノ微粒子からの信号を覆い隠してしまうからである[4]。

そこで, 本研究では, プローブによる散乱光強度を予め正確に規定できれば, 微粒子の近接場も解明できると考えた。そのために, 太さ 100 nm 程度の透明な糸に銀コーティングを施して, 太さ 100-200 nm 程度の銀コートナノワイヤーを作成した。そして, これにレーザー光(波長 $\lambda=441.6$ nm)を当ててできる散乱光の角度分布を測定することにより, コーティングの膜の厚さ, 複素屈折率及びそれらの不確かさの決定を試み, プローブとして定量的な応用への可能性を検討した。また, その過程でプラズモン効果とみられる現象を確認した。

2. 理論

Fig.1 に示すように平面波(平行偏光光 $E_{\parallel}$)が, 銀コーティングワイヤーのクラッド部の半径が

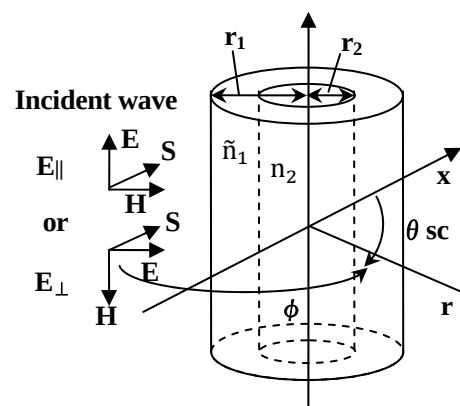


Fig.1 Schematic of a silver-clad cylinder and coordinate axes.

r_1 , 複素屈折率が $\tilde{n}_1$, コアの半径とその屈折率がそれぞれ r_2 , n_2 の同軸二重円柱に垂直に入射するとして, 散乱断面積 $\sigma_{||}$ を求めると,

$$\sigma_{||}(\theta_{sc}) = \frac{2}{\pi k} \left| \sum_{m=0}^{\infty} B_{||}(m) \cos(m\theta_{sc}) \right|^2 \quad (1)$$

となる。ただし, $B_{||}(m)$ は, 次式により与えられる。

$$B_{||}(m) = \frac{[-J'_m(kr_1)c_1(m) + J_m(kr_1)c_2(m)]}{[H_m^{(1)'}(kr_1)c_1(m) - H_m^{(1)}(kr_1)c_2(m)]} \times (2 - \delta_{m0}) \quad (2)$$

ここで,

$$\begin{pmatrix} c_1(m) \\ c_2(m) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} H_m^{(1)}(\tilde{n}_1 kr_1) & H_m^{(2)}(\tilde{n}_1 kr_1) \\ \tilde{n}_1 H_m^{(1)'}(\tilde{n}_1 kr_1) & \tilde{n}_1 H_m^{(2)'}(\tilde{n}_1 kr_1) \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \tilde{n}_1 H_m^{(2)'}(\tilde{n}_1 kr_2) & -H_m^{(2)}(\tilde{n}_1 kr_2) \\ -\tilde{n}_1 H_m^{(1)'}(\tilde{n}_1 kr_2) & H_m^{(1)}(\tilde{n}_1 kr_2) \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} J_m(n_2 kr_2) \\ n_2 J'_m(n_2 kr_2) \end{pmatrix} \quad (3)$$

である。ただし, k は波数, J_m , H_m はそれぞれ m 次の第1種ベッセル関数, ハンケル関数である。 δ はクロネッカーのデルタ, プライムは微分を表す。垂直偏光 $E_{\perp}$ の場合は(3)式の関数の引数を除く係数 $\tilde{n}_1$, n_2 を $1/\tilde{n}_{1\perp}$, $1/n_{2\perp}$ に置き換えればよい。ただし, $\tilde{n}_{1\perp}$, $n_{2\perp}$ はそれぞれ, 垂直偏光 $E_{\perp}$ に対するクラッド及びコアの複素屈折率及び屈折率である。また, コアの誘電率については一軸異方性を仮定し,

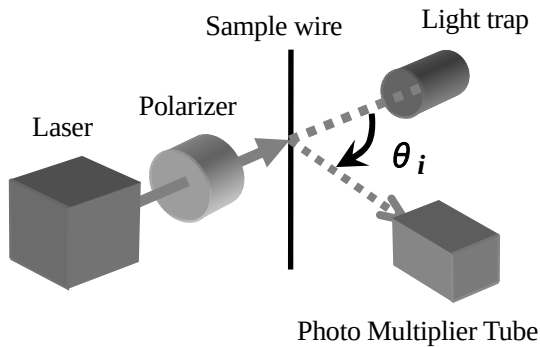


Fig.2 Experimental setup.

$$\epsilon_0 \begin{bmatrix} n_{12}^2 & 0 & 0 \\ 0 & n_{12}^2 & 0 \\ 0 & 0 & n_{||2}^2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

とした。ここで, ϵ_0 は真空中の誘電率である。

なお, この問題の解として, 文献[5]がそのまま利用できる。そこでは, ワイヤークラッド及びコアは両方とも透明な材料で, それらの屈折率は実数であるが, 金属等の導体の場合は屈折率を複素屈折率に置き換えるだけで, 式は同形である。

銀コーティングワイヤークラッドの太さ及び屈折率のパラメータ値の決定は, 次式の偏差指標を最小にするようなフィッティングにより行った。

$$U_I(\tilde{n}_1, n_2, D_{1,2}) = \frac{\sum_i [I_i - I_0 \sigma_i(\tilde{n}_1, n_2, D_{1,2})]^2}{\sum_i I_i} \quad (5)$$

ただし, I_i , $\sigma_i (= \sigma_{||i}$ または $\sigma_{\perp i})$ はそれぞれ測定散乱角 $\theta_{sc} = \theta_i$ における散乱光強度の測定値及び(1)式による計算値を表す。不確かさの範囲も文献[5]と同様にして求めた。

3. 実験

散乱光強度の角度分布測定の概要を Fig.2 に示す。実験用サンプルの作成手順は以下のとおりである。まず, 1本のクモの糸 (gossamer) を体長 1 mm 程度のクモから採取し, その太さ $D_2 (= 2r_2)$ と n_2 を文献[6]により予め決定する。

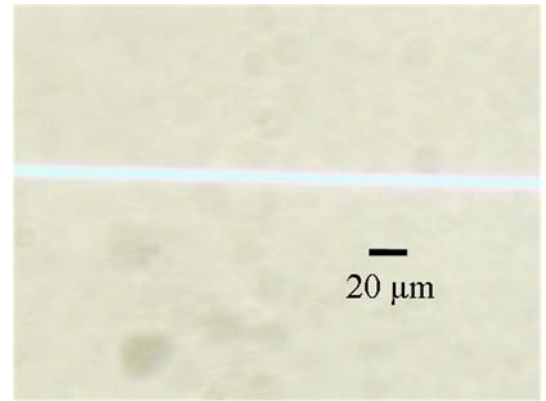
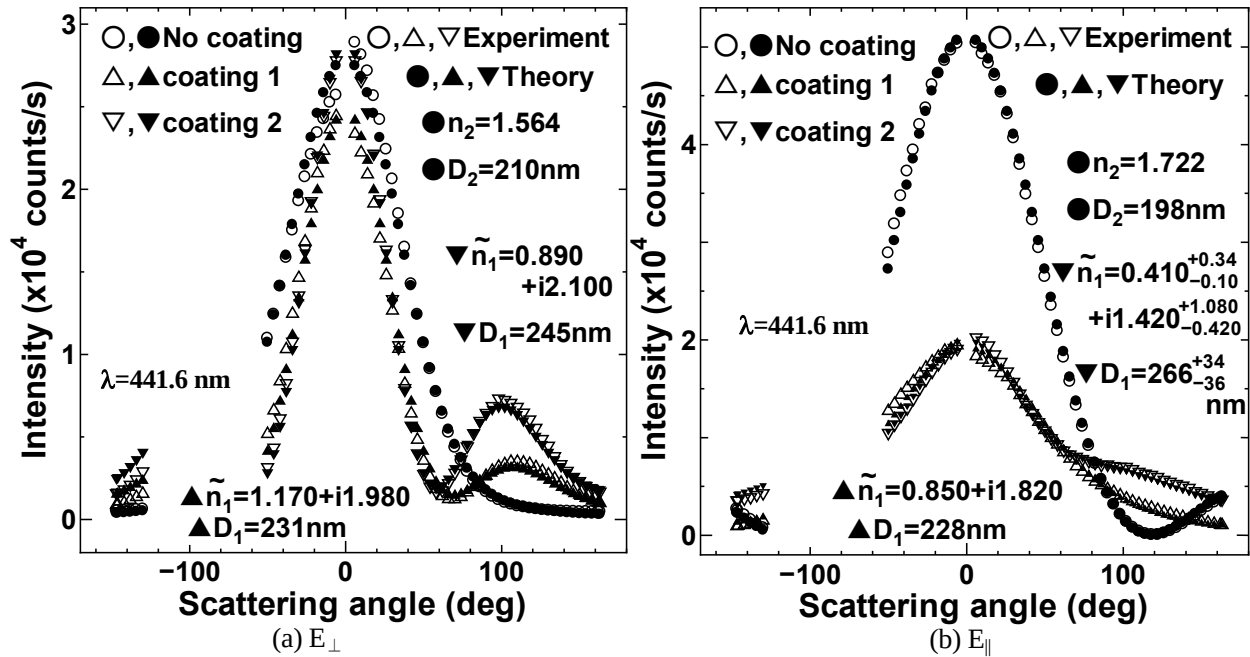


Fig.3 Optical micrograph of a silver-coated sample wire.

Fig.4 Angular distribution of the scattering intensity for $r_1 \sim 100$ nm.

次に、このクモの糸にイオンコーターにより銀コーティングを施し、散乱光強度の角度分布を測定する。そして、予め決定した r_2 , n_2 を用いて、散乱断面積の計算値を測定したデータにフィッティングし、円柱の外径 $D_1 (= 2r_1)$, $\tilde{n}_1$ を決定する。Fig.3 に実験に使用したサンプルの顕微鏡写真を示す。これは暗視野照明により撮影している。白色のハロゲン光源により照明しているが、うすい青色を呈し、実際よりも太く見える。断定はできないがプラズモン効果が現れていると推定される。

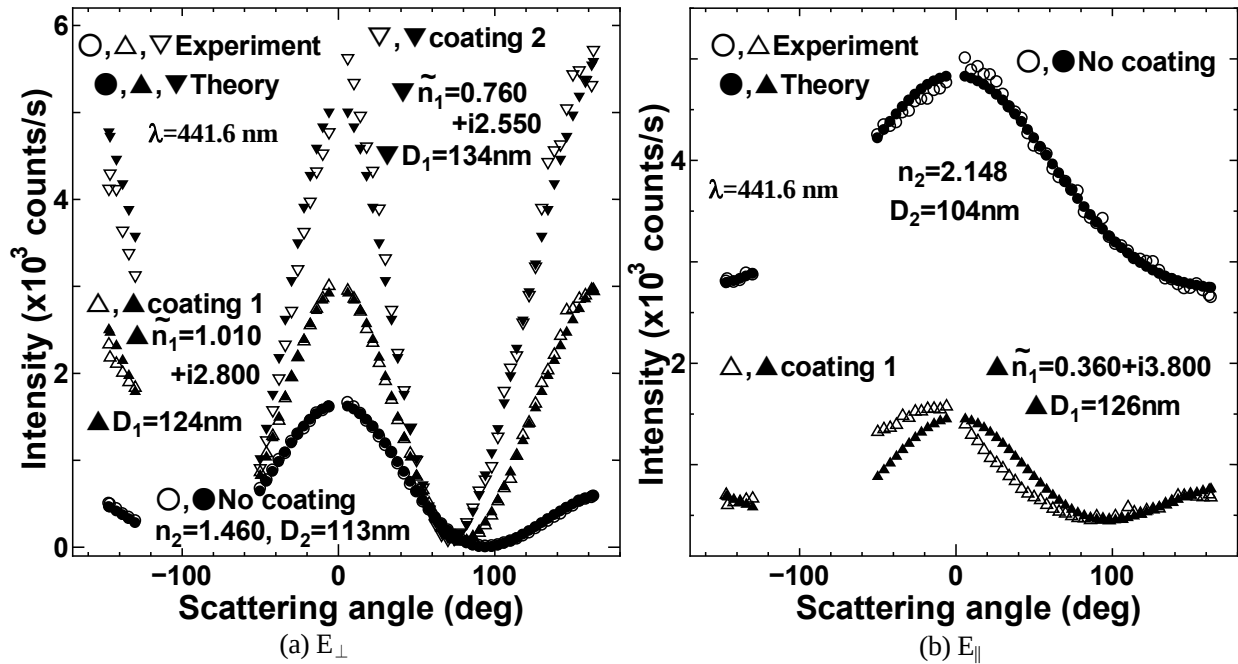
4. 結果および考察

実験結果の一部を Fig.4 及び 5 に示す。図中の $\theta_i < 0$ でデータが欠落している部分があるが、これは、サンプルホルダーの影になる範囲で、測定できないためである。

図中の coating 1 は 1 回目のコーティングを行った後、測定した結果を表し、coating 2 は、さらにそれぞれ同じサンプルに 2 回目のコーティングを行い、測定した結果を表す。図より、計算結果と実験結果がよく一致していることが分かる。また、Fig.4, 5 のコーティングワイヤーのコア径はそれぞれ 200 nm, 100 nm 前後であることが分かる。

Fig.4(a), (b) のいずれについても散乱角が $-80 < \theta_i < +80$ (deg) では、コーティング前後で散乱光強度が小さくなっている。また、コーティング膜厚は、1 回目が 20 nm 程度、2 回目では 50 nm であるが、この場合は、膜厚が厚くなるほど散乱光強度が大きくなっている。コーティング部分の複素屈折率については、実部より虚部の方が大きい、その比はコーティング膜厚が厚いほど大きくなっている。

Fig.5(a)については、コーティング後に散乱光強度がかなり大きくなっているが、Fig.5 (b)では逆にコーティング後は 1/3 程度以下に減少している。複素屈折率は、いずれの場合も実部より虚部の方が大きくなっており、その度合いも Fig.4 よりも大きい。Fig.5(a)については、コーティング膜厚が coating 1, coating 2 と 10 nm 程度ずつ増加すると、散乱光強度が $\theta_i = \pm 80$ (deg) 付近を除いてかなり増大している。これらは、プラズモン効果によるものと考えられ、(a)では局在型のプラズモン、(b)では伝搬型のプラズモン効果が現れていると考えられる。前者の場合、散乱光強度が増大し、後者では減少していると考えられる。このような現象については、文献[7]の実験結果にみられる現象と対応させて考えることができる。すなわち、

Fig.5 Same as Fig.4 for $r_1 \sim 50$ nm.

局在型プラズモンでは、入射波の多くがそのまま散乱波となって測定されるが、伝搬型プラズモンでは、入射波が銀ワイヤーに沿って伝搬していくため、入射波が当たっている周辺からの散乱波が小さくなっていると考えられる。

5. まとめ

太さ 100 または 200 nm 程度のクモの糸に銀コーティングを施した太さ 110 または 210 nm 程度のワイヤーにレーザー光を垂直に当ててできる散乱光の強度を測定し、同軸二重円柱問題の回折理論の解に基づく計算結果と対照した。その結果、測定値と理論に基づく計算値が概ね良好に一致し、コーティング部分の複素屈折率、外径を決定できることを明らかにした。大きな屈折率虚数部の変動はプラズモン効果を示していると考えられる。ワイヤーの銀コート部の膜厚、屈折率が求められたので、プローブとして利用することにより、プラズモン効果を定量評価できる可能性を得た。

なお、太さや屈折率などのパラメータ値の不確かさの範囲については、比較的良好な一部の測定データについて決定を試みた。ここで用いた文献 [5]の方法は、金属コーティング 2 重円柱の場合にも適用できることが示された。

参考文献

- [1] 田丸博晴 他, 応用物理, **73**, 6, pp.786-771, 2004.
- [2] S. A. Maier and H. A. Atwater, J. Appl. Phys., **98**, 011101, 2005.
- [3] G. A. Wurtz, et al., Jpn. J. Appl. Phys., **41**, pp.L351-L354, 2002.
- [4] 田丸博晴, 宮野健次郎, 光学, **33**, 3, pp.165-170, 2004.
- [5] F. Tajima, et al., J. Opt. Soc. Am. **A27**, 1, pp.1-5, 2010.
- [6] F. Tajima and Y. Nishiyama, J. Opt. Soc. Am. **A22**, 6, pp.1127-1131, 2005.
- [7] 山田淳監修, プラズモンナノ材料の設計と応用技術, シーエムシー出版, 第 11 章, pp.128-140, 2006.

連絡先:

但馬文昭 (横浜国立大学教育人間科学部)

〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-2

Tel: 045-339-3448

E-mail: tajima@ynu.ac.jp

身体部位名称想起時における脳内部位活動について

Spatiotemporal Brain Activities on Recalling Body Names

田中良典
Yoshinori Tanaka
北海学園大学
Hokkai-Gakuen University

山ノ井高洋
Takahiro Yamanoi
北海学園大学
Hokkai-Gakuen University

大槻美佳
Mika Otsuki
北海道大学
Hokkaido University

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

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

山崎敏正
Toshimasa Yamazaki
九州工業大学
Kyushu Institute of Technology

Abstract: The authors have measured electroencephalograms (EEGs) from subjects observing images of part of human body and recalling them silently. The equivalent current dipole source localization (ECDL) method has been applied to these event related potentials (ERPs): averaged EEGs. ECDs were localized to the primary visual area V1 around 90msec and V4 around 320msec, to the parahippocampal gyrus, the right angular gyrus, the corpus callosum, and then ECDs have moved to the Wernicke's area in the left hemisphere around 450msec. Then ECDs were localized to the angular gyrus around 480msec, to the postcentral gyrus around 540msec, and again to the parahippocampal gyrus (paraHip) around 600msec. Finally, ECDs were localized to the superior frontal gyrus around 630msec, to the frontal pole, and to the Broca's area around 725msec. The search and preservation in the memory supposed to have been conducted from the observation of some activities on the paraHip.

1. はじめに

ヒトが言語を認知する際には、これまで言語野として指摘さ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、様々な部位が関与していることが昨今明らかになっている。

現在では、入力に関しては、語音→語音の弁別・認知(上側頭回)→意味の認知(Wernicke 野)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(左中心前回)を経る過程が想定されている。Wernicke 野自体は、音の弁別や音韻的处理の後の過程、すなわち、意味的处理ないし音—意味の連合などを司っていると考えられており、Broca 野は、発語そのものではなく、発語の前段階の言語レベルで関与していると考えられている。

しかしながら、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である。なぜなら、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絡み合っている存在し、厳密に現象を分離することが難しいからである。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。

一方、日本人における文字言語処理において、漢字と仮名の想起や書字に際して、脳の中で使う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、左右の脳機能に差が

存在すること、そして漢字とひらがなの認知では優位な脳半球が異なることを確認した[3]。

脳機能研究の初期において、脳内処理部位を解明する際には、発現する症状と脳内の損傷部位を対応させて議論を行ってきた。特に言語処理系においては、失語症の研究から明らかにされる場合が多い。

本研究では、提示された身体部位画像からその部位を想起・黙読した時の脳内処理部位および脳内処理過程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、身体部位の白黒の線画「耳」と「指」、「手」、「足」、「口」を提示し、その部位に対応する漢字を想起させた。本研究では、以上5つの画像のうち「口」に対しての脳波解析を試みた。

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秒間提示する。視覚刺激提示開始時から3秒間の脳波を計測し、最後にマスキング画面に戻る。以上のサイクルを40回繰り返し、1セットとする。一つの実験に対して、8セット(合計320回)繰り返す。提示する視覚刺激は、ランダムに表示した。

3. 脳内処理部位の推定方法

実験で得られた EEG に対して加算平均を加えた事象関連電位(ERP)に 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。

被験者毎の同心球モデルの設定には被験者の MRI 画像を利用した。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 版双極子推定ソフトウェア (SynaCenterPro : NEC) を用いた。なお、ECDL 法による推定結果に関しては、GOF 値が 98% 以上、95% の信頼限界が 1 mm 以下である結果を採用した。SynaCenterPro では、推定された結果のダイポールが被験者の MRI 画像にスーパー・インポーズされ表示される。

実験で得られた EEG には被験者の瞬目等によりノイズが混入する。この様な測定時のノイズを軽減する目的のため、計測された全ての EEG について波形を観察し、大きな乱れの存在する計測データについては解析対象から除外した後、加算平均処理をしている。

4. 脳内処理部位の推定結果

被験者 HT に対して行った 2 回の実験をそれぞれ HT1, HT2 とする。この 2 回のそれぞれの ERP に関して 3 つの共通点が認められた。

- ① 350msec 付近までは小さな振幅の周期的な波。
- ② 450msec 付近にて大きな負のピークが現れ、500msec を過ぎて大きな正のピークが現れる。
- ③ 500msec を過ぎてのピークは緩やかに減少し、700msec を過ぎて負の波となり 950msec で再びピークが現れる。

以上の結果から 350msec 以前で刺激の基本的処理がなされ、以後では高次処理が行われると考えられる。ECDL 法による推定部位とその潜時の関係を表 1 に、推定された ECD 経路を図 1、図 2 に示す。

表 1 推定された ECD とその潜時 [msec]

Area	V1	V4	ParHip	R Ang
HT1	94	324	398	438
HT2	88	317	345	358
	CoC	Wernicke	L Ang	L SMG
	449	453	484	487
	419	445	470	None
CoC	FuG	PstCG	FuG	ParaHip
509	516	L 539	557	591
525	None	R 541	None	616
	PrCG	SupFrG	FrPole	Broca
	617	L 629	712	726
	None	R 647	661	723

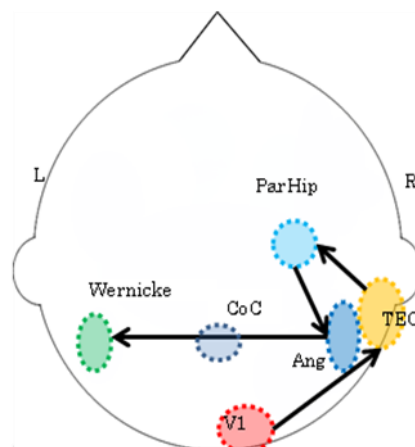


図 1 ECD の V1 から Wernicke 野までの経路

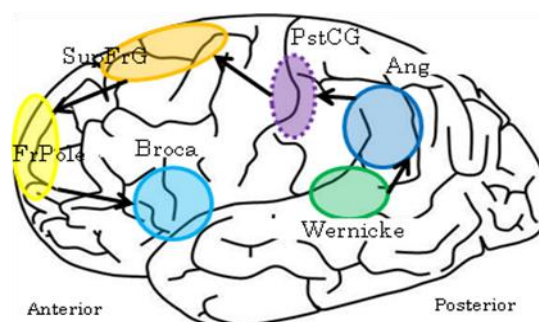


図 2 Wernicke 野から Broca 野までの経路

5. 脳内処理部位の推定結果の考察

右角回に推定された ECD はその後 Wernicke 野・左角回に移動しているが、この際に言語情報の統合が行われている。また海馬傍回での反応が数回にわたり推定されていることから、記憶の探索、記憶の保存・整理がそのつど行われていると思われる。さらに Broca 野での ECD の反応から、擬似的な発話の前処理がなされたと考えられる。

本研究は、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」の一環として行われた

参考文献

- [1] 大槻美佳：書字の神経機構，神経文字学，医学書院，pp. 179-220, 2007.
- [2] 山崎敏正，上條憲一，剣持聡久：動径成分の信頼限界に基づいた脳波信号源推定の精度評価，医用電子と生体工学，37-4，pp.336-341, 1999.
- [3] Yamanoi, T. 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.

連絡先

北海学園大学

山ノ井高洋

(Tel.: 011-841-1161, E-mail: yamanoi@hgu. jp)

ファジィ理論と自己組織化マップを用いた 検索アプリケーションの開発と評価

Development of a Fuzzy Retrieval Application with Self-Organizing Maps

宮川 智成 佐松 崇史
Tomonari Miyagawa Takashi Samatsu
東海大学 東海大学
Tokai University Tokai University

Abstract: This paper proposes usability improvement of a fuzzy retrieval system for purchasing cars using self-organizing maps. The aim of this system is supporting such persons who are not good with machines or cars. When they try to purchase a car, they can use this system easily as if they ask casually someone else who knows more about car. Unspecific conditions are expressed by the fuzzy set, and the level matching conditions are expressed by the grade values. To use this more practically, a GUI form with selection menus is developed. In addition, employing the self-organizing maps performs clustering and visualization of the result (obtained from the fuzzy retrieval system) in order to improve the accuracy of decision making.

Keywords: Fuzzy theory, Car retrieval system, Self-Organizing Maps

1. はじめに

近年、自動車メーカーから多種多様な自動車が発売されている。購入時に車名や性能などが分からない場合、目的の車種を選ぶことは大変難しい。そこで本研究では、ファジィ理論[1]を用いて自動車選択の意思決定支援を目的とした検索システムの開発を行う。これまでに利用者が選んだ各項目の適合度を元に、車名や画像を検索結果として提示できるシステムの開発に成功している[2]。利用者の選択内容に対する一致度は、各項目の適合度の値を平均して算出されるため、ほとんどは良好な結果が得られるが、相反する選択項目を選んだ場合、趣向の全く違った車が結果として提示され、利用者の判断を難しくする問題があった。そこで、SOM (Self-Organizing maps) [3]を採用し、クラスタリングと可視化を行うことで、ユーザビリティの向上と意思決定の精度向上を目指す。

2. ファジィ情報検索システム

2.1 GUI フォームと各項目の重要度

今回提案した GUI フォームを図1に示す。本研究では、スライダーオブジェクトを使用し、各項目に対する重要度を取り入れた。利用者は、特にこだわりたい項目や重要な項目を選択できる。フォームの詳細を以下に説明する。

- (a) 「価格」はクリスプ集合を用いており、100 万円～1000 万円の範囲でそれぞれ 50 万円ごとに選択することができる。
- (b) 「大きさ」、「排気量」、「最高出力」の項目では5つの三角型メンバーシップ関数を採用した(図2)。ここで、「大きさ」は自動車の全長×全幅とし、高さの要素は(d)の「見通しがいい」に用いている。

- (c) 「形」は自動車の側面画像から曲率を求め、“丸みがある”、“角ばっている”といった要素で選択できる。詳しくは2.5, 2.6節で述べる。
- (d) 「ボディタイプ」、「色」、「乗車定員」はクリスプ集合を用いている。「ボディタイプ」は2-Box・セダン・ワゴン、「色」はホワイト・シルバー・ブラックなどがあり、「乗車定員」は5～8人の範囲で選択できる。
- (e) 関心の高い項目の「低燃費」、「見通しがいい」、「室内ゆったり」の3項目にはファジィ集合を用いている。「低燃費」は10あたりの走行距離が長い自動車とし、現在日本で使われている10-15モードを採用している。10モードは都市部、15モードは郊外または高速道路での走行状態で模擬走行したものである。
- (f) 関心の高い項目の「スライドドア」、「キーレス」、「4WD」、「環境に優しい」はクリスプ集合を用いており、「環境に優しい」は、低排出ガスレベルの星の数が3つ以上の自動車で、その他は、それぞれが標準装備の自動車となっている。
- (g) スライダーオブジェクトは各項目の重要度を0～10の範囲で選択することができる。各項目のチェックボックスをONにすることで、スライダーオブジェクトを使用することができる。各項目の適合度と重要度の積を一致度とする。
- (h) 自動車検索の結果として、一致度の高い順に自動車の車種名が表示される。
- (i) それぞれの一致度が表示される。
- (j) これらボタンは、トヨタの公式ウェブサイトにリンクしているため、各車種の詳細をすぐに見ることができる。
- (k) 上位3位の画像が表示される。ここで表示される画像はそれぞれの自動車の代表的な色となっている。

図1 GUI フォーム

2.2 メンバーシップ関数

前節で述べたように、図2は「大きさ」のメンバーシップ関数で「小さい」、「やや小さい」、「普通」、「やや大きい」、「大きい」の5つのメンバーシップ関数を利用している。「大きさ」、「排気量」、「最高出力」の3項目については、利用者の希望を細かく反映させられるように、アンケート等でよく用いられる5つのメンバーシップ関数を採用した。

図3は「低燃費」のメンバーシップ関数で1つのメンバーシップ関数を利用している。「見通しがいい」、「室内ゆったり」の2項目についても同様である。

一般的に、メンバーシップ関数は主観的に決定されるため、汎用的な利用が難しい。そこで本研究では客観性を確保するために統計的手法を採用した。各データが正規分布に従ったとすると、各データの95%の領域をメンバーシップ関数の範囲とする。平均と標準偏差を用いるとメンバーシップ関数の範囲 A 、 B ($A < B$) は以下ようになる。

$$A = \mu - 2\sigma \quad (1)$$

$$B = \mu + 2\sigma \quad (2)$$

ここで μ 、 σ はそれぞれデータ x_i ($i=1,2,\dots,n$) の平均、標準偏差であり以下のように示す。

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2} \quad (4)$$

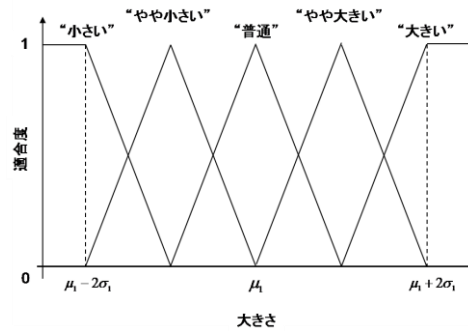


図2 「大きさ」のメンバーシップ関数

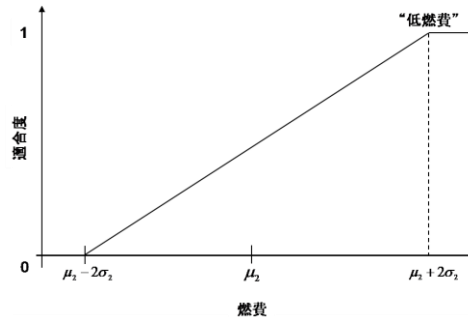


図3 「低燃費」のメンバーシップ関数

2.3 使用データ

本研究における車種データベースは、業界シェアが高いトヨタの車種データを採用した。対象車種は49種類である(52種類の中から大型車を除く、2008年1月現在)。利用者の大きさなどに対する感覚は実際の走行車両を見ることで培われると思われる。そこでその感覚を反映させるため、2005年～2007年の売上台数を使用した。

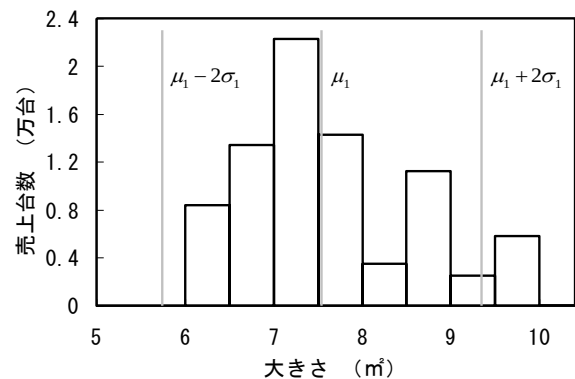


図4 「大きさ」のヒストグラム

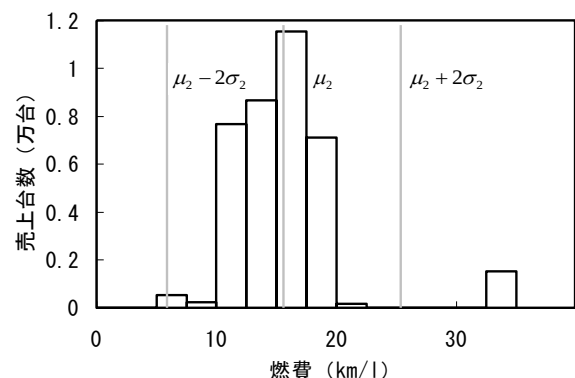


図5 「燃費」のヒストグラム

図4, 図5はそれぞれ「大きさ」と「低燃費」のヒストグラムである。メンバーシップ関数の範囲を $\mu \pm 2\sigma$ としたことで、極端に分布からはずれているデータは両サイドのメンバーシップ関数の領域に含まれる。

2.4 検索の過程と計算

検索の過程とメンバーシップ関数の適合度、各項目の重要度、一致度の計算方法を以下に説明する。

- (a) それぞれの項目に対して条件を選ぶ。利用者がこだわらない場合は skip を選ぶ。
- (b) クリस्प集合、ファジィ集合それぞれの適合度を計算する。

クリस्प集合

$$\alpha_k = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases} \quad (5)$$

ファジィ集合

$$\alpha_k = f_m(x) \quad (6)$$

ここで $f_m(x)$ は図2, 図3で示したメンバーシップ関数, k はクリस्प集合とファジィ集合の項目の数である。

- (c) スライダーオブジェクトの値 w_k は各項目の重要度を示している。一致度 P は以下のようにして求められる。

$$P = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m w_k \cdot \alpha_k \quad (7)$$

ここで m は項目数, P の範囲は 0~1 である。

- (d) 一致度 P が高い自動車から順に表示される。

2.5 曲率と曲率半径

本研究では、“丸みがある”・“角ばっている”など自動車の形状を表す指標として曲率を採用している。曲線が曲がっているとき、その部分的な曲がり具合を円に近似することができる。その円の半径を曲率半径といい、曲率は、曲率半径の逆数で求められる[4]。連続する曲線上の点 A における曲率は点 A と隣接する2点で定義される。点 $A(x_i, y_i)$ における曲率は点 $A(x_i, y_i)$ と隣接する点を点 $B(x_{i-1}, y_{i-1})$, 点 $C(x_{i+1}, y_{i+1})$ とすると以下の式で示される。点 A における曲率を k_i , 曲率半径を r_i とする。

$$k_i = \frac{1}{r_i} = \frac{2 \sin A}{BC} = \frac{2 \cdot (\overline{AB} \times \overline{AC})}{BC \cdot \overline{AB} \cdot \overline{AC}} \quad (8)$$

内積と、それぞれの座標間の距離は以下のようにして求められる。

$$\overline{AB} \times \overline{AC} = (x_{i-1} - x_i)(y_{i+1} - y_i) - (x_{i+1} - x_i)(y_{i-1} - y_i) \quad (9)$$

$$BC = \sqrt{(x_{i-1} - x_{i+1})^2 + (y_{i-1} - y_{i+1})^2} \quad (10)$$

$$AB = \sqrt{(x_{i-1} - x_i)^2 + (y_{i-1} - y_i)^2} \quad (11)$$

$$AC = \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2} \quad (12)$$

2.6 形状計算

今回、輪郭抽出を行う際に、サイズが一律な全車種の画像を用意することができなかった。そこで、サイズの異なる画像でも、同じ条件のもと曲率を求められるように、自動車の形状の指標である K は、以下の式で求める。この K によって2種類の“丸みがある”, “角ばっている”という自動車の形状を決定している。

$$K = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{l} \cdot \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_i \quad (13)$$

ここで $x_{\max}$, $x_{\min}$ は画像の x 座標の最大値と最小値である。 l は自動車の長さ (m), n はデータの個数である。

曲率の計算に用いた画像を図4に示す。画像は自動車の側面画像を用いた。



図4 自動車の輪郭

3. Self-Organizing Maps (SOM)

提案システムでは、価格・大きさ・形など多次元データの適合度を足し合わせて検索結果を出している。検索結果を利用者にとって、より分かりやすいものにするために、多次元データを2次元に射影することができ、予備知識なしに分類・可視化することのできる Self-Organizing Maps (SOM) [5][6]を用いてシステムのユーザビリティ向上を目指した。

例として「大きさ」と「形」の項目を選んだ時の検索結果(表1)について可視化したマップを図5に示す。

「大きさ」と「形」の相反する2つの項目がマップ上で左右に分類させている事が確認できる。

4. Web アプリケーション

検索システムの有為性の検証のため、多くの利用が見込める Web アプリケーションへの移植を試みた。図6は Web アプリケーションとして開発した提案システムの GUI フォームである。項目の詳細は以下の通りである。

- (a) は選択された項目の詳細表示エリア。
- (b) はヘルプ。

- (c)-(e) が項目選択ボタン。
 (d) の“サイズ”, “排気量”, “エンジン出力” にファジィ演算を用いる。
 (f) は重要度選択部。
 (g) (h) は検索結果表示部。
 (i) は言語切り替えボタン。
 (j) は検索結果のランキングを SOM で表示したもの。
 ※この検索システム図 6 に示した項目等の全ての移植が済んでいない。

表 1 検索結果のランキング

順位	スコア	車種名
1	0.4841	オーリス
2	0.4667	センチュリー
3	0.4413	ヴィッツ
4	0.4413	ラクティス
5	0.3922	パッソ
6	0.3807	ランドクルーザー
7	0.3797	イスト
8	0.3434	クラウン マジェスタ
9	0.3353	ハリアー ハイブリット
10	0.3330	ハイラスク サーフ

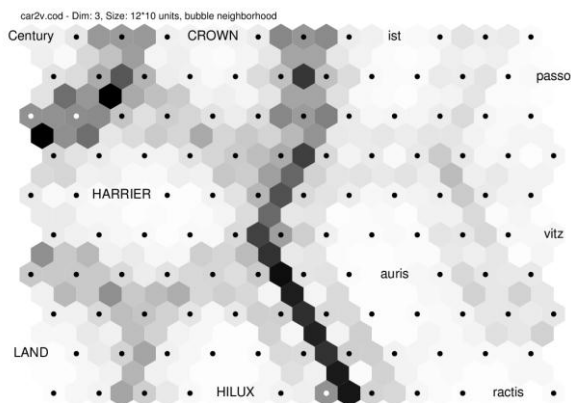


図 5 SOM マップ

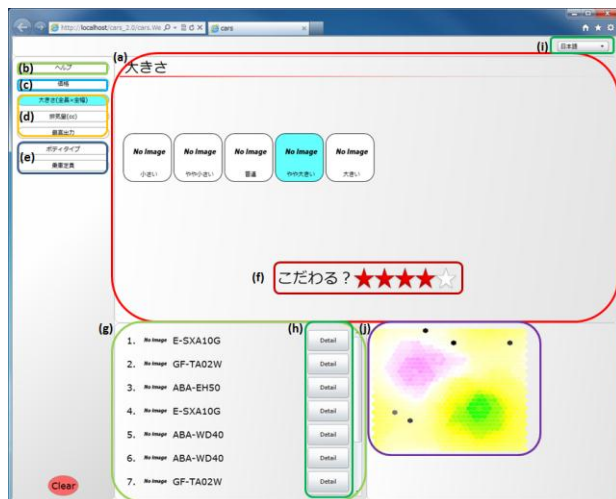


図 6 ファジィ検索システムの GUI フォーム

5. おわりに

ファジィ理論を用いた検索システムを提案した。あいまいな条件でも、ファジィ集合を用いることで、自動車に詳しくない人でも、詳しい人に尋ねるのと同じような感覚で検索することができ、自動車選びの支援ができた。また、スライダーオブジェクトを採用したことで重要度の選択が可能になり、利用者の感覚に近い検索システムになった。

さらに、ファジィ検索システムの出力結果の分類に、クラスタリングと可視化を得意とする SOM の採用を提案した。ファジィ検索により抽出した車種に適用した結果、相反する項目を選択した場合において、検索結果の分類に成功した。今後の課題として、Web アプリケーションを完成させ、利用者からのフィードバックを得ることでシステムの評価を行って行きたいと考えている。

参考文献

- [1] L. A. Zadeh, “Fuzzy Sets”, Information and Control, vol. 8, no. 3, pp. 338-358, 1968.
- [2] T. Samatsu, K. Tachikawa and Y. Shi, “GUI Form for Car Retrieval Systems Using Fuzzy Theory”, ICIC Express Letters, vol. 2, no. 3, pp. 245-249, 2008.
- [3] T. Kohonen, Self-Organizing Maps, Springer-Verlag, 1995.
- [4] 小野直樹, 瀧山 龍三, “離散点で表された曲線の曲率の計算について”, 電子情報通信学会研究報告, vol. 93, pp. 7-14, November, 1993.
- [5] 徳高平蔵, 岸田悟, 藤村喜久郎, “自己組織化マップの応用 多次元情報の2次元可視化”, 海文堂出版, 1999.
- [6] 徳高平蔵, 藤村喜久郎, 山川烈, “自己組織化マップ応用事例集 SOMによる可視化情報処理”, 海文堂出版, 2002.

連絡先

佐松崇史

東海大学 産業工学部 機械システム工学科

E-mail: samatsu@tokai.ac.jp

Tel: 096-386-2642 Fax: 096-381-7956

拡張ファジィ論理における IFS と HLS の比較(第2報)

—IFS 領域内データに対する線形含意演算の比較—

愛知工業大学

黄曉鈺

小田哲久

Comparison of the Two Extended Fuzzy Logic Models, IFS model and the HLS model (2): Detailed Analysis about the Linear Inclusion Operation

Aichi Institute of Technology

Huang Xiaoyu, Tetsuhisa Oda

Abstract: As one of the extended fuzzy logic/space model, K. Atanassov proposed the Intuitionistic Fuzzy Set (IFS) model. The IFS assumes the degree of membership and the degree of non-membership of an element of an ambiguous set. In Japan, the Hyper Logic Space (HLS) model was proposed by T. Oda. The HLS expanded the numerical truth-value of the fuzzy logic in order to define the degree of contradictions of the Fuzzy-set Concurrent Rating (FCR) method, which was proposed as a new psychological measurement method. Since the HLS closely resembles to the IFS, the superiority of the HLS to the IFS has not been clear. This study compares the results of each model's implication by defining new linear implication operations.

1. はじめに

拡張ファジィ論理には、命題 A の真理値を $\{t, f\}$ の対で表すタイプがある。 t は真理値、 f は偽値を表す実数値で、 $t, f \in [0, 1]$ である。本研究では、各種の拡張ファジィ論理モデルのうち、Atanassov の直観的ファジィ集合 IFS (Intuitionistic Fuzzy Set) [1] のモデルと、小田の HLS (Hyper Logic Space) [2] のモデルを比較対象とする。両者は定義域と否定演算が異なる [3]。なお、向殿と菊池の拡張区間真理値モデル [4] は、演算は IFS のモデルと同じだが、定義域は HLS モデルと同じである。本来、定義域の異なる 2 つのモデルを比較することは困難であるが、共通の範囲で準備したデータを用いて研究を進める。すなわち、本研究では、命題 A, B を HLS 上の IFS 領域に配置して含意演算を行った場合、IFS と HLS とで演算結果がどうか比較する。特に今回は、含意演算として、線形の演算を定義し、演算結果から、それぞれの拡張ファジィモデルの特性を考察する。

2. 研究方法

2.1 これまでの研究方法

著者らの最近の報告 [5][6][7] では、IFS に対する HLS の比較という視点から、点 A, B はともに IFS 領域にあり、結果も IFS 領域に収まるようなケースを分析している。IFS による含意演算 $A \rightarrow B$ を $\sim A \vee B$ 、HLS による含意演算 $A \rightarrow B$ を $\neg A \vee B$ と表記して、どちらのモデルが優位かを調べている。

ここでの含意の定義は、古典論理における含意の定義の拡張になっている。HLS モデルと IFS モデルによって、否定演算が違ふことが結果に大きく影響してくる。

この時採用した含意の定義では、IFS モデルの含意演算結果は IFS 領域外に出ることはないが、HLS モデルでの含意演算結果は、IFS 領域の外に飛

び出すケースがあった。そのケースでは直接的な比較ができないので、含意演算結果の統合値が同じかどうかを調べた。なお、そこでは、推論結果の一方が優位であるとは、「統合値が高いこと、ただし、同じ統合値なら、区間の幅が狭いこと」とあるとした。統合アルゴリズムとしては、小田の複合スコア法 1 (I4) を採用した。

なお、2次元ファジィ論理空間 $(T \times F)$ 上の 1 点 $A = (t_a, f_a)$ は、数値真理値空間 V 上の閉区間 $I_a = [t_a, 1 - f_a]$ に変換されるとした。

2.2 今回の研究方法

これまでの研究 [5], [6], [7] では、論理演算として、 $\max, \min$ を使った非線形演算を用いたが、場合分けが多くなり、分析が煩瑣であった。そこで、今回は、線形の含意演算 (後述) を定義する。その他の研究方法は、これまでの研究と同様とする。含意演算記号も同じく IFS は $\sim A \vee B$ 、HLS は $\neg A \vee B$ と表記するが、その内容はこれまでと異なる。

3. HLS モデルと IFS モデルの比較

3.1 データ領域の違い

任意のファジィ命題 A および B について、その真理値と偽値の対を、それぞれ、

$$A = \{t_a, f_a\}, B = \{t_b, f_b\}, t_a, t_b, f_a, f_b \in [0, 1] \quad (1)$$

と表記する。

アタナソフの IFS モデルは、

$$t + f \leq 1 \quad (2)$$

という制約を基本定義とする。一方、小田の HLS モデルは、 t, f は完全に独立としている。この相違を図 1 に図示する。

この違いにより、両モデルは直接的には比較しにくい。そこで、IFS モデルのデータに限定して比較することで、両モデルの違いを示すことにする。

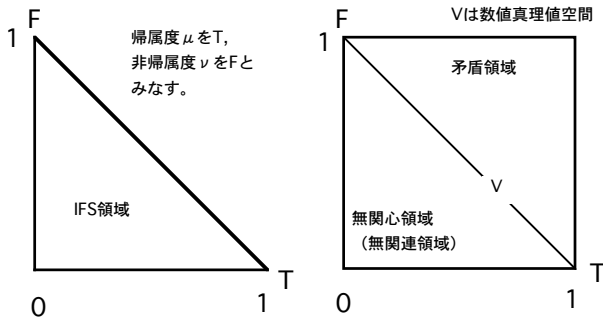


図1 両モデルのデータ領域の相違

3.2 否定演算の相違

IFSモデルの否定は、真偽交換型で、

$$\sim A = \{fa, ta\} \quad (3)$$

と表記できる。(3)では、否定の結果がIFS領域をはみ出すことはない。

HLSモデルの否定は、真偽完全独立で、それぞれ、1からの補の演算であり、

$$\sim A = \{1-ta, 1-fa\} \quad (4)$$

と表記する。(4)の否定演算によって、無関心領域のデータは矛盾領域に入る。

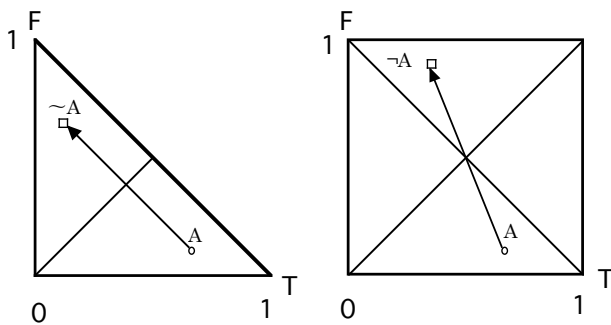


図2 モデルによる否定演算結果の違い

3.3 本研究での基本論理演算の定義

従来の我々の研究では、否定以外の基本演算として、両モデルに同じ演算定義を適用してきた。それは、

$$A \vee B = (\max(ta, tb), \min(fa, fb)) \quad (5)$$

$$A \wedge B = (\min(ta, tb), \max(fa, fb)) \quad (6)$$

とするものであった。

しかし、本研究では、代数和、代数積のルールを採用する。すなわち、

$$A \vee B = (ta + tb - 1, fa \cdot fb) \quad (7)$$

$$A \wedge B = (ta \cdot tb, fa + fb - 1) \quad (8)$$

を適用する。これは、IFS, HLSと同様の2次元ファジィ論理で、F. Smarandache [8]の提唱するNewtrosophic Setモデルで採用された基本演算である。

3.4 含意演算の相違

両モデルの含意演算 ($A \rightarrow B$) としては、最も一般的と思われる「Aの否定とBとの論理和」を採用して比較することにする。否定演算記号の表記で、モデルを区別する。

HLSモデルでは、

$$\sim A \vee B = \{(1-ta) + ta \cdot tb, (1-fa) \cdot fb\} \quad (9)$$

また、IFSモデルでは、

$$\sim A \vee B = \{fa + tb - fa \cdot tb, ta \cdot fb\} \quad (10)$$

となる。実際は、IFSモデルではこのような演算が定義されていないので、あくまでも、本研究での仮託である。

3.5 採用した含意演算の定義の意味

安井と向殿は、「Lukasiewicsの含意を用いたファジィ論理プログラミングに関する考察」[9]の中で、様々な研究者が提案した含意演算を整理して示している。その表記を $a \rightarrow b$ に対する演算式として書き直してみると、次のようになる。

$$\text{Kleene-Dienes} \quad \max\{1-a, b\}$$

$$\text{Reichenbach} \quad 1-a+a \cdot b$$

$$\text{Lukasiewics} \quad \min\{1-a+b, 1\}$$

$$\text{Gödel} \quad \begin{cases} 1 & (\text{if } a \leq b) \\ a & (\text{otherwise}) \end{cases}$$

$$\text{Goguen} \quad \begin{cases} 1 & (\text{if } a = 0) \\ \min(1, b/a) & (\text{otherwise}) \end{cases}$$

$$\text{Zadeh} \quad \max\{1-a, \min(a, b)\}$$

これらは、伝統的な1次元の数値真理値に対する定義であるが、それを2次元に拡張して使うことになる。その際には、T(真理値)側はこのままで良いが、F(偽値)側は論理和と論理積が逆になるので注意を要する。従来の我々の研究は、Kleene-Deienesの定義を2次元に拡張したものに相当する。そして、今回の研究では、HLSモデルにおける含意の定義(9)は、Reichenbachの含意を2次元に拡張して適用していることに相当する。一方、IFSに仮託して作成した含意(10)は、結果的にこれらのどれにも近似していない。

4. シミュレーションによる分析

$A = \{ta, fa\}$, $B = \{tb, fb\}$ と、計4個の変数があり、それらが、 $ta + fa \leq 1$, $tb + fb \leq 1$ というIFS領域内データであるという仮定をおくので、数理的な解析はやや複雑になる。

それで、今回は、簡単な数値シミュレーションで傾向把握を試みることにする。

4.1 シミュレーションの手続きと結果

(1) $[0, 1]$ 一様乱数を2個生成し、 ta と fa とする。ただし、 $ta + fa > 1$ ならば、(1)を繰り返す。

(2) $[0, 1]$ 一様乱数を2個生成し、 tb と fb とする。ただし、 $tb+fb>1$ ならば、(2)をやり直す。こうして、 A, B 各10,000の乱数を生成。

以下、その疑似データを用いてモデル比較を行う。

(3) IFSモデルの含意 $\sim A \vee B$ を計算し、結果を $RIFSc=\{RIFStc, RIFSfc\}$ とする。1,000点ぶんの散布図を図3に示す。

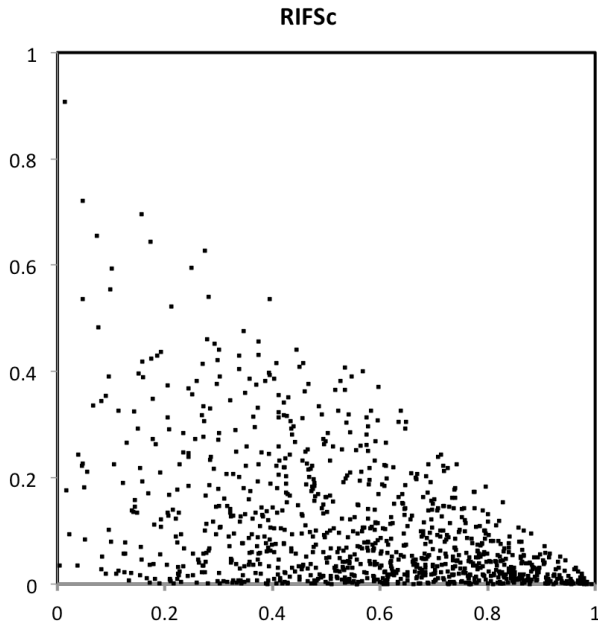


図3 IFSモデルに仮託した含意演算結果
演算結果はすべてIFS領域内に収まる。

(4) HLSモデルの含意 $\sim A \vee B$ を計算し、結果を $RHLSc=\{RHLStc, RHLScfc\}$ とする。(図4)1,000点のみ表示。

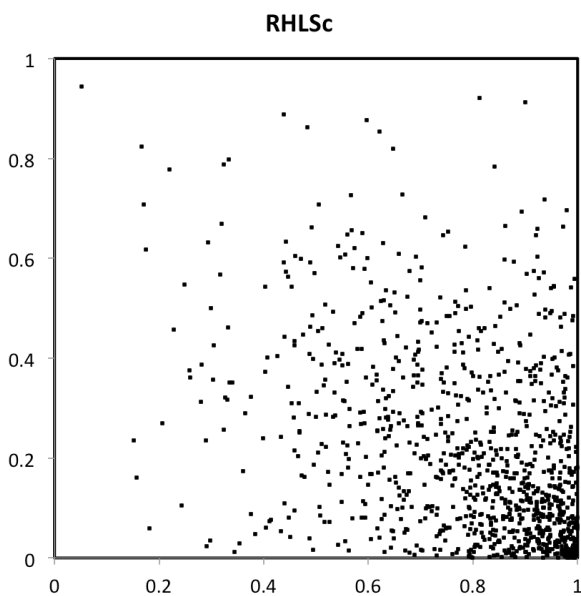


図4 HLSモデルによる線形含意演算結果

(5) IFSモデルに仮託した線形含意演算結果の

和、 $S_ifs=RIFStc+RIFSfc$ を10,000個計算し、その分布を表示する。(図5)すべてが、IFS領域内に収まる。非対称であるだけでなく、0.8ないし0.9あたりが多く、1近傍では少し下がる。

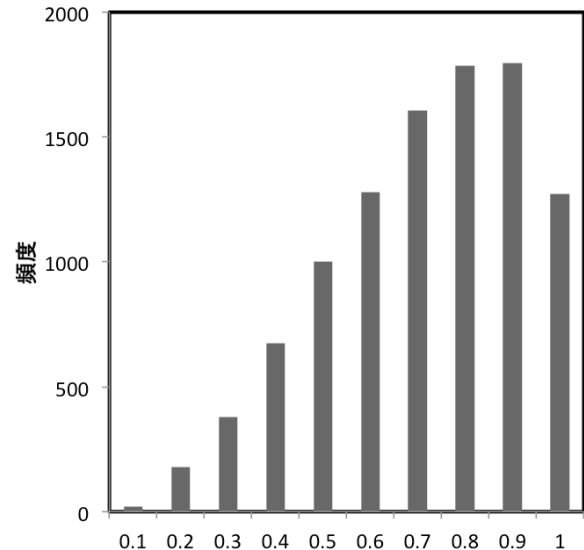


図5 IFSモデルに仮託した線形含意演算結果の和
(真理値 t と偽値 f の和)

(6) HLSモデルにおける線形含意演算結果の和 $SHLSc=RHLStc+RHLScfc$ を計算し、その分布を表示する。(図6)点の数は10,000個。

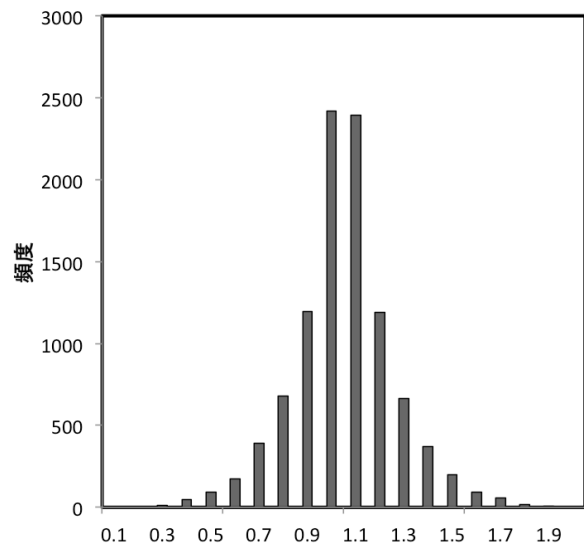


図6 HLSモデルによる線形含意演算結果の和

図6からは、和の値は1を中心にして、無関心領域と矛盾領域に対称的に現れることがよくわかる。1の近傍が特に多い。

(7) 同一のデータ A, B から得られた、2種類の含意演算結果 $RIFSc$ と $RHLSc$ から、それぞれ、統合値 $I2IFSc$ と $I2HLSc$ を計算し、両者の散布図を描く(図7)10,000点を表示。

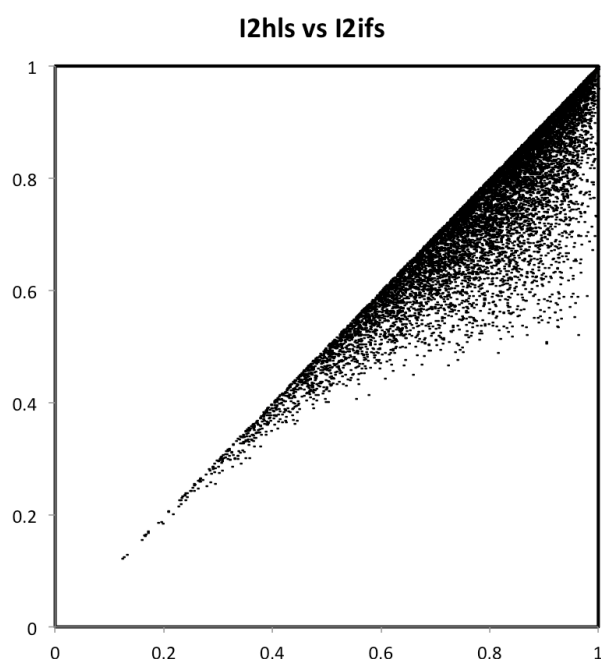


図7 含意演算結果による統合値間の比較

図7は、横軸は HLS による線形含意演算結果の統合値 I2HLS、縦軸は、同じデータ A,B からの、IFS に仮託した線形含意演算結果 I2IFS を示す。点の数は 10,000 個。この図から、HLS モデルの方が統合値が大きくなるのがわかる。ただし、図8に示すように、その差は決して大きいものではない。

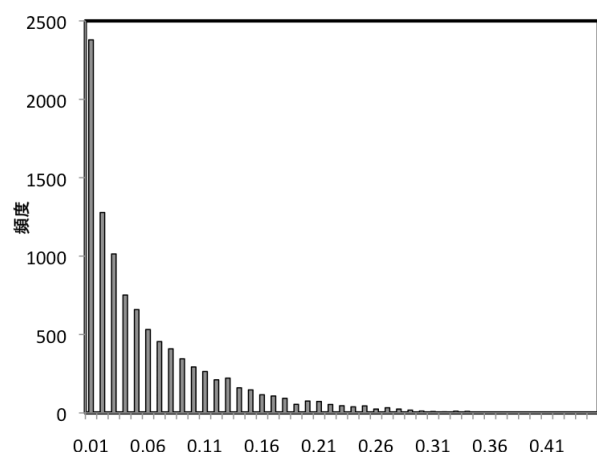


図8 含意演算結果の統合値比較（差の分布）

5. 結論

本研究は、従来の筆者らの研究を継承して、2種類の拡張ファジィ論理モデルにおける含意演算結果に関して下記の条件を設定し、モデルの優位性の比較を試みた。

- ・推論 $A \rightarrow B$ の式は、古典論理の場合と同じく、 $(\text{Not } A) \vee (B)$ を採用した。
- ・含意演算の定義として、線形の定義を採用した。

HLS モデルに対する定義は、Reichenbach の定義の拡張になっているが、IFS モデルに仮託した定義は、どの定義にも近似していない。

- ・両モデルの含意演算結果を、線形統合式 $I_2 = (t+1-f)/2$ で評価した。

・今回は幾何学的あるいは代数的な解析ではなく簡略な数値シミュレーションによって傾向を調べるにとどまった。その結果はこれまでの研究 [5][6][7]と同様、IFS 領域のデータに対して我々が IFS モデルに仮託して定義した線形含意演算 (10) は、HLS モデルに適用した線形含意演算の結果より小さい値を示すことがわかった。この事は、必ずしも HLS の全面的な優位性を示すものではない。今後、別の含意演算についても同様の解析を行って行きたい。

参考文献

- [1]K. Atanassov: Intuitionistic Fuzzy Set Theory and Applications, Physica Verlag, pp.1-60, 1999
- [2]小田：多次元多値論理の提案,日本経営工学会論文誌, Vol.49, No.3, pp.135-145, 1998
- [3]小田、大庭、程、黄：FCR 法と Intuitionistic Fuzzy Set の比較研究、ファジィシステムシンポジウム講演論文集、Vol.23,WC1-4, 2007
- [4]向殿、菊池：ファジィ・インターバル論理の提案、日本ファジィ学会誌、Vol.2, No.2, pp.97-110, 1990
- [5]黄、小田：拡張ファジィ論理における推論結果の比較 -ATANASSOV の IFS モデルと HLS モデルの比較 -, 第 44 回日本経営システム学会全国研究発表大会講演論文集 pp74-75, 2010
- [6]黄、小田：拡張ファジィ論理における IFS と HLS の比較 -HLS の推論結果が非 IFS 領域に入る場合 -, 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講演論文集、pp.55-58, 2011
- [7]Huang Xiaoyu, Tetsuhisa Oda: Comparison of Extended Fuzzy Logic Models of A-IFS and HLS: Detailed Analysis of Inclusion in the A-IFS Area of the Data Sets for Implication Operations, International Conference on Information and Communication Technologies and Applications, pp.176-181, 2011
- [8]F.Smarandache, A UNIFYING FIELD IN LOGICS: NEUTROSOPHIC LOGIC. NEUTROSOPHY, NEUTROSOPHIC SET, NEUTROSOPHIC PROBABILITY.
<http://preprints.readingroo.ms/Smarandache/eBook-Neutrosophics2.pdf>
- [9]安井、向殿：Łukasiewics の含意を用いたファジィ論理プログラミングに関する考察、日本ファジィ学会誌、Vol.8, No.5, pp.937-946, 1996

連絡先

愛知工業大学 小田哲久

(Tel.: 052-757-0810, E-mail: oda@aitech.ac.jp)

自立生活支援ロボット

A Novel Human Support Robot for Independent Living

○王碩玉（高知工科大学） 石田健司（高知大学） 藤江正克（早稲田大学）

Shuoyu WANG, School of System Engineering, Kochi University of Technology

Kenji ISHIDA, Medical School, Kochi University

Msakatsu FUJIE, Department of Modern Mechanical Engineering, Waseda University

Abstract: In this paper a new living support robot is proposed. This robot can support moving, training, transferring, rehabilitation for aged person. Therefore, the robot will be called Multi-function Type Human Support Robot for Independent Living. Finally the effectiveness of this robot is shown by experiment result.

Key Words: Support, Live Support Robot, Human Support, Multi-function, Mobile, Transferring, Training, Rehabilitation

1. 緒言

近年、介護の人手不足で、本来軽度の高齢者は「寝かされ老人」となり、結局急速に寝たきり状態に陥ってしまうという問題が起きている。そこで、軽度の高齢者の重度化予防に有効で且つ手軽に使える自立生活支援機器の開発は急務である[1]。現在、国内・国外では、商品化されている福祉介護機器例えば、移動用シルバーカーや歩行車や車いす、訓練用歩行器や平行棒、立ち上がり支援椅子、移乗用リフトなどが多数ある。しかし、これらの生活支援機器では、個別機能対応型が多く[2]、その使い方が統一されていないので、各々の個人にとっては操作法をマスターするのが難しい。また、狭い自宅や施設の個室では多数の機器を収納するのが現実的には困難である。実際の現場では、移乗用リフトのような利用率が非常に低い物も多い。結局介護士の力任せに抱え込んで移乗させている。その結果、介護者の8割は腰痛があり大問題となっている。したがって、操作しやすく役に立つロボット技術が期待されている[3]。

本研究では、単体多機能型自立生活ロボットを提案し、多機能中の共通課題を抽出し、そして解決することを最終目的としている。ここで第一報として、まず移動・移乗・訓練・作業支援を一体化させる自立生活ロボットを試作して、福祉施設にてヒヤリングした結果について報告する。

2. 目指している自立生活支援ロボット

日常生活において最も基本とされている、移乗、移動、訓練、作業支援を一体化させる単体多機能型生活支援ロボットの基本構造を図1に示す。狭い住宅や施設中の個室でも使用できるように、全方向移動技術を使用する。具体的には臨床試験により有用性が認められている全方向移動型歩行訓練機[4]に使用している、小型高出力なオムニホイールを用いる。シートはソフト的素材を使用するが、その形状として後部より前方が狭く取っている。これは、通常の車いすと違って、跨っている姿勢で使用できるため、使用事例で述べるように、多様な生活動作を実現できるようになる。セフティー・バーは、左右の肘掛は90度範囲で回転でき、折りたたみ式の背もたれは後方に180度収納できる。これは移乗の際にベッドやソファやトイレとの零距离で接近するためである。高さを

上下に可変にすることにより、異なる身長の利用者対応や移乗対象の高度に合わせることができる。姿勢センサーを本体に取り付けて、部屋の中で自律移動の際に、物と人の相対関係を測り回避しながら目的地まで誘導する。力覚センサーを四か所に設置して、使用者の重心位置測定や中心から重心に向かう方向測定をリアルタイムで行うことで、重心位置ずれによる経路追従誤差の低減および身体の片向きによる操作が可能となる。電動車いすの走行操作と同じ目的で、ジョイスティックも設けてはいるが、下方に収納できることにする。よって、使用者の方向からかつ楽な姿勢で乗車・下車ができる。現場でヒヤリングを実施するために、電気コードやマイコンなどは見えないようにコントロール・ボックスやパイプの中に入れる。

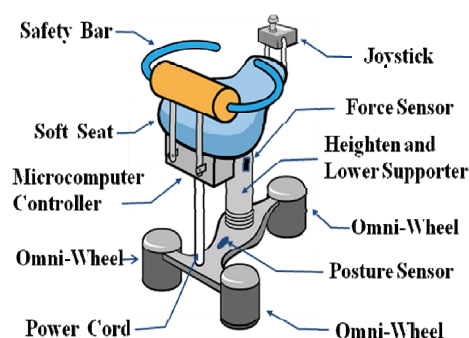


図1 単体多機能型自立生活支援ロボット

操作法として、①ハンドによる操作モード、②足による操作モード、③身体の傾きによる操作モードがある。移動や作業支援は操作モード①、訓練やリハビリテーションは操作モード③、移乗は操作モード②を使用する。ジョイスティックを用いる操作モード①は、通常の電動車椅子の操作と同じであるが、足使用モード②と身体の傾き利用操作モード③は、モダンで簡単にモードを切り替えられ、使用者は特に意識せずに操作できるようにする。

各機能の例としてイメージ図により述べる。たとえば、高さの調整とセフティー・バーの収納を図2、ベッドや便座やソファとの間の移乗を図3に示す。移動を図4、歩行訓練を図5に示す。更に作業支援や立ち上り支援も可能である。

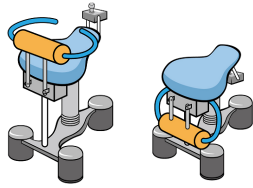


図2 生活支援ロボット



図3 移乗



図4 移動



図5 座位歩行訓練

軽度の高齢者は本支援機器を用いれば、自立生活ができるようになり、結果として重度要介護者人口が減り、介護人材不足の問題は緩和される。

物を相手にする産業用ロボットは高精度・高速度を迫及しており、その各種制御法が開発された。人間を対象とする福祉介護機器に適用する適切な制御法を開発することが必要である。たとえば、図3～図7に示すように、多様な支援動作を一つの機器で実現する生活支援ロボットには、ロボット自身は使用者の意図を正確に推定、運動を能動的に生成、そして人～機械系を乗り心地良く且つ適切に制御することが必須である。したがって、福祉機器の自動制御における共通課題として、意図推定法、運動生成法、乗り心地の計測法、人間～機械系の制御法の構築が挙げられる。

3. 単体多機能型自立生活支援ロボットの試作

単体多機能型自立生活支援ロボットの試作機を写真1、本体の高度調整様子を写真2に示す。



写真1 生活支援ロボット



写真2 高さの調整

外径寸法はW630×D670×H760～1070 [mm]，座面高度の可調整範囲は400～710 [mm]，台車重量は約40kg，駆動輪は3輪ともモータと減速機を一体したオムニホイールユニット使用，電源は鉛蓄電池で連続駆動満充電にて3～4時間，搭乗者重量は最大80kg，移動速度は1.07km/h～2.73km/hである。

4. 病院福祉施設でのヒヤリング

試作した単体多機能型自立生活支援ロボットを用いて、特

別養老ホームにてヒヤリングを行った。ディスクの前では横方向への作業を写真3，ベッドからの移乗を写真4に示す。



写真3 ディスク作業



写真4 ベッドから移乗

さらに写真5に示すように、座位姿勢での歩行リハビリテーションの可能性について調査を行った。擬似的歩行訓練の際に、写真6に示すように、歩行に最も重要とされている大腿四頭筋と大腿二頭筋の筋収縮を計った。



写真5 座位歩行試験

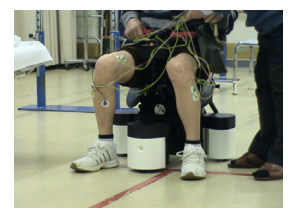


写真6 筋収縮の測定

福祉施設では、各機能を備えるロボットの必要性があることは認められた。一方、より便利な操作法も求められている。また、横幅をより狭くしてほしい要望があった。しかし、横幅を狭くしてしまうと、安定領域の面積が小さくなるので、転倒の恐れが出てくる。両方とも満たせるのが課題である。

座位歩行の試験では、後方歩きでは、大腿四頭筋（内側広筋：膝を伸ばす筋）が良く使われている。大腿の筋（膝より上の筋）の方が、下腿の筋（膝より下の筋）より、筋放電量が多いことが判った。

5. 結言

本研究では、単体多機能型自立生活ロボットの概念を提案し、基礎研究用の試験機を試作した。実験・試験のために予備的調査を行い、ニーズのあることと改善点が分かった。また、座位での歩行による歩行訓練の可能性を確認した。当日、写真や動画を用いて詳細について説明する。

参考文献

- [1] “NEDO 福祉用具実用化開発推進事業”，中間評価報告書(2005年3月)
- [2] “国際福祉機器展 H.C.R. 2009”，<http://www.hcr.or.jp/> (2009年9月29日～10月1日)
- [3] 藤江正克：“役に立つ生活支援ロボットをめざして”，日本ロボット学会誌，pp.12～13，Vol.26，No.8(2008年8月)
- [4] 石田健司，王碩玉，永野敬典，岸孝司：“全方向移動型歩行訓練機を用いた運動訓練の有用性”，運動・物理療法 (J.Physical Medicine)，pp.246～250，Vol.19，No.4(2008年8月)

Formulation of Linear Regression Model for Linguistic Random Data

¹Junzo Watada

Graduate School of Information, Production and Systems, Waseda University

2-7 Hibikino, Wakamtsu, Kitakyushu 808-0135 JAPAN

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

ABSTRACT: The objective of this paper is to build a model for the linguist random regression model as a vehicle to solve linguistic assessment given by experts. The difficulty in the direct measurement of certain characteristics makes their estimation highly impressive and this situation results in the use of fuzzy sets. In this sense, the linguistic treatment of assessments becomes essential when fully reflecting the subjectivity of the judgment process. When we know the attributes assessment, the linguistic regression model get the total assessment.

Keywords: Linguistic expression, fuzzy random variable, expected value, fuzzy regression model, variance, confidence interval

1 Introduction

That we all know, experts with much professional experiences are capable of making assessment using their intuition and experiences. In the assessment process, the linguistic words are always used to do the evaluation. On this condition, we cannot get an accurate evaluation of the object. To cope with linguistic variables, we define processes of vocabulary translation and vocabulary matching which convert linguistic expressions into membership functions defined in the unit interval, and vice versa. Fuzzy random regression analysis [1], [5], is employed to deal with mapping and assessment process of experts which are realized from linguistic variables of features and characteristics of an objective into the linguistic expression articulating the total assessment.

2 Fuzzy Random Variable

Note that credibility measure is an average of the possibility and the necessity measure, i.e., $Cr\{\cdot\} = (Pos\{\cdot\} + Nec\{\cdot\})/2$, and it is a self-dual set function, i.e., $Cr\{A\} = 1 - Cr\{A^c\}$ for any A in $P(\Gamma)$. The motivation behind the introduction of the credibility measure is to develop a certain measure, which is a sound aggregate of the two extreme cases, such as the possibility (which expresses a level of overlap and is highly optimistic in this sense) and necessity (which articulates a degree of inclusion and is pessimistic in its nature). Based on credibility measure, the expected value of a fuzzy variable is presented as follows:

Definition 1 (Liu *et al.* [6]): Let Y be a fuzzy variable. The expected value of Y is defined as

$$E[Y] = \int_0^{\infty} Cr\{Y \geq r\} dr - \int_{-\infty}^0 Cr\{Y \leq r\} dr \quad (1)$$

provided that at least two integrals are finite.

Definition 2 (Liu *et al.* [6]): Let ε be a fuzzy random variable with expected value e . Then, the variance of ε is defined by $V[\varepsilon] = E[(\varepsilon - e)^2]$.

3 Linguistic Random Model

3.1 Linguistic Random Variables

In making assessments regarding some objects, we use multi-attribute evaluation. The difficulty in the direct measurement of certain characteristics makes their estimation highly impressive and this situation results in the use of fuzzy values and linguistic values. Often, experts use a linguistic word to judge an object from various features and characteristics. And the whole process is in linguistic way. For instance, although it is possible to measure numerical value, it is difficult to analytically interpret the obtained numerical value in terms of possible influence. This result might have impacted on further decision making. As Table 1 shows and evaluation of attribute k given by expert i .

In this study we built a model based on the relationship between the assessments given for different attributes and the overall assessment of the object totally. Watada *et al.*[1] propose fuzzy random regression model with confidence interval to deal with situations under hybrid uncertainty. The data given by experts are shown in Table 1 such as “good,” “bad,” “extremely bad,” as fuzzy random numbers.

Table 1: Linguistic values of each object w given by experts

sample sample	Attribute k			Total l assessment
	1	...	K	Y
1	(L_{11}, p_{11})	...	(L_{K1}, p_{K1})	(T_1, p_1)
2	(L_{12}, p_{12})	...	(L_{K2}, p_{K2})	(T_2, p_2)
3	$(\text{good}, 0.2)$	...	$(\text{very good}, 0.1)$	$(\text{good}, 0.1)$
$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$
N	(L_{N1}, p_{N1})	...	(L_{KN}, p_{KN})	(T_N, p_N)

Table 2: Linguistic values of each object w given by experts

Sample i	Inputs				Output Y
	X_1	X_2	...	X_K	
1	X_{11}	X_{12}	...	X_{1K}	Y_1
2	X_{21}	X_{22}	...	X_{2K}	Y_2
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	...	$\vdots$	$\vdots$
N	X_{N1}	X_{N2}	...	X_{NK}	Y_N

An event has its population including the finite or infinite number of samples with probability. Generally such probability is not known clearly. We employ it by the linguistic assessment result percentage. Such as, 50 experts evaluate the object good, and 50 percentage evaluate the object very good, then the probability is 0.5, 0.5 respectively.

Then, we translate attributes from linguistic values L_i into fuzzy grades X_L making use of triangular membership functions:

$$X_L \equiv (a, b, c) \quad (2)$$

where X_L denotes the central value of the fuzzy event, b, c are the left-side bound and right-side bound, respectively.

The estimation of the total assessment is written by the following fuzzy assessment function:

$$Y_i = f(X_{L1}, X_{L2}, \dots, X_{LK}) \quad (3)$$

where $i=1, 2, \dots, N$, is the number of experts, k is the attributes of the object. Then the X_L is obtained from the vocabulary matching.

3.2 Regression model

Then all the linguistic data have been converted to fuzzy random variable data. Then we need to build a fuzzy regression model for fuzzy random data, which is based on the possibilistic linear model.

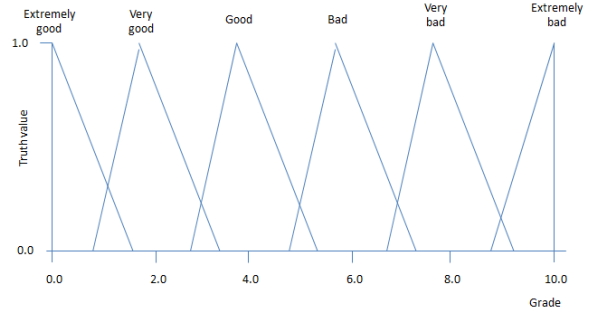


Figure 1: Example figure for demonstration

Fuzzy Random Regression Model with Confidence Interval: Table 2 is the format of data that come from linguistic words, where input data X_{ik} and output data Y_i , for all $i=1, 2, \dots, n$ and $k=1, 2, \dots, K$. They are all fuzzy random variables, which defined as:

$$Y_i = \bigcup_{t=1}^{M_{Y_i}} \{(Y_i^t, Y_i^t, Y_i^t), p_i^t\}, \quad (4)$$

$$X_{ik} = \bigcup_{t=1}^{M_{X_{ik}}} \{(X_{ik}^t, X_{ik}^{t,l}, X_{ik}^{t,r}), q_{ik}^t\},$$

respectively. This means that all values are given as fuzzy numbers with probabilities, where fuzzy variables (Y_i^t, Y_i^t, Y_i^t) and $(X_{ik}^t, X_{ik}^{t,l}, X_{ik}^{t,r})$ are associated with probability p_i^t and q_{ik}^t , for $i = 1, 2, \dots, N$, $k = 1, 2, \dots, K$ and $t = 1, 2, \dots, M_{Y_i}$ and $M_{X_{ik}}$ respectively.

Let us denote fuzzy linear regression model with fuzzy coefficients $\bar{A}_1, \dots, \bar{A}_K$ as follows:

$$\bar{Y}_i = \bar{A}_1 X_{i1} + \dots + \bar{A}_K X_{iK}, \quad (5)$$

Watada and Wang [8] used expectation based inclusion, and converted the fuzzy random regression model (6) to the following expected value regression model which corresponds to the conventional fuzzy regression model:

$$\min_{\bar{A}} J(\bar{A}) = \sum_{k=1}^K (\bar{A}_k^r - \bar{A}_k^l)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{subject to } \bar{A}_k^r \geq \bar{A}_k^l, \\ \bar{Y}_i = \sum_{k=1}^K \bar{A}_k E(X_{ik}) \supset_h E(Y_i), \end{array} \right\} \quad (6)$$

where $k = 1, 2, \dots, K$, and the $\supset_h$ denotes the fuzzy inclusion relation realized at level h . However, such calculation could be difficult since the product of two triangular fuzzy numbers does not retain the same triangular shape of the resulting membership function. Given this, the solution to

Table 3: Output and Inputs

Sample	Input						Output
i	X_1		X_2		X_3		Y
1	(Extremely good), 0.5; (very good), 0.5;	(very good), 0.6; (good), 0.4 ;	(bad), 0.5; (very bad), 0.5 ;	(popular), 0.8; (normal), 0.2;			
2	(very good), 0.75; (good), 0.25;	(good), 0.6; (very good), 0.4;	(good), 0.8 ; (bad), 0.2;	(popular), 0.6; (normal), 0.4;			
3	(good), 0.6 ; ((bad), 0.4;	(very good), 0.8; (good), 0.2;	(extremely good), 0.6; (good), 0.4;	(popular), 0.75 ; (normal), 0.25 ;			
4	(good), 0.2; (very bad), 0.8;	(bad), 0.4 ; (very bad), 0.6;	(bad), 0.6; (extremely bad), 0.4;	(bad), 0.6 ; (normal), 0.4;			

Table 4: Fuzzy sets of inputs and output

sample	Accommodation state / X_1		Environment around state/ X_2		Facilities state/ X_3		Total Assessment/ Y	
1	(0.0,0.0,1.5), 0.5 (0.5,2.0,3.5), 0.5		(0.5,2.0,3.5), 0.6 (2.5,4.0,5.5), 0.4		(4.5,6.0,7.5), 0.5 (6.5,8.0,9.5), 0.5		(0.0,0.0,4.0), 0.8 (3.0,5.0,7.0), 0.2	
2	(0.5,2.0,3.5), 0.75 (2.5,4.0,5.5), 0.25		(2.5,4.0,5.5), 0.6 (0.5,2.0,3.5), 0.4		(2.5,4.0,5.5), 0.8 (4.5,6.0,7.5), 0.2		(0.0,0.0,4.0), 0.6 (3.0,5.0,7.0), 0.4	
3	(2.5,4.0,5.5), 0.6 (4.5,6.0,7.5), 0.4		(0.5,2.0,3.5), 0.8 (2.5,4.0,5.5), 0.2		(0.0,0.0,1.5), 0.6 (2.5,4.0,5.5), 0.4		(0.0,0.0,4.0), 0.75 (3.0,5.0,7.0), 0.25	
4	(2.5,4.0,5.5), 0.2 (6.5,8.0,9.5), 0.8		(4.5,6.0,7.5), 0.4 (6.5,8.0,9.5), 0.6		(4.5,6.0,7.5), 0.6 (8.5,8.5,10.0), 0.4		(6.0,6.0,10.0), 0.6 (3.0,5.0,7.0), 0.4	

the problem will rely on some heuristics method as proposed by Watada and Pedrycz [2].

First we consider the one sigma confidence interval of each fuzzy random variable, and it is expressed as follows:

$$\begin{aligned} I(e_{X_{ik}}, \sigma_{X_{ik}}) &= [e_{X_{ik}} - \sigma_{X_{ik}}, e_{X_{ik}} + \sigma_{X_{ik}}] \\ I(e_{Y_i}, \sigma_{Y_i}) &= [e_{Y_i} - \sigma_{Y_i}, e_{Y_i} + \sigma_{Y_i}] \end{aligned} \quad (7)$$

Then the new confidence-interval-based fuzzy random regression mode is built as follows:

$$\left. \begin{aligned} \min_{\bar{A}} J(\bar{A}) &= \sum_{k=1}^K (\bar{A}_k^r - \bar{A}_k^l) \\ \text{subject to } &\bar{A}_k^r \geq \bar{A}_k^l, \\ &\bar{A}_i = \sum_{k=1}^K \bar{A}_k I[e_{X_{ik}}, \sigma_{X_{ik}}] \subset_h I[e_{Y_i}, \sigma_{Y_i}] \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

For $i=1, 2, \dots, N, k=1, 2, \dots, K$

As calculation is very complicated, a heuristic method is used to solve this model. This heuristic algorithm was expanded from the one proposed by Watada in 1985[7]. At a α -level set of the fuzzy degree of a structural attribute X_{ik} at h_0 is denoted by (9).

4 A Simple Application

20 questionnaires were sent to 20 people to evaluate four hotels in china. Then returned answers are collected and results are partly in Table 3. The sample is 4 hotels and X_1, X_2, X_3 , is the attributes that we use to evaluate the hotels, they are accommodation state, environment around state and facilities state, respectively. Then, according to Figure 1, we convert linguistic words in Table 3 to fuzzy random variables as shown in Tables 4 and 5. The probability is the percent number of the assessment. Such as, when the probability is 0.5, where the answers of the questionnaire there are 50 percent of people give this evaluation.

First, we need to calculate the $I[e_{X_{ik}}, \sigma_{X_{ik}}]$ and $I[e_{Y_i}, \sigma_{Y_i}]$ for the input and output. By using the calculation in Examples 1 and 2, we get the data as shown in Tables 6, and 7. Then the confidence intervals for the input data and output data can be calculated in the form (8). They are listed in Table 8.

Thus, the fuzzy random regression model with confidence interval is given in the form:

Table 5: Expectation and Standard deviation of the Data

i	$(e_{x_{i1}}, \sigma_{x_{i1}})$	$(e_{x_{i2}}, \sigma_{x_{i2}})$	$(e_{x_{i3}}, \sigma_{x_{i3}})$	(e_{y_i}, σ_{y_i})
1	(1.19,0.234)	(2.8,0.375)	(7.0,0.375)	(1.8,0.667)
2	(2.5,0.375)	(3.2,0.375)	(4.4,0.375)	(2.6,0.667)
3	(4.8,0.375)	(2.4,0.375)	(1.83,0.206)	(2.0,0.667)
4	(7.2,0.375)	(7.2,0.375)	(7.15,0.263)	(6.2,0.667)

Table 6: Confidence intervals of the Data

i	$I(e_{x_{i1}}, \sigma_{x_{i1}})$	$I(e_{x_{i2}}, \sigma_{x_{i2}})$	$I(e_{x_{i3}}, \sigma_{x_{i3}})$	$I(e_{y_i}, \sigma_{y_i})$
1	(0.956,1.424)	(2.425,3.175)	(6.625,7.375)	(1.033,2.367)
2	(2.125,2.875)	(2.825,3.575)	(4.025,4.775)	(1.733,3.067)
3	(4.425,5.175)	(2.025,2.775)	(1.642,2.036)	(1.333,2.667)
4	(6.825,7.575)	(6.825,7.575)	(6.887,7.413)	(6.733,6.867)

$$\begin{aligned} \bar{Y}_i &= [0.13, 0.178] \times I[e(X_{ik}), \sigma(X_{ik})] \\ &+ [0.37, 0.37] \times I[e(X_{ik}), \sigma(X_{ik})] \\ &+ [0.0, 0.348] \times I[e(X_{ik}), \sigma(X_{ik})] \end{aligned} \quad (9)$$

Then we input the original data to test the model's accuracy, we can get the following comparison results in Table 8. From the results, we can see this model is work good, that all the result is all concluded in the interval calculated by the model. We can see all the total evaluation can be predicted by this model. And for sample 2 and 3, it gives an accurate result. Then we need to match the numbers to the linguistic total assessment words. For this, we draw a fuzzy grade picture for the total assessment estimated by the model in Figure 2. We can see the area covered is almost same as we get from the people. The A, B, C, D is the samples 1,2,3,4. From the area of the triangle, we can see approximately probabilities of the total assessment.

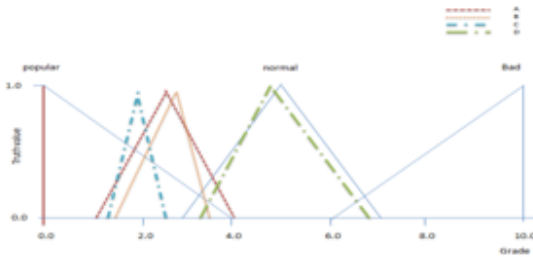


Figure 2: Example figure for demonstration

5 Conclusions

As we all know, human experts are always involved in decision-making process. However, the judgment experience and knowledge of experts are unique to each other. Better understanding of this judgment knowledge, sometimes, we need to convert it to numerical values which can

Table 7: Comparison of the expert evaluation and the model

Sample	Experts value	Estimated fuzzy grade	Matched word
1	(1.033,2.367)	(1.021,4.012)	Popular
2	(1.733,3.067)	(1.321,3.511)	Popular
3	(1.333,2.667)	(1.324,2.671)	popular
4	(6.733,6.867)	(3.412,6.876)	normal

give people more ocular way to experience the whole assessment process. And at the same time, there is always linguistic assessment of an object from various attributes. Then it is difficult to get a total assessment when we have linguistic data. In this paper, our model is built to solve this kind of problem. However, there is still a problem we need to solve. It is the problem of the matching process. Finally we get the confidence interval of the sample. However, we cannot get the exact probabilities that attached with the linguistic word. So later, we will try to solve this problem.

参考文献

- [1] S Imai, S Wang, and J Watada, "Regression model based on fuzzy random variables," Lecture Notes in Computer Science, vol. 5179, Part III, pp. 127-135, 2008.
- [2] Watada, and pedrycz,W,(2008), "A fuzzy regression approach to acquisition of linguistic rules. In W. Pedrycz (ED), Handbook on granular commutation, pp.719-730, Chap.32.
- [3] H Kwakernaak, \Fuzzy random variables "I. Denitions and theorems," Information Sciences, vol. 15, no. 1, pp. 1-29, 1978.
- [4] H Kwakernaak, \Fuzzy random variables "II.Algorithm and examples," Information Sciences, vol. 17, no. 3, pp. 253-278, 1979.
- [5] B. Liu, "Fuzzy random chance-constrained programming," IEEE Transactions on Fuzzy Systems, vol. 9, no. 5, pp. 713-720, 2001.
- [6] B. Liu and Y.-K. Liu, "Expected value of fuzzy variable and fuzzy expected value models," IEEE Transactions on Fuzzy Systems, vol. 10, no. 4, pp. 445-450, 2002.
- [7] Y.-K. Liu and B Liu, "Fuzzy random variable: A scalar expected value operator," Fuzzy Optimization and Decision Making, vol. 2, no. 2, pp. 143-160, 2003.
- [8] J. Watada, S. Wand and W. Pedrycz, "Building confidence-interval-based fuzzy random regression model," IEEE Transactions on Fuzzy Systems, vol.11, no.6, (2009), pp. 1273-1283.

理学療法士・作業療法士等のコミュニケーションスキル項目の検討

Evaluation of Interpersonal Skill Items of Physiotherapists and Occupational Therapists

奥田裕紀
Hiroki Okuda
金城大学
Kinjo University

Abstract: The purpose of this research is to examine personal communication skill items of physiotherapists and occupational therapists. Subjects were 50 university students who major in physiotherapy. The subjects were asked to evaluate degree of necessity for physiotherapists or occupational therapists about 144 personal communication items. The subjects were also asked to evaluate these items to see to what degree they would be able to perform adequately and skillfully. These items were evaluated with 7-point scales (1-7). 18 items of 144 items were included in the fundamental personal skill item group, 8 items were included in the specific patient item group, 19 items were included in the management difficult item group and 99 items were included in the remaining item group. As for all 4 item groups, the estimation average score of the necessity for physiotherapists and occupational therapists was over 6. Effective methods of examining desirable and appropriate personal communication skill for physiotherapists and occupational therapists from viewpoints of patients and their family were discussed.

I はじめに

医療・相談業務・教育・心理的援助などにかかわる人達にとって、対人関係の形成・維持、対人コミュニケーション等のスキルは極めて重要なものと思われる。

理学療法士、作業療法士などリハビリテーションにかかわる職種においても、患者や施設利用者などのリハビリテーションの対象となる人達（以下、対象者と表記する）との対人コミュニケーションに必要とされるスキル等に関する研究が、養成教育課程や臨床場面などで行われてきた^[1-3]。

これらの研究の多くは、リハビリテーションを行う職種の人達自身や、それらの職種を目指す学生等の認知・評価を基礎として行われてきた。しかし、リハビリテーションを行う職種の人達やそれらを目指す学生の認知と、対象者の認知が同一とは限らない。このため、最も望ましいのは、対象者自身および家族等の関係者が、希望し・評価するような対人コミュニケーションスキルについて検討を行うことと思われる。しかし、これを実現するためには多様な困難

さがあり、検討を進めて行くためには、先ず対人コミュニケーションスキルに関連する項目を収集し、各項目の妥当性等について確認する必要がある。

そこで、本研究では、様々な文献など^[1-4]から、理学療法士、作業療法士等に必要とされる、“リハビリテーション場面における対象者との一般的なコミュニケーションスキルに関する項目”を収集することとした。

次のステップとして、リハビリテーションに関して高い興味・関心を持ちながらも、（調査時点では、リハビリテーションに関する専門的教育は、未だあまり受けていなかったため）一般の患者や施設利用者に近い認知を持つ可能性のある、理学療法養成課程に所属する大学1年生を評定者として選択した。そして、これらの評定者に対して、収集した各項目が、理学療法士・作業療法士が対象者に接する際の一般的な対人コミュニケーションスキルとして必要だと思える程度と、現時点で自分がそれらの項目を上手くできると思える程度について評定を求めることとした。

II 方法

1. 研究協力者

理学療法士養成課程に所属する大学1年生50名（男性25名、女性25名）であった。

2. 評価項目

評価項目は、合計144項目であった。このうち18項目は、基本的対人スキルに関する項目で、Kikuchi's Scale of Social Skills^[4]の項目をリハビリテーション場面における対象者への対応に改変したものであった（これらの項目を、以下基本的対人スキル項目とする）。

8項目は、特定の障害・疾患等のある対象者に関連する項目であった（これらの項目を、以下特定対象者項目とする）。

19項目は、対処困難な場面での対応に関する項目（これらの項目を、以下対処困難項目とする）。残りの99項目は様々な対象者に対する対人コミュニケーションに関連する項目であった（これらの項目を、以下その他の項目とする）。

3. 評価方法

研究協力者に、各項目がリハビリテーションの場面で、理学療法士、作業療法士の対象者への一般的な対人コミュニケーションスキルとして必要だと思う程度について、“まったく必要でない”～“とても必要である”の7段階で評価することを求めた（以下、この評価値を必要度とする）。

また、現在の各人が、各項目を上手くできると思う程度を、“まったく上手くできない”～“とても上手くできる”の7段階で評価することを求めた（以下、この評価値を可能度とする）。

さらに、提示項目以外の検討項目を収集するために、提示項目以外にリハビリテーションの場面で、理学療法士、作業療法士の対象

者への対人コミュニケーションスキルとして必要だと思う項目を自由に記述し、各項目について必要度、可能度を7段階で評価することを求めた（記述対象評価法）。

III 結果および考察

1. 各項目群に関する必要度

図1に、各項目群の必要度に関する評価平均値を示した。基本的対人スキル項目群、特定対象者項目群、対処困難項目群、その他の項目群とも、必要度の評価平均値は6を超えていた。この結果は、4項目群ともリハビリテーション場面における理学療法士、作業療法士の対象者に対する対人コミュニケーションスキルとして、必要度が高いという評価されたことを示している。

4項目群の中で、評価平均値が最も低い項目群は、基本的対人スキルに関する項目群であった。この項目群は、Kikuchi's Scale of Social Skillsの項目を、リハビリテーション場面での対象者に対する対応となるよう修正したものであったが、理学療法士、作業療法士の対象者に対する“一般的な対人コミュニケーションスキル”としては、ふさわしくないと感じた評価者もいたものと思われる。

4項目群の中で、必要度の評価平均値が最も高い項目群は、特定対象者項目群であった。この項目群には、感覚障害のある対象者、認知症の対象者等に対する対応に関する項目

（“限定的な”対象者に関する項目）が含まれており、“一般的”な対人コミュニケーションスキルとしての評価は低くなる可能性も考えられた。

しかし、本研究の評価者にとっては、このような項目群は、理学療法士、作業療法士等の対象者に対する対人コミュニケーションスキルとして、必要性が高いと認知されることも多いようである。

2. 必要度が最も高い・低い 10 項目

図 2、3 に必要度の評価平均値が最も高かった 10 項目、最も低かった 10 項目を示した。

最も必要度が高い 10 項目の必要度の評価平均値は、6.8 を超えており、多くの評価者が、最も必要度が高い(7)と評価していた。

必要度が最低である 10 項目の中の 3 項目は、基本的対人スキル項目群に含まれる項目であった。前述したように、この項目群の項目は改変されていたが、項目によっては、対象者に対する“一般的な対人コミュニケーションスキル”としては、適切ではない(必要性が低い)と認知した評価者もいたようだ。

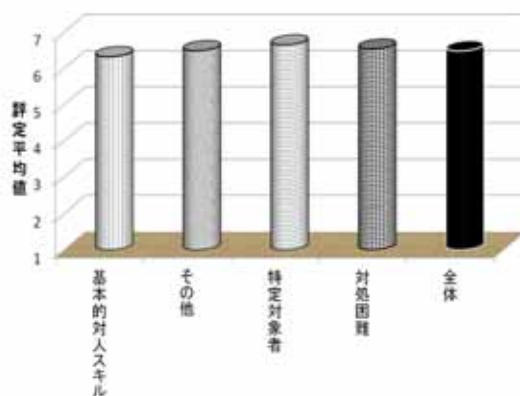


図 1 必要度の評価平均値

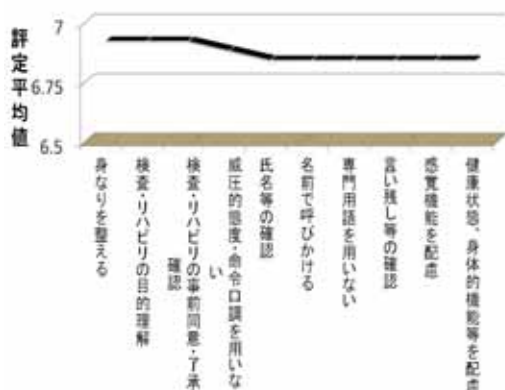


図 2 必要度が最も高かった 10 項目

3. 各項目群の可能性

全項目の可能性の平均値の平均は、4 を下回った。大学 1 年生で、理学療法学習を始めたばかりである本研究の評価者にとって、多くの項目について、現時点で上手く行うことは困難と認知されていると思われる。

また各項目の評価平均値が最も高い項目群は、“その他”の項目群で、評価平均値が最も低い項目群は、対処困難項目群であった。

対処困難項目群の可能性の平均評価値が最も低くなるのは、項目群の特性から予測されることであった。しかし、可能性の評価平均値が最も高い“その他”の項目群との評価平均値の差異は 1 程度であった。本研究の評価者は実際にそのような状況を経験しているわけではないので、実際の場面での対応は、ここでの評価以上に困難な可能性もあろう。

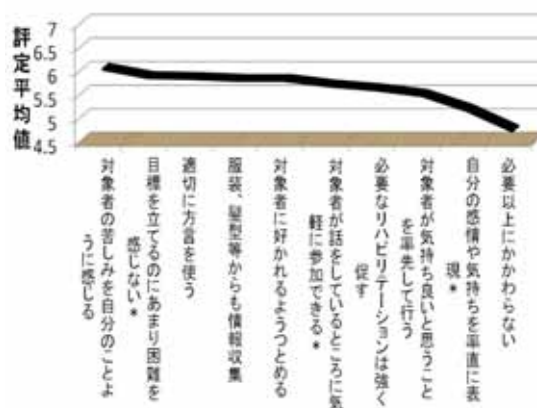


図 3 必要度が最も低かった 10 項目

4. 可能性が高い項目・低い項目

4 年制の理学療法士養成課程の 1 年生である本研究の評価者にとって、“適切に身なりを整える”項目は、可能性の評価平均値が最も高い項目となった。しかし、実際には学生達は実習の前に、服装・髪型等に関して重点的に指導されても、なかなか服装や髪形等を整えることができない者もいて、評価と実態とはかならずしも一致していない。

一方、本研究において、可能性の評定平均値が最低であった10項目のうち9項目が、対処困難項目群に含まれる項目であった。

可能性が最低である項目の多くが対処困難群の項目になったことは、項目群の特性から予測されたことであり、本研究における可能性の評定が妥当なものであったことを示唆する。

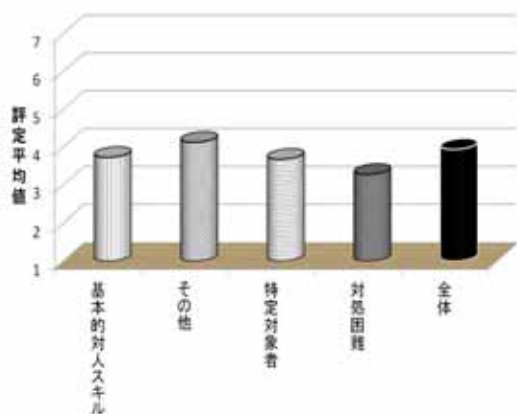


図4 可能性の評定平均値

5. リハビリテーション従事者等の認知と対象者の認知

山根は^[2]、リハビリテーション（作業療法における）対象者と療法士との二者関係に関して、治療・援助にあたる者については、以下のように述べている。

治療・援助における二者関係においては、双方の責務と資質はあきらかに異なる。したがって、決して対等・平等ではあり得ないし、対等・平等ということで、（治療・援助にあたる者が）自分の果たす役割や責務を曖昧にしてはならない。

一方、対象者の役割としては、以下のようなことを示している。（対象者は）自分がどのような援助を求めているかを明確にし、治療・援助の場の基本的なルールを守る。受け入れにくい治療や援助に対して遠慮なく意見を言う。主体的に取り組み、自分で対処できるようになることをめざす。

対象者における“遠慮なく意見を言う”“主体的に取り組む”という役割は、治療・援助にあたる者の“対等・平等ではあり得ない”とは、両立しない関係になる可能性があり、場合によっては治療・援助を行う者の認知・評価と対象者の認知・評価が分かれる可能性もあろう。

これまでの理学療法士・作業療法士に求められる対人コミュニケーションスキルの検討は、基本的には“療法士にとっての常識”が、その基礎にあったのではないと思われる。

対象者やその家族の立場から見て望ましい・評価の高い理学療法士・作業療法士の対人コミュニケーションスキルについて検討するためには、個々の対象者やその家族が望むような対応についても、検討可能であるような方法を、模索していくことが求められよう。

6. 参考文献

- [1] 上村佐知子、野島素子、佐々木誠：理学療法士に望まれる対人関係技能を構成する因子, 理学療法学, 第35巻 第5号, 237-244, 2008
- [2] 山根寛：治療・援助における二つのコミュニケーション, 三輪書店, 2008
- [3] 山田ゆかり、天野寛：医療職における困難な対人コミュニケーション場面の認知 -理学療法士・作業療法士の場合-, 名古屋文理短期大学紀要, 第23号, 33-40, 1998
- [4] 菊池章夫、堀毛一也：社会的スキルの心理学, 川島書店, 1994

7. 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

ファジィ測度の優加法化, 劣加法化と単調化

Super-additivization, Sub-additivization, and Monotonicity of Fuzzy Measures

高萩 栄一郎

Eiichiro Takahagi

専修大学 商学部

School of Commerce, Senshu University

Abstract: This article discusses some concepts and properties of fuzzy measures and Choquet integrals, such as super-additivity, sub-additivity, and monotonicity. To introduce the super-additivization and sub-additivization of fuzzy measures, for a fixed input value vector, we may increase the output values. Moreover, if a fuzzy measure is not a monotone fuzzy measure, to make the fuzzy measure monotone, we may decrease the output by increasing input values. For multiple input values vectors, if the fuzzy measure is a super-additive, by summing up the input vectors, we may increase sum values of the outputs.

1 はじめに

本稿では, ファジィ測度やショケ積分のさまざまな概念や性質を整理する.

ある入出力関係をファジィ測度とショケ積分で表現するとき, より大きな出力を得ようとするか, より小さな出力を得ようとしているかを考える. 入力値を固定したとき, ファジィ測度の一部を加法化して構成し直すことにより, より大きい(またはより小さな)出力を得ることができる. より大きな出力を得る例として, 作業員の例を挙げる. この場合, ファジィ測度を優加法的にする. もし, 劣加法的な部分があれば, 別個に作業させ, 加法的にすることできる. このようにファジィ測度を再構成することにより, 出力値を増大させることを考える. 同様に, 費用を計算する場合, 逆に劣加法的になるようにファジィ測度を再構成する(第3節).

次に, 複数の入力値の組(複数の入力ベクトル)があるとき, ファジィ測度が優加法的(劣加法的)であれば, 入力ベクトルをまとめることにより, より大きな(小さな)出力が得られる(第4節).

非単調なファジィ測度で, 最小化する問題の場合, 単調化や劣加法化により出力値としてのコストを減少させるだけではなく, 入力値も増大させることになることをあげる(第5節).

2 定義

2.1 ファジィ測度とショケ積分

評価対象の集合(有限集合) $X = \{1, \dots, n\}$ に対して, ファジィ測度 μ は単調性を仮定する.

定義 1 (ファジィ測度 μ).

$$\mu : 2^X \rightarrow \mathbb{R}, \quad \mu(\emptyset) = 0, \quad (1)$$

$$\mu(A) \leq \mu(B) \text{ if } A \subseteq B \subseteq X \text{ (単調性制約)} \quad (2)$$

定義 2 (非単調ファジィ測度 μ^-).

$$\mu^- : 2^X \rightarrow \mathbb{R}, \quad \mu^-(\emptyset) = 0 \quad (3)$$

ショケ積分 [1],[3],[4] は, ファジィ測度 μ (または, 非単調ファジィ測度 μ^-) に対して, 入力値のベクトル $(x = (x_1, \dots, x_n), x_i \geq 0, \forall i)$ を与え, 次式で定義されている.

定義 3 (ショケ積分).

$$f_\mu(x) \equiv \sum_{i=1}^n (x_{\sigma(i)} - x_{\sigma(i+1)}) \mu(S_i) \quad (4)$$

ただし, σ は, X 上の置換で, $x_{\sigma(1)} \geq \dots \geq x_{\sigma(n)}$ かつ $X = \{\sigma(1), \dots, \sigma(n)\}$, $\sigma(n+1) = 0$, $S_i = \{\sigma(1), \dots, \sigma(i)\}$ とする.

式 (4) を別の表現で表せば,

$$f_\mu(x) = \sum_{i=1}^n [\mu(S_i) - \mu(S_{i-1})] x_{\sigma(i)} \quad (5)$$

となる. ただし, $S_0 = \emptyset$ とする. ファジィ測度 μ では $f_\mu(x)$ は, 任意の x_i に関して(広義の)単調増加関数である.

2.2 優加法性と劣加法性

個々の集合間に優加法性(劣加法性)がある場合とファジィ測度全体で優加法性(劣加法性)がある場合とを区別して呼ぶことにする.

定義 4. $A, B \subseteq X, A \cap B = \emptyset$ となる A, B について

$$\mu(A \cup B) \geq \mu(A) + \mu(B) \quad (6)$$

という関係があるとき、集合 A と B は μ に関して優加法的な関係があるといい、式 (6) の $\geq$ を $\leq$ に換えたとき劣加法的な関係があるという。

一般的な定義とは異なり、加法的 $\mu(A \cup B) = \mu(A) + \mu(B)$, $A \cap B = \emptyset$ の場合、優加法的でもあり劣加法的でもある。

X のすべての互いに素な 2 つの部分集合に関して、優(劣)加法的な場合、そのファジィ測度を優(劣)加法的なファジィ測度と呼ぶ。

定義 5. $\forall (A, B) \in 2^X \times 2^X$ かつ $A \cap B = \emptyset$ となる集合 A, B に関して、ファジィ測度 μ が

$$\mu(A \cup B) \geq \mu(A) + \mu(B) \quad (7)$$

を満たすとき、 μ を優加法的なファジィ測度と呼び、式 (7) の $\geq$ を $\leq$ に換えたとき、 μ を劣加法的なファジィ測度と呼ぶ。

3 優加法化と劣加法化

大部分の集合間で、優加法的であっても、少数の集合間で優加法的でない場合、優加法的なファジィ測度ではない。そのような場合、優加法的でない集合間の関係を加法的にすることにより、優加法的なファジィ測度として扱うことが可能になる場合がある。

3.1 作業員の例 (優加法化)

作業員 1, 2, 3 の 3 人からなる作業所で、作業員 1 単独では毎時 50kg, 2 単独では 60kg, 3 単独では 70kg 生産できる。1 と 2 が協力すると 120kg, 1 と 3 が協力すると 130kg, 1, 2, 3 が協力すると 150kg 生産できるが、2 と 3 が協力 (非協力) すると 120kg 生産できる。ファジィ測度で表現すると、 $\mu(\{1\}) = 50$, $\mu(\{2\}) = 60$, $\mu(\{3\}) = 70$, $\mu(\{1, 2\}) = 120$, $\mu(\{1, 3\}) = 130$, $\mu(\{2, 3\}) = 120$, $\mu(\{1, 2, 3\}) = 150$ となる。

この場合、 $\mu(\{2, 3\}) < \mu(\{2\}) + \mu(\{3\})$ となり、 $\{2\}$ と $\{3\}$ の間に優加法的ではなく、他は、優加法的である。この場合、作業員 2 と 3 を引き離して作業をさせれば、 $\{2\}$ と $\{3\}$ は加法的 (優加法的) になる。

$\mu^b(A) = \mu(A), \forall A \in (2^X \setminus \{\{2, 3\}\})$, $\mu^b(\{2, 3\}) = \mu(\{2\}) + \mu(\{3\})$ とすれば、 μ^b は、優加法的なファジィ測度となる。このように一部の集合のファジィ測度の値を加法的な値で代替することにより、優加法的なファジィ測度にするのを、優加法化と呼ぶ。

優加法化できる条件は、作業員 2, 3 を別々に作業させるように、任意の互いに素な集合に分け、加法的に計算できることである。また、 $f_\mu(x)$ を増大させる目的で、 X の要素 (作業員) の組み合わせの変更がきる場合である。

3.2 レストランの例 (劣加法化)

あるレストランでは、テイクアウトとして、ランチ単品 700 円、サラダ単品 200 円、デザート単品 500 円、サラダセット (ランチ + サラダ) 800 円、デザートセット (ランチ + デザート) 1000 円、グルメセット (ランチ + サラダ + デザート) 1250 円で販売している。 x_1, x_2, x_3 をランチ、サラダ、デザートの注文数とする。ファジィ測度で表現すると、 $\mu(\{1\}) = 700$, $\mu(\{2\}) = 200$, $\mu(\{3\}) = 500$, $\mu(\{1, 2\}) = 800$, $\mu(\{1, 3\}) = 1000$, $\mu(\{2, 3\}) = 200 + 500 = 700$ (設定がないので加法的), $\mu(\{1, 2, 3\}) = 1250$ となる。この場合、支払額を減少させる目的があるとする。ここで、グルメセットを注文する (1250) より、デザートセットとサラダを別個に注文する方 ($1000 + 200 = 1200$) が安い。劣加法化したファジィ測度 $\mu^\#$ は、 $\mu^\#(\{1, 2, 3\}) = 1200$ (他は、 μ と同じ) である。

3.3 優加法化、劣加法化の定式化

$\Omega(A)$ を、集合 A の同値類の集合とする。

$$\Omega(A) = \{Q_i | Q_i = \{B_1, \dots, B_{n_i}\}, B_j \neq \emptyset, \forall j,$$

$$B_1 \cup \dots \cup B_{n_i} = A, B_j \cap B_k = \emptyset, \forall j \neq k\} \quad (8)$$

優加法化したファジィ測度の $\mu^b(A)$ の値は、 A のすべての同値類の集合のファジィ測度の和の最小値とする。

定義 6 (優加法化ファジィ測度). ファジィ測度 μ の優加法化ファジィ測度 μ^b を次式で定義する。

$$\mu^b(A) = \max_{Q \in \Omega(A)} \left[\sum_{B \in Q} \mu(B) \right], \forall A \in 2^X \quad (9)$$

この定式化だと、各 A について、すべての同値類の組み合わせを調べないと求められないが、次のような手続きによって求めることもできる。

(1) $\mu^b(\emptyset) = 0$, $\mu^b(\{j\}) = \mu(\{j\}), j = 1, \dots, n, i = 2$ とする。

(2) $|A| = i$ となる A について、 A を互いに素に分割する集合 B, C の組をすべて求め、 $\mu^b(B) + \mu^b(C)$ の最大値と $\mu(A)$ を比較し、大きい方を $\mu^b(A)$ とする。すなわち、 $\forall A \in 2^X$ に対して、次式の値と

する.

$$\mu^b(A) = \max[\mu(A), \max_{B, C \subseteq A, B \cap C = \emptyset, B \cup C = A} [\mu^b(B) + \mu^b(C)]] \quad (10)$$

(3) i に 1 を加え, n 以下であれば, (2) に戻る.

以上の手続きにより, 明らかに,

$$\mu^b(A) \geq \mu(A), \forall A \in 2^X \quad (11)$$

という関係が成立する. したがって,

$$f_{\mu^b}(\mathbf{x}) \geq f_{\mu}(\mathbf{x}), \forall \mathbf{x} \in \mathbb{R}^{+n} \quad (12)$$

となる. 同様に, 劣加法化ファジィ測度を定義する.

定義 7 (劣加法化ファジィ測度). ファジィ測度 μ の劣加法化ファジィ測度 $\mu^\sharp$ を次式で定義する.

$$\mu^\sharp(A) = \min_{Q \in \Omega(A)} [\sum_{B \in Q} \mu(B)], \forall A \in 2^X \quad (13)$$

優加法化ファジィ測度と同様の手続きで求めることができる. (2) のみ示す.

(2) $|A| = i$ となる A について, A を互いに素に分割する集合 B, C の組をすべて求め, $\mu^\sharp(B) + \mu^\sharp(C)$ の最小値と $\mu(A)$ を比較し, 小さい方を $\mu^\sharp(A)$ とする. すなわち, $\forall A \in 2^X$ に対して,

$$\mu^\sharp(A) = \min[\mu(A), \min_{B, C \subseteq A, B \cap C = \emptyset, B \cup C = A} [\mu^\sharp(B) + \mu^\sharp(C)]] \quad (14)$$

$$\mu^\sharp(A) \leq \mu(A), \forall A \in 2^X \quad (15)$$

という関係と次式が成立する.

$$f_{\mu^\sharp}(\mathbf{x}) \leq f_{\mu}(\mathbf{x}), \forall \mathbf{x} \in \mathbb{R}^{+n} \quad (16)$$

4 優加法性, 劣加法性と入力値の統合

複数の入力値のベクトル $\mathbf{x}^A, \mathbf{x}^B \in \mathbb{R}^{+n}$ があるとする. 優加法的なファジィ測度 μ^b を使うと,

$$f_{\mu^b}(\mathbf{x}^A + \mathbf{x}^B) \geq f_{\mu^b}(\mathbf{x}^A) + f_{\mu^b}(\mathbf{x}^B) \quad (17)$$

であり, 劣加法的なファジィ測度 $\mu^\sharp$ では

$$f_{\mu^\sharp}(\mathbf{x}^A + \mathbf{x}^B) \leq f_{\mu^\sharp}(\mathbf{x}^A) + f_{\mu^\sharp}(\mathbf{x}^B) \quad (18)$$

となる. レストランの例では, 16 人から, ランチ単品 2 人, サラダとデザート 4 人, デザート単品 2 人, サラダセット 3 人, デザートセット 4 人, グルメセット 1 人から頼まれた. 各人の注文数のベクトルを $\mathbf{x}^i \in \mathbb{R}^{+3}, i = 1, \dots, 16$ とし, 各人別に別個に注文すると $\sum_{i=1}^{16} f_{\mu}(\mathbf{x}^i) = 12450$ 円になり, 劣加法化した場合 $\sum_{i=1}^{16} f_{\mu^b}(\mathbf{x}^i) = 12400$ 円である.

まとめて注文した場合, $\mathbf{x} = \sum_{i=1}^{16} \mathbf{x}^i = (10, 6, 7)$ とし, $f_{\mu}(\mathbf{x}) = 9300$ となる (ランチ単品 3, デザートセット 1, グルメセット 6 を注文). これは, 式 (18) より, 次式が成立するからである.

$$f_{\mu^b}(\sum_{i=1}^m \mathbf{x}^i) < \sum_{i=1}^m f_{\mu^b}(\mathbf{x}^i) \quad (19)$$

5 非単調ファジィ測度と単調性

レストランの例で, グルメセットが 980 円 ($\mu(\{1, 2, 3\}) = 980$) の場合を考える. この場合, $\mu(\{1, 2, 3\}) < \mu(\{1, 3\})$ となり非単調なファジィ測度になる. したがって, 入出力関係でも, 単調増加性がない場合がある. たとえば, $\mathbf{x} = (1, 0, 1)$ の場合, 支払額は 1000 円であるが, $\mathbf{x} = (1, 1, 1)$ とすれば, 980 円となる. 入力値の増大をコントロールできれば, 実質, デザートセットは 980 円と考えられる. したがって, x_2 を増大させることが可能であれば, $\mu(\{1, 3\}) = 980$ とすることができる.

定義 8 (劣加法単調化ファジィ測度). 非単調ファジィ測度を μ^- とし, $\mu^\diamond$ を劣加法単調化ファジィ測度と呼び, 次式で定義する.

$$\mu^\diamond(A) = \min_{B \supseteq A} \mu^-(B), \forall A \in 2^X \quad (20)$$

この $\mu^\diamond$ は, 単調なファジィ測度である. 最小値 (劣加法化) を目的として, 単調化しているので, 劣加法単調化と呼んでいる. この単調化したファジィ測度は, 劣加法性があるとは限らない.

単調化するには, 非単調な部分を大きな集合のファジィ測度の値を増大させるのか, 小さな集合のファジィ測度の値を減少させるのか 2 つの方策がある. たとえば, $\mu(\{1, 2, 3\}) < \mu(\{1, 3\})$ の場合, $\mu(\{1, 2, 3\})$ を大きくするか, $\mu(\{1, 3\})$ を小さくするかである. 定義 8 は, 後者の方法である. しかし, この $\mu^\diamond$ は, 劣加法なファジィ測度とは限らず, この単調化のち, 劣加法化を行うことも可能である.

これに対して, 優加法化の場合, 優加法化の中に単調化のプロセスがあるので, 単調化のプロセスを省略

し、優加法化すれば、単調かつ優加法的なファジィ測度となる。

非単調ファジィ測度を劣加法単調化したとき、より小さな出力値を得るために、入力値を増大させる必要がある。上述のレストランの例では、 x_2 を 0 から 1 にして、サラダ 1 個、余分に得る ($\Delta x_2 = 1$)。このような x_i の増分 Δx_i を求める。

(1) $\Delta x_i := 0, i = 1, \dots, n$ とする。

(2) $\mu^\diamond(A) < \mu^\sharp(A)$ となる A について、式 (20) での B を対応させ、 (A, B) とする。すべての (A, B) について (3) を行う。

(3) (2) での (A, B) について、 $C = B \setminus A$ とする。各 $i \in C$ について、 $x_i < \min_{j \in A} x_j$ ならば、

$$\Delta x_i := \max[\min_{j \in A} (x_j - x_i), \Delta x_i] \quad (21)$$

とする ($:=$ は、右辺の値を左辺の変数に代入することを意味する)。

したがって、単調化した場合の入力値は、

$$x_i^\diamond = x_i + \Delta x_i, i = 1, \dots, n \quad (22)$$

となり、したがって、

$$f_{\mu^\diamond}(\mathbf{x}^\diamond) \leq f_{\mu^-}(\mathbf{x}) \quad (23)$$

となる。さらに $\mu^\diamond$ を劣加法化し、 $\mu^\sharp$ とすれば、

$$f_{\mu^\sharp}(\mathbf{x}^\diamond) \leq f_{\mu^\diamond}(\mathbf{x}^\diamond) \leq f_{\mu^-}(\mathbf{x}) \quad (24)$$

となる。

5.1 数値例 (レストランの例)

$\mu^-(\{1\}) = 700$, $\mu^-(\{2\}) = 200$, $\mu^-(\{3\}) = 500$, $\mu^-(\{1, 2\}) = 800$, $\mu^-(\{1, 3\}) = 1000$, $\mu^-(\{2, 3\}) = 750$, $\mu^-(\{1, 2, 3\}) = 980$, $\mathbf{x} = (10, 4, 7)$ とする。非単調な部分は、 $\mu^-(\{1, 2, 3\}) = 980$ と $\mu^-(\{1, 3\}) = 1000$ の関係で、式 (20) により、 $\mu^\diamond(\{1, 2\}) = \mu^-(\{1, 2, 3\}) = 980$ となり、他は同じで、 $\mu^\diamond(A) = \mu^-(A), \forall A \in 2^X \setminus \{\{1, 2\}\}$ となる。また、増分を求める手順では、 $A = \{1, 3\}$, $B = \{1, 2, 3\}$, $C = \{2\}$ となり、 $\Delta x_2 := \max[\min(x_1, x_3) - x_2, 0] = 3 (\Delta x_1 = \Delta x_3 = 0)$ となり、 $\mathbf{x}^\diamond = (10, 7, 7)$ となる。

さらに、 $\mu^\diamond(\{2, 3\}) > \mu^\diamond(\{2\}) + \mu^\diamond(\{3\})$ と優加法的なので、劣加法化し、 $\mu^\sharp(\{2, 3\}) = \mu^\diamond(\{2\}) + \mu^\diamond(\{3\}) =$

700 とする。他は同じで、 $\mu^\sharp(A) = \mu^\diamond(A), \forall A \in 2^X \setminus \{\{2, 3\}\}$ とする。この結果を計算すると、

$$\begin{aligned} f_{\mu^-}(\mathbf{x}) &= (x_1 - x_3)\mu^-(\{1\}) + (x_3 - x_2)\mu^-(\{1, 3\}) \\ &\quad + x_2\mu^-(X) = 9020 \end{aligned}$$

となり、単調化後は、

$$\begin{aligned} f_{\mu^\diamond}(\mathbf{x}^\diamond) &= (x_1^\diamond - x_3^\diamond)\mu^\diamond(\{1\}) + (x_3^\diamond - x_2^\diamond)\mu^\diamond(\{1, 3\}) \\ &\quad + x_2^\diamond\mu^\diamond(X) = 8960 \end{aligned}$$

となる。また、 $f_{\mu^\sharp}(\mathbf{x}^\diamond) = f_{\mu^\diamond}(\mathbf{x}^\diamond)$ である。60 円とサラダを $\Delta x_2 = 3$ 個余分に手にする。

6 おわりに

ファジィ測度を劣(優)加法化、単調化することにより、一定以上(以下)の入力で、より小さな(大きな)出力を得ることができることを示した。これらは、工場などの事業所の統合、企業の合併などさまざまな領域への応用の可能性がある。

今後、どのような入力値がある相手と組めば、優加法性(劣加法性)による、協力による利得を得ることができるか、検討を行いたい。

参考文献

- [1] G. Choquet: Theory of Capacities, Annales de l'Institut Fourier 5, 131-295, 1954.
- [2] M. Sugeno: *Theory of fuzzy integrals and its applications*, Doctoral Thesis, Tokyo Institute of Technology, 1974.
- [3] T. Murofushi and M. Sugeno: An interpretation of fuzzy measures and the Choquet integral as an integral with respect to a fuzzy measure, Fuzzy Sets and Systems 29, 201-227, 1989.
- [4] T. Murofushi and M. Sugeno: A Theory of fuzzy measure: representation, the Choquet integral and null sets, J. Math. Anal. Appl., 159, 532-549, 1991.

連絡先

高萩栄一郎 (専修大学商学部)

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

ファジィ数の定義について III

Fuzzy Numbers III

稲井田 次郎

白川 幸子

御前 憲廣

Jiro Inaida

Sachiko Shirakawa

Norihiro Misaki

日本大学

Nihon University

Abstract: It is well known that fuzzy mapping plays an important and fundamental role in fuzzy analysis. In this paper, we attempt to determine extensive classes of these fuzzy mappings that are represented by their Taylor expansion. We have first obtained that the continuous function $f(x)$ can transform a fuzzy mapping $f(u)$ using the extension principle. And we discuss some properties of the series of fuzzy numbers. From these properties we have seen that $f(u)$ has the property of being analytic for the analytic function $f(x)$.

Keywords: fuzzy number, interval number, fuzzy sequence, fuzzy series

1. はじめに

R 上の解析関数

$$f(x) = \sum k_n(x - x_0)^n, |x - x_0| < r$$

において、実数 x をファジィ数 u に置換えたとき、上の等式が成り立つかどうか、すなわち $f(u)$ がファジィベキ級数展開できるかは、1つの問題である。参考文献 [9] において、極めて狭い範囲で成立することが分かった。しかし、解析関数 $f(x)$ が単調であるような区間においても、 $f(u)$ は必ずしもベキ級数展開できない。そこで、ファジィ数は区間数を通じて、実数の拡張と考えられることから、ファジィ数に関連する一連の定義を区間数を用いて再定義した。さらに、区間数を拡張し（方向付けられた区間数）、ファジィ級数の収束を新たに定義し直し、解析関数 $f(x)$ の単調な区間 I で、

$$f(u) = \sum k_n(u - x_0)^n, u \in I$$

が成立する事を示した。

2. ファジィ数

定義 1 ファジィ集合^[1]

全体集合 X 上のファジィ集合 A は

$$\mu_A : X \rightarrow [0, 1]$$

なるメンバシップ関数 $\mu_A(x)$ によって特徴付けら

れる。今後、簡単のため $\mu_A(x)$ を $A(x)$ と書くことにする。

X 上のファジィ集合全体を $\mathcal{F}(X)$ と書く。

定義 2 α -レベル集合^[1] (α -カット)

A を X 上のファジィ集合とすると、 A の α -レベル集合 (α -カット) を次式で定義する：

$$[A]^\alpha = \{x \in X \mid A(x) \geq \alpha\}, 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (1)$$

今後、全体集合 X として、ユークリッド空間 R を考える。

R 上のファジィ集合 u が、つぎの条件を満たすとき、ファジィ数という^[1]：

1) 正規

ある $x_0 \in R$ が存在して、 $u(x_0) = 1$

2) ファジィ凸

$$u(\lambda x + (1-\lambda)y) \geq u(x) \wedge u(y), x, y \in X, 0 \leq \lambda \leq 1$$

3) $u(x)$ が上に半連続

$$4) [u]^0 = \overline{\{x \in R : u(x) > 0\}} \text{ が有界}$$

このファジィ数の定義は、次の定義と同等である。

定義 3 ファジィ数

R 上のファジィ集合 u が、すべての α ($0 \leq \alpha \leq 1$) に対して、 $[u]^\alpha$ がすべて空でない有界閉区間ならば、ファジィ数という。

今後、ファジィ数を $u, v, w, \dots$ で表し、ファジィ数全体を E^1 とおく。この E^1 をファジィ数空間という。

注1 集合 S に対し、 $\bar{S}$ は S の閉包 (closure) を表す。

注2 実数 c に対し、

$$c(x) = \begin{cases} 1, & x = c \\ 0, & x \neq c \end{cases}$$

とおけば、

$$[c]^\alpha = [c, c], \alpha \in [0, 1]$$

となって常に空でない有界閉区間である。よって、実数はファジィ数に含めることができるから、ファジィ数は実数の拡張になっていることが分かる。

また、ファジィ数の特別なものとして有界閉区間があげられる。これを区間数という。

2つのファジィ数 $u, v \in E^1$ の和 $u+v$, およびスカラー倍 ku ($k \in R$) は次式で定義できる:

$$(u+v)(x) = \sup_{s+t=x} (u(s) \wedge v(t)), \quad x \in R \quad (2)$$

$$(ku)(x) = \begin{cases} u(x/k), & k \neq 0 \\ (0u)(x) = \begin{cases} 1, & x = 0 \\ 0, & x \neq 0 \end{cases}, & k = 0 \end{cases} \quad (3)$$

特に、区間数に関しては

$$\begin{aligned} 1) & [a, b] + [c, d] = [a+c, b+d] \\ 2) & k[a, b] = \begin{cases} [ka, kb], & k \geq 0 \\ [kb, ka], & k < 0 \end{cases} \end{aligned}$$

が成立する。

定義4 ファジィ数の差^[2]

$u, v \in E^1$ とする。ある $w \in E^1$ が存在して、 $u = v + w$ が成立すれば、 w を u と v の差といい $u-v$ で表す。

3. ファジィ写像^[3]

ファジィ数空間 E^1 上に、部分集合 U が与えられたとき、

$$f: U (\subset E^1) \longrightarrow E^1 \quad (4)$$

をファジィ写像といい

$$w = f(u), \quad u \in U$$

で表す。 u が U 全体にわたるときの w 全体からなる集合を、このファジィ写像の値域といい、 $f(U)$ で表す。

定義5 ファジィ写像の連続性^[3]

$u_0 \in U$ とする。任意の正数 ϵ に対し、ある正数 δ が存在し、 $\rho(u, u_0) < \delta$, $u \in U$ なるすべての u に対し、 $\rho(f(u), f(u_0)) < \epsilon$ とできるとき、 $f(u)$ は u_0 で連続であるという。これを

$$\lim_{u \rightarrow u_0} f(u) = f(u_0)$$

と書く。

$f(u)$ が U に属するすべての u で連続であるとき、 $f(u)$ は U で連続であるという。

Lemma 1 $f(x)$ を区間 I で定義された連続関数とする。このとき、任意のファジィ数 u ($[u]^0 \subset I$) に対して、 $f(u)$ はファジィ数になる。

Lemma 2^[9] $f(x)$ を区間 I で定義された単調増加な連続関数とする。このとき、

$$f([a, b]) = [f(a), f(b)]$$

例1 指数関数 e^x , 三角関数 $\cos x$, $\sin x$ は全区間で定義された連続関数である。よって、任意のファジィ数 $u \in E^1$ に対し、 e^u , $\cos u$, $\sin u$ はいずれもファジィ数になる。したがって、 e^u , $\cos u$, $\sin u$ はすべて、 E^1 上で定義されたファジィ写像である。

例2 三角関数 $\tan x$ は $I = (-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2})$ で連続である。よって、任意のファジィ数 u ($[u]^0 \subset I$) に対して、 $\tan u$ は常にファジィ数となる。したがって、 $\tan u$ は $\mathcal{F}(I)$ 上で定義されたファジィ写像である。

例3 ベキ^[2]

$$p_n(x) = x^n, \quad n = 1, 2, \dots$$

は、全区間で定義された連続関数である。よって、 $p_n(u)$ は E^1 上で定義されたファジィ写像である。今後、 $p_n(u)$ を u^n で表すことにする。

4. ファジィ数列

ファジィ数列 $\{u_n\}$ がファジィ数 u に収束するとは、任意の正数 ϵ に対して、ある番号 N が存在して、 $n > N$ なるすべての n に対して $\rho(u_n, u) < \epsilon$ が成立するときをいう。この u をファジィ数列 $\{u_n\}$ の極限値という。

5. ファジィ級数^[9]

ファジィ数の級数

$$\sum_{n=0}^{\infty} (k_n \otimes u_n) \quad (u_0 \text{ は } 1 \text{ とする})$$

$$= (k_0 \otimes u_0) \oplus (k_1 \otimes u_1) \oplus (k_2 \otimes u_2) \oplus \cdots \oplus (k_n \otimes u_n) \oplus \cdots$$

をファジィ級数という。ここで、 k_n を実数、 $\otimes, \oplus$ を形式的な演算とする。

この級数の第 n 部分和を

$$v_n = (k_0 \otimes u_0) \oplus (k_1 \otimes u_1) \oplus (k_2 \otimes u_2) \oplus \cdots \oplus (k_n \otimes u_n)$$

とおく。ただし

$$v_0 = k_0 \otimes u_0 = k_0,$$

$$v_1 = v_0 \oplus (k_1 \otimes u_1) = \begin{cases} k_0 + k_1 u_1, & k_1 \geq 0 \\ k_0 - |k_1| u_1, & k_1 < 0 \end{cases},$$

のようにし、一般には

$$v_n = v_{n-1} \oplus (k_n \otimes u_n) = \begin{cases} v_{n-1} + k_n u_n, & k_n \geq 0 \\ v_{n-1} - |k_n| u_n, & k_n < 0 \end{cases}$$

とおく。

ファジィ級数 $\sum (k_n \otimes u_n)$ がファジィ数 u に収束するとは、第 n 部分和 v_n がすべて存在し、ファジィ数列 $\{v_n\}$ が u に収束するときをいう。ファジィ級数が収束しないとき、発散するという。

ファジィ級数の特別なものとして、次のファジィベキ級数がある：

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

定理 1^[9] 実関数 $f(x)$ の Taylor 展開

$$f(x) = P_f(x; x_0)$$

$$= \sum k_n (x - x_0)^n, \quad |x - x_0| < r \quad (5)$$

を考える。ただし、 r は収束半径である。このとき、ある正数 $\delta (< r)$ が存在して、

$$0 \leq u - x_0 < \delta < r$$

なるすべてのファジィ数 u に対して

$$f(u) = P_f(u; x_0), \quad f(u) = (-1)P_{-f}(u; x_0) \quad (6)$$

のいずれか一方が成立する。

例 4

$$1) e^u = 1 + u + \frac{1}{2!}u^2 + \cdots + \frac{1}{n!}u^n + \cdots, \quad u \geq 0$$

$$2) \cos u = (-1)((-1) + \frac{1}{2!}u^2 - \frac{1}{4!}u^4 + \cdots),$$

$$0 \leq u \leq \sqrt{6}$$

$$3) \sin u = u - \frac{1}{3!}u^3 + \frac{1}{5!}u^5 - \cdots, \quad -\sqrt{2} \leq u \leq \sqrt{2}$$

$$4) \tan u = u + \frac{1}{3}u^3 + \frac{2}{15}u^5 + \cdots, \quad -\frac{\pi}{2} < u < \frac{\pi}{2}$$

$$5) \kappa(u) = 1 + u + u^2 + u^3 + \cdots + u^{n-1} + \cdots, \quad 0 \leq u < 1$$

$$\text{ただし, } \kappa(x) = \frac{1}{1-x}$$

$$6) \log(1+u) = u - \frac{1}{2}u^2 + \frac{1}{3}u^3 - \cdots, \quad 0 \leq u \leq 1$$

$$7) \tan^{-1} u = u - \frac{1}{3}u^3 + \frac{1}{5}u^5 - \cdots, \quad -1 \leq u \leq 1$$

例 4 1), 2), 3) をみると、関数 $e^x, \cos x, \sin x$ の単調な区間全体でファジィベキ級数展開されていないことが分かる。そこで、方向付けられた区間数を定義する。

6. ファジィ数の再定義

ファジィ数の定義における諸条件は、

u が正規 $\Leftrightarrow [u]^\alpha (0 \leq \alpha \leq 1)$ が空でない。

u がファジィ凸 $\Leftrightarrow [u]^\alpha (0 \leq \alpha \leq 1)$ が区間である。

$u(x)$ が上に半連続 $\Leftrightarrow [u]^\alpha (0 \leq \alpha \leq 1)$ が閉集合である。

$[u]^0$ が有界 $\Leftrightarrow [u]^\alpha (0 \leq \alpha \leq 1)$ が有界である。

のように同値条件に置き換えることができる。したがって、ファジィ数の定義を次のようにすることができる：

定義 6 ファジィ数

R 上のファジィ集合 u が、すべての $\alpha (0 \leq \alpha \leq 1)$ に対して、 $[u]^\alpha$ がすべて空でない有界閉区間ならば、ファジィ数という。

定義 7 ファジィ数列

ファジィ数列 $\{u_n\}$ が収束するとは、任意の $\alpha \in [0, 1]$ に対して、 $[u_n]^\alpha$ が α に関して一様収束することである。

さらに、ファジィ級数の収束を区間数を通して定義するため、区間数の拡張を導入する。

7. 区間数の拡張

2つの実数 $a, b (a \leq b)$ に対し、区間数

$$[a, b]$$

が定義される。いま、条件 $a \leq b$ を外し、 $a > b$ であっても、区間数 $[a, b]$ を定義する。これを方向付けられた区間数ということにする。

定義 8 方向付けられた区間数の演算

方向付けられた区間数 $[a, b], [c, d]$ に対し、和、差、スカラー倍を下記のように定義する：

$$1) [a, b] + [c, d] = [a + c, b + d]$$

$$2) [a, b] - [c, d] = [a - c, b - d]$$

$$3) k[a, b] = [ka, kb], k \in R$$

さらに, ベキを

$$4) [a, b]^n = [a^n, b^n], n \in N$$

で定義する。

注3 これらの演算は常に定義される。

例5

$$1) [-2, 3] - [3, 9] = [-5, -6]$$

$$2) [-2, -1]^2 = [(-2)^2, (-1)^2] = [4, 1]$$

注4 方向付けられた区間数の差は和で表すことができる。すなわち

$$\begin{aligned} [a, b] - [c, d] &= [a - c, b - d] \\ &= [a, b] + [-c, -d] \end{aligned}$$

定義9 方向付けられた区間数の距離

方向付けられた区間数 $I_1 = [a, b]$, $I_2 = [c, d]$ の距離は

$$\rho(I_1, I_2) = |c - a| \vee |d - b| \quad (7)$$

で与えられる。

この定義より, 方向付けられた区間数の級数の収束が定義できる。

方向付けられた区間級数を利用して, ファジィ級数の収束を再定義する。

定義10 ファジィ級数の収束

ファジィ級数 $\sum k_n u_n$ がファジィ数 u に収束するとは, 方向付けられた区間級数, $\sum k_n [u_n]^\alpha$ が, $\alpha \in [0, 1]$ に関して一様収束することである。

この定義より次の定理が定理1と同様に証明できる。

定理2 関数 $f(x)$ がある区間で, 解析的かつ単調増加とする。このとき, ファジィ写像 $f(u)$ はこの区間でファジィベキ級数展開可能である。

例6

$$1) e^u = 1 + u + \frac{1}{2!}u^2 + \cdots + \frac{1}{n!}u^n + \cdots, -\infty < u < \infty$$

$$2) \cos u = (-1)((-1) + \frac{1}{2!}u^2 - \frac{1}{4!}u^4 + \cdots),$$

$$0 \leq u \leq \pi$$

$$3) \sin u = u - \frac{1}{3!}u^3 + \frac{1}{5!}u^5 - \cdots, -\pi/2 \leq u \leq \pi/2$$

参考文献

- [1] Wu Congxin and Ma Ming : Foundations of Fuzzy Analysis, National Defense Industry Press , 1994.(in Chinese)
- [2] A.Kaufmann and M.M.Gupta: Introduction to Fuzzy Arithmetic, Van Nostrand Reinhold Company Inc.,1991. (邦訳: ファジィ数理と応用: 田中 英夫, 松岡 浩訳, オーム社, 1992.)
- [3] Wu Congxin & Wang Guixiang: Convergence of sequences of fuzzy numbers and fixed point theorems for increasing fuzzy mappings and application, Fuzzy Sets and Systems 130.383-390, 2002.
- [4] Wu Congxin: Some advances on the calculus of fuzzy mappings, The 19th Fuzzy System Symposium Proceeding, 2003.
- [5] Shiji Song & Wu Congxin: Existence and uniqueness to Cauchy Problem of fuzzy differential equations, Fuzzy Sets and Systems 110.55-67, 2000.
- [6] 稲井田 次郎他: ファジィ数空間上のベキ級数の研究, 早稲田大学数学教育学会誌, 第23号第1号, pp.37-45, 2005.
- [7] 稲井田 次郎: ファジィ数空間上のテーラー展開, The 25th Fuzzy System Symposium Proceeding, 2009.
- [8] 稲井田 次郎, 御前 憲廣, 白川 幸子: ファジィ交代級数について, 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, 2009, 2010.
- [9] Jiro Inaida : Taylor Series on the Fuzzy Number Space, Biomedical Soft Computing and Human Sciences, Vol.16, No1, pp.15-23, 2011.

連絡先

日本大学理工学部 稲井田 次郎

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

ファジィ論理のほとんど全て (24)

ファジィ含意・三考

Almost All about Fuzzy Logics (24)
Fuzzy Implication Re-revisited

中島 信之
NAKAJIMA, Nobuyuki

1 はじめに

ほんまに私ってつくづくアホやなあ、と思います。これまでいろいろ勉強してきたつもりだったが、今になって、含意について何も知らなかったことに、やっと気がついたのだから。…というか、私が自分をアホだと思った所以は、そうした無知にこのときまで気がつかなかった間抜けさかげんにある。

ま、というわけで、含意について勉強しなおすことにした。とりあえず手許にある論理学関係の入門書・教科書・辞典事典の類にもう一度目をとおしてみた。

幾度となくながめてきたはずなのに、あらためて読んでみると、一字一句が新鮮なのである。要するに、含意なんてよう知ってるで、とばかりに目が素通りしただけのことだった（これも、アホやなあと思った理由）。

2 「ならば」のどこが・なぜ難しい？

とにかくいろいろ調べてみて、含意が何ともむつかしく厄介だということがわかってきた。むつかしく厄介だということは野矢の『入門！論理学』[7]を熟読玩味して（本当かね？）よくわかった。

含意のどこがどう難しくわからないかというと、そもそも含意とは何かがわからない — 皆目分らない、ということである。どういうものを、なぜ含意とよんでいいかがわからない。いいかえると、含意の定義がわからない。

その含意を古典2値論理はどのようにあつかったか。論理には含意（ならば）を含めて連言（かつ）、選言（または）および否定（でない）という4つの論理演算がある。

これらのうち、最もわかりやすいのが連言と否定である。選言に関しては、日常語の「または」は、通常、「排他的または」で、論理学でいう「または」とは異なる。そしてもっとも難しく厄介なのが含意（ならば）である。

野矢は上掲書 [7] で、論理演算を、導入則と除去則という2つの論理法則で定義し、ないしは特徴づけた (p.79)。導入則（入れ方）とは、それが何から導けるのか、除去則（出し方）とは、それから何が導けるのか、を意味する。

たとえば、「かつ」については、「「A かつ B」が正しく主張できるのは、A と B が両方とも正しく主張できるときです。」 (p.81) が導入則（**かつ入れ**）。それに対して、「「A かつ B」からは、「A」という単独の主張と「B」という単独の主張をそれぞれ導くことができます。」 (p.82) が除去則（**かつ取り**）だというわけである。

さて、含意（ならば）である。除去則に関しては、「「A ならば B」と「A」が成り立っていれば、「B」が結論できます。」 (p.111)、すなわち肯定式 (modus ponens) である。なお、野矢は「「ならば」は「**条件法**」と呼ばれ、」と書く。

導入則は、「「A」を仮定して「B」が導かれるとき、「A ならば B」と結論していよい。」 (p.109) となるが、問題は「導かれる」にある（と野矢はいう）。ここでいう「導かれる」の意味は「**演繹的に推論される**」以外の何ものでもない。

しかるに、

そこ（すなわち命題論理）ではなによりまず、否定、そして連言、選言、条件法という接続の型を、規定します。その上で、その規定に基づいて、否定・連言・選言・条件法に関わるすべての演繹的推論を捉えたいのです。ここで（……中略……）私たちが規定しているのは、たんに否定やいくつかの接続の型の意味だけではありません。実は、「演繹的に推論する」ということの意味をも規定しているのです。(pp.113-4)

「つまり、導入則と除去則は基本的に、何から何を導いてよいのかを規定しており、そのことは逆に、どういう導出がここで「演繹的推論」として認められ

ているのかを規定しているということにもなるのです。」……条件法の導入則（ならば入れ）は「何が演繹的推論であるのかを規定してはならず、反対に、何が演繹的推論であるのかに全面的に依存したものになっています。」(p.115)。以上を要するに、「つまりどういうことか」というと、「ならば」の導入則だけでは、まるで**無内容**だということです。何から何を導いてよいのかという他の規定を伴ってはじめて、「ならば」の導入則は内容をもちます。(p.116)

べつの言い方をすれば — 演繹的推論を借りてきて「ならば」を定義し、その「ならば」と他の演算とで体系の推論構造を定める、ということになる。これは一種の循環論法である¹。あるいは、自分の靴のひもを引っ張って自分を持ち上げた、というほら吹き男爵の話²に似る。 — こうした落語的なぐるぐる回しが含意のむつかしさである。

3 アリストテレスにおける含意

上で述べた「ならば（含意）」のもつ落語的な循環を断ち切るにはどうすればよいか。歴史をふりかえってみよう。

『アリストテレス入門』[8]や『現代哲学事典』[9]などによれば、伝統的論理学³は、またの名を名辞論理学とよばれる。命題は、名辞をもちいて「SはPである」と表される。有名な「ソクラテスは死ぬ」も、「死ぬ」という述語でなく、「死ぬもの」という名辞（名詞語句）で表される。

『アリストテレス入門』[8]には

アリストテレスの論理学では、限定は「すべての」と「ある」の二種類に限られ、名辞の組み合わせ方は「……は……である」と「……は……でない」の二通りに区別される。それらを一緒にすれば、四通りの命題ができることになる。

すべての S は P である。(全称肯定命題)

ある S は P である。(特称肯定命題)

すべての S は P でない。(全称否定命題)

ある S は P でない。(特称否定命題)

たとえば、「すべての生物は死ぬ」と「すべての人間は生物である」とから「すべての人間は死ぬ」を導く三段論法は、 $M = \text{「生物」}$ 、 $P = \text{「死ぬもの」}$ 、 $S =$

「人間」として、「すべての M は P である」、「すべての S は M である」および「すべての S は P である」と書きなおされる⁴。

仮言三段論法

A ならば B

B ならば C

—————
 A ならば C

も同様に書きなおせる（はずである）。

結論として：「もし（ x が） M ならば（ x は） P である」といった条件文（含意）は使われておらず、アリストテレスの論理学に含意というあつかいはなかったと考えてよい。

4 現代論理学と含意

論理学の記号化は、ライプニッツ（16-7世紀）から始まり、ブール（19世紀）、パース（19-20世紀）らによって徐々に進行し、それにあわせて論理学の担い手も哲学から数学に移り変わっていった。伝統論理学は終わりを告げ、フレーゲの『概念記法』（1879年）を機に現代論理学の幕が切って落とされた。

伝統論理学に含意がなく、現在われわれに含意があるとすれば、一体いつ・だれによって含意は「発明」されたのか。

4.1 ラッセルの実質含意

とりあえず、『岩波／哲学小辞典』[4]の「含意」の項を見た。すると、

ラッセルは、任意の命題 p , q について $\langle p$ ならば $q \rangle$ ということをも $\langle p$ が真で q が偽のことはない $\rangle$ と単純化して記号 $\langle p \supset q \rangle$ で表現し、これを $\langle p$ は q を含意する (imply) $\rangle$ することと解し、両者の関係を実質的含意 (material implication) と呼んだ。…… (中略) ……。現在では、種々の解釈を受けるべき論理式 S , T について、 $\langle S \supset T \rangle$ が S , T のすべての解釈に対して真と解釈されたとき、 $\langle S \supset T \rangle$ を含意または含意式と呼び、 $\langle S$ は T を含意する $\rangle$ というので、特定された命題ないし命題関数については含意を語らないのがふつうである。

とあった。ラッセルは含意を定式化した（少なくとも）最初の 1 人だということがわかった。

¹ 上方嚙の「さくらんぼ」（江戸落語の「頭山」）もそうだし、フレドリック・ブラウンの超短編、「報復宇宙船隊」（『未来世界から来た男』所載）もそうである。

² 正しくは靴紐ではないらしいが…。

³ 古典古代ギリシアのアリストテレスに始まる。古典論理学ともよばれるが、古典論理学が歴史的な意味とあわせて、(現代の論理学)でも重要な論理体系を意味するのにはたいし、伝統的論理学は歴史的な意味しかない。

⁴ どうもアリストテレスの論理学では「すべての人間は死ぬ」、「ソクラテスは人間である」によって「ソクラテスは死ぬ」ではなかった。

4.2 フレーゲの『概念記法』

ラッセルが含意を導入した(最初の?) 1人とする
と、かれの‘先輩’であるフレーゲはどうか? という
わけで、フレーゲに関する2冊の書、『フレーゲ入
門－生涯と哲学の形成』[6](野本)と『フレーゲの哲
学』[3](A. ケニー著、野本ほか訳)を引っ張り出し
てきて目をとおしてみた。…いやあ、驚いた。やはり
前に‘読んだ’ときは、そのとき読みたいと思ったところ
だけをつまみ読みし、今回必要となった部分は飛ば
していた(ホントに情けない)。

とくに『フレーゲの哲学』[3]には、**はっきり**と、

「このような文 $((x)(x$ は死すべきものである⁵⁾) を、一般性記号と条件法記号の双方を用いて記号化する、表現

$$(x) (Fx \rightarrow Gx)$$

は、以下のように読むことができる。

すべての x に関して、もし Fx ならば Gx 。

と書いてあったではないか (p.47)!

しかしながら、フレーゲは、現在もなおわれわれが
頭を悩ませている問題に直面した。すなわち、「フレー
ゲによる定式化と、「すべての人間は死すべきものであ
る」といった日常言語の文との相違」である。フレー
ゲ(あるいはケニー)は、その理由として

ここでの「ならば」は真理関数的な「ならば」
であることに注意すべきである。「もし Fx ならば
 Gx 」は「 Fx であって、かつ Gx でないというこ
とはない」を意味するにすぎない。

からで、相違は「いかなる人間も存在しない場合」の
解釈にあるという (p.48)。

日常言語の「演算」を記号化・定式化するとは、日
常言語をモデル化するということである。いかなるモ
デル化であっても、モデルがもとの構造をすべてあら
ゆる細部を忠実に再現できるわけではない。こうした
乖離は、とくに含意において、その最初期のフレーゲ
の段階ですでに明らかだった。

そして、ふつうに考えれば、古典論理から非古典論
理になって、乖離が小さくなったとする根拠はない。

4.3 古典2値論理の含意

何はともあれ、古典2値論理の含意は、フレーゲの
(あるいはラッセルの実質)含意である。ただこの含

意は $\rightarrow$ $p \rightarrow q$ と表すか $\supset$ $p \supset q$ と表すかは別として $\rightarrow$
「 p が真で q が偽」はない、としか定められない。これ
を表にすると、

p	q	$p \rightarrow q$
1	1	1
1	0	0
0	1	?
0	0	?

この表の「?」について、三浦は『論理学入門』[5]
の35ページ以下で、2つの解釈を示す。1つは、フ
レーゲやラッセルとおなじく、 p が真で q が偽のこ
とはない、とし、語用論の規則である「寛容の原則(疑
わしきは罰せず)」によって、?を偽(0)でなく真(1)
とする(三浦[5], p.25)。もう1つは、これを「 p で
あって q でないことはない」、すなわち「 $p \wedge \neg q$ でな
い」と解釈する。こう解釈すれば、 $p = 0$ を代入した
とき、 q の値にかかわらず、 $\neg(p \wedge \neg q) = 1$ となる。

どちらの解釈のもとでも、とくに第2の解釈のもと
では、 $p \rightarrow q = \neg p \vee q$ を得る。

4.4 含意と公理系

含意のおもしろさは、論理体系の公理が、しばしば
含意(と否定 $\sim$)によって記述されることである。た
とえば、ウカシエヴィッツの古典論理の公理系 L_3 は、

- A1 $(\alpha \rightarrow (\beta \rightarrow \alpha))$
A2 $((\alpha \rightarrow (\beta \rightarrow \gamma)) \rightarrow ((\alpha \rightarrow \beta) \rightarrow (\alpha \rightarrow \gamma)))$
A3 $((\neg \alpha \rightarrow \neg \beta) \rightarrow (\beta \rightarrow \alpha))$

からなる(たとえば井関[2], p.79)。

こうした公理系で、 $\rightarrow$ や $\sim$ を何と読んだらよいの
だろう? $\rightarrow$ が含意で $\sim$ が否定だとして、それらは、
われわれの知る含意であり否定であろうか。

1つの答えは、ヒルベルトの「幾何学的なすべての
主張にある言葉、**点、直線、平面を机、椅子、ビールの
ジョッキ**で置きかえることも可能であるに違いない」
であり、あるいは「彼の目標は、特定された、あるいは
形式的な規則にしたがう数学的な記号を、それに(物
理的なとか抽象的なとか直観的なとかの)「意味」を
与えないで扱うことにすることができるようにすることだ
った」である(たとえば、ヘルマン[1], p.309)。

ヒルベルトの発言からいえることは、上の公理系に
出てくる $\rightarrow$ と $\sim$ は、われわれの知る含意と否定であ
ってもよし、他の含意と否定であってもよし、というこ
とである。

ふつう、(既知の)含意と否定の上に公理系が形成さ
れるが、いったん公理系ができあがると、公理系は一

⁵⁾ (x) はわれわれになじみの記号では $\forall x$ である。

人歩きをはじめ、その中に現れる $\rightarrow$ と $\sim$ は、もとの含意と否定である必要はなくなってしまう。

5 含意をどう定義するか

前節で紹介した議論から、ファジィ論理を含む非古典論理における含意はどう定めたらよいだろうか。

何はともあれ、含意を定義するのに3つのやりかたが考えられる。

古典2値論理の含意を（何らかの意味で）拡張する。

含意の満たすべき性質を公理とし、それを満たす論理関数として定義する。

無定義のまま、含意を原初記号として導入し、それに関する公理（系）で論理体系を定める。

5.1 公理系から含意を定める

これはわたしの考えだけれども、たいていの（数学の）公理系は、（意味論的に）じゅうぶん練れた段階で公理化される。まったくのゼロからいきなり公理系を作るあげるのは無理だと思う。（論理体系の）公理化は、いわば仕上げの段階である。公理系から含意を定めるのは、たぶん順序は逆でないか。ファジィ論理に関していえば、含意も未だ定まらず、したがって、公理化は遠い話だと思う。

5.2 古典2値論理の含意を拡張する

古典2値論理の含意を（ファジィ論理を含む）非古典論理に拡張する。 $p, q = 1, 0$ のとき古典論理の含意に帰着する、であり、古典論理の含意の論理関数を非古典論理の世界に拡張する、というものである。は次項での論題といえる。

については、古典論理の含意の論理関数を確定する作業がある。もっとも一般には $p \rightarrow q = \neg p \vee q (= \neg(p \wedge \neg q))$ である。これ以外のものも考えられる。

いずれにせよ、それが含意としての性質をもっているかは次項で判定する必要がある。

5.3 含意の満たすべき性質を満たす論理関数

結局、含意がどういう性質をもつべきかを調べることが肝要だということになる。

ただ、含意（だけでなく、他の論理演算子も）は論理体系（の構造）と深い関わりをもっている。

含意の性質について、あらゆる論理体系に共通な性質対それぞれの論理体系に固有の性質、構文論的な性質対意味論的な性質とが考えられる。

6 おわりに

現在、『ファジィ含意の（ほんのちょっと）全て』なる小冊子を作成しています。たぶん、当日配布できると思います。乞御期待（かな?）。…と同時に、本稿のいささか不完全なところをお許しあれ。

最近ブルガリア出身のツベタナ・クリステワさんの『心づくしの日本語』（ちくま新書、2011）という本に出会いました。「あいまいさ」についてよく調べられた本で、『あいまいさの系譜』のまえにめぐりあいたかった本です。紹介しておきます。

参考文献

- [1] H. ヘルマン, 三宅克哉訳, 数学 10 大論争, 紀伊國屋書店, 2009
- [2] 井関清志, 記号論理学（命題論理）, 槇書店, 1968
- [3] A. ケニー, 野本和幸, 大辻正晴, 三平正明, 渡辺大地訳, フレーゲの哲学, 法政大学出版局, 1995
- [4] 粟田賢三, 古在由重編, 哲学小辞典, 岩波書店, 1979
- [5] 三浦俊彦, 論理学入門, NHK ブックス, 2000
- [6] 野本和幸, フレーゲ入門 生涯と哲学の形成, 叢書エニグマ 2, 勁草, 書房, 2003
- [7] 野矢茂樹, 入門! 論理学, 中公新書, 2006
- [8] 山口義久, アリストテレス入門, ちくま新書, 2001
- [9] 山崎正一, 市川浩, 現代哲学事典, 講談社現代新書, 1970

[問い合わせ先]

中島 信之
930-0077 富山市磯部町 2-1-24
TEL & FAX: 076-493-2104

BGM の記憶作業への影響 —認知心理学的アプローチ—

Effect of Background Music to Memory Task - Cognitive Psychological Approach-

小此鬼 肇
Tatsuru Okonogi

長岡技術科学大学
Nagaoka University of Technology

中村 和男
Kazuo Nakamura

Abstract: Effect of BGM (Background Music) to memory work, was examined in terms of cognitive psychology through subject experiment. In this experiment, a memory task was created incorporating factors of cognitive psychology, and effect of BGM to memory work was investigated from the perspective of "change of music", "changes in memory tasks" and "holding time of memory". As the result it was confirmed that those factors affected memory work performance.

1. はじめに

記憶作業への BGM (Background Music) の影響を、認知心理学的な観点から検討した。被験者実験による記憶作業への音楽の影響を観察するにあたり、音楽の種類、記憶課題の種類を変化させ、記憶した直後とそこから一定の時間が経過した後の 2 回にわたり想起させる実験条件を設定した。

2. 実験

2.1 実験概要

- 被験者：大学生 12 名 (男性 11 名、女性 1 名)
- 使用音源
 - 音楽 α 「Stf」緊張の印象[1]
 - 音楽 β 「Misty Rouge」弛緩の印象[1]
- ※音源：RWC 研究用音楽データベース[2]より
- 実験環境：コンクリートで囲まれた 8 畳ほどの広さの会議室の中で実験を実施し、音楽はスピーカーから暴露した。暗騒音 35dB(A), 音楽 α :47.3dB(A), 音楽 β :48.1dB(A)

2.2 実験順序

- Step1 記憶課題を記憶。(記憶行程：5分)
- Step2 記憶課題の内容を再生。(想起1行程：5分)
※専用の解答用紙に記入。
- Step3 30分間妨害課題を実施。(作業行程：30分)
※図書館で本を探索。
- Step4 記憶課題の内容を再生。(想起2行程：5分)
- Step5 気分に関するアンケートに記入。
※10 個の形容詞対を 5 段階で評価。

1 人の被験者に対して上記の手順を音楽無し、音楽 α 、音楽 β の 3 つの条件で計 3 回実施した。過去の実験[3]から音楽聴取による記憶作業には順序効果がある事が判明したため、各条件の順番が異なるようにパターンを 6 つ用意し、被験者を各グループ 2 人ずつ振り分けて実験を実施した。音楽は作業行程以外の記憶行程、想起行程 1、想起行程 2、で被験者に聴取させた。

2.3 記憶課題と解答用紙

1 つの記憶課題 (図 1) に対してジョンソン・レアードが提唱する 3 つの心的表象 (命題, メンタルモデル, イメージ) のモデルを参考に命題・構造・イメージの 3 種類の質問 (図 2. 図 3. 図 4.) を被験者に提示した。例題(イ)(ロ)(ハ)は高校レベルの化学の教科書より抜粋。被験者には事前に同様の問題を用いて練習させた。

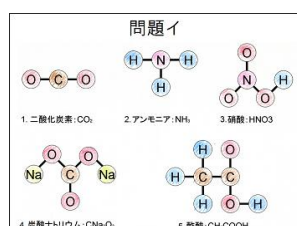


図 1. 記憶課題(イ)

図 2. 解答用紙 1

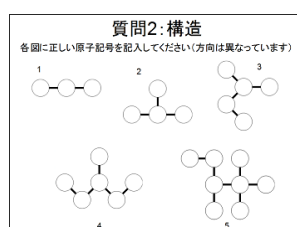


図 3. 解答用紙 3

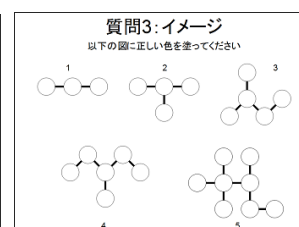


図 4. 解答用紙 3

3. 実験結果

各質問の結果を以下に示す (図 5. 図 6. 図 7.). 実験は例題(イ)(ロ)(ハ)の順に進めたが、各質問において、時間経過の前半は音楽が有る方が記憶作業の成績が高く、後半は音楽無しの方が記憶作業の成績が高くなるという傾向が見られた。また、先行研究では最も成績が良かった音楽 β よりも音楽 α の方が全体的に成績が高いという結果が出た。本実験では以前の実験[3]で見られた想起 1 から想起 2 への減衰が見られなかった。各結果に対して t 検定を実施した結果、質問 1 (命題) と質問 2 (構造) において、同一の問題で音楽を変化、同一の音楽で問題を変化、音楽と問題の両方を変化、の 3 種類の条件で有意差が発生した項目があった。

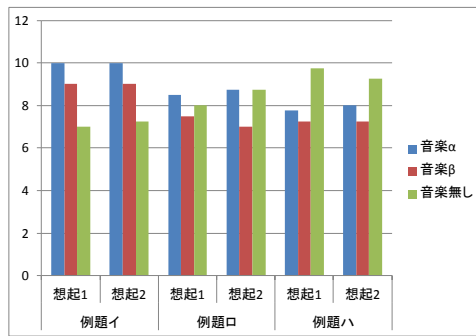


図 5. 質問 1 (命題) の結果

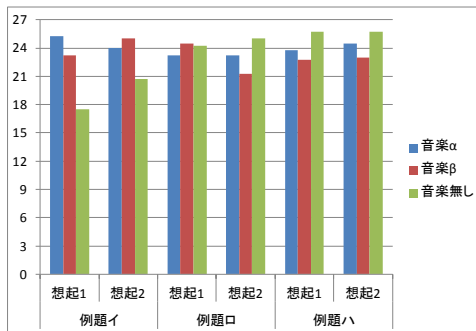


図 6. 質問 2 (構造) の結果

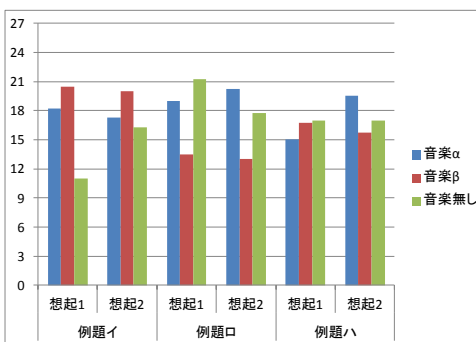


図 7. 質問 3 (イメージ) の結果

4. アンケート結果

アンケートの結果を以下に示す (図 8). 使用した音源が先行研究[1]で緊張の印象を与える音楽 (音楽 α) と弛緩の印象を与える音楽 (音楽 β) である事が、アンケートの結果に関係している事が見て取れるが、実験結果より音楽 α の結果は音楽 β よりも成績が高い傾向にある事から、音楽が与える印象は気分に影響しても結果にはあまり影響していない可能性が考えられる。

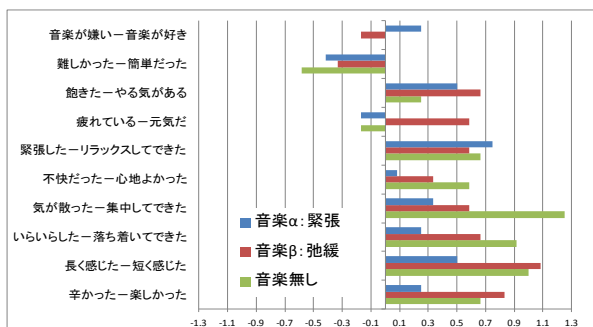


図 8. 音楽別のアンケート結果

5. 検討

本実験において BGM は実験の前半ではポジティブに影響していたが、後半になるとネガティブに影響し、音楽無しでは逆の影響の仕方をするという結果が得られた。認知作業には人の覚醒度が関係しており、音楽の種類によってはその覚醒度に違いがあり[5]、記憶作業には精神的な疲労が関係している[3]という知見より、音楽 α を「高い覚醒を含みネガティブな影響を与える音楽」音楽 β を「低い覚醒を含みポジティブな影響を与える音楽」と定義すると、前半は音楽聴取により覚醒度が向上して効率よく記憶できるが、後半になるとその覚醒度が疲労になり音楽が妨害方向に働いた、逆に音楽無しでは前半は覚醒度が低いため成績が低い、後半になって覚醒度が向上しても、音楽が無い音楽による疲労が無く妨害されなかったと考えられる。

6. 結言

本実験では音楽聴取による記憶作業への影響に着目し、音楽の種類と記憶課題の種類を変化させる事でその相互関係について検討した。その結果以下の事が示唆された。

- ・音楽の違いで記憶作業への影響の仕方も変化。
- ・記憶課題の特性の違いで音楽による影響も変化。
- ・音楽の影響の仕方には覚醒度と疲労が関係。
- ・音楽から受ける印象は記憶作業の成績へあまり影響しない。

なお、本記憶課題は理系的な課題でありこれまでの記憶に関する心理実験ではほとんど取り上げられていない領域のため、今後の継続が望まれる。

参考文献

- [1] 北村由美子: 勉強時に流す音楽の適性について - 感性的印象評価からの検討 -, 修士論文, 2010
- [2] RWC 研究用音楽データベース
<http://staff.aist.go.jp/m.goto/RWC-MDB/index-j.htm>
引用日 2012-1
- [3] 小此鬼肇, 中村和男: 一時的な記憶作業への音楽の影響について - 認知心理学的実験による検討 -, 日本人間工学会関東支部第 41 回大会第 17 回卒業研究発表会講演集, pp63-64, 2011
- [4] Gianna C, Raymond A.R. Macdonald, The effect of background music and background noise on the task performance of introverts and extraverts, Society for Education, Music and Psychology Research, vol.35(3), pp517-537, 2007

連絡先

小此鬼肇

長岡技術科学大学大学院工学研究科

経営情報システム工学専攻人間システム工学研究室
〒940-2188

新潟県長岡市上富岡町 1603-1

Tel: 0258-47-9357

E-mail: s083359@stn.nagaokaut.ac.jp

モバイル端末を用いたカーボンフットプリントの蓄積と提示 Presentation and Storage of Carbon Footprint for Mobile Devices

金田 一希
Kazuki Kanada

永森 正仁
Masahito Nagamori

中村 和男
Kazuo Nakamura

長岡技術科学大学
Nagaoka University of Technology

Abstract: Deterioration of the global environment has become a serious problem by large amount of greenhouse gas emissions under industrial activities in the society. However, while results of the efforts to reduce greenhouse gas emissions are less effective in Japan, one of the major elements of its cause is low awareness for ecology of the people. Recently, system called carbon footprint as an effort to awaken awareness for the ecology of people have become popular in society. In this study, a new system environment for presenting carbon footprint using mobile terminals when purchasing was proposed as an approach to promotion of ecological awareness of the people to make effective use of carbon footprint. As a result, trend of improvement for both index of awareness and synthetically knowledge about ecology was confirmed in all subjects, although individual differences in degree of change exist in these.

1.はじめに

産業活動にともない排出される大量の温室効果ガスが原因で、温暖化等の地球規模での環境悪化を招いている。その排出される温室効果ガスのうち多くの割合を占めるものがCO₂であり、今日そのCO₂削減のため様々な取り組みが世界規模で行われている。しかし、日本におけるCO₂を始めとした温室効果ガス削減の実態は、国ベースでの排出量は基本的には増加の傾向を辿り続けており、成果を上げていないのが現状である。[1]その理由の一つとして技術的な要因、社会システム的な要因等の他に、人々のエコロジーに対する意識の低さが挙げられるが[2]、そうした意識を喚起する取り組みとして近年、「カーボンフットプリント」[3]という制度が導入されようとしている。

本研究ではそのカーボンフットプリントという制度を有効活用し、人々のエコロジーに対する意識を改善するための情報システム環境の構築について提案したい。

2.LCAとCFP

1) ライフサイクルアセスメント(LCA) [4]

私たちは日常生活で、様々な製品を購入する購買行動を行っている。各製品の産業構造の違いから発生するCO₂排出量は異なるが、全ての製品において以下のプロセスでは一般的にはエネルギーや資源が投入され、CO₂が発生すると考えられる。それは、

- ①製品を生産するための原材料を採取する過程
- ②材料からその製品を製造する過程
- ③製造された製品が私たちの手元に輸送される過程
- ④利用目的を終えた後、製品を廃棄する過程

少なくとも以上の過程で発生したCO₂排出量が、私たちが商品を購入することで付随してくることになる。

このように原料の採取から廃棄に至るまでの製品の一生における全過程において、環境負荷を定量的に把握・評価する手法を「ライフサイクルアセスメント(LCA)」と言う。

2) カーボフットプリント(CFP)

そして上記のLCA情報を記録・管理し「見える化」させたものをカーボンフットプリント(CFP)という。商品やサービス等のライフサイクルの各過程にて排出された温室効果ガスの排出量を詳細に記録・管理し、ユーザに向けて理解できる様々な形式で表示・活用することで、人々のエコロジーに対する意識・関心や学習の姿勢を喚起させることを目的とした制度である。

3) カーボフットプリント普及の問題点

CFP普及の問題点として、算出したCFPをユーザに提示する際の情報形態のバリエーションの少なさ、アクセスの難しさが挙げられる。CFPの算出・蓄積が社会に広がっていく中で、それに対するCFP活用の裾野が狭い点を指摘したい。

3. モバイル端末を用いた新規 CFP 提示法の提案

本研究では、CFP提示の情報形態の少なさに焦点を当て、より有効的にCFPを提示するため、モバイル端末を用いた新規システム環境を提案する。

提案するシステムは以下の項目の達成を目的としている。

- ・ユーザのエコロジーに対する意識の改善を促すのに有効
- ・ユーザのエコロジーに関する総合的知識の向上に有効
- ・上記の両要素によりエコロジーに対する学習態度が形成され、環境負荷考慮の行動への誘導

提案するシステム環境の構想として以下の内容を挙げる。

- ① QRコードを情報媒体とし、製品のCFPを埋め込む
- ② QRコードをモバイル端末搭載のカメラで取得する
- ③ 取得したCFPを端末でグラフィカルに確認できる
- ④ 取得したCFPを端末にデータベースとして蓄積できる
- ⑤ 蓄積したCFPを様々な指標に加工・変換できる
- ⑥ 蓄積、加工されたCFPを任意のタイミングで閲覧できる

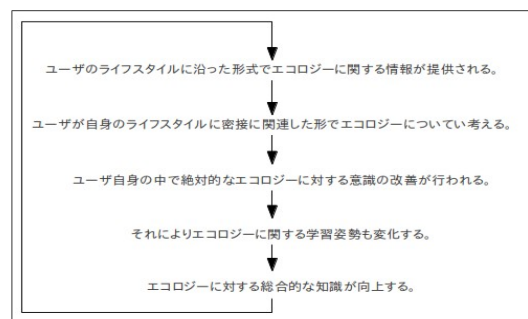


図1. 提案するシステムにより期待できる好循環

本研究で提案する情報システム環境がユーザの日常生活に提供され、ユーザがシステムを利用することにより図1が示すようなエコロジーに関する意識・関心と学習態度に対する好循環が、ユーザの中に芽生えることが最終的な効果として期待できる。

4. CFP 蓄積・提示のためのモバイル端末システム

提案するシステム環境を実現するため、AndroidOS搭載のモバイル端末に対応するアプリケーションの開発を行った。

1) システムの全体構造

開発したアプリケーションは主に以下の3要素で構成されている。

- ① CFPを蓄積するためのDB
- ② QRコードアクティビティ: カメラでQRコードを読み込みCFPを取得、内容を表示するアクティビティ
- ③ DBアクティビティ: 取得したCFPをDB内に蓄積する、蓄積したDB内の情報を閲覧・処理するアクティビティ

ユーザはQRコードアクティビティとDBアクティビティのインターフェースを介して操作し、CFPを蓄積し、任意のタイミングで閲覧できる構成に仕立てている。(図2)

2) QRコードアクティビティの機能

- ①読み込んだ CFP をグラフィカルに表示する
- ②読み込んだ CFP を DB に蓄積するかどうか選択できる

3) DB アクティビティの機能

- ① CFP を DB に蓄積する
- ② DB 内のすべての情報をリスト形式で表示する
- ③ DB 内をキーワード検索にかけ、結果を表示する
- ④ DB 内の CFP を日にち単位または、週単位で整理・累計して、結果を棒グラフで表示する
- ⑤使用期間における CFP の累積値を線グラフで表示する



図 2. 制作したシステムのインターフェース画面例

5. 計測実験

1) 実験の目的

提案するシステム環境の有効性を検証するため、被験者を募り実際に計測実験を行った。実験の目的は構築した CFP 提示のシステム環境をユーザの日常生活内に提供した場合ユーザの中で主に、

- ・ エコロジーに対する意識・関心の変化
- ・ エコロジーに対する総合的な知識量の変化
- ・ エコロジーに対する行動・姿勢の変化

の項目にどの程度の影響を与えるか計測を行った。

2) 実験環境

実験を行うにあたり、普段より AndroidOS を搭載したスマートフォンを所持し、利用している被験者を 5 名募った。被験者には月曜日から金曜日までの 5 日間の「昼食時の購買行動」の時間を対象に、本研究で構築したモバイル端末を用いた CFP 提示のシステム環境を提供し、システムを利用して昼食時の購買行動を行ってもらった。

3) 実験の評価方法

実験におけるユーザのエコロジーに対する意識や知識量の変化の計測は、実験終了後に被験者に対しアンケートを実施し[2]、被験者自身の主観的な意識変化の度合いを 5 段階による評価で行った。実態的な行動変化の計測は、実験開始時に被験者に購買行動の状況とシステムの利用状況を記録するためのログシート配布し、実験期間中被験者にシートを記入してもらった。その 5 日間分のログシートを実験終了後に回収し、記述されている行動内容の変化を分析することにより評価を行った。

6. 実験の計測結果

1. 全ての被験者において変化の度合いに差はあるが、主観的な評価においてエコロジー意識及び知識に向上が確認できた。
2. エコロジーに対する意識・関心の向上が大きい被験者ほど、エコロジーに対する総合的な知識の向上も大きくなる傾向が確認できた。(図 3)

3. 一部の被験者では、複数の対象の情報を比較し、環境負荷の少ない商品を購入するという行動が実験が進むにつれ見受けられた。

また、上記 1,2,3 の動向が強い被験者ほど、システムの有効性の評価が高い傾向がみられた。(図 4)

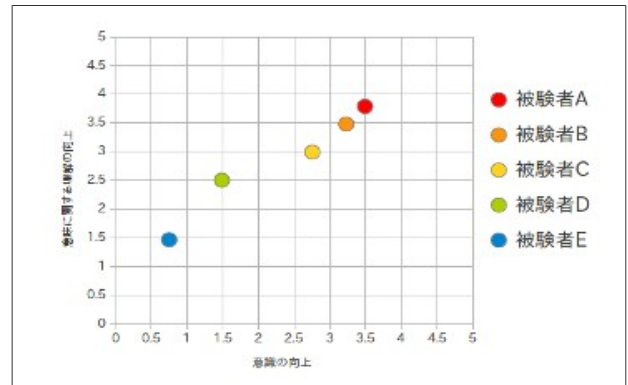


図 3. エコに関する意識と知識の向上の相関

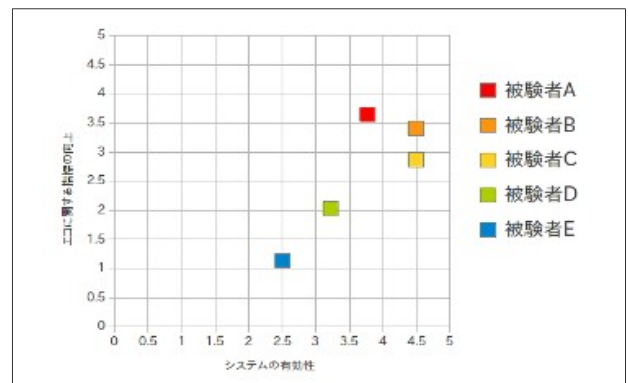


図 4. エコ意識の向上とシステムの有効性評価の相関

7. 結言

計測結果より、本研究で提案する新しい CFP 提示環境のシステムの有効性が示唆された。しかし今回の実験では 5 日間という短期間での計測実験しか行わず、本当の意味でシステムの有用性を検証するまでには至っていない。今後の展望として、数カ月、または 1 年という期間を通して、ユーザに本研究で提案する CFP 提示の情報システム環境を提供し、その心理や動向の変化を観測する必要がある。

参考文献

- [1] 温室効果ガスイベントリオフィス: 日本の 1990~2009 年度の温室効果ガス排出量データ
<http://www.gio.nies.go.jp/aboutghg/nir/nir-j.html>
- [2] 電通リサーチ調査レポート 2010 年 9 月: 「環境問題・エコ意識」についての調査レポート
<http://www.dentsuresearch.co.jp/service/report/2010/9/17/index.html>
- [3] 経済産業省: カーボンフットプリント制度試行事業事務局
<http://www.cfp-japan.jp>
- [4] 足立芳寛 他, 環境システム工学 循環型社会のためのライフサイクルアセスメント, 東京大学出版会, 2004

問合せ先

金田 一希

長岡技術科学大学 大学院 工学研究科

経営情報システム工学専攻 人間システム工学研究室

〒940-2188

新潟県長岡市上富岡 1603-1

Tel.: 0258-47-9357, E-mail: s085116@ics.nagaokaut.ac.jp

音楽聴取による走者心拍数のファジィ制御

Fuzzy Control of Runner Heart Rate by Music Listening

原 隆幸

Takayuki Hara

立命館大学大学院

理工学研究科

亀井且有

Katsuari Kamei

立命館大学

情報理工学部

Graduate School of Science and Engineering College of Information Science and Engineering

Ritsumeikan University

Ritsumeikan University

Abstract: In recent years, the stress as a lifestyle-related disease poses a problem. The exercise is the easiest and effective way to prevent or reduce the stress. However, almost of exercising people don't know whether it is good to exercise how much hard for it. Although they know the hardness (the exercise intensity), it is very difficult to control it by themselves in outdoor exercise.

This paper describes a fuzzy control of runner heart rate by music listening. The heart rate control is a same meaning as the exercise intensity control. And in the outdoors, since the heart rate control by compulsory run like using a treadmill is impossible, this paper proposes a self-reliant heart rate control by music listening.

First, the preliminary experiment using a self-propelled treadmill is conducted for construction of heart rate models of runners for six music tempo changes such as slow to medium, or fast to slow and etc. Second, membership functions and fuzzy rules are tuned through simulations using the above models. Finally, the proposed fuzzy control is applied to runners who use the self-propelled treadmill and confirm the control results.

1 はじめに

我々現代人の生活環境は、運動不足、栄養素の過剰摂取、ストレスなどの要因により、さまざまな面で快適とはいえず、これらのことが生活習慣病の発症率を高めているとされる [1]。生活習慣病の予防には、適度な運動が有効であるといわれている。適度な運動は、体内の呼吸器系や、循環器系を強化・改善し、生活習慣病の要因の一つである肥満の解消にも効果がある [2]。また、運動することによって爽快感を感じ、生活習慣病のもう一つの大きな要因であるストレスの解消も可能である。

人は好きな音楽を聞くことで副交感神経が刺激され、血管が拡張し、気分が良くなる [5]。また、運動のテンポを音楽に合わせることで、心拍数が様々な値にむかうことが報告されている [7]。以上から、運動強度を制御する手段として音楽を用いることが有効だと考えられる。

本研究では、音楽に合わせて運動のテンポをリアルタイムで切り替えることによる心拍数のファジィ制御を行う。まず、自走式トレッドミルを用いてテンポの違う楽曲ごとにリズムに合わせて走行する予備実験を

行い、楽曲の変更に対する心拍数変化のモデル（心拍数モデル）を構築する。次に、予備実験で得られた心拍数モデルを用いたシミュレーション実験を通して、ファジィ制御におけるファジィルールおよびメンバーシップ関数をチューニングする。最後に、チューニングされたルールやメンバーシップ関数を用いて、自走式トレッドミルを走者が楽曲のリズムに合わせて走行する実験を行い、提案したファジィ制御の有効性を確認する。

2 心拍数モデル

2.1 楽曲の選定

運動を制御するための楽曲テンポは、被験者それぞれ Slow、Medium、Fast の 3 種類を用いた。楽曲は大手スポーツメーカーが提供しているジョギング用のものから選出した。各被験者に用いた楽曲を表 1 に示す。

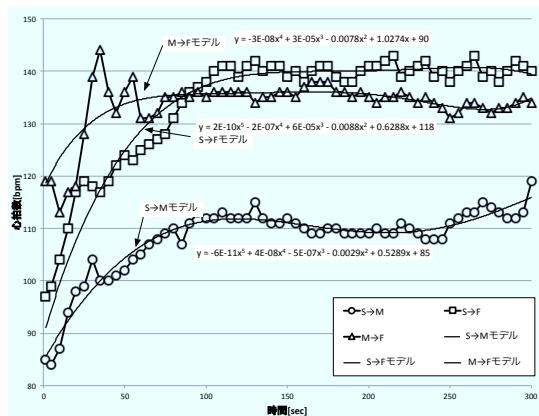
2.2 心拍数モデル

被験者ごとに上記の表 1 に示した楽曲に合わせて運動した際の心拍数にもとづき心拍数モデルを 6 種類作成した。楽曲を Slow → Medium、Slow → Fast、

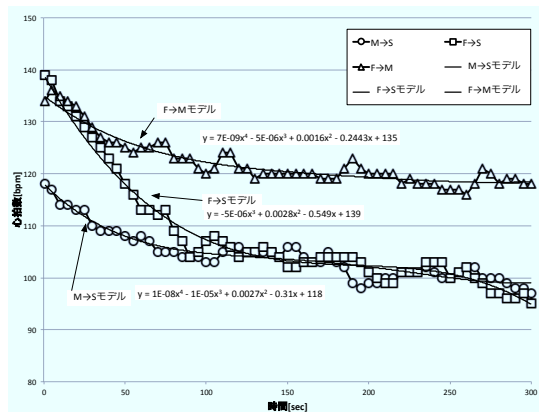
表 1: 使用楽曲

楽曲のテンポ	被験者 A	被験者 C
Slow	Make a Ripples	red curb
Medium	Take it easy	300ml (Milk)
Fast	dance dance dance	Take it easy

Medium → Fast、Medium → Slow、Fast → Slow、Fast → Medium に切り替えたときの心拍数変化およびそのモデルを図 1 に示す。



(a) 心拍数上昇モデル



(b) 心拍数下降モデル

図 1: 被験者 A の心拍数モデル

3 シミュレーション実験

3.1 ファジィルール

入力目標心拍数と実心拍数の差 (E) および E の変化量 ΔE 、出力は楽曲テンポの変化量である。表 2 にファジィルールを示す。これらルールは心拍数誤差 E が最小となるように試行錯誤的にチューニングした。

例えば、 E 、 ΔE とともに NB ならば +2 となり、再生する楽曲テンポを二段階引き上げる。もし Slow の曲が再生中ならば、Fast の楽曲に切り替える。もし Medium の楽曲が再生中の場合は、二段階引き上げることができないため、一段階上の Fast の楽曲に切り替える。Fast の楽曲が再生中の場合は切り替えずにそのまま Fast の楽曲の再生を続ける。また、0 の場合は再生中の楽曲をそのまま再生し続ける。

表 2: ファジィルール

$E \backslash \Delta E$	NB	NS	ZO	PS	PB
NB	+2	+2	+2	+1	0
NS	+2	+2	+1	0	-1
ZO	+2	+1	0	-1	-2
PS	+1	0	-1	-2	-2
PB	0	-1	-2	-2	-2

3.2 メンバーシップ関数

メンバーシップ関数も誤差 E が最小となるよう試行錯誤的にチューニングした。図 2 にメンバーシップ関数を示す。

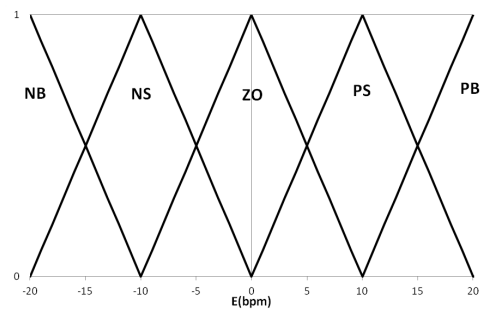
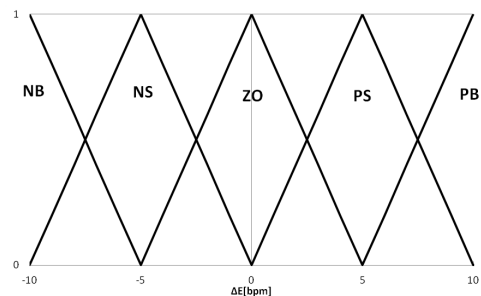
(a) 心拍数誤差 E (b) 心拍数誤差の変化量 ΔE

図 2: 被験者 A のメンバーシップ関数

3.3 シミュレーション結果

図3にシミュレーション結果を示す。ただし、実験で使用した目標値は先行研究[5]で用いた運動強度30%、有酸素運動として最も最適であるといわれている運動強度60%[4]およびその中間である運動強度45%のそれぞれの心拍数とした。

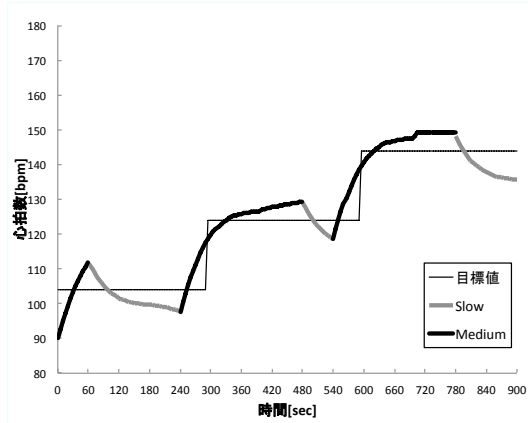
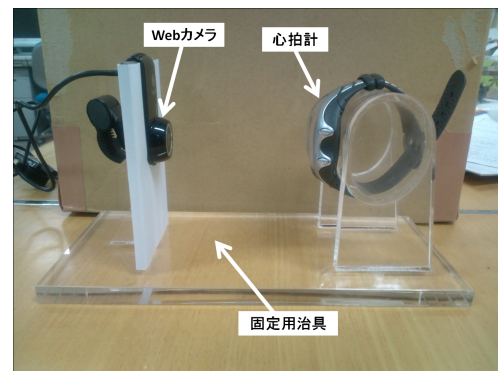


図 3: 被験者 A のシミュレーション結果



(a) Polar 社の心拍計 RS800™



(b) 心拍計と Web カメラの固定風景

図 4: 心拍数リアルタイム計測システム

4 音楽聴取による走者心拍数のファジィ制御

4.1 実験環境

運動には自走式トレッドミルを使用し、被験者は後述する楽曲選択システムから再生される音楽をイヤホンを使って聴取する。なお、被験者には、音楽が流れている間は運動するように指示している。

4.2 楽曲選択システム

走者心拍数のファジィ制御のための楽曲選択システムは、心拍計、数字認識ソフト、楽曲選択再生ソフトで構成される。心拍計は図4(a)に示すPolar社製のRS800sd™を用い、走者の心拍数をリアルタイムで計測する。この心拍計とWebカメラを図4(b)に示すように治具で固定し、Webカメラで撮影した心拍数の数字画像から数字認識ソフトでその値を認識し、PCに取り込むPCに取り込んだ心拍数にもとづいて楽曲選択再生ソフトがシミュレーションで決定したメンバーシップ関数(図2参照)およびファジィルール(表2参照)を用いてテンポ変化を計算し、その変化に適した楽曲を再生する。

4.3 実験手順

被験者は心拍計用のトランスミッターを胸部に装着し、心拍数が落ち着くまで安静にする。ウォーミング

アップとして3分間Slowテンポで走行した後、15分間の走行実験を開始する。実験中、被験者はイヤホンを通して聴こえる音楽を聴きながら、自走式トレッドミルで走行する15分走行後は心拍数計測を終了し、ゆっくりと運動を終了する。

5 実験結果

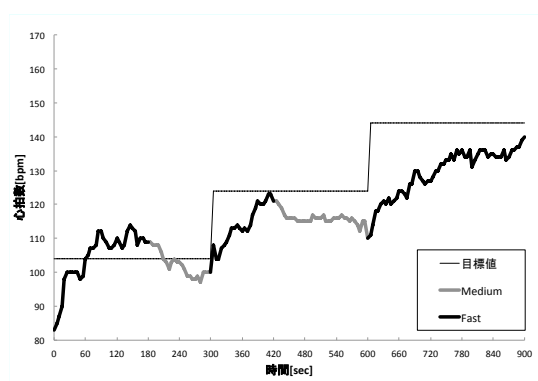
被験者Aおよび被験者Cの心拍数ファジィ制御実験結果を図5にそれぞれ示す。

被験者Aおよび被験者Cともに、心拍数を目標値まで上昇させることができなかった。その原因としては、ファジィルールおよびメンバーシップ関数のチューニングにあると考えられる。今回の実験では、心拍数モデルにもとづいてファジィルールおよびメンバーシップ関数のチューニングを行ったが、実走行実験を通してのチューニングが必要であると強く感じた。また、心拍数モデル作成のための予備実験および実走行実験はそれぞれ1回の走行であったこともその原因と考えられる。さらに、被験者の実験時における体調も考慮しておらず、心拍数モデルをさらに精緻化する必要がある。

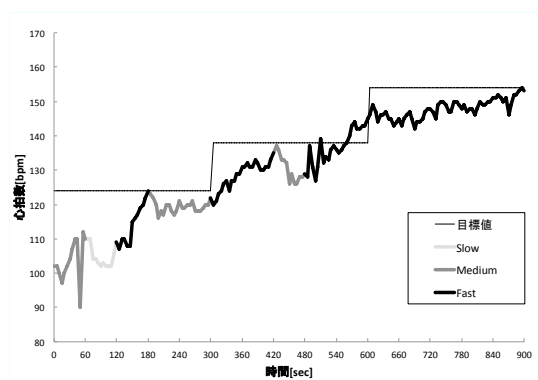
上記のように今回の実験では不備な点が多々あったが、音楽聴取による心拍数のファジィ制御は可能であるとの強い印象を得ることができた。今後は、被験者や走行実験回数の増加や音楽の選曲の検討を行いながら、本研究を進めていきたい。

参考文献

- [1] 久木野憲司、久野一恵、村木里志、穂吉敏男、庄野菜穂子: 標準栄養学講座 運動生理学、金原出版株式会社、2006
- [2] 北川薫: 運動とスポーツの生理学、有限会社 市村出版、2009
- [3] 日本生活習慣病予防協会、<http://www.seikatsusyukanbyo.com/>
- [4] 森糸子、富居富、横山勝彦、望月慎之: 入門 健康とスポーツの科学、三和書房、2003
- [5] 山本友華里: 「Emotional Fitness(心の健康維持)」のためのトレッドミルを用いた最適運動強度推定法の提案、立命館大学情報理工学部知能情報学科卒業論文、2009
- [6] 健康 さっぽろ 21、<http://www.kenko-sapporo21.jp/>
- [7] 全秀和: 音楽聴取による走行運動強度の制御、立命館大学理工学研究科修士論文、2009
- [8] 菅原順、鍋倉賢治、西嶋尚彦、松田光生: トレーニング状況に伴う運動負荷後の心臓副交感神経系活動回復応答の変動: 単一事例モデルによる検討、体力科学 Vol.49、No.6、pp. 712、Dec. 2000
- [9] nike.jp: NIKE JAPAN、<http://www.nike.jp/front/>
- [10] 木田隆: フィードバック制御の基礎、培風館、2003
- [11] 菅野道夫: ファジィ制御、日刊工業新聞社、1997
- [12] 向殿政男: ファジィのはなし、日刊工業新聞社、1997
- [13] 井上洋、天笠美知夫: 情報処理ライブラリー⑧ファジィ理論の基礎、朝倉書店、1997



(a) 被験者 A



(b) 被験者 C

図 5: 心拍数ファジィ制御実験結果

連絡先

亀井且有

E-mail: kamei@ci.ritsumeai.ac.jp

固有空間における姿勢変化から MWL をとらえる Grasping MWL from Posture Change by Eigenspace Methods

増島 和貴
Kazuki Masujima

長岡技術科学大学
Nagaoka University of Technology

中村 和男
Kazuo Nakamura

Abstract: In this study, VDT work (programming) experiments were performed for a long period of time to grasp the MWL for IT workers. In the analysis, we investigated the relationship between fatigue and posture, from ECG, questionnaires and motion capture data. As the result by using eigenspace methods, behavior of posture changes became larger in the fatigued state. In addition, relationship has been shown from changes in posture and physiological indices.

1. はじめに

本研究では IT 作業者が長時間の MWL によって受ける疲労の発現を、作業姿勢の変化から捉えることを目的として、8 時間の VDT 作業実験を行った。そこで、モーションキャプチャを用いて測定した三次元データと複数の生理指標に対して、固有空間法を用いた特徴量に注目することで、MWL による疲労の発現を作業姿勢の変化から判別を行なう方法の可能性を示す。

2. 実験

(1) 計測対象姿勢

遠田らの研究[1]では、人は VDT 作業を行なう中でいくつかの姿勢パターンを使い分けることで身体的な負担を分散させることが報告されている。これらの結果から、本実験では作業姿勢の一つである後傾姿勢に着目して、VDT 作業姿勢の変化を捉えた。また、その他にもキー入力作業後の姿勢移行動作に着目することで、疲労時と非疲労時の差を捉えた。

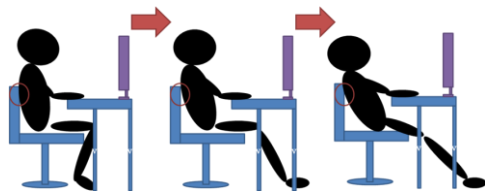


図 1. 後傾姿勢例

(2) 実験概要

- ・被験者：情報系の男子学生 9 名
- ・実験内容：二回の休憩（60 分，30 分）を含んだ 8 時間のプログラミング作業
- ・計測データ：自覚症しらべ[2]，NASA-TLX[3]，心電図，CFF 値，鼻部皮膚温，モーションキャプチャ



図 2. 実験手順例

3. 主観評価、生理指標評価の結果

(1) 自覚症しらべ

クラスター分析を用いて自覚症しらべを 6 グループに分類した結果、作業開始から 5 時間後に肩や腰、眼の痛みなどといった身体的な疲労感が表れた。

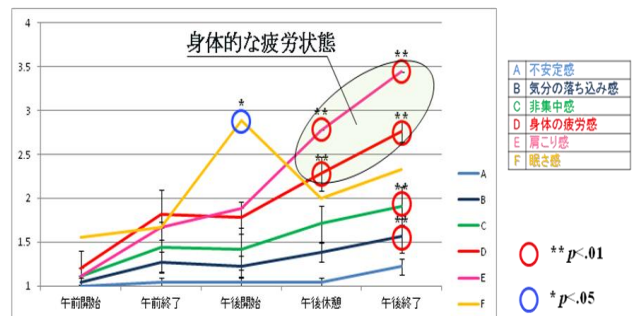


図 3. 自覚症しらべ結果

(2) 心電図(ECG)

休憩時における個々の回復量に差は見られたが RRI と SDNN は一貫して数値の上昇を示す結果となった。セッション内の変化については、SDNN が作業 5 時間に開始から大きく有意のある変化を示している。また、LF/HF と HF は共に優位を繰り返しており、双方のバランスに乱れは見られなかった。

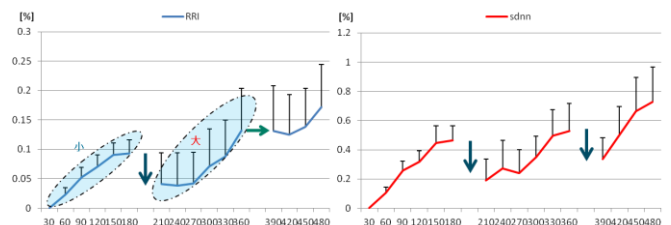


図 4. RRI と SDNN の作業時間内の変化

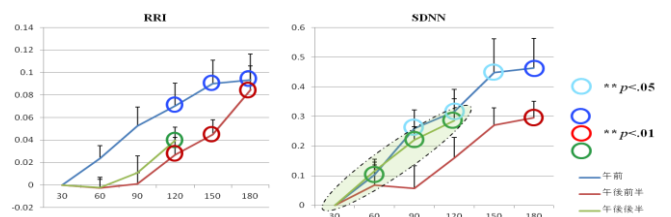


図 5. RRI と SDNN のセッション毎の変化

(3) その他

NASA-TLX, CFF 値に有意な変化は示されなかったが, 作業開始 5 時間後から一定の傾向が表れた。また, 鼻部皮膚温度においても各セッションで作業を進める中で温度の低下が表れている。

4. 作業姿勢・動作の結果

(1) 作業姿勢の判別

各個人の作業姿勢の変化から得られた主成分得点を用いて判別分析を行った結果, 94.2%($\pm 2.14\%$)の高い確率でセッション毎の姿勢を判別することができた。また, 全ての被験者を合わせた上で判別分析を行った結果, 午前のセッションで 72.6%, 午後の前半のセッションで 65.5%, 午後の後半のセッションで 54.2%の確率で姿勢を判別することができた。

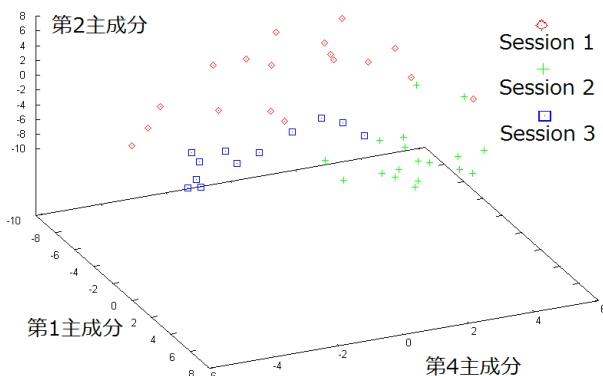


図 6. 姿勢変化による固有空間(上位 3 成分)

(2) キー入力作業後の動作

キー入力作業を終えてからマウス操作作業に移行するまでの一連の動作に対する固有空間を図 7 に示した。午前のセッションにおいてはその集合が安定しており, 動作の落ち着きが示されたが, 午後の後半のセッションにおいては, 身体の大部分を駆使して姿勢を正していたため, 全体的に大きなバラつきが見られた。

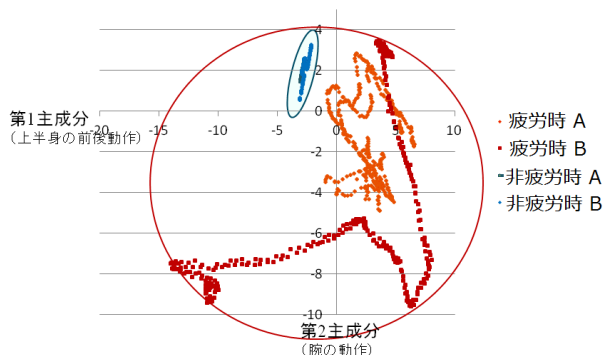


図 7. キー入力作業後の動作による固有空間

(3) RRI と姿勢変化

RRI に対して姿勢変化の主成分得点から回帰分析を行った結果, 0.71 (± 0.07) と比較的高い決定係数を求めることができた。

5. 検討

各個人の後傾作業姿勢からそれぞれのセッションを高い確率で判別できた理由として, 一度固定された姿勢に対する高い保持能力が考えられる。また, 判別に用いられた主成分に関しては, 上半身の前後移動に関する主成分が高い寄与率を示しており, 疲労の蓄積との関連性を示すような結果になった。一方で, 全被験者間の判別において, 時間の経過とともに判別率が低くなる点に関しては, 疲労と共に作業姿勢の崩れに個人差が表れたためだと推測した。

自覚症しらべにおいては身体的な疲労感の蓄積が示され, 心電などからは MWL の兆候が見られた。これらの結果から作業者の疲労状態と非疲労状態を判別し, それぞれの状態でキー入力作業後の一連の動作を比較したところ, 動作の大きさやバラつきに差が表れた。この結果から, 人間は疲労時には身体的な負荷を分散させるために, 姿勢を変える動作そのものを大きくする傾向にあることが示された。

最後に, 作業姿勢の変化により得た主成分得点から, 高い決定係数を以て重回帰式で RRI を再現できたことで, 生理指標と作業姿勢の間に関係性が見出されている。

6. まとめ

本研究では長時間の MWL による IT 作業者の疲労の発現を捉える為に, 8 時間のプログラミング作業実験を行った。そして, 自覚症しらべや心電などから作業者の疲労状態を把握し, それぞれの比較を行った結果, 疲労時には姿勢を変える動作の大きさに差が表れることが分かった。一方で一連の作業姿勢においては, それぞれの姿勢をセッション毎に高い確率で分類できたことから, 同セッションにおける姿勢のバラつきの小ささを示す結果となった。また, 姿勢の変化と RRI を重回帰式から再現することで, 双方の関係性を見出す可能性を示すことが出来た。

参考文献

- [1] 遠田敦, 横田善夫, 岡正俊, 石川弘二, 生原悟, 林田和人, 渡辺仁史: 身体情報別に見た vdt 作業時の着座姿勢に関する研究. 学術講演梗概集.E-1, pp_779-780 (2004)
- [2] 日本産業衛生学会産業疲労研究会: 自覚症しらべ (2002)
- [3] 芳賀繁: 『メンタルワークロードの理論と測定』 日本出版 (2001)

連絡先

増島 和貴
長岡技術科学大学大学院
工学研究科 経営情報システム工学専攻
〒940-2188
新潟県長岡市上富岡町 1603-1
Tel: 0258-47-9357
E-mail: s083375@stn.nagaokaut.ac.jp

感性空間を用いたデザインサポートエージェントの実現に向けて

Implementation of a Design Support Agent Using Kansei Space

宰川 潤二
Junji Saikawa
筑波大学

University of Tsukuba

鬼沢 武久
Takehisa Onisawa
筑波大学

University of Tsukuba

Abstract: This study proposes a design support agent that designs font logos creatively from a sketch. In this study a sketch has exemplification efficiency showing user's vague impressions of designed font logos, which is difficult to be expressed by linguistic terms. The design procedures by the presented agent are as follows. The agent maps impressions of an inputted sketch into a Kansei space having some factors that are extracted by factor analysis of data obtained by many users' evaluations of font logos samples. The agent presents a user font logo design candidates chosen from font logo samples, which are estimated to be very similar to impressions of an inputted sketch. The user evaluates presented design candidates and the agent modifies them according to the evaluations. The procedures are repeated until a user is satisfied with the presented design candidate.

1. はじめに

人間とコンピュータのインタラクションを考える HCI や HAI といった研究分野では、人間の言語的・非言語的な表現情報を解析することによってコンピュータに適切な振る舞いを行わせるということに焦点が当てられている。このインタラクションにおいて関連研究[1]では発話中の身振りに、関連研究[2]では対話中の視線に着目して円滑なものにすることが試みられている。

このインタラクションに関して Fischer ら[3]は人間が行う表現行動は知識や経験に依存するため、その理解には必要最低限の情報共有が必要であると述べている。つまり人間の表現行動の理解がインタラクションを円滑にすることに繋がるといえる。ここで問題となってくるのが自分でも漠然としかイメージできないものを表現しなければならない状況である。我々はこのような問題に対する有効な手段として、日常生活においても見られる“例示”という行為に注目し、これを人間とコンピュータのインタラクションに応用することを考える。

本研究では例示行為を入力として取り入れることで人間の持つ漠然としたイメージの理解を試み、円滑なインタラクションを行うデザインサポートエージェントの実現を目指す。

2. スケッチによる例示

例示を行う一例として美容室で髪型の要望を伝える場面が挙げられる。イメージする髪型を口頭で説明するよりも、雑誌モデルを引き合いに出した方が誤解なく伝えることが可能であることからその効果を体感することができる。

しかし例がない場合や用意することができない状況では、口頭での説明以外には何らかの手段でイメージを形にするよりほかない。本システムを利用する場合としても口頭での説明が難しいという状況を考え、例示入力としてユーザが行うスケッチを採用し、ゼロからのデザイン創発を支援することを考える。

る。

ユーザのスケッチを入力として扱うにあたり問題となるのが、一般的な人はどういったデザインの仕方をすればどのような印象になるのかというノウハウを明確には持っていないということである。しかしデザインに対して評価を行うことには長けていることから、デザイン作業においてデザインサンプルを提示することで新しいデザイン案を創発させるとともに、そのデザインに対しての評価・修正を行わせることでユーザの求める傾向を理解するインタラクション設計を行う。

3. システム概要

システムの概略図を図1に示す。デザイン対象は文字(フォント・ロゴ)である。まずユーザにシステムへの入力としてアルファベットのいずれかをひとつ描いてもらう。このスケッチに対して図2に示すようなパラメータ化を行い、そこからデザインを特徴付けるパラメータを表1のように抽出する。

次にスケッチを特徴付けるパラメータから感性空間上の座標を求める。ここで取り上げている感性空間とはデザインが鑑賞者に与える印象の因子構造を表現するものであり、複数のデザインサンプルの印象を被験者に評価させる被験者実験により構築する。各デザインサンプルの感性空間上の座標は参考文献[4]に従って決定する。

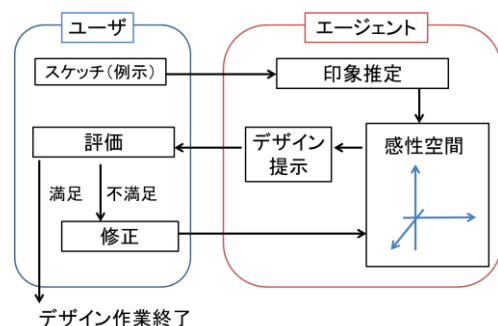


図1 システム概略図

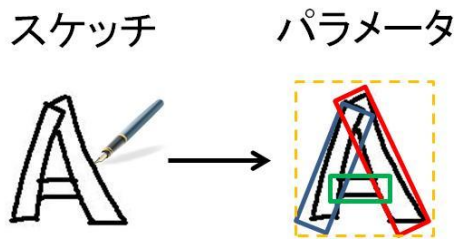


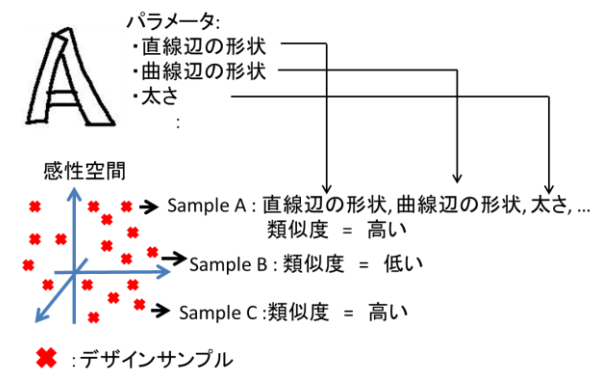
図2 スケッチのパラメータ化

表1 スケッチのパラメータ

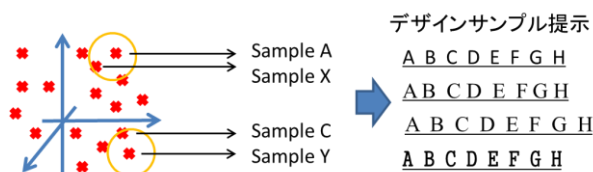
	パラメータ	特徴例
部分形状	直線辺の形状	直線、曲線
	曲線辺の形状	直線、曲線
	太さ	細い～太い
	長さ	短い～長い
全体形状	概形	正方形、縦長、横長
	サイズバランス	一定～バラバラ
	太さバランス	一定～バラバラ
	長さバランス	一定～バラバラ

感性空間を構築する際に用いるデザインサンプルは上記パラメータのあらゆる組み合わせによって生成されたものを使用するため、この感性空間上に配置されたデザインサンプルの持つパラメータとスケッチから得られるパラメータとの類似度計算を行う。そして類似度の高いデザインサンプルの座標値をスケッチの感性空間上の座標値とし、その座標値に近いデザインサンプルをユーザに提示する。このデザイン提示までの流れを図3に示す。

ユーザへのデザイン提示の後、提示されたデザインへの評価・修正により次のデザイン案を決定する。そしてユーザが満足するデザインが出力されたと判断した時点で終了とする。



(a) 印象推定処理



(b) デザインサンプル提示

図3 デザイン提示までの流れ

4. 評価・修正

デザインの評価はユーザがコンセプトに沿っているもしくは何となく満足のいくものであると判断するものに対して肯定評価を行い、そうでないものに否定評価を行うことで次のデザインを提示する際の類似度計算に反映する。この操作によりユーザの要求がどういったものであるのかの推測を行う。

また、修正方法はシステムから提示されたデザインサンプルに対しての「もう少しこんな感じにして欲しい」や「ここをこうして欲しい」といったデザインを実際に見ることによって分かる明確な要求に応えることにより、ユーザが満足するデザインへと早く収束できるようにデザイン提示の修正を行う。

6. おわりに

スケッチによる例示を用いたデザイン作業のサポートを行うエージェントの構想を示した。

本研究の本質は HAI におけるインタラクションについて一提案を行うということであるが、まだこれに関して明確に示すことが出来るまでに至っていない。設計の方針としては、本システムで提案するインタラクションを繰り返すことによりユーザがどういったデザインを求めているのかという傾向や要求を推測し、システム側から現在のデザイン傾向を説明することにより、ユーザの抱いているイメージとシステムが推測しているイメージとの違いを明確にするということを検討している。

参考文献

- [1] 高杉将司,山本知仁,武藤ゆみ子,阿部浩幸,三宅美博:コミュニケーションロボットとの対話を用いた発話と身振りのタイミング機構の分析,計測自動制御学会論文集, Vol.45, No.4, pp.215-223,2009
- [2] 河原達也,川嶋宏彰,平山高嗣,松山隆司:対話を通じてユーザの意図・興味を探り情報検索・提示する情報コンシェルジュ,情報処理, Vol.49, No.8, pp.912-918, 2008
- [3] Fischer, G., Nakakoji, K.,and Ostwald, L: Supporting the Evolution of Design Artifacts with Representations of Context and Intent, DIS'95, Symposium on Designing Interactive Systems, Processes, Practices, Methods & Techniques : conference proceedings, pp.7-15, 1995
- [4] 盛田亮,鬼沢武久:形容詞・形容動詞の印象を用いたフレーズアニメーションの生成,日本知能情報ファジィ学会誌, Vol.22, No.1, pp.121-134, 2010

連絡先

筑波大学

幸川 潤二

(Tel.: 029-853-5060, E-mail:tkb20828@fhuman.esys.tsukuba.ac.jp)

PC マウスの視覚的使いやすさ感の比較研究

Comparative Research of Visual User friendliness of Personal Computer Mouse

○井上 勝雄¹, 中村 直樹¹

○Katsuo Inoue¹, Naoki Nakamura¹

¹ 広島国際大学

¹Hiroshima International University

Abstract: We performed the comparative research in 30 evaluation terms (for example, easy to grasp, simple, etc.) related to the visual or actual user friendliness of a product. Specifically, we evaluated the paired comparison about each evaluation term using five kinds of PC mice and asked for the ranking by Interval AHP. We conducted cluster analysis based on the ranking, and took the comparison consideration. Then, we found the concrete different between them.

1. はじめに

視覚的な使いやすさ感と実際の使いやすさの比較の研究としては、先行研究[1]があるが、それらの2種類の態度に関する具体的な評価内容についての踏み込んだ研究は行われていない。

そこで、本研究では、2種類の使いやすさについて、図1に示す5つのマウスの製品を用いて調査・実験を行い、その結果からマウスの使いやすさに関して、それぞれの具体的な内容について比較研究を行なう。

2. 調査・実験の方法

本研究では、まずラダーリング法(大学生6名、成人2名)を用いて「使いやすい」と「使いたい」の2つの態度についてイメージを表す30の評価用語を抽出した。



図1 実験で用いた5種類のマウス製品

次に、抽出した評価用語について、実物のサンプルを見ながら5段階評価の一対比較のアンケート調査(大学生30名)を行い、さらに実物を用いた後述するタスクを行った後で、実物を触りながら同じ内容の一対比較のアンケート調査実験(大学生9名 成人1名)を行った。

なお、実験タスクは、Windows 標準の電卓で計算問題を解く課題と、PowerPoint で iPod のような図形を作成する課題の2種類とした。さらに、タスク実施前の視覚的な使いやすさ感の5段階評価の一対比較の評価と、タスク後の使いやすさの一対比較の評価を行った。

3. 分析結果と考察

前述のアンケート調査で得られた評価を、評価用語別にサンプルの順位付けするために、区間 AHP 法[2]で分析を行った。まず、アンケート調査で得られた評価用語毎の評価の一対比較表の幾何平均を Excel で計算し、その結果から、評価用語毎に、区間 AHP 法で各サンプルの順位付けを行った。なお、区間順位の高い順から5から1とし、区間値で順位が決まらない場合は平均値(例えば、2と1ならば、 $(2+1) \div 2 = 1.5$)を用いた。次に示す表1は、評価用語「使いやすい」(タスク実施前は「使いやすいそう」)のサンプル毎の順位であり、図2はそのもととなった区間 AHP の結果である。

図2を見ると、タスク実施前の視覚的な使いやすさ感では S1、S3、そして評価の低い S5 を除いて大きな差は見られず、明確な順序は確定していない。一方、タスク実施後の実際の使いやすさに関しては、S3、S2 の順位がはっきりとし区間も狭いのに対し、S1、S4、S5 は区間が広くなり、実験参加者による評価のばらつきが増えていることが分かる。これについて、S3やS2については、「シンプルでわかりやすい」(S2 は、タスク前後とも「シンプル」は第1位)「使い慣れている形状で使いやすい」(S2 と S3 は、タスク後に「親しみやすい」の順位が上昇)といった意見が出たのに対し、S1 は「予想以上に厚く持ち辛い」「スクロールのカチカチ感がない」(タスク後

見解間の距離を平均化する集団意思決定法の提案

Proposal of the group decision making method that average the distance between opinions

大木 真

Makoto Ohki

熊本高等専門学校

Kumamoto National College of Technology

室伏 俊明

Toshiaki Murofushi

東京工業大学

Tokyo Institute of Technology

Abstract : This paper discusses a new method using “distance-adjusted covariates” in group decision making. We introduce a distance of opinions between two evaluators in the group, and define it by a distance between two vectors of covariates. When a particular distance between two evaluators is too large compared to others or too small, it tends to cause a bias that disproportionately influences a group plan. The proposed method determines the scale of covariates (grade point) for each evaluator so that the distance of opinions will be adjusted, which makes the influence on the group plan rather equal. Then the method introduces “VDI (Variety Dispersion Index)” that is an index for the equality degree on the influence for the group plan. If a VDI is small, it indicates that the influence on the group plan be equal. The simulation result shows that this method is also useful as a tool to analyze the group behavior by using grade points and VDI. The method can be applicable to AHP when combined with absolute measurement method.

1 はじめに

企業における事業計画、自治体による都市計画など非常に大きな問題から、引越や自動車の購入など、家族会議で決められるような身近な問題まで、人間生活において他者との意見交換は必ず行われる。その意見交換、話し合いの上で、様々なことを決定し行動していく。このとき、複数の代替案の価値が拮抗している場合、本当に良い選択がどれであるのかを予測することは大変難しい問題である。このような難しい問題の解決のために AHP (Analytic Hierarchy Process) [1] が提唱された。

AHP の開発者である Saaty は、集団内の個人の一対比較行列値を幾何平均することで集団の一対比較行列を求める方法を提示した。しかし、この方法では、全ての見解を平等に扱ってしまうため、自分の考えを通そうと極端に偏った見解が入力される恐れがある。そういった問題を解決するために、これまで様々な AHP の集団意思決定法が提案されてきた。本論文では、その中でも「格付け法」に分類される集団意思決定法に焦点をあてる。

格付け法で著名な既存手法として「集団意思決定ストレス法」[2] がある。この手法は、集団内の他者との意見のズレ（見解間距離）の総和が、最小になるように各人の見解に重み付け（格付け）を行う。この手法の良い点は、合理的な格付けによって必ず一つの解が求まることと、全体最適を行うため最終結果に納得してもらいやすい点である。しかし、こ

の手法は 2 つの問題を抱えている。1 つは、特定の見解を示した意思決定者の格付けが必ず最高値を得てしまうことであり、もう 1 つは、絶対評価法に適用できないことである。

本論文では、これらの問題を解決する新たな手法を提案し、それを「見解間距離均等法」と名付ける。この手法は、集団内の他者との意見のズレ（見解間距離）の総和が、メンバー全員で均等になるように各人の見解に重み付け（格付け）を行う。各人の意見のズレ具合が同じになるため、最終的な集団案との距離も均等になる。これによって集団案への貢献度を平等にしている。集団案への貢献度が平等であれば、最終結果への納得を得やすい。また、見解間距離を“最小化”ではなく“平均化”するという特性から絶対評価法への適用が可能になる。

第 2 節では集団意思決定ストレス法の問題点を、第 3 節では提案手法について、第 4 節ではまとめと今後の展望を記述する。

2 集団意思決定ストレス法の問題点

2.1 必ず最高格付けを得る見解

集団意思決定ストレス法では「類似見解が多い見解の持ち主の重みは大きくなり、孤立した見解の持ち主の重みは小さくなる」[2] という主張がある。集団内の多数派が必ず高い格付け値になり、少数派は低い格付け値になるということである。この性質を利用して、格付け値を開示することで、集団内での

自分の位置づけを示す地図を渡せるとしており、それによって合意形成のための良いフィードバックになることを期待している。しかしこの手法では、必ずしも多数派の格付けが高くなる訳ではない。例えば少数派でも高い格付け値を得る見解が存在する。

まず、表 1 に例を示す。P1, P2, P3 の 3 人が 3 つの項目 D1, D2, D3 の評価を行っている。P1 と P2 は全く同じ価値観で、D1, D2, D3 について 0.1, 0.1, 0.8 という評価を与えている。P3 は 3 項目とも同等と考えて、全てに 1/3 の評価を与えている。つまり、P1, P2 は多数派で P3 は少数派である。しかし、表 1 では P3 の格付けが圧倒的に高い結果となっている。多数派ではなく、評価項目を全て同価値と評価する人が一番高い格付け値を得るのである。

表 1: 最高格付けを得る見解の例

個人 \ 項目	D1	D2	D3	格付け値
P1	0.1	0.1	0.8	0.3
P2	0.1	0.1	0.8	0.3
P3	1/3	1/3	1/3	0.4

この問題は、集団の人数や評価項目の数に依らない。どのような集団、どのような意思決定問題に対しても、全てを同価値とする人が居れば必ず集団内の最高格付け値を得る [3]。

2.2 絶対評価法への適用

集団意思決定ストレス法は「代替案間の一対比較による評価（相対評価型 AHP）、代替案間の一対比較によらない評価（絶対評価型 AHP）いずれの評価法によって求めても構わない」[2] としているが、これは間違いである。

表 2: 絶対評価法での格付け値

個人 \ 項目	D1	D2	D3	格付け値
P1	0.01	0.01	0.05	0.9
P2	0.1	0.2	0.9	0.05
P3	0.2	0.2	0.8	0.05

反例を表 2 に示す。分かりやすくするために、とても極端な例にしている。この例では、集団内全員の評価の基準は似通っているが、P1 は評価が厳しい。そのため P1 は全体的に低い評価値を付けている。格付け値に注目すると、P1 が 0.9 と極端に高い値になっている。これは集団意思決定ストレス法が、「全員の見解を近づける」ように格付け値を調整するためである。全体的に小さい値を示した P1 の値を他の 2 人の値に近づけるために大きくし、他の 2 人は P1 の値に近づけるために小さくする。そのた

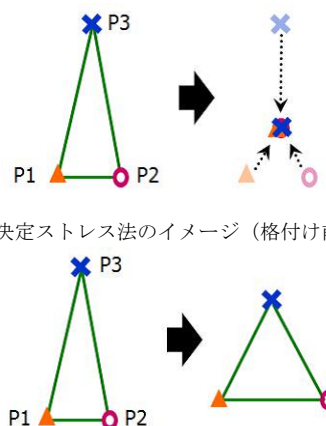
め、P1 と P2, P3 で格付け値に大きな差が出来てしまう。つまり絶対評価法では、小さい評価値をつける者に大きい格付け値を、大きい評価値をつける者に小さい格付け値をつける手法になってしまう。

相対評価型 AHP ならば、このようなことは起きない。なぜならば、各個人が持つ評価値は、合計が必ず 1 になるよう正規化されているからである。そのため相対評価法では集団意思決定ストレス法は上手く動作し有用な手法となる。しかし、絶対評価法では、必ずしも評価値合計が 1 に正規化されないため、このような問題が発生してしまう。

3 提案手法

3.1 提案手法の考え方と定義

集団意思決定ストレス法は、「集団内の個人見解のばらつきを無くし（小さくし）、全員が同じ見解になる（近づく）ように格付け値を決める手法」である（図 1 (a)）。全員の見解を同じにしようとするため、前述の 2 つの問題が発生している。これに対し、本論文で提案する手法は「集団内の個人見解間の距離のばらつきを無くし（小さくし）、全員の見解間距離が同じになる（近づく）ように格付け値を決める手法」である（図 1 (b)）。



(a) 集団意思決定ストレス法のイメージ（格付け前→格付け後）

(b) 提案手法のイメージ（格付け前→格付け後）

図 1: 格付け前後のイメージ

提案では、集団が持っている見解の多様性は保持すべきであると考え。見解に多様性があるからこそ、集団案は精査されたものになる。この“見解の多様性”とは、集団内の他者の見解との距離である。この距離が大きい程、多様性のある集団ということになる。しかしながら、他者との距離が離れ過ぎている見解を平等に扱うと、集団案がその見解に偏ったものになってしまう。そこで、他者との距離の総和を保ったまま（多様性は保ったまま）、全員が同じ距離になるように格付け値を決定する。そうするこ

とで、集団のメンバーが集団の最終案に与える影響の度合いが皆同じになり、平等な合意形成が可能となる。この考えに基づいた手法を「見解間距離均等法」と呼ぶことにする。

定義 3.1. [見解間距離均等法]

集団内における多様性のばらつきの総和 VDI (Variety Dispersion Index) を次のように定義する。

$$\sum_{p=1}^n r^{(p)} = 1 \quad (1)$$

$$D_k^{(p)} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_k^{(p)} - x_k^{(i)})^2 + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_k^{(i)}|} \quad (2)$$

$$e_k = \frac{1}{n} \sum_{p=1}^n (r^{(p)} D_k^{(p)}) \quad (3)$$

$$VDI = \sum_{k=1}^m \sum_{p=1}^n (r^{(p)} D_k^{(p)} - e_k)^2 \quad (4)$$

p, i : 意思決定者個人 $p, i \in \{1, 2, \dots, n\}$

k : 評価項目 $k \in \{1, 2, \dots, m\}$

$r^{(p)}$: 個人 p の格付け値

$x_k^{(p)}$: 個人 p による項目 k の評価結果

$D_k^{(p)}$: 項目 k における個人 p と他者との見解間距離

e_k : 格付けされた $D_k^{(p)}$ の算術平均

この VDI が最小になるように格付け値 $r^{(p)}$ を決定する。VDI を最小化する $r^{(p)}$ は、集団意思決定ストレス法と同様にラグランジュの未定乗数法で得ることができる。なお、式 (2) の第 2 項は集団が持つ見解全体の大きさに左右されないようにするためのスケール項である。

3.2 見解間距離均等法の特徴

3.2.1 多数派の格付け値が高くなる

本手法は、集団の人数や評価項目の数に関係なく、多数派の格付けが高くなる。表 1 と同じ例に適用した結果を、表 3 に示す。表 3 より、多数派である P1, P2 の格付けが高くなっていることが分かる。

表 3: 見解間距離均等法での格付け例

個人 \ 項目	D1	D2	D3	格付け値
P1	0.1	0.1	0.8	0.35
P2	0.1	0.1	0.8	0.35
P3	1/3	1/3	1/3	0.30

3.2.2 絶対評価法への適用

表 2 と同じ例に適用した結果を表 4 に示す。表 2 では、極端に偏った値になっていたが、表 4 では極

端な偏りはみられず、最も見解間距離が短かった P3 の格付け値が最高値となる。このように、絶対評価法で示された見解に対しても提案手法は適用可能である。この例では、P1 が極端な見解を示しているため、P1 の見解間距離が長くなっている。しかし見解間距離は相互に影響があるため、P1 の見解によって P2, P3 の見解間距離も長く (P1 の半分程の長さになる。そのため、P1 だけが極端にかけ離れた格付け値になることはない。

表 4: 見解間距離均等法の絶対評価法への適用

個人 \ 項目	D1	D2	D3	格付け値
P1	0.01	0.01	0.05	0.29
P2	0.1	0.2	0.9	0.35
P3	0.2	0.2	0.8	0.36

3.3 適用実験

本小節では、絶対評価法の多属性効用理論 [4] と相対評価法の AHP を複合的に応用した (個人の) 意思決定法 ESOS [5] に見解間距離均等法の適用を試みる。ESOS は、評価基準の重要度計算に Fuzzy AHP [6] を用い、各評価基準ごとの代替案の評価を効用理論で行う。以下に実験内容を説明する。

(1) 実験問題

実験問題は「中古車選び」で、評価基準は「価格 (万円)」、「年式 (製造年)」、「総走行距離 (万 km)」、「車検残 (ヶ月)」の 4 つとする。代替案は全部で 120 台あり、車種やメーカーなどの好みによる影響を無くすため、1 車種のためのデータを利用している。評価者は 8 名、この 8 名の中から 3 名を選び 1 つの集団とする。メンバーの組合せを変えることで、56 パターンの集団に適用実験を行う。

(2) 実験手順

【手順 1】評価者それぞれが個人的に ESOS による代替案の評価を行う。

【手順 2】評価基準の重要度と、各評価基準の効用点、 ξ について、見解間距離均等法で格付けを行う。

【手順 3】評価基準の重要度、効用点、 ξ について、それぞれ集団案を導く。

【手順 4】得られた集団案から、全ての代替案の総合評価値を求める。計算方法は ESOS と同じである。

3.4 結果と考察

実験結果を VDI と格付け値に注目して考察する。表 5 は、各評価者が各集団で得た格付け値の算術平均値と、VDI が小さい集団ベスト 10 に含まれた数

表 5: 平均格付け値と良集団、悪集団に含まれる数

評価者	格付け値	ベスト	ワースト
P1	0.341	6	2
P2	0.327	4	6
P3	0.332	8	3
P4	0.334	3	2
P5	0.337	6	1
P6	0.335	3	3
P7	0.332	0	5
P8	0.327	0	8

および VDI が大きい集団ワースト 10 に含まれた数
を示している。

表 5 において、ベスト集団に含まれる数が多い評価者は、どんな相手とも合わせることが可能な、調和を保つタイプである。言い換えれば、当たり障りのない見解を示しているとも言える。ワースト集団に多く含まれる評価者は、他者との見解にズレがあり集団の調和を乱している。他者が考え付かないアイデアや感性を持っているか、単に理解が浅く的外れな見解になっている可能性がある。

ここで格付け値とベスト数の相関を調べると相関係数 = 0.46 となり弱い正の相関がみられる。格付け値とワースト数との相関係数は -0.85 となり強い負の相関になる。つまり、格付け値の大小によって調和を保つタイプか乱すタイプかの推察が行える。

ただし、格付け値の偏りには 2 種類のパターンがある。1 つは表 4 のように評価値の大小に差がある場合で、もう 1 つは表 3 のように意見の方向性が他者と違う場合である。そのため、格付け値だけでは集団および個人の解析は出来ない。VDI と組み合わせることで推察が可能となる。

4 おわりに

4.1 まとめ

本論文では、集団内の各個人が持つ見解間の距離を平均化することで、意見の偏りをなくし平等な集団案を導く手法を提案した。その結果、今までの集団意思決定法には無い特徴を有した手法となった。

(1) 絶対評価法への適用

見解間距離均等法は絶対評価法への適用が可能な集団意思決定法である。また相対評価法にも適用が可能であるため、両手法を複合的に利用する意思決定手法への応用も可能である。集団意思決定の手法として、より汎用性の高い手法である。

(2) 集団意思決定分析

本手法で得られる格付け値と VDI によって、以下

のように集団の分析を行える。

A. 格付け値の偏りなし、VDI 低

全員が同じ見解を示し、よくまとまった集団といえる。結果をそのまま採択しても文句は少ない。

B. 格付け値の偏りなし、VDI 高

この集団は全員が全く異なった見解を示し、集団案は全員の中間的なもの。結果をそのまま採択すると全員が納得を得ない可能性があり再協議の必要があると思われる。

C. 格付け値の偏りあり、VDI 低

この集団は全員が同じ方向性で見解である。格付け値の低い人は、他者より厳しい（または甘い）評価をしているだけで基本的には皆と同意見。他により良い代替案がなければ、結果をそのまま採択しても文句は少ない。

D. 格付けの偏りあり、VDI 高

この集団は見解に違いのある多数派と少数派に分かれている。結果をそのまま採択する場合、説明などによって少数派の納得を得る必要がある。

4.2 今後の展望

今回、多数派が必ず優遇される格付け法を提案した。しかし、集団のやり方として、少数派を優遇する場合もあるのではないかと考える。個性的な見解を取り入れることで組織の活性化を図ったり、組織の改革を行うこともある。そこで、少数派優遇から多数派優遇までを、その優遇度合いも含めて自在に変化させることが出来る手法が存在すれば、より様々な集団の意思決定問題を解決できる。今後はこのような手法について考えていくことが、集団意思決定法として応用、適用範囲が広がる糸口と考える。

参考文献

- [1] T. L. Saaty, Group Decision Making and the AHP, The Analytic Hierarchy Process, Springer-Verlag, pp.56-67, 1989
- [2] 中西昌武, 集団意思決定ストレス区間値法による格付け区間値評価の提案, 土木学会論文集, Vol.7, No.9, pp.27-37, 2002
- [3] 大木真, 室伏俊明, 見解間距離に着目した集団意思決定法の提案, 熊本高等専門学校研究紀要, 第 3 号, pp.55-62, 2011
- [4] 市川惇信 編, 多目的決定の理論と方法, 計測自動制御学会, 1980
- [5] 大木 真, 室伏 俊明, ファジィ測度を用いた主観的最適解の抽出, 知能と情報, Vol.22, No.5. pp.630-641, 2010
- [6] 高萩栄一郎, ファジィ測度-シヨケ積分モデルによる AHP, 専修大学 商学研究所報, 第 116 号, 1997

連絡先

熊本高等専門学校
大木 真
(Tel:096-242-6289, E-mail:ohki@kumamoto-nct.ac.jp)

2部ネットワークにおけるファジィ集合を用いた 重複コミュニティ発見手法の比較と考察

In bipartite networks, comparing overlapping community detection using fuzzy set
with others

○¹ 小島 亮一, ¹ 室伏 俊明
○¹ Ryoichi KOJIMA, ¹ Toshiaki MUROFUSHI

¹ 東京工業大学 大学院総合理工学研究科
知能システム科学専攻

¹Department of Computational Intelligence and System Science,
Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering,
Tokyo Institute of Technology

Abstract: Network structure is effective model as dealing with the world represented by nodes and edges. Previous studies mainly focused on small and limited world(e.g. real human network). However there are lots of networks which can contain different types of nodes and each node may belong to multi-communities. In this paper, we propose a method to detect overlapping community in bipartite networks with Fuzzy set. And to evaluate our method, we propose novel modularity function, too. Finally, we compare our method with others and discuss its future potential.

1 はじめに

ネットワーク構造は現実世界のモデルとして適しており, スモールワールド [13] やスケールフリー [1] といった特徴が見い出されたこと, かつ同時期に計算機性能の大幅な向上や大規模データの入手が容易になったことで複雑ネットワークと呼ばれる一分野を築くほどの発展を遂げている. 本研究はそのような複雑ネットワークを特徴付ける重要な要素の1つである「コミュニティ」の発見を目的としたものである. これまでのコミュニティ発見の研究としては同じ種類のノードがハードな(所属が1つに決まる)コミュニティに属するものが主であったが, 現実世界には著者と論文, 顧客と商品といったように異種ノード間でネットワークが形成されることも多々あり, さらには昨今のSNS(ソーシャルネットワークサービス)の普及で生まれている雑多な繋がり, それらは必ずしもハードコミュニティを形成している訳ではない. こういった状況を鑑み, 我々はより現実的なネットワークを対象にしたい, つまり異種の対象からなるネットワークが複数のコミュニティに重複して属する場合を考えその応用を目的とし, そのためにファジィ集合を用いたモジュラリティ関数とコミュニティ発見のためのアルゴリズムを提案する.

以下, 2章で関連研究, 3章で提案手法, 4章で本提案

手法の簡単な適用例, 最後に5章でファジィ集合を用いない他の手法との比較と考察について述べる.

2 関連研究

2.1 コミュニティ発見とモジュラリティ関数

コミュニティとはその内部での関係が密でコミュニティ間のそれが疎であるようなもののことをいう. 近年, ニューマンらによりモジュラリティ関数 Q という定量的な指標が提案されたこと [10] により大規模な複雑ネットワークからのコミュニティ発見研究は大きく発展した.

$$Q = \sum_{i,j \in V} \left[\frac{A_{ij}}{2m} - \frac{k_i k_j}{(2m)^2} \right] \delta_{C(i), C(j)}$$

ここで V をノード集合, m をエッジの本数, A_{ij} を隣接行列, k_i をノード i の次数, $C(i)$ をノード i が含まれるコミュニティ, δ をクロネッカーのデルタであるとする.

この Q は, 発見されたコミュニティ内のリンク密度とコミュニティ構造のみランダムだった場合の期待値(ヌルモデル)との差をとることで値が大きいほどよりよいコミュニティ発見ができているとする指標である. ところでこのモジュラリティ関数 Q は1部ネットワークにおけるハードコミュニティ発見のための指標であ

り、これ以降にネットワークの性質や発見したいコミュニティの特徴を考慮した多くの拡張が試みられ、平行してコミュニティ発見のためのアルゴリズムも提案されてきている [7]. 本研究では2部ネットワークにおける重複コミュニティ(図 1) 発見のために拡張した Q^μ を提案する (第3章).

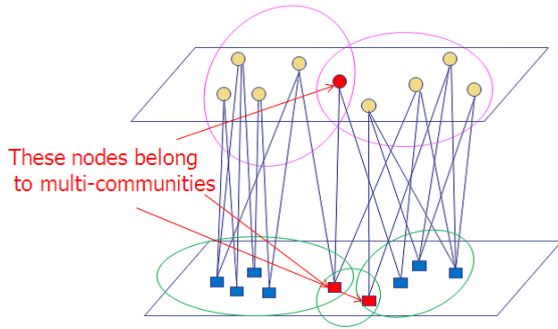


図 1: 2部ネットワークにおける重複コミュニティ

次に本研究が対象とする2部ネットワーク、重複コミュニティという観点から関連する研究を紹介する.

2.2 重複コミュニティ発見のためのモジュラリティ関数

私たちは家族、学校、職場など複数のコミュニティに重複して所属している. そこで1つのノードが複数のコミュニティに重複して属するモデルが必要になる. 1部ネットワーク上でファジィ集合を用いた重複コミュニティ発見のためのモジュラリティ関数としてメンバーシップ行列 U を用いたものが2つ提案されている.

1つ目は Nepusz らによる Q の拡張 [12] で

$$Q^N = \sum_{i,j \in V} \left[\frac{A_{ij}}{2m} - \frac{k_i k_j}{(2m)^2} \right] s_{ij}$$

$$s_{ij} = \sum_{c \in C} u_{ic} u_{jc}$$

と定義される. ただし, C はコミュニティ集合, u_{ic} はノード i のコミュニティ c へのメンバーシップ値である. これは Q におけるクロネッカーのデルタをコミュニティ内のメンバーシップ値の積和に置き換えたものになっている.

2つ目は Zhang らによる Q の拡張 [15] で

$$Q^Z = \sum_{c \in C} \left[\frac{X_c}{2m} - \left(\frac{X_c + Y_c}{2m} \right)^2 \right]$$

$$X_c = \sum_{i,j \in V_c} \frac{u_{ic} + u_{jc}}{2} A_{ij}$$

$$Y_c = \sum_{i \in V_c, j \in V \setminus V_c} \frac{u_{ic} + (1 - u_{jc})}{2} A_{ij}$$

と定義される. ただし, V_c はコミュニティ c のノード集合である. こちらはコミュニティ内のメンバーシップ値の組の平均を考慮したものになっている.

以上は1部ネットワークにおけるモジュラリティ関数である. 本研究は2部ネットワークからの重複コミュニティ発見用のモジュラリティ関数を提案することである.

2.3 2部ネットワークにおける重複コミュニティ発見アルゴリズム

ファジィ集合を用いないアルゴリズムであるが, コミュニティ内のエッジはクリークを作りやすいことを利用した Palla らの k -clique 法 [11] を2部ネットワークに拡張した biclique 法 [8] や BiTector [5] がある.

2.4 FCM[6][2]

本研究ではハードコミュニティ用の K-means[9] をファジィ理論によって拡張した FCM を用いる.

アルゴリズム : FCM

$u_{ij} \in [0, 1]$ をノード i がコミュニティ j に対するメンバーシップ値とし, すべてのコミュニティ k に対して

$$\sum_{j=1}^k u_{ij} = 1$$

満たすものとする (制約条件). そして c_j をコミュニティ j の中心, さらに非線形化するために定数 $m > 1$ (今回は $m = 2$ に固定) を用い

$$J(U_k, C) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (u_{ij})^m \|x_i - c_j\|^2$$

上記の目的関数を c_j と u_{ij} を交互に定数とみなした最小化問題に帰着させる. ここで c_j の初期値はスペクトラルマッピング [14] で求める. スペクトラルマッピングによるノード情報 (隣接行列) のユークリッド距離への変換は適用実績がいくつもあり極めて有用である [4][15].

3 提案手法

前章で紹介したモジュラリティ関数は1部ネットワークにおける重複コミュニティのためのものであり、ヌルモデルの違いから本研究が対象とするネットワークでは適さない。

そこで Q と Q^Z の導出過程をなぞることで2部ネットワークから重複コミュニティ発見用のモジュラリティ関数を以下のように定義する。

$$\begin{aligned}
 Q^\mu(U_k) &= \sum_{c \in C} \left[\frac{X_c}{m} - \left(\frac{X_c + Y_c}{m} \right)^2 \right] \\
 X_c &= \sum_{i,j \in V_c^\alpha} \frac{u_{ic} + u_{jc}}{2} A_{ij} \\
 Y_c &= \sum_{i \in V_c^\alpha, j \in V \setminus V_c^\alpha} \frac{u_{ic} + (1 - u_{jc})}{2} A_{ij} \\
 U_k &= [u_1, u_2, \dots, u_k] \in [0, 1]^{n \times k}, \\
 (u_i &: \text{normalized vector}) \\
 V_c^\alpha &= \{i | u_{ik} > \alpha, i \in V\}
 \end{aligned}$$

これは2部ネットワーク上に発見された重複コミュニティのメンバーシップ U_k を考慮した密度を表す第1項とコミュニティ構造がランダムな場合の期待値(ヌルモデル)との差をとることでこの値が大きい発見ほどランダムからかけ離れた特徴的なコミュニティであることを意味している。

・2部ネットワークからの重複コミュニティ発見アルゴリズム(疑似コード)

```

tmpQμ ← calc. Qμ(Un)
for(k in n:1){
  arg minUk FCM(k)
  calc. Qμ(Uk)
  if (tmpQμ < Qμ(Uk)) {
    tmpQμ ← Qμ(Uk), Uc ← Uk, c ← k
  }
}
for given α, Get Vcα = {i | uic > α, uic ∈ Uc}

```

これは与えられたコミュニティ数 k に対し FCM でメンバーシップ行列 U_k を計算し、そのときの U_k と k を用いてモジュラリティ関数 Q^μ を計算するというループを n から1まで繰り返し、 Q^μ が最大となるときの U_k 値を U_c として得、最後に各メンバーシップ値を α カット、つまり α 以上ならそれぞれのコミュニティに属するとして V_c^α を得るアルゴリズムである。

本提案手法はこれまで提案されてきた他の手法で問題とされてきた3点について以下のような解決策を与える。

(i) 最適なコミュニティ数が自明でない

→ 提案したモジュラリティ関数 Q^μ が最大となる k から最適なコミュニティ数を得る

(ii) 各対象が複数のコミュニティに重複して属する可能性がある

→ FCM の最小化問題を解いて得られたメンバシップ U_c から適当に α カットすることで重複コミュニティを得る

(iii) 異種の対象からなるネットワークの扱い

→ 2部ネットワークを用いることで2種類からなるネットワークへ対応

4 本提案手法の適用例

本提案手法を社会学者デービスらが1930年代に研究していた南部アメリカ女性と彼女らが参加していたイベントからなる2部ネットワーク [3] に適用した例を説明する。

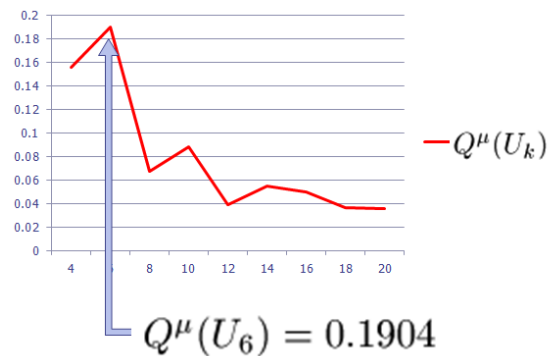


図2: 「女性-イベント」2部ネットワークにおける Q^μ

各 Q^μ は図2のようになり、 $k=6$ のとき、つまりコミュニティ数6が最適なコミュニティ数であると求められる。そのとき ($k=6$) のメンバーシップ行列と $\alpha=0.25$ で α カットし、それを2次元平面に視覚化したものが図3である。

丸が女性、四角が参加イベントを表しており、ここでは女性14とイベント26が重複コミュニティとして発見できていることが見てとれる。このように視覚化してみるとこの2つが2つのコミュニティに重複して属していることが直観的にも分かる。

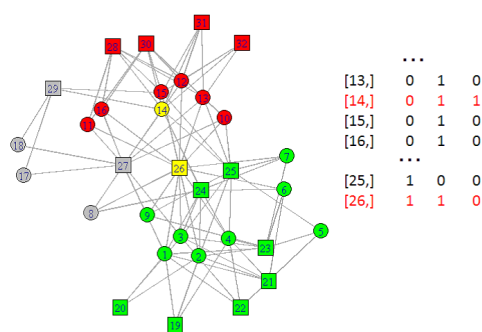


図 3: 「女性-イベント」の2部ネットワーク

5 考察と展望

本研究で提案した2部ネットワークにおけるファジィ集合を用いた重複コミュニティ発見手法は小規模ネットワークならば図3のように重複コミュニティの発見に成功した。ところが大規模ネットワークにおいてはまだ有意義だと判断できる成果が上げられていない。さらには先行研究であるクリークを用いたbiclique法[8]とBiTector[5]には計算時間でも及ばない。これはクリークを用いた手法は局所的な計算で済むのに対し、我々の手法がアルゴリズムのループのたびにメンバシップ行列 U_k 、モジュラリティ関数 Q^u をネットワーク全体から計算し直しているからである。

しかしこの全ノードが全コミュニティへの所属をメンバシップ値として持っている U_k が多様なノード(個人)間、コミュニティ間の弱い紐帯発見に使える可能性がある。類似性をメインに研究されてきた従来のコミュニティ発見手法では見落とされがちなことなのだが、思いもよらないコミュニティ発見というのも重要である。我々はネット上から単語の共起を基にしたグラフインタフェースとのインタラクションを通じ、ネット上のテキストデータから思いもよらない発想の支援ができることを確認しており[16]、コミュニティ発見においても同様のセレンディピティに繋がる研究をしたいと考えている。

参考文献

- [1] Albert-László Barabási and Réka Albert. Emergence of scaling in random networks. *Science*, Vol. 286, pp. 509–512, 1999.
- [2] J. C. Bezdek. Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms. *Kluwer Academic Publishers Norwell*, 1981.
- [3] A. Davis, B. B. Gardner, and M. R. Gardner. Deep south. *University of Chicago Press, Chicago*, 1941.

- [4] Luca Donetti and Miguel A Muñoz. Detecting network communities: a new systematic and efficient algorithm. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, No. P10012, 2004.
- [5] Nan Du, Bai Wang, Bin Wu, and Yi Wang. Overlapping community detection in bipartite networks. *Web Intelligence and Intelligent Agent Technology*, pp. 176–179, 2008.
- [6] J. C. Dunn. A fuzzy relative of the isodata process and its use in detecting compact well-separated clusters. *J. of Cybernetics*, Vol. 3, pp. 95–104, 1974.
- [7] Santo Fortunato. Community detection in graphs. *Physics Reports*, Vol. 486, pp. 75–174, 2010.
- [8] Sune Lehmanns, Martin Schwartz, and Lars Kai Hansen. Biclique communities. *Phys. Rev. E* 78, No. 016108, 2008.
- [9] J. B. MacQueen. Some method of classification and analysis of multivariate observations. *Proc. of 5th Berkeley Symposium on Math. Stat. and Prob.*, pp. 281–297, 1967.
- [10] M. E. J. Newman and M. Girvan. Finding and evaluating community structure in networks. *Phys. Rev. E* 69, No. 026113, 2004.
- [11] G. Palla, I. Derényi, I. Farkas, and T. Vicsek. Uncovering the overlapping community structure of complex networks in nature and society. *Nature*, Vol. 435, pp. 814–818, 2005.
- [12] Nepusz Tamás, Petróczi Andrea, Négyessy László, and Bazsó Fülöp. Fuzzy communities and the concept of bridgeness in complex networks. *Phys. Rev. E* 77, No. 016107, 2008.
- [13] Duncan J. Watts and Steven H. Strogatz. Collective dynamics of ‘small-world’ networks. *Nature*, Vol. 393, pp. 440–442, 1998.
- [14] S. White and P. Smyth. A spectral clustering approach to finding communities in graphs. *SIAM International Conference on Data Mining*, 2005.
- [15] Shihua Zhang, Rui-Sheng Wang, and Xiang-Sun Zhang. Identification of overlapping community structure in complex networks using fuzzy c-means clustering. *Physica A*, Vol. 374, pp. 483–490, 2007.
- [16] 小島亮一. Web 検索結果の視覚的表示による発想支援システム. 東京工業大学知能システム科学専攻 修士論文, 2006.

連絡先

〒226-8502 横浜市緑区長津田町 4259-G3-47
 東京工業大学 大学院総合理工学研究科
 知能システム科学専攻
 小島 亮一
 TEL : 045-924-5616
 FAX : 045-924-5642
 E-mail : kojima@fz.dis.titech.ac.jp

英語スピーキングのための e-ラーニングと評価

On an E-learning for English Speaking and the Evaluation

北垣 郁雄
Ikuo Kitagaki
広島大学
Hiroshima University

Abstract: This article presents the system development of an e-learning of English and the evaluation. The system aims to enhance the speaking skill by fully remembering the English sentence. For that purpose, we used the random access method of selecting a Japanese sentence among the data set. From the experiment, we obtained that the method made the students easier to speak English fluently.

1. はじめに

本論文は、外国語のスピーキング能力を高めることを目的とした学習システムに関するものである。その目的に向けて、この学習システムでは、学習者が、以下の方法で、日本語短文課題に対する英訳をすべて暗記する。

コンピュータは、図1に示すように、最初に、ある主題に関する課題集合の中から一つの課題をほぼランダムに選択して画面提示（または音声提示）する。そして、ただちに英語で回答するように、学習者に促す。その後、学習者の要求によって、一つの正解を文字（または音声）で提示する。そして、学習者は、その正解を記憶する。この基本的な手順を自律的に繰り返すことにより、流暢な外国語表現が可能になることを狙うものである。

つまり、その英訳をただちに行い口述できることを目的とするから、即訳練習ともいえる。

このシステムに関し、本論文では、学習課題のランダム選択についての設計理念を述べるとともに、本システムを用いて学習課題を暗記することの学習効果をまとめている。

なお、スピーキング能力に関しては、英語短文の暗記がその能力向上に直結するという観点[6]や、社会性をも含めた観点[5]など、さまざまな見方がある。本研究では、英語短文の暗記をスピーキング能力の向上のための手段とするものであり、北川[6]に比較的近い手法と述べてよい。さらには、語彙だけでなく、節や句を数多く記憶することが流暢なスピーキングにつながるとするPawleyら[7]の立場にも近い。

2. システム設計

本研究における英語 e-ラーニングでは、以下のような特徴を持っている。

第一に、暗記の対象とする学習課題をランダムに選択している。

その一つの理由は、学習モチベーションである。普通の印刷教材の場合は、課題の提示順序が

固定されている。しかし、ランダム提示により、学習者には、引き続いて提示される課題に対する期待感が生じ学習モチベーションが高まるということが期待される。語学学習では内発的動機を高めることが重要とされ、ランダムの提示はその可能性を高める手法と思われる[1], [2]。

もう一つの理由は、実際の会話では、話の順序がすべて定まっていることはまれである。そこには、偶発、予測不能という要素が常に存在する。したがって、これとランダム性が符合する。会話で、偶然思い出した事柄を口述することは、頻繁に起きる。また、相手の不意の質問に対しても、うろたえることなく即答することが求められる。したがって、スピーキングの練習で偶発的な状況を作り出し、即訳口述させるような仕掛けは、理にかなった学習スタイルと考えられる。

第二に、時限式と同期式を取り入れた音声録音を行うことができる。時限式とは、即訳する際に課題の長さに応じて録音秒数を設定している

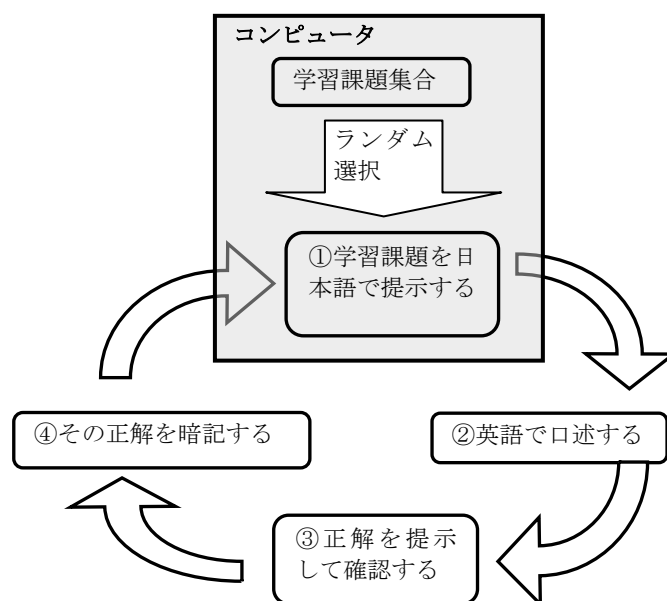


図1 学習の流れ

一方、同期式とは、教材の日本語音声を再生したあと、手動で一時停止すると、自動的に録音が始まる。そして、その一時停止を解除するか再生が完了すると、録音が自動的に停まるようになっている。同期式の機能により、センテンスが2つ以上ある長い日本語課題に対しては、適宜分割して順次即訳することができる。これらの機能により、学習者はいわばまったなしの即訳を求められるので、通訳に準じた形となる。

第三に、システムのオプションとして、学習課題の准ランダム選択を可能にしている。学習者は、学習に先立ち、属性、例えば性別、年代などに対して属性値を登録することができる。一方、各学習課題にもそれと同じ枠組みを持たせてあり、システム開発者は、事前に、各課題に対してその内容に相応しい属性値を設定できるようになっている。そして、課題選択時には、コンピュータが、当該学習者の属性値と各学習課題の属性値を照合し、その情報をもとにして、選択の対象となる全課題の提示確率を定めている。この手法を用いると、当該学習者との整合性の高い課題の提示確率を高め、同じく低い課題の提示確率を低めることができる。また既述のような非時間属性だけでなく、時間属性も持たせている。この情報を活用して、学習者がアクセスした季節や1日内の時刻に応じて、時間属性を設定した学習課題の選択確率を高低させている。すなわち、各学習者の属性を考慮した課題選択を行うことができる。

学習コンテンツは、「主題」を「国際学会発表会場内外」と設定して日本語短文課題を制作した。これまでの筆者の経験をもとに、そこで想定される約100の会話文を作成した。レベルは、文章の長さ、構文の複雑さなどの基準の下に、1～5の5段階とした。多くのコンテンツには課題文に状況説明文が付加されている。英訳および日英ナレーションは、それぞれ職業翻訳家と職業ナレータに依頼した。5つのレベルのうち、本研究で実験に供したのはレベル1, 2, 3である。その学習課題例を以下に示す。かつこ内は状況説明文である。

レベル1：(学会の懇親会で、どこの大学ですか、と聞かれて) 私は、昨年大学を退職しました。
レベル2：(研究発表の一場面) 何回も実験を行いました、主要な結果はすべてこの表に示されています。
レベル3：(司会者としてユーモラスに発言しました) 学会はすでに3日目の夕方になり、どなたもお疲れのことと思います。お疲れの方はお休みになってもかまいませんが、どうかいびきだけはかかないよう、ご協力をお願い致します。

前述のシステム設計における PC 画面を図2に示す。

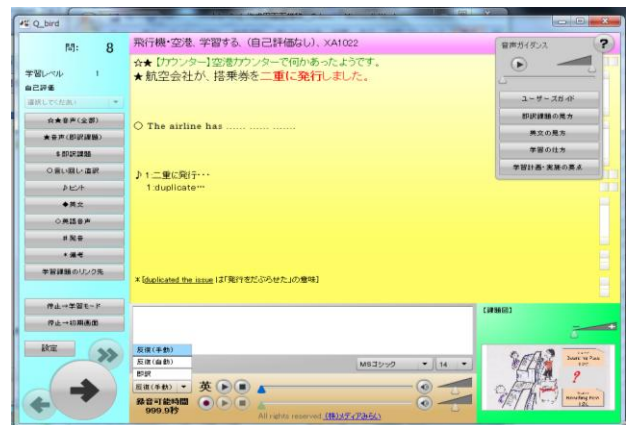


図2 PC画面

3. 実験

本研究では、英語スピーキングに関する馬場ら[3]の評価基準を参考にして、流暢さ (Fluency) 等の観点を設けた。以下、学習効果測定にかかる実験計画とデータ分析を示す。なお、本実験では、既述の准ランダム方式と録音機能は用いていない。

1. 実験の準備と学習の方法

[学習課題の準備] 実験計画の骨格を、図2に示す。暗記の対象とする課題群Aと暗記の対象としない課題群Bの双方を、事前テストと事後テストに用いる。前節で述べたレベル1, 2, 3のそれぞれについて、課題群Aと課題群Bを用意した。それらの課題群に供した主題は、前節に述べた「国際学会発表会場内外」である。また、この学習課題の暗記はかなりハードな学習と予想されたので、学習者の負担を考慮し、AとBのいずれも課題数を13に留めた。事前・事後テストにおける課題の提示は、当学習システムをそのまま使用した。

事前テスト得点に対する事後テスト得点の伸びは、‘流暢さに関する学習効果’とみなすことができる。以下では、課題群Aに関する伸びを直接効果と呼び、課題群Bに関する伸びを間接効果と呼ぶことにする。

[被験者] 大学生5名 (a, b, c, d, e とす

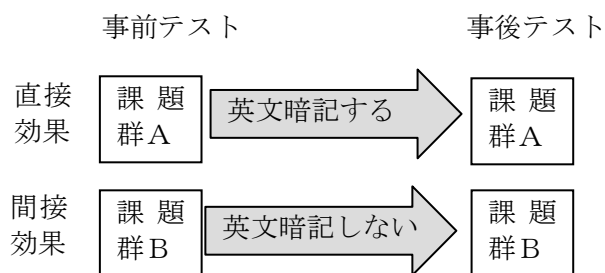


図2 英文暗記の直接効果と間接効果

る)。いずれも、スピーキングが苦手であるが学習意欲が高いと自称する人たちである。TOEICは、500～600。

[実験の進め方]下記の順に行った。

1. 事前テストとして、とりあえず、レベル2に対する課題群Aと課題群Bを一つずつ日本語で提示し、英語で口述してもらった。26個のテスト課題は、課題群Aに属するものと課題群Bに属するものが交互に現れるようにした。

2. 事前テストの途中で（または終了後）、レベル2の課題の暗記が難易からみて適切かどうかを、被験者との協議の上定めることにした。レベル2が難しすぎる判断した被験者には、改めて、レベル1に対する事前テストを行った。音声回答はすべて録音した。

3. 2で定まったレベルに対する課題群Aを暗記学習の対象とした。被験者には、日本語課題が提示されたら、それを英語で口述できることが目標であることを告げた。また学習は毎日30分～60分程度とするものの、詳細な時間配分等は自律的に行うよう告げた。学習者には、学習システムが、日本語音声機能、英語音声機能、テキスト領域でのキー入力機能等の学習機能を有していることを説明した。そして、それらの使用の是非は各自の判断に任せた。

なお、上記の学習を打ち切るかどうかを判断するための参考情報として、被験者には、課題番号ごとに暗記の完成度を1～5の5段階で自己評価してもらい、評価用紙に記録してもらった。

4. 3で述べた1つのレベルの学習を何日か続けてもらい、その都度、自己評価結果を参照しつつ被験者と協議して、学習を翌日も続けるかどうかを決めた。

5. 4で学習を打ち切ると決定した場合、その直後に、事後テストを行った。事後テストの内容は、事前テストと同じである。学習画面にはそれまでに学習した課題と学習していない課題が現れるので、口述による回答は、各自の言いやすい文章と記憶した文章のどちらでも構わない旨、告げた。そして、すべての音声回答を録音した。

6. 事後テストが終了したら、一部の被験者には、レベルが一つ高い課題に対しても、上記1～5の作業を行ってもらった。

[録音・学習環境]本研究における学習はスピーキングに関するものであるため、被験者には、気が散らないよう個室で学習してもらった。学習課題や音声の再生と回答録音に使用した機材は、下記のとおりである。

#再生：Epson Endeavor NA101(Windows XP), SOTEC Multi Media Speaker System Model JSS31-G1

#録音：SONY F-U420(マイクロフォン), Marantz MODEL PMD671(デジタル録音機)

[音声回答の整理]3人の被験者a, b, cは、

いずれも2つのレベルを学習した。被験者a, bがレベル2と3の課題を行い、被験者cがレベル1と2の課題を選択した。これらの実施例は、表1のケース1～6に相当する。

また、被験者d, eはレベル2のみ学習した。これらは、同表のケース7, 8に相当する。

各ケースで、どの程度の日数を要したかは、同表b欄のかっこ内に示されている。

表1のケース6(被験者c)で、課題群欄に「B」がある。これは、間接効果に資する課題群であるが、以下の理由で課題数が26である。

被験者cは、レベル2の学習に先だって、レベル2の事前テストを実施した。しかしその直後、テスト企画者(筆者)と被験者cとの協議により、このレベルは難しすぎると判断した。そこで、レベル1を学習の対象にし直すこととした。そして、レベル1の事前テスト、レベル1の暗記学習、レベル1の事後テストを、この順に実施した。その後、レベル2の学習に進むため、再度レベル2の事前テストを行うこととなった。したがって、レベル2の事前テスト(26課題)をレベル1の学習の事前と事後に行ったことになる。結果的に、この26課題が、レベル1に対する間接効果の測定素材に資することとなった。

[評価と分析]前項に述べた音声回答を用いて、流暢さがどの程度向上したかを定量的に評価した。評価者は工学系研究生のアメリカ人である。

評価者には、(非英語母語者としての)流暢さという観点で、一つ一つ、5段階評価(1～5)してもらった。

その結果を表1の(d)～(f)に示す。Z値は、平均値の差を検定するための統計量である。その検定結果を、同表の最右欄に示す。

この表より、全ケースで有意に直接効果が生じている。また8つのケースで課題群B(およびB')に対する結果をみると、その中のケース1, 2, 4, 5, 6, 7の6つのケースで有意に間接効果が生じていることがわかる。

以上の実験から、本システムを用いた英訳課題の暗記に関し、特定の日本語課題群に対する英訳の暗記学習を行うことによって、その課題群の流暢さが有意に向上した(直接効果)。しかし、それだけでなく、学習の対象になった課題以外の課題群に対しても、英訳の流暢さの向上が有意に認められた(間接効果)。この間接効果が認められたことにより、特定課題に対する英訳暗記学習が、より広い範囲でのスピーキングスキルの向上の可能性を示唆していることになる。どの範囲までその向上の影響を及ぼすのかは、今後の、更なる実験課題と思われる。

その他、上記の音声回答に対しては、流暢さだけでなく内容的類似感という観点からも評価している。ここでいう内容的類似感とは、回答を正

解に照合したときに、文法や語句が同じかどうかはともかくとして、正解が有する情報をどの程度過不足なく回答表現したかの感覚量を表す。しかし、内容的類似感については、先の表1の8つのケースに対して、有意に向上したのは2つのケースに留まっていることが分かっている ($p < 0.001$ と $p < 0.05$ で有意と検定されたのが各1ケース)。

4. 考察

本研究では、英語スピーキングスキルの向上のための英文暗記学習に関し、それを支援する学習システムの実践結果を得ることができた。

本方式と他方式の比較および本研究の立場に関し、筆者は次のように考えている。

本論文における学習上の特徴の一つは、英語短文の暗記である。語学学習で単語や熟語の暗記の必要性は経験的に知られており、現に単語レベルを対象とする学習システムがいくつか開発されている[4][5]。しかし、文章レベルでの暗記を学習対象にした実践的な研究事例は探しにくい。わずかに、科举式記憶術を紹介し比較的長い文章を暗記の対象にした事例がある[6]。そこでは経験的な立場から興味深い暗記手法を論じているが、実証的な検討がなされていない。一方、応答反応を重視した発話練習支援用コンピュータシステムも開発されている[8]。

以上のことから、スピーキング練習は、大別すると、暗記重視[6][7]と反応重視[8]の2つの観点があり、本研究は前者に立つものと言える。

5. おわりに

学習システム開発では、その使用によってどの程度学習効果を示すことが重要である。そこで、本学習方式の事前と事後にテストを実施し、その比較から学習効果を測定した。その結果、8つの実施例のうち6つで流暢さに関する有意な学習効果が観測されたことを明らかにした。

参考文献⑨

- [1]Deci, E., Ryan, R., 2002, *Handbook on Self-Determination Research: Theoretical and Applied Issues*. New York: University of Rochester Press.
- [2]Little, D. (1995): *Learner Autonomy 1: Definition, Issues and Problems*. Dublin: Authentik.
- [3] 馬場哲生編著, 2003. : 英語スピーキング論、河源社、pp. 46-47.
- [4]Ma, Q., Kelly, P., 2006, Computer assisted vocabulary learning: Design and evaluation, *Computer Assisted Language Learning*, Vol.19, No.1, pp.15-45.
- [5]Nakamura, Y, 1993, Measurement of Japanese College Students' English Speaking Ability in a Classroom Setting. Unpublished doctoral dissertation, International Christian University.
- [6]北川達夫, 2003 : 知的英語の習得術、Gakken.
- [7]Pawley, A. and Syder, F.H., 1983, Two Puzzles for Linguistic Theory: Nativelike Selection and

Nativelike Fluency, In J.C. Richard and R. W. Schmit (eds), *Language and Communication*, London, Longman.

[8]吉田晴世、松田憲、上村隆一、野澤和典、2008, ICTを活用した外国語教育、東京電機大学出版局、pp. 55-80.

連絡先

広島大学

北垣郁雄

Tel.: 082-424-6238, E-mail: kitagaki@hiroshima-u.ac.jp

表1 流暢さに関する英語スピーキングの評価

(a) case	(b) 評価対象	(c) 課題群	(d) s_p	(e) s_q	(f) Z 値
1	S a, L2, (2)	A	1.23	3.38	-9.14***
		B	1.31	2.08	-2.25*
2	S a, L3, (4)	A	1.23	4.00	-14.33***
		B	1.23	2.15	-3.21***
3	S, L2, (2)	A	1.92	4.08	-8.14***
		B	1.85	2.31	-1.48
4	S b, L3, (6)*	A	1.39	4.08	-10.7***
		B	1.54	2.00	-1.89*
5	S c, L1, (2)	A	2.31	4.69	-10.04***
		B	2.15	2.92	-2.62**
6	S c, L2, (4)	A	2.54	4.69	-8.85***
		B	2.54	3.00	-1.65*
		B'	1.88	2.54	-2.00*
7	S d, L2, (2)	A	2.23	4.77	-12.8***
		B	2.39	3.08	-1.92*
8	S e, L2, (2)	A	2.15	4.77	-9.09***
		B	2.00	2.39	-1.21

b 欄: かつこ内は実施日

*: 4日連続+1日休み+2日連続

S: 被験者

L: レベル

C 欄:

A: 直接効果測定のための課題群

B: 間接効果測定のための課題群

d, e 欄

***: $p < 0.001$, **: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$ いずれも片側検定

$$Z = \frac{(s_p - s_q)}{\sqrt{s_p/\sigma_p^2 + s_q/\sigma_q^2}}$$

s_p : 事前テストの平均点

s_q : 事後テストの平均点

σ_p^2 は事前テスト得点の分散

σ_q^2 は事後テストの分散

AIC に対する補正量とデータ数の影響

The Influence of The Collection Value and The Number of Data for AIC

小西 幹彦

Mikihiko Konishi

広島国際大学

奥田 徹示

Tetsuji Okuda

大阪工業大学

Hiroshima International University Osaka Institute of Technology

Abstract: We have proposed the processing methods for the fuzzy interval data which including vagueness of observer. And the usefulness of these methods are investigated. In these methods, to consider the vagueness of observed data, the correction value is added to the result which is obtained by normal statistical method using the representative values of fuzzy interval data. And as a application method, we have proposed the processing method in model selection by AIC. On the other hand, in the case which collect AIC directly, it is becoming clear that the effectiveness of correction value is hidden. And that situation has been occurred in a case of the model selection of normal distribution. However, that situation is checked in only one case. Further, It is whether the general situation has not been checked. So, in the case of the situation which change the number of data, it is considered that the influence from the correction value to AIC in the model selection of normal distribution.

1 はじめに

通常の観測では、ある 1 点を示す値がデータとして観測される。しかし、あいまいさを含む形でデータを観測することができれば、観測が容易になることもあると思われる。そして、このようなデータから、正確なデータを処理した場合と同程度の結果を得ることができれば、有用であると考えられる。そこで、このようなデータを、区間の境界にあいまいさを持たせたファジィ区間データとして捉え、通常の統計的手法を用いて処理し、得られた結果に含まれるあいまいさの影響を補正により取り除く方法が提案されている ([1] など)。また、情報量規準 AIC [2] によりファジィ区間データから統計的モデルを選択するための処理方法も提案されている [3]。さらに、AIC は最大対数尤度とパラメータ数で得られることから、最尤推定値の補正量が AIC に対して与える影響についても検討されている [4]。しかし、[4] では一つの条件でのみしか検討を行っておらず、補正量が AIC に対して与える影響を一般的に捉えることはできないと思われる。そこで、本研究では [4] で検討されている補正の効果について多角的に検討するため、AIC にも影響を与えるデータ数を変化させ、AIC の変化について考える。そして、正規分布モデルの選択における AIC に対する補正の効果を検討し、1 データ当たりの AIC に対する補正量の影響について考察する。

2 ファジィ区間データと最尤推定

データが正確には観測されず、あいまいな区間として観測される場合を考える。本研究では、この区間を区間 $H_i = [x_i - h/2, x_i + h/2]$ 上で定義されるファジィ事象 χ_i としてとらえ、台形型メンバシップ関数

$$\chi(x) = \max \left\{ 0, 1 \wedge \left(-\frac{1}{2e}|x| + \frac{h}{8e} + \frac{1}{2} \right) \right\} \quad (1)$$

を想定する。なお、 e は台形の形状パラメータで $0 < e \leq h/4$ であり、 x_i を中心とするファジィ区間データ χ_i のメンバシップ関数は $\chi_i(x) = \chi(x - x_i)$ となる。

しかし、式 (1) をそのまま処理すれば、複雑な演算が必要となる。そこで、ファジィ区間 H_i の中心値 x_i を代表値とし、この代表値を用いて最尤推定値を求める方法が提案されている [1]。この代表値はただ 1 点のみを示す non-fuzzy なデータであり、通常の処理を適用できる。また、ファジィ区間データ χ_i の出現確率は

$$P_i(\theta) = \int_{x_i - h/2}^{x_i + h/2} \chi_i(x) f(x|\theta) dx \quad (2)$$

で表され、ファジィ区間データの分布が多項分布で表されることを利用すれば [3]、対数尤度は

$$l(\theta) = \sum_{i=1}^I n_i \log P_i(\theta) \quad (3)$$

となる．したがって，最尤推定値は尤度方程式

$$\frac{\partial}{\partial \theta_k} l(\theta) = \sum_{i=1}^I n_i \frac{\partial}{\partial \theta_k} \log P_i(\theta) = 0 \quad (4)$$

を解くことにより得られる．ここで，代表値による推定値を初期近似解 $\tilde{\theta}$ とし，初期近似解 $\tilde{\theta}$ と最尤推定値 $\hat{\theta}$ の間の偏りを取り除く補正量 $\Delta\theta$ を算出し，

$$\hat{\theta} \simeq \tilde{\theta} + \Delta\theta \quad (5)$$

とすれば，近似的に最尤推定値が求められる．

3 正規分布モデルに対する補正と AIC

正規分布 $N(\mu, \sigma^2)$ に含まれるパラメータの最尤推定値を代表値より求める場合，まず通常の処理方法により得られる推定値 $\tilde{\mu}, \tilde{\sigma}^2$ を初期近似解とし，補正量 $\Delta\mu, \Delta\sigma^2$ を加えることにより得られる．なお， $\Delta\mu = 0$ であり，式 (1) のメンバシップ関数に対して

$$\Delta\sigma^2 = -\frac{h^2}{3} \left(\frac{1}{16} + \frac{e^2}{h^2} \right) \quad (6)$$

となる [3]．また，ファジィ区間データの分布に対する AIC は，定数項を省略し

$$\text{AIC} = -2 \sum_{i=1}^I n_i \log P_i(\hat{\theta}) + 2K(\theta) \quad (7)$$

となる．ここで，式 (7) に含まれるファジィ区間データの出現確率を $\log P_i(\hat{\theta}) = \log P_i(\tilde{\theta} + \Delta\theta)$ とし，補正量 $\Delta\theta$ が AIC に対して与える影響の大きさを検討する．

まず，正規分布の密度関数 $f(x|\theta)$ をテイラー展開すれば，

$$\begin{aligned} \log P_i(\hat{\theta}) &= \log d_0 + \log f(x_i|\hat{\theta}) \\ &+ \frac{d_2}{h} \cdot \frac{f''(x_i|\hat{\theta})}{f(x_i|\hat{\theta})} + O(h^4) \end{aligned} \quad (8)$$

となる．なお， d_r は r 次の F -モーメント [3] を表し， h に関して 4 次以上の項は $O(h^4)$ としている．そして， $\log f(x_i|\hat{\theta})$ および $f''(x_i|\hat{\theta})/f(x_i|\hat{\theta})$ をそれぞれテイラー展開し， $O(h^4)$ は通常微小な値となることから無視すると，式 (7) は

$$\begin{aligned} \text{AIC} &= -2 \sum_{i=1}^I n_i \log f(x_i|\tilde{\theta}) + 2 \cdot K(\theta) - 2n \log d_0 \\ &+ 2 \frac{d_2}{d_0} \sum_{i=1}^I n_i \frac{\partial}{\partial \sigma^2} \log f(x_i|\tilde{\theta}) \\ &- \frac{d_2}{d_2} \sum_{i=1}^I n_i \frac{f''(x_i|\tilde{\theta})}{f(x_i|\tilde{\theta})} + O(h^4) \end{aligned} \quad (9)$$

表 1: シミュレーション結果

n	AIC			
	代表値	補正法	差	差 / n
10	47.639	47.642	0.003	0.00026
20	64.195	64.281	0.087	0.00435
30	118.361	118.385	0.024	0.00082
40	129.352	129.486	0.134	0.00334
50	204.728	204.755	0.027	0.00054
60	222.862	222.930	0.069	0.00114
70	263.839	263.909	0.070	0.00100
80	288.433	288.544	0.111	0.00138
90	323.274	323.401	0.127	0.00141
100	384.866	384.948	0.082	0.00082
110	408.047	408.166	0.119	0.00109
120	474.531	474.609	0.078	0.00065
130	515.510	515.593	0.082	0.00063
140	528.951	529.080	0.130	0.00093
150	551.629	551.799	0.170	0.00114
160	599.783	599.940	0.157	0.00098
170	613.682	613.903	0.221	0.00130
180	668.497	668.685	0.188	0.00104
190	700.787	700.996	0.209	0.00110
200	730.533	730.769	0.236	0.00118

となる．右辺第 3 項はデータに依存しない定数項であり，第 4 項および第 5 項が AIC に対する補正量となる．しかし，これら項をさらに具体的に計算を進めていけば，第 4 項および第 5 項を合わせると 0 となる．つまり，

$$\text{AIC} = -2 \sum_{i=1}^I n_i \log f(x_i|\tilde{\theta}) + 2 \cdot K(\theta) - 2n \log d_0 \quad (10)$$

となり，これは $O(h^4)$ を無視すれば最尤推定では存在するあいまいさによる影響 $\Delta\sigma^2$ が AIC には現れないことを意味している．したがって，AIC では補正を施す必要がなくなる．

4 数値実験

ここで，コンピュータシミュレーションにより，AIC における補正の効果を数値的に検討する．なお，本研究では最尤推定の段階で補正量を用い，あいまいさによる影響を取り除くことを考えている．したがって，式 (10) により AIC を得るとき，用いる最尤推定値は式 (5) によりあいまいさの影響を取り除い

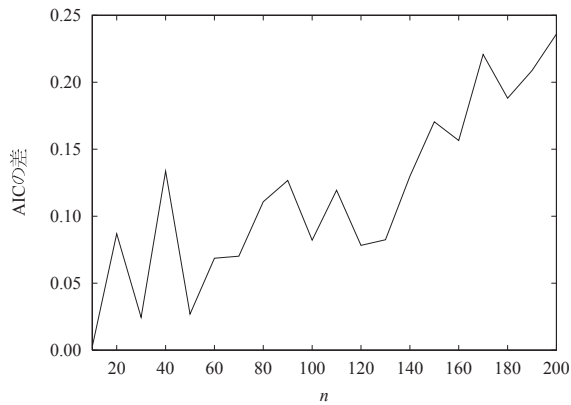


図 1: 代表値と補正法の AIC の差

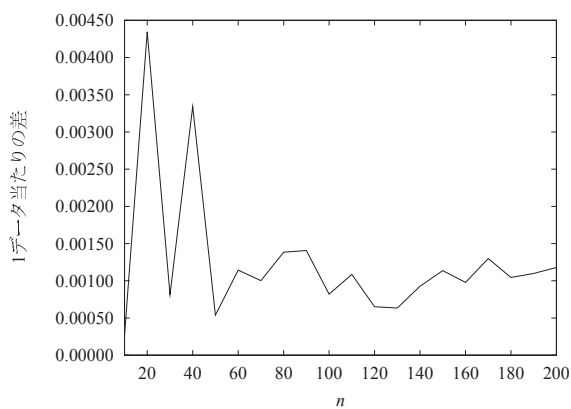


図 2: 1 データ当たりの AIC の差

表 2: シミュレーション結果 (20 回の平均)

n	AIC			
	代表値	補正法	差	差 / n
10	38.346	38.374	0.028	0.00281
20	75.371	75.404	0.033	0.00166
30	113.285	113.323	0.038	0.00126
40	147.855	147.911	0.056	0.00140
50	187.897	187.956	0.059	0.00118
60	224.426	224.501	0.075	0.00125
70	263.849	263.926	0.077	0.00110
80	296.757	296.850	0.093	0.00116
90	337.537	337.631	0.094	0.00105
100	371.706	371.816	0.110	0.00110
110	410.260	410.379	0.120	0.00109
120	451.738	451.859	0.121	0.00101
130	485.723	485.861	0.138	0.00106
140	524.240	524.384	0.144	0.00103
150	556.331	556.494	0.163	0.00109
160	593.975	594.146	0.171	0.00107
170	627.651	627.844	0.193	0.00113
180	676.310	676.487	0.177	0.00098
190	698.553	698.778	0.225	0.00118
200	741.437	741.652	0.216	0.00108

たものになる。つまり、代表値のみで処理する場合と比べ最尤推定値に $\Delta\theta$ だけ誤差が生じ、さらに式 (10) の第 1 項でそれぞれのファジィ区間の観測度数 n_i により誤差が増幅される可能性がある。そこで、データ数 n を変化させることにより、その影響を数値的に検討する。

まず、 $N(50, 15^2)$ に従う正規乱数を発生させ、文献 [3] で用いられている方法によりファジィ区間データの代表値を作成する。ここで、発生させるデータ数 n は、 $n = \{10, 20, \dots, 190, 200\}$ と 10 個から 200 個まで 10 個刻みの場合を設定する。また、それぞれのデータ数の場合において独立にデータを発生させる。そして、得られた代表値を用い、代表値のみによる最尤推定値と補正量を考慮した補正法による最尤推定値を求め、それぞれの最尤推定値を用いて AIC を求めることにする。

このような条件の下で得られた AIC をまとめると、表 1 のようになった。この結果より、データ数が増加するに従い代表値と補正法の AIC の差の絶対値は概ね大きくなる傾向にあることが明らかである。

また、これを図で示すと図 1 のようになり、増加傾向を視覚的にとらえることができる。しかし、これは式 (10) より明らかなように、AIC がデータ数に依存していることによるものである。そこで、代表値と補正法の AIC の差の絶対値をデータ数で割り、1 データ当たりの差を “| 差 | / n ” として表している。この値を図で示すと、図 2 となる。この 1 データ当たりの差は概ね 1/1000 レベルかそれよりも小さいレベルの値でしかない。したがって、代表値と補正法による AIC はほぼ一致し、最尤推定の段階では効果のあった補正量が AIC に対しては効果がなくなっていると考えることができる。しかし、データ数が小さい場合、その変動が大きくなっている。

そこで、さらに推定値を安定的に検討するために、それぞれのデータ数において 20 回データを発生させ、その結果を平均すると、表 2 および図 3、図 4 が得られた。これらより、代表値と補正法による 1 データ当たりの AIC の差は、1/1000 レベルと AIC の値の大きさからすれば非常に小さな値となっており、誤差と受け取ることも可能なレベルである。ま

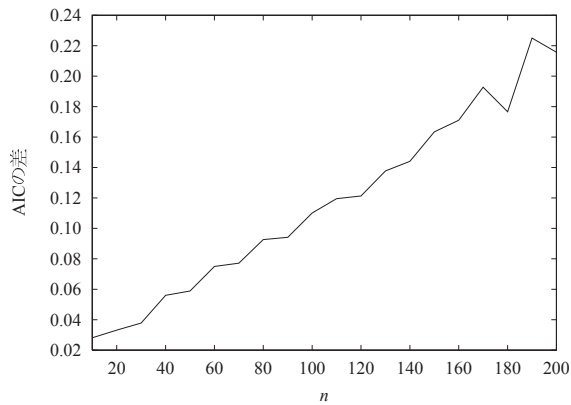


図 3: 代表値と補正法の AIC の差 (20 回の平均)

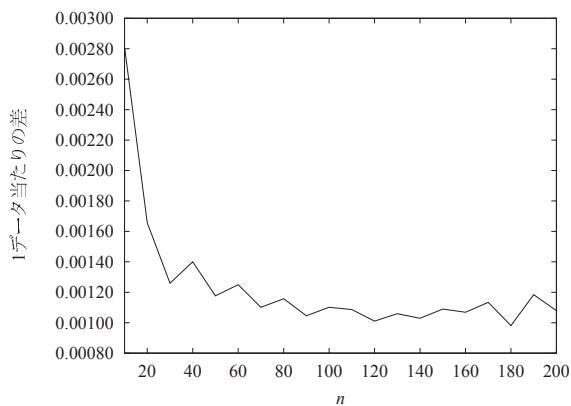


図 4: 1 データ当たりの AIC の差 (20 回の平均)

た、データ数の増加に伴い代表値と補正法の AIC の差は増加するが、1 データ当たりの差は概ね一定となっている。したがって、最尤推定の段階ではあいまいさによる偏りを取り除くために必要であった補正量は、AIC によりモデル選択を行う際には必要なく、最尤推定値に対して補正を施さなくてもモデル選択が行えるものと考えられる。

5 おわりに

本研究では、ファジィ区間データから最尤推定を行う場合に用いる補正量について、AIC に対する影響をデータ数の変化とともに検討した。その結果、データ数の増加とともに代表値と補正法による AIC の差は大きくなることが明らかとなったが、これは AIC がデータ数に依存していることによるものであることを示した。また、1 データ当たりの AIC の差を求めたところ、1/1000 のレベルで安定していることが明らかとなった。したがって、最尤推定の段階で加えられる補正量は AIC に対しては影響を及ぼさ

ないといえる。つまり、補正量と同程度の最尤推定値の誤差であれば、AIC には影響がないものと思われる。

しかし、本研究では補正量を導く過程において近似計算が用いられており、またファジィ区間データの処理における固有の計算により通常微小な値になるとして省略される項もある。したがって、これらの近似計算による影響をさらに検討する必要があると思われる。特に、理論展開上において AIC は、代表値および補正法ともに式 (10) となり、数値実験において得られる AIC が一致してもおかしくはない。しかし、1 データ当たり 1/1000 レベルと非常に小さい値ながら差が生じている。これは、補正法において式 (10) を導く過程においても、通常微小な値になるとして省略している項があることが原因の一つと考えられる。したがって、省略している項についてさらなる検討が必要と思われる。

参考文献

- [1] Okuda, et al.: Maximum Likelihood Estimation from Fuzzy Observation Data, Proceedings of the Fourth IFSA Congress, Vol. of Computer, Management & System Science, pp. 185–188 (1991)
- [2] Akaike: Information Theory and An Extension of the Maximum Likelihood Principle, 2nd Inter. Symp. on Information Theory (Petrov, B.N. and Csaki, F eds.), Akademiai Kiado, Budapest, pp. 267–281 (1973)
- [3] 小西, 奥田, 古殿, 浅居: AIC によるファジィ区間データからの統計的モデル選択, 日本ファジィ学会誌, Vol.8, No.4, pp.706–719 (1996)
- [4] 小西, 奥田: ファジィ区間データによる正規分布モデルの選択における AIC, 第 26 回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp.367–368 (2010)

連絡先

〒 739-2695 広島県東広島市黒瀬学園台 555-36
 広島国際大学 医療福祉学部 医療経営学科
 小西 幹彦
 TEL : 0823-70-4648, FAX : 0823-70-4612
 E-mail: m-konisi@hw.hirokoku-u.ac.jp

ファジィ温度制御の SOM によるパラメータの決定と外乱の影響 Determination of Parameters of Fuzzy Control System in Temperature Controller by using SOM and Effect on Disturbance

松田 充夫

Nobuo MATSUDA

大島商船高等

Oshima College of Maritime
Technology

但馬 文昭

Fumiaki TAJIMA

横浜国大

Yokohama National
University

宮武 直樹

Naoki MIYATAKE

千葉科学大学

Chiba Institute of Science

Abstract: We have proposed a compact method by using the SOM for determination of membership functions in temperature fuzzy control system. The controlled system was analogically approximated with an electronic circuit RLC and the behavior of the circuit was simulated with mathematical technique under two conditions: non-disturbance and disturbance. The indexes of the circuit performance were mapped on a SOM map and optimal parameters were estimated from the SOM map.

Key Words: Fuzzy control, Determination of membership function, Disturbance, Self-organizing map, Temperature controller.

1. はじめに

温度制御は製造装置や企業設備で最も登場する基本的な制御である。しかし製品の品質向上、エネルギーコスト管理、環境負荷の軽減のためには高度で正確な温度制御の必要性が高まっている。簡易計装の分野の温度制御システムでは、制御動作のわかりやすさやパラメータのチューニングが簡単なことから、専ら PID アルゴリズムが使われている。しかし温度制御の制御対象はむだ時間と時定数の特性から、外乱応答時の温度波形の乱れや整定時間の減少などの制御性能においてこのアルゴリズムでは難点もある。この難点を解決するためにファジィ制御アルゴリズムを導入することが行われてきた。

ファジィ制御におけるメンバーシップ関数やファジィルールの獲得やパラメータの決定法には、これまでワングとメンデルの方法[1]、ニューラネットの学習を利用したリンとリーの方法[2]、遺伝的アルゴリズムを適用した方法なども提案されているが、これらの手法は最適な PID 定数の決定法に比べても簡便でわかりやすい方法とは言い難い。

そこで、我々は簡便で直観的にわかりやすく、パラメータがうまく収束しない場合に指針を提供できる自己組織化マップを用いた簡易型パラメータの決定法[3]を提案している。しかし、これまでの検討では外乱がない場合の有効性を論じてきたが、実用的な応用の場合は外乱の影響が問題になる。そこで本研究では提案手法における外乱の検討結果について報告する。

2. 温度制御とファジィ制御の概要

2.1 想定する温度制御システム

図1に示す想定する温度制御システムの制御系の挙動を近似するRLC回路の支配方程式は式(1)で表現される。図2に外乱を伴うファジィ制御系を示す。

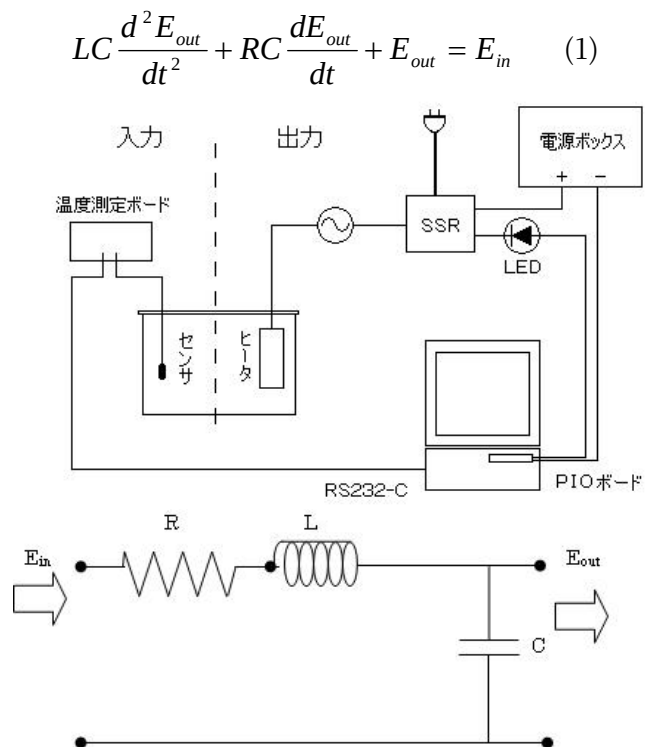


図1 温度制御システムの挙動を近似するRLC回路

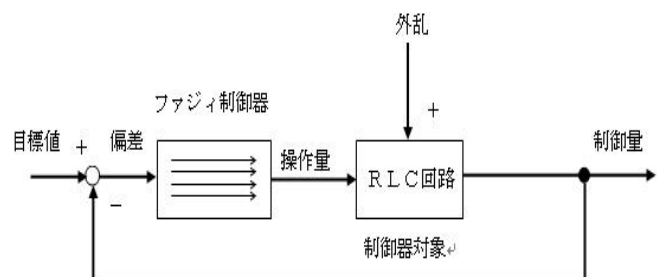


図2 外乱を伴うファジィ制御系

2.2 ファジィルールとメンバーシップ関数

電気的なRLC回路を制御するファジィルールを表1に示す。

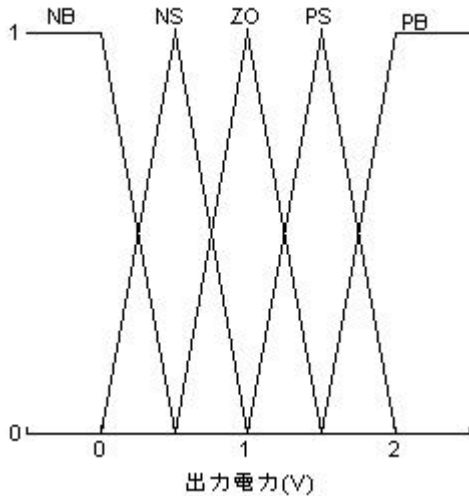


図3 出力電力の前件部メンバーシップ関数

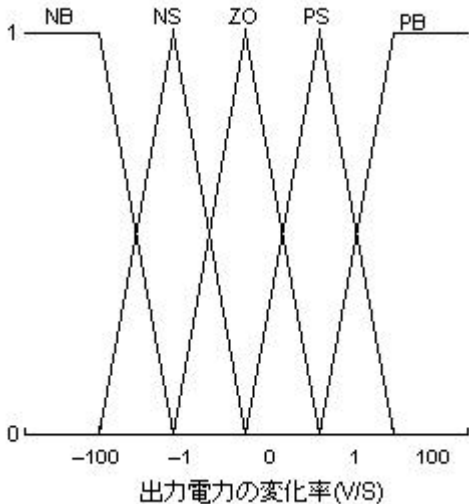


図4 出力電力の変化率の前件部メンバーシップ関数

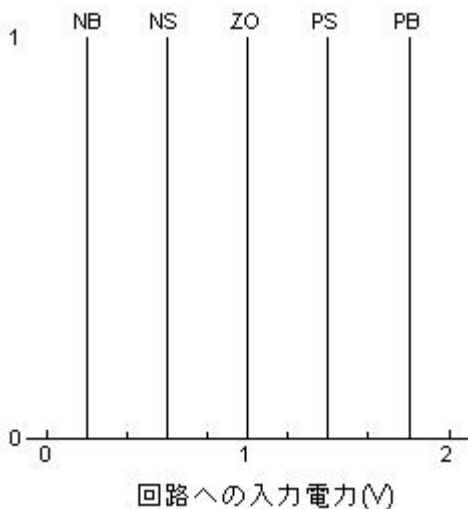


図5 後件部メンバーシップ関数

ラベルのNB,NS,ZO,PS,PBのNはNegative(負),PはPositive(正),BはBig(大きい),SはSmall(小さい),ZはZero(零)を表す。前件部に用いる出力電圧と出力電圧の変化率のファジィ集合を図3と図4に示す。また回路に入力する電圧となる後件部のファジィ集合を図5に示す。

表1 ファジィルール表

		出力電圧の変化率				
		NB	NS	ZO	PS	PB
出力電圧	NB			PB		
	NS			PS		NS
	ZO	PB	PS	ZO	NS	NB
	PS	PS		NS		
	PB			NB		

2.3 外乱

制御系の状態を乱そうとする外的作用の外乱として、装置周囲への放熱とノイズの外乱を想定し、式(2)で与えられるとした。

$$F = E_{out} * KL_v * \sin(rand())^2 \quad (2)$$

外乱の大きさ F は、出力電位 E_{out} に比例、周期的に変動することを示す。ここで KL_v は比例定数、 $rand()$ は[-1~1]の乱数を発生する関数である。

3. 解析データと解析方法

3.1 自己組織化マップ(SOM)の概要

コホネンにより考案されたSOM[4]は、各入力ベクトルが2次元的に配置された自己組織化層の全ユニットと完全に結合している2層構造の教師なし学習アルゴリズムである。SOMは入力ベクトルに最も近い結合荷重ベクトルを持つユニットおよびその近傍ユニットが学習し、その学習は式(3)に従って進められる。

$$m_i(t+1) = m_i(t) + h_{ci}(t)[x(t) - m_i(t)] \quad (3)$$

ここで $m_i(t)$ は参照ベクトルで、 $x(t)$ は入力ベクトルである。近傍関数 $h_{ci}(t)$ は式(4)のように表される。

$$\begin{aligned} h_{ci}(t) &= \alpha(t) \quad i \in N_c \\ h_{ci}(t) &= 0 \quad i \notin N_c \end{aligned} \quad (4)$$

ここで N_c は勝者ユニット近傍、 $\alpha(t)$ は学習係数である。このような学習の結果、自己組織化層は入力ベクトルの特徴を分類する2次元的な近傍関係を生成する。

3.2 簡易型パラメータの決定手順

SOMによるファジィ温度制御のパラメータを決定する手順は次のようになる。

- ①温度制御パターンを構成する電気回路の抵抗(R)、コイル(L)、静電容量(C)の値を定義する。
- ②基準となるメンバーシップ関数を定義する。
- ③制御過程の計算を行い、評価指数を求める。

- ④各メンバーシップ関数の中心値を一定量シフトし、ステップ③を繰り返す。
- ⑤評価指数データを一定数作成した後、SOMマップを作成する。
- ⑥SOMマップを評価して、性能改善に貢献するファジィラベルを検討し、所望の性能を達成するまでステップ②から⑤までを繰り返す。

3.3 評価指標

制御性能の評価指標として2つの指標を用いる。1つは動的な性能を評価するための指標となる時定数、もう1つは静的性能を評価する指標となる2乗制御面積とする。時定数は平衡出力値の0.63倍に到達するまでの時間であり、2乗制御面積は目標値と出力値との差の二乗の平均誤差量である。

4. 実験結果

4.1 外乱のないRLC回路の応答

RLC回路の応答は、数値積分としてオイラー法を用いて、時間刻みは0.01で求めた。抵抗(R)、コイル(L)、静電容量(C)の値を変化させて得られた応答の内、典型的な応答($R=L=C=1$)の特性を図5に示す。

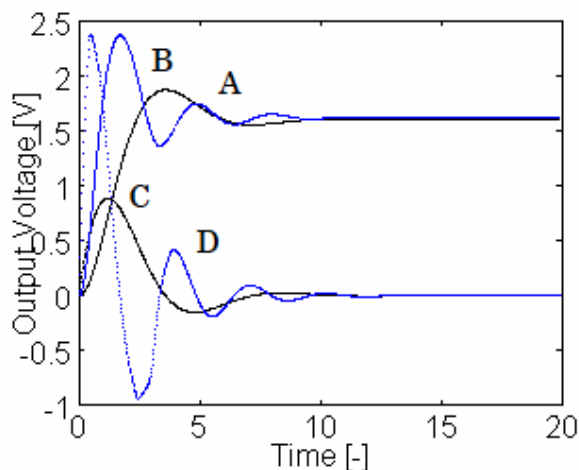


図5 外乱のないRLC回路の応答特性

曲線AはRLC回路の過渡応答、曲線Bはファジィ制御を行なった場合の応答を表す。また曲線CとDはそれぞれ過渡応答とファジィ制御を行った場合に出力電圧の変化量を表す。

曲線AとBの応答から、時定数は1.52から0.62と、動特性は59.2%、2乗制御面積の静特性は0.127から0.083と34.6%も改善されていることが読み取れる。しかし、ファジィ制御を行った場合には突き出し量は0.270から0.750と大きく振動している。もし、突き出し量が制限される場合には、この量の評価を考慮する必要がある。

4.2 外乱を伴うRLC回路の応答

図6のグラフはいずれも外乱を伴うRLC回路の応答である。上図のグラフにおいて、曲線A, B, Cはそれぞれ過渡応答、外乱を伴う $KL_v = 0.005$ と $KL_v = 0.01$ に対する応答である。プライム(')はそれぞれの出力電位の変化量である。図において曲線a, b, cは、それぞれ外乱を伴う場合のファジィ制御を実施したときの、外乱の KL_v の値が0, 0.005, 0.01の場合の応答である。プライム(')はそれぞれの出力電位の変化量である。なおdは過渡応答を示している。

この2つの図から、外乱を伴う場合にはファジィ制御であってもオフセットが生じることがわかる。このオフセットを解消するには、数値実験から、外乱の係数 $KL_v = 0.005$ のときに入力電圧 $E_{in} = 1.2$ に、 $KL_v = 0.01$ のとき $E_{in} = 1.5$ に増加する必要がある。

一方、外乱を伴うときにファジィ制御を行う場合、前件部のメンバーシップ関数の同定だけでなく、後件部のメンバーシップ関数の同定も必要である。

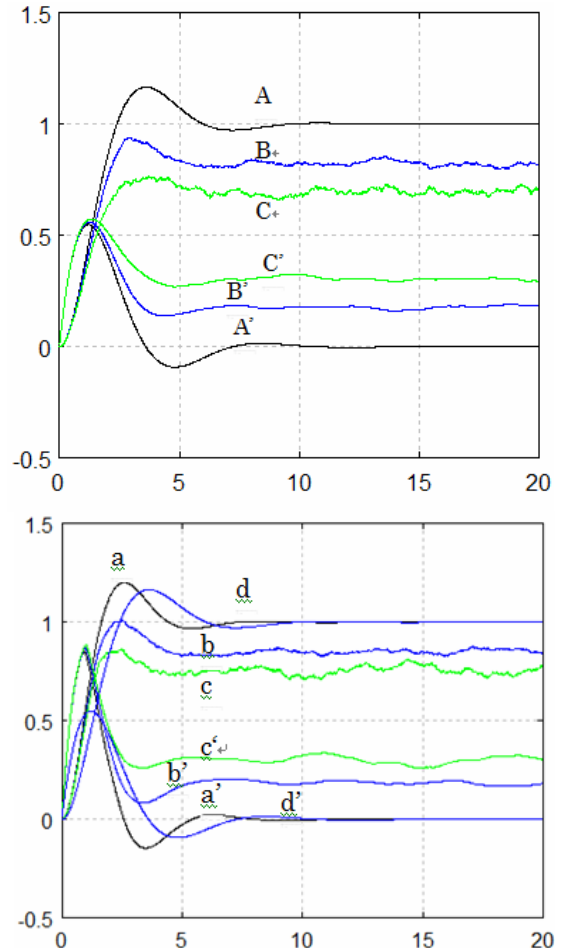


図6 外乱を伴うRLC回路の応答特性(過渡応答(上)とファジィ制御の応答(下))

4.3 評価指標から得られたSOMマップ

図7は、評価指標を要素とする測定値から自己組織化のソフトウェアSOM_PAK Version 3.1[5]を用いて得られたマップである。

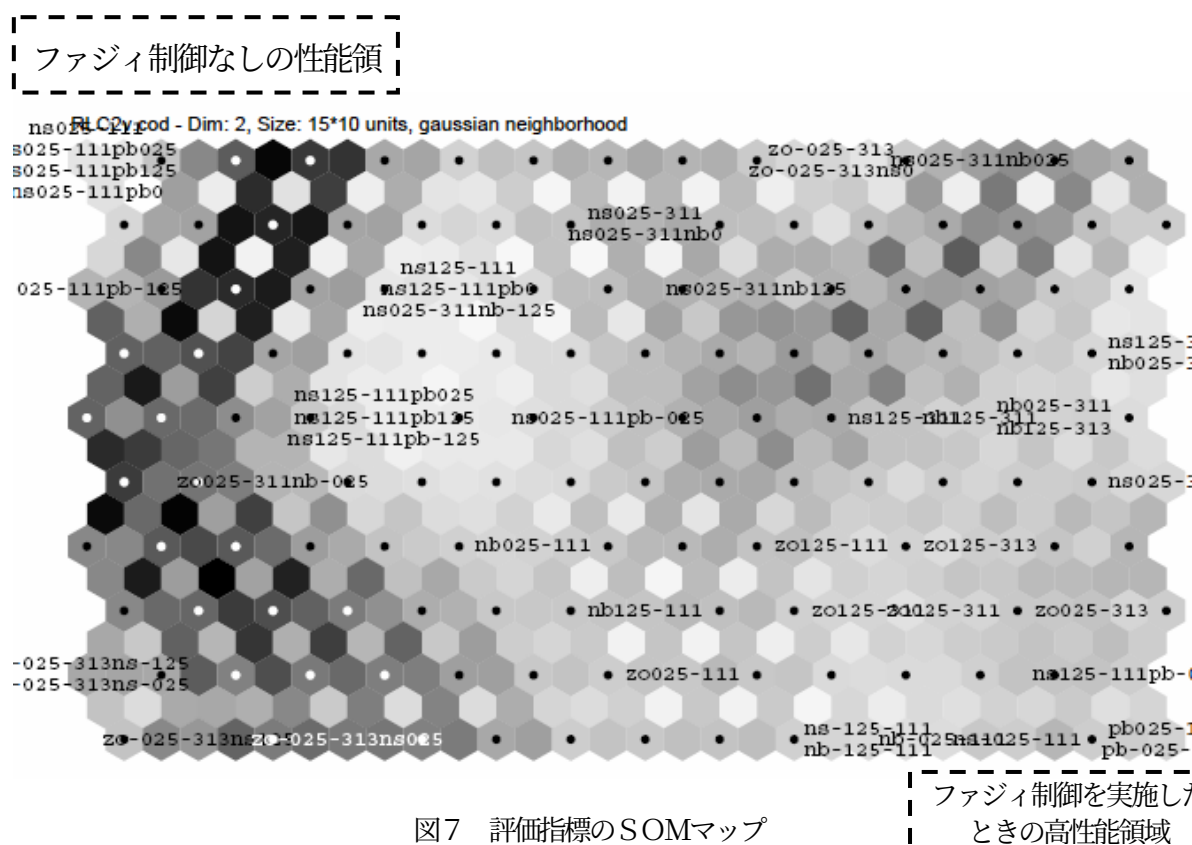


図7 評価指標のSOMマップ

マップの左上の濃度の濃い領域が外乱のない場合のファジィ制御を使わない制御で得られた評価指標の領域で、右下端の領域はファジィ制御を実施した時に、最も高い性能が得られた領域を示している。

マップ上のラベルはP-Q-Rの形式で標記している。QはR,LとCの比率を表している。PとRはファジィラベルとメンバーシップ関数の中心値のシフト量を表す。すなわちQが“111”のときはR=L=C=1を表している。

評価指数のマップを解析にすることによって冗長ルールの発見や最適制御に寄与するメンバーシップの選択、メンバーシップ中心の移動量の推定が可能になる。

しかし外乱を伴うRLC回路でファジィ制御の最適なパラメータを探索するには、前節でふれたように外乱を伴わない場合に比べて考慮すべき評価指標が増え、それらが複雑に影響しあうので、さらに多くの評価指標とメンバーシップ関数のデータに基づいたSOMマップから推定する必要がある。

5. まとめ

外乱を伴う制御系における自己組織化マップを用いたファジィ制御の簡易型パラメータの決定法を検討して以下の結果を得た。

- (1) 評価指数のSOMマップを解析にすることによって冗長ルールの発見や最適制御に寄与するメンバーシップの選択ができる。
- (2) 評価指数のSOMマップの解析から、メンバーシ

ップ中心の移動量を推定でき、最適制御のパラメータチューニングができる。

- (3) 外乱を伴う場合の最適制御のパラメータチューニングには、評価指標の選択と同定すべきメンバーシップ関数の検討がいる。

参考文献

- [1] L.-X. Wang and J.M. Mendel, "Generating Fuzzy Rules by Learning from Examples," IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., Vol.22, No.6, pp.1414-1427, 1992.
- [2] C.-T. Lin and C. S. G. Lee, "Nearal-Network-Based Fuzzy Logic Control and Decision System," IEEE Trans. Computers, Vol.40, No.12, pp.1320-1336, 1991.
- [3] 松田充夫, 但馬文昭, 宮武直樹: 温度制御におけるSOMによるファジィ制御の簡易型パラメータの決定, 第27回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp.1109-1112(2011).
- [4] Kohonen, T., Self-Organizing Maps, Springer Series in Information Sciences, Vol. 30, 20001.
- [5] <http://www.cis.hut.fi/research/som-research/nnrc-programs.shtml>.

〒742-2193 山口県大島郡周防大島町小松 1091-1
 国立高等専門学校機構 大島商船高等専門学校
 電子機械工学科
 Tel/Fax 0820-74-5581
 e-mail: matsuda@oshima-k.ac.jp

Admissible な選好と階層型の菅野積分と Choquet 積分

Hierarchical Sugeno and Choquet integrals

as aggregation operators for admissible preferences

藤本 勝成
Katsushige FUJIMOTO
福島大学
Fukushima University

菅野道夫
Michio SUGENO
European center for Soft Computing

Abstract: This paper shows modeling capabilities of some types of fuzzy integrals (e.g., the Sugeno and Choquet integral). The notion of *admissible preference*, introduced by Nakama and Sugeno, is one of the weakest restriction in rational preference structures. Nakama and Sugeno have shown that any admissible preference, under certain conditions, can be represented by the hierarchical Sugeno integral. This paper shows it also can be realized by the hierarchical Choquet integral with a dummy attribute.

1 選好構造

1.1 選好マトリックス

空でない集合 $C_m := \{c_1, \dots, c_m\}$ を可能な選択枝の集合 (選択集合) する。このとき、 C_m 上の選好関係 $\succeq$ を考える ($(C_m, \succeq)$ を選好構造と呼ぶ)。ここで、 $c_k, c_l \in C_m$ に対して、選好関係 $\succeq$ は、以下のように解釈されるものとする。

$c_k \succeq c_l \Leftrightarrow c_k$ は c_l より選好される。

$c_k \sim c_l \Leftrightarrow c_k \succeq c_l$ and $c_l \succeq c_k \Leftrightarrow c_k$ と c_l は無差別

$c_k > c_l \Leftrightarrow c_k \succeq c_l$ and $c_l \not\succeq c_k$

$\Leftrightarrow c_k$ は c_l より真に選好される。

また、すべての選択枝 (choice) $c_i \in C_m$ は、(選択枝に無関係に)、属性 (attribute) $A_n = \{a_1, \dots, a_n\}$ を持つものとする。 K を各選択枝 (or 選択枝の属性) に対する選好値の集合とする。このとき、 K は全順序集合であると仮定する。

表 1 は、 $C_5, A_3, K = \{-2, -1, 0, 1, 2\}$ における選好値表の一例である。例えば、属性 a_2 のみに関しては、 $c_1 \sim c_2 > c_4 > c_3 > c_5$ と表される。また、選択枝 $c_i \in C_m$ の属性 $a_j \in A_n$ に対する選好値を $m_{ij} \in K$ とするとき (e.g., $m_{23} = 1, m_{41} = -1$), m_{ij} を ij 成分にもつ $m \times n$ 行列 $M := (m_{ij})$ を選好マトリックス (preference matrix) と呼ぶ。また、(可能な) 選好マトリックス全体の集合を $\mathfrak{M}(C_m, A_n)$ で表し、 $M \in \mathfrak{M}(C_m, A_n)$ と $c_i \in C_m$ に対して、 $M_{c_i} := (m_{i1}, \dots, m_{in})$ とする。

表 1: $K = \{-2, -1, 0, 1, 2\}$ における選好値の一例 [1]

	attribute a_1	attribute a_2	attribute a_3
choice c_1	2	2	2
choice c_2	1	2	1
choice c_3	0	-1	-2
choice c_4	-1	0	0
choice c_5	-2	-2	-1

1.2 Admissible な選好

Nakama and Sugeno[1] は、選択枝の選好関係において、どのような選好関係が、直感的に許容できるのか (admissible) について議論している。例えば、選択枝 c_p が、すべての属性にわたって、ある c_q よりも真に選好されている (i.e., $m_{pj} > m_{qj} \forall a_j \in A_n$) にもかかわらず、 c_q が c_p を真に選好する (i.e., $c_q > c_p$) ような選好構造 $M \in \mathfrak{M}(C_m, A_n)$ は許容しがたい。

定義 1.1 [1] $c_p, c_q \in C_m$ を 2 つの選択枝とする。このとき、

(a) $c_p > c_q$ が、 $M \in \mathfrak{M}(C_m, A_n)$ の下で admissible であるとは、

$$\exists a_j \in A_n \text{ s.t. } m_{pj} > m_{qj}$$

が成り立つ (i.e., c_q よりも c_p の方が選好される属性が、少なくとも 1 つはある) ことをいい、

(b) $c_p \sim c_q$ が、 $M \in \mathfrak{M}(C_m, A_n)$ の下で admissible であるとは、以下の 2 条件のどちらも満たさないことである。

$$(i) \quad m_{pj} > m_{qj} \quad \forall a_j \in A_n$$

$$(ii) \quad m_{qj} > m_{pj} \quad \forall a_j \in A_n$$

つまり、すべての属性において、一方的に、片側の選択枝が選好されているような場合を除いては、なんらかの解釈を通して「同程度に選好される」と言われても許容できなくはない。ということである。

また、admissible でない選好関係を inadmissible と呼ぶ。

たとえば、表 1 において、 c_2 はすべての属性において、 c_3 よりも真に選好されている (c_2 の方が評価者にとって好ましい)。このような状況において、 $c_3 > c_2, c_3 \sim c_2$ は、いずれも inadmissible である。

定義 1.2 [1] C_m 上の選好関係 $>$ (resp., $\sim$) が, $M \in \mathfrak{M}(C_m, A_n)$ の下で admissible であるとは, 任意の $c_p, c_q \in C_m$ に対して, $c_p > c_q$ (resp., $c_p \sim c_q$) が, M の下で admissible となることをいう.

1.3 選好を表現する汎関数

ここでは, $C_m, A_n, M \in \mathfrak{M}(C_m, A_n)$ に対して, C_m 上の選好を $M_{C_i} = (m_{i1}, \dots, m_{in})$ の統合演算 (aggregation operator) によって表現することを考える. 今, $\mathcal{P}(C_m)$ を C_m 上の (可能な) 選好関係全体の集合とし, $\mathfrak{A}(C_m), \mathfrak{A}^c(C_m)$ を, それぞれ admissible, inadmissible な選好関係全体の集合とする. また, R を M_{C_i} を統合する 1 つの枠組み (preference-modeling scheme) としたとき, $\mathcal{G}(R, M)$ によって, R に基づく C_m 上の選好関係全体の集合を表すものとする.

このとき, M_{C_i} を統合する 1 つの枠組み R は, 以下のような 2 つの観点から評価することができる [1].

- (i) それぞれの $M \in \mathfrak{M}(C_m, A_n)$ に対して,

$$\mathfrak{A}(M) \subseteq \mathcal{G}(R, M)$$

かどうか? つまり, admissible な選好は, すべて枠組み R によって表現できるのか?

- (ii) それぞれの $M \in \mathfrak{M}(C_m, A_n)$ に対して,

$$\mathfrak{A}^c(M) \cap \mathcal{G}(R, M) = \emptyset$$

かどうか? つまり, 枠組み R は, inadmissible な選好を生成しないかどうか?

これに対して, Nakama and Sugeno [1] は, 枠組み R として, 菅野積分 R_S , 対称型菅野積分 R_{SS} , 累積的プロスペクト理論型菅野積分 R_{CPTS} , 双容量に関する菅野積分 R_{BS} , 階層型菅野積分 R_{HS} を採用した場合について検証している.

2 ファジィ積分

2.1 ファジィ測度, 双容量

ここでは, 選好値の集合 K として, 以下のような有限な整数の集合 U_m, B_m を考える.

$$U_m := \{0, 1, \dots, m-1\},$$

$$B_m = \begin{cases} \{-\frac{m}{2}, \dots, -1, 0, 1, \dots, \frac{m}{2}\} & \text{if } m: \text{偶数} \\ \{-[\frac{m}{2}], \dots, -1, 0, 1, \dots, [\frac{m}{2}]\} & \text{if } m: \text{奇数} \end{cases}$$

ただし, $[\cdot]$ はガウス記号とする.

定義 2.1 (ファジィ測度) 以下の 2 条件を満たす $\mu : 2^{A_n} \rightarrow U_m$ を A_n 上の U_m への **ファジィ測度** と呼ぶ.

- (i) $\mu(\emptyset) = 0$,

- (ii) $E \subseteq F \subseteq U_m \Rightarrow \mu(E) \leq \mu(F)$

また, $\mu(A_n) = \max U_m = m-1$ を満たすとき, μ は正規ファジィ測度と呼ばれる.

定義 2.2 (双極尺度, 双容量) 以下の条件を満たす $\nu : 3^{A_n} \rightarrow B_m$ を A_n 上の B_m への **双極尺度** と呼ぶ:

$$\nu(\emptyset, \emptyset) = 0.$$

ただし, $3^{A_n} := \{(E, F) \mid E \subseteq A_n, F \subseteq A_n, E \cap F = \emptyset\}$. また, 次の条件を満たす双極尺度 ν を **双容量** と呼ぶ:

$$E_1 \subseteq E_2, F_1 \supseteq F_2 \Rightarrow \nu(E_1, F_1) \leq \nu(E_2, F_2)$$

また, $\nu(A_n, \emptyset) = \max B_m = [\frac{m}{2}]$, $\nu(\emptyset, A_n) = \min B_m = -[\frac{m}{2}]$ を満たすとき, ν は正規双容量と呼ばれる.

2.2 菅野・Choquet 積分

定義 2.3 (菅野・Choquet 積分) $\mathfrak{F}(A_n, U_m)$ を A_n 上の U_m へのファジィ測度全体の集合とする. このとき, 関数 $f : A_n \rightarrow U_m$ の $\mu \in \mathfrak{F}(A_n, U_m)$ に関する **菅野 (resp., Choquet) 積分** $s(f, \mu)$ (resp., $c(f, \mu)$) は以下のように定義される:

$$s(f, \mu) := \bigvee_{k=1}^n [f(a_{\sigma(k)}) \wedge \mu(D_{\sigma(k)})], \quad (1)$$

$$c(f, \mu) := \sum_{k=1}^n [(f(a_{\sigma(k)}) - f(a_{\sigma(k-1)})) \cdot \mu(D_{\sigma(k)})]. \quad (2)$$

ここで, $\sigma : A_n \rightarrow A_n$ は, $f(a_{\sigma(1)}) \leq f(a_{\sigma(2)}) \leq \dots \leq f(a_{\sigma(n)})$ なる A_n 上の順列とし, $D_{\sigma(k)} := \{a_{\sigma(k)}, a_{\sigma(k+1)}, \dots, a_{\sigma(n)}\}$ とする. また, 便宜上, $a_{\sigma(0)} = 0$ とおく.

このとき, 菅野積分によって選好を表す枠組み (i.e., 選好構造 $M \in \mathfrak{M}(C_m, A_n)$) において, $c_i \in C_m$ に対する選好値が $s(M_{C_i}, \mu)$ for some $\mu \in \mathfrak{F}(A_n, U_m)$ として与えられる枠組み) を R_S と記し,

$$\mathcal{G}(R_S, M) := \{s(M, \mu) \mid \mu \in \mathfrak{F}(A_n, U_m)\}$$

で表す. 他の”選好を表す枠組み”に関しても同様に定義できる.

2.3 対称菅野積分

はじめに, B_m 上の 2 項演算 $\vee : B_m \times B_m \rightarrow B_m$ と $\wedge : B_m \times B_m \rightarrow B_m$ を導入する. 任意の $a, b \in B_m$ に対して,

$$a \vee b := \text{sign}(a+b) \cdot (|a| \vee |b|),$$

$$a \wedge b := \text{sign}(a \cdot b) \cdot (|a| \wedge |b|),$$

と定義する [2]. ただし,

$$\text{sign}(a) := \begin{cases} -1 & \text{if } a < 0 \\ 0 & \text{if } a = 0 \\ +1 & \text{if } a > 0 \end{cases}$$

とする. また, 多項演算子 $\sqcup : B_m \times \dots \times B_m \rightarrow B_m$ を以下のように定義する.

$$\bigsqcup_{i=1}^n b_i := \min_{i \in \{1, \dots, n\}} b_i \vee \max_{i \in \{1, \dots, n\}} b_i$$

定義 2.4 (対称菅野積分) $\mathfrak{F}(A_n, B_m^+)$ を A_n 上の B_m^+ へのファジィ測度全体の集合とする. ただし, $B_m^+ := \{b \in B_m \mid b \geq 0\}$ とする. このとき, 関数 $f: A_n \rightarrow B_m$ の $\mu \in \mathfrak{F}(A_n, B_m)$ に関する**対称菅野積分** $ss(f, \mu)$ は以下のように表される:

$$ss(f, \mu) := s(f^+, \mu) \vee -s(f^-, \mu) \quad (3)$$

ここで, $f^+(a) = \max\{f(a), 0\}$, $f^-(a) = f^+(a) - f(a) \forall a \in A_n$ とする.

2.4 CPT 型菅野積分

定義 2.5 (CPT 型菅野積分 [2]) $\mathfrak{F}(A_n, B_m^+)$ を A_n 上の B_m^+ へのファジィ測度全体の集合とする. ただし, $B_m^+ := \{b \in B_m \mid b \geq 0\}$ とする. このとき, 関数 $f: A_n \rightarrow B_m$ の $\mu^+, \mu^- \in \mathfrak{F}(A_n, B_m^+)$ に関する**CPT 型菅野積分** (Cumulative Prospect Theory 型菅野積分) $cpts(f, \mu^+, \mu^-)$ は以下のように表される:

$$cpts(f, \mu) := s(f^+, \mu^+) \vee -s(f^-, \mu^-) \quad (4)$$

ここで, $f^+(a) = \max\{f(a), 0\}$, $f^-(a) = f^+(a) - f(a) \forall a \in A_n$ とする.

2.5 双極尺度 (双容量) に関する菅野・Choquet 積分

定義 2.6 (双極尺度 (双容量) に関する菅野 (Choquet) 積分) $\mathfrak{B}(A_n, B_m)$ を A_n 上の B_m への双極尺度全体の集合とする. このとき, 関数 $f: A_n \rightarrow B_m$ の $\nu \in \mathfrak{B}(A_n, B_m)$ に関する**菅野積分** [2](resp., Choquet 積分) $bs(f, \nu)$ (resp., $bc(f, \nu)$) は以下のように表される:

$$bs(f, \mu) := \bigwedge_{k=1}^n \left[|f(a_{\sigma(k)})| \wedge \nu(D_{\sigma(k)}^{f^+}, D_{\sigma(k)}^{f^-}) \right] \quad (5)$$

$$bc(f, \mu) := \sum_{k=1}^n (|f(a_{\sigma(k)})| - |f(a_{\sigma(k-1)})|) \cdot \nu(D_{\sigma(k)}^{f^+}, D_{\sigma(k)}^{f^-}) \quad (6)$$

ここで, $\sigma: A_n \rightarrow A_n$ は, $|f(a_{\sigma(1)})| \leq |f(a_{\sigma(2)})| \leq \dots \leq |f(a_{\sigma(n)})|$ なる A_n 上の順列とし, $D_{\sigma(k)}^{f^+} := \{a_{\sigma(i)} \in A_n \mid i \geq k, f(\sigma(i)) \geq 0\}$, $D_{\sigma(k)}^{f^-} := \{a_{\sigma(i)} \in A_n \mid i \geq k, f(\sigma(i)) < 0\}$ とする. また, 便宜上, $a_{\sigma(0)} = 0$ とおく.

2.6 階層型菅野・Choquet 積分

定義 2.7 (階層型菅野・Choquet 積分) L を正の整数, $\{A^j\}_{j \in \{1, \dots, L+1\}}$ を空でない集合の族とし, $A^1 = A_n$, $A^{L+1} = \{a^L\}$ とする. また, それぞれの $j \in \{1, \dots, L\}$ に対して, $\{\nu_i^j\}_{i \in A^{j+1}}$ を 2^{A^j} 上の双極尺度の集合とする. また, $\mathfrak{S}^L := (\{A^j\}_{j \in \{1, \dots, L+1\}}, \{\nu_i^j\}_{i \in A^{j+1}, j \in \{1, \dots, L\}}, L)$ を L 階の**階層型双極尺度系**と呼ぶ. このとき, 関数 $f: A_n \rightarrow B_m$ の $\mathfrak{S}^L$ に関する階層型菅野 (resp., Choquet) 積分 $hs(f, \mathfrak{S}^L)$ (resp., $hc(f, \mathfrak{S}^L)$) は, 以下の手続きによって定義される.

- (i) $F^1(a_i) := f(a_i) \forall a_i \in A_n$,
- (ii) $F^j(a_i^j) := bs(F^{j-1}, \nu_i^{j-1}) \forall i \in A^j, j \in \{2, \dots, L\}$
if $L \geq 2$,
- (iii) $hs(f, \mathfrak{S}^L) := bs(F^L, \nu_{a^L}^L)$.

resp.,

- (i) $F^1(a_i) := f(a_i) \forall a_i \in A_n$,
- (ii) $F^j(a_i^j) := bc(F^{j-1}, \nu_i^{j-1}) \forall i \in A^j, j \in \{2, \dots, L\}$ if $L \geq 2$,
- (iii) $hc(f, \mathfrak{S}^L) := bc(F^L, \nu_{a^L}^L)$.

3 ファジィ積分の admissible な選好に対する表現能力

定理 3.1 [1] $m \geq 3, n \geq 2$ のとき, ある選好関係 $M \in \mathfrak{M}(C_m, A_n)$ が存在して,

$$\mathfrak{U}(M) \setminus \mathcal{G}(R_{BS}, M) \neq \emptyset$$

となる. 同様に,

$$\mathfrak{U}(M) \setminus \mathcal{G}(R_{BC}, M) \neq \emptyset$$

となる.

ここで, $\mathcal{G}(R_{BS}, M) \supseteq \mathcal{G}(R_{CPTS}, M) \supseteq \mathcal{G}(R_{SS}, M) \supseteq \mathcal{G}(R_S, M)$ であり, $\mathcal{G}(R_{BC}, M) \supseteq \mathcal{G}(R_{CPTC}, M) \supseteq \mathcal{G}(R_{SC}, M) \supseteq \mathcal{G}(R_C, M)$ なので, 菅野 (Choquet) 積分, 対称菅野 (Choquet) 積分, CPT 型菅野 (Choquet) 積分, 双極尺度菅野 (Choquet) 積分のいずれでも表現できない admissible な選好関係 $M \in \mathfrak{M}(C_m, A_n)$ が存在することがわかる. 例えば, 表 2 の選好構造において, $c_2 > c_1 > c_3$ や $c_2 > c_1 > c_3$ は, admissible な選好関係ではあるが, これらの積分では表現できない [1].

表 2: B_3 における選好値の一例 [1]

	attribute a_1	attribute a_2
choice c_1	-1	1
choice c_2	0	0
choice c_3	1	-1

定理 3.2 [1] $m \leq 3, n \geq 1$ のとき, 任意の選好関係 $M \in \mathfrak{M}(C_m, A_n)$ に対して,

$$\mathfrak{U}(M) \subseteq \mathcal{G}(R_{HS}, M)$$

が成り立つ.

つまり, 選択肢の数が 3 つ以下であるときには, admissible な選好関係はすべて階層型の菅野積分によって表現できるということである.

次に, 階層型の Choquet 積分の表現力について考察する.

定理 3.3 $\mathfrak{S}^L := (\{A^j\}_{j \in \{1, \dots, L+1\}}, \{\nu_i^j\}_{i \in A^{j+1}, j \in \{1, \dots, L\}}, L)$ を L 階の階層型双極尺度系とする. このとき, $X^1 = A^1 \cup \{x^0\}$ なる L' 階の階層型双極尺度系 $\mathfrak{S}^{L'}$:=

$(\{X^j\}_{j \in \{1, \dots, L'+1\}}, \{\mu_i^j\}_{i \in X^{j+1}, j \in \{1, \dots, L'\}}, L')$ が存在して, 任意の $A_n := A^1$ 上の関数 $f: A^n \rightarrow B_m$ に対して,

$$hs(f, \mathfrak{S}^L) = hc(g, \mathfrak{X}^{L'})$$

とできる. ただし,

$$g(x) = \begin{cases} f(x) & \text{if } x \in A_n, \\ \max B_m + 1 & \text{if } x = x_0 \end{cases}$$

とする.

これは, ダミー属性を1つ加えることによって, すべての階層型菅野積分は階層型の Choquet 積分で表現することができる. と述べている.

つまり, 選択肢が3つ以下である場合には, すべての admissible な選好関係はダミー属性を持つ階層型 Choquet 積分によっても表現できることを示している.

系 3.1 菅野積分, 対称菅野積分, CPT 型菅野積分, 双極尺度に関する菅野積分は, ダミー属性を1つ加えることによって, それぞれ, Choquet 積分, 対称 Choquet 積分, CPT 型 Choquet 積分, 双極尺度に関する Choquet 積分によって表現することができる.

定義 3.1 (定数項付き Choquet 積分) $\mathfrak{F}(A_n, U_m)$ を A_n 上の U_m へのファジィ測度全体の集合とする. このとき, 関数 $f: A_n \rightarrow U_m$ の $\mu \in \mathfrak{F}(A_n, U_m)$ と $b \in U_m$ に関する **定数項付き Choquet 積分** $cc(f, \mu, b)$ は

$$cc(f, \mu, b) := c(f, \mu) + b \quad (7)$$

と表される.

同様に, 定数項付きの, 対称 (scc), CPT 型 (cptcc), 双極尺度に関する (bcc) Choquet 積分および階層型の Choquet 積分 (hcc) が定義できる.

系 3.2 $\mathfrak{S}^L := (\{A^j\}_{j \in \{1, \dots, L+1\}}, \{\nu_i^j\}_{i \in A^{j+1}, j \in \{1, \dots, L\}}, L)$ を L 階の階層型双極尺度系とする. このとき, 任意の $A_n := A^1$ 上の関数 $f: A^n \rightarrow B_m$ に対して, $X^1 = A^1$ なる L' 階の階層型双極尺度系 $\mathfrak{X}^{L'} := (\{X^j\}_{j \in \{1, \dots, L'+1\}}, \{\mu_i^j\}_{i \in X^{j+1}, j \in \{1, \dots, L'\}}, L')$ が存在して

$$hs(f, \mathfrak{S}^L) = hcc(f, \mathfrak{X}^{L'}, b)$$

とできる.

これは, ダミー属性の代わりに, 定数項を加えることによって, 種々の菅野積分ベースの aggregation operator がそれぞれに対応する Choquet 積分ベースの aggregation operator によって表現できることを示している.

参考文献

- [1] T. Nakama and M. Sugeno, Admissibility of preferences and modeling capabilities of Fuzzy Integrals, mimeo.
- [2] M. Sugeno, Ordinal preference models based on S-integrals and their verifications, in *Nonlinear Mathematics for Uncertainty and its Applications*, S.Li, et.al. (Eds.), Springer, 2011.
- [3] M. Grabisch and C. Labreuche, A decade of application of the Choquet and Sugeno integrals in multicriteria decision aid, *Quarterly Research*, vo. 6, pp. 1-44, 2008.
- [4] M. Sugeno, Theory of fuzzy integrals and its applications, Ph.D. dissertation, Tokyo Institute of Technology, 1974.

[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

グレード付きイルノウ集合とその計算

Graded Ill-known Sets and Their Calculations

乾口 雅弘

Masahiro Inuiguchi

大阪大学 大学院 基礎工学研究科

Graduate School of Engineering Science, Osaka University

Abstract: In this paper, we introduce graded ill-known sets and investigate their calculations. A set whose members are not known exactly is called an ill-known set. A graded ill-known set is an ill-known set whose candidates have possibility degrees. Then a graded ill-known set is characterized by a possibility distribution on the power set. The calculations of graded ill-known sets of quantities are basically performed in the power set and thus require a lot of computational effort. We consider the lower and upper approximations of graded ill-known sets to reduce the computational effort. We show a useful result that the lower and upper approximations of the function values of ill-known sets of quantities are calculated in the universe under proper conditions.

1 はじめに

不確実な数は確率変数やファジィ数などにより表現されてきた。近年、複合的あるいは複雑な不確実性を表すため、ファジィ確率変数やタイプ2ファジィ数、直観主義的ファジィ数などを用いる研究が増えてきている [1]。これらの応用の中には、その本質的な必要性が不明なものもある。

本研究では、複雑な不確実性を表せるモデルとして、グレード付きイルノウ集合 (以降, GIS) [2, 3] を取り上げる。GIS は複数の不確実な情報をまとめたモデルとみることができ、それが得らるある程度合理的な根拠がある。GIS は、いずれの集合が正しいかが不明で、集合の候補が可能性の度合いをもつ。すなわち、べき集合上の可能性分布により特徴づけられる。可能性分布の定義域がべき集合であることより、GIS の計算は煩雑となりやすく、多くの計算が必要となりうる。

本研究では、実数の GIS を取り上げ、その簡便な計算法について議論する。GIS はその下近似と上近似が得られれば十分であることが多く、大凡の領域が把握できる。ここでは、ある条件のもとで、GIS の関数値の上下近似がそれぞれの GIS の上下近似の関数値として得られることを明らかにする。不明確な数の取りうる範囲をイルノウ集合ととらえ、GIS で取り扱うことにより、不確実性の下での意思決定や最適化を始め、不明確な数を含む種々の分野に応用することができる。

2 グレード付きイルノウ集合 (GIS)

全体集合を X とし、その要素が明確に分からない X の部分集合を A とする。このようなイルノウ集合 A は、 A として考えられる集合 $A_i \subseteq X, i = 1, 2, \dots, n$

を列挙することにより、次の集合族 A で表現できる。

$$A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}, \quad (1)$$

A が与えられると、確実に A に帰属する要素の集合 A^- と、 A に帰属するかもしれない要素の集合 A^+ が次のように定義される。

$$A^- = \bigcap A = \bigcap_{i=1, \dots, n} A_i, \quad A^+ = \bigcup A = \bigcup_{i=1, \dots, n} A_i \quad (2)$$

A^- , A^+ はそれぞれ、 A の下近似, 上近似と呼ばれる。

実際問題では、 A_i を列挙することは煩雑となり、また、知識がそれほど詳細でないこともあり、 A の候補は A^- と A^+ により、次式で定められることも多い。

$$A = \{A_i \mid A^- \subseteq A_i \subseteq A^+\} \quad (3)$$

各 A_i の A である可能性が同等でない場合には、 $A \subseteq X$ に対して、次式を満たすように、可能性の度合い $\pi_A(A)$ を割り当てることが考えられる。

$$\exists A \subseteq X, \pi(A) = 1 \quad (4)$$

この場合、イルノウ集合 A はグレード付きイルノウ集合 (GIS) と呼ばれる。GIS は $\pi_A : 2^X \rightarrow [0, 1]$ で特徴づけられるので、べき集合上のファジィ集合とみることができる。

この場合、 A の上下近似は、メンバシップ関数

$$\mu_A^-(x) = \inf_{\substack{A \subseteq X \\ x \notin A}} (1 - \pi_A(A)), \quad \mu_A^+(x) = \sup_{\substack{A \subseteq X \\ x \in A}} \pi_A(A) \quad (5)$$

で定められる X 上のファジィ集合となる。

上下近似について、次式が成立する [2, 3].

$$\forall x \in X, \mu_A(x) > 0 \text{ implies } \mu_{A^+}(x) = 1 \quad (6)$$

GIS A は、その可能な範囲を示す、べき集合上の可能性分布 π_A に対応するファジィ集合 A で特徴づけられるので、今後、 A と A を同一視し、GIS A を GIS A と呼ぶ。

可能性分布 π_A を定めるには多くの情報が必要になる。現実的には、下近似 A^- と上近似 A^+ のみが定められることも少なくないと考えられる。下近似 A^- と上近似 A^+ とが与えられたとき、式 (5) を満たす可能性分布 π_A は唯一とは限らない。しかし、それらの最大のものは存在し、

$$\pi_A^*(A) = \min \left(\inf_{x \in A} (1 - \mu_A(x)), \inf_{x \in A} \mu_{A^+}(x) \right) \quad (7)$$

と与えられる。ただし、 $\inf \emptyset = 1$ と定める。

3 グレード付きイルノウ集合の計算

$X = \mathbf{R}$ とする実数 GIS を考える。実数 GIS の集合を $\mathcal{IQ}$ と記す。特に、次の性質を満たす実数 GIS の集合 $\mathcal{IQ}_{ci} \subseteq \mathcal{IQ}$ を考える。

任意の $\alpha \in (0, 1]$ に対して

$$\bigcap \{Q \subseteq \mathbf{R} \mid \pi_A(Q) \geq \alpha\} \text{ が閉区間となる} \quad (8)$$

式 (8) を満たす実数 GIS は閉区間の拡張であり、 $\mathcal{IQ}_{ci}$ をグレード付きイルノウ閉区間集合と呼ぶことができる。

実数 GIS の計算、すなわち、実数 GIS の関数値について議論する。GIS はべき集合上のファジィ集合と考えることができることから、実数 GIS の関数値は Zadeh の拡張原理 [4] を適用して、次の定義のように定めることができる。

定義 1. $A_i, i = 1, 2, \dots, m$ を実数 GIS とする。関数 $\psi : (2^{\mathbf{R}})^m \rightarrow 2^{\mathbf{R}}$ が与えられると、像 $\psi(A_1, \dots, A_m)$ は次の可能性分布で定められる実数 GIS となる。

$$\pi_{\psi(A_1, \dots, A_m)}(Y) = \begin{cases} \sup_{\substack{Q_1, \dots, Q_m \subseteq \mathbf{R} \\ Y = \psi(Q_1, \dots, Q_m)}} \min(\pi_{A_1}(Q_1), \dots, \pi_{A_m}(Q_m)), & \text{i } \psi^{-1}(Y) \neq \emptyset \\ 0, & \text{i } \psi^{-1}(Y) = \emptyset \end{cases} \quad (9)$$

ただし、 π_{A_i} は実数 GIS A_i の可能性分布であり、 ψ^{-1} は ψ の逆像を表す。

定義 1 の拡張原理は、べき集合の直積からべき集合への関数に対して定義されているが、実数集合の直積から実数への関数 $f : \mathbf{R}^m \rightarrow \mathbf{R}$ が与えられた場合にも適用できる。なぜなら、通常の拡張原理 [4]、すなわち、 $f(A_1, \dots, A_m) = \{f(x_1, \dots, x_m) \mid x_i \in A_i, i = 1, \dots, m\}$ により、 f をべき集合の直積からべき集合への関数に拡張できるからである。ここでは、 $f : \mathbf{R}^m \rightarrow \mathbf{R}$ が与えられた場合の実数 GIS $f(A_1, \dots, A_m)$ の計算の計算について考察する。

実数 GIS $f(A_1, \dots, A_m)$ の計算は、べき集合 $2^{\mathbf{R}}$ のすべての要素集合の組合せを考えなければならず、複雑なものになる。GIS を取り扱う際、その上下近似が得られるだけでも十分有用であることが知られている [2, 3] ので、ここでは、 $f(A_1, \dots, A_m)$ の上下近似から計算できることを示す。 $f(A_1, \dots, A_m)$ の上下近似および A_i の上下近似は $\mathbf{R}$ のファジィ集合であるので、 A_i の上下近似から計算できれば、 $f(A_1, \dots, A_m)$ の上下近似の計算負荷は、直接 $f(A_1, \dots, A_m)$ を計算する負荷に比べると十分に小さい。

上近似に関して、次の定理を得る。

定理 1. $f(A_1, \dots, A_m)$ の上近似 $f^+(A_1, \dots, A_m)$ は、

$$\begin{aligned} \mu_{f^+(A_1, \dots, A_m)}(y) &= \sup_{y \in Y} \pi_{f(A_1, \dots, A_m)}(Y) \\ &= \sup_{\substack{1, \dots, m \in \mathbf{R} \\ y = f(1, \dots, m)}} t(\mu_{A_1^+}(x_1), \dots, \mu_{A_m^+}(x_m)) \\ &= \mu_{f(A_1^+, \dots, A_m^+)}(y) \end{aligned} \quad (10)$$

のように、 $A_i, i = 1, \dots, m$ の上近似から計算できる。ただし、 $\mu_{f^+(A_1, \dots, A_m)}$ は $f^+(A_1, \dots, A_m)$ のメンバシップ関数、 $\mu_{A_i^+}$ は A_i の上近似 A_i^+ のメンバシップ関数である。 $\mu_{f(A_1^+, \dots, A_m^+)}$ は像 $f(A_1^+, \dots, A_m^+)$ のメンバシップ関数である。

一方、下近似に対しては、次の定理に示すように不等号しか成立しない。

定理 2. $f(A_1, \dots, A_m)$ の下近似 $f^-(A_1, \dots, A_m)$ のメンバシップ関数を $\mu_{f^-(A_1, \dots, A_m)}$ 、 f による A_i の下近似 A_i^- の像 $f(A_1^-, \dots, A_m^-)$ のメンバシップ関数を $\mu_{f(A_1^-, \dots, A_m^-)}$ とすると、次式が成立する。

$$\begin{aligned} \mu_{f^-(A_1, \dots, A_m)}(y) &= \inf_{y \notin Y} 1 - \pi_{f(A_1, A_2, \dots, A_m)}(Y) \\ &\geq \sup_{\substack{1, \dots, m \in \mathbf{R} \\ y = f(1, \dots, m)}} \min(\mu_{A_1^-}(x_1), \dots, \mu_{A_m^-}(x_m)) \\ &= \mu_{f(A_1^-, \dots, A_m^-)}(y) \end{aligned} \quad (11)$$

定理 2 に示すように、式 (11) で等号は常に成立するとは限らない。そこで、式 (11) で等号が成立する場合を考察しよう。

GIS $\mathcal{A}$ に対して、次の強整合性を考える。

定義 2. 次式を満たすとき、かつそのときに限り、GIS $\mathcal{A}$ は強整合的であるという。

$$\bigcap \{A \subseteq X \mid \pi_{\mathcal{A}}(A) > 0\} \neq \emptyset \quad (12)$$

GIS $\mathcal{A}$ が「だいたい くらい (は実数)」に対応する可能な領域を表しているとき、 $\mathcal{A}$ は強整合的であると考えられる。なぜなら、「だいたい くらい」に対応すると考えられるどんな領域 A に対しても、 $A \in \mathcal{A}$ が成立すると考えられるからである。

$\pi_{\mathcal{A}_i}$ が離散的な値を取るグレード付きイルノウ閉区間 $\mathcal{A}_i$, $i = 1, 2, \dots, m$ について、次の定理を得る。

定理 3. 連続な実数関数 $f: \mathbf{R}^m \rightarrow \mathbf{R}$ が与えられたとする。グレード付きイルノウ閉区間 $\mathcal{A}_i \in \mathcal{I}_{Q_{ci}}$, $i = 1, 2, \dots, m$ が強整合的であり、 $i = 1, 2, \dots, m$ に対し、 $\{\pi_{\mathcal{A}_i}(A) \mid A \subseteq X\}$ が有限集合であれば、次式が成立する。

$$\begin{aligned} \mu_{f(A_1, \dots, A_m)}(y) &= \inf_{y \notin Y} n(\pi_{f(A_1, \dots, A_m)}(Y)) \\ &= \sup_{\substack{1, 2, \dots, m \in \mathbf{R} \\ y=f(1, \dots, m)}} \min(\mu_{A_1}(x_1), \dots, \mu_{A_m}(x_m)) \\ &= \mu_{f(A_1, A_2, \dots, A_m)}(y) \end{aligned} \quad (13)$$

どのような $\pi_{\mathcal{A}}$ も有限個の離散的な値を取る可能性分布を用いて任意精度で近似できる。定理 3 より、どんな凸な実数 GIS $\mathcal{A}_i$, $i = 1, 2, \dots, m$ の連続関数値も近似的に計算することができる。ここで、実数 GIS $\mathcal{A}$ が凸であるとは、次式を満たすことをいう。

$$\begin{aligned} &\text{任意の } \alpha \in (0, 1] \text{ に対して} \\ &\bigcap \{Q \subseteq \mathbf{R} \mid \pi_{\mathcal{A}}(Q) \geq \alpha\} \text{ が凸となる} \end{aligned} \quad (14)$$

また、 $\mathcal{A}_i$ がグレード付きイルノウ閉区間であること以外の仮定はそれほど強いものではないので、定理 3 の成果は実数 GIS の連続関数の計算に有用となる。

実数 GIS が上下近似で定められる場合、次の補題を得る。

補題 1. 連続で単調な実数関数 $f: \mathbf{R}^m \rightarrow \mathbf{R}$ を考える。実数 GIS $\mathcal{A}_i$, $i = 1, 2, \dots, m$ が上半連続な階段メンバーシップ関数をもつ正規な下近似 A^- と階段メンバーシップ関数をもつ正規な上近似 A^+ により式 (7) で定められるとき、 $f(A_1, \dots, A_m)$ は完全に計算できる。

表 1: 費用と収益の推定値 ($\times 1,000$ \$)

費用	pert 1	pert 2	pert 3
L_k	[10, 13]	[8, 11]	[11, 12]
U_k	[7, 17]	[8, 18]	[6, 15]
収益	pert 4	pert 5	pert 6
L_k	[20, 23]	[22, 25]	[19, 24]
U_k	[19, 25]	[18, 26]	[17, 27]

4 数値例

あるプロジェクトの利益を推定する問題を考える。表 1 に示すように、費用については、pert k , $k = 1, 2, 3$ により、費用として有力視できる区間 L_k と可能な区間 U_k が与えられ、収益については、pert k , $k = 4, 5, 6$ により、収益として有力視できる区間 L_k と可能な区間 U_k が与えられているとしよう。このとき、費用と収益の取りうる範囲は、次式で定められる可能性分布 $\pi_{\mathcal{A}_i}$, $i = 1, 2$ をもつ実数 GIS $\mathcal{A}_i$ として取り扱うことが考えられる ($i = 1, 2$)。

$$\pi_{\mathcal{A}_i}(A) = \frac{|\{k \mid L_k \subseteq A \subseteq U_k, k \in T(i)\}|}{3} \quad (15)$$

ただし、 $|B|$ は B の基数であり、 $T(i) = \{3i - 2, 3i - 1, 3i\}$ とする。表 1 のデータに対して、 $\bigcup_{k \in T(i)} L_k \subseteq \bigcap_{k \in T(i)} U_k$, $i = 1, 2$ が成立することより、 $\pi_{\mathcal{A}_i}$ の正規性が確認でき、さらに、 $\bigcap_{k \in T(i)} L_k \neq \emptyset$, $i = 1, 2$ が成立することにより、強整合性が確認できる。

利益 $\mathcal{A}_2 - \mathcal{A}_1$ を計算し、定理 1, 3 が成立することを確認しよう。 $i = 1, 2$ に対して、次の集合を定義する。

$$\mathcal{S}_i = \left\{ A \subseteq \mathbf{R} \mid \bigcup_{k \in T(i)} L_k \subseteq A \subseteq \bigcap_{k \in T(i)} U_k \right\} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \mathcal{M}_i = \left\{ A \subseteq \mathbf{R} \mid \bigcup_{k=3i-2, 3i} L_k \subseteq A \subseteq \bigcap_{k=3i-2, 3i-1} U_k, \right. \\ \left. \bigcup_{k=3i-1, 3i} L_k \subseteq A \subseteq \bigcap_{k=3i-1, 3i} U_k \right. \\ \left. \text{or } \bigcup_{k=3i-2, 3i} L_k \subseteq A \subseteq \bigcap_{k=3i-2, 3i} U_k \right\} \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \mathcal{W}_i = \{ A \subseteq \mathbf{R} \mid L_{3i-2} \subseteq A \subseteq U_{3i-2}, \\ L_{3i-1} \subseteq A \subseteq U_{3i-1} \text{ or } L_{3i} \subseteq A \subseteq U_{3i} \} \end{aligned} \quad (18)$$

このとき、定義 1 を適用すると、 $\mathcal{A}_2 - \mathcal{A}_1$ に対応する可能性分布は次のように得られる。

$$\pi_{\mathcal{A}_2 - \mathcal{A}_1}(A)$$

$$\begin{aligned}
&= \begin{cases} 1, & i \ A \in \mathcal{S}_2 - \mathcal{S}_1 \\ \frac{2}{3}, & i \ A \notin \mathcal{S}_2 - \mathcal{S}_1 \text{ and } A \in \mathcal{M}_2 - \mathcal{M}_1 \\ \frac{1}{3}, & i \ A \notin \mathcal{M}_2 - \mathcal{M}_1 \text{ and } A \in \mathcal{W}_2 - \mathcal{W}_1 \\ 0, & \text{other ise} \end{cases} \\
&= \begin{cases} 1, & i \ A \in \mathcal{S} \\ \frac{2}{3}, & i \ A \notin \mathcal{S} \text{ and } A \in \mathcal{M} \\ \frac{1}{3}, & i \ A \notin \mathcal{M} \text{ and } A \in \mathcal{W} \\ 0, & \text{other ise} \end{cases} \quad (19)
\end{aligned}$$

ただし, $\mathcal{S} = \{A \subseteq \mathbf{R} \mid [6, 17] \subseteq A \subseteq [4, 17]\}$, $\mathcal{M} = \{A \subseteq \mathbf{R} \mid [7, 17] \subseteq A \subseteq [2, 17], [6, 17] \subseteq A \subseteq [1, 18], [8, 17] \subseteq A \subseteq [4, 17], [7, 17] \subseteq A \subseteq [3, 18], [7, 15] \subseteq A \subseteq [4, 18], [6, 15] \subseteq A \subseteq [3, 19] \text{ or } [6, 14] \subseteq A \subseteq [4, 18]\}$, $\mathcal{W} = \{A \subseteq \mathbf{R} \mid [9, 15] \subseteq A \subseteq [1, 19], [6, 14] \subseteq A \subseteq [0, 20], [11, 17] \subseteq [0, 18], [8, 16] \subseteq A \subseteq [-1, 19], [8, 12] \subseteq A \subseteq [4, 19], [10, 14] \subseteq A \subseteq [3, 20] \text{ or } [7, 13] \subseteq A \subseteq [2, 21]\}$ である. 式 (5) を適用すると, 下近似 $(A_2 - A_1)^-$ と上近似 $(A_2 - A_1)^+$ が次のように得られる.

$$\begin{aligned}
&\mu_{(A_2 - A_1)^-}(x) \quad \mu_{(A_2 - A_1)^+}(x) \\
&= \begin{cases} 1, & i \ x \in [11, 12] \\ \frac{2}{3}, & i \ x \in [8, 11] \\ \frac{1}{3}, & i \ x \in [6, 8] \\ 0, & \text{other ise} \end{cases} \quad = \begin{cases} 1, & i \ x \in [4, 17] \\ \frac{2}{3}, & i \ x \in [1, 4] \\ \frac{1}{3}, & i \ x \in [-1, 1] \\ 0, & \text{other ise} \end{cases} \quad (20)
\end{aligned}$$

一方, $\mathcal{A}_i$, $i = 1, 2$ の上下近似は, メンバシップ関数

$$\mu_{\mathcal{A}_i^\pm}(x) = \begin{cases} 1, & i \ x \in S_i^\pm, \\ \frac{2}{3}, & i \ x \notin S_i^\pm \text{ and } x \in M_i^\pm \\ \frac{1}{3}, & i \ x \notin M_i^\pm \text{ and } x \in W_i^\pm \\ 0, & \text{other ise} \end{cases} \quad (\text{復号同順}) \quad (21)$$

で定められる. ただし, $S_1^- = [11, 11]$, $S_1^+ = [8, 15]$, $M_1^- = [10, 12]$, $M_1^+ = [7, 17]$, $W_1^- = [8, 13]$, $W_1^+ = [6, 18]$, $S_2^- = [22, 23]$, $S_2^+ = [19, 25]$, $M_2^- = [20, 24]$, $M_2^+ = [18, 26]$, $W_2^- = [19, 25]$, $W_2^+ = [17, 27]$ である.

ファジィ集合の拡張原理 [4] を適用すると,

$$\begin{aligned}
&\mu_{A_2 - A_1}(x) \quad \mu_{A_2^+ - A_1^+}(x) \\
&= \begin{cases} 1, & i \ x \in [11, 12] \\ \frac{2}{3}, & i \ x \in [8, 11] \\ \frac{1}{3}, & i \ x \in [6, 8] \\ 0, & \text{other ise} \end{cases} \quad = \begin{cases} 1, & i \ x \in [4, 17] \\ \frac{2}{3}, & i \ x \in [1, 4] \\ \frac{1}{3}, & i \ x \in [-1, 1] \\ 0, & \text{other ise} \end{cases} \quad (22)
\end{aligned}$$

が得られ, 定理 1, 3 に示すように, $(A_2 - A_1)^\pm = A_2^\pm - A_1^\pm$ (復号同順) が成立することが分かる.

5 おわりに

グレード付きイルノウ集合の応用にあたり重要と考えられる実数グレード付きイルノウ集合の計算法について議論した. グレード付きイルノウ集合は連言変数ばかりでなく, 選言変数の取りうる範囲を表すモデルと利用できるもので, ファジィ集合同様に, 不確実性の下での意思決定問題へ応用することができる. 特に, 本研究の例題のように, 複数の不明確な情報源を取り扱える可能性がある. この意味で不整合な情報源の取り扱いも今後重要な課題となろう.

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

参考文献

- [1] ubois, ., Prade, .: Gradualness, uncertainty and bipolarity: Making sense of fuzzy sets. Fuzz. Sets and Syst. (to appear)
- [2] ubois, ., Prade, .: Incomplete conjunctive information. Comput. Math. Applic. 15, 797–810 (1988)
- [3] Inuiguchi, M.: Rough Representations of Ill-Known Sets and Their Manipulations in Low-dimensional Space. In: Soron, A., Suraj, Z. (eds.) an ISRL volume dedicated to Z. Pawlak, Springer, Heidelberg (to appear)
- [4] Zadeh, L. A.: The Concept of Linguistic Variable and Its Application to Approximate Reasoning, Inform. Sci., 8, 199–246 (1975)

連絡先: 大阪大学大学院基礎工学研究科

乾口雅弘

Tel/Fa : 06-6850-6350

-mail: inuiguti@sys.es.osaka-u.ac.jp

Type-2 ファジィ真理値の複素ベクトル表現とその応用 (2)

Vector Representation of Type-2 Fuzzy Truth Values and their Applications (2)

荒木智行

Tomoyuki Araki

広島工業大学 工学部 電子情報工学科

Hiroshima Institute of Technology

Abstract: Interval complex vector truth value and its representation have been studied by the author.

This paper proposes realization of complex vector truth value from optical engineering's point of view. Furthermore, trapezoid truth value and linguistic truth value are realized as applications of complex vector truth value.

Keywords: Interval Truth Value, Vector logic, Complex Truth Value, Complex Vector Truth Value, Optical gate

1 まえがき

ファジィ推論・ファジィ制御の研究がなされ古くからファジィ情報処理専用チップの開発がされてきている。しかしながら、これらのチップでは、ファジィ量を2値のbitデータで近似しており、真にファジィな情報を扱っていないことが指摘されている。

最近、CMOSで構成されるICチップ内のモジュール間の配線量を劇的に減らすために、モジュール間を光デバイスで結合する研究がなされており、実用化に向かっている[15]。この研究の目的はチップ内の配線面積を劇的に減らすことである。

以上のことを踏まえ、本研究は、真にファジィなデータをファジィ推論・ファジィ制御に応用できるチップを作成するための理論的な基礎を確立することを目指している。ファジィ推論、ファジィ制御ではType-2ファジィ集合の論理的な演算が重要となる。また光信号を電気信号に変換すると大きなエネルギーのロスが発生する。このためType-2ファジィ集合を光により表現し、さらに基本的な論理演算を光のまま実行できることが重要となる。

Type-2ファジィ真理値を扱うことができる論理はこれまで多く研究されている。それらの中で基本となる論理としてファジィインターバル論理(FIL)は、向殿、菊池[1]により提案された、未知のほかに矛盾の度合いを表現することができる無限多値論理である。ファジィインターバル論理では、Type-2ファジィ集合の特殊な部分集合である拡張区間真理値とよばれる真理値を取り扱う。また、小田[2]により、向殿、菊池とは別のアプローチで未知、矛盾の度合いを表現する超論理空間(HLS)が提案されている。超論理空間に基づく論理において取り扱われる真理値は、拡張区間真理値と意味(解釈)としては異なるが、二つの実数の順序対として表現される。本稿では、双方の真理値を区間真理値と略して呼ぶことにする。

本研究では、最初に複素ベクトル真理値[6]の概念について述べ、区間真理値の表現としての光のベクトル

ル表現を考察する。次に光の特性を利用して台形真理値[3]の表現を考察し、その結果から言語真理値[12]の近似が可能であることを考察する。最後にタイプ2ファジィ真理値に対する基本的な演算素子について検討する。

論理の真理値に関しては、これまで様々な表現方法が検討されてきている[4, 7, 8, 9, 10]。本稿では、これらの表現との関連についても考察することにする。

2 諸準備

定義 1 $[1, 2]$ $a_1, a_2 \in [0, 1]$ とする。このときこの二つの実数の組 $[a_1, a_2]$ を区間真理値と呼ぶ。

区間真理値の定義では、必ずしも $a_1 \leq a_2$ は要請されてない。表記 $[a_1, a_2]$ は、 a_1 と a_2 の順序対である。

定義 2 $[1, 2]$ 区間真理値における論理演算を次のように定義する；

(向殿・菊池否定)

$$\neg_{mk}[a_1, a_2] = [1 - a_2, 1 - a_1]$$

(小田否定)

$$\neg_o[a_1, a_2] = [1 - a_1, 1 - a_2]$$

(向殿・菊池論理積)

$$[a_1, a_2] \wedge_{mk} [b_1, b_2] = [\min(a_1, b_1), \min(a_2, b_2)]$$

(小田論理積)

$$[a_1, a_2] \wedge_o [b_1, b_2] = [\min(a_1, b_1), \max(a_2, b_2)]$$

(向殿・菊池論理和)

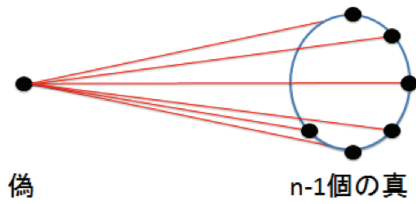
$$[a_1, a_2] \vee_{mk} [b_1, b_2] = [\max(a_1, b_1), \max(a_2, b_2)]$$

(小田論理和)

$$[a_1, a_2] \vee_o [b_1, b_2] = [\max(a_1, b_1), \min(a_2, b_2)]$$

定義 3 $[7]$ V_N を N 次元の実ベクトルとする。このとき S と n は V_N の要素であり、 s と n は直交しているものとする。このとき、 $(1-x)n + xs$ (ただし $x \in [0, 1]$) をベクトルファジィ真理値と呼ぶ。

ベクトルファジィ真理値は、通常ファジィ論理における数値真理値に相当する。しかしながら、単なる実

図 1: $n - 1$ 個の部分空間の構造のイメージ

数ではなく、ベクトルという概念を真理値に導入したものである。Mizraji は文献 [7] で、この真理値を用いて数値真理値を扱うファジィ論理をベクトル論理として扱っている。

定義 4 $[8, 9, 10]$ $r \in [0, 1]$ とし、 ω を実数とする。このとき $r \cdot e^{i\omega}$ を複素ファジィ真理値と呼ぶ。

Ramot ら [8, 9] や Dick [10] は、実数の自然な拡張として複素数を真理値とするという点で、数学的には極めて自然な真理値の拡張を与えている。しかしながら、位相 ω の解釈について、様々な議論があり、未決の問題も残している。

3 複素ベクトル真理値

物理学においては、基本的な量は、複素数とベクトル（および行列）により表現される。我々の世界は、客観的には物理学にしたがって表現されている。

一方、我々の思考の基礎となる論理は、物理学で表現されるとは、経験的には考えられていない。しかしながら、月本は文献 [4] において、物事が生じるという確率的な事象と論理的な思考との関連性に仮定を置き、論理を考察している。その際、論理における中等律を満たすためには、実数方程式 $x^n = x$ が成立する必要性を考察している。 $x \in [0, 1]$ において、この方程式の解は 0 と 1 のみであることから、任意の真理値は $(1-x)f(0) + xf(1)$ のような実数関数のベクトル $f(0)$ と $f(1)$ によって張られるベクトル空間であるとして考察を行っている。また、この考察をもとに独自の論理関数の提案を行っている [5]。

$x^n = x$ の解、すなわち $x(x^{n-1} - 1) = 0$ の解は、複素数で考えると 0 と 1 の $n-1$ 乗根である。このことは、図 1 のような 1 個の偽と $n-1$ 個の真があり、偽とそれぞれの $n-1$ 個の真が張る部分空間がタイプ 1 ファジィ真理値の集合になっていると解釈できる。また、「真理値が偽となる」という命題の真理値を x と置くと、偽が $n-1$ 個あり、真が 1 個となる真理値の構造も同様にして考えることができる。

$x^n = x$ の解、すなわち $x(x^{n-1} - 1) = 0$ の解は、複素数で考えると 0 と 1 の $n-1$ 乗根である。本節では、

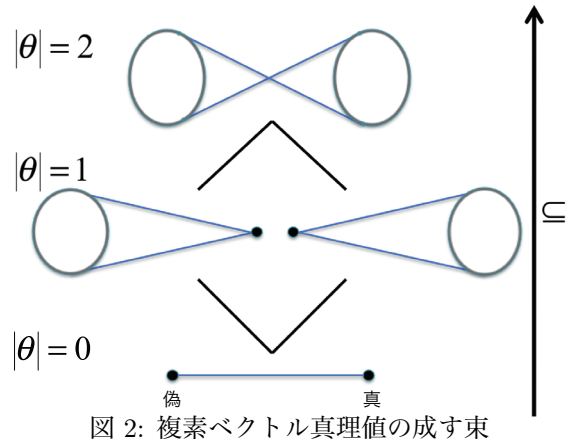


図 2: 複素ベクトル真理値の成す束

以上のことを考察しつつ、複素ベクトル真理値を定義し、区間真理値との関連について述べる。ここで定義する真理値では、Type-2 のファジィ量を、物理量として実現できる可能性もある。

定義 5 α, β は $[0, 1]$ 上の実数とし、 $\theta_\alpha, \theta_\beta$ を任意の実数とする。 s, n は N 次元複素ベクトルとし、 s と n は直交しているものとする。このとき、以下のようにベクトルの線形和として表現される真理値を複素ベクトル真理値と呼ぶ。

$$\alpha \cdot e^{i\theta_\alpha} n + \beta \cdot e^{i\theta_\beta} s \quad (1)$$

明らかに定義 3、定義 4 の真理値は複素ベクトル真理値の特殊な場合となっている。

以下では、区間真理値と複素ベクトル真理値の対応について考察する。複素ベクトル真理値において以下のような制限をつける。

(SH) $\theta_\alpha = \theta_\beta$

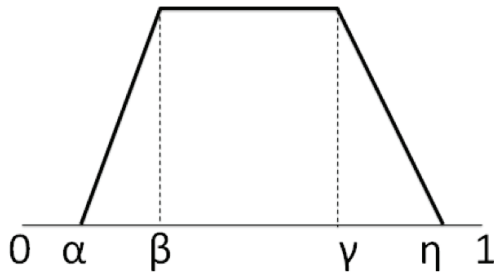
条件 (SH) を入れると、明らかに区間真理値 $[\alpha, \beta]$ に対応する複素ベクトル真理値が一对一に定まる。

定義 6 複素ベクトル真理値に、上述の条件 (SH) を入れた真理値を区間ベクトル真理値と呼ぶことにする。

ここで複素ベクトル真理値のなす束について考察してみる。複素ベクトル真理値において θ_α と θ_β の両方が固定されてない場合を $|\theta| = 2$ 、 θ_α と θ_β のどちらか一方がある値に固定されている場合を $|\theta| = 1$ 、 $\theta_\alpha = \theta_\beta$ (即ち条件 (SH) が成立している場合) を $|\theta| = 0$ とする。そのとき半順序関係 $\subseteq$ を「特殊な場合として含む」と定義すると、複素ベクトル真理値は図 2 のような束を成す。

さらに工学的な立場から複素ベクトル真理値を考察してみる。複素ベクトル真理値の基底となっている n と s の具体的な候補として光を考えると、互いに直交する関係にある光の偏波の例としては以下があげられる。

(i) 「水平偏波」と「垂直偏波」

図 3: t_1, t_2 による台形真理値

- (ii) 「左斜め偏波」と「右斜め偏波」
- (iii) 「右回り偏波」と「左回り偏波」

直交関係にある偏波は、独立に偏向フィルターなどで分離できることは明らかである。しかしながら、直交する二つの偏波の初期位相を独立に観測することは不可能である。即ち、図 2 における $|\theta| = 2$ のような状態の真理値は工学的には作れないことを意味する。

以上のことから定義 5 に「複素ベクトル真理値 t_1, t_2 に $t_1 = e^{\theta} \cdot t_2$ なる関係があるときは、 t_1 と t_2 を同一視する」ことを条件として加えることにする。このとき、複素ベクトル真理値は、 $|\theta| = 1$ の場合が $\subseteq$ を順序とした半順序集合の中で極大となる。したがって複素ベクトル真理値の標準形は以下のように定義できる。

定義 7 (区間ベクトル真理値の標準形)

$$\alpha n + \beta \cdot e^{\theta} s \quad (2)$$

4 区間ベクトル真理値から台形ベクトル真理値への拡張, 言語ベクトル真理値の近似

前節の議論より、複素ベクトル真理値は $|\theta| = 1$ の相当する場合が本質であることがわかった。 $|\theta| = 1$ の場合の代表的な真理値 t_1, t_2 を以下のように置くことにする。

$$t_1 = \alpha n_1 + \beta e^{i\theta} s_1 \quad (3)$$

$$t_2 = \gamma n_2 + \eta e^{i\theta} s_2 \quad (4)$$

ただし $\alpha, \beta, \gamma, \eta \in [0, 1]$ で、基底の組 n_1, s_1 と n_2, s_2 は異なる波長の光だとする。このとき t_1 と t_2 は波長が異なるので、独立に工学的な操作を行うことができる。このことから、 t_1 と t_2 を用いることにより図 3 のような台形真理値を表現できることは明らかである。また、波長の異なる多くの複素ベクトル真理値を用いれば言語真理値を近似するような真理値を構成できることは明らかである。

5 光学的論理ゲート

複素ベクトル真理値に対して、光操作のできるオペレータ（論理演算）について考察する。フレトキンと

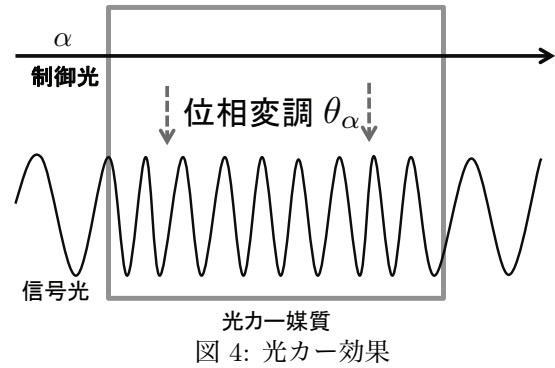


図 4: 光カー効果

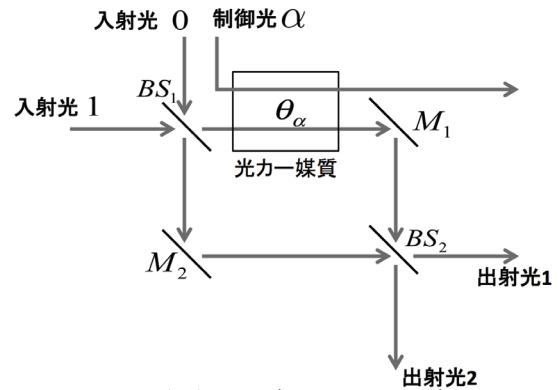


図 5: 光学的 FT ゲート (FTM ゲート)

トフォリ [14] は、入力線と出力線が同数で、可逆的かつビット保存的である FT ゲートを提案した。FT ゲートは、制御線に入力がないと他の入力線も変化せずそのまま出力され、入力があると他の入力線が変化して出力される。(制御線は入力と出力でその値が変わらない。) ミルバーン [13] は、光カー効果（という制御光により位相変調を行う特殊な媒質（図 4）とマッハツェンダー干渉計を組み合わせた図 5 のような光学的 FT ゲート (FTM ゲート) を考案した。尚、光カー効果では制御光の振幅の 2 乗に線形比例して信号光の位相が変化する性質、即ち、図 4 において信号光の位相変化は $\theta_\alpha = c \cdot |\alpha|^2$ (c は定数) となるような効果である。

FTM ゲートは、量子コンピュータ [14] における 2 値論理の基づく論理ゲートとして提案された。しかしながら、本研究ではこのゲートを複素ベクトル真理値に対する演算として考察する。

二つの入射光に真理値の 0, 1 に相当する光を入射し、光カー媒質に振幅 α 、すなわちエネルギー $c \cdot |\alpha|^2$ の制御光が入射されたとき、媒質を通過する光は $\theta_\alpha = c \cdot |\alpha|^2$ (ただし、 c は $0 \leq \theta_\alpha \leq \pi/2$ を満たす定数とする) 位相が変化するとする。このとき図 6 のように二つの出射光は $\cos^2 \theta_\alpha, \sin^2 \theta_\alpha$ となる。 $\sin^2 \theta_\alpha = 1 - \cos^2 \theta_\alpha$ なので、 $\cos^2 \theta_\alpha = |\alpha|^2$ となるように定数 c を選ぶことにより、出射光 1 と出射光 2 の関係は互いに否定 (1-) の関係となる。図 7 のように、二つの FTM ゲートの出力から定義 2 の区間真理値の論理否定 $\neg_{mk}$ および

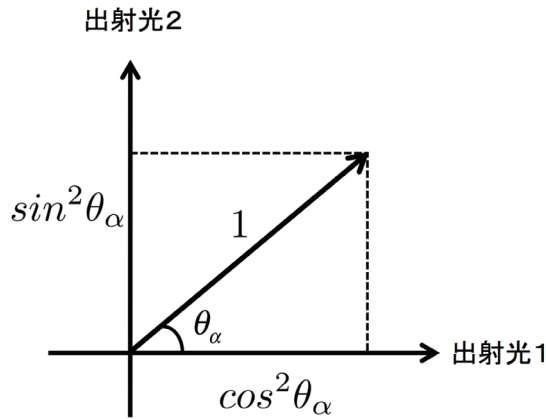


図 6: FTM ゲートからの出射光

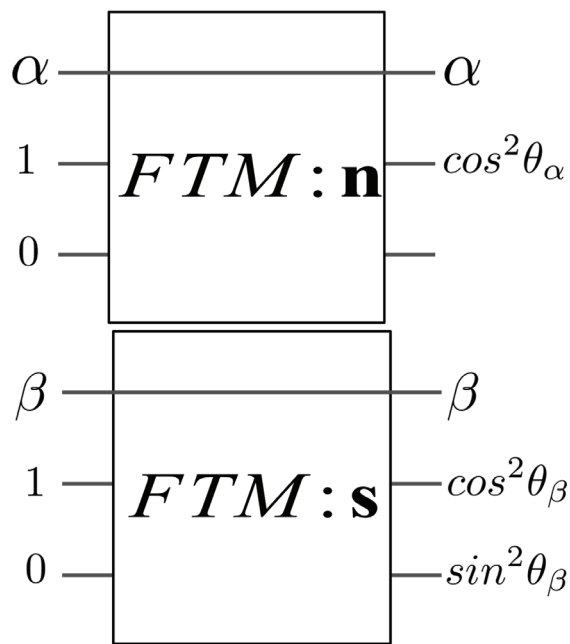


図 7: FTM ゲートによる否定演算

$\neg_o$ の演算を作ることが可能となる。

6 むすび

本稿では、複素ベクトル真理値の光学的な実現について提案し、論理演算として可逆的な否定演算の実現について考察した。残された課題として論理積、論理和の演算の検討が必要である。先行研究として文献 [11] において可逆な T-ノルム演算について理論的に論じられている（実現はされてない）。しかしながら、そこで論じられている原理は光学操作では実現できない。 $x \vee y = \max(x, y) = (x \xrightarrow{L} y) \xrightarrow{L} y$ で定義できる。ただし $\xrightarrow{L}$ はルカシェビッツの含意であり、 $x \xrightarrow{L} y = \min(1, 1-x, y)$ で定義される。また $x \wedge y = \neg(\neg x \vee \neg y)$ である。 $\min$ の演算は非線形光学素子で構成可能であるが、可逆演算ができる素子とはなりえず、エネルギーロスの観点から採用し難い。今後の課題として否定演算

と対になり可逆的にドモルガン代数またはクリーネ代数の公理を満たす光学演算を見いだすことが残される。

参考文献

- [1] 向殿, 菊池: ファジィ・インターバル論理の提案, 日本ファジィ学会誌, Vol. 2, No. 2, pp. 209-222, 1990
- [2] 小田: 多次元多値論理体系の提案 – ファジィ論理の多次元拡張としての超論理空間モデル –, 日本経営工学会論文誌, Vol. 49, No. 3, pp.136-145, 1998
- [3] 大塚, 江本, 向殿: ファジィ論理における台形真理値の性質について, 日本ファジィ学会誌, Vol. 11, No. 2, pp.338-346, 1999
- [4] 月本: 連続値論理数学について, 知識工学と人工知能, Vol.60, No.5, pp.1-6, 1988
- [5] 月本: 古典論理のすべての公理を満たす連続値論理関数について, 電子情報通信学会論文誌 D-I, Vol. J-77-D-I, No. 3, pp.247-252, 1994
- [6] 荒木, Type-2 ファジィ真理値の複素ベクトル表現とその応用, 日本知能情報ファジィ学会, 第 20 回ソフトサイエンス・ワークショップ講演論文集, pp.81-82, 2010
- [7] Mizraji, E.: Vector Logics: The matrix-vector representation of logical calculus, Fuzzy Sets and Systems, Vol.50, pp.179-185, 1992
- [8] Ramot, D., Milo R., Friedman, M., and Kandel, A.: Complex Fuzzy Sets, IEEE Trans. on Fuzzy Systems, Vol.10, no.2, pp.171-186, 2002
- [9] Ramot D., Friedman, M., Gideon Langholz G., and Kandel, A.: Complex Fuzzy Logic, IEEE Trans. on Fuzzy Systems, Vol. 11, no.4, 2003
- [10] Dick, S.: Toward Complex Fuzzy Logic, IEEE Trans. on Fuzzy Systems, Vol. 13, no.3, 2005
- [11] Rovatti, R. and Bacarani, G.: Fuzzy Reversible Logic, Proc. The 1998 IEEE International Conference on Fuzzy Systems, pp.761-766, 1998
- [12] Mizumoto, M. and Tanaka, K., Some Properties of Fuzzy Sets of Type 2, Information and Control, Vol.31, No.4, pp.341-363, 1976
- [13] Milburn, G., Quantum Optical Fredkin Gate, PHYSICAL REVIEW LETTERS, Vol.62, No.18, 1989
- [14] 大矢, 量子コンピュータの数理, 丸善株式会社, 1999
- [15] 光・電気を CMOS で混載 IBM 社が開発に本腰, 日経エレクトロニクス, 2010.12.27, pp.12-13, 2010

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

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 22 回ソフトサイエンス・ワークショップ 講演論文集

発行日： 2012 年 3 月 9 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 22 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 ：高萩 栄一郎（専修大学）
プログラム委員長：稲井田 次郎（日本大学）