



北海道情報大学紀要

ISSN 0915-6658

Memoirs of Hokkaido Information University Vol.26 No.1 November 2014

26-1

Memoirs of Hokkaido Information University

北海道情報大学紀要

第26巻 第1号

2014年11月



北海道情報大学

目 次

〈論文〉

教授法に関する一考察 —教育実習で留意すべきことを中心に—	小西 二郎	1
「教職の意義等に関する科目」のねらいについての断章	小西 二郎	9
境界型糖尿病患者の2型糖尿病発症に対する HbA1cの予測因子としての有用性の検討	佐藤 浩樹 吉岡 英治	15
SDNを構成するネットワークサービス間の連携を実現する方式に関する研究	高橋 基潤 中島 潤	23
観光行動によるメンタルヘルス改善効果の検証	長尾 光悦 斎藤 一 松田 成司 大島 直樹 佐々木穂果	41
Euclidの互除法、RSA暗号、素因数分解の教材化に関する一考察	林 雄一郎	57
社会言語学的な観点から検証する国際化時代における 日本人の外国人への思い込みに関して	チャールズ・マクラティ	77
距離の分布に基づくカーネルk-平均法のパラメータ探索法	柳 信一	87

〈研究ノート〉

簡易EEGによるBMIの実現可能性	長尾 光悦 海部 剛士 伊藤 浩一	109
-------------------	-------------------------	-----

〈報告〉

2013年度紀要委員会スタッフディベロップメント活動報告	坂本 英樹 豊田 規人 隼田 尚彦 関根 洋 田中 里実 喜多 歳子 向原 強 広奥 暢 佐藤 貴俊 高田かおり	121
他大学の实地調査に基づく北海道情報大学学生食堂の現状と課題	長尾 光悦 小林 裕樹	133

〈論 文〉

教授法に関する一考察

——教育実習で留意すべきことを中心に——

小西 二郎*

A Study of Methods of Instruction

——On the Points in Teaching Practices——

Tsugio KONISHI*

要旨

この間、筆者は、主に教育実習関係の指導を通して、教授方法・技術に関する知見を蓄積してきた。本稿では、それをもとに、教育実習で留意すべき、教授方法・技術のポイントについて述べる。

レディネスや内発的動機づけ、協同的学習を通じた動機づけが生徒の中で／生徒の間で形成され、維持されることは最も重要なポイントの一つである。教育実習生はそのことを認識し、その実現に向けて努力することが肝要である。そして、あらゆる授業・指導における、教員－生徒間の相互作用の励起及び維持に努めることが求められる。

Abstract

I have gained knowhow of methods and techniques of instruction mainly through experience of instruction for student teachers. Basing on it, I describe the points for the sake of student teachers in this paper.

It is one of the most important points that learning readiness, intrinsic motivation and motivation through collaborative learning are formed and maintained within and among students. Student teachers have to recognize it. And they have to also raise and maintain interaction between a teacher and students in any classes and any instructions.

キーワード

教授 (Instruction) 教授技術 (Techniques of Instruction) 教育実習 (Teaching Practices)
教育実習生 (Student Teacher) 一斉指導 (Whole-Class Approach) 個別指導 (Individualized Instruction) レディネス (Readiness) 動機づけ (Motivation)

* 北海道情報大学 経営情報学部 先端経営学科 准教授, Associate Professor, Department of Business and Information Systems (Dept. of BIS), HIU

1. はじめに

この間、私は「教職に関する科目」群の中の、教授方法・技術について教える「指導法に関する科目」を担当したことはない。とはいえ、教授方法・技術と縁が全くなかった訳ではない。主担当科目である「教育社会学」や「進路指導」の授業の中で、折に触れて、中学や高校の授業の様子や教授方法・技術に関する具体的な話をするようにしてきた。

そして、私も担当者の一人として携わる「教育実習Ⅰ・事前指導」の授業では、私も、教授方法・技術に関する説明を行なうとともに、模擬授業・その後の指導も担当してきた。また、この間、教育実習の訪問指導で道内の中学や高校にお邪魔し、本学の実習生の研究授業ないしは授業実習を参観させていただくとともに、現場の先生方と懇談させて頂いてもきた。

その中で、とりわけ勉強になったのは、訪問指導時の授業参観とそれを受けて開かれる合評会である。実習生、そして彼ら・彼女らを指導して下さった中学・高校の先生方からは、実に多くのことを学ばせて頂いた。「教育実習で一番勉強させてもらっているのは実は私ではないか」——訪問指導に行ってそう感じることもあるほどであった。

以上のような経験を通して、教授方法・技術に関する知見が、私にも、それなりにではあるが蓄積されてきた。そして、教育実習生が教育実習で陥りがちな陥穽や留意すべき点について知り得るようになってきた。

本稿では、それを踏まえ、教育実習生が学習指導の際に留意すべき、教授方法・技術の諸点について、以下、述べることにする。

2. 教授方法の類型——系統学習と問題解決学習について

系統学習と問題解決学習について説明すると、少なからぬ学生が次のように理解する——「系統学習は生活現実と遊離しているのに対し、問題解決学習は生活現実と切り結んでいる」。しかしながら、必ずしもそうではない。系統学習の中にも、生活現実との切り結びを重視するものもある（柴田(2009)p.198-9）。

また、一般に、「問題解決学習は全て、行為的な体験学習だ」とみなされているが、この理解も一面的である。問題解決学習には、行為的なそれだけでなく、知的なそれもある。後者は、研究者が行なっている「思考や実験の過程を、生徒が教室で子どもなりに追体験することによって、発見的・創造的に知識を獲得したり、知識を自分なりに系統化することである」（宮原(2006)p.7）。

3. 学習指導の形態

教授・学習指導の形態は大きく言って「個別指導」「グループ（小集団）指導」「一斉指導」の三つである。以下、中学・高校で日常的に行なわれている個別指導、一斉指導のポイントについて述べる。

3-1 個別指導について

中学・高校の授業では、机間巡視（机間指導）が頻繁に行なわれる。これは、「指導の個別化」としての個別指導、すなわち「手段としての個別指導」である（吉田(1999)p.49）。

机間巡視の主な目的は以下の三つである。第一に、生徒個々人の状態を把握したり、個人差に応じた指導を行なうことである。第二に、学習意欲の喚起や学習態度の改善を促す

1) とりわけ行為的な問題解決学習の場合、「はいまわる経験主義」に陥ることのないよう留意する必要がある（佐藤(1996)pp.39-40、中山(1993)pp.20-1、宗和(1993)p.34）。

ことである。第三に、机間巡視によって、生徒の世界の一端に教員が触れないしは入ることである（谷川(1991)p.115)。時にはその流れで、机間巡視の後、立ち位置を変えて授業を行なう、あるいはピンマイクを装着して机間巡視をしながら授業を行なうことを試みてもよいだろう。

いずれの目的も生徒の学習に深く関わる。そのため、教育実習で教科指導教諭の先生から、できるだけたくさん行なうようにという指導を、例年、多くの実習生が受ける。

この、一斉指導の中での机間巡視を行なう際は、一斉指導との切り換えと組み合わせに留意する必要がある。一斉指導についてみた後でその点について述べることにする。

3-2 一斉指導のポイント

「一斉指導は一方通行的なものだ」、一般には広くそのようにみなされている。教職課程の受講生の中にもそう思っている人が少なくない。しかし実際は、必ずしもそうとは限らないどころか、そのような一斉指導が行なわれる授業はダメな授業である。

一斉指導では、応答的な授業展開が目指されなければならないのである。このことは、教育実習で教科指導教諭の先生から最も多く指摘されることの一つであるし、この間の訪問指導で、実習生に対して私が最も多く指摘してきたことの一つでもある。「気がついたら自分だけが“暴走”してました」という事態になってしまうことは、何としても避けなければならない。

では、応答的な授業展開を実現するための最大のポイントは何か。それは、「個別指導を行なうように一斉指導を行なう」ことである。

その具体的ななかみは、以下の二つである。

一つは、一人一人に語りかけるように話し伝えることである。生徒の反応を“読みながら”、発問等を交えつつ、一人一人にきっちり伝えることが求められる。生徒の表情や発問に対する反応から、あまり伝わっていないよ

うだと感じた時は、適宜、違う説明やうまいたとえ話をするなどといった対応をとる必要がある。“引き出しが多い”ことが、こうした臨機応変な対応の前提となっていること、そのためにも教材研究を豊富に行なう必要があることについても学生に気づかせることが大切である。

もう一つは、全体を見渡すことである。実は、これが結構難しい。かなりの人数の、しかも持ち味が様々な生徒と視線を合わせることは、率直に言って、“怖い”ことである。初心者である教育実習生にとっては尚更であり、その“恐さ”に堪えかねて、全体を見渡すことができない場合が少なくない。

また、人によっては癖で、特定の方向ばかりみてしまう人もいる（以下、谷川(1991)）。そうなると、それ以外の方向の生徒と視線を合わすことが少なくなってしまう。当然、そちらの方向の生徒の反応は見えにくくなり、挙手にさえも気付かない時もある。また、「顔を向けるということは、その対象に関心をもっているという証でもある」（谷川(1991)p.113）。顔を向けないことがどのように解されるか/受け取られるか、推して知るべし、である。

以上のことから、全体を見渡すことができていないと、向いていない方向の生徒の意欲・テンションは否応なく下がってしまう。しかしながら、厄介なことに、えてして、そうした癖があることを当人は自覚してはいないものである。よって、折に触れてこのことを学生に繰り返し話して注意を喚起するとともに、模擬授業の際にそのことに気付かせることが肝要である。

3-3 個別指導と一斉指導の切り換えと組み合わせ

机間巡視を行なう場合に一斉指導との関わりで留意すべきことは、大きく言って二つある。まず第一に、時間配分と一斉指導への切り換えのタイミングである。教育実習生がや

ってしまう失敗で多いのが、机間巡視に没頭したり、切り上げるタイミングを失ってしまった結果、時間を費やしすぎてしまうことである。そうならないためには、机間巡視を行っている時は、頭のどこかで、時間配分に留意し、いつまでに一斉指導に切り換えるかを常に考えていなければならない。

第二に、個別指導から一斉指導へのフィードバックである（木内(1992)pp.95-6、山崎(1993)p.63）。

これには二つのパターンがある。一つ目は、指導上の課題を反映させるパターンである。数学の授業で、問題を解かせている間に行なわれる机間巡視を例にとり説明しよう。机間巡視をしていて、多くの生徒が同じようなところでつまづいていることに気付いたとする。そうした場合、問題を解く手をいったん止めさせ、一斉指導に切り換えて、その箇所に関する説明をあらためて行なうことがよくとられる。

二つ目は、机間巡視で把握した多様な考えを一斉指導で紹介することで、生徒が自らの考えを広めたり、深めたりすることを促すパターンである。

このように机間巡視は、一斉指導に反映させ、生かし得ることを確認・把握できる、ある意味、絶好の機会でもある。そのことを常に頭にとどめておくことが大切である。

4. 発問について

発問は生徒の思考の展開・深化を促すものであり、単なる確認とは異なる。

発問は、誰に投げかけるかで、大きく分けて、二つに分類することができる。それは、全体に投げかける発問と特定の生徒に向ける発問である。いずれの場合でも、生徒全員への問いかけとなっていなければならない（佐藤(2010)p.127）。そして、特定の生徒を指名する発問であっても、指名された特定の生徒の反応はもちろんのこと、それを聞いている

他の生徒の反応・表情も見逃さないようにすることが大切である（山崎(1993)p.65）。

また、機能の面からみた場合に注目すべきなのは、発問には、「ゆさぶる」ための発問もある、ということである（山崎(1993)、白石(2001)）。それは、生徒同士の間で認識や解釈をめぐる『対立・葛藤』が起こり、そこで『新しいもの』が生じたり発見されたりする（白石(2001)p.57）ことをねらって行なわれる発問である。そこでは、生徒の意見をあえて否定したり、生徒を“挑発”するような発問がなされることもある。

この場合、生徒からどのような応答が返ってくるかについて想定しておくのは良いが、それを固定的にとらえることのないよう注意すべきである。「発問—応答」が、意味創発性に開かれたものになっていることが大切なのである。

生徒からの応答を受けとめる際に注意すべきことにも触れておく。指名した生徒が答えに窮した時に、すぐに他の生徒を指名し直してしまうと、元の生徒が傷つくこともあり得る。指名した生徒が長考に入った時は、「待ちの姿勢」（佐藤(2010)p.128）に徹すべし、である

さて、発問が目指すべき究極のことは何か。かつて、大西忠治は、『発問』はたえず、子どもの『自問』に転化しながらかつていくものでなくてはならない」（大西(1987a)p.54）と主張した。おそらく、これこそが、究極的に目指すべきことだろう。

5. 学習者の主体的状態に関する論点——レディネスと学習意欲を中心に

5-1 レディネスについて

学習者の主体的状態でまず何といても重要なのは学習者のレディネスのありようである。レディネスは後述する動機づけの基礎であり、学習指導の前提なのである（五十嵐他編(1982)p.262）。

そのポイントは何か（以下、吉田(1999)pp.50-51）。まず必要なのは、レディネスが成立していることである。レディネスが成立していない段階では、教員がいくら学ばせようと腐心しても、ほとんどの場合、学習者は関心を示さないし、しいて学ばせたとしてもうまく行かないか、あるいは学習効果があったとしても一時的なもので終わってしまう場合が多い。

そして、「学習の適時性」にも留意する必要がある。レディネスの成立と学習との間のタイムラグが大きいと学習効果は落ちてしまうからである。

5-2 学習意欲をめぐって

学習意欲は、学習活動の駆動因・力となるものである。よって、それを向上させること、すなわち動機づけは学習指導の根幹をなすものといつてよい。

動機づけの方法として、一般にあげられるのは外発的動機づけと内発的動機づけである。

このうち、賞罰や競争などといった学習活動とは別のことで学習者のやる気を喚起し、方向づける外発的動機づけは問題が多い（以下、佐藤(2013)pp.85-7）。なぜならば、外発的動機づけでは「物的報酬の逆効果」が働いてしまうことが少なくないからである。

報酬が目的となればなるほど、やる気はむしろ弱まってしまうものである。また、他人から与えられる報酬によって行動するようになるということは、己の行動であるにもかかわらず、自己決定性が弱くなったということでもある。このように「自分の行ないが報酬によって引き起こされたと感じてしまう（認知）と自己決定感が失われ、内発的動機は低下する」（佐藤(2013)p.86）のである。

一方、内発的動機づけは、学習者の知的的好奇心や目標の達成等の内的条件による動機づけで、外発的動機づけとは異なり、望ましい。

内発的動機づけで中心をなすのは、確かに「知的的好奇心」である（吉田(1999)p.52）。し

かしながら、学習者が学習内容すべてに好奇心を抱くということはありません（以下、櫻井(2014)p.26）。なかには興味を持ってない、あるいは聞いているだけでもしんどいと生徒が感じるようなこともある。そうした局面で求められるのは、目標の達成に向けた意欲の向上である。

これら二つの動機づけのとらえ方は、「動機づけや学習を専ら個人の内的心理活動として取り上げる」（稲越他(1991)p.243）、いわば個人主義的心理学の観点からの把握である²⁾。しかし、動機づけはこれらにつけるものではない。生徒同士の関係の中での、そこでの関わり合いの中での動機づけもまた存在する（岩垣(1991)、佐藤(2013)p.89・pp.200-24）。稲越孝雄らがいうように、学級集団を学習集団ととらえる実践はこれに立脚したものである（稲越他(1991)p.243）。

こうした協同的学習を通した動機づけでは、学習指導と生徒／生活指導が相互乗り入れしている。ちなみに、学校教育では、学習指導と生徒／生活指導が相互乗り入れしている領域が数多くある。実習生がそのことに気づくよう指導することも肝要である。

6. “間”、“場”、雰囲気的重要性

教育実習では、「“間”が重要だ」「“間”を効果的にとるように」というアドバイスが、教育実習協力校の先生方から実習生にしばしばなされる。どういう時になされるかといえれば、例えば、授業が一本調子になってしまった時だ。

なぜ“間”が重視されるのだろうか。そのことを明らかにするためには、まず“間”が指し示していることが何かをおさえる必要が

²⁾ 個人主義的心理学の見方からは、“個別指導こそが理想的な指導方法”という考えが論理的に導出され得るだろう。しかし、この「発想は、授業の中で生まれる学級相互の学びあう力を生かし切れていない状況を生みだす」（秋田(2014)p.6）ことになる。

ある。剣持武彦によると、『間』の観念は、時間をも空間をも示して」(剣持(1978)p.34) いるという。よって、授業場面についていうと、“間”とは、話と話の間(時間概念)であり、教員と生徒との間(空間概念)でもある³⁾。

“間”を通したコントロールによってなされ得るのは、授業・指導が相互作用的に展開される“場”の、時間性を含み込んだ雰囲気コントロールなのである(以下、齋藤(1991)も参照)。こうした“場”の雰囲気は、教育関係をそもそも成り立たせている前提的基礎である。“間”が重視される所以である⁴⁾。

7. 三つの“自分”

授業を行なう際は、以下の三つの“自分”が作動していなければならない。

- A 教える内容を理解し、どう教えるか考えながら説明する“自分”
- B 生徒の状況の把握に努める“自分”
- C これら二つの“自分”を統轄する“自分”

教材研究や授業の準備を十分に行なった上で臨み、しかもこれら三つの自分が同時作動すれば、授業は、少なくともそれなり以上に応答的に展開する。そして、時間配分を誤ることがほぼなくなる。

このようにして、最終的に目指すべきことは何か。それは、生徒の頭の中で、認識の像が結ばれることである。生徒の学習態度の醸成を促し、適切な板書や口頭での説明を交え

³⁾ 剣持は、『間』は空虚な空間ではなくて、『気力』が充実した空間(剣持(1978)p.25)だとし、「間」と「気」が関係していることを示唆している。市川浩は、「気」は個々の「身」に分有され、「心」に重なるとともに、我が「身」と他物・他者の「身」との間の空間にも充満するものとして観念されていると指摘している(市川(1990)pp.54-60)。

⁴⁾ こうした認識は、心身二元論ではなく、心身未分化論に立脚している。ここでは<精神-身体><自己-他者><時間-空間>の三つの系が錯綜している。教育実践論が演劇論と重なることがここからもうかがわれる。

ながら応答的に授業を展開できれば、それで事足りるのではない。最終的に、生徒がきちんと理解しイメージできているか、認識を深めたか、そこまで配慮することが学習指導の射程に入っていないなければならない。

8. まとめにかえて

これまでみてきたように、教授方法・技術は、授業の展開や生徒による学習内容の理解・解釈の深化に及ぼす影響が極めて大きく、誠に重要である。しかし、確かにそうではあるが、だからといって教授方法・技術を高度化し、洗練すれば、万事うまく行くとはいずれしも限らない、ということも理解しておく必要がある。

教授方法・技術でなし得ることには限界があるということである。大西忠治は、すでに1987年の時点で、はじめから授業が成立しない学級が中学や高校で、校内暴力とは異なり、“静かに”、しかし“ひたひたと”増えだしたことに注目していた。力量のある教員の授業であっても、最初から授業が成り立たない事態——それは、「教材分析の弱さ、発問の弱さ、授業内容とその組みたての悪さ——教師の側の指導・教育力のせいばかりではないよう」(大西(1987c)p.62。大西(1990)pp.107-9も参照)だとし、すぐれた教材内容とすぐれた指導技術があれば、授業は問題なく成立するとは限らないこと、授業や学習集団の成立を支えているものが他にもあり、それが崩れてきていることを大西は指摘していた(大西(1987b)pp.54-5)。

では、この「授業の規律」(大西(1987b)p.55)の根底にあり、授業や学習集団を支えてきた他のものとは何か。それは、学校・教員の正統性・権威(生徒の自発的同意が調達されている)と生徒の関係世界である。

消費社会化・情報社会化による成長・生活環境や成長パターンの変化、そして企業社会の変容と学校教育の二極化を主軸とする社会

変容による「学校から仕事へ」の変容——これらがもたらした学校の社会的位置変化等のインパクトによって、学校・教員の正統性・権威は大きく揺らぎ、また、生徒の関係世界は変容している（この点については小西(2012)、小西・高島(2014)、三上(1992)を参照のこと）。学校・教員の正統性・権威の揺らぎや従来の成長モデルの失効は、生徒の知的好奇心や目標意識の曖昧化・弱化につながり得る。また、生徒同士の関係世界の困難化は、＜協同的学習⇔それを通じた動機づけ＞の相互作用の展開を難しくする。

「教員の話・指導が生徒になかなか伝わらない、受けとめられることがなかなかない」、「授業が成り立たない」という現象の背景にあるのはこうした事態である。これは、「教育困難校」増大の基層をなす。

このように、教授方法・技術の“効力”には限界がある。そうした限界性をリアルに認識しながら、同時に教授方法・技術の彫琢・駆使に努めること——その姿勢は、教員に求められる資質の一つであろう。

引用・参考文献

- 秋田喜代美(2014)「授業の本質とは——子どもにとっての学びがいのある授業をめざして」、『教育展望』第60巻第2号、教育調査研究所。
- 五十嵐顕・太田堯・山住正己・堀尾輝久編(1982)『岩波教育小辞典』岩波書店。
- 市川 浩(1990)『〈中間者〉の哲学——メタ・フィジックを超えて』岩波書店。
- 稲越孝雄・岩垣攝・根本橋夫(1991)「学級集団研究における教育学と教育心理学の統合的発展をめざして」、稲越孝雄・岩垣攝・根本橋夫編著『学級集団の理論と実践——教育学と教育心理学の統合的発展をめざして』福村出版。
- 岩垣攝(1991)「学び合いの組織化と学習集団の形成」、稲越孝雄・岩垣攝・根本橋夫編著『学級集団の理論と実践——教育学と教育心理

- 学
- の統合的発展をめざして』福村出版。
- 大西忠治(1987a)「実践のポイント 授業・第4回 神保・浅利さんの学級通信より」、全国生活指導研究協議会編『生活指導』第372号、明治図書。
- 大西忠治(1987b)「実践のポイント 授業・第5回 発問からはじまる授業への疑い」、全国生活指導研究協議会編『生活指導』第374号、明治図書。
- 大西忠治(1987c)「実践のポイント 授業・第6回 からみ・ミニ記録・ものいわぬ学級」、全国生活指導研究協議会編『生活指導』第375号、明治図書。
- 大西忠治(1987d)「実践のポイント 授業・第8回 指名発言をどうするか」、全国生活指導研究協議会編『生活指導』第378号、明治図書。
- 大西忠治(1990)『生活指導入門』青木書店。
- 木内 剛(1992)「問題41 机間巡視の意義について述べよ」、柴田義松編著『ポイント教育学 教育の方法』学文社。
- 剣持武彦(1978)『「間」の日本文化』(講談社現代新書) 講談社
- 小西二郎(2012)「特別活動の今日的課題に関する一考察」、『北海道情報大学紀要』第24巻第1号。
- 小西二郎・高島裕美(2014)「＜進路指導—学習指導・生徒指導＞の下方スパイラル的困難化に関する予備的考察」、『北海道情報大学紀要』第25巻第2号。
- 齋藤 孝(1991)「教室の雰囲気と教師の〈構え〉——齋藤喜博における教師の身体」、日本学校教育学会編『学校教育研究』第6号、東信堂。
- 櫻井茂男(2014)「学習意欲を育てる授業づくり」、『教育展望』第60巻第2号、教育調査研究所。
- 佐藤英二(2010)「教科教育」、高野和子・岩田康之編『教育実習』学文社。
- 佐藤公治(2013)『学びと教育の世界——教育心理学の新しい展開』あいり出版。

- 佐藤 学(1996)『教育方法学』岩波書店。
- 柴田義松(2009)「青年期の発達課題と社会科教育」、臼井嘉一・柴田義松編著『〈新版〉社会・地歴・公民科教育法』学文社。
- 白石陽一(2001)「授業における展開とタクト」、山下政俊・湯浅恭正編著『教育の方法——明日の学びを演出する』ミネルヴァ書房。
- 宗和太郎(1993)「学校教育とカリキュラム」、平野智美編著『教育方法・技術』八千代出版。
- 谷川彰英(1991)「教師と子どもの『向き』について——『机間巡視』との関連で」、『現代教育科学』第420号、明治図書。
- 中山幸夫(1993)「現代の教授・学習理論」、平野智美編著『教育方法・技術』八千代出版。
- 三上和夫(1992)「もうひとつの教育改革——通学区域と学校改革」、杉江修治・三上和夫編『誰のための高校——高校入試制度改革への実践的・実証的提言』合同出版。
- 宮原武夫(2006)「初期社会科と問題解決学習」、実教出版編『地歴・公民科資料』第62号、<http://www.jikkyo.co.jp/download/29/> (2013年12月28日アクセス)。
- 山崎政三(1993)「授業の展開」、平野智美編著『教育方法・技術』八千代出版。
- 占田辰雄(1999)「学習指導」、占田辰雄・大森正編著(1999)『教職入門——教師への道』図書文化。

先生の御厚情に報いるためにも、今後、一層精進せねば、とあらためて思う次第である。

謝辞

本学の通学・通信双方の科目「教育制度論」の初代担当者であった西本肇先生が、御存命であれば、北海道大学を御退職となるのが今年度をもってであった。本稿は、そうしたことから、私なりに作成した幻の“<紀要・退職記念号>論文”である（あまりに拙く、先生に顔向けできないのだが）。

私も、今年度中（2月）に、奇しくも、先生が逝去なさった時と同じ年齢（51歳）となる。先生に比して、己はなんと不甲斐ないことか、今更ながらつくづくそう思う。

〈論文〉

「教職の意義等に関する科目」のねらいについての断章

小西二郎*

A Fragment of Consideration of Aims of A Subject of
“Studies on Teaching Profession”

Tsugio KONISHI*

要旨

本稿では、「教職の意義等に関する科目」の意義について考察するとともに、それを通して、教員養成教育の問題点について検討する。

『教職に関する科目』の拡散傾向とそれらの内容の統合の欠落傾向は、そうした問題点の中で最も重要なものの一つである。それは、「教育研究の、専門諸科学への拡散」傾向を反映している。「教職の意義等に関する科目」には、そうした問題を克服する潜在的可能性がある。

Abstract

I discuss significance of a subject of “studies on teaching profession” in this paper. Through it, I consider issues of pre-service education for teachers.

One of the most important issues is that there are tendencies toward decentralization of and the lack of integration of the contents in subjects of teaching, guidance and counseling and schooling of the teacher training course. It reflects decentralization of studies of education toward human and social sciences as separate discipline. The subject of “studies on teaching profession” has potential to solve the issue.

キーワード

教職の意義等に関する科目 (Subject of “Studies on Teaching Profession”) 教員養成
(Pre-service Education for teachers) 教職課程 (teacher training course)

* 北海道情報大学 経営情報学部 先端経営学科 准教授, Associate Professor, Department of Business and Information Systems (Dept. of BIS), HIU

1. はじめに

私は、教育学部・教育社会学講座出身ではあるものの、私の研究は、教員養成教育とはいささか距離があった。

その私が、2005年度、教職課程担当教員として本学に着任した。本学は、教員養成が教育・人材育成戦略のメインとしては据えられてはいない、いわゆる一般大学（＝非教員養成大学、非目的大学）である。そうした大学での教職課程担当となり、教員養成に向き合うようになった。

こうしたく「非教員養成大学の中での教員養成」の担当者の一人という立ち位置、しかもその担当者は教員養成系の学部・大学に比べると少ないため、その分、教職課程の様々な学内・学外業務にあたらねばならないという事情——こうした状況は、私を、一層、教員養成教育に向かい合わせるものとなった。

しかも、本学に着任して早々、私は、「教職に関する科目」群の中で「教育原理」、「教育課程論」とともに要の科目となっている「教職概論」（本学における「教職の意義等に関する科目」系科目）を担当し、以降、2年、続けることとなった。それによって、私の、教員養成教育への傾注がますます促された。

そして、10年経った。結局のところ、この10年は、＜教育学部出身ではあるが、元々は教員養成教育プロパーではない者が、非教員養成大学の中の教員養成担当となった＞という微妙な位置関係の中で、教員養成担当（＝いわゆる教職課程担当）教員として自分を作って行く10年であった。

この間、今日の日本の教員養成のありようについていろいろ考えることとなった。それは、上述のような微妙なプロセスを経てきたからこそではないか、と自分では解している。

2. 「教職に関する科目」の拡散傾向

今日の日本の教員養成のありようについて考えたことの一つに、非教員養成系学部・大学だけでなく、教員養成系学部・大学も含めて、日本の教員養成全般に広くみられる問題性がある。それは、教員養成諸科目が並列的に教えられ、それらの内容の統合については学生に委ねられていることである（佐久間(2013)p.118）¹⁾。言うなれば、“丸投げ”である。

この問題性は二つの位相からなると思われる。一つ目の位相は、教科専門と教職専門の並列性と、それらの内容の統合の学生への“丸投げ”である（船寄(2011)p.124、横須賀(2010)p.46）。

しかし、この問題性はそれにとどまるものではないと思われる。教職専門の側自体にもそうした傾向があるのではないだろうか。つまり、一連の「教職に関する科目」群を通した教育も並列的になされ、それらの内容の統合もまた学生に委ねられているのではないか、ということである。二つ目の位相とはこれである。

その根底には、「教育研究の、専門諸科学への拡散」傾向があるだろうと私はみている。

教育研究は、専門諸科学（哲学、思想研究、歴史学、行政学、法学、社会学、心理学等）による教育現象へのアプローチによってなされる、と措定される傾向が強い。「教育研究＝『教育〇〇学／論』（例えば、教育哲学、教育

1) このほかに、「免許状授与の開放制」下の非教員養成系学部・大学（＝非目的学部・大学、一般学部・大学）がとりわけ強くはらんでいる問題性がある（これは「開放制」そのものが問題だということではなく、「開放制」が随伴している問題性という意味である）。それは、船寄俊雄がいう「アカデミズムの陥穽」（船寄(2011)）である（向山(1987)p.34も参照）。それは、端的にいえば「（教科にまつわる）専門諸科学を学ぶだけで／たくさん学べば、自ずとよい教員になれる」とするもので、素朴というか、あまりに粗雑で乱暴な考えである。この中には、「開放制」を錦の御旗ないしは隠れ蓑にして、必要な教育を行なわないことの隠蔽を企図する意味内容のものもあるだろう。

行政学、教育心理学等々)」という構図だ。確かに、単なる規範的教育学を超えるには、こうした学問定立は必要なことではある。しかしながら、これでは、教育研究は同時に、それぞれが拠って立つ個々の専門諸科学のディシプリン・ベクトルによる拡散の傾向をはらむことにもなる²⁾。その結果、「教育研究に欠落しているもの、それは『教育学』という学問的状况さえ、ともすれば呈するに至った。すなわち、「教育研究における<学問ディシプリンによる専門諸科学への拡散傾向による、「教育」研究の希薄化・不在化>」の進行である。

* かつて、北海道大学教育学部でも、こうした傾向の、学部内での存在が指摘・問題視され、それをめぐって議論がなされた。

1970年代末、当時の若手・中堅教員層において、そうした学問的状况に対する危機感が広がり始めた。そして、1984年から3年連続して開かれた教育学部フォーラムにおいて、学部の将来構想との関わりで議論されるに至り（北海道大学教育学部(1985)(1987)参照）、その成果は90年の大学院改革構想に一応はつながった。

その改革を主導した考えは、「過去10数年における学部の研究・教育には、『教育学』不在、教育問題へのかかわりの希薄さ、互いの研究を統合しようとする意欲の欠如といった重大な欠陥が存在していたのではないか」（北海道大学教育学部将来計画検討委員会

(1989)という問題意識に立ち、『教育科学』の構築」に向けて、とりあえず“中範囲”での統合化をはかる、というものであった。

ちなみに、この試みが、その後、どうなったのか、うまく行ったのかについては、評価は分かれる。

本学に着任して、そのことをあらためて認識した。その一番のきっかけは、「教職の意義等に関する科目」である「教職概論」を担当したことだった。後述するように、「教職の意義等に関する科目」は、上で述べた「教育研究の、専門諸科学への拡散」傾向を反映しており、それは、各大学で実際に教えられている教育内容に端的に現れている。次にその点についてみることにしよう。

3. 「教職の意義等に関する科目」のねらいと実際の教育内容

「教職の意義等に関する科目」の実際の教育内容についてみる前に、まずその前提となる本科目のねらいについて確認する。これは法令によって枠づけられており、その遵守が義務付けられている。そして、ねらいについて確認した上で、実際の教育内容について考察する。

3-1 「教職の意義等に関する科目」のねらい

「教職の意義等に関する科目」の設置は、1997年7月に出された教育職員養成審議会の第一次答申「新たな時代に向けた教員養成の改善方策について」に端を発する。そして本科目は1998年度、教育職員免許法及び同施行規則の改正により新設され、2000年度から実施された³⁾。

この科目のねらいも法令で定められている。教育職員免許法施行規則では、「教職の意義等

²⁾ 樋口聡も、日本の教員養成の課題について論じた論文の中で同様のことを示唆している。樋口は教育哲学を例にとり、次のように述べている——「学問研究が進展し、その学術的水準が上がるにつれて、教育哲学は、一般の哲学と同等の問題意識や方法を取ることになる。と同時に、教育哲学は学校現場が抱える課題に答えることからは遠ざかり、むしろ、『教育』は、研究者にとって、哲学という学問の学問的関心を掻き立てる格好の研究対象である（にしかすぎない）、といった状況が生れるのである」（樋口(2008)p.4)。

³⁾ 「教職の意義等に関する科目」の新設に至るまでの経緯については、藤原(2002)、日高(2006)、岩田(2012)参照。

に関する科目」に含めることが必要な事項として、「教職の意義及び教員の役割」「教員の職務内容」「進路選択に資する各種の機会の提供等」の三つが定められている。

そして、本科目の履修は、はやい段階（なるべく1年次）にさせることが推奨されている。

3-2 「教職の意義等に関する科目」の教育内容をめぐって

多くの大学で、本科目の内容は、生徒理解や教育課程、学習指導、生徒指導、特別活動、学級経営、学校組織・運営（管理職、職員会議、校務分掌等）、研修等といった各分野の基礎的な部分を集めたものとなっている。いかなれば、他の一連の「教職に関する科目」——具体的には「教育制度論」、「教育心理学」、「教育課程論」、「特別活動論」、「教育の方法と技術」、「生徒指導」等の基礎部分について講じる、「『教職に関する科目』概論」としての「教職概論」でもというべき内容となっているのである。

この科目の内容が、少なくともある程度はそうなることは問題ではない。先述のように、法令により、そもそも「教員の職務内容」が本科目に含めるべき内容の一つとなっている。そして、開講年次をなるべく1年次とすることになっているため、本科目は「教職に関する科目」の入門的な科目となるのは当然だろう。そうすると、多少なりとも、各分野の基本について教授することに自ずとになってしまうものだ。しかも、それはそれで必要かつ有意義なことである。

しかしながら、<「教職に関する科目」の拡散及び内容の統合の欠落>傾向（その底流には、「教育研究の、専門諸科学への拡散」傾向がある）のため、結局のところ、各分野のダイジェストを単に寄せ集めて、オムニバス形式で教授することになってしまう上に、かなりの分量となることもあって、ともすればそれだけで終わってしまう場合も少なくない

4)。

このように、多くの大学で、「教職の意義等に関する科目」は、「『教職に関する科目』概論」としての「教職概論」となっている。しかし、本来、そうあってはならない。あくまでも、「『教職』に関する概論」としての「教職概論」でなければならないはずだ。

それには、<この科目の、他科目に還元され得ぬ独自の必要性・重要性>が中軸に座っていなければならないだろう。では、その<独自の必要性・重要性>をどう措定するのが妥当か。最後にその点について述べることにしよう。

4. まとめにかえて

ここで注目すべきは、本科目のねらいの一つとして法令で定められている「教職の意義及び教員の役割」である。私は、「『教職の意義及び教員の役割』、しかも今日的状況におけるそれは何か」という問いを、受講生が、自らの課題として、かつ social issue として立論し、抱えることを促すこと——これこそが本科目の中軸に座っていなければならない、と考える。そして、そうした立論を行なうにあたって、まずなすべきことは、学校教育の本源的困難性の今日的発現（この点については、小西(2012)、小西・高島(2014)を参照のこと）について考察することだと考える。これは、教員という存在及び教員による教育実践の展開の社会的基盤だからである。

上述の問いが受講生において、自らのものとして、かつ social issue として立論されれば、授業で設けられる「進路選択に資する機会」（これは、先述のように、「教職の意義等に関する科目」のねらいの一つである）も真にそうした機会となるだろう。

4) 「教職の意義等に関する科目」のテキストとして書かれた本の中には、他の一連の「教職に関する科目」のダイジェストをオムニバス形式で論述しているものがある。

そしてさらに、この問いは、受講生にとっても、教職専門担当教員にとっても、ともすれば拡散的になっている、教職専門科目（＝「教職に関する科目」）の内容に関する統合的考察を促す契機にもなるだろう。なぜならば、「教育研究の焦眉の一論点」である「教師の教育実践とその自己認識である実践論」の核心である、「親・教師・子どもの関係、しかも公教育として編成された三者の関係（中略）を媒介する教師の行為と実践（『教育的専門事項』に関する判断と応答性）の意味」⁵⁾（西本(1989)p.122）を問うことにつながるものだからである。

「教職の意義等に関する科目」は、期せずして、このようなポテンシャルを秘めるものとなっている——このように解し、この科目を“活用”するのがよいと思う次第である。

引用・参考文献

- 岩田康之(2012)「教育学と教職論」、岩田康之・高野和子編『教職論』学文社。
- 向山浩子(1987)『教職の専門性』明治図書。
- 小西二郎(2012)「特別活動の今日的課題に関する一考察」、『北海道情報大学紀要』第24巻第1号。
- 小西二郎・高島裕美(2014)「<進路指導—学習指導・生徒指導>の下方スパイラル的困難化に関する予備的考察」、『北海道情報大学紀要』第25巻第2号。
- 佐久間亜紀(2013)「教員養成改革の動向——『教職実践演習』の意義と課題」、日本教育方法学会編『教育方法42 教師の専門的力量と教育実践の課題』図書文化。
- 西本 肇(1989)「伝統的常識的教育学批判——

規範主義と技術主義をこえて」、『窓』第1号、窓社。

- 樋口 聡(2008)「日本の教員養成の現状と課題——中教審の動きといくつかの事例から」、樋口聡編『グローバル時代における教職教養のモデル構築のための日澳国際比較研究』（課題番号17402040 平成17-19年度科学研究費補助金・基盤研究(B)(海外学術調査)研究成果報告書）。
- 日高和美(2006)『「教職の意義等に関する科目」をめぐる今日的動向』、九州大学大学院人間環境学府 教育経営・教育法制研究室編『教育経営学研究紀要』第9号。
- 藤原幸男(2002)『「教職の意義等に関する科目」の実践的研究——教職像・教職志望を中心に』、『琉球大学教育学部紀要』第60集。
- 船寄俊雄(2008)「開放制教員養成システムについて考える」、日本教師教育学会編『日本の教師教育改革』学事出版。
- 船寄俊雄(2011)「教師教育史研究の方法と課題——日本教育史研究の立場から」、岩田康之・三石初雄編『現代の教育改革と教師——これからの教師教育研究のために』東京学芸大学出版会。
- 北海道大学教育学部(1985)『われわれの研究の将来——1984年教育学部フォーラム』。
- 北海道大学教育学部(1987)『教育学部の将来——1986年教育学部フォーラム』。
- 北海道大学教育学部将来計画検討委員会(1989)『中間答申』。
- 文部科学省(2014)『《平成26年度改訂版》 教職課程認定申請の手引き』文教協会。
- 横須賀薫(2010)『新版 教師養成教育の探求』春風社。

⁵⁾ 西本肇は、この実践論では、「プロフェッショナルな教育者たる教師が自己の実践上の内的確信をプロフェッス（告白）するに足る教育実践上の中身を創造することが求められている」とし、「この教育実践の中身を創造していく研究は、狭く教科教育学、教授方法論等にも課せられていて十分なのではない」（西本(1989)p.124）と述べている。この提起をどう受けとめ、そしてどうこれに応えるか——今、このことが鋭く問われているように思う。

〈論 文〉

境界型糖尿病患者の2型糖尿病発症に対する
HbA1cの予測因子としての有用性の検討

佐藤 浩樹* 吉岡 英治†

The efficiency of predictor as HbA1c for type 2 diabetes
occurrence in prediabetes subjects

Hiroki SATOH* Eiji YOSHIOKA†

要旨

境界型糖尿病は2型糖尿病発症の前段階であり、生活改善により正常耐糖能に回復が見込める一方で、2型糖尿病に進展しやすい病態と報告されている。2型糖尿病は心血管疾患発症に対する高リスクな病態であり国をあげての予防対策が現在行われている。しかしながら、境界型糖尿病から2型糖尿病への進展に対する予測因子の検討は十分になされていない。このような背景より、今回我々は中年男性境界型糖尿病患者を対象として、3年間のフォローアップを行い、2型糖尿病発症の予測因子としてのHbA1c (hemoglobin A1c)の有用性について検討を行った。75g糖負荷試験により境界型糖尿病と診断された中年男性245名を研究対象者とし、ベースライン調査として、年齢、BMI(body mass index)、生活習慣、糖尿病家族歴、既往歴、生活習慣病因子(血圧、脂質、血糖値)を検討した。3年間のフォローアップ後に再度75g糖負荷試験を行った結果、2型糖尿病、境界型糖尿病、正常者の割合はそれぞれ37名(15.1%)、108名(44.1%)、100名(40.8%)であった。3群におけるベースライン時の基本属性では、年齢、収縮期血圧、拡張期血圧、空腹時血糖値、随時血糖値(2時間値)、HbA1c値は正常、境界型糖尿病、2型糖尿病と病態が進展するに従い高値であり有意差を認めた。HbA1c値を4分位(≤5.0, 5.1-5.3, 5.4-5.6, ≤5.7%)に分類し検討した結果、2型糖尿病発症者はHbA1c≤5.0%, 5.1-5.3%, 5.4-5.6%, ≤5.7%群においてそれぞれ、6名(9.0%)、7名(11.3%)、10名(16.7%)、14名(25.0%)であった。空腹時血糖値を含む多重ロジスティック解析を行った結果、HbA1c値5.7%以上の2型糖尿病発症に対するオッズ比は3.92であり独立した有意な因子であった(95%信頼区間:1.40-10.98, P<0.05)。以上の結果より、境界型糖尿病患者においてHbA1c値5.7%以上は2型糖尿病を発症する危険性が有意に高く、予防医学的な介入を行ううえでの有用な予測因子になりえることが示唆された。

キーワード

境界型糖尿病 (prediabetes) 2型糖尿病 (type II diabetes) HbA1c (hemoglobin A1c)

*北海道情報大学医療情報学部医療情報学科教授, Professor, Department of Medical Management and Informatics (Dept. of MMI), HIU

†旭川医科大学健康科学講座准教授, Assistant Professor, Division of Community Medicine and Epidemiology, Department of Health Science, Asahikawa Medical University

1.はじめに

近年、世界規模で2型糖尿病患者は急激な増加を認め、International Diabetes Federationの報告によると、2030年には5億人に達すると報告されている[1]。我が国においては、2012年度国民健康・栄養調査の報告によると2型糖尿病患者は950万人、境界型糖尿病患者は1,100万人と報告され、2型糖尿病および境界型糖尿病を含めた耐糖能異常は日本での国民病となりつつある[2]。2型糖尿病は心血管疾患発症に対する高リスクな疾病の1つであるが、前段階の病態である境界型糖尿病も心血管疾患発症のリスクとして2型糖尿病と同等であると報告されており[3]、予防医学的早期介入の必要性が示唆される。このような現状も加味し、2010年日本糖尿病学会は1999年以来11年ぶりに診断基準を改訂し、耐糖能異常の判定指標として、日内変動が大きく判定に苦慮する血糖値に加え、より安定な指標であるHbA1c (hemoglobin A1c)の追加を掲げ[4]、早期の診断および早期の介入により耐糖能異常者数の減少を目標としている。しかしながら、境界型糖尿病から2型糖尿病発症に対する有用な予測因子としての指標についての検討は十分になされていないのが現状である。

このような背景より、今回我々は、男性労働者の境界型糖尿病患者を対象として、経年的な耐糖能変化を観察することにより、2型糖尿病発症に対してHbA1cに注目し予測指標としての有用性について検討した。

2.目的

中年男性境界型糖尿病患者を対象として3年間の追跡調査を行い、経年的な耐糖能変化、2型糖尿病発症者の割合、2型糖尿病発症に対する生活習慣の違い、予測指標としてのHbA1cの有用性を検討することが本研究の目的である。

3.対象と方法

北海道に拠点を置く情報サービス会社に勤務する正社員の中で、2008年度に75g糖負荷検査

を含む人間ドック検査を受け、同意を得られた男性労働者526名を今回の研究対象とした。自記式質問票にて、年齢、現病歴(高血圧、高脂血症、糖尿病)、喫煙歴、飲酒歴、運動歴を検討した。飲酒歴は週1回以上のアルコール摂取のある者を飲酒歴あり、運動歴は週1回以上の運動習慣のある者を運動歴ありと定義した。BMI (body mass index)、収縮期および拡張期血圧、総コレステロール値、中性脂肪値、HDL (high-density lipoprotein)-コレステロール値、血糖値、HbA1c値は人間ドックにおける検査結果を参照とした。75gブドウ糖負荷検査にて、空腹時血糖値が110 mg/dL以上126 mg/dL未満かつ負荷後2時間血糖値が140 mg/dL以上200mg/dL未満の対象者を境界型糖尿病患者、空腹時血糖値が110 mg/dL未満かつ負荷後2時間血糖値が140 mg/dL未満の対象者を正常者、空腹時血糖値が126 mg/dL以上または負荷後2時間血糖値が200mg/dL以上の対象者を2型糖尿病患者と定義した。HbA1c値はJapan diabetes societyの診断基準を用いた。ベースライン調査にて、すでに2型糖尿病治療を受けている11名、糖負荷検査にて正常であった者248名、糖負荷検査にて2型糖尿病を認めた者6名、合計265名は研究対象から除外し261名が研究対象者となった。3年後のフォローアップ終了時まで追跡可能であった対象者は245名(93.9%)であった。3年後の人間ドックにおいて再度75gブドウ糖負荷検査を行い、ベースライン時の診断基準と同様に、正常、境界型糖尿病、2型糖尿病の3群に対象者を分類した。3年間のフォローアップ期間中に2型糖尿病を発症し治療を開始した対象者は糖負荷検査を施行せず、2型糖尿病群に分類した。三群間の比較は、実数についてはANOVA (analysis of covariate) test、割合についてはカイ2乗検定を用いた。糖尿病発症を説明変数とし、ベースライン時におけるHbA1c値4分位を従属変数として、年齢、高血圧および高脂血症の有無、BMI、収縮期血圧、総コレステロール値、中性脂肪値、HDL-コレステロール値、空腹時血

糖値で調整を行い、多重ロジステック解析を行い、HbA1c 値4分位と糖尿病発症との関連について調整オッズ比を算出し、相対危険度の推定とした。以上の統計学的解析は全てSPSSソフト(Ver. 19.0)を用い、 $P < 0.05$ を有意差ありと判断した。

4.結果

4-1. ベースライン時における対象者の基本属性を表1に示す。総数は245名で年齢は40~56才(平均 48 ± 3 才)、BMIの平均は $24.0 \pm 2.6 \text{ kg/m}^2$ であった。高血圧および脂質異常に対して内服治療をうけている対象者はそれぞれ59名(24.1%)、22名(9.0%)であった。HbA1c 値の範囲は4.1%から6.7%で平均は $5.3 \pm 0.4\%$ であった。

表1

ベースライン時における対象者の基本属性

年齢 (才)	48 \pm 3
Body mass index (kg/m ²)	24.0 \pm 2.6
喫煙者 人数 (%)	143 (58.4)
飲酒歴あり 人数 (%)	170 (69.4)
運動習慣あり 人数 (%)	79 (32.2)
糖尿病家族歴あり 人数 (%)	51 (20.8)
収縮期血圧 (mmHg)	120 \pm 13
拡張期血圧 (mmHg)	80 \pm 9
総コレステロール (mg/dL)	209 \pm 32
中性脂肪 (mg/dL)	102 (68-147)
HDL-コレステロール (mg/dL)	50 \pm 17
空腹時血糖値 (mg/dL)	104 \pm 9
随時血糖値(2時間値) (mg/dL)	157 \pm 15
HbA1c (%)	5.3 \pm 0.4
高血圧 人数 (%)	59 (24.1)
脂質異常 人数 (%)	22 (9.0)

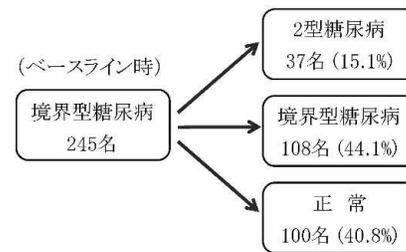
平均値 \pm 標準偏差

HDL, high-density lipoprotein

4-2. 対象者の経年的耐糖能変化を図1に示す。3年間のフォローアップで、2型糖尿病を発症した者は37名(15.1%)、境界型糖尿病継続者は108名(44.1%)、正常に回復した者は100名(40.8%)であった。

図1

対象者の経年的耐糖能変化
(3年後)



フォローアップ期間中の2型糖尿病発症者は全体の15.1%であった。

4-3. 3年後の耐糖能の違いによるベースライン時の基本属性を表2(別紙)に示す。2型糖尿病、境界型糖尿病、正常の3群の比較検討では、年齢、収縮期血圧、拡張期血圧、空腹時血糖値、随時血糖値(2時間値)、HbA1c 値に有意差を認めた。正常から2型糖尿病へと耐糖能異常が進展するに従い、空腹時血糖値、随時血糖値(2時間値)、HbA1c 値は高値であった。2型糖尿病、境界型糖尿病、正常のベースライン時におけるHbA1c はそれぞれ、 5.5 ± 0.4 、 5.3 ± 0.5 、 $5.3 \pm 0.4\%$ であった。

4-4. ベースライン時のHbA1c 値による耐糖能経年的変化を図2(別紙)に示す。対象者をHbA1c 値により4分位により分類した結果、HbA1c 値 $\leq 5.0\%$ 、5.1-5.3%、5.4-5.6%、 $\leq 5.7\%$ の対象者数はそれぞれ、67名、62名、60名、56名であった。各群におけるフォローアップ期間における糖尿病発症者は、HbA1c 値 $\leq 5.0\%$ 、5.1-5.3%、5.4-5.6%、 $\leq 5.7\%$ 群においてそれぞれ、6名(9.0%)、7名(11.3%)、10名(16.7%)、14名(25.0%)であった。ベースライン時のHbA1c 値が上昇するとともに2型糖尿病発症者は増加する傾向を認めた。

4-5. HbA1c と2型糖尿病発症との関連を表3(別紙)に示す。年齢を調整因子としてロジステック解析を行った結果、HbA1c 値5.7%以上の対象群における2型糖尿病発症のオッズ比は4.41であった(95%信頼区間:1.34-14.49, $P < 0.01$)。空腹

時血糖値を含む独立変数全てを調整因子としてロジスティック解析を行った結果、オッズ比は3.92でありHbA1c値5.7以上は2型糖尿病発症に対する独立した有意な因子であった(95%信頼区間:1.40-10.98, $P<0.05$)。

5. 考察

今回の研究で、日本人中年男性境界型糖尿病患者を3年間経過観察した結果、15.1%に2型糖尿病が発症し、またベースライン時のHbA1c値5.7%以上は2型糖尿病発症に対する有意な予測因子であることが明らかとなった。

境界型糖尿病は一般的に2型糖尿病と耐糖能正常の間に位置し、2型糖尿病発症に対する高リスクの病態であり[5]、さらに2型糖尿病と同等に動脈硬化を進展する病態であると報告されている[6]。さらに、DECORD (Diabetes Epidemiology: Collaborative analysis of Diagnostic criteria in Europe) スタディーの報告によると、境界型糖尿病は正常と比較して心血管死リスクが1.09~1.34倍、死亡率リスクが1.11~1.40倍であることを報告している[7]。一方で、本研究において境界型糖尿病患者の40.8%がフォローアップ期間中に耐糖能が正常に回復した。以上の結果より、境界型糖尿病は予後を含む合併症予防および病態改善の観点から早期介入の重要性が示唆される。

本研究において境界型糖尿病患者の15.1%が3年間の経過観察にて2型糖尿病を発症した。過去の研究結果において、3~7年の経過観察にて境界型糖尿病患者の12.7~64.5%に2型糖尿病の発症を認めたと報告されており[8-10]、本研究は先行研究と同様の結果であった。一方、耐糖能正常から2型糖尿病発症の割合は0.3~4.7%と報告されている[8-10]。したがって、境界型糖尿病は2型糖尿病発症に対して高リスクな病態であることが明らかで、2型糖尿病発症進展の観点からも積極的介入が必要な病態であることが示唆される。

境界型糖尿病から2型糖尿病進展への予測因

子として糖負荷検査における空腹時血糖値、2時間後血糖値、HbA1c値などの指標の有用性がこれまで報告されている[9, 11, 12]。de Vegtらはオランダ人を対象とした研究にて、糖負荷検査における空腹時血糖値が9.36 mg/dL、2時間後血糖値が29.33 mg/dL増加すると2型糖尿病発症リスクがそれぞれ2.32倍、1.97倍増加することを報告し、空腹時血糖値および2時間後血糖値の予測因子としての重要性を報告した[9]。Cederbergらはフィンランド人を対象とした研究にて、空腹時血糖値、2時間後血糖値、HbA1cのいずれもが予測因子として有用であることを報告した[11]。Heianzaらは日本人を対象とした研究にて空腹時血糖値およびHbA1cの検査の組み合わせが予測因子になりえることを報告した[12]。HbA1cは過去2~3ヶ月の平均血糖値の測定指標であり[13]、血糖値と比較して食事等の影響が少なくより再現性の高い指標と報告されており[14]、空腹時および随時血糖値と比較して安定した予測因子となりえることが予想される。しかしながら、これまでの報告では具体的なHbA1cカットオフ値についての報告は少ないのが現状である。さらに、HbA1c値は人種における特異性があることも報告されており[15]、日本人のみを対象とした研究が必要である。今回我々の研究結果より、男性境界型糖尿病患者においてはHbA1c値5.7%以上が2型糖尿病の発症に対する予測因子になりうることが示唆された。

今後、過食および運動不足などの生活習慣悪化により境界型糖尿病患者はますます増加することが予想される。本研究により、特定健康診査に含まれることが多いHbA1c値を有効に活用し、2型糖尿病発症抑制を目的とした企業の労働者に対する健康施策への新たな取り組みの必要性が示唆された。

6. まとめ

男性境界型糖尿病労働者を3年間経過観察した結果、15.1%が2型糖尿病を発症し、ベースラ

イン時のHbA1c値5.7%が糖尿病発症に対する予測因子になる可能性が示唆された。

参考文献

- [1] Whiting DR, et al. (2011) *IDF diabetes atlas: global estimates of the prevalence of diabetes for 2011 and 2030. Diabetes Res Clin Pract* 94, pp.311-21.
- [2] 厚生労働省. (2014) *国民健康・栄養調査結果の概要* pp.7-9.
- [3] Unwin N, et al. (2002) *Impaired glucose tolerance and impaired fasting glycaemia: the current status on definition and intervention. Diabet Med* 19, pp.708-23.
- [4] *糖尿病治療ガイド*. (2010) *糖尿病* 2010 53, pp.450-67.
- [5] Ferrannini E, et al. (2011) *Pathophysiology of prediabetes. Med Clin North Am* 95, pp.327-39, vii-viii.
- [6] American Diabetes A. (2010) *Standards of medical care in diabetes--2010. Diabetes Care* 33 Suppl 1, pp.S11-61.
- [7] Decode Study Group tEDEG. (2001) *Glucose tolerance and cardiovascular mortality: comparison of fasting and 2-hour diagnostic criteria. Arch Intern Med* 161, pp.397-405.
- [8] Shaw JE, et al. (1999) *Impaired fasting glucose or impaired glucose tolerance. What best predicts future diabetes in Mauritius? Diabetes Care* 22, pp.399-402.
- [9] de Vegt F, et al. (1998) *The 1997 American Diabetes Association criteria versus the 1985 World Health Organization criteria for the diagnosis of abnormal glucose tolerance: poor agreement in the Hoorn Study. Diabetes Care* 21, pp.1686-90.
- [10] Wareham NJ, et al. (1999) *Fasting proinsulin concentrations predict the development of type 2 diabetes. Diabetes Care* 22, pp.262-70.
- [11] Cederberg H, et al. (2010) *Postchallenge glucose, A1C, and fasting glucose as predictors of type 2 diabetes and cardiovascular disease: a 10-year prospective cohort study. Diabetes Care* 33, pp.2077-83.
- [12] Heianza Y, et al. (2011) *HbA1c 5.7-6.4% and impaired fasting plasma glucose for diagnosis of prediabetes and risk of progression to diabetes in Japan (TOPICS 3): a longitudinal cohort study. Lancet* 378, pp.147-55.
- [13] Woerle HJ, et al. (2004) *Diagnostic and therapeutic implications of relationships between fasting, 2-hour postchallenge plasma glucose and hemoglobin a1c values. Arch Intern Med* 164, pp.1627-32.
- [14] Barr RG, et al. (2002) *Tests of glycemia for the diagnosis of type 2 diabetes mellitus. Ann Intern Med* 137, pp.263-72.
- [15] Christensen DL, et al. (2010) *Moving to an A1C-based diagnosis of diabetes has a different impact on prevalence in different ethnic groups. Diabetes Care* 33, pp.580-2.

表2

3年後の耐糖能の違いによるベースライン時の基本属性

	2型糖尿病 (37名)	境界型糖尿病 (108名)	正 常 (100名)	P for trend
年齢 (才)	49±4	47±4	49±4	<0.05
Body mass index (kg/m ²)	24.5±3.0	24.2±2.6	23.6±2.5	0.12
喫煙者 人数 (%)	24 (64.9)	67 (62.0)	52(52.0)	0.23
飲酒歴あり 人数 (%)	24 (64.9)	77 (71.3)	69 (69.0)	0.76
運動習慣あり 人数 (%)	13 (35.1)	32 (29.6)	34 (34.0)	0.73
糖尿病家族歴あり 人数 (%)	9 (24.3)	20 (18.5)	22 (22.0)	0.70
収縮期血圧 (mmHg)	119±14	122±11	117±13	<0.05
拡張期血圧 (mmHg)	78±10	82±9	78±10	<0.05
総コレステロール (mg/dL)	207±33	213±30	205±33	0.24
中性脂肪 (mg/dL)	155 (101-223)	134 (89-195)	114 (80-182)	0.90
HDL-コレステロール (mg/dL)	50±17	55±20	55±20	0.36
空腹時血糖値 (mg/dL)	110±9	104±9	101±7	<0.001
随時血糖値(2時間値) (mg/dL)	164±17	158±14	153±13	<0.001
HbA1c (%)	5.5±0.4	5.3±0.5	5.3±0.4	<0.01
高血圧 人数 (%)	9 (24.3)	31 (28.7)	19 (19.0)	0.26
脂質異常 人数 (%)	6 (16.2)	12 (11.1)	4 (4.0)	0.05

平均値±標準偏差
HDL, high-density lipoprotein

表3

HbA1cと糖尿病発症との関連

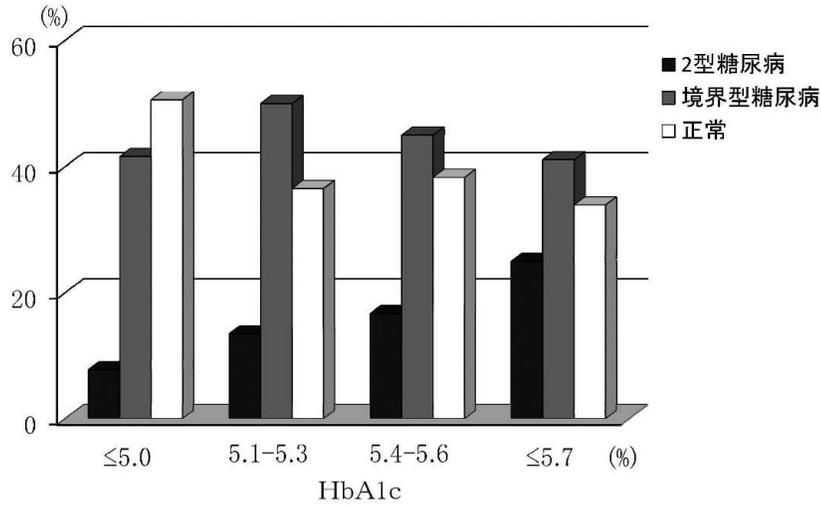
	HbA1c				P for trend
	≤5.0 (67名)	5.1-5.3 (62名)	5.4-5.6 (60名)	5.7≤ (56名)	
糖尿病 人数 (%)	6 (8.9)	7 (11.3)	10 (16.7)	14 (25.0)	
モデル1, オッズ比 (95%信頼区間)	1.00	2.13 (0.58-7.84)	3.20 (0.95-10.72)	4.41 (1.34-14.49)	<0.01
モデル2, オッズ比 (95%信頼区間)	1.00	2.11 (0.64-6.94)	2.22 (0.74-6.63)	4.05 (1.40-11.74)	<0.05
モデル3, オッズ比 (95%信頼区間)	1.00	1.92 (0.60-6.11)	2.34 (0.80-6.86)	3.92 (1.40-10.98)	<0.05

モデル1, 年齢で調整

モデル2, 年齢, body mass index (BMI), 糖尿病家族歴, 喫煙, アルコール, 運動習慣にて調整

モデル3, 年齢, body mass index (BMI), 糖尿病家族歴, 喫煙, アルコール, 運動習慣, 空腹時血糖値, 収縮期血圧, 総コレステロール, 中性脂肪, high-density lipoprotein (HDL)-コレステロールにて調整

図2
ベースライン時のHbA1c値による耐糖能経年変化



ベースライン時のHbA1c高値に従い2型糖尿病患者は増加した。

〈論 文〉

SDN を構成するネットワークサービス間の
連携を実現する方式に関する研究

高橋基* 中島潤†

Studies on the method to realize the cooperation between network
services and control plane of SDN

Motoi Takahashi* Jun Nakajima†

要旨

OpenFlow を筆頭に SDN(Software-Defined Networking)が注目されている。多くの場合、既存の SDN アーキテクチャでは、ファイアウォールやロードバランサなどのネットワークサービスが、SDN コントローラの API を利用するといった一方向の連携のみが想定されている。よって、ネットワーク上に発生した障害をネットワークサービスへリアルタイムに通知するなど、制御プレーンからネットワークサービスへ能動的に連携を行う際に問題が生じる。本研究では、双方向性を兼ね備え、ネットワークサービス間の連携を実現するフレームワークを提案し、その実装を行なった。

Abstract

SDN (Software-Defined Networking) has attracted attention, led by OpenFlow. In many cases, the existing SDN architectures assume only the one-way network cooperation such that load balancers and firewalls use the API of the SDN controller. Therefore, a problem arises when the control plane intends to work with the network services, as exemplified by the circumstance that the network services are notified of the failures that occurred on its network in real time. In this study, we propose a framework which works interactively and realizes the cooperation between network services, and carried out its implementation.

キーワード

SDN(Software-Defined Networking) Northbound API OpenFlow

* 北海道情報大学大学院経営情報学研究所, Graduate School of Business Administration and Information Science, Hokkaido Information University

† 北海道情報大学経営情報学部准教授, Associate Professor, Faculty of Business Administration and Information Science, Hokkaido Information University

1. 序論

1-1 研究の背景

1-1-1 従来のネットワークアーキテクチャの課題と SDN

昨今、社会を支えるネットワークインフラの整備は進み、ネットワーク技術は著しい発展を遂げている。しかし、スマートフォンの普及やデータセンタ・クラウドコンピューティング技術の登場によってネットワークトラフィックは増加した。これに伴い、ネットワーク運用コストやスケーラビリティ、技術的な制約の問題を受け、従来のネットワークが抱える問題を解決し、柔軟性・迅速性を実現するための技術が求められていた。また、従来のネットワーク技術の仕組みでは、管理自動化が困難であり、ネットワーク機器を制御するプロトコルもベンダ固有であることが一般的であった。

これらの問題に対するソリューションの一つがSDN(Software-Defined Networking)であり、より柔軟でスケーラブルなネットワークの構築と運用管理の実現が期待できる新たなネットワーク技術として注目を集めている。SDNとは、ネットワークをソフトウェアで制御するために従来の垂直統合型システム[1]を分離し、ネットワークの柔軟性や迅速性、管理性の向上が期待できる新たなコンセプト、およびそれを実現する技術である[2]。SDNを実現する技術の一つであるOpenFlowは、従来のネットワーク機器のコントロールプレーンとデータプレーンを分離し、間のインタフェースのオープン化をした(図1.1)。インタフェースがオープンになったことで、コントロールプレーンを自由にプログラムし、任意のネットワーク制御ソフトウェアを組み込むことが可能となった。これによって従来のスイッチネットワークでは実現できなかった柔軟性・迅速性を備えたネッ

トワーク制御の実現が期待されている。

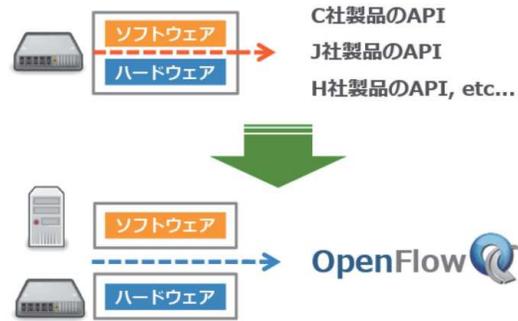


図 1.1

OpenFlowに対応したネットワーク機器

1-1-2 既存のSDNの課題

既存のSDNアーキテクチャは一般に3層に分けて考えられている(図1.2) [3] [4]。

ONF(Open Networking Foundation)[5]によると、アプリケーションレイヤとコントロールレイヤ間のAPIをNorthbound API, コントロールレイヤとインフラストラクチャレイヤ間のAPIをSouthbound APIとしている。

Southbound APIは業界唯一の標準であるOpenFlowプロトコルによる標準化が進められているが、Northbound APIの標準化は進められていない。現状では各団体、各ネットワークベンダ企業の製品によって異なったAPIが利用されており、独自の様々なNorthbound APIが混在している。既存のNorthbound APIは、コントロールレイヤがアプリケーションレイヤに対してネットワークの制御情報を提供する目的で設計されている。しかし、ネットワーク侵入検知システムやネットワークモニタリングシステムのように、インフラストラクチャレイヤで発生したイベントをアプリケーションへ通知する必要があるサービスでは、SDNコントローラからアプリケーションに対してリアルタイムに通知を行うべきであると考えられるが、既存のNorthbound APIの多くはREST(Representational State Transfer)[6]を用いたWeb APIを利用してい

るため、これをリアルタイムに実現することは容易ではない。このようなリアルタイム性を必要とするサービスを構築するためには、Northbound APIに双方向の通信を容易に実現する仕組みが必要であると考えた。

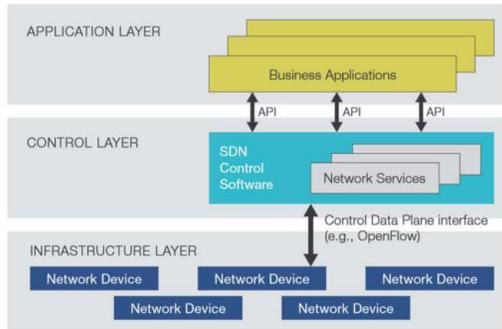


図 1.2

既存の SDN アーキテクチャ

<https://www.opennetworking.org/images/stories/downloads/sdn-resources/white-papers/wp-sdn-newnorm.pdf> より引用

1-1-3 双方向通信の実現方法

既存の SDN フレームワークで双方向の連携を実現することを考える。

Web技術による双方向通信

既存の SDN フレームワークに用いられる Northbound API は、REST によって設計された Web API によって実装されている。Web API を用いて双方向で連携を取ることを考えたとき、HTTP はコネクションレス型のプロトコルであり、クライアントからサーバに対してのみ能動的に通信を発生させられる。

Web をプラットフォームとするゲームや Web チャットシステム、あるいは常に最新の情報を必要とする株式情報を取り扱ったサービスでは、Web ブラウザと Web サーバ間でよりリアルタイムに通信を行ないたいというニーズが存在した。Web 上でリアルタイムに更新を行なう技術として Ajax 技術が登場したが、クライアントのリクエストにサーバがレスポンスを返すという Web のアーキテクチャとしての Web ブラウザと Web サーバ間の関係は変

わっておらず、Web サーバから能動的にリクエストを送ることは不可能であった。

そこで、擬似サーバプッシュを実現する Comet[7] が登場した。Comet では HTTP プロトコルを利用し、Web ブラウザからのリクエストに対して Web サーバはレスポンス処理を保留し、任意のタイミングでレスポンスを返すことで、任意のタイミングでサーバから情報を送信する。この仕組みをロングポーリングと呼び、既存の HTTP プロトコル上で実現できるというメリットがあったが、HTTP コネクションを長時間占有するために Web サーバのリソースを消費してしまう点と、タイムアウト毎に再接続が必要でありオーバーヘッドが発生する点に問題があった。

これらの問題に対して新たに登場したのが、WebSocket[8][9] である。WebSocket では、HTTP プロトコルの Upgrade ヘッダを使用し、Web ブラウザと Web サーバ間の通信を HTTP とは異なる軽量のコネクション型プロトコルへ切り替える。Ajax や Comet とは異なり、小さなオーバーヘッドと HTTP コネクションを占有しないという特徴があり、現在は W3C が API の策定を進めている。

このことから、リアルタイムに双方向で情報交換を行う場合には、コネクション型のプロトコルを利用する必要があると考えた。

個別開発による Northbound API

アプリケーション、SDN コントローラごとに独自に定義された Northbound API を使用し、連携対象となるアプリケーションごとに異なる API で連携を行なう方法がある。

しかし、マルチベンダ環境では、通信部分を個別に開発しなければならず、使用していたアプリケーションを更新する際には再度、通信部分を再開発が必要となる可能性がある。また、特定のアプリケーションに依存することによってベンダロックインに陥る可能性があり、特定のアプリケーションに依存しない、

オープンな通信プロトコル, Northbound API を利用することが望ましいと考えている。

1-2 研究の目的

本研究では、既存のSDNでは容易に実現できなかった、双方向性を持ったネットワークサービス間連携を実現するSDNフレームワークを提案する。既存のSDNフレームワークでは、コントロールレイヤからアプリケーションレイヤへ能動的に通信を発生させることが容易ではない。提案手法では、アプリケーションレイヤとコントロールレイヤ間だけでなくアプリケーション同士の連携も視野に入れ、双方向の連携を容易に実現するSDNフレームワークを提案する。

提案手法の有効性を確認するために、検証を行うための試作システムとして仮想ネットワークタッグ装置の構築を行なった。試作システムでは、双方向に連携が必要となる利用シナリオを想定し、アプリケーション同士が双方向に連携可能であることを確認する。

2. SDN の動向と研究対象領域

2-1 既存の SDN

SDN の明確な定義は存在しておらず、三者三様の捉え方がある。現在のSDNは、コントロールプレーンとデータプレーンをオープン化されたインタフェースによって分離し、ネットワーク構成管理、ネットワークリソース管理、ネットワークフロー管理などをソフトウェアによって実現可能とする技術・コンセプトの総称であると考えられる[2] [10] [11] [12]。SDN はデータセンターを中心に成熟した技術であり、データセンターにおける需要を満たしつつあるが、一般にLAN と呼ばれている大学や企業内ネットワークへのSDN

への導入も進んでいる。2012 年4 月に開催されたONF 主催のOpen Networking Summit 2012 では、米Google 社の持つデータセンター間のインターナルバックボーンネットワークのトラフィックは、全てがOpenFlow を用いたSDN によって運用されていることが、テクニカルインフラストラクチャー部門のシニア・バイスプレジデントであるUrs Hoelzle 氏によって発表されている[13]。米Google 社がSDNを採用した理由として、ネットワーク制御の集中管理による運用管理の効率化を挙げている。

また、国内においては、金沢大学附属病院のネットワークでOpenFlow を用いたSDN 導入事例もある[14] [15]。

2-1-1 本研究で取り扱う SDN

既存のSDN 技術・製品は、ネットワークの集中管理・可視化、ネットワーク・トポロジーの簡略化、1つのシステム環境を複数アプリケーションで共同して利用するマルチテナント環境の構築などを実現し、現在はデータセンターでの利用が活発である。従来のネットワーク技術で構築されたデータセンターでは、ネットワーク仮想化による管理の複雑化や、4094 個が最大個数であるVLAN ID の制限によるスケーラビリティの不足、などといった課題が存在していたが、これらはOpenFlow によって解決できる。データセンターは最もSDN の恩恵が得られる環境であり、キャリアネットワーク、サービスプロバイダでのSDN 適用には、NFV技術[16] [17] が選択されるように[18] [19] [20]、現状のSDN はデータセンターのニーズに応える技術であると考えられる[21]。

本研究では、一般にLANと呼ばれる大学や企業内ネットワーク、病院などで利用されているネットワークでのSDN 適用を視野に入れている。したがって、本研究で取り扱うSDN は、ネットワークプリンタやメールサーバ、

あるいは個人が所有するノートパソコンやスマートデバイスなどが混在する環境を想定している。

LAN と比較してデータセンターに無い要素として、無線LAN 環境やユーザ認証がある。無線LAN は不特定多数のユーザに利用され、想定外のユーザ端末が接続される可能性があり、組織内LAN においてユーザ認証は必須技術である。また、アプリケーションレイヤには、汎用サーバ上で動作するネットワークサービス以外にも、ユーザ端末上で動作するアプリケーションが存在し、Northbound 領域においては様々なアプリケーションとの連携可能性がある。

データセンターやキャリアネットワークのニーズは、仮想化による設備投資の最適化、リソース可視化による運用コストの最適化などで、それらはSouthbound 領域で解決されてきた。LAN に存在するエンドユーザのニーズに応えるためには、ユーザの持っている端末がどのようにしてSDN の恩恵を受けられるかが重要であり、エンドユーザが利用する上位のアプリケーションレイヤとコントロールレイヤ間のNorthbound 領域における連携が重要であると考えた。よって、本研究ではNorthbound 領域で発生するネットワークサービス間の連携を研究対象とする。

3. 新たな SDN フレームワークの設計

SDN を構成するネットワークサービス間の連携を想定し、SDN フレームワークで考慮すべき要件を明確にする。

3-1 既存の SDN フレームワーク

OpenDaylightは、Linux Foundationの運営によるSDN 製品・市場の活性化を目的としたオープンソースプロジェクトで、2013 年4

月に発足された。Linux Foundation は OpenDaylight を「コミュニティが様々な企業の力を借り、新しいイノベーションを進展させ、SDN に関するよりオープンで透明性の高いアプローチの構築を目指すオープンソースフレームワーク」としている[22]。実態として、複数の参加企業が自社のソースコードを持ち寄る形でSDNコントローラなどの複数の開発プロジェクトが存在しており、OpenDaylight プロジェクトとしてのファーストリリースは2013 年12 月上旬に予定されていたが数週間の遅延が発生し、2014年2月にリリースされた。OpenDaylight は、モジュラー・プラグインアーキテクチャを特徴としており(図3.1)、Java 仮想マシンによって動作する。SDN コントローラに実装されているNorthbound API は、REST 技術を用いたWeb API によって実装されている。

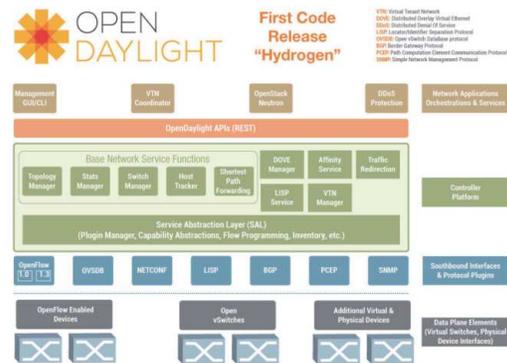


図 3.1

OpenDaylight コードネーム:
Hydrogen のアーキテクチャ

<http://www.opendaylight.org/announcements/2013/09/opendaylight-project-releases-new-architecture-details-its-software-defined>

より引用

3-2 ネットワークサービス間の連携を実現するための要件

本研究では、既存のSDN フレームワークでは容易に実現できなかった双方向通信を実現するSDN フレームワークを提案したい。そこ

で、提案するSDN フレームワークで満たすべき要件をまとめる。

3-2-1 双方向通信の確保

1.1 節で述べたように、既存のSDN フレームワークでは、アプリケーションレイヤとコントロールレイヤ間では双方向通信が考慮されていない。既存のNorthbound API は、SDN コントローラが提供するWeb API をアプリケーションが利用する形式である。よって現状では、SDN コントローラからアプリケーションへの通信タイミングは、アプリケーションからのリクエストに対するレスポンスとしてのみで、受動的な情報交換となる。例えば、ネットワークスイッチに障害が発生した際には、ネットワークスイッチを制御しているSDN コントローラからアプリケーションへ、その旨を伝えたいと考えたときに能動的に情報交換を行なう術がない。ネットワーク障害へ迅速に対応するためには、この情報がリアルタイムに伝えられることが要件として考えられる。

そこで、コントロールレイヤからもアプリケーションレイヤに対して能動的に通信を発生させるための双方向通信の仕組みが必要である。双方向に能動的な情報交換が可能になると、リアルタイム性が重視されるシステムの要件を満たすことができる。

3-2-2 通信プロトコルの氾濫抑制

現在、Northbound API に標準プロトコルは存在していない。ファイアウォールやロードバランサといったネットワークサービスには、運用ポリシーに従って様々なソフトウェアまたはアプライアンスが利用される。多くの場合、同一の機能を提供するサービスであっても、ベンダやアプリケーションごとに異なったプロトコルが利用されている。標準プロトコルが存在しない場合、各ベンダ・組織に

よる複数の独自プロトコルが氾濫することとなる。

また、従来はアプライアンス製品として販売されていたネットワーク機器は、Southbound API が非公開であり、製品ベンダによって独自開発されていた。そのためネットワークシステムの更新時には、システム更新の作業量や、それに掛かる膨大な費用コストを抑えるために、事実上ネットワーク機器ベンダを変更できないというベンダロックインが発生していた。しかし現在ではSDN 技術の発展によって、Southbound 領域にはオープンな標準技術としてOpenFlow が存在し、ベンダロックインから解放されたと言える。

SDN におけるNorthbound API の開発は比較的容易であり、Southbound API 領域に比べてベンダロックインが発生する可能性は低いと予想できる。しかし、オープンな標準規格が存在していないNorthbound API 領域でも、コントローラ製品におけるソフトウェアレベルのベンダロックインが発生する可能性がある。つまり、コントローラ製品に依存した特定のベンダによって定義されるNorthbound API を使用していた場合、Southbound 領域で回避できたベンダロックインが、Northbound 領域において再度発生すると考えられる。

通信プロトコルの氾濫を避け、ベンダロックインを回避するためには、オープンな標準プロトコルを採用するか、あるいはネットワークサービスごとに抽象化した通信プロトコルの設計が必要であると考えた。

3-3 新たな SDN フレームワークの提案

先にSDN フレームワークの要件として挙げた以下の2点

1. 双方向通信の確保
2. 通信プロトコルの氾濫抑制

を満たすSDN フレームワークを設計する。要件を満たすための仕組みとして、コネクション型プロトコルの利用と、アプリケーションを抽象化することを提案する。

3-3-1 コネクションプロトコルの利用

既存のNorthbound API で利用されているHTTP プロトコルはコネクションレス型プロトコルである[23]。コネクションレス型プロトコルであるHTTPプロトコルでは、クライアントからのリクエストに対してレスポンスを返すタイミングは限られており、サーバ側から任意のタイミングでクライアントへリクエストを送信することは容易ではない。よって、サーバからクライアントへ任意のタイミングで情報を発信するためには、双方向通信を実現する必要がある。

本研究では、双方向通信を実現するために、コネクション型プロトコルを利用して、常にアプリケーション間でコネクションを維持し、お互いに任意のタイミングで情報交換することを提案する。

3-3-2 アプリケーションの抽象化

新たなネットワークサービスの導入を考えたとき、多数のベンダや開発者がアプライアンス、又はソフトウェア製品を提供しており、これを利用するネットワーク管理者は組織のポリシーに従って、最も適したアプリケーションを選択する。つまり、同様の機能を提供するサービスであっても、複数のアプリケーションが存在している。しかし、これらを1つのネットワークサービスとして捉え、抽象化できると考えた。また、同様のサービスを提供するアプリケーション同士であっても、異種のアプリケーション同士が情報交換するためには、同一のプロトコルを利用する必要がある。

そこで本研究では、ネットワークサービスごとにプロトコルを定義することで、アプリケーションを抽象化することを提案する。ネットワークサービスごとに抽象化したプロトコルを定義することで、新たなアプリケーションの導入やネットワークサービスの機能に変更が生じて、他のネットワークサービスのプロトコルに影響を及ぼすことなく、プロトコルの追加・拡張が可能であると考えた。

3-4 提案するSDNフレームワークの設計と実装

提案の有効性を検証するために、アプリケーション間の連携を必要とする試作システムを構築する。そこで、3.3節で示した提案内容

1. コネクション型プロトコルの利用
2. アプリケーションの抽象化

を組み込んだSDN フレームワークの実装を行なった。検証に向けたシステム構成として、情報交換を行うためのメッセージ配信サーバと、これを利用するクライアントアプリケーションを2つ配置する。連携のためのアプリケーション間の情報交換はメッセージ配信サーバを中継して行ない、連携を取る2つのアプリケーションには同様のクライアント実装を組み込んだ。

3-4-1 メッセージ配信サーバの実装

コネクション型プロトコルを利用してアプリケーション間の連携を行うための実装として、アプリケーション毎にクライアント実装、サーバ実装を組み込むP2P方式による実装も可能であるが、ネットワーク上で連携を行うアプリケーションの情報を一箇所に集約するためにクライアント・サーバモデルで実装を行なった。サーバの役割として、SDN上に

存在しているアプリケーションの情報を集約し、アプリケーション同士がお互いを発見しあう空間の提供と、アプリケーション間で情報交換するためのメッセージ配信を行う、連携のためのネットワーク中心ノードとなる。

また、メッセージ配信サーバには、3.2 節で示したSDN フレームワークの要件に加えて、メッセージ配信サーバでは以下の機能を実装した。

アプリケーションの発見機構

アプリケーションが他のアプリケーションと情報交換を行うときは、通信相手のIP アドレスなどの端末情報を事前に入手し、アプリケーションに設定しておく必要がある。ユニークにアプリケーションを識別するためのラベルと、そのユニークなアプリケーションが提供する、サービスを識別するためのラベルをクライアントに設定することで、この手続を簡略化する。ラベルを利用することで、連携を取りたいサービスを提供しているアプリケーションをメッセージ配信サーバ上で発見し、連携することができる。

グルーピングによる1対多の情報交換

クライアントをグループ化し、1対多の情報交換を実現する。グルーピングによる情報交換の流れは、IP マルチキャストグループ [24] と同等の機能であり、クライアントはグループに対して任意に参加・離脱が可能である。

例えば、同一のサービスを一括りにグループを作成し、アプリケーションプールとして利用したり、クライアントを仮想的なネットワークセグメントに括るよう扱うことも可能であると考えられる。

メッセージ配信サーバ内でのグループの扱いは、グループ名によって管理され、クライアントはグループ名を指定して参加・離脱を行なう。グループ名はクライアントによって任意に作成され、グループに参加するクライ

アントが無くなると、グループはサーバ上から破棄される。

3-4-2 連携のためのクライアント実装

メッセージ配信サーバと通信し、他のアプリケーションと連携を取るためにメッセージを送信するクライアント部の実装を行う。メッセージ配信サーバ上に転送するメッセージとして、アプリケーションを抽象化したプロトコルを用いて情報交換する。今回は、メッセージを配信するためのプロトコルの上でアプリケーションの抽象化を行なった。しかし、これは必要条件ではなく、抽象化されたネットワークサービスのプロトコルはメッセージ配信サーバによってカプセル化されており、メッセージ配信プロトコルには依存しない。

アプリケーションをサービスとして抽象化

本研究では、SDN コントローラもネットワークサービスの1つと捉えているため、OpenFlow コントローラはSDN コントローラサービスを提供するアプリケーションの1つとして考える。4 章にて詳細を説明するが、検証環境では管理モニタとOpenFlow コントローラの、2つのアプリケーションが存在している (図. 3.2)。それぞれ、障害通知を受け取るサービスと、仮想ネットワークタッグ装置の機能を提供するサービスとして抽象化して考え、プロトコルを定義した。クライアント間で交換する情報は、連携を取るサービスによって異なる。

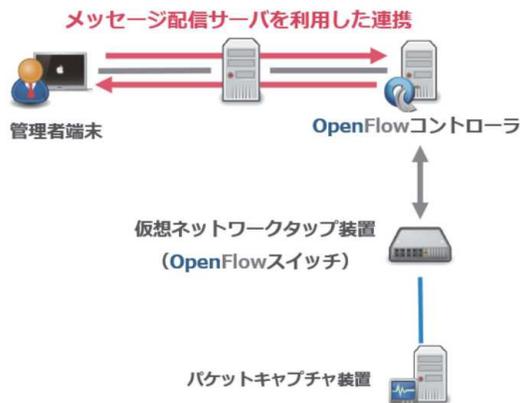


図 3.2

検証環境・仮想ネットワークタップ装置の構成

3-4-3 メッセージ配信サーバに実装した通信プロトコルの概要

メッセージ配信サーバで利用するプロトコルは、IRC[25] [26] [27] [28] をベースとしてプロトコルに変更と拡張を行ない、実装した。IRC は、サーバを介してクライアントとクライアントがテキストデータを交換し、インターネット上でチャットを行なうための通信プロトコルである。試作システムに用いるメッセージ配信サーバも同様にテキストデータによる情報交換によってアプリケーション間の連携をサポートする。テキスト要素間の区切り文字はスペース文字とした。

■ クライアントがメッセージ配信サーバへ送信するコマンドの一部の概要

●ログイン

コマンド名：LOGIN

パラメータ：<ID>

補足：ID には任意の半角英数文字列が指定可能。

●サービスの通知

コマンド名：TYPE

パラメータ：<サービス名, サービス名, ...>

補足：ログインの直後に送信する。カンマ区切りで複数指定可。

●メッセージの送信

コマンド名：MSG

パラメータ：<宛先シーケンス番号> <ターゲット> <メッセージ>

補足：宛先シーケンス番号を指定しない場合は0 を指定する。

●メッセージの送信

コマンド名：MSG

パラメータ：<宛先シーケンス番号>

<ターゲット> <メッセージ>

補足：宛先シーケンス番号を指定しない場合は0。

●グループの参加

コマンド名：JOIN

パラメータ：<グループ名>

補足：グループが存在しない場合は自動的に作成される。

●グループの離脱

コマンド名：PART

パラメータ：<グループ名>

補足：グループ参加状態でサーバから切断した場合には自動的にグループから離脱処理される。

●サーバから切断

コマンド名：QUIT

パラメータ：なし

補足：QUIT コマンドを送信せずに切断した場合はタイムアウトされる。

●サービスを提供しているアプリケーションのリストを取得

コマンド名：LIST

パラメータ：<サービス名>

補足：該当するアプリケーションの ID のリストが返信される。

●PING 応答

コマンド名：PONG

パラメータ：なし

補足：PING コマンドへの応答。

■ メッセージ配信サーバがクライアントへ送信するコマンドの一部の概要

●メッセージの受信

コマンド名：MSG

パラメータ：<宛先シーケンス番号> <シーケンス番号> <ターゲット> <メッセージ>

補足：宛先シーケンス番号は送信者が指定した番号で、シーケンス番号にはメッセージ配信サーバが自動生成した番号が入る。ターゲットにはおおよそクライアント識別子か、クライアントが参加しているグループ名が入る。

●クライアントの生存確認

コマンド名：PING

パラメータ：なし

補足：クライアントはPONG 応答を返す。

クライアントからクライアントへコマンドが送信される場合は、コマンド名の前に送信元であるクライアントのクライアント識別子が付加される。例えばクライアントA からクライアントB に対して「Hello, world!」とメッセージを送信する場合、クライアントA はメッセージ配信サーバに対して「MSG 0 B Hello, world!」と送信する。メッセージ配信サーバは、受信した内容からクライアント識別子として「:A」を先頭に付加し、クライアントAとクライアントB に対して「:A MSG 0 1234 B Hello, world!」を送信する。メッセージ送信側であるクライアントA にもメッセー

ジを配信しているのには、MSG コマンドに付与されたシーケンス番号を送信元クライアントにも知らせる目的がある。

4. 試作システムによる提案の有効性の検証

4-1 検証の目的

提案の有効性を確認するために検証を行った。提案の有効性を確認するためには、提案するSDN フレームワークを利用してアプリケーション同士で双方向に連携できることを確認する必要がある。そのために実際にSDN フレームワークの実装を行ない、アプリケーション同士が連携を必要とする環境を構築して、アプリケーション間で連携が発生する利用シナリオを設定し、問題なくシステムが動作するかを確認する。また、実環境を用意することで、設計段階では想定できなかった問題を洗い出してゆく。

4-2 検証に向けた試作システムの開発

提案手法を用いた試作システムとして仮想ネットワークタップ装置を構築した(図. 3.2)。

4-2-1 仮想ネットワークタップ装置の開発

従来のネットワークタップではポートミラーリングによってトラフィックのタッピングを行うため、監視対象となるポートを流れる全てのトラフィックが複製されるものであった。試作システムで構築する仮想ネットワークタップ装置は、フィルタリングルールにしたがって特定のデータのみを対象にトラフィックをタッピングすることができる。このフィルタリングルールは、ユーザが任意に設定してゆく。

フィルタリングルールの追加・削除・変更などといった設定変更操作はリモートから行えるよう、専用のモニタリングソフトウェアを用意し、これを管理モニタとする。管理モニタはスタンドアロンで動作し、フィルタリングルールの設定変更操作の他、ネットワークタップ上で発生した障害をリアルタイムに監視することができる。ここで取り扱う障害は、LAN ケーブルの断線や、LAN ケーブルが抜けた場合など、OpenFlow コントローラの機能によって検出が可能な障害のみとする。

4-2-2 仮想ネットワークタップ装置の開発

仮想ネットワークタップ装置を利用し、特定のトラフィックのみをネットワークパケットキャプチャ装置へ転送するユースケースを想定する。このユースケースにおいては、管理モニタと仮想ネットワークタップ装置の間では双方向に連携を取る必要があり、以下にその利用シナリオを示す。以下の2つの利用シナリオによって、双方向に連携が実現できることを確認し、提案するSDN フレームワークの有効性を確認する。

管理モニタからOpenFlow コントローラへの連携

仮想ネットワークタップ装置の設定変更操作のために、管理モニタからOpenFlow コントローラに対して能動的に発生する連携シチュエーションを想定した利用シナリオである(図. 4.1)。

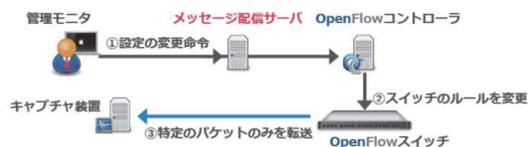


図 4.1

管理モニタから
OpenFlow コントローラへの連携

OpenFlow コントローラから管理モニタへの連携

仮想ネットワークタップ装置で発生した障害を管理モニタへ通知するために、OpenFlow コントローラから管理モニタに対して能動的に発生する連携シチュエーションを想定した利用シナリオである(図. 4.2)。



図 4.2

OpenFlow コントローラから
管理モニタへの連携

4-2-3 検証で用いた抽象化プロトコル

検証する利用シナリオに向けて、管理モニタとOpenFlow コントローラにアプリケーション抽象化プロトコルを実装した。実装したプロトコルの一部と概要は以下の通りである。

■ 障害情報を受け取るサービスのプロトコル

● アラートの受信

コマンド名: ALERT

パラメータ: なし

補足: 警報を鳴らしたいときに使用する。

● 障害情報の通知

コマンド名: INFO

パラメータ: <障害レベル> <障害情報>

補足: 障害レベルには数値、障害情報には詳細を記載する。

■ ネットワークタップ装置のプロトコル

● フィルタリングルールの追加

コマンド名: FILTERADD

パラメータ: <TAP PORT> <IN PORT> [マッピングルール]

補足: TAP PORT タッピングしたパケットを転送するスイッチポート. IN PORT タッピングするために監視するスイッチポート. マッピングルール使用できる情報はIP アドレス, MAC アドレス, TCP/UDP ポート番号. Web トラフィックにマッチさせる場合, マッピングルールには例えば「PORT DST=80」と記載する.

●フィルタリングルールの削除

コマンド名: FILTERREM

パラメータ: <ルール番号>

補足: 指定した番号のフィルタリングルールが削除される. フィルタリングルールのリスト番号は詰められる.

●フィルタリングルールの全削除

コマンド名: FILTERREALL

パラメータ: なし

●設定済みフィルタリングルールのリストを取得

コマンド名: FILTERLIST

パラメータ: なし

4-2-4 検証環境と検証の流れ

実際に構築した検証環境の論理構成を図. 4.3 に示す. まず, 検証に利用したネットワークスイッチのVLAN 機能によって, 2つの仮想スイッチ「スイッチA」と「スイッチB」を作成した. スイッチAは, L2 制御のみ行なう標準的な機能を持ったスイッチング・ハブであり, スイッチBはOpenFlow スイッチとして動作する. スイッチBは, スイッチAに接続されたOpenFlow コントローラによって制御され, 検証環境の構成ではスイッチBが仮想ネットワークタップ装置本体として機能する. このとき, OpenFlow コントローラ

が仮想ネットワークタップ装置の制御機能を実装しており, OpenFlow スイッチはOpenFlow コントローラの指示によってタッピングを行なう. OpenFlow コントローラはスイッチAに接続されており, 管理モタからのフィルタリングルールの変更操作や, 管理モタに対しての障害の通知を行なう. 検証環境において, OpenFlowコントローラに指示を出すのはスイッチAのに接続された管理モタであり, この指示を出すための連携には, 同様にスイッチAに接続されているメッセージ配信サーバを経由する.

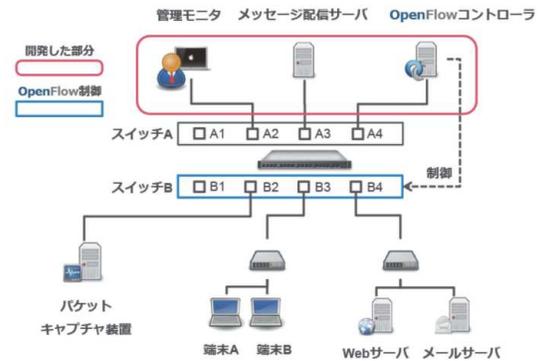


図 4.3

検証環境の論理構成

検証で想定した仮想ネットワークタップ装置のユースケースは, パケットキャプチャ装置を使ったネットワークトラフィックのキャプチャである. 仮想ネットワークタップ装置はスイッチBであり, スイッチBのB3ポートとB4ポート間の通信トラフィックを, パケットキャプチャ装置が接続されているB2ポートへタッピングする. このとき, タッピングするパケットはフィルタリングルールに従ったものであり, 任意のパケットのみがパケットキャプチャ装置へタッピングされる. B3ポートには複数のユーザ端末が接続されていることを想定しており, B4ポートにはWebサーバやメールサーバなどのサービスが稼働しているものとした.

4-3 検証に向けた試作システムの開発

検証環境（図. 4.3）を元に説明する。前提として、管理モニタとOpenFlow コントローラをメッセージ配信サーバにログイン状態にする。また、メッセージ配信サーバ上の管理モニタのクライアント識別子を「MONITOR」、OpenFlow コントローラのクライアント識別子を「OFC」とする。

4-3-1 管理モニタから OpenFlow コントローラへの連携

管理モニタからOpenFlow コントローラへの連携目的は、仮想ネットワークタップ装置に対するフィルタリングルールの設定変更である。そこで、仮想ネットワークタップ装置のユースケースとして、Web トラフィックのみをタッピングする設定を行なうことを想定して検証を行なった。

まず、未設定状態では、データのタッピングが行われないため、Web トラフィックのみタッピングされるよう、クライアント識別子「OFC」に対してフィルタリングルールの設定を行なった。B3 ポートに接続されているユーザ端末から、B4 ポートに接続されているサーバ宛てに、Web アクセスやICMP メッセージを送信して、Web トラフィックのみがB2 ポートにタッピングされることを確認し、管理モニタからOpenFlow コントローラへの連携が成功していることを確認した。

4-3-2 OpenFlow コントローラから管理モニタへの連携

OpenFlow コントローラから管理モニタへの連携目的は、障害情報の通知である。そこで、故意に物理障害を発生させて検証を行なった。

まず、仮想ネットワークタップ装置上で障害を発生させるために、パケットキャプチャ

装置側のLAN ケーブルを物理的に抜き、スイッチB のB2 ポートをリンクダウンさせた。これによってスイッチB 上ではスイッチポートの状態変更イベント（以後、ポートイベントと呼ぶ）が発生し、OpenFlow コントローラへポートイベントがアップされる。

OpenFlow コントローラでは発生したポートイベントに従って、パケットキャプチャ装置の繋がっているB2 ポートがリンクダウンした旨を、クライアント識別子「MONITOR」に対してメッセージ送信した。管理モニタは、クライアント識別子「OFC」から受け取った障害情報を画面に表示し、OpenFlow コントローラから管理モニタへの連携を確認した。

4-4 開発環境

4-4-1 開発環境

仮想ネットワークタップ装置の機能はOpenFlow コントローラとして実装し、OpenFlow コントローラフレームワークであるTrema[29] を用いて開発した。Trema はC 言語とRuby 言語のどちらかで開発することができるが、開発スピードを考慮し、Ruby 言語を選択した。OpenFlow スイッチにはHewlett-Packard 社のHP 3500-24 Switch を利用し、実機環境で動作検証を行なった。開発で使用したOpenFlow プロトコルのバージョンは1.0 であり、これは使用したHP 3500-24 Switch のサポートするOpenFlow プロトコルのバージョンに依存したものである。また、管理モニタ上のクライアント実装と、メッセージ配信サーバの実装にもRuby 言語を用いた。実装言語を統一することで、OpenFlow コントローラ上に実装したクライアントの通信部分をユーザ端末側のクライアント実装にライブラリとして流用し、クライアントの通信部分の開発は一度で済ませることができた。

4-4-2 検証環境の物理構成

検証環境の物理構成を図. 4.4 に示す。

OpenFlow スイッチとして使用したHP 3500-24 Switch には、vlan-1 とvlan-2 の VLAN 設定を行ない、デフォルトVLAN であるvlan-1 を通常のスイッチ制御、vlan-2 をOpenFlow 制御するように設定した。

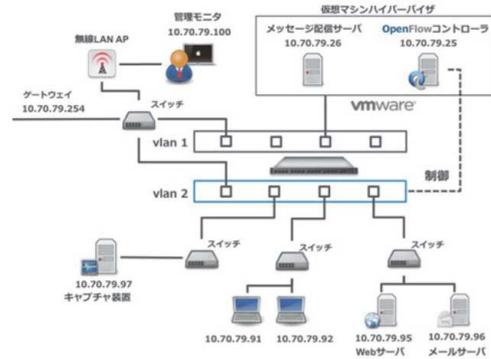


図 4.4

検証環境の物理構成

また、OpenFlow スイッチを制御するためにはOpenFlow コントローラが必要である。仮想ネットワークタツプ装置の機能を実装したOpenFlow コントローラによってvlan-2 を制御するために、OpenFlow 制御の際のコントローラの指定にtcp:10.70.79.25:6633 を設定した。

また、メッセージ配信サーバ及びOpenFlow コントローラは、サーバ仮想化ソフトウェアであるVMware ESXi を用いて仮想マシンハイパーバイザ上に構築した。

検証・開発に用いたサーバのスペック、ソフトウェアのバージョンは以下の通りである。

■管理モニタ

型番 : MacBook Air (Mid 2011)

CPU : 1.7 GHz Intel Core i5

メモリ : 4GB

OS : OS X v10.9.1

Ruby : v2.0.0-p247

■メッセージ配信サーバ

CPU : AMD PhenomII X6

1065T 2.9GHz*1

メモリ : 512MB

OS : Debian v6.0.8

Ruby : v2.0.0-p353

■OpenFlow コントローラ

CPU : AMD PhenomII X6

1065T 2.9GHz*2

メモリ : 512MB

OS : Ubuntu 12.04.3 LTS

Ruby : v2.0.0-p353

Trema : v0.4.6

■OpenFlow スイッチ

型番 : HP 3500-24 Switch (J9470A)

ファームウェア : K.15.06.5008

(with OpenFlow support)

OpenFlow : v1.0 準拠

■仮想マシンハイパーバイザ

CPU : AMD PhenomII X6 1065T 2.9GHz

メモリ : 4GB

OS : VMware ESXi 5.0.0 Update 1

build-702118

5. 結論

5-1 まとめ

本研究では、既存のSDN フレームワークでは実現が容易でなかった双方向での連携を実現するSDN フレームワークの提案を行ない、提案したSDN フレームワークを用いた試作システムとして仮想ネットワークタツプ装置を開発した。さらに、試作システムを用いて提案の有効性を検証した。検証では、仮想ネットワークタツプ装置のユースケースとして双方向に連携が必要な検証シナリオを2つ設

定し、試作システムは検証シナリオに耐えることができた。これにより、提案手法は双方向のネットワークサービス間の連携を実現する方式として有効であることを確認した。

既存のSDN フレームワークの多くは、Northbound API としてREST を用いた Web API を利用していたため、リアルタイムな双方向通信を容易に実現することができなかった。提案したSDN フレームワークでは、コネクション型プロトコルを用いてクライアント・サーバモデルの通信プロトコルを設計し、双方向の連携を実現した。Northbound 領域においては、ネットワークサービスごとに通信プロトコルを定義することでアプリケーションの抽象化を行った。これにより、アプリケーションをネットワークサービスの1つとして捉えて連携することを可能とし、通信プロトコルの氾濫抑制が期待できる。また、連携相手を発見する仕組みを提供することで、通信相手を設定する手続きを簡略化した。

提案したSDN フレームワークでは、双方向通信を実現するために、クライアント・サーバモデルでコネクション型プロトコルを設計し、連携相手となるアプリケーションを発見するための機構を用意することで、通信相手の設定手続きを簡略化した。また、アプリケーションを抽象化し、ネットワークサービス間の連携を実現するために設計された通信プロトコルによって、Northbound 領域における通信プロトコルの氾濫抑制を期待できる。このことから、提案したSDN フレームワークを用いることで、既存のSDN フレームワークでは実現が容易ではなかった双方向通信の実現と、通信プロトコルの氾濫抑制が期待できる。

5-2 今後の課題

5-2-1 提案したプロトコルが持つ課題

提案したSDN フレームワークは、メッセージ配信サーバを中継サーバとして配置し、全トラフィックが中継サーバを経由するクライアント・サーバモデルであった。よって、トラフィック解析などで大量のトラフィックを転送しなければならないシステムを構築した場合に、中継サーバへの過剰な負荷、オーバヘッドの問題が発生すると予想される。そこで、大量のトラフィックが発生する場合には、クライアント・サーバモデルではなくP2P モデルを使った通信方式を利用する必要がある。

本研究で提案したSDN フレームワークは、チャットシステムであるIRC の通信プロトコル及びアーキテクチャを参考に設計を行ない、クライアント・サーバモデルで実装をした。IRC プロトコルにはDCC[30] [31] プロトコルと呼ばれるP2Pモデルでクライアント間が通信を行なう、IRC プロトコルとは別の通信プロトコルが存在する。提案したSDN フレームワークにおいても、このようなクライアント・サーバモデルとP2P モデルの双方のメリットが得られる仕組みが必要であり、Skypeに見られるようなハイブリッドP2P アーキテクチャ[32] を通信プロトコルとして利用することが望ましいと考えている。

5-2-2 追加の検証

提案したSDN フレームワークで設計した連携プロトコルでは、アプリケーションレイヤ内で、アプリケーションが他のアプリケーションと連携を取る目的で、アプリケーション対アプリケーションの連携も可能である。検証ではアプリケーションレイヤとコントロールレイヤ間の双方向の連携を確認したが、アプリケーション対アプリケーションの検証が行えていない。しかし、設計した連携プロトコル上では、SDN コントローラをネットワーク上に存在するアプリケーションの1つとして考えており、今回検証したアプリケーション対コントローラと、アプリケーション対

アプリケーションは、クライアントの実装上に相違はないことから、アプリケーション対アプリケーションの連携においても有効であると考えている。

また、3.3 節では、アプリケーションの抽象化を提案として挙げた。アプリケーションの抽象化を実現するプロトコルの有効性を検証するためには、同一のサービスを提供する複数のアプリケーションを用意し、提供するサービスに必要な連携シチュエーションを想定してプロトコルを定義しなければならない。今回行った検証で構築したシステムでは、1つのサービスに対して1つのアプリケーションのみで構成されており、十分な検証が行えていないと考えている。今後は、検証規模を大きくし、同一のサービスを提供するアプリケーション群をブラックボックス化されたアプリケーションプールとして利用するなど、アプリケーションが混在する環境を想定した検証を行なう必要がある。

参考文献

- [1] ITpro まとめ- 垂直統合型システム : ITpro, <http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/COLUMN/20130912/504269/> (参照日: 2014.01.10)
- [2] インターネット用語 1 分解説～ SDN (Software Defined Networking) とは～ -JPNIC, <https://www.nic.ad.jp/ja/basics/terms/sdn.html> (参照日: 2014.01.10)
- [3] Software-Defined Networking (SDN) Definition - Open Networking Foundation, <https://www.opennetworking.org/sdn-resources/sdn-definition> (参照日: 2014.01.10)
- [4] SDN Architecture Overview, Version 1.0, <https://www.opennetworking.org/images/stories/downloads/sdn-resources/technical-reports/SDN-architecture-overview-1.0.pdf> (参照日: 2014.01.10)
- [5] Home - Open Networking Foundation, <https://www.opennetworking.org/> (参照日: 2014.01.10)
- [6] Roy Thomas Fielding (2000), Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures, <http://www.ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/top.htm> (参照日: 2014.01.10)
- [7] 江島 健太郎 (2006), Lingr and Comet - 技術解説編, http://japan.cnet.com/blog/kenn/2006/09/22/entry_lingr_and_comet/ (参照日: 2014.01.10)
- [8] The WebSocket Protocol, <http://tools.ietf.org/html/rfc6455> (参照日: 2014.01.10)
- [9] The WebSocket API, <http://www.w3.org/TR/websockets> (参照日: 2014.01.10)
- [10] SDN とは: NEC の SDN ソリューション | NEC, http://jpn.nec.com/sdn/about_sdn.html (参照日: 2014.01.10)
- [11] Software-Defined Network (SDN) 概要 | Brocade Communications Systems, Inc., <http://www.brocadejapan.com/solutions-technology/technology/software-defined-networking/overview> (参照日: 2014.01.10)
- [12] IBM Software Defined Networking - Japan, <http://www-06.ibm.com/systems/jp/networking/solutions/sdn.html> (参照日: 2014.01.10)
- [13] Urs Hoelzle (2012), OpenFlow @ Google - Urs Hoelzle, Google, <http://www.youtube.com/watch?v=VLHJUfgxEO4> (参照日: 2014.01.10)
- [14] 金沢大学附属病院が、新ネットワークに NEC の「プログラマブルフロー」を導入 (2012 年 6 月 11 日): プレスリリース | NEC, <http://www.nec.co.jp/press/ja/1206/1101.html> (参照日: 2014.01.10)

- [15] 金沢大学附属病院様
ProgrammableFlow 導入事例,
http://jpn.nec.com/univerge/pow/pdf/kanazawa_jirei_detail_20131025.pdf
(参照日: 2014.01.10)
- [16] Network Functions Virtualisation –
Introductory White Paper,
http://portal.etsi.org/NFV/NFV_White_Paper.pdf
(参照日: 2014.01.10)
- [17] Network Functions Virtualisation – Update
White Paper,
http://portal.etsi.org/NFV/NFV_White_Paper2.pdf
(参照日: 2014.01.10)
- [18] Marc Cohn (2013), NFV, An Insider's
Perspective: Part 1 — Goals, History, and
Promise,
<http://www.sdncentral.com/education/nfv-insiders-perspective-part-1-goals-history-promise/2013/09/>
(参照日: 2014.01.10)
- [19] Marc Cohn (2013), There's a Network in
NFV: The Business Case for SDN - |
SDNCentral,
<http://www.sdncentral.com/education/nfv-insiders-perspective-part-2-theres-network-nfv-business-case-sdn/2013/09/>
(参照日: 2014.01.10)
- [20] Marc Cohn (2013), NFV Insider's
Perspective: An Operator Shift Underway - |
SDNCentral,
<http://www.sdncentral.com/education/nfv-insiders-perspective-operator-shift-underway/2013/10/>
(参照日: 2014.01.10)
- [21] Prayson Pate (2013), NFV and SDN: What's
the Difference?,
<http://www.sdncentral.com/technology/nfv-and-sdn-whats-the-difference/2013/03/>
(参照日: 2014.01.10)
- [22] 業界リーダー各社が共同で取り組む
OpenDaylight プロジェクト主要技術の提供
でソフトウェア・デファインド・ネット
ワーキング (SDN) 構築を加速化,
[http://www.linuxfoundation.jp/content/openssl_launch_releases](http://www.linuxfoundation.jp/content/.opendaylight_launch_releases) (参照日: 2014.01.10)
- [23] 戸根勤[著], 日経オープン編集部[編集]
(2002), 『基礎からわかるネットワー
ク入門』(シリーズ<基礎からわかる>),
日経 BP 社
- [24] Dave Kosiur [著], 荻田幸雄[邦訳] (1999),
マスタリング TCP/IP IP マルチキャスト
編, オーム社
- [25] RFC 2810 - Internet Relay Chat:
Architecture,
<https://tools.ietf.org/html/rfc2810>
(参照日: 2014.01.10)
- [26] RFC 2811 - Internet Relay Chat: Channel
Management,
<https://tools.ietf.org/html/rfc2811>
(参照日: 2014.01.10)
- [27] RFC 2812 - Internet Relay Chat: Client
Protocol,
<https://tools.ietf.org/html/rfc2812>
(参照日: 2014.01.10)
- [28] RFC 2813 - Internet Relay Chat: Server
Protocol,
<http://tools.ietf.org/html/rfc2813>
(参照日: 2014.01.10)
- [29] Trema,
<http://trema.github.com/trema/>
(参照日: 2014.01.10)
- [30] The Client-To-Client Protocol (CTCP),
<http://www.irchelp.org/irchelp/rfc/ctcpspec.html>
(参照日: 2014.01.10)
- [31] A description of the DCC protocol,
<http://www.irchelp.org/irchelp/rfc/dccspec.html>
(参照日: 2014.01.10)
- [32] 森下民平, P2P アーキテクチャ,

<http://www.cac.co.jp/softechs/pdf/st250107.pdf> (参照日: 2014.01.10)

〈論 文〉

観光行動によるメンタルヘルス改善効果の検証

長尾光悦* 斎藤 一† 松田成司‡ 大島直樹§ 佐々木穂果**

Validation of Mental Health Improvement by Sightseeing
Behavior

Mitsuyoshi NAGAO* Hajime SAITO† Seiji MATSUDA‡ Naoki OHSHIMA § Honoka SASAKI**

要旨

本論文では、景観鑑賞や温泉入浴といった一般的な観光行動によるメンタルヘルスの改善効果を検証する。本研究では、札幌市近郊の温泉地である定山溪温泉地区において被験者実験を行った。実験では、被験者に、温泉入浴、足湯入浴、散策、景観鑑賞を組み合わせた観光を行わせ、各観光行動によるメンタルヘルスの改善効果を検証した。実験結果から、一般的な観光行動によるメンタルヘルスの改善効果が明らかとなった。

Abstract

In this paper, we verify an improvement effect of mental health by general sightseeing behavior such as landscape viewing and hot spring bathing. In this research, we performed experiments using some subjects in Jozanke hot springs region near Sapporo City. In this experiment, we investigate whether mental health is improved or not by doing sightseeing which combines hot spring bathing, foot bathing, landscape viewing and stroll. From experimental results, it is revealed that general sightseeing behavior can improve mental health.

キーワード

メンタルヘルス・ツーリズム 観光行動 唾液アミラーゼ 脳波 POMS

* 北海道情報大学経営情報学部システム情報学科 准教授, Associate Professor, Dept. of Systems and Informatics, HIU

† 北海道情報大学情報メディア学部情報メディア学科 准教授, Associate Professor, Dept. of Information Media, HIU

‡ 北海道情報大学医療情報学部医療情報学科 准教授, Associate Professor, Dept. of Medical Management and Informatics, HIU

§ 北海道情報大学情報メディア学部情報メディア学科 准教授, Associate Professor, Dept. of Information Media, HIU

** 北海道情報大学経営情報学部システム情報学科 4年生, B4, Dept. of Systems and Informatics, HIU

1. はじめに

現在、「うつ病」などの心の病を患う患者数の増加が、大きな社会問題となっている。厚生労働省の調査によると、1996年には43.3万人だったうつ病の患者数は、2008年には104.1万人と、約10年間で二倍以上に増加している[1]。このような背景から、近年、メンタルヘルスケアに対する関心が高まっており、平成24年には、労働安全衛生法の一部改正によって、企業におけるストレスチェックの実施が義務化されるなど、国家レベルでの対策が実施され始めている。

心の病にならないためには、日ごろからの予防や改善を心がけ、良好なメンタルヘルスを維持することが重要である。すなわち、ストレス社会と呼ばれる現代社会において、日々のストレスを軽減し、健全なメンタルヘルスを維持するための方法が必要とされる。

一方、新たな観光形態の一つとして、観光によるメンタルヘルスケアを目的としたメンタルヘルス・ツーリズムが提唱されている。メンタルヘルス・ツーリズムは、農業体験やタラソセラピーといった観光行動を行うことにより、ストレスを軽減し、健全なメンタルヘルスを維持することを目的としたものである。また、これらの観光行動におけるストレス解消効果の科学的な検証も実施されている[2]。

しかしながら、今後、観光によるメンタルヘルスケアを広く普及させるためには、農業体験やタラソセラピーといった特殊な観光行動のみではなく、温泉入浴や散策などの一般的な観光行動がメンタルヘルスに与える影響を明らかにする必要があるものと考えられる。

以上の認識の下、本論文では、観光行動によるメンタルヘルスの改善効果を検証する。具体的には、温泉入浴、足湯入浴、散

策、景観鑑賞といった一般的な観光行動により精神状態がどのように変化するかを調査分析する。ここでは、メンタルヘルスの改善度を評価するために、生理的指標、及び、心理的指標の2種類を用いる。

生理的指標としては、人体におけるストレス度を計測可能な唾液中の α -アミラーゼ（以下、唾液アミラーゼ）、及び、リラクゼーション度を計測可能な脳波の二つを採用する。唾液アミラーゼは、非侵襲的に人体におけるストレスを定量化可能なマーカー物質として注目されているものであり、ストレス刺激に対する反応が早いこと、急性の心理的ストレスに対しても反応が良いこと、更に、リラクゼーション刺激に対しても反応することが報告されている[3][4]。加えて、現在、唾液アミラーゼを簡便かつ即座に計測することが可能なシステムが安価で市販されている。このため、大掛かりな測定機器や試薬を持ち込むことが困難な観光施設などにおいても測定を行うことが可能である。

また、脳波は、脳神経細胞間の情報伝達に際して発生する電気信号であり、リラクゼーション状態において α 波と呼ばれる特定周波数帯が多く発生することが知られている。従来、脳波測定には、非常に高価な測定装置、及び、高度な専門知識が必要とされた。しかしながら、近年、脳波計測機器の小型化、低価格化により簡易的に脳波を計測することが可能になっている。

更に、心理的指標として、POMS（Profile of Mood States）を用いる。POMSは、いくつかの質問項目に回答することにより、個人の感情や気分を定量化することが可能な手法である。精神状態の変化は、本人が自覚できない場合も多々ある。そのため、本論文では、生理的指標と心理的指標の二つの指標を採用し、検証を行う。

加えて、精神状態に対しては、観光行動のみではなく、その行動を行う周辺環境も

影響すると考えられる。このため、SD (Semantic Differential) 法により、観光環境の定量化を行い、唾液アミラーゼ、脳波、POMS、SD法を組み合わせた総合的な観点から、観光行動によるメンタルヘルスの改善効果を検証する。

本研究における実験は、札幌市近郊の温泉地である定山溪温泉地区において実施した。実験では、温泉入浴、足湯入浴、散策、景観鑑賞を組み合わせた4つの観光コースを設定し、各コースにおいて男女10名の被験者を用いて検証を行った。実験結果から、一般的な観光行動によるメンタルヘルスの改善効果が明らかとなった。

2. 関連研究

観光行動がメンタルヘルスに与える影響について科学的検証を実施している学術研究がいくつか報告されている。その中で、本研究と関連する研究事例として、森林浴、散策、温泉入浴によるストレス軽減効果やメンタルヘルスへの影響を分析した従来研究が存在する[5]-[12]。

例えば、森林浴や散策に関するものとして、久米田らは、長野県の赤沢自然休養林における森林セラピーによる生体への影響を、血圧、脈拍、コレステロール、血糖、コルチゾール、唾液アミラーゼなどの指標を用いて分析している[5]。上田らは、蔵王高原における森林浴の効果をポジティブ感情尺度 (Mood Check List-Short Form 2) と呼ばれるアンケート調査に基づき明らかにしている[6]。島崎らは、尾瀬国立公園でのトレッキングがストレスに与える影響を心拍数に基づき分析している[7]。三島も、奥入瀬溪流での散策におけるストレス軽減効果を唾液アミラーゼに基づき検証している[8]。

また、木村らは、ビーチウォーキングによるメンタルヘルスの改善効果を STAI と呼ばれるアンケート調査により明らかにしている[9]。

一方、温泉入浴とストレスの関係を検証した従来研究として、渡部らは、脳波測定により天然温泉浴、さら湯入浴、人工入浴剤入浴のストレス軽減効果と睡眠効果の比較を行っている[10]。更に、都市環境と温泉保養地環境での、温泉入浴によるストレス軽減効果の比較も行っている[11]。牧野らは、温泉地での長期滞在によるストレス低減効果の検証を行っている[12]。

これら先行研究においては、生理的指標、または、心理的指標のいずれかを採用しているものが多く、また、生理的指標としては、コルチゾールを利用しているものが多い。メンタルヘルスへの影響は、本人が自覚できる場合やできない場合、更には、生理的に反応するが心理的には反応しない場合など多種多様な状況が考えられうる。そのため、生理的指標と心理的指標の両面からの検証が必要であると考える。

また、ストレスマーカーとしてのコルチゾールの有効性は報告されているものの、検体の冷凍保存の必要性、ストレス刺激に対する反応の遅さ、弱いストレス刺激やリラクゼーション刺激に対する反応の鈍さが報告されている[13][14]。これに対して、唾液アミラーゼは、急性のリラクゼーション刺激に対しても反応することが報告されている。

本研究は、観光行動というリラクゼーション刺激に対して有効な生理的指標である唾液アミラーゼと脳波を採用し、更に、心理的指標として、気分や心理状態を定量化可能なPOMSに基づき、総合的に観光行動によるメンタルヘルスの改善効果を分析するものである。



図1 検証実験に用いた観光コース

3. 検証実験

3-1 実験方法

検証実験は、北海道札幌市の南西の渓谷に位置する温泉地である定山溪温泉地区において実施した。定山溪温泉地区は、道内有数の温泉郷であり、札幌の奥座敷とも呼ばれ、年間約150万人が温泉入浴に訪れる。周辺には、定山溪ダムなどの景勝地や、スキー場、果樹園などの観光施設が存在する。

本研究では、定山溪温泉地区の観光施設、及び、景勝地を利用した4つの観光コースを設定し、各観光コースでの観光行動によるメンタルヘルスの改善効果を検証する。図1に検証実験に用いた観光コースを示す。

観光コース1

観光コース1は、定山溪温泉地区に存在する豊平峡ダム(図2上)における景観鑑賞と、章月グランドホテル(図2下)での温泉入浴を組み合わせたものである。豊平峡ダムは、ダム湖と渓谷の織り成す景観が楽しめる景勝地である。章月グランドホテルは、定山溪の中ではミドルクラスの温泉ホテルである。豊

平峡ダムでは、展望台とダム堤体の2箇所において景観鑑賞を行うものとした。豊平峡ダムと章月グランドホテルは距離が離れているため、この間の移動は車で行うものとした。

観光コース2

観光コース2は、定山溪温泉街での街歩き観光と心の里定山(図3上)における足湯入浴を組み合わせたコースである。心の里定山は、2013年に開業したりラクゼーションの場を備えた足湯施設である。このコースでは、心の定山を出発地点とし、徒歩で温泉街の観光を行う。観光としては、定山溪温泉の中で数少ない土産品店である定山溪物産館(図3下)でのショッピング、及び、温泉卵づくりなどを楽しめる定山源泉公園での散策を行うこととした。これらの観光後、心の里定山に戻り、足湯入浴を行うコースである。

観光コース3

観光コース3は、二見吊り橋(図4上)近辺の散策とぬくもりの宿ふる川(図4下)における温泉入浴を組み合わせたコースである。二見吊り橋は、札幌市を代表する一級河川である豊平川に架かる吊り橋であり、四季折々の渓谷が眺望できる景勝地である。ぬくもり



下図出典：じゃらん (<http://www.jalan.net/>)

図2 豊平峡ダムと章月グランドホテル



上図出典：心の里定山 Facebook

図3 心の里定山と定山溪物産館

の宿ふる川は、宿泊予約サイトの人気ランキングで常に上位にランクされる宿泊施設である。ここでは、ふる川を出発地点とし、徒歩により二見吊り橋への散策へ向かうものとした。散策では、川岸と吊り橋上の二箇所で見景鑑賞を行う。散策後、ふる川に戻り温泉入浴を行うこととした。

観光コース4

観光コース4は、温泉入浴のみのコースである。温泉入浴は、第一ホテル翠山亭(図5)において実施する。第一ホテル翠山亭は、定山溪の中で高級感のある宿泊施設として知られる温泉ホテルである。

これらの観光コースを利用した検証実験において、実験の目的、方法などを文章により説明し、インフォームド・コンセントを得た20歳代から50歳代の被験者を各コース10名の計40名採用した。また、検証実験は、北海

道情報大学生命倫理委員会の承認を得た後に実施した。

3-2 実験プロトコル

観光コース1から3を利用した検証実験の実験プロトコルを表1に示す。実験開始後、口腔内の成分が唾液アミラーゼに影響を与えないよう、うがいを行わせた。また、実験開始1時間前から被験者の飲食を制限した。

その後、POMSによる観光前の主観的気分調査、SD法による周辺環境の印象調査、アンケートによる健康状態調査を実施した。

うがい直後は唾液が水によって薄まり、唾液アミラーゼの測定値が安定しないことが確認されているため、順応期間として10分間の安静時間を設定した[15]。安静時の姿勢の制約はなく、飲食、電子機器の使用、雑誌等の閲覧、喫煙は禁止とした。この後、被験者の



下図出典：じゃらん (<http://www.jalan.net/>)

図4 ふる川と二見吊り橋

唾液アミラーゼと脳波の測定を行った。脳波測定は、2分間とした。

観光行動においては、全体の観光時間に制約は設けず、自由な観光を行わせた。但し、各観光コースにおけるそれぞれの観光ポイントにおいて、最低2分以上の景観鑑賞や観光を行うものとした。観光中は、携帯電話の操作は基本的に禁止としたが、写真撮影のみは許可した。

観光後、回復期間として15分間の安静時間を設定し、その後、被験者の唾液アミラーゼと脳波の測定、POMSへの回答とSD法による観光行動を行った場所の印象調査を行った。

温泉入浴では、短時間の入浴と休憩を繰り返す、分割浴を採用した。分割浴は、体への負担を抑えつつ、血流量を増加させる入浴方法である。連続的に長時間入浴を行った場合



出典：じゃらん (<http://www.jalan.net/>)

図5 第一ホテル翠山亭

は、体への負担が大きく、それ自体がストレスになる可能性があると考えられたために、分割浴を採用した。更に、分割浴と一定時間湯に浸かり続ける通常浴を比較するための予備実験を実施し、分割浴の方が唾液アミラーゼの低減率が高いことを確認している。

入浴時間は、3分間の休憩をはさみ、泉温が42度以上のとき3分間、41度で4分間、40度で5分間、39度以下のとき7分間の入浴を3回繰り返すものとした。適切な入浴時間は、深層体温が1度上昇する程度とされており、泉温によってその時間が異なるため、異なる入浴時間を設定した。また、入浴方法は体調を崩さないために、湯船に体の一部が浸かっていたら、入浴として認めることとした。一方、足湯の場合には、3分間の休憩をはさみ、10分の入浴を2回実施することとした。

入浴後に10分間の回復期間をとり、唾液アミラーゼと脳波の測定、POMSへの回答、SD法による浴場の印象調査、実験に関するアンケート調査を実施し、実験終了とした。

観光コース4の場合は、温泉入浴のみであるため、一回目の脳波測定後に入浴を行う。実験プロトコルにおいては、観光行動から入浴前のSD法による調査までが省略されたものとなる。その他に関しては、他のコースの場合と同様である。

表 1 実験プロトコル

実験項目		時間	説明
うがい			口腔内の洗浄
POMS SD法 アンケート			主観的気分調査 周辺環境の印象調査 健康状態調査
順応期間		10分	安静時間
唾液アミラーゼ測定			ストレス度計測
脳波測定		2分	リラックス度計測
観光行動			散策, 景観鑑賞 等
回復期間		15分	安静時間
唾液アミラーゼ測定			ストレス度計測
脳波測定			リラックス度計測
POMS SD法			主観的気分調査 観光場所の印象調査
入浴	温泉	準備	入浴準備
		入浴	分割浴
		準備	出浴準備
	足湯	入浴	分割浴
回復期間		10分	
唾液アミラーゼ			ストレス度計測
脳波測定		2分	リラックス度計測
POMS SD法 アンケート			主観的気分調査 浴場の印象分析 実験評価

3-3 メンタルヘルスの改善効果の評価

本研究では、生理的指標、及び、心理的指標の二種類の指標を用いて観光行動によるメンタルヘルス改善効果の評価する。また、生理的指標としては、唾液アミラーゼと脳波の二種類を採用する。

唾液アミラーゼの測定には、ニプロ社製唾液アミラーゼモニターを採用した(図6)。これは、テストストリップと呼ばれる棒状のチップを舌下に30秒間挿入することによって唾液中の α -アミラーゼ値を計測することが可能なデバイスである。唾液アミラーゼの値

はkIU/Lという単位で表され、0~30kIU/Lは「ストレスほぼなし」、31~45kIU/Lは「ストレスややあり」、46~60kIU/Lは「ストレスあり」、61kIU/L以上は「ストレスだいぶあり」という基準となっている。この唾液アミラーゼモニターによる測定結果と唾液を直接採取した生化学的検査による測定の比較も実施されており、十分な精度を持つことが報告されている[16][17]。更に、近年、この唾液アミラーゼモニターを利用した研究事例も報告されるようになってきている[18][19]。

一方、脳波測定にはFUTEK社製の簡易型脳波測定器を使用し、 $\alpha 1$ 波、 $\alpha 2$ 波、 $\alpha 3$ 波の3種類の脳波を計測した(図7)。これらの脳波は α 波を細分化したものであり、 $\alpha 1$ は、リラックス状態が高いが、集中は低い状態、 $\alpha 2$ はリラックス度が高く、集中度も高い状態、 $\alpha 3$ は、リラックス、集中状態共に中程度の状態を表す。これらの中では、 $\alpha 2$ が最もリラックスしている状態を表す。簡易型脳波測定器は、ヘッドギアの2点の電極を頭部に、一つの電極を耳朶に装着することにより計測を行う。この簡易脳波計測器を利用した研究事例も近年増加している[20][21]。

更に、心理的指標としては、POMSを採用した。POMSは、「人づき合いが楽しい」、「頭の中がすっきりする」などの65個の質問項目に対して5段階の評価を行うことにより「緊張・不安」、「抑うつ・落ち込み」、「怒り・敵意」、「活気」、「疲労」、「混乱」という1つの正の感情因子と5つの負の感情因子の各度合いを測定し、回答者の置かれた条件のもとで変化する一時的な気分、感情を定量化可能な手法である。POMSは、従来のストレス分野の研究において頻繁に利用される手法である[22]。

3-4 アンケート調査とSD調査

観光行動以外の要因がメンタルヘルスに与える影響を考慮するために、2つの調査を実



図6 ニプロ社製唾液アミラーゼモニター

施した。1つ目は、SD法による環境調査である。SD法は、対立する形容詞を用いて、それらを段階的な尺度で評価し、商品、銘柄などが与える感情的なイメージを判定する手法である。これにより、周辺環境、及び、浴場内の環境の定量化を行った。

2つ目は、健康状態と実験に関するアンケートである。ここでは当日の健康状態、食事の有無とその時間、十分な睡眠の有無、前日の飲酒の有無、体調の良し悪し、喫煙の習慣の有無を調査した。また、入浴時間、及び、観光行動の時間を、各被験者の主観に基づき「短い、適度、長い」の3段階で調査した。

4. 実験結果

各観光コースにおける、唾液アミラーゼ、脳波、POMSの結果を図8から図11に示す。各図においては、上のグラフが唾液アミラーゼの結果、中間のグラフが脳波の結果、下のグラフがPOMSの結果を表す。また、各実験結果は、10名の被験者の中央値、及び、標準偏差を表す。但し、観光コース3においては、被験者の一人が実験中止を申し出たため、9名分のデータを分析した結果である。脳波の値は、各被験者において2分間計測した各脳波の値の平均値を用いている。



図7 FUTEK社製簡易脳波計測装置

4-1 観光コース1の結果

図8に実験結果を示す。実験結果から、豊平峡ダムでの観光後、唾液アミラーゼの値が大きく上昇し、各脳波の値も大きく減少している。すなわち、ストレス度が上昇し、リラックス度が低下する結果が示された。唾液アミラーゼにおいては、10名中9名の被験者において上昇、脳波においては3種類の脳波の平均で10名中8名が減少傾向を示した。この原因としては、第一に、実験当日の気温が5度と非常に低く、この気温の低さがストレス上昇とリラックス度の低下を招いた可能性が考えられる。また、唾液アミラーゼ等が、屋外において観光客の目に晒されながら測定されたこと、当日は紅葉見学の観光客で混雑していたこと、ダム堤体が高所であったことも、これらの悪化を招く要因となった可能性が考えられる。

一方、POMSの結果においては、「緊張・不安」、「抑うつ・落ち込み」、「怒り・敵意」、「混乱」の負の感情因子の値の減少傾向が確認され、景観鑑賞における心理的な側面でのメンタルヘルスの改善効果が確認された。しかしながら、正の感情因子である「活気」の値が低下している。これも気温などの影響により、気分的高揚が阻害された結果であると考えられる。

入浴後は、唾液アミラーゼの値は45.3%の低下を示し、10名中9名の被験者において低

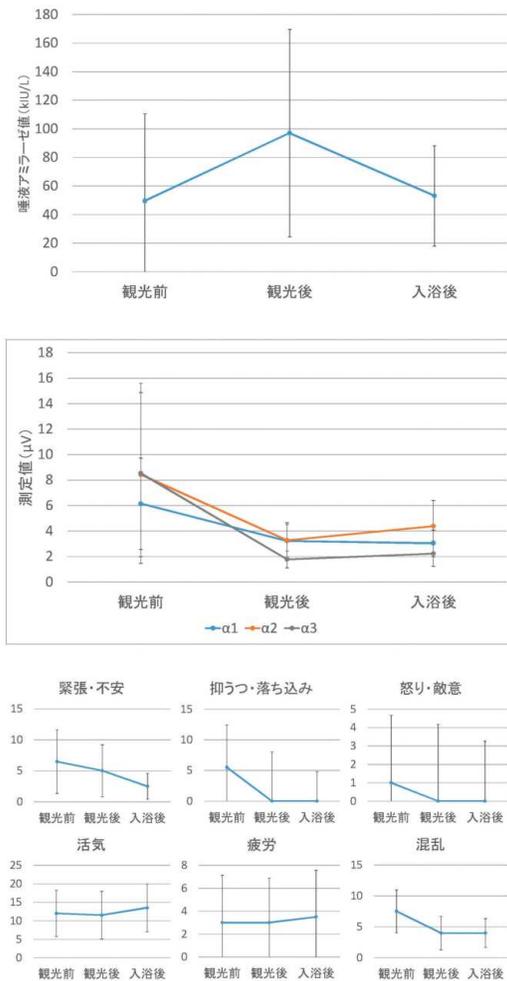


図8 観光コース1の実験結果

下が示された。脳波においては、最もリラックス度の高い脳波である $\alpha 2$ で34.3%、 $\alpha 3$ では25.7%の増加率を示した。

また、POMSの結果においては、「緊張・不安」の値が、観光後よりも低下した。「抑うつ・落ち込み」、「怒り・敵意」、「混乱」に関しては、観光後に既に値が0となっていた、または、非常に低い値だったため、それ以上の低下は見られなかった。また、「活気」と「疲労」に関しては、値の上昇が確認された。「活気」に関しては、気温が低く気分が停滞した状態から、温泉入浴により気分が高揚し、値が上昇した可能性が考えられる。また、疲労については、コース1は車で移動など実験

が長時間に及んだ。このため疲労感が増し、値が上昇したと考えられる。

これらの結果に対して、フリードマンの検定を適用した結果、唾液アミラーゼ ($p=0.003$)、 $\alpha 2$ 波 ($p=0.045$)、 $\alpha 3$ 波 ($p=0.045$)、緊張・不安 ($p=0.019$)、抑うつ・落ち込み ($p=0.015$) において統計的有意差が確認された。

これらの結果から、景観鑑賞においては、生理的指標が気温の影響を受けやすいものの、心理的指標においては、メンタルヘルスが改善されることが確認された。また、低気温の影響によって上昇したストレス度、及び、低下したリラックス度が、温泉入浴により、生理的、心理的の両側面において改善されることが示された。すなわち、ストレス度が高く、リラックス度が低い状態に対して温泉入浴は効果的であることが確認された。

4-2 観光コース2の結果

図9に観光コース2の結果を示す。唾液アミラーゼの結果においては、物産館でのショッピングと源泉公園での散策後に10名中8名の被験者において値の低下が確認され、低下率は、21.1%であった。一方、脳波においては、 $\alpha 1$ においては上昇傾向が見られたが、 $\alpha 2$ 及び $\alpha 3$ においては値の減少が確認され、ストレス度は低下するが、リラックス度に関しては低下することが確認された。ショッピング中はリラックスするよりも緊張や集中度が増す可能性が考えられる。これにより、上記のような結果になったものとする。実験では、覚醒や緊張を表す脳波である β 波の上昇が確認されている。POMSにおいては、負の感情因子においては値の低下、正の感情因子においては値の上昇が確認された。心理的側面からは、温泉街での街歩き観光によるメンタルヘルスの改善効果が確認された。

足湯入浴後では、唾液アミラーゼの値が上昇した。アミラーゼの値が増加した被験者は10名中5名であった。平均値で見ただけの場合には、

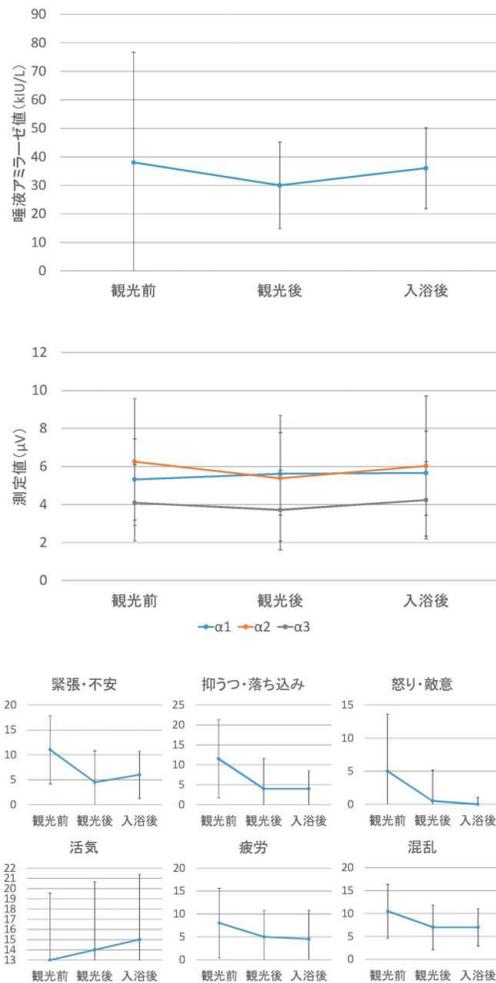


図9 観光コース2の実験結果

観光後が 34.1kIU/L, 入浴後が 32.6kIU/L と減少している。脳波においては、全脳波において上昇傾向が見られた。上昇は三種類の脳波の平均で 10 名中 6 名, 平均上昇率 8.9% という結果となった。

足湯入浴は、屋外において実施された。実験当日は気温 12 度であり、この気温の中、移動を伴わず 20 分間屋外にいたことにより、アミラーゼ値が増加する被験者と減少する被験者の両者が出現し、これが全体としての値の上昇に繋がった。

POMS では、「活気」に関して更なる値の上昇が見られた。負の感情因子においては、若干の減少が確認されたが、「緊張・不安」において値が上昇する結果となった。これは、

この因子の値が増加した被験者が 3 名おり、この影響により値が増加している。平均値の場合には、観光後が 6.9, 入浴後が 5.5 と減少傾向を示している。

これらの結果に対して、観光コース 1 と同様に、フリードマンの検定を適用した結果、「緊張・不安」($p=0.003$), 「抑うつ・落ち込み」($p=0.001$), 「怒り・敵意」($p=0.002$) において統計的有意差が確認された。生理的指標においては、統計的な有意差を確認することはできなかったが、唾液アミラーゼにおいては、 $p=0.061$ と有意傾向は確認された。

以上の結果から、温泉街での街歩き観光は、ストレスを低下させることが可能であるが、観光行動の内容によっては、リラックス度の低下が発生することが確認された。また、足湯入浴は、個人差はあるが概ねストレスを低下させる可能性が高いことが示された。

4-3 観光コース3の結果

図 10 に観光コース 3 の結果を示す。唾液アミラーゼにおいては、観光後に 20.0% の値の減少が確認された (9 名中 5 名減少)。また、脳波においては、全ての脳波において上昇傾向が確認された (三脳波平均で 9 名中 6 名上昇)。POMS の結果においても、負の感情因子は全て減少、正の感情因子においては値が上昇した。実験当日の気温は 11 度であり、観光コース 2 の実験時と同程度であったが、散策の場合には移動を伴う観光であったため、気温の影響が少なかったものと考えられる。

一方、入浴後には、唾液アミラーゼの値が 9 名中 6 名の被験者において上昇を示した。上昇率は 14.3% であった。脳波においても $\alpha 2$ 以外の脳波が減少を示した。観光コース 3 の温泉入浴においては、9 名中 4 名の被験者がアンケート調査において入浴時間が短いと回答している。入浴時間が適切でない場合には、唾液アミラーゼの値が増加することが確認されているため、この影響により入浴後の唾液アミラーゼ値の上昇、更には、脳波の低下が

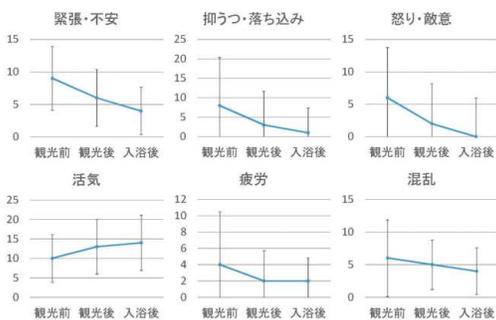
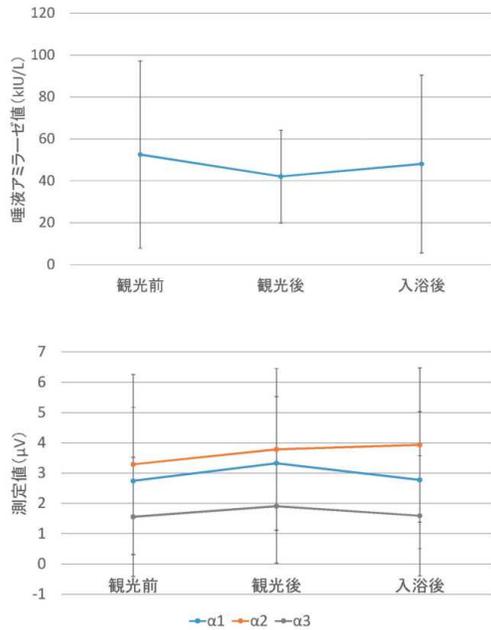


図 10 観光コース 3 の実験結果

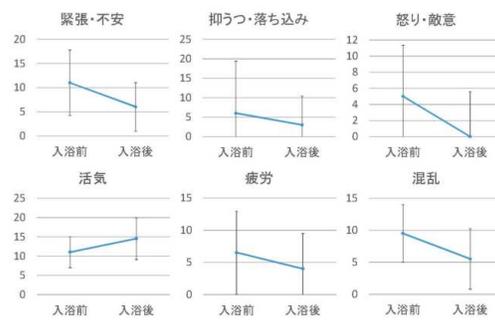
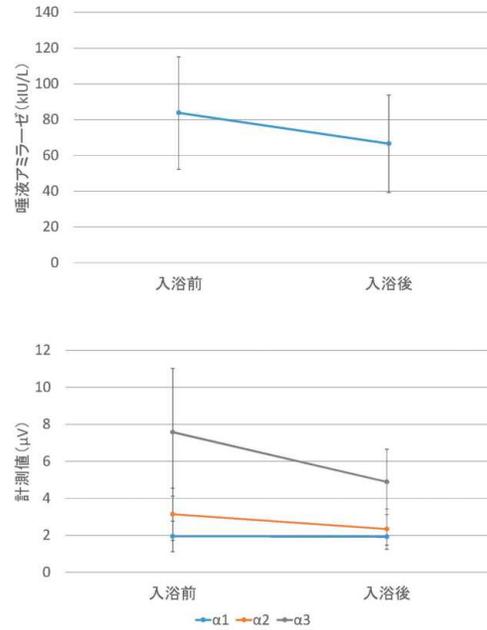


図 11 観光コース 4 の実験結果

示されたものと考えられる[23].

しかしながら、POMS の結果においては、入浴により観光後と比較し、負の感情因子は更なる低下を示し、正の感情因子は更なる増加を示した。

フリードマンの検定の適用結果としては、唾液アミラーゼ、及び、脳波において、有意差は確認できなかったが、POMS の結果においては、「緊張・不安」において 1%水準、「抑うつ・落ち込み」、「怒り・敵意」、「混乱」の三因子において 5%水準での有意差が確認された。

これらの結果から、自然環境の中での散歩と景観鑑賞が生理的、心理的の両側面からメンタルヘルスの良化に効果的であることが示

された。また、観光行動を複数実施することにより心理的指標が段階的に良化する可能性が示された。

4-4 観光コース 4 の結果

観光コース 4 は温泉入浴のみのコースである。実験結果から、温泉入浴により 10 名中 7 名の被験者において唾液アミラーゼの値が減少することが確認された。また、減少率は 20.6%であった。しかしながら、脳波において値の上昇が確認されず、α3 においては大きく減少する結果となった。実験日の女湯の泉温が約 38 度と他の観光コースにおける泉温と比較して低めであったため、これが脳波

に影響を与えた可能性が考えられる。一方、心理的指標においては、正の感情因子は増加、負の感情因子は減少と良好な結果を示した。

これらデータに対して、フリードマンの検定を適用した結果、POMSにおける「緊張・不安」、「怒り・敵意」、「混乱」において5%水準での有意差が確認された。また、「活気」においては $p=0.058$ と有意傾向が確認された。

この結果から、低い泉温での温泉入浴はストレス度を低減させることは可能であるが、リラクセス度を低下させる可能性があることが確認された。

5. 考察

メンタルヘルスは、観光行動自体だけではなく、観光を行う周辺環境にも影響されるものと考えられる。そのためSD法により観光行動を行った場所の環境、浴場環境の定量化を行った。SD法による環境の定量化結果を図12に示す。図12において上図は、散策や景観鑑賞を実施した環境の定量化結果であり、下図は、浴場環境の定量化結果を示す。

上図においては、「寒いー暑い」、「狭いー広い」、「騒がしいー静か」、「不安ー安心」の項目において差異が見られた。豊平峡ダムは、実験結果においても示したが、気温が非常に低かった。このため、「寒いー暑い」の値が他と比較して低い値となっている。また、豊平峡ダムは、他の観光地点と比較して雄大な景色を鑑賞できる景勝地であるため、「狭いー広い」の値が高い値となっている。更に、実験日は、紅葉の時期であり、多くの観光客が豊平峡ダムを訪れていた。これにより、「騒々しいー静か」の項目が低い値となっている。温泉街の街歩き観光では、街中での観光ということで「不安ー安心」の項目が高い値となっている。また、物産館でのショッピングは室内であるため、他と比較して、「寒いー暑い」の項目が高い値となっている。二見

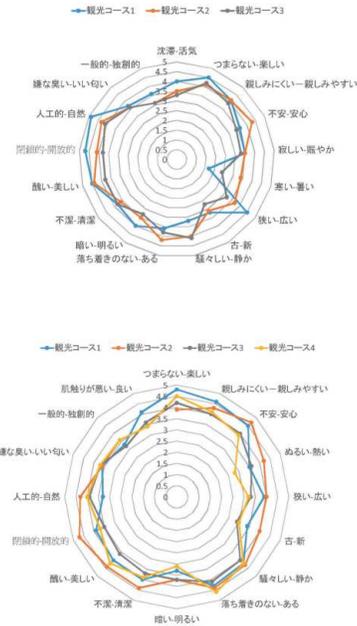


図12 SD法による環境の定量化結果

吊り橋での景観鑑賞では、長時間の屋外での活動を行うため「寒いー暑い」の項目が観光コース2よりも低い値となった。

また、下図の浴場環境の定量化の結果においては、大きな差は見られないものの、「ぬるいー暑い」の項目においては、泉温が低かった観光コース4において低い値となった。

これらの結果から、SD法により、周辺環境、及び、浴場環境が適切に定量化できているものと考えられる。

このSD法の結果と、唾液アミラーゼ、脳波、POMSとの相関分析を行った。分析結果を表2、及び、表3に示す。表2は、景観鑑賞や散策の観光行動におけるメンタルヘルスの評価指標とSD法における各項目の相関分析の結果である。表3は、温泉入浴におけるメンタルヘルスの各評価指標とSD法における浴場環境の各項目の相関分析の結果である。これらの表においては、統計的有意差が確認されたもののみを示している。表2の結果から唾液アミラーゼの増加に対して、周辺環境の「広さ」と「開放感」が影響している結果が示された。これは、周辺環境が最も広く、

表 2 各評価指標に対する周辺環境の影響

評価項目	SD 項目	相関係数
唾液アミラーゼ	狭いー広い	0.391*
	閉鎖的ー開放的	0.390*
緊張・不安	人工的なー自然な	0.408*
怒り・敵意	人工的なー自然な	0.404*
活気	寂しいー賑やか	0.380*
疲労	人工的なー自然な	0.434*

*p<.05

開放的であった豊平峡ダムにおける散策において、唾液アミラーゼの大幅な増加が示されたことによるものである。観光コース 1 の結果を除いた場合には、唾液アミラーゼと「狭いー広い」の相関係数は 0.026, 「閉鎖的ー開放的」の相関係数は 0.078 となり、いずれも統計的有意差は確認できないことから明らかである。POMS における「緊張・不安」, 「怒り・敵意」, 「疲労」の感情因子の減少に対しては、人工的な環境が効果的であることが示された。「活気」においては、周辺環境の賑やかさが影響することが示された。

また、観光コース 1 を除いた実験結果に対して相関分析を実施した場合には、 $\alpha 1$ の増加に対して、「いい匂い」が、 $\alpha 2$ の増加に対して「暖かさ」が、活気の増加に対して「美しさ」と「開放感」が、混乱の減少に対して「暗さ」が効果的であることが確認された(いずれも $p<.05$)。

一方、温泉入浴においては、唾液アミラーゼの減少に対して、浴場環境の楽しさが影響することが示され、リラックスを示す脳波の増加に対しては、一般的で人工的な環境が良いことが明らかとなった。更に、POMS における「緊張・不安」の感情因子の良化には、匂いに関係し、「活気」の感情因子においては、浴場の楽しさ、「疲労」においては、浴場の落ち着き具合と匂い、「混乱」に対しては、お湯のぬるさが、それぞれ関係することが示された。

これらの結果から観光行動のみではなく、

表 3 各評価指標に対する浴場環境の影響

評価項目	SD 項目	相関係数
唾液アミラーゼ	つまらないー楽しい	-0.406*
$\alpha 1$	一般的ー独創的	-0.354*
$\alpha 3$	人工的なー自然な	-0.328*
緊張・不安	嫌な匂いーいい匂い	-0.323*
活気	つまらないー楽しい	0.443**
	嫌な匂いーいい匂い	-0.373*
疲労	落ち着きのないーある	-0.331*
	嫌な匂いーいい匂い	-0.373*
混乱	ぬるいー熱い	0.323*

*p<.05 **p<0.01

どのような環境でどのような観光行動を行うことがメンタルヘルスの改善に効果的であるかが明らかになった。

このように、生理的、心理的側面、更に、環境までを考慮した分析を実施することが効果的なメンタルヘルス・ツーリズムの設計につながることは明らかである。

6. おわりに

本論文では、景観鑑賞や温泉入浴といった一般的な観光行動によるメンタルヘルスの改善効果の検証を行った。検証では、唾液アミラーゼ、及び、脳波による生理的指標と POMS による心理的指標の二種類を採用し、これらに基づき、総合的にメンタルヘルスの改善効果を検証した。検証のための被験者実験を札幌市近郊の温泉地である定山溪温泉地区において実施した。

実験結果から、観光行動によるメンタルヘルスの良化は示されたものの、生理的指標が気温などの外的要因に敏感であることが明らかとなった。更に、心理的指標の側面からは、観光行動を複数実施することによって段階的にメンタルヘルスが改善される可能性があることが明らかとなった。

実験では、4 つの観光コースを設定し、各コース 10 名の被験者を採用して実験を行った。生理的指標は個人差も大きいため、数多

くの被験者を用いて実験を実施する必要がある。また、食事や体験型観光など、多様な観光行動において検証実験を実施したい。これらは今後の課題である。

参考文献

- [1] 厚生労働省, 知ることからはじめよう みんなのメンタルヘルス総合サイト, <http://www.mhlw.go.jp/kokoro/index.html> (平成 26 年 8 月 19 日参照)
- [2] 小口孝司: メンタルヘルス・ツーリズム-心を軽くする旅, 日本観光研究学会全国大会学術論文集, Vol.24, pp.321-324 (2009)
- [3] 水野康文, 山口正樹, 吉田博: 唾液アマラーゼ活性はストレス推定の指標になりえるか, 日本 ME 学会雑誌, Vol.39, No.3, pp.46-51 (2001)
- [4] 井澤修平, 城月健太郎, 菅谷渚, 小川奈美子, 鈴木克彦, 野村忍: 唾を用いたストレス評価 -採取及び測定手順と各唾液中物質の特徴-, 日本補完代替医療学会誌, 第 4 巻, 第 3 号, pp.91-101 (2007)
- [5] 久米田茂喜, 酒井誉, 平田忍, 小山佳紀: 森林浴発祥地における森林セラピーの活動紹介と実験結果の報告, 日本衛生学雑誌, Vol.66, No. 4, pp.677-681 (2011)
- [6] 上田裕文, 町田佳世子, 河村奈美子, 小関信行: 森林ウォーキングによってもたらされる気分変化のプロセスに関する研究, 日本造園学会誌, Vol.76, No.5, pp.533-538 (2013)
- [7] 島崎あかね, 櫻村修生, 南和広, 柏木朋也, 一場博幸: 尾瀬国立公園での中高年男性のトレッキング時における生理的負担度および景観鑑賞時の自律神経活動, 日本生気象学会雑誌, Vol.46, No.2, pp.81-90 (2009)
- [8] 三島隆章: 奥入瀬溪流での散策が唾液アマラーゼ活性に及ぼす影響について, 八戸大学紀要, Vol.44, pp.35-42 (2011)
- [9] 本村純, 荒川雅志, 田中秀樹, 菅原航平, 高橋伸佳, 登川安政: 健康行動支援を含むビーチウォーキングのメンタルヘルス改善効果, 日本行動療法学会大会発表論文集, pp.358-359 (2008)
- [10] 渡部成江, 森谷潔, 阿岸祐幸, 橋本恵子: 天然温泉浴のストレス軽減効果と休養効果に関する実証研究, 日本健康開発財団研究年報, Vol.24, pp.1-7 (2003)
- [11] 渡部成江, 森谷潔, 阿岸祐幸, 角田悦子: 温泉保養地の気候環境と天然温泉水のストレス軽減・休養効果, 日本健康開発財団研究年報, Vol.26, pp.37-45 (2005)
- [12] 牧野博明, 戸田雅裕, 小林英俊: 温泉地での長期滞在によるストレス低減効果の検証及び短期ツアーとの比較, 日本観光研究学会, Vol.21, No.2, pp.31-39 (2010)
- [13] T. Aragaki, Assessment of Psychological Stress using Salivary Amylase and Cortisol Measurements, 歯科医学, Vol.66, No.4, pp.386-387 (2003)
- [14] 新見道夫, 山田恭二, 栗波篤史, 三好真琴: 大学生の試験ストレスが唾液コルチゾール, アミラーゼ, クロモグラニン A に及ぼす影響, 香川県立保健医療大学雑誌, 第 1 巻, pp.49-53 (2010)
- [15] 新妻慎太郎, 岩本拓門, 佐々木穂果, 橋本和弥, 長尾光悦, 斎藤一: 唾液アマラーゼに基づく温泉入浴によるストレス軽減効果の検証, 観光情報学会第 6 回研究発表会講演論文集, Vol.6, pp.13-19 (2012)
- [16] 山口昌樹, 花輪尚子, 吉田博: 唾液アマラーゼ式交感神経モニタ基礎的性能, 生体医工学, No.45, No.2, pp.161-168 (2007)
- [17] 金丸正史, 金森貴裕, 山口昌樹, 吉田博, 水野康文: 唾液アマラーゼ活性によるジェットコースターの感性評価, 信学技法, OME2003-24 (2003)
- [18] 園本美恵, 大東道治: 唾液バイオマーカーによる障碍児のチェアーサイドにおけるストレス評価の有用性の検討, 小児歯

- 科学雑誌, Vol.46, No.5, pp.524-532 (2008)
- [19] 富田陽子, 伊藤嘉奈子, 藤田光一: 唾液アミラーゼと唾液中コルチゾールによる河川環境の癒し効果の計測に関する基礎的研究, 土木学会第 62 回年次学術講演会後援論文集, pp.369-370 (2007)
- [20] 中山洋, 飯山久美子, 鮫島浩二: マルチメディアと人間の五感を応用した出産環境改善システムの開発, 日本アロマテラピー学会誌, Vol.5, No.1, pp.56-62 (2006)
- [21] 吉瀬蘭エミリー, 松山博昭, 細谷知広, 小川哲弘, 門岡幸男: 鉄・ラクトフェリンの経口摂取が精神ストレスに及ぼす影響, 日本酪農科学会誌, Vol.59, No.2, pp.93-101 (2010)
- [22] 大石康彦, 金濱聖子, 比屋根哲: 森林空間が人に与えるイメージと気分の比較—POMS および SD 法を用いた森林環境評価, 日本林學會誌, Vol.85, No.1, pp.70-77 (2010)
- [23] 長尾光悦, 斎藤一, 新妻慎太郎, 佐々木穂果: 唾液アミラーゼを利用した温泉入浴によるストレス軽減効果の検証, 観光情報学会誌, 第 10 巻, 第 1 号, pp.59-70 (2014)

〈論 文〉

Euclid の互除法、RSA 暗号、素因数分解の教材化に関する一考察

林 雄 一 郎

A Study on Development of Teaching Contents about Euclid's Algorithm, RSA Public Cryptosystem and Factoring Integers

Yuuichirou HAYASHI

要 旨

高校「数学 A」には「整数の性質」の単元に、約数と倍数、Euclid の互除法、整数の活用に関する教材がある。これらの学習により、素因数を用いて公約数や公倍数に関連する整数に関連した事象を論理的に考察し表現することや、Euclid の互除法の仕組みと最大公約数、二元一次不定方程式の解の意味とその求め方、二進数の仕組みや分数が有限小数または無限小数で表される仕組みを理解し、整数の性質を事象の考察に活用できるようになる。

本稿では、以上の観点を踏まえて、Euclid 互除法、RSA 暗号、素因数分解に関する発展的な教材を提示し、幾つかのアルゴリズムを C++言語などで記した算譜を与える。情報科学を学ぶ学生への教材としても有効と考える。

Abstract

In unit of the integer in mathematics A, there are teaching contents about divisor and multiple, Euclid algorithm, application of integer. By using these contents, students can consider logically and express the matter related to integers, and come to understand the mechanism of Euclid algorithm and the meaning of the solutions of indefinite equation and how to get solutions. Also, they understand the mechanism of diadic system and fraction expressing by finite/infinite decimal, and apply the properties of integer to consideration of matter. In this paper, based on the above, the author presented the progressive teaching contents about Euclid's algorithm, RSA cryptosystem, Factoring and gave C++ programs to execute these algorithms. The author conceives that these contents are useful for students studying informatics, also.

キーワード

発展的な教材 (progressive teaching contents)、ユークリッドの互除法 (Euclid's algorithm)、RSA 暗号系 (RSA public cryptosystem)、素因数分解 (Factoring integer)

*北海道情報大学情報メディア学部情報メディア学科特任教授 Specially appointed Professor, Department of Information Media, faculty of Information Media

1 はじめに

久しぶりに高校数学「数学A」に導入された Euclid の互除法は人類最古のアルゴリズムであり、B.C.300 年頃に記された Euclid の原論第 7 卷命題 1 に記載されている。ギリシャ数学はバビロニア数学のように代数が発達していなかったから図形的な計算で処理されている。この互除法は連分数の考え方と同じであり、また数の連分数展開から無理数への理解が一層深まるのである。

また、今日、インターネット上の商取引や重要文書の通信セキュリティの確保に PKI システムが整備され、RSA 暗号方式がそのベースになっている。これは、1977 年 MIT の Rivest、Shamir、Adleman のグループが考案したもので彼らの頭文字をとって RSA 暗号としている。彼らはこの功績で Turing 賞（2002 年）を受賞した。この暗号には初等整数論のいろいろな性質や巨大素数からなる巨大合成数が活用されている。もしこの数が意図的に因数分解できればたちまち暗号は解読されセキュリティは破綻する。

本稿では、Euclid の互除法と不定方程式、連分数と関連する幾つかのトピックスをはじめ、RSA 暗号体系や素因数分解問題に関する素材を取り上げ、高校数学における整数論の教材を考察するものである。

2 Euclid の互除法について

公約数の考えは小学校 5 年生から学ぶ。例えば、横 24 cm、縦 18 cm の長方形の厚紙がある。これを余り屑が出ないように、しかも出来るだけ大きな正方形に分けると、何センチメートルの正方形にすればいいか？という問題を考えるとき最大公約数の考えに自然に導かれるだろう。

ところで、例えば 527 と 1147 の最大公約数を求めるとき、小学 5 年生はまず 2 つの数の約数を調べるため素因数分解をしようとするだろう。奇素数 3, 5, 7, 11, 13, 17 で次々に割ってゆき、 $527 = 31 \times 17$ を見つける。 $\sqrt{527} = 22.956 \dots$ だから 19 までで見つかるはずである。

次に、1147 を 17 または 31 で割って $1147 = 31 \times 37$ を得る。さらに、37 と 17 に公約数があるか否かチェックする。

$\sqrt{17} = 4.123 \dots$ だから奇素数 3 で 17, 37 を割り、公約数は 1 しかないことを知り、31 が最大公約数であると判断するだろう。

以上の操作で必要な割り算の回数は、合計 $6 + 2 + 2 = 10$ 回となる。

一方、Euclid の互除法を使った場合は

$$1147 = 2 \times 527 + 93$$

$$527 = 5 \times 93 + 62$$

$$93 = 1 \times 62 + 31$$

$$62 = 2 \times 31$$

計 4 回の割り算で済み、互除法の効率の良さを納得することになる。

整数 a, b の最大公約数 $\gcd(a, b)$ を求める Euclid の互除法は次のようなアルゴリズムの形式で表される (Knuth, 1972)。

二つの整数 $a, b (a > b)$ に対して

E1. a を b で割り、余り $r (0 \leq r < b)$ とする

E2. $r = 0$ ならば終了し、 $b = \gcd(a, b)$

$r \neq 0$ ならば E3. に行く

E3. 代入操作 $a \leftarrow b, b \leftarrow r$ E1. に戻る

また、割り算を用いない次のような方法も

ある。 t, s を変数として

F1. $t \leftarrow a, s \leftarrow b$

F2. $t = s$ なら s を $\gcd(a, b)$ として終了

F3. $t > s$ ならば $t \leftarrow t - s$ とし、 $t < s$ なら
 $s \leftarrow s - t$ として F2 へ飛ぶ

この VC++ の算譜は次のようになる。

```
#include "stdafx.h"
#include <iostream>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

int main(void)
{ int a, b, x, y, i;
  for (i=1; i=10; i++)
  {
    puts("数を入力してください");
    scanf("%d", &a);
    puts("数をもう一つ入力してください\n");
    scanf("%d", &b);
    x=a; y=b;
    do { if (x>y) x = x-y;
        else y = y-x;
      }
    while (x != y);
    printf("最大公約数=?%d\n", y);
  }
  return 0;
}
```

527 と 1147 の最大公約数を求めると次の通りである。

数字を入力してください

527

数字をもう一つ入力してください

1147

最大公約数=31

また、LIST 処理言語 GNUCLISP を用いて記述すると次のような再帰的関数呼び出し(recursive call)を用いた美しい算譜となる。

```
[1]> (defun gcdivisor (x y)
      (cond ( (= x y) y
              )
            (( < x y)
              (gcdivisor x (- y x))
            )
            (t (gcdivisor (- x y) y)
              )))
```

91 と 104 の最大公約数を求める実行結果は次の通りである。

GCDIVISOR

```
[2]> (gcdivisor 91 104 )
```

13

2-1 E1~E3 の各操作では常に最大公約数が保存される。

$$\gcd(a, b) = \gcd(b, r)$$

(証) $\gcd(a, b) = d$ とおき、

$a = da', b = db'$ a', b' は互いに素とする。こ

のとき a, b の任意の公約数 $s (\neq 1)$ は d の

約数になる。もし d の約数でなければ a', b'

の公約数となり矛盾する。E1 の操作で商を q とすれば、 d は $b, a - bq = r$ の約数だから $\gcd(b, r)$ の約数である。

一方、 $\gcd(b, r)$ は b, r の約数だから、 $bq + r = a, b$ の公約数となり、 d の約数である。

具体的な数で互除法を実行してみる。
例 1 1147, 1071 の最大公約数を求める。
互除法の操作は次の 5 回になる。

$$\begin{aligned} 1147 &= 1 \times 1071 + 76 \\ 1071 &= 14 \times 76 + 7 \\ 76 &= 10 \times 7 + 6 \\ 7 &= 1 \times 6 + 1 \\ 6 &= 6 \times 1 \end{aligned}$$

$$\therefore \gcd(1147, 1071) = 1$$

このとき次式が成り立つ。

$$\begin{aligned} \gcd(1147, 1071) &= \gcd(1071, 76) \\ &= \gcd(76, 7) = \gcd(7, 6) = 1 \end{aligned}$$

以上を一般的に表現する。整数 a, b を考え、 $\frac{a}{b}$ は有理数とする。 a を b で割り、商を k_0 余りを x_2 とおく。 $a = x_0, b = x_1$ とする。以下、互除法の操作 E1~E3 を続ける。

$x_1 > x_2 > \dots \geq 0$ だから、この操作は m 回で終了し、アルゴリズムは停止する。

$$\begin{aligned} a = x_0 &= k_0 x_1 + x_2 & 0 < x_2 < x_1 \\ b = x_1 &= k_1 x_2 + x_3 & 0 < x_3 < x_2 \\ x_2 &= k_2 x_3 + x_4 & 0 < x_4 < x_3 \end{aligned}$$

.....

$$x_{m-2} = k_{m-2} x_{m-1} + x_m \quad 0 < x_m < x_{m-1}$$

$$x_{m-1} = k_{m-1} x_m \quad x_{m+1} = 0$$

$$\gcd(x_{i-1}, x_i) = \gcd(x_i, x_{i+1})$$

$$i = 1, 2, \dots, m-1 \quad x_m = \gcd(a, b)$$

以上を例 1 の場合で確認してみる。

割る数、割られる数の系列 $\{x_i\}$ は

$$[x_0, x_1, x_2, x_3, x_4, x_5] = [1147, 1071, 76, 7, 6, 1]$$

商となる数の系列 $\{k_j\}$ は

$$[k_0, k_1, k_2, k_3, k_4] = [1, 14, 10, 1, 6]$$

これらの数の生成にはどういうカラクリが潜んでいるだろうか？という疑問が湧いてくるだろう。それを考察してみる。

2-2 まず a, b を x_i ($i = 2, 3, \dots, m$) で表わすことを考える。

$$\begin{aligned} a &= x_0 \\ &= k_0 x_1 + x_2 \\ &= k_0 (k_1 x_2 + x_3) + x_2 = (1 + k_0 k_1) x_2 + k_0 x_3 \\ &= (1 + k_0 k_1) (k_2 x_3 + x_4) + k_0 x_3 \\ &= (k_0 + k_2 + k_0 k_1 k_2) x_3 + (1 + k_0 k_1) x_4 = \dots \end{aligned}$$

各段階の x_n の係数を p_n とおく。

$$p_0 = 1, p_1 = k_0$$

$$p_2 = 1 + k_0 k_1 = p_1 k_1 + p_0$$

$$\begin{aligned} p_3 &= k_0 + k_2 + k_0 k_1 k_2 \\ &= (1 + k_0 k_1) k_2 + k_0 = p_2 k_2 + p_1 \end{aligned}$$

.....

$\{p_n\}$ は次の漸化式を満たす。

$$p_n = p_{n-1}k_{n-1} + p_{n-2}$$

これを用いると

$$a = x_0 = p_n x_n + p_{n-1} x_{n+1} \cdots \textcircled{1}$$

と予想できる。

また、

$$\begin{aligned} b = x_1 &= k_1 x_2 + x_3 \\ &= k_1 (k_2 x_3 + x_4) + x_3 \\ &= (1 + k_1 k_2) x_3 + k_1 x_4 = \cdots \end{aligned}$$

各段階の x_n の係数を q_n とおく。

$$\begin{aligned} q_0 &= 0, q_1 = 1, \\ q_2 &= k_1 = q_1 k_1 + q_0 \\ q_3 &= k_1 k_2 + 1 = q_2 k_2 + q_1 \\ &\dots \end{aligned}$$

$\{q_n\}$ は次の漸化式を満たす。

$$q_n = q_{n-1}k_{n-1} + q_{n-2}$$

これを用いると

$$b = x_1 = q_n x_n + q_{n-1} x_{n+1} \cdots \textcircled{2}$$

と予想できる。

①、②を数学的帰納法で証明する。

$n=1$ のとき

$$\begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_0 x_1 + x_2 \\ k_1 x_2 + x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p_1 x_1 + p_0 x_2 \\ q_2 x_2 + q_1 x_3 \end{pmatrix} \quad \text{となり}$$

成り立つ。

$n-1$ まで仮定して

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} p_{n-1} & p_{n-2} \\ q_{n-1} & q_{n-2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{n-1} \\ x_n \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} p_{n-1} & p_{n-2} \\ q_{n-1} & q_{n-2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} k_{n-1} x_n + x_{n+1} \\ x_n \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} (p_{n-1} k_{n-1} + p_{n-2}) x_n + p_{n-1} x_{n+1} \\ (q_{n-1} k_{n-1} + q_{n-2}) x_n + q_{n-1} x_{n+1} \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} p_n x_n + p_{n-1} x_{n+1} \\ q_n x_n + q_{n-1} x_{n+1} \end{pmatrix} \end{aligned}$$

よって、成り立つ。

なお、 $n=m$ のとき $x_{m+1} = 0$ だから

$$a = p_m x_m, b = q_m x_m$$

例えば $a = 1147, b = 1071$ の場合、

$$\begin{aligned} k_0 &= 1, k_1 = 14, k_2 = 10, k_3 = 1, k_4 = 6 \\ m &= 5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p_0 &= 1, p_1 = k_0 = 1 \\ p_2 &= p_1 k_1 + p_0 = 1 \times 14 + 1 = 15 \\ p_3 &= p_2 k_2 + p_1 = 15 \times 10 + 1 = 151 \\ p_4 &= p_3 k_3 + p_2 = 151 \times 1 + 15 = 166 \\ p_5 &= p_4 k_4 + p_3 = 166 \times 6 + 151 = 1147 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_0 &= 0, q_1 = 1, q_2 = k_1 = 14 \\ q_3 &= q_2 k_2 + q_1 = 14 \times 10 + 1 = 141 \\ q_4 &= q_3 k_3 + q_2 = 141 \times 1 + 14 = 155 \\ q_5 &= q_4 k_4 + q_3 = 155 \times 6 + 141 = 1071 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1147 &= x_0 = k_0 x_1 + x_2 = 1 \times 1071 + 76 \\ 1071 &= x_1 = k_1 x_2 + x_3 = 14 \times 76 + 7 \\ 76 &= x_2 = k_2 x_3 + x_4 = 10 \times 7 + 6 \\ 7 &= x_3 = k_3 x_4 + x_5 = 1 \times 6 + 1 \\ 6 &= x_4 = k_4 x_5 = 6 \times 1 \end{aligned}$$

$$\gcd(x_0, x_1) = \gcd(1147, 1071)$$

$$\gcd(x_1, x_2) = \gcd(1071, 76)$$

$$\gcd(x_2, x_3) = \gcd(76, 7)$$

$$\gcd(x_3, x_4) = \gcd(7, 6)$$

$$\gcd(x_4, x_5) = \gcd(6, 1) = 1 = x_5$$

2-3 $\{p_n\}, \{q_n\}$ は次式を満たす。

$$\begin{vmatrix} p_n & p_{n-1} \\ q_n & q_{n-1} \end{vmatrix} = (-1)^n \cdots \textcircled{3}$$

(証)

$$n=1 \text{ のとき、 } p_1 = k_0, p_0 = q_1 = 1, q_0 = 0$$

$$\therefore \begin{vmatrix} p_1 & p_0 \\ q_1 & q_0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} k_0 & 1 \\ 1 & 0 \end{vmatrix} = -1$$

$n-1$ のとき成り立つと仮定する。

$$\begin{aligned} \begin{vmatrix} p_n & p_{n-1} \\ q_n & q_{n-1} \end{vmatrix} &= \begin{vmatrix} p_{n-1}k_{n-1} + p_{n-2} & p_{n-1} \\ q_{n-1}k_{n-1} + q_{n-2} & q_{n-1} \end{vmatrix} \\ &= k_{n-1} \begin{vmatrix} p_{n-1} & p_{n-1} \\ q_{n-1} & q_{n-1} \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} p_{n-1} & p_{n-2} \\ q_{n-1} & q_{n-2} \end{vmatrix} = (-1)^n \end{aligned}$$

2-4 x_n を a, b についての 1 次式で表す。

$n=1$ のとき

$$-x_1 = 0 \cdot x_0 - 1 \cdot x_1 \text{ から}$$

$$-x_1 = q_0 x_0 - p_0 x_1 = q_0 a - p_0 b$$

$n=2$ のとき、

$$x_2 = x_0 - k_0 x_1 = q_1 x_0 - p_1 x_1 = q_1 a - p_1 b$$

以上から、次式が予想される。

$$(-1)^n x_n = q_{n-1} a - p_{n-1} b$$

(証)

①、②を行列で表す。

$$\begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p_n & p_{n-1} \\ q_n & q_{n-1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_n \\ x_{n-1} \end{pmatrix}$$

逆行列をとって③を用いる。

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} x_n \\ x_{n+1} \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} p_n & p_{n-1} \\ q_n & q_{n-1} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} \\ &= \frac{1}{(-1)^n} \begin{pmatrix} q_{n-1} & -p_{n-1} \\ -q_n & p_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} \\ &= (-1)^n \begin{pmatrix} q_{n-1} a - p_{n-1} b \\ -q_n a + p_n b \end{pmatrix} \end{aligned}$$

$$\therefore x_n = (-1)^n q_{n-1} a - (-1)^n p_{n-1} b \cdots \textcircled{4}$$

2-5 Euclid の互除法の除算の回数は小さい方の数の 10 進数表示の桁数の 5 倍を超えない (*Lamé* の定理)。

これは数列 x_0, x_1, \dots, x_m を Fibonacci 数列と比較することで証明できる。そのために補題を一つ必要とする。

補題 Fibonacci 数列 $\{f_k\}$ において

$$f_{5p+1} > 10^p \text{ が成り立つ。}$$

例えば、

$$\begin{aligned} f_6 &= f_5 + f_4 = f_4 + 2f_3 + f_2 \\ &= 3f_3 + 2f_2 = 5f_2 + 3f_1 \\ &= 8f_1 + 5f_0 = 13 > 10^1 \end{aligned}$$

(証) Fibonacci 数列の一般項は

$$f_k = \frac{1}{\sqrt{5}} \{ \alpha^{k+1} - \beta^{k+1} \}$$

$$\alpha = (1 + \sqrt{5})/2, \beta = (1 - \sqrt{5})/2$$

これに $k = 5p+1$ を代入

$$f_{5^{p+1}} = \frac{3+\sqrt{5}}{2\sqrt{5}}\{\alpha^5\}^p - \frac{3-\sqrt{5}}{2\sqrt{5}}\{\beta^5\}^p$$

$$\alpha^5 \approx 11.090\dots > 11 \quad \beta^5 \approx -0.090\dots$$

$$\text{よって、} f_{5^{p+1}} \geq \frac{3+\sqrt{5}}{2\sqrt{5}} \cdot 11^p - \frac{3-\sqrt{5}}{2\sqrt{5}}$$

このとき右辺は 10^p 以上となることが分かる。

まず、 $p=0$ のときは明らか。

$p \geq 0$ のとき成り立つと仮定する。

$$\begin{aligned} & \frac{3+\sqrt{5}}{2\sqrt{5}} \cdot 11^{p+1} - \frac{3-\sqrt{5}}{2\sqrt{5}} \\ &= 11 \left(\frac{3+\sqrt{5}}{2\sqrt{5}} \cdot 11^p - \frac{3-\sqrt{5}}{2\sqrt{5}} \right) + 10 \cdot \frac{3-\sqrt{5}}{2\sqrt{5}} \\ & \geq 11 \cdot 10^p \geq 10^{p+1} \end{aligned}$$

そこで、 $\{x_i\} \quad i=0,1,2,\dots,m$ を逆順に

$\{l_j\}$ と定め、 $\{f_j\}$ と比較する。

$$l_0 = x_m \geq f_1 = 1$$

$$x_{m-1} > x_m, k_{m-1} > 1 \text{ より}$$

$$l_1 = x_{m-1} = k_{m-1}x_m \geq l_0 + 1 \geq f_0 + f_1 = f_2$$

$$l_2 = x_{m-2} = k_{m-2}x_{m-1} + x_m \geq l_1 + l_0$$

$$\geq f_2 + f_1 = f_3$$

そこで、 $l_j \geq f_{j+1}$ と仮定する。数学的帰納

法で示す。

$$l_{j+1} = x_{m-j-1} = k_{m-j-1}x_{m-j} + x_{m-j+1}$$

$$\geq l_j + l_{j-1} \geq f_{j+1} + f_j = f_{j+2}$$

したがって、2つの整数 $a, b (a > b)$ で

Euclidの互除法の回数 m が $m \geq 5q+1$ とする。このとき、

$$b = x_1 = l_{m-1} \geq f_m \geq f_{5q+1} > 10^q$$

$\therefore \log_{10} b > q$ が成り立つ。

この対偶は $\log_{10} b \leq q$ ならば、 $m < 5q$ となる。よって、互除法の回数は $5\lceil \log_{10} b \rceil$ でおさえられる。

ただし、 $\lceil x \rceil$ は x を超える最小の整数で

あり、 $x = \log_{10} b$ ならば b の桁数を表す。

$$\text{例} \quad \lceil \log_{10} 1234 \rceil = \lceil \log_{10} 1.234 + 3 \rceil = 4$$

3 Euclid 互除法と不定方程式

不定方程式の解法への応用を考える。

3-1 不定方程式 $ax+by=d$ ・・・⑤

の一般解を求める。

⑤が解をもつためには d が $\gcd(a, b)$

の倍数となることが必要十分である。

いま、 $d = \gcd(a, b)$ とする。

Euclidの互除法を用いて2-4の④式が求められたとする。

$$x_m = d = \gcd(a, b)$$

$$= (-1)^m q_{m-1}a + (-1)^{m-1} p_{m-1}b$$

$a = a'd, b = b'd$ とおく。

この式と⑤から

$$a'(x - (-1)^m q_{m-1})$$

$$= b'(-y + (-1)^{m-1} p_{m-1})$$

a', b' は互いに素だから

$$x = (-1)^m q_{m-1} + b't$$

$$y = (-1)^{m-1} p_{m-1} - a't \cdots \textcircled{6}$$

(t : 整数)

これが⑤の一般解である。

例2 不定方程式 $1147x + 1071y = 1$ の一般解を求める。

$$m = 5, p_4 = 166, q_4 = 155$$

$$a' = 1147, b' = 1071$$

を⑥に代入すれば

一般解は

$$x = -155 + 1071t, y = 166 - 1147t$$

3-2 なお、次のように行列を使って特殊解を求める方法がある (岩堀、1983)。

$$a = x_0 = k_0 x_1 + x_2 \text{ から}$$

$$\begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_0 \\ x_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}$$

$$\text{同様に } \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_1 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_2 \\ x_3 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_2 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_3 \\ x_4 \end{pmatrix}, \quad \dots$$

$$\begin{pmatrix} x_{m-1} \\ x_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_{m-1} & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_m \\ 0 \end{pmatrix}$$

が成り立つ。

これから

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} x_0 \\ x_1 \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} k_0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} k_1 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \cdots \begin{pmatrix} k_{m-1} & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_m \\ 0 \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} \alpha & \beta \\ \gamma & \delta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_m \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha & \beta \\ \gamma & \delta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d \\ 0 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

$$\begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha & \beta \\ \gamma & \delta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} d \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha & \beta \\ \gamma & \delta \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x & y \\ z & w \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix}$$

$$\therefore d = ax + by$$

$$\begin{pmatrix} x & y \\ z & w \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned} &= \begin{pmatrix} k_{m-1} & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} k_{m-2} & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}^{-1} \cdots \begin{pmatrix} k_0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}^{-1} \\ &= \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & -k_{m-1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & -k_{m-2} \end{pmatrix} \cdots \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & -k_0 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

$\cdots \textcircled{7}$

$$\begin{pmatrix} k_i & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}^{-1} = - \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ -1 & k_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & -k_i \end{pmatrix}$$

⑦を用いて**2-1**の例1の特殊解を求める。

$$k_0 = 1, k_1 = 14, k_2 = 10, k_3 = 1, k_4 = 6$$

だから ⑦は

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} x & y \\ * & * \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & -6 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & -10 \end{pmatrix} \\ &\times \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & -14 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & -1 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & -6 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & -10 \\ -1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ -14 & 15 \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & -6 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 141 & -151 \\ -155 & 166 \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} -155 & 166 \\ * & * \end{pmatrix} \end{aligned}$$

特殊解は $x = -155, y = 166$ である。

4 Euclid 互除法と連分数

Euclid 互除法の式から連分数の展開式が出てくる。

4-1 1147, 1071 の互除法の各式変形を再掲する。

$$\begin{aligned} 1147 &= 1 \cdot 1071 + 76, 1071 = 14 \cdot 76 + 7 \\ 76 &= 10 \cdot 7 + 6, 7 = 1 \cdot 6 + 1 \end{aligned}$$

これを連分数に展開すると

$$\begin{aligned} \frac{1147}{1071} &= 1 + \frac{76}{1071} = 1 + \frac{1}{14 + \frac{7}{76}} \\ &= 1 + \frac{1}{14 + \frac{1}{10 + \frac{6}{7}}} = 1 + \frac{1}{14 + \frac{1}{10 + \frac{1}{1 + \frac{1}{6}}}} \end{aligned}$$

一般の a, b の場合は

$$\begin{aligned} \frac{a}{b} &= \frac{x_0}{x_1} = k_0 + \frac{x_2}{x_1} = k_0 + \frac{1}{k_1 + \frac{x_3}{x_2}} \\ &= k_0 + \frac{1}{k_1 + \frac{1}{k_2 + \frac{x_4}{x_3}}} = \dots \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= k_0 + \frac{1}{k_1 + \frac{1}{k_2 + \dots}} \\ &\quad + \frac{1}{k_{m-2} + \frac{1}{k_{m-1}}} \end{aligned}$$

$= [k_0, k_1, \dots, k_{m-1}]$ と書く。

これは 2-1 で扱った互除法の商系列の表現と同じである。

$$\text{上の例では } \frac{1147}{1071} = [1, 14, 10, 1, 6]$$

なお、有理数は有限の連分数展開で表される。逆も成り立つ。

無理数の連分数展開はどうなるか？

例えば、 $\sqrt{2}$ を連分数展開は

$$\begin{aligned} \sqrt{2} &= 1 + (\sqrt{2} - 1) = 1 + \frac{1}{1 + \sqrt{2}} \\ &= 1 + \frac{1}{2 + (\sqrt{2} - 1)} \\ &= 1 + \frac{1}{2 + \frac{1}{1 + \sqrt{2}}} \\ &\dots \end{aligned}$$

となり、無限の連分数展開となる。

実は、任意の無理数は無限連分数に展開される。逆も成り立つ。

$$\sqrt{2} = [1, 2, 2, \dots] = [1, \dot{2}] \text{ ということは}$$

$\sqrt{2}$ が無理数であることの証左である。

4-2 $\tau = \frac{1 + \sqrt{5}}{2}$ の連分数展開を考える。

この数は黄金比と呼ばれ、 $\tau^2 - \tau - 1 = 0$ を満たす正の解である。式変形すると

$$\tau = 1 + \frac{1}{\tau} = 1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{\tau}} = 1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{\tau}}}$$

$$= [1, 1, \dots]$$

黄金比は Fibonacci 数列の漸化式 $p_0 = p_1 = 1$ $p_n = p_{n-1} + p_{n-2}$ を満たす数列 $1, 1, 2, 3, 5, \dots$ に関連している。

辺の長さ 1 の正五角形 ABCDE (図 1) において、 $\angle AEB = \frac{\pi}{5}$ 点 A から線分 BE に垂線を下した点を F とすれば

$$EF = \cos \frac{\pi}{5} \quad BE = 2 \cos \frac{\pi}{5}$$

$$AB = AE = 1$$

$$\frac{BE}{AB} = \frac{AB}{BP} \quad \text{より} \quad BP = \frac{1}{BE}$$

$$BE = BP + PE = BP + AE = BP + 1$$

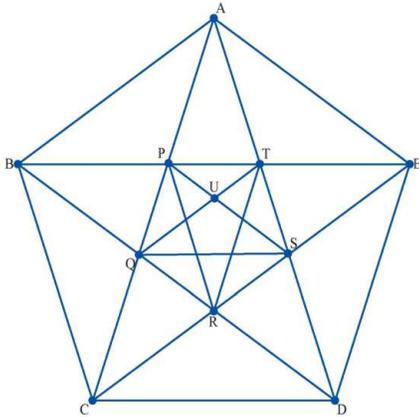


図 1 五角形の対角線

$$\therefore BE = 1 + \frac{1}{BE}$$

ここで $BE = \tau$ とおけば $\tau = 1 + \frac{1}{\tau}$ となり BE の長さは黄金比になる。

$$BE = \frac{1 + \sqrt{5}}{2}$$

正五角形の作図はこの比を使ってできる。次に、線分同士の互除法を考える。

$$BE = AE \cdot 1 + BP$$

$$AE = BT = BP \cdot 1 + PT$$

$$BP = QT = PT \cdot 1 + UT$$

.....

これは以下のような無限連分数になる。

$$\tau = \frac{BE}{AE} = BE = 1 + \frac{BP}{AE} = 1 + \frac{1}{\frac{AE}{BP}}$$

$$= 1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{\frac{BP}{PT}}} = 1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{\frac{PT}{UT}}}}$$

よって、 τ は無理数となる。

5 RSA 暗号系について

大きな 2 つの素数 p, q を選びその積 N を定めておく。また、 $(p-1)(q-1)$ と互いに素なある整数 r (閉める鍵) を選んでおく。 N, r は公開鍵として公開される。いま、数値化された通信文 (平文) を a とする。

5-1 $a^r \equiv b \pmod{N}$ となる b を求め、

それを暗号文とする。受信側は暗号文 b から元の通信文 a を次の手順で解読する。

- ① まず、公開鍵 N を素因数分解し、 p, q

を求める。この素因数分解を適切な時間（多項式時間）と妥当な記憶容量内で処理するのは大変困難が伴う。これが RSA 暗号の安全性を保障している。

② $rs \equiv 1 \pmod{(p-1)(q-1)}$ を満たす s

は開ける鍵である。これから p, q, r から求め、暗号文 b を s 乗し、法 N に関する剰余を求める。

$$b^s \equiv (a^r)^s = a^{rs} \equiv a^1 = a \pmod{N}$$

こうして、元の通信文 a を得る。

RSA 暗号系に用いられる初等整数論の知識を 5-2、5-3 にまとめておく。

5-2 不定方程式 $ax+by=c$ が解をもつためには、 $\gcd(a,b) \mid c$ が成り立つことが必要十分条件である。

(証) 必要条件は明らかである。十分条件は、 $n = \text{Min}\{ax+by \mid ax+by > 0\}$ とおく。

$ax+by=m$ となる数 m は n の倍数になる。

$$\begin{aligned} \text{何故なら、} & m = nq + r \quad 0 \leq r < n \\ as + bt = n & \quad ax + by = m \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r &= m - nq = (ax + by) - (as + bt)q \\ &= a(x - sq) + b(y - tq) \geq 0 \end{aligned}$$

n の最小性から $r=0$ となる。

$a = a \cdot 1 + b \cdot 0$ $b = a \cdot 0 + b \cdot 1$ よって、 a, b は n の倍数。つまり、 n は a, b の公約数であるから、 $d = \gcd(a, b)$ の約数となる。

$n \leq d$ 他方、 n は a, b の 1 次結合 $as + bt$ と表されているから、 d の倍数となり $d \leq n$

よって $n = d$

したがって、 $d = as + bt$ であり d の倍数 c も a, b の 1 次結合で表される。

5-3 次に、Euler の定理、Fermat の定理について述べる。

1 から N までの自然数で N と互いに素な数の個数を Euler 関数 $\varphi(N)$ という。

p が素数ならば $\varphi(p) = p-1$ は明らかである。 q も素数で $N = pq$ ならば次式が成り立つ。

$$\varphi(N) = (p-1)(q-1)$$

何故なら、1 から $(N-1)$ までの数で p, q の約数はそれぞれ $(q-1), (p-1)$ 個ずつあるから

$$\begin{aligned} \varphi(N) &= pq - 1 - (p-1) - (q-1) \\ &= pq - p - q + 1 \\ &= (p-1)(q-1) \end{aligned}$$

(Euler の定理)

自然数 m 、整数 a で $\gcd(a, m) = 1$ ならば

$$a^{\varphi(m)} \equiv 1 \pmod{m}$$

(証) $\{x_1, x_2, \dots, x_l\}$ を法 m に関する既約

剰余系とする。 $l = \varphi(m)$ このとき、 ax_i は m と互いに素だから

$\{ax_1, ax_2, \dots, ax_l\}$ はまた既約剰余系となる。

$$(ax_1)(ax_2)\cdots(ax_l) \equiv x_1x_2\cdots x_l \pmod{m}$$

$$a^l x_1x_2\cdots x_l \equiv x_1x_2\cdots x_l \pmod{m}$$

$$(x_1x_2\cdots x_l, m) = 1$$

$$\therefore a^l \equiv a^{\varphi(m)} \equiv 1 \pmod{m}$$

(Fermat の定理)

Euler の定理で $N = p$ (素数) とすれば

$\varphi(p) = p-1$ だから、 $\gcd(a, p) = 1$ のとき、

$$a^{p-1} \equiv 1 \pmod{p} \quad \text{が成り立つ。}$$

なお、 $x \equiv 1 \pmod{p-1}$ ならば

$$x = 1 + (p-1)t \quad \text{となり}$$

$$a^x = a^{(p-1)t+1} = (a^{p-1})^t \cdot a \equiv 1^t \cdot a$$

$$= a \pmod{p}$$

$\therefore a^x \equiv a \pmod{p}$ となることに留意して

おく。

5-4 暗号解読の計算②を考察する。

$$\gcd(r, p-1) = 1, \gcd(r, q-1) = 1$$

だから次の 1 次不定方程式は解をもつ。

$$\begin{aligned} ru + (p-1)v &= 1 \\ rx + (q-1)y &= 1 \end{aligned} \quad \dots \textcircled{1}$$

この式から

$$(u-x)r = -v(p-1) + y(q-1)$$

$\gcd(p-1, q-1) = d$ とすれば、

$d \mid (u-x)$ となる。よって、次の不定方

程式は解を持つ。

$$(p-1)w + (q-1)t = u-x \quad \dots \textcircled{2}$$

この特殊解を w, t とする。

$u - (p-1)w = x + (q-1)t = s$ とおけば、 s

が求めるものである。

公開鍵 r に対して

$$rs = r(u - (p-1)w)$$

$$= ru - (p-1)rw$$

$$= 1 - v(p-1) - (p-1)rw$$

$$\equiv 1 \pmod{p-1}$$

$$rs = r(x + (q-1)t)$$

$$= rx + rt(q-1)$$

$$= 1 - y(q-1) + rt(q-1)$$

$$\equiv 1 \pmod{q-1}$$

したがって、

$$rs \equiv 1 \pmod{p-1}$$

$$rs \equiv 1 \pmod{q-1}$$

r, s は既約剰余類群 $(Z/\varphi(N)Z)^\times$ におけ

る乗法に関する逆元同士である。

5-3 で留意したことから

$$a^{rs} \equiv a \pmod{p} \quad a^{rs} \equiv a \pmod{q}$$

$a^{rs} \equiv a \pmod{pq} = a \pmod{N}$ となり解

読される (一松、1980)。

例 3

公開鍵はそれぞれ $N = 143, r = 7$ とする。

通信文（平文）を $a=5$ とする。
このとき、暗号文は

$$\begin{aligned} a^7 &= 5^7 = 78125 \\ &= 546 \times 143 + 47 \equiv 47 \pmod{143} \end{aligned}$$

これを解読してみよう。

まず、公開鍵 N を素因数分解する。
 $N=11 \times 13$ よって、 $p=11, q=13$ と確定する。

そこで、不定方程式①が求まる。

$$7u + 10v = 1, 7x + 12y = 1$$

これを Euclid の互除法を用いて解く。

$$10 = 1 \times 7 + 3, 7 = 2 \times 3 + 1 \text{ から}$$

$$1 = 7 - 2 \times (10 - 1 \times 7) = 3 \times 7 - 2 \times 10$$

$$\therefore u = 3, v = -2$$

$$12 = 1 \times 7 + 5, 7 = 1 \times 5 + 2, 5 = 2 \times 2 + 1 \text{ から}$$

$$1 = 5 - 2 \times (7 - 1 \times 5) = 3 \times 5 - 2 \times 7$$

$$= 3 \times (12 - 1 \times 7) - 2 \times 7$$

$$= 3 \times 12 - 5 \times 7$$

$$\therefore x = -5, y = 3$$

これから、次の不定方程式②を得る。

$$10w + 12t = u - x = 8$$

$$\text{この方程式の特殊解は } w = -4, t = 4$$

よって、開ける鍵は

$$s = u - w \times 10 = 3 + 4 \times 10 = 43$$

$$47^{43} \text{ は } 10 \text{ 進 } 72 \text{ 桁の数となる。}$$

$47^{43} \pmod{143}$ は Mathematica で計算する

と $\text{Mod}[47^{43}, 143] = 5$ となる。

6 素数の判定

5 で述べたとおり RSA 暗号には適切な素数が必要となる。そのような数を構成するためには、ある数が素数か否か見極めること

が必要となってくる。こうして素数の判定が重要となる。

6-1 数 n に対する素数判定法として、良く知られた Eratosthenes の篩法は、 \sqrt{n} 以下のすべての素数での割り算を試すので効率が悪い。2-5 で述べたように、 $1 \leq k \leq n$ 、 $\text{gcd}(k, n)$ を求める計算回数は k の 10 進桁数の 5 倍以下となる。例えば $n = 10^{50}$ $m = \lceil \sqrt{n} \rceil$ とすると計算総数は次式を超えない。

$$\begin{aligned} 5 \sum_{k=1}^m \log_{10} k &= 5 \log_{10} m! \\ &\sim 5 \log_{10} \left(\sqrt{2\pi} \left(m^{m+1/2} \right) e^{-m} \right) \end{aligned}$$

$m = 10^{25}$ のときの値は 1.27172×10^{27} となり、1 回の互除法の平均計算が 100 億分の 1 秒かかるとしても 40 億年かかる。

次に、Fermat の小定理を用いた方法がある (Fermat-test)。5-3 で述べたように、Fermat の定理「 n が素数ならば、

$$a^{n-1} \equiv 1 \pmod{p} \text{ が成り立つ}」の対偶$$

「 $a^{n-1} \equiv 1 \pmod{n}$ が成り立たない a があれば、 n は素数ではない」を使う。

$$a(1 < a \leq n-1, \text{gcd}(a, n) = 1) \text{ をランダム}$$

に選び、 $a^{n-1} \equiv 1 \pmod{n}$ が成り立つかどうか調べ、成り立たなければ n が合成数となる。このアルゴリズムを効率化したのが、次のような方法 (Miller-Rabin 法) である。

6-2 与えられた n が奇数とする。 $n-1$ を 2

で割り切って、 $n-1=2^s \cdot d$ (d は奇数)となる s, d を求める。また、判定回数 k を指定しておく。

MR1. $2 \leq a \leq n-1$ である整数 a (底) をランダムに選ぶ

MR2. $a^d \equiv 1 \pmod{n}$ であるか、または

$a^{2^r \cdot d} \equiv -1 \pmod{n}$ となる $r (0 \leq r \leq s-1)$ が

あるか調べる。あれば n は「素数」と見做す。なければ「合成数」と見做す。

MR3. k 回行って l 回「素数」と出れば、 n が合成数である確率は 2^{-2l} 以下であると判定する。

このアルゴリズムの論拠を考えてみる。 n は奇素数で $\gcd(a, n) = 1$ とする。 $n-1$ を 2 で割り切って、 $n-1=2^s \cdot d$ d は奇数となる。このとき、次のことが成り立つ。

補題 n が奇素数ならば上の操作で、次の (1), (2) のいずれかが必ず成り立つ。

$$(1) \quad a^d \equiv 1 \pmod{n}$$

$$(2) \quad a^{2^s \cdot d} \equiv -1 \pmod{n}$$

(証明) n は素数だから

Fermat の定理より、 $a^{n-1} \equiv 1 \pmod{n}$

$$a^{n-1} = a^{2^s \cdot d} = \left(a^{2^{s-1} \cdot d} \right)^2 \equiv 1 \text{ より } a^{2^{s-1} \cdot d} \equiv \pm 1 \text{ または}$$

$a^{2^{s-1} \cdot d} \equiv -1$ である。何故なら、 Z/nZ は整域だから $(\bar{a} \cdot \bar{b} \equiv \bar{0} \Leftrightarrow \bar{a} \equiv \bar{0} \text{ または } \bar{b} \equiv \bar{0})$ 、 $\bar{x}^2 = \bar{1}$ ならば、 $\bar{x} = 1$ または $\bar{x} = -1 = \bar{-1}$ が成

り立つからである。もし、 $a^{2^{s-1} \cdot d} \equiv -1$ なら (2)

が成り立つ。また、 $a^{2^{s-1} \cdot d} \equiv 1$ ならば、同じ議論を続けていく。このとき、

$2^{s-1} > 2^{s-2} > 2^{s-3} > \dots = 2^0 = 1$ となる。最後は、 $a^{2^0 \cdot d} = a^d \equiv 1 \pmod{n}$ となり、(1) が成り立つ。

補題の対偶は、「ある $a \in (Z/nZ)^\times$ が存在

し、(1), (2) の両方が成り立たないならば、 n は合成数である」ことになる。これを精密に調べ、判定するのが Miller-Rabin 法である。

上のアルゴリズムにおいて、 n が合成数であるにもかかわらず、ある底に対して「素数」と誤った判定を下す確率は高々 2^{-2} であることが分かっている (深川、2002)。したがって、試行回数を多くすることで判定の妥当性をあげることができる。

6-3 MR1.~MR3. のアルゴリズムを VC++ で書くと次のような算譜となる。

```
// 素数判定プログラム.cpp :
```

```
#include "stdafx.h"
#include "stdio.h"
#include "math.h"
#include "cstdlib"
#include <ctime>

int main(void)
{ int n, k, s, x, t, r, dd ; long double
a, z, y, p, w, yy, ww, probability;
  srand((unsigned)time(NULL));
```

```

printf("5以上の奇数を入力してください
¥n");
scanf("%d", &n);
printf("回数を入力してください¥n");
scanf("%d", &k);
x=n-1;
dd=s=r=0;
while (r==0)
{ dd=x/2;
  s=s+1;
  x=dd;
  r=x%2;
}
a=probability=0;
for (int j=1; j<=k; j++)
{
  a=2+rand()%n;
  yy=powl(a, dd)-1.0;
  y=fmodl(yy, n);
  if (y==0)
  { probability=probability+1.0;
    continue;
  }
  else
  { p=s-1;
    while (p >= 0.0)
    {
      z=dd*powl(2.0, p);
      ww=powl(a, z)+1;
      w=fmodl(ww, n);
      if (w==0.0)
      { probability=probability+1.0;
        break;
      }
    }
  }
  else
  p=p-1.0;
}
}
if (probability > 0.0)
  printf("数 n は素数です。この判定が
  誤る確率は高々%f です。
  ¥n", 1/powl(4, probability));
else
  printf("数 n は合成数です。¥n");
return (0);
}

```

以下は $n = 29$ 、 $k = 4$ のとき実行結果である。

```

5 以上の奇数を入力してください
29
回数を入力してください
4
a=16.000000
y=0.000000
a=7.000000
y=0.000000
a=13.000000
y=27.000000
w=2.000000
w=0.000000
a=2.000000
y=11.000000
w=0.000000
probability=4.000000
数 n は素数です。この判定が誤る確率は
高々0.003906 です。

```

この算譜では k 回で判定できない場合は合成数としている。合成数は原理的に判定可能であり、素数の判定も確率的に可能なはず

である。しかし、そうならないのは底の選び方から巨大な冪計算が必要な場合があり、有効桁数の限界が立ちはだかっているからである。

なお、近年、関数電卓の機能向上は著しく、C++で出来ない計算が TI-nspireCX で出来たことを付け加えておく。

7 巨大数の素因数分解

多項式時間のアルゴリズムとは、入力サイズ n に対して、処理時間の上限が n の多項式で表現され、能率の良いものである。例えば、バブルソートは $n(n-1)/2$ で要素数 n の 2 次多項式である。

7-1 多項式時間 (Polynomial time) 内で決定性アルゴリズムによって解ける問題は P 問題と呼ばれる。

また、その操作の中に可能性の集合 S の中から選択する機能 $choice(S)$ を含む非決定性アルゴリズムによって多項式時間で解ける問題は NP 問題 (Non-deterministic Polynomial time) と呼ばれる。

決定性アルゴリズムにより多項式時間内で解ける問題は、非決定性アルゴリズムによる多項式時間内で解けるから、 $P \subset NP$ が成立する。 $NP \subset P$ が成り立てば未解決問題「 $NP \neq P$ 予想」は解けたことになる。もし、 $NP = P$ となるようなことになれば暗号系は破綻するといわれる。

NP 問題を解く決定性アルゴリズムでは可能なすべてをしらみつぶしに調べる方法をとるしかない。その時間量は入力サイズ n の場合は $O(2^{p(n)})$ 、 $p(n)$ はある多項式になることが分かっている (伊理、野崎、野下

1980)。

従前の因数分解アルゴリズムの多く、例えば数体ふるい法、楕円曲線法などは決定性アルゴリズムである。サイズ n の数の素因数分解を一般数体ふるい法で行う際の計算量は $O\left(\exp\left(c(\log n)^{1/3}(\log \log n)^{2/3}\right)\right)$ である

(CRYPTREC,2001)など指数時間を要する。

他方、サイズ n の大きさは暗号系の設計上重要な問題でもある。

7-2 近年、量子計算機が開発され、重ね合わせを用いた超並列計算が可能となった。さらに、1994年、Shor が量子計算を用いた非決定性アルゴリズムを考案した(Shor,1994)。

Shor アルゴリズムは以下のように、S1~S6 からなる。いま、素因数分解したい合成数を n とし、 $n = pq$ かつ p, q は素数と仮定する。

- S1. $\{1, 2, 3, \dots, n\}$ からランダムに a を選ぶ。
- S2. $\gcd(a, n) = 1$ なら S3 へ行く。そうでないならば S1 に戻る
- S3. $a^r \equiv 1 \pmod{n}$ となる r を、量子計算で求め S4 へ行く
- S4. r が偶数ならば S5 に行く。奇数ならば S1 に戻る
- S5. $\gcd(a^{r/2} + 1, n), \gcd(a^{r/2} - 1, n)$ を求めて S6 へ行く
- S6. S5 で求めた数のいずれかが n ならば S1 に戻る。そうでなければこれらの数が求める素因数 p, q となる。

このアルゴリズムの論拠を考える。

$$p = \gcd(a^{r/2} + 1, n)$$

$$q = \gcd(a^{r/2} - 1, n)$$

$$a^r - 1 = nn'$$

$$n = pp'' = qq''$$

$$a^{r/2} + 1 = pp'$$

$$a^{r/2} - 1 = qq'$$

$$\gcd(p', p'') = \gcd(q', q'') = 1$$

$$a^r - 1 = (a^{r/2} + 1)(a^{r/2} - 1)$$

$$= pp'qq' = nn' = pp''n'' = qq''n''$$

これから

$$p'qq' = p''n', pp'q' = q''n' \quad p' | n', q' | n'$$

から $n' = p'q'l$ $p = q''l$ p は素数だから
 $p = q''$, $l = 1$

または $p = l$, $q'' = 1$ $n = pq$ となる。
 $q = p''l$ からも同じ結果が出てくる。

S3 は、複数の r 値を選び、それぞれの計算を並行に走らせ成り立つものが出てきた時点で処理を終了させる木構造の計算となる。また、S5 は Euclid の互除法を使う。

このアルゴリズムの計算量は、数 n を 2 進数表示したときの桁数 $\log_2 n$ のオーダーになることが分かっている(栗山他、2005)。

例 4 $n = 21$ に対して Shor アルゴリズムを適用してみる。S1 で、 $a = 2$ を選ぶと $(2, 21) = 1$ だから S3 に行く。

$2^r \equiv 1 \pmod{21}$ となる最小の r は、

$2^6 = 64 = 3 \times 21 + 1$ なので 6 である。

S4 に行き r は偶数だから⑤に行く。

S5 では、

$$2^{\frac{6}{2}} + 1 = 9, 2^{\frac{6}{2}} - 1 = 7$$

$$\gcd(9, 21) = 3, \gcd(7, 21) = 7$$

よって、 $p = 3, q = 7$ となり因数分解出来たことになる。

7-3 このアルゴリズムをノイマン型計算機でシミュレートすることができる。VC++ で書いた算譜は以下となる。

// 素因数分解の算譜.cpp //

```
#include "stdafx.h"
#include <iostream>
#include <cstdlib>
#include <cmath>
#include <time.h>
using namespace std;

// 関数gcdのproto-type宣言
long double gcd ( long double x, long double
y);

int main(void)
{ int n, r ;
  long double
a, aa, b, bb, bbb, c, cc, d, dd, rr ;
  srand((unsigned)time(NULL));
  cout << "素因数分解する合成数を入力して
ください\n";
  cin >> n ;
  // 1~nの間の数を実数として抽出
j1: do { a = rand() % n;
  // nと互いに素な数aを見つける}
```

```

while( aa != 1);
    aa = gcd ( a , n);
for ( r = 1;r <= n ; r++)
    { b = powl ( a , r)-1;
      bb = fmodl ( b , n);
      if ( bb == 0)
      { // aのr乗 ≡ 1 (mod n)
        bbb = fmodl( r , 2);
        // r:偶数ならば素因数の生成へ進む
        if (bbb == 0) goto j2;
      }
      // r:奇数ならばaを選びやり直す
      else goto j1;
    }
j2: rr = r / 2;
    c = powl( a , rr)+1;
    cc = gcd ( c , n); //第一因子
// 生成した数がnならば最初へ戻る
if (cc == n) goto j1;
else
    d = powl( a , rr )-1;
    dd = gcd ( d , n); // 第二因子
// 生成した数がnならば最初に戻る
if (d == n) goto j1;
else
    cout << "素因数分解成功！因数は¥n";
    cout << cc << "¥n" << dd << "¥n" ;

    return 0;
}

long double gcd ( long double x, long double y)
{
    do
    {
        if (x >y)

```

```

x = x-y;
    else y = y-x;
} while (x != y);
return y;
}

```

例3で扱った $n=143(=13 \times 11)$ の計算実行の結果は次のようになる。

素因数分解する合成数を入力してください

143

a=82 . . . 初めに選んだ乱数

b=81

b=6723

b=551367

b=4.52122e+007

b=3.7074e+009

b=3.04007e+011

b=2.49285e+013

b=2.04414e+015

b=1.6762e+017

b=1.37448e+019

b=1.12707e+021

b=9.24201e+022

b=7.57844e+024

b=6.21432e+026

b=5.09575e+028

a=5 . . . 別の乱数で試みる

b=4

b=24

b=124

b=624

b=3124

b=15624

b=78124

b=390624

b=1.95312e+006

b=9.76562e+006

b=4.88281e+007

b=2.44141e+008

b=1.2207e+009

b=6.10352e+009

b=3.05176e+010

b=1.52588e+011

b=7.62939e+011

b=3.8147e+012

b=1.90735e+013

b=9.53674e+013 $\cdot \cdot \cdot r=20$ で見つかる

rr=10

c=9.76563e+006

d=9.76562e+006

素因数分解成功！ 因数は

13 $\cdot \cdot \cdot c$ から抽出された第 1 因数

11 $\cdot \cdot \cdot d$ から抽出された第 2 因数

8 終わりに

身近なインターネットにおける通信処理に整数論の定理が生かされていることを知れば、整数論に対する興味・関心が増すであろう。本稿で取り上げた素材は生徒に数学の有用性を理解させ、数学のよさを認識するきっかけづくりに好都合な教材となる。

また、整数の問題を計算機で解くアルゴリズムやプログラム言語への関心を少しでも持たせる教材になると考えている。

「数学活用」の教科書ではトピックスとして暗号の数理が取り上げられている(根上、2012)。「数学A」での整数の性質の授業での数学的活動における課題学習のテーマとして取り上げてみるのもよかろう。

さらに、様々な素材が開発され、それらを用いて生徒を啓発し、眠っている数学的能力

を目覚めさせ、伸ばす数学的活動が求められている(林、2014)。

整数に関するいろいろな問題はそういう素材として最適であり、今後、一層、教材開発が進展していくことが期待されている。

参考文献

- [1] 伊理・野崎・野下(1980)：計算の効率化とその限界、数学セミナー、日本評論社
- [2] 岩堀長慶(1983)：2次行列の世界、岩波書店
- [3] 河田敬義(1992)：数論、岩波書店
- [4] Knuth(1972)：The Art of Computer Programming, Volume 1
- [5] CRYPTREC(2001)：素因数分解問題調査研究報告書
- [6] 栗山、佐野、古市(2005)：shorの素因数分解アルゴリズムにおける計算量の精密な評価、統計数理研究所、講究 1452 巻
- [7] P.W.Shor(1994)：Algorithms for Quantum computation: Discrete log and Factoring, Proc. of the 35th Annual IEEE Symp. On Foundations of Computer Science, p.124-134
- [8] 根上生也(2012)：数学活用、啓林館
- [9] 林雄一郎(2014)：高校数学における発展的オプション教材の意義について、北海道情報大学紀要第 25 巻第 2 号
- [10] 一松信(1980)：暗号の数理、講談社
- [11] 深川久(2002)：Miller-Rabin による素数の確率的判定法、大阪市立大学

〈論 文〉

Through The Sociolinguistic Looking Glass: Common Japanese
Assumptions Concerning Foreign Behavior
Empirical Studies of the Globalization of Modern Japanese Lifestyles

Charles McLarty

社会言語学的な観点から検証する国際化時代における日本人の外国人への思い込みに関して

Abstract

Now that we are well into the 21st Century, it is becoming increasingly important that Japanese people improve their abilities to communicate with foreign people. Although the younger generation in Japan has become more knowledgeable than their parents about foreign people and culture, a considerable number of Japanese still look upon the behavior of non-Japanese people with outmoded, stereotyped ideas and assumptions. This article examines some common examples of these stereotypes and suggests ways in which such obstacles to communication can be overcome.

要旨

21世紀がはじまって、すでに十数年が経過した。今日、日本人は外国人とうまくコミュニケーションをとることがますます重要になっている。日本人の若い世代は、親の世代よりも外国人や外国の文化に詳しい人がいますが、古い発想で外国人を考える日本人はまだ多いように思われます。本研究は、その発想を分析すると同時に新しい時代のコミュニケーションの壁を乗り越える方法を提案する。

Keywords: Stereotypes, communication, overcome, culture, exchange, behavior

情報メディア学部準教授 Associate Professor, Faculty of Information Media

1 Do All Non-Japanese People Staying in Japan Look As Though They Are Tourists?

No matter how many years Caucasian foreigners reside in Japan, they never come to resemble Japanese people. Their non-Oriental physical attributes insure that they will never “look Japanese” in the eyes of the Japanese. While this might seem like a statement so obvious as to be almost trite, it has important implications for long-term foreign residents of Japan. For Japan veterans, many of whom are familiar with Japanese customs and fluent in the Japanese language, being mistaken for tourists brings about decidedly mixed feelings. One American businessman and writer, fluent in Japanese from working for many years at several Japanese companies, reported his frustration at being frequently asked if he could use chopsticks (Taylor, 1983). Jack Seward, an author of numerous books on Japan-related topics, tried asking another long-time foreign resident if there was any trick that he could use to show Japanese people (upon first meeting) that he was not a tourist but rather a Japan veteran. The other resident, a man with longer Japan residency than Seward, replied that he knew of no such device, and that all Caucasian foreigners in Japan were doomed to be mistaken for visitors who had just gotten off the boat (Seward, 1982).

It is quite possible that some readers may be tempted to suggest that the Seward and Taylor examples are outdated. After all, the bulk of their Japan experiences came during the 1960s and 1970s. Is it not the case that Japanese people and society have changed sufficiently so that such stereotypes are no longer applicable? Judging by this writer’s research and experiences, the answer is more no than yes. While the number of

Japanese people going abroad has greatly increased and the number of Japanese with significant knowledge of foreign countries has gone up thanks to the Internet, the globalization of the Japanese on a personal level still has a long way to go. Several personal experiences should help to illustrate this problem. I have been in Japan since the 1980s and have permanent resident status. Despite this, I have been mistaken for a tourist on a number of occasions. On one visit to a bank in my neighborhood of Sapporo, a fifty-something aged Japanese man spoke to me while we were waiting in line for the next bank teller. Since he spoke to me in English, I replied in kind and we chatted for about 10 minutes. I told him that I was teaching English at a local university and that I had been in Hokkaido for a number of years. He certainly appeared to understand what I was talking about so it was a pleasant way to pass the time. Just then his number was called by the teller. As he got up to leave, he smiled at me and said, “Have a nice vacation!” While it could be argued that this man’s problem was one of English comprehension, it seems clear that he had a stereotype of foreign people as tourists. My talk of living in Hokkaido for many years had failed to penetrate his stereotype (McLarty, 1997). In case any readers think that this was only one isolated incident, there was another more troubling episode several years later. While attending a national conference of language teachers in Tokyo, I went to check in at the hotel where I had made a reservation. When I reached the front desk, a young lady staff member smiled and said, “Welcome sir!” However, just as I was feeling pleased with the friendly service, she continued with “Sir, please show me your passport.” I stood there for a long moment, dumbfounded. Resident foreigners in Japan are not required to carry a passport, though Japanese immigration law does

require us to have a foreign residence ID card on our person at all times (Japan Ministry of Justice Guidelines, 2012). For me, going from Sapporo to Tokyo was simply domestic travel, like an American going from Seattle to San Francisco. I had not even thought of bringing my passport! As I stood there at a loss for words, the hotel lady gave me a puzzled look. When I had made the room reservation, I had given the staff my Sapporo address. If they had a Hokkaido address for me, I assumed they would be aware that I was a Japan resident rather than a foreign person coming directly from abroad. Unfortunately, this information had somehow not reached the front desk staff. As the lady staffer went to call her boss, I began to worry that the hotel people might call the police or, heaven forbid, the immigration authorities. In that case, what was I going to do? When the lady returned with her boss, I was in a state of near-panic and blurted out in Japanese “*Sumimasen ga kyo ryoken wo motte konakatta no wa kokunai ryoko dakara na no desu. Chokusetsu America kara kita no de wa naku Sapporo kara kita no desu. Sapporo ni dunde imasu.*” (Excuse me, but the reason I didn’t bring my passport today is because this is a domestic trip. I didn’t come here directly from the U.S. I came here from Sapporo. I’m living in Sapporo.) Then I showed them my foreign residence ID card and there were no further problems. In looking back at that episode, however, one thing seems quite clear. The front desk lady had a stereotype that foreign guests of the hotel are all short-term visitors to Japan. The fact that she asked to see my passport, rather than simply any form of ID shows that she hadn’t counted on the possibility of a foreign guest who was already residing in Japan (McLarty, 1999).

Although my experiences might seem unique, other long-term foreign residents have reported

similar episodes. To give one example, an American acquaintance who has lived in Japan for several decades told me of a strange happening. While he was eating dinner at a small neighborhood soba shop, a Japanese customer seated several tables away smiled and bowed at him upon leaving the restaurant. When the American got up to pay his bill, the restaurant manager said to him, “You don’t need to pay anything, sir. That customer who just left has already paid for your meal.” The stunned American asked why. The manager said, “He probably thought you were a tourist and he wanted you to enjoy your visit to Japan.” The American, a regular customer of the shop, and the Japanese manager just looked at each other and enjoyed a laugh together. Just in case this type of incident is still not sufficient to convince readers of my point, allow me to provide one further example, which happened only weeks before this article was written. Sometimes I go to a certain Sapporo hotel to use its excellent sauna/bathing facilities, which are open to the public. Although I have never stayed at the hotel, most staffers recognize me by now. However, one bellboy may have been a new employee. When I entered the lobby, he smiled and said, “Have a nice stay, sir!” My “stay” was only a 30-minute sauna, but I appreciated his kindness. Lest our readers get the impression that I am pointing the finger of blame exclusively at Japanese people for this stereotype, let us look at one further example. Several years ago, when I took my family to the Sapporo Snow Festival, another Caucasian man came walking toward us. As our daughter wanted to take a photo, I asked him to take our picture in front of one of the snow statues. After he obliged, I asked where he was from. He said he was from the U.S., but had a long-term English teaching job in Sapporo. When he gave his name, I did a doubletake. Immediately, I recognized his name from our

academic circle members' list. He was a veteran Hokkaido resident with more time in Japan than me. How could I have possibly taken him for a tourist? Clearly, I was guilty of exactly the same stereotype.

2 Do All Caucasian Foreigners in Japan Look As Though They Are American?

In the late 1990s there was a popular Japanese television program called "*Koko ga Hen da yo, nihonjin*" (Strange Japanese Habits) It was on every Wednesday night for a considerable period of time. The show featured foreign guests who had long residence in Japan and who were all quite fluent speakers of Japanese. The guests gave dramatic, surprising and sometimes hilarious episodes from their experiences in this country, delivered in candid and often sardonic style. Among the non-U.S. guests, one of their biggest complaints was being mistaken for Americans by Japanese people. One Australian lady reported she had been mistaken for an American so many times that she was totally frustrated. Why is it that considerable numbers of Japanese people assume that, when they see a Caucasian person, he or she is probably American? One possible explanation, of course, is that the United States is, arguably, the foreign country which has had the biggest impact on Japan historically. American scholars of Japan, such as Edwin O. Reischauer (1982) have pointed this fact out on numerous occasions. Another factor might be the fact that, although World War II ended nearly seventy years ago and the U.S. occupation of Japan finished more than sixty years ago, there are still a number of U.S. military bases in Japan. Thus, a large number of Japanese residents of Okinawa, Aomori, Kanagawa and Hiroshima prefectures have come into direct contact with American military personnel. Nevertheless, these factors,

while certainly valid, cannot entirely explain the foreign person = American stereotype. Let us examine this phenomenon with some concrete examples.

In the 1980s a British expert on Japan made a walking journey from Wakkanai in Hokkaido to Cape Sata in Kyushu. Fluent in Japanese and long familiar with Japanese society and customs, he reported learning much from his length-of-Japan journey. Although he was fond of many aspects of Japan, he said one thing greatly bothered him. In his book chronicling his travels, he complained of being frequently mistaken for an American (Booth, 1985). In addition, a Canadian teacher who was my colleague for several years reported similar experiences. He said he had been asked by Japanese things like "Are you American?" or "Which state of the U.S. are you from?" He reported that he began to answer sarcastically "I'm not from any part of the U.S.!" It is quite easy to understand his frustration and to sympathize with foreign people who have been mistaken for Americans. One Sapporo-based researcher, who also thinks this stereotype is caused by historical factors, says that many Japanese people have a mental image like the following:

Foreign Person = English Language = American
He writes that this equation is etched in the minds of many Japanese (Akasaka, 1993). To provide further proof that foreigners look like Americans, this writer can give two more recent examples. Just a few years ago (2012, by my diary entry) there was an incident at Nopporo JR Station. While I was in the station lobby waiting for the next train's arrival, a male stranger walked up to me, smiled, and right in front of me, began humming the U.S. national anthem. When he finished, he smiled at me again (as if to emphasize it was for my benefit) and, without

uttering a word, walked out of the station, leaving this writer quite speechless. Before I had any chance to ask who he was or why he was “performing this service” he disappeared and I have not once seen him since that time. Attempts to track him down by searching the station’s surrounding area also proved fruitless. Upon relating this incident to HIU students, virtually all of them agreed that this man had assumed I was an American. While a few people asked if perhaps he was a drunkard, I assured them that the man’s manner and behavior were that of someone who knew exactly what he was doing.

In another incident several years ago, my wife and I were visiting Otaru for a bit of sightseeing. We stopped by a small restaurant near Otaru JR Station and, as we sat down, I noticed one other non-Japanese customer in the restaurant. We were about to make our drink order when he raised his hand to get my attention. As he approached our table, I instinctively greeted him in English with, “Hello. What can I do for you?” He hesitated in answering for a long moment. Then my wife and I tried greeting him in Japanese, but he didn’t respond at all. Then, in an instant, I realized what was the problem. He said, in faltering English, “I am Russian.” There it was! My wife and I could only look at each other sheepishly. Clearly, I too was guilty of making the unconscious assumption that this man was American, despite the fact that we had never met before and there was no objective evidence (such as clothing or certain gestures) that would have provided clear clues to back up my hunch.

In the end, the lesson is that we all (this writer included) need to re-examine our thinking concerning this subject. Japanese and Americans both need to keep in mind that there are people of various nationalities to be found in the world

these days and that, when meeting strangers, regardless of their physical appearance, the safest method is to ask them directly (with an open mind) about their background, insofar as that is feasible. That is what I plan to do from now on.

3 Are Foreign People Unable to Learn Japanese? Is The Japanese Language Too Difficult For Them to Master?

One well-known Japanese sociolinguistics scholar has stated that most Japanese people don’t expect foreigners to be familiar with their language. *Gaikokujin wa nihongo wo wakaru hazu ga nai.* (Foreign people are not expected to understand Japanese). He thinks that most Japanese people are not mentally prepared to deal with Japanese-speaking foreigners (Suzuki, 1978). He goes on to cite the specific example of a Belgian priest who was fluent in Japanese. “Father Grootaers is a linguist with an excellent command of Japanese. At a bakery in his neighborhood which he passes almost daily, Father Grootaers is always understood perfectly when he says *Shokupan ikkin kudasai.* (I would like one loaf of bread, please.) but at a downtown bakery he sometimes has difficulty making himself understood even though he uses the same sentence and pronounces it exactly the same way. Furthermore, when he travels through the countryside, he has great difficulty communicating with people just because he looks different. Sometimes people he talks to refuse to recognize that he is addressing them in Japanese.” He also reports that many of the people say *Watashi eigo wakarimasen.* (I don’t understand English) and wave an open hand in front of their faces to indicate a negative response (Suzuki, 1987). This can be extremely frustrating for a foreign person who has taken the time and effort to study Japanese, only to meet with this type of

obstacle to communication. This author can certainly sympathize with Father Grootaers.

If most Japanese do not expect foreigners to speak their language proficiently, it logically follows that they don't usually think foreigners can understand the conversations of Japanese people (in Japanese) which they might overhear. Sen Nishiyama, a professional translator/interpreter and a well-known expert in the field of intercultural communication, has provided us with an excellent example of this. At a Japanese supermarket in Salt Lake City, Utah, an American customer asked the store clerk in English if they had any canned bamboo shoots (takenoko). The clerk called out to a co-worker in Japanese, *Koko ni takenoko no kanzume wo hoshigaru gaijin san ga iru kara ano furui yatsu wo hitotsu dashite ne.* (There is a foreigner here who wants canned bamboo shoots. Bring out one of the old cans of it.) The American man then spoke in Japanese, *Ano moshi atarashii shohin no nyuka ga arimashitara sukoshi takakute mo kekko desukara atarashii kanzume kudasai.* (If you have any new canned bamboo shoots, I don't mind if those are a little expensive. Could I have one of the fresh cans, please?) The store clerk turned red in the face and ran to the back storeroom and hid. The co-worker brought out a fresh can of bamboo shoots, while bowing and apologizing to the customer (Nishiyama, 1991).

Although we are well into a new century, the idea that non-Japanese people (at least some of them, anyway) might overhear *and understand* conversations in Japanese is a concept which is still quite foreign to many Japanese. This writer had an experience just a few years ago which should serve as an example. While riding a JR train from Teine to HIU one day, I noticed many college-aged young people board the train at

Sapporo Station. Although I was able to sit (since I had been on the train from its departure point) it quickly became crowded so many people had to ride while standing. One young couple happened to stand together right in front of where I was sitting. Naturally, I couldn't help overhearing parts of their conversation. As the train headed towards Ebetsu, they talked about the various classes/lectures they were taking at school. Just before the train reached Oasa, the young man asked the girl about her English class. She made an unpleasant face and said, *Eigo ichi wa Iya da yo. Itsumo eigo de happyo saserareru kara.* (I don't like English One. The teacher always makes us present in English in front of the class.) She was standing right in front of me when she said this so it would have been impossible not to hear it. The amazing thing is that I managed to keep a poker face until she and her boyfriend got off the train. Several pertinent questions could be asked here. Did my presence somehow trigger or influence her remark? Would she have made such an emphatic anti-English comment if she had known that I do comprehend spoken Japanese? The answer to the first question may be outside the scope of this article, but I believe the answer to the second one is probably no. Neither she nor her boyfriend showed any sign of checking my reaction to their conversation, despite the fact that I was looking in their direction the entire time we rode the train. *Gaikokujin wa nihongo wo wakarazu hazu ga nai.* Foreign people are not supposed to understand spoken Japanese. It seems clear that that young woman never imagined that I might understand what she was saying. In retrospect, perhaps it would have been better if I hadn't.

Although HIU could be said to have at least three foreign teachers who are, arguably, fluent in the Japanese language, even "fluent" speakers of Japanese can face some peculiar obstacles, if they

are Caucasian, that is. One American scholar of Japan says that Caucasian speakers of Japanese have to deal with what he calls the “Law of Inverse Returns” In essence, “the better you get at the Japanese language, the less credit you are given for your accomplishments; the more fluently you speak it, the less your hard-won skills will do for you in the way of making friends and impressing people.” On the other hand, the less you can do with the language, the more you will be praised by Japanese society in general and by your Japanese friends in particular (Miller, 1982) While this may sound far-fetched to any readers not well-versed in things Japanese, many foreign residents can identify with this phenomenon. Prof. Miller goes on to note that foreign residents who become increasingly proficient in spoken Japanese are often treated with caution while newcomers to Japan are praised as being *johzu* (skillful) even though they can only manage a halting, broken version of Nihongo.

While this “Law of Inverse Returns” may be less evident in major cities, I have personally experienced some elements of it during my travels to parts of rural Japan outside Hokkaido. In one city in Honshu where I spent significant amounts of time, communication in Japanese with the local residents always felt difficult, despite the fact that I had already been studying the Japanese language for over a decade and had a graduate degree in a Japan-related subject. Fortunately, one Japanese friend, a doctor at one of the town’s hospitals, gave me some sage advice. Said he, “Charles, you need to understand that people here are not accustomed to foreigners who are fluent in Japanese. They are not mentally prepared to hear Japanese words coming from the mouth of someone with your face. If you want to communicate better with them, I suggest you speak in simple, preferably broken Japanese.”

After I took his advice, my communication with the locals improved considerably.

4 The Children of Japanese-Foreigner Marriages Are Foreign, Not Japanese

Several years ago I had the good fortune to hear a most interesting story from a Japanese friend, who is a teacher at a Sapporo-area school. It was about something odd that happened at the sports day of a certain elementary school in Sapporo. One of the athletic events, it seems, was the 50-meter dash. Among the entrants in that event was one bicultural boy. As the starter’s gun sounded, the competitors broke out of their blocks and into a dash. The bicultural boy ran a good race, but did not come out the winner. As the winning boy broke the tape at the finish line, shouts rang out from the spectator seats, “Hooray! Japan won! Japan’s the winner!” If this had been an international level competition, I could easily understand the sentiments of those spectators. However, this was nothing more than one Japanese elementary school’s athletic competition. Furthermore, all of the boys in this race were Japanese, including the bicultural kid, who has Japanese nationality. Rejoicing about “Japan’s victory” in an event where *all the competitors are Japanese* seems like puzzling behavior, to put it mildly. How should we go about trying to understand the sentiments of those rejoicing spectators?

Speaking of that particular bicultural boy, his mother is Japanese and his father is Canadian. His father has dark brown hair and, on this point, the son takes after his dad. Although you could identify the boy as non-Japanese from his photo, you might not be able to pick him out of a crowd of Japanese, especially from a distance. Even if you were to watch a video/DVD of that school’s

sports day, you still might not be able to easily locate the bicultural kid. In fact, if nobody told you that there was a non-Japanese child in the group, you might not even be aware of his presence at all. Actually, this boy has lived in Japan nearly all his life, has always attended Japanese schools and speaks fluent Japanese in the Hokkaido dialect with his classmates. Thus, it would be clearly a mistake to simply label him as a *gaijin* (foreigner). Of course, it is quite common in Japan to refer to children of mixed parentage as *haafu* (mixed blood) though this writer feels a very strong aversion to that term as well. For Americans or other native English speakers, 'half' means that there is 50% of something. However, using half to refer to human beings seems downright rude to this writer. A person being called half might even get the feeling that they are only considered to have 50% of the value of people who are not of mixed race.

This discussion reminds me of a pertinent letter to the editor which I saw printed in one of Japan's English language newspapers. It was written by a foreign wife of a Japanese man. She reported that her child hated being called *haafu* by Japanese kids at school. She insisted that kids of mixed parentage ought to be called 'double' because they possessed two cultural backgrounds, not just one. In one other letter to a different newspaper, the daughter of a Japanese-African American couple said she was bullied because of her race. Fortunately, her mother gave her strong support by saying, "You are not half of anything. You are double because you have two cultural heritages. Have confidence in yourself." (Life, 1999).

Conclusions

The 21st Century presents Japan with unprecedented opportunities to deepen its

relations with foreign countries and improve its global communication with non-Japanese people the world over. While this task will require tremendous and sustained energy, I firmly believe that Japanese people are equal to the challenge. Unfortunately, many Japanese are still held back from satisfying cultural exchanges by the persistence of stereotypes about foreign countries/peoples left over from the previous century. Before Japanese and non-Japanese can achieve truly heart-to-heart communication, it is imperative that these outmoded ideas be identified, analyzed and debunked. Then and only then can Japanese people be free to reach their maximum potential as global citizens. In this regard, I believe that long-term foreign residents of Japan (such as this writer) are in an excellent position to support our Japanese friends. We have seen firsthand how deeply rooted stereotypes can impede communication between people of different cultural backgrounds. We are the ones who are qualified to serve as facilitators of better understanding.

Why have I chosen the four categories above as the basis of this article? While there are numerous other possible stereotypes which could have been included, I believe the four dealt with in this paper are the most common (and least well understood) of the impediments which get in the way of better , smoother communication between Japanese and non-Japanese people Nothing would please this writer more than if such obstacles could be totally and completely eradicated. Unfortunately, long-held stereotypes die hard. Human psychology is such that prejudices of the mind cannot be altered in days, weeks or months. Rather, it requires years or even decades to change. Sociolinguists know that their work must be undertaken as a life-long project. They also realize that their work will bear little fruit unless

they maintain a positive stance and have plenty of forbearance. This writer is also fully aware that the same requirements apply to him.

As a veteran friend and ally of the Japanese people (and one who has spent fully half a lifetime in this nation) it behooves me to do everything possible to facilitate more effective communication between Japanese and those in other countries. I firmly believe that the first step is identifying our common obstacles to communication. This article has treated four problem areas, and will hopefully invite further discussion. In addition, I strongly believe that such a discussion, in and of itself, means that we are now progressing toward possible future solutions. My experience has been that the human mind is capable of remarkable creativity when exposed to a variety of new and stimulating opinions. Let us keep this discussion going. Let us make certain that communication continues to flow more smoothly and more freely. I dedicate myself from here on out to helping Japanese people achieve the intercultural communication which will enable them to smash old prejudices and take their place in the 21st Century as the global citizens they deserve to be.

References

Akasaka, K. (1993). 日本人の言語コミュニケーション : [The Linguistic Communication of Japanese People] in 日本人のコミュニケーション [The Communication of Japanese People] M. Hashimoto and S. Ishii (Eds.), Tokyo: Kiri-hara Shoten.

Booth, A. (1985). *The Roads To Sata*. New York and Tokyo: Weatherhill.

Japan Immigration Law Guidelines Booklet,

Revised Edition. Japan Ministry of Justice. (July 9, 2012). Tokyo, Japan.

Life, R. (1999). The Real Life of African Americans. The Daily Yomiuri. March 6, 1999, p.7.

McLarty, C. (1997). On Internationalism, Hokkaido and Japan. Presentation for Communication of Japan (CAJ) Hokkaido Branch Conference, held in Sapporo, Hokkaido.

McLarty, C. (1999). The Globalization of Japanese Lifestyles. Presentation for CAJ Hokkaido Branch Conference, held in Sapporo.

Miller, R.A. (1982). *Japan's Modern Myth-The Language and Beyond*. New York and Tokyo: Weatherhill.

Nishiyama, S. (1991). *Understanding and Misunderstanding-A New Look*. Tokyo: The Simul Press.

Reischauer, E. (1982). *The Japanese*. Cambridge, MA and London, England: Harvard University Press.

Seward, J. (1981). *America and Japan-The Twain Meet*. Tokyo: The Lotus Press.

Suzuki, T. (1978). *Japanese And The Japanese-Words In Culture*. Tokyo, New York and San Francisco: Kodansha International LTD.

Suzuki, T. (1987). *Tozasareta Gengo, Nihongo no Sekai*. Tokyo: Shinsho Sensho.

Taylor, J. (1983). *Shadows Of The Rising Sun*. Tokyo: Charles E. Tuttle Co. Incorporated.

〈論 文〉

距離の分布に基づくカーネル k -平均法のパラメータ探索法

柳 信一*

A Search Algorithm for Gaussian Parameter of kernel k -means method based on distribution of distance

YANAGI SHINICHI*

要旨

本論文では、データ間の距離分布に基づきカーネル k -平均法のガウス関数のパラメータを逐次的に計算する手法を提案する。カーネル k -平均法は、代表的なクラスタリング手法である k -平均法に基づいており、クラスタ同士の境界が非線形であるデータの分類が可能である。しかし、計算結果は距離計算に用いるガウス関数のパラメータに強く依存し、パラメータ調整が難しいという問題点がある。提案手法は、パラメータの更新と従来のカーネル k -平均法の計算を交互に繰返し行う。いくつかの人工データと実データを用いて計算機実験を行い、クラスタ間が十分な距離で分離しているデータに対する提案手法の有効性を示す。

Abstract

This paper propose a kernel k -means algorithm to compute a Gaussian parameter based on distribution of distance in the original kernel k -means algorithm repeatedly. The kernel k -means algorithm is based on the k -means algorithm which is a well known clustering algorithm, and make possible to identify clusters that are non-linearly separable in input space. However, a conclusion identifying clusters with kernel k -means depends heavily on a chosen Gaussian parameter which used for computing distance between data and determining an optimal Gaussian parameter is difficult. The proposed algorithm identifies clusters with the original kernel k -means algorithm and search a Gaussian parameter repeatedly. An experimental comparison in some artificial and real data set shows that a performance of the proposed algorithm is efficient for a data that each cluster is sepalated with adequate gap.

キーワード

クラスタリング, k -平均法, カーネル法, ガウス関数, パラメータ

1. まえがき

クラスタリングとは、データ集合をある基準によって分類することである。 k -平均法 (MacQueen, 1967) は代表的なクラスタリング手法であり、アルゴリズムが単純で、事前に必要とするパラメータがクラスタ数のみであるという利点のため、クラスタリングを必要とする計算過程において利用されることが多い。しかし、距離計算にユークリッド距離を使用するため、各クラスタの分離境界が非線形となるデータの分類に適していない。

カーネル k -平均法 (Girolami, 2002) は、 k -平均法に対してカーネル法 (Muller, Mika, Ratsch, Tsuda and Scholkopf, 2001) を適用した手法であり、非線形に分離されているクラスタの分類が可能である。しかし、計算結果が距離計算に使用するカーネル関数のパラメータに敏感であり、カーネル関数のパラメータの調整が困難であるという問題点がある。

他にカーネル k -平均法と同じ問題点がある手法としては、重み付き距離を適用する重み付きカーネル k -平均法 (Dhillon, Guan and Kulis, 2004)、重み付きカーネル k -平均法と等価であるスペクトラルクラスタリング (Ng, Jordan and Weiss, 2002)、機械学習手法の一つであるサポートベクターマシン (Vapnik Vladimir,

* 北海道情報大学経営情報学部システム情報学科講師,
Lecturer, Department of Business and Information Systems, HIU

1998) を利用するサポートベクタークラスタリング (Ben-Hur, Horn, Siegelmann and Vapnik, 2002) などがある。上記の手法で使用するカーネル関数は、ほとんどの場合がガウス関数であり、パラメータはデータ間の距離に関するスケール調整の意味を持つ。適切なパラメータを選択する手法としては、Yuら (Yu, Tranchevent, De Moor and Moreau, 2011) が、スペクトラルクラスタリングとパラメータの最適化を交互に行う手法を提案しているが、事前に解となるパラメータの有限列を用意する必要があり、依然としてパラメータ選択の困難さが残る。また、文献 (柳, 2012) では、Yuらの手法と同様、カーネル k -平均法とパラメータの更新を交互に行う手法を提案し、計算機実験によりいくつかのデータに対して有効性を示しているものの、入力であるガウス関数の初期パラメータへの依存が強いという問題点がある。

本論文では、文献 (柳, 2012) の手法において、データ間の距離の分布に基づきカーネル関数のパラメータを計算するように改良したアルゴリズムを提案する。いくつかの人工データと実データを用いて文献 (柳, 2012) の手法との比較実験を行い、提案手法はクラスタ間が十分な距離で分離しているデータに対して有効であることを示す。

2. カーネル k -平均法

クラスタリングとは、対象とする n 個のデータからなるデータ集合 $X = \{x_i | i = 1, 2, \dots, n, \forall x_i \in R^d\}$ を何らかの基準により k 個の部分集合 $C_j = \{x | \forall x \in X\}$ に分類することであり、この部分集合 $C_j (j = 1, 2, \dots, k)$ をクラスタと呼ぶ。一般的にクラスタリングを必要とする場面では、データ集合のみが与えられ、クラスタ数 k は未知であることが多いが、本論文で k は既知のものとして取り扱う。

k -平均法は各データ $x_i \in X (i = 1, 2, \dots, n)$ と、クラスタの中心 $m_j \in R^d (j = 1, 2, \dots, k)$ との距離の総和を最小とする最適化問題として式 (1) で定式化される。

$$\begin{aligned} \min_{C_j} & \sum_{j=1}^k \sum_{x_i \in C_j} \|x_i - m_j\|^2, \\ \text{s.t.} & \bigcup_{j=1}^k C_j = X, \\ & C_j \cap C_l = \emptyset, 1 \leq j, l \leq k, j \neq l. \end{aligned} \quad (1)$$

式 (1) の $\|\cdot\|$ は L_2 ノルムである。式 (1) の解はクラスタ $C_j (j = 1, 2, \dots, k)$ であり、クラスタ中心 m_j は式 (1) より、 C_j に属するデータ数 $|C_j|$ を用いて式 (2) のように求まる。

$$m_j = \frac{1}{|C_j|} \sum_{x \in C_j} x, (j = 1, 2, \dots, k). \quad (2)$$

式 (1) の定式化は暗に各クラスタが凸形状となっていることを仮定しているため、線形分離不可能なクラスタからなるデータの分類に適していない。そこで、 k -平均法にカーネル法を適用するカーネル k -平均法 (Girolami, 2002) が提案されている。カーネル法は、無限次元まで含めた、現在の空間の次元数 d よりはるかに大きい $D (\gg d)$ 次元空間上に、写像 ϕ により $x \in R^d$ を非線形写像し、空間 R^D 上でデータの線形分離を試みる方法である。最大の特徴は、計算量削減のため実際の写像 $\phi(x)$ 自体の計算は行わず、式 (3) のカーネル関数を利用して $\phi(x)$ と $\phi(x')$ の内積のみを使用することで問題を解くことである。

$$K(x, x') = \phi(x) \cdot \phi(x') \quad (3)$$

具体的なカーネル関数としては、カーネル関数が高次元空間における内積となっていることを保証するマーセルカーネル (Máté, 1989) が利用されることが多く、特に多くの研究では、代表的なマーセルカーネルである式 (4) のガウスカーネルが使用されている。

$$K(x, x') = \exp\left(\frac{-\|x - x'\|^2}{\delta^2}\right). \quad (4)$$

式 (4) において、 δ はスケールパラメータを表す。カーネル k -平均法では、式 (1) の最適化問題は式 (5) のように表現される。

$$\begin{aligned} \min_{C_j} & \sum_{j=1}^k \sum_{x_i \in C_j} \|\phi(x_i) - M_j\|^2, \\ \text{s.t.} & \bigcup_{j=1}^k C_j = X, \\ & C_j \cap C_l = \emptyset, 1 \leq j, l \leq k, j \neq l. \end{aligned} \quad (5)$$

また、式 (2) のクラスタ中心は式 (6) のように表現される。

$$M_j = \frac{1}{|C_j|} \sum_{x \in C_j} \phi(x), M_j \in R^D (j = 1, 2, \dots, k). \quad (6)$$

写像 ϕ が未定義の場合、式 (6) のクラスタ中心を計算することはできないが、クラスタ中心 $M_j \in R^D$ とデータ $\phi(x) \in R^D$ の距離は式 (7) で計算することができる。

$$\begin{aligned} & \|M_j - \phi(x)\|^2 \\ &= \|M_j\|^2 - 2M_j \cdot \phi(x) + \phi(x) \cdot \phi(x) \\ &= \frac{1}{|C_j|^2} \sum_{x, x' \in C_j} K(x, x') - \frac{2}{|C_j|} \sum_{x' \in C_j} K(x, x') \\ &\quad + K(x, x), (j = 1, 2, \dots, k). \end{aligned} \quad (7)$$

式 (5) の問題は、可能な C_j の選択に関して組合せ的な探索を必要とする離散最適化であるため NP 困難となる。したがって、局所解の出力を認める以下の発見的アルゴリズムを用いて計算する。

Algorithm 1 入力: $X, k, \delta, C_1^{(1)}, C_2^{(1)}, \dots, C_k^{(1)}$

- 1 繰返し番号 t を $t = 1$ で初期化する。
 - 2 各データに対して各クラスタ $C_j^{(t)}$ の中心との距離を式 (7) により計算し、最も近いクラスタ中心のクラスタに割り当てる。
 - 3 2 の結果から式 (5) の目的関数を再計算し、変化が無ければ $C_j^{(t)}$ ($j = 1, 2, \dots, k$) を出力して計算を終了する。そうでなければ $t = t + 1$ として 2 へ戻る。
-

Algorithm 1 の入力 $C_j^{(1)}$ ($j = 1, 2, \dots, k$) は初期クラスタである。通常は、対象データ $x \in X$ をランダムに割り当てることが多い。

3. カーネル k -平均法の問題点と従来法

カーネル k -平均法は δ に対して最適化していないため、 δ の変化に関して式 (5) の目的関数を最小とする C_j ($j = 1, 2, \dots, k$) が最適とは限らない。そのため、異なる δ に対するクラスタリング結果の評価が難しい。また、最適化のパラメータとして δ を加えて C_j ($1 \leq j \leq k$) と δ に関して式 (5) を解くことも困難である。まず、カーネル k -平均法による分類可能性の基準を考える。与えられたデータ集合 X において、分類結果として期待するクラスタ集合が存在すると仮定し、 $C^t = \{C_j^t \mid C_j^t \subseteq X, j = 1, 2, \dots, k\}$ とする。次に、 $0 < \delta < \infty$ に対して Algorithm 1 が出力する任意のクラスタ集合を $C_{All} \subset 2^X$ とし、全 C_{All} からなる集合を $C_{All}^* \subset 2^{2^X}$ とする。したがって、Algorithm 1 がある計算で C^t を出力する必要条件は、 $C^t \in C_{All}^*$ となる。

次に δ の条件を考える。まず、簡単のため二つのクラスタに限定し、 d 次元空間上のデータ集合 $X = C_a^t \cup C_b^t$ ($C_a^t \cap C_b^t = \emptyset$) を考える。このとき、 D 次元空間上においてカーネル k -平均法で二つのクラスタを分離できる条件は、 D 次元空間上での C_a^t と C_b^t のクラスタ中心点 $M_a \in R^D$ と $M_b \in R^D$ を垂直二等分する超平面が各クラスタと交差しないようなパラメータ δ が存在することである。すなわち、任意の $x \in C_a^t, x' \in C_b^t$ に対して式 (8) を満たす δ が存在する必要がある。

$$\begin{aligned} & \left((M_a - M_b) \cdot \phi(x) - \frac{\|M_a\|^2 + \|M_b\|^2}{2} \right) \times \\ & \left((M_a - M_b) \cdot \phi(x') - \frac{\|M_a\|^2 + \|M_b\|^2}{2} \right) < 0. \end{aligned} \quad (8)$$

式 (8) の左辺を $g_{ab}(x, x', \delta)$ という関数に置き換え、式 (8) を満たす δ の集合 Δ_{ab} を式 (9) で定義する。

$$\Delta_{ab} = \{ \delta \mid g_{ab}(x, x', \delta) < 0, \forall x \in C_a^t, \forall x' \in C_b^t \}. \quad (9)$$

したがって、 $\{C_a^t, C_b^t\} \in C_{All}^*$ となる必要十分条件は $\Delta_{ab} \neq \emptyset$ となる。

次に、 k 個のクラスタ C_i^t ($i = 1, 2, \dots, k$) で構成されるデータ集合 $X = C_1^t \cup C_2^t \cup \dots \cup C_k^t$, $C_i^t \cap C_j^t = \emptyset$ ($i \neq j, 1 \leq i, j \leq k$) を考える。式 (9) より、任意の二つのクラスタ C_i^t と C_j^t の Δ_{ij} は、残りのクラスタに所属するデータ $x \in X - C_i^t - C_j^t$ には依存しない。そのため、単純に二つのクラスタ C_i^t と C_j^t に式 (9) を適用でき、各クラスタの対に関して独立に Δ_{ij} ($1 \leq i < j \leq k$) を定義できる。したがって、 $C^t = \{C_j^t \mid j = 1, 2, \dots, k\} \in C_{All}^*$ となる必要十分条件は式 (10) となる。

$$\Delta = \bigcap_{1 \leq i < j \leq k} \Delta_{ij} \neq \emptyset. \quad (10)$$

与えられた $X = C_1^t \cup C_2^t \cup \dots \cup C_k^t$ に対して、式 (10) を満たす δ が存在しない場合は、Algorithm 1 は、どのような初期クラスタを与えても、 C^t を出力することはできない。

文献 (柳, 2012) の手法は、与えられたデータ集合に対して $\Delta \neq \emptyset$ を仮定し、Algorithm 1 を再帰的に利用しながら δ の更新を行う。十分小さな δ_1 をガウス関数のパラメータの初期値として、Algorithm 1 の実行とパラメータの更

新を、後述の停止条件を満たすまで繰り返す。 $q+1$ 番目のパラメータである δ_{q+1} の更新は、式 (11) のように、単純に増加させていくという戦略を用いる。

$$\delta_{q+1} = \delta_q + \epsilon_q, (\epsilon_q \geq 0). \quad (11)$$

停止条件に関しては、まず、クラスタ C_a とクラスタ C_b の最小距離 $d_{\min}(C_a, C_b)$ を式 (12) で定義する。

$$d_{\min}(C_a, C_b) = \min_{x \in C_a, x' \in C_b} \|x - x'\|^2. \quad (12)$$

式 (12) を満たす $x \in C_a$ を x_a , $x' \in C_b$ を x_b とし、 δ の更新により、 $C_a - \{x_a\}$ と $C_b \cup \{x_a\}$ が発生すると仮定する。 x_a の移動が発生する前のクラスタ間の中心点の距離 $\|M_a - M_b\|^2$ と移動が発生した後の距離 $\|M_a^{\text{new}} - M_b^{\text{new}}\|^2$ の比率 $d_{\text{rate}} = \|M_a^{\text{new}} - M_b^{\text{new}}\|^2 / \|M_a - M_b\|^2$ が、事前に決めた下限 r_{low} と上限 r_{up} による区間 $[r_{\text{low}}, r_{\text{up}}]$ に対して、 $d_{\text{rate}} \notin [r_{\text{low}}, r_{\text{up}}]$ となったとき δ_q の更新を終了し、その時点でのクラスタリングの結果を最終的な計算結果とする。 $\|M_a - M_b\|^2$ と $\|M_a^{\text{new}} - M_b^{\text{new}}\|^2$ は式 (13) と式 (14) により計算する。

$$\begin{aligned} \|M_a - M_b\|^2 &= \|M_a\|^2 - 2M_a \cdot M_b + \|M_b\|^2 \\ &= \frac{1}{|C_a|^2} \sum_{x, x' \in C_a} K(x, x') \\ &\quad - \frac{2}{|C_a||C_b|} \sum_{x \in C_a, x' \in C_b} K(x, x') \\ &\quad + \frac{1}{|C_b|^2} \sum_{x, x' \in C_b} K(x, x'). \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \|M_a^{\text{new}} - M_b^{\text{new}}\|^2 &= \\ &\frac{|C_a|^2 \|M_a\|^2}{(|C_a| - 1)^2} + \frac{|C_b|^2 \|M_b\|^2}{(|C_b| + 1)^2} \\ &\quad - 2 \frac{|C_a||C_b|}{(|C_a| - 1)(|C_b| + 1)} (M_a \cdot M_b) \\ &\quad - 2 \frac{(|C_a| + |C_b|)}{(|C_a| - 1)^2 (|C_b| + 1)} \sum_{x \in C_a} K(x, x_a) \\ &\quad + 2 \frac{(|C_a| + |C_b|)}{(|C_a| - 1)(|C_b| + 1)^2} \sum_{x \in C_b} K(x, x_a) \\ &\quad + \left(\frac{1}{(|C_a| - 1)} + \frac{1}{(|C_b| + 1)} \right)^2 K(x_a, x_a). \end{aligned} \quad (14)$$

ただし、式 (13) と式 (14) はともに δ を用いて

計算する。

次に、更新幅に関して、式 (12) を満たす $x_a \in C_a$ と $x_b \in C_b$ に関して、 $\delta_{q+1} = \delta_q + \epsilon_q$ のパラメータ更新により、 $C_a^{(q+1)} = C_a^{(q)} - \{x_a\}$, $C_b^{(q+1)} = C_b^{(q)} \cup \{x_a\}$ の更新が発生すると仮定し、 ϵ_q を推定する。これは、以下の式 (15), (16) を満たす必要がある。

$$\|M_a^{(q)} - \phi_q(x_a)\|^2 \leq \|M_b^{(q)} - \phi_q(x_a)\|^2, \quad (15)$$

$$\|M_a^{(q+1)} - \phi_{q+1}(x_a)\|^2 \geq \|M_b^{(q+1)} - \phi_{q+1}(x_a)\|^2. \quad (16)$$

$M_a^{(q)}$ と $M_a^{(q+1)}$ の違いは、あくまで内積計算時のガウスクーネルのパラメータが、それぞれ δ_q , δ_{q+1} となることだけであり、クラスタに所属するデータは変化していない。また、 $\phi_q(x_a)$ はデータ x_a の D 次元空間上への写像であり、ガウスクーネルによる内積計算時はパラメータとして δ_q を使用することを意味する。 $A_q = \|M_a^{(q)}\|^2 + 2M_b^{(q)} \cdot \phi_q(x_a)$, $B_q = \|M_b^{(q)}\|^2 + 2M_a^{(q)} \cdot \phi_q(x_a)$ として、式 (15) と式 (16) より、 ϵ_q は式 (17) のように下から抑えることができる。

$$\epsilon_q \geq \frac{\delta_q^3}{2 \max\{d_1, d_2\}} \log \frac{B_q}{A_q}. \quad (17)$$

ここで、 d_1 はクラスタ C_a に所属するデータ間の最大距離、 d_2 はデータ x_a とクラスタ C_b に所属するデータ間の最大距離とする。

式 (17) の不等式は、かなり緩い評価であり、初期値 δ_1 をかなり小さな値に設定する場合は、 ϵ_1 も相当小さくなるため収束速度がかなり遅くなり、実用的に好ましくない。そこで、クラスタ C_a に所属するデータ間の距離の平均を d_3 、データ x_a とクラスタ C_b に所属するデータとの距離の平均を d_4 、クラスタ C_a に所属するデータ間の最短距離を d_5 、そして、データ x_a とクラスタ C_b に所属するデータとの最短距離を d_6 として d_{opt} を式 (18) のように定義する。

$$d_{\text{opt}} = \arg \max_{d_i} \{d_i \mid \epsilon_q(d_i) \leq p\delta_q, 1 \leq i \leq 6\} \quad (18)$$

式 (18) において $\epsilon_q(d_i)$ は式 (17) の右辺の $\max\{d_1, d_2\}$ を d_i で置き換えた式であり、 $p(0 < p \leq 0.5)$ は事前に設定する安全係数である。式 (17) の右辺の $\max\{d_1, d_2\}$ をパラ

メータ d_{opt} で置き換えた式 (19) により更新幅 ϵ_q を $\epsilon_q = \epsilon_q(d_i)$ として決定する。

$$\epsilon_q(d_{opt}) = \frac{\delta_q^3}{2d_{opt}} \log \frac{B_q}{A_q}. \quad (19)$$

したがって、 $\delta_{q+1} = \delta_q + \epsilon_q(d_{opt})$ により δ_{q+1} の値を更新する。

二つ以上の複数クラスタに対しては、特定の二つのクラスタに着目し δ_q の値を更新していく。二つのクラスタの選択方法に関しては、現在得られている k 個の各クラスタ C_i に関して、他のクラスタ C_j とのクラスタ中心の距離を計算し、その最小値となるクラスタ番号 $\min(i) = \arg \min_{j \neq i} \|M_i - M_j\|^2$ を求める。求めた k 個のクラスタ番号の対 i と $\min(i)$ に関して、 R^D 上でのクラスタ中心と所属するデータとの距離の平均 $d_m(C_i)$ を求め、 $d_m(C_i)$ と $d_m(C_{\min(i)})$ の比率が 1 以上となるように分母と分子を定め、比率の大きな二つのクラスタを δ_q 更新のためのクラスタとして採用する。

$$u = \arg \max_i \left\{ \frac{\max\{d_m(C_i), d_m(C_{\min(i)})\}}{\min\{d_m(C_i), d_m(C_{\min(i)})\}} \right\},$$

$$v = \min(u). \quad (20)$$

最終的に $a = \arg \max_{u,v} \{d_m(C_u), d_m(C_v)\}$ を対象クラスタの番号とする。従来法のアルゴリズムを以下に示す。

Algorithm 2 入力: X, k, δ

- 1 繰返し番号 q を 1 とし、 $\delta_q = \delta$ とする。
 - 2 入力データ $x_i \in X (i = 1, 2, \dots, n)$ をランダムに k 個のクラスタ $C_j^{(q)} \subset X (j = 1, 2, \dots, k)$ に分類する。
 - 3 $X, C_1^{(q)}, C_2^{(q)}, \dots, C_k^{(q)}, \delta_q$ を入力として **Algorithm 1** を実行し、クラスタ $C_1^{(q)}, C_2^{(q)}, \dots, C_k^{(q)}$ を再計算する。
 - 4 終了フラグが立っていれば 9 へ進み、それ以外の場合は 5 へ進む。
 - 5 式 (20) より C_a と C_b を選択する。
 - 6 $d_{rate} = \|m_a^{new} - m_b^{new}\|^2 / \|m_a - m_b\|^2$ を計算し、 $d_{rate} < r_{low}$ なら 9 へ、 $d_{rate} > r_{up}$ なら終了フラグを立てる。
 - 7 式 (19) より、 ϵ_q を計算する。
 - 8 $\delta_q = \delta_q + \epsilon_q$, $q = q + 1$ とし 3 へ戻る。
 - 9 $C_1^{(q)}, C_2^{(q)}, \dots, C_k^{(q)}$ を出力し終了する。
-

4. 提案法

従来法である文献(柳, 2012)の手法はいくつかの人工データと実データに対して、ある程度有効性を示しているものの、以下のような問題点がある。

- (1) 計算の終了が、ガウス関数のパラメータ、下限 r_{low} , 上限 r_{up} に依存しており、データによっては終了がやや不安定となる。
- (2) 反復法の更新幅の評価が緩く、安全係数 p で制御する必要がある。
- (3) 探索が正方向のみであるため、初期クラスタ依存の高いデータに対しては有効性が低い。
- (4) 探索が正方向のみであるため、適切な初期 δ を選択する必要がある。

本論文では、上記の問題点の改良を検討する。基本的には、従来法と同様の考え方により、Algorithm 1 を再帰的に利用しながら δ の更新を反復して行う手法である。従来法との大きな相違点は二点ある。一点目は、従来法が (1) パラメータの更新, (2) Algorithm 1 の実行という 2 つの計算過程であったのに対して、提案法は (1) クラスタの更新, (2) パラメータの更新, (3) Algorithm 1 の実行という 3 つの計算過程となることである。二点目は、パラメータの更新に関して、従来法が正方向のみの探索であったのに対して、提案法は正負両方向の探索を行うことである。まず、探索の終了条件として、カーネル関数の写像元の空間の距離を利用し、それに適した更新幅を検討する。次に、データの距離の分布情報を利用して探索方向を決める。二つのクラスタ C_a と C_b に対して、 $d_{\min}(C_a, C_b)$ を満たす $x \in C_a$ を $x = \text{id}x_a(C_a, C_b)$, 同様に、 $d_{\min}(C_a, C_b)$ を満たす $x \in C_b$ を $x = \text{id}x_b(C_a, C_b)$ として、 C_a の部分集合となる系列 $X_a(i), (i \leq |C_a|)$ を以下のように定義する。

$$X_a(0) = \emptyset,$$

$$X_a(1) = \{x_1 | x_1 = \text{id}x_a(C_a, C_b)\},$$

$$X_a(i) = X_a(i-1) \cup \{x_i\},$$

$$x_i = \text{id}x_a(C_a - X_a(i-1), C_b \cup X_a(i-1)). \quad (21)$$

式 (21) より $|X_a(i)| = i$ となり、 $d_{\min}(C_a, C_b)$ を満たす $x \in C_a$ を、クラスタ C_a からクラスタ C_b へと順番に変更していくことを意味する。

また、定義より、 $X_a(|C_a|) = C_a$ となる。次に、 $C_a^{\text{new}} = C_a - X_a(i), C_b^{\text{new}} = C_b \cup X_a(i), (1 \leq i \leq |C_a| - 1)$ としたときのデータの移動数 i の変化に対する最大クラスタ間距離 d_a と対応する $X_a = X_a(i)$ を以下のように定義する。

$$\begin{aligned} d_a &= \max_{0 \leq i \leq |C_a| - 1} d_{\min}(C_a - X_a(i), C_b \cup X_a(i)), \\ X_a &= X_a(t), \\ t &= \arg \max_{0 \leq i \leq |C_a| - 1} d_{\min}(C_a - X_a(i), C_b \cup X_a(i)). \end{aligned} \quad (22)$$

式(21)と同様に、 $d_{\min}(C_a, C_b)$ を満たす $x \in C_b$ を、クラスタ C_b からクラスタ C_a へと順番に変更していくときの i 回目の部分集合を $X_b(i)$ とするとき、 $C_b^{\text{new}} = C_a \cup X_b(i), C_b^{\text{new}} = C_b - X_b(i), (1 \leq i \leq |C_b| - 1)$ におけるデータの移動数 i の変化に対する最大クラスタ間距離 d_b と対応する $X_b = X_b(i)$ は式(23)となる。

$$\begin{aligned} d_b &= \max_{0 \leq i \leq |C_b| - 1} d(C_a \cup X_b(i), C_b - X_b(i)), \\ X_b &= X_b(t), \\ t &= \arg \max_{0 \leq i \leq |C_b| - 1} d(C_a \cup X_b(i), C_b - X_b(i)). \end{aligned} \quad (23)$$

式(22)と式(23)より、 d_a と d_b を比較し、大きい方に対応する C_a^{new} と C_b^{new} を新しいクラスタとする。式(22)と式(23)において、 $t=0$ のときは $C_a^{\text{new}} = C_a, C_b^{\text{new}} = C_b$ となる。これ以降、煩雑さを避けるため、一般性を失わず $d_a > d_b$ と仮定して説明を行う。したがって、 $C_a^{\text{new}} = C_a - X_a, C_b^{\text{new}} = C_b \cup X_a$ とし、 C_a^{new} と C_b^{new} に分類可能である δ を求める。

4-1 パラメータの更新比率

前節より、 $x_a = \text{id}_{X_a}(C_a^{\text{new}}, C_b^{\text{new}}), x_b = \text{id}_{X_b}(C_a^{\text{new}}, C_b^{\text{new}})$ とし、後の計算の簡易さを考慮して δ^{new} を以下の式(24)で定義する。

$$\delta^{\text{new}} = \rho \delta. \quad (24)$$

式(24)は、 $\delta^{\text{new}} = \rho \delta = \delta + \Delta \delta$ より、 $(\rho - 1)\delta = \Delta \delta$ とすることで、式(11)と等価となる。 δ を増加させていく場合は $\rho \geq 1$ となり、減少させていく場合は $\rho < 1$ となる。また、逐次的な計算により δ を求めていくため、以下のように q 回目の計算結果となる δ_q と ρ_q を用いて $q+1$ 回目の δ_{q+1} を求める。

$$\delta_{q+1} = \rho_q \delta_q. \quad (25)$$

以降は、簡単さを考慮して式(24)を用いて $\rho \geq 1$ について説明を行う。式(22)と式(23)より、以下の条件が成立している。

$$\begin{aligned} C_a \cup C_b &= X, C_a \cap C_b = \emptyset, \\ C_a^{\text{new}} \cup C_b^{\text{new}} &= X, C_a^{\text{new}} \cap C_b^{\text{new}} = \emptyset. \end{aligned} \quad (26)$$

このとき、クラスタ C_a^{new} と C_b^{new} の各中心、および、データ x_a, x_b との距離に関して以下の式が成立するように δ^{new} を決定する。

$$\|M_a^{\text{new}} - \phi(x_a)\|^2 \leq \|M_b^{\text{new}} - \phi(x_a)\|^2, \quad (28)$$

$$\|M_a^{\text{new}} - \phi(x_b)\|^2 \geq \|M_b^{\text{new}} - \phi(x_b)\|^2. \quad (29)$$

ここで、式(28)と式(29)における M_a^{new} と M_b^{new} は、それぞれ、 C_a^{new} と C_b^{new} のクラスタ中心である。式(28)と式(29)は、 a と b を置き換えると同じ形になっているため、一般性を失わず、式(28)について解析する。まず、式(28)を式(30)のように変形する。

$$\begin{aligned} \|M_a^{\text{new}}\|^2 + 2M_b^{\text{new}}\phi(x_a) &\leq \\ \|M_b^{\text{new}}\|^2 + 2M_a^{\text{new}}\phi(x_a). \end{aligned} \quad (30)$$

次に、式(30)を満たす ρ の条件を考える。

任意の x, x' に関してパラメータを δ とするカーネル関数を $K(x, x')$ とし、パラメータを δ^{new} とするカーネル関数を $K^{\text{new}}(x, x')$ とする。このとき、 $K^{\text{new}}(x, x')$ と $K(x, x')$ の差分 $\Delta K(x, x')$ は式(31)となる。

$$\begin{aligned} \Delta K(x, x') &= K^{\text{new}}(x, x') - K(x, x') \\ &= \exp\left(-\frac{\|x - x'\|^2}{\delta^{\text{new}2}}\right) - \exp\left(-\frac{\|x - x'\|^2}{\delta^2}\right) \\ &= \exp\left(-\frac{\|x - x'\|^2}{(\rho\delta)^2}\right) - \exp\left(-\frac{\|x - x'\|^2}{\delta^2}\right). \end{aligned} \quad (31)$$

式(31)の最大値を考えるために、 $s > t > 0$ とする定数 s と t を用いて式(32)の関数 $f(x)$ を定義する。

$$f(x) = e^{-\frac{x}{s}} - e^{-\frac{x}{t}} \quad (32)$$

式(32)の導関数 $f'(x)$ は式(33)となる。

$$f'(x) = \frac{df(x)}{dx} = -\frac{1}{s}e^{-\frac{x}{s}} + \frac{1}{t}e^{-\frac{x}{t}} \quad (33)$$

式 (33) より, $f'(x_0) = 0$ を満たす x_0 は式 (34) となる。

$$x_0 = \frac{st}{s-t} \log \frac{s}{t} \quad (34)$$

$s > t > 0$ の仮定より, $x_0 > 0, f'(0) = \frac{s-t}{st} > 0$ となるため, 関数 $f(x)$ は $x = x_0$ で式 (35) の最大値を持つ。

$$\max_x f(x) = f(x_0) = \left(\frac{s}{t}\right)^{-\frac{t}{s-t}} - \left(\frac{s}{t}\right)^{-\frac{s}{s-t}} \quad (35)$$

例として, $s = 0.5, t = 0.2$ の関数 $f(x)$ の $0 < x \leq 2$ のグラフの概形を図 1 に示す。

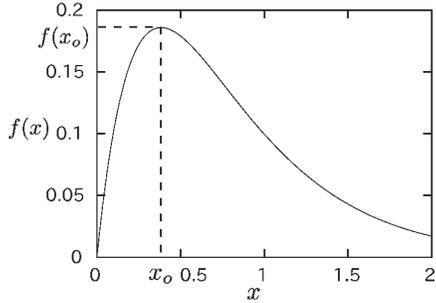


図 1 $s = 0.5, t = 0.2$ の関数 $f(x)$ のグラフの概形

以上より, まず, 式 (30) の右辺を上から抑えることを考える。 $K(x, x) = K^{\text{new}}(x, x) = 1$ より, $\|m_b^{\text{new}}\|^2$ は式 (36) を満たす。

$$\begin{aligned} \|M_b^{\text{new}}\|^2 &= \frac{1}{|C_b^{\text{new}}|^2} \sum_{x, x' \in C_b^{\text{new}}} K^{\text{new}}(x, x') \\ &= \frac{1}{|C_b^{\text{new}}|^2} \sum_{x, x' \in C_b^{\text{new}}} K(x, x') \\ &\quad + \frac{1}{|C_b^{\text{new}}|^2} \sum_{x, x' \in C_b^{\text{new}}, x \neq x'} \Delta K(x, x') \\ &\leq \frac{1}{|C_b^{\text{new}}|^2} \sum_{x, x' \in C_b^{\text{new}}} K(x, x') \\ &\quad + \frac{(|C_b^{\text{new}}|^2 - |C_b^{\text{new}}|)}{|C_b^{\text{new}}|^2} \Delta K_{\text{max}} \\ &= \|M_b^{(\text{new})}\|^2 + \frac{(|C_b^{\text{new}}| - 1)}{|C_b^{\text{new}}|} \Delta K_{\text{max}}. \end{aligned} \quad (36)$$

ここで, 式 (36) における $\|M_b^{(\text{new})}\|^2$ は, カーネル関数の計算時にパラメータとして δ^{new} ではなく δ を用いることを意味する。また, ΔK_{max} は, 任意の x, x' における $\Delta K(x, x')$ の最大値とする。 δ の増加比率 ρ に関しては, $\rho \geq 1$ を仮定しているため, $s = \delta^{\text{new}} = (\rho\delta)^2, t = \delta^2$ とすると, $s/t = \rho^2 > 1, s/(s-t) = \rho^2/(\rho^2-1) >$

$1, t/(s-t) = 1/(\rho^2-1)$ となる。従って, 式 (32), 式 (35) より, L_2 ノルム $\|x - x'\|^2$ を変数とする $f(\|x - x'\|^2) = \Delta K(x, x')$ の最大値 ΔK_{max} は式 (37) を満たす。

$$\begin{aligned} \Delta K_{\text{max}} &= (\rho^2)^{-\frac{1}{\rho^2-1}} - (\rho^2)^{-\frac{\rho^2}{\rho^2-1}} \\ &= (\rho^2)^{-\frac{\rho^2}{\rho^2-1}} (\rho^2 - 1) \\ &\leq (\rho^2)^{-1} (\rho^2 - 1) = \left(1 - \frac{1}{\rho^2}\right). \end{aligned} \quad (37)$$

式 (36) と同様の手順により, 式 (30) の右辺の $2M_a^{\text{new}} \phi(x_a)$ は式 (38) の不等式を満たす。

$$\begin{aligned} 2M_a^{\text{new}} \phi(x_a) &\leq 2M_a^{(\text{new})} \phi(x_a) \\ &\quad + 2 \frac{(|C_a^{\text{new}}| - 1)}{|C_a^{\text{new}}|} \Delta K_{\text{max}}. \end{aligned} \quad (38)$$

式 (36) と式 (38) より, 式 (30) の右辺は式 (39) の不等式で上から抑えることができる。

$$\begin{aligned} \|M_b^{\text{new}}\|^2 + 2M_a^{\text{new}} \phi(x_a) &\leq \|M_b^{(\text{new})}\|^2 + 2M_a^{(\text{new})} \phi(x_a) + \\ &\quad \left(\frac{(|C_b^{\text{new}}| - 1)}{|C_b^{\text{new}}|} + 2 \frac{(|C_a^{\text{new}}| - 1)}{|C_a^{\text{new}}|} \right) \Delta K_{\text{max}}. \end{aligned} \quad (39)$$

次に式 (30) の左辺を下から抑えることを考える。式 (36), 式 (38), 式 (39) と同様の手順により, 式 (30) の左辺は式 (40) となる。

$$\begin{aligned} \|M_a^{(\text{new})}\|^2 + 2M_b^{(\text{new})} \phi(x_a) &+ \\ \frac{1}{|C_a^{\text{new}}|^2} \sum_{x, x' \in C_a^{\text{new}}, x \neq x'} \Delta K(x, x') &+ \\ 2 \frac{1}{|C_b^{\text{new}}|} \sum_{x \in C_b^{\text{new}}} \Delta K(x, x_a) & \\ = \|M_a^{\text{new}}\|^2 + 2M_b^{\text{new}} \phi(x_a). \end{aligned} \quad (40)$$

ここで, ϵ を式 (41) のように定義する。

$$\begin{aligned} \epsilon &= \frac{1}{|C_a^{\text{new}}|^2} \sum_{x, x' \in C_b^{\text{new}}, x \neq x'} \Delta K(x, x') \\ &\quad + 2 \frac{1}{|C_b^{\text{new}}|} \sum_{x \in C_b^{\text{new}}} \Delta K(x, x_a). \end{aligned} \quad (41)$$

$\epsilon \ll \left(\frac{(|C_b^{\text{new}}| - 1)}{|C_b^{\text{new}}|} + 2 \frac{(|C_a^{\text{new}}| - 1)}{|C_a^{\text{new}}|} \right) \Delta K_{\text{max}}$ と仮定し, 式 (40) を式 (42) のように下から抑える。

$$\begin{aligned} \|M_a^{(\text{new})}\|^2 + 2M_b^{(\text{new})} \phi(x_a) &\leq \|M_a^{\text{new}}\|^2 + 2M_b^{\text{new}} \phi(x_a). \end{aligned} \quad (42)$$

式 (39), 式 (42) より, 式 (30) の不等式を上下から抑え, 式 (43) の不等式を得る。

$$\begin{aligned}
& \|M_a^{(\text{new})}\|^2 + 2M_b^{(\text{new})}\phi(x_a) \\
& \leq \|M_a^{\text{new}}\|^2 + 2M_b^{\text{new}}\phi(x_a) \\
& \leq \|M_b^{\text{new}}\|^2 + 2M_a^{\text{new}}\phi(x_a) \\
& \leq \|M_b^{(\text{new})}\|^2 + 2M_a^{(\text{new})}\phi(x_a) + \\
& \quad \left(\frac{(|C_b^{\text{new}}| - 1)}{|C_b^{\text{new}}|} + 2 \frac{(|C_a^{\text{new}}| - 1)}{|C_a^{\text{new}}|} \right) \Delta K_{\max}.
\end{aligned} \tag{43}$$

式 (43) のカーネル関数の計算の際に用いるパラメータは, 全て $\delta^{\text{new}} = \rho\delta$ ではなく δ とできる。 δ を用いた D 次元空間上でのクラスタ $C \subseteq X$ の中心 M と $x \in X$ の L_2 ノルムを $d(M, x) = \|M - \phi(x)\|^2$ とおくと, 式 (37), 式 (43) より, 式 (44) のように ρ の下限を得る。

$$\begin{aligned}
\Delta K_{\max} & \geq \frac{d(M_a^{(\text{new})}, x_a) - d(M_b^{(\text{new})}, x_a)}{\left(\frac{(|C_b^{\text{new}}| - 1)}{|C_b^{\text{new}}|} + 2 \frac{(|C_a^{\text{new}}| - 1)}{|C_a^{\text{new}}|} \right)} \\
1 - \frac{1}{\rho^2} & \geq \frac{d(M_a^{(\text{new})}, x_a) - d(M_b^{(\text{new})}, x_a)}{\left(\frac{(|C_b^{\text{new}}| - 1)}{|C_b^{\text{new}}|} + 2 \frac{(|C_a^{\text{new}}| - 1)}{|C_a^{\text{new}}|} \right)}, \\
\therefore \rho & \geq \sqrt{\frac{1}{\left(1 - \frac{d(M_a^{(\text{new})}, x_a) - d(M_b^{(\text{new})}, x_a)}{\left(\frac{(|C_b^{\text{new}}| - 1)}{|C_b^{\text{new}}|} + 2 \frac{(|C_a^{\text{new}}| - 1)}{|C_a^{\text{new}}|} \right)} \right)}}.
\end{aligned} \tag{44}$$

式 (44) の右辺を用いて $\delta^{\text{new}} = \rho\delta$ と更新していくが, ρ の下限を用いて更新するため, 実際には, 一度で適切な δ^{new} が求まるとは限らず, 式 (28) と式 (29) を満たす δ_q が求まるまで, 逐次的に $\delta_q = \rho_q \rho_{q-1} \dots \rho_1 \delta$ と計算していくことになる。 q 回目の計算過程において, 式 (44) の $x_a \in C_a^{\text{new}}$ は, d 次元空間上で $d_{\min}(C_a^{\text{new}}, C_b^{\text{new}})$ を満たすデータではあるものの, D 次元空間上では, $\|M_a^{(\text{new})} - \phi(x)\|^2 \geq \|M_b^{(\text{new})} - \phi(x)\|^2$ を満たす $\exists x \in X_a$ が存在する可能性がある。その場合 δ_q をパラメータとするカーネル関数を用いた計算では, $x \notin C_a^{\text{new}}$ となる。そこで, q 回目の各計算段階において, 式 (45) のように x_a と x_b を求める。

$$\begin{aligned}
x_a & = \min_{x \in C_a^{\text{new}}} \|M_b^{(\text{new})} - \phi(x)\|, \\
x_b & = \min_{x \in C_b^{\text{new}}} \|M_a^{(\text{new})} - \phi(x)\|.
\end{aligned} \tag{45}$$

4-2 探索方向

$\delta_{q+1} < \delta_q$ となる負方向への探索は $\rho < 1$ とする。これは, $\rho \geq 1$ のときは式 (30) の右辺の増加が左辺の増加を上回る仮定で定式化を行ったのに対して, 式 (30) の左辺の減少が右辺の減少を下回る仮定で定式化を行う。すなわち, 式 (30) の右辺の減少分である $\Delta K(x, x')$ の総和の絶対値が式 (30) の左辺の $\Delta K(x, x')$ の総和の絶対値に比して無視できるくらい小さいと仮定する。式 (39), 式 (40), 式 (41) と同様の考え方により, 式 (30) の左辺の減少分を, 任意の x, x' における $\Delta K(x, x')$ の最小値 ΔK_{\min} を用いて表し, 式 (46) を得る。

$$\begin{aligned}
& \|M_a^{(\text{new})}\|^2 + 2M_b^{(\text{new})}\phi(x_a) + \\
& \quad \left(\frac{(|C_a^{\text{new}}| - 1)}{|C_a^{\text{new}}|} + 2 \frac{(|C_b^{\text{new}}| - 1)}{|C_b^{\text{new}}|} \right) \Delta K_{\min} \\
& \leq \|M_b^{(\text{new})}\|^2 + 2M_a^{(\text{new})}\phi(x_a).
\end{aligned} \tag{46}$$

ΔK_{\min} の増減の変化に関しては, 式 (32) の関数 $f(x)$ において, $t > s > 0$ とした場合が対応しており, そのグラフは図 1 の横軸に対して反転した概形となる。したがって, $\rho < 1$ より, 式 (35) の $f(x)$ の極大値を, そのまま, 極小値として利用でき, $\Delta K_{\min} \geq (1 - 1/\rho^2)$ より, ρ の下限は式 (47) となる。

$$\rho \geq \sqrt{\frac{1}{\left(1 + \frac{d(M_a^{(\text{new})}, x_a) - d(M_b^{(\text{new})}, x_a)}{\left(\frac{(|C_a^{\text{new}}| - 1)}{|C_a^{\text{new}}|} + 2 \frac{(|C_b^{\text{new}}| - 1)}{|C_b^{\text{new}}|} \right)} \right)}}. \tag{47}$$

正方向と負方向の切り替えには, データ X の二点間の距離の分布情報を利用する。以下, 簡単のため, $\rho \geq 1$ の場合で説明するが, $\rho < 1$ の場合も同様の考え方である。まず, 式 (44) より, ρ の探索区間を検討する。 ρ の下限に関しては, 式 (44) において, 仮に $d(M_a^{(\text{new})}, x_a) - d(M_b^{(\text{new})}, x_a) < 0$ を満たした場合, すでに現在の δ が式 (30) を満たしているため, これ以上 δ を更新する必要はない。したがって, 式 (30) を δ 更新の終了条件の一つとすることで, $\rho \geq 1$ を強制できる。次に, 任意の C_a^{new} と C_b^{new} に対して, 必ずしも式 (30) を満たす δ が存在するとは限らず, その場合 $\lim_{\delta \rightarrow \infty} \rho = 1 + \epsilon$ ($0 < \epsilon \ll 1$) となり, 式 (30) の条件では計算が終了しないことになる。そこで, $\rho = 1 + \epsilon$ ($0 < \epsilon \ll 1$) を二つ目の終了条件とする。最後に, ρ の上限に関して,

$0 < \|M\|^2 < 1, 0 < M \cdot \phi(x) < 1$ より, 式 (44) において, $d(M_a^{(new)}, x_a) - d(M_b^{(new)}, x_a) < 3$ となり, さらに, 十分大きな C_a^{new} と C_b^{new} に対して, $\left(\frac{(|C_b^{new}|-1)}{|C_b^{new}|} + 2\frac{(|C_a^{new}|-1)}{|C_a^{new}|}\right) \approx 3$ となるため, 上記二つの終了条件を満たさなかった場合, ρ がかなり大きくなる可能性がある。そこで, $K(x, x')$ の特性に着目し, $\|x - x'\|^2, x, x' \in X$ の分布を考慮した制約を設ける。図 1 より, $f(x)$ のグラフを $\Delta K(x, x')$ に置き換えて考えると, 横軸が L_2 ノルム $\|x - x'\|^2, x, x' \in X$ を表す変数となるため, 現在の δ_q に関して, 極大となる点 x_0 の近辺に多くの $\|x - x'\|^2, x, x' \in X$ が分布しているとき, ΔK_{max} と近い値となる $\Delta K(x, x')$ の数が増加すると考えられる。また, $\|x - x'\|^2, x, x' \in X$ の分布が x_0 から正の方向に離れている場合は, δ の増加に対して ΔK_{max} と近い値となる $\Delta K(x, x')$ の数の増加は見込めないと考えられる。上記より, まず, クラスタ C の任意の二点間の距離の集合を D_C , データ x とクラスタ C の任意の点との距離の集合を $D_{C,x}$, 集合 A の最小値を $\min(A)$, 中央値を $\text{med}(A)$, 最大値を $\max(A)$ とし, 式 (30) の右辺に関わる距離の分布における最大値, 最小値, および, 中央値を式 (48) で定義する。

$$\begin{aligned} d_{\max} &= \min\{\max(D_{C_b}), \max(D_{C_a, x_a})\}, \\ d_{\min} &= \begin{cases} \min(D_{C_b}) & (d_{\max} = \max(D_{C_b})) \\ \min(D_{C_a, x_a}) & (\text{otherwise}) \end{cases}, \\ d_{\text{med}} &= \begin{cases} \text{med}(D_{C_b}) & (d_{\max} = \max(D_{C_b})) \\ \text{med}(D_{C_a, x_a}) & (\text{otherwise}) \end{cases}. \end{aligned} \quad (48)$$

三つ目の終了条件として, δ の探索区間を式 (49) とする。

$$d_{\min} \leq \delta \leq d_{\max}. \quad (49)$$

次に方向の切り替えは, $\Delta K(x, x')$ の極大点, つまり, 式 (34) を用いて, $x_0 \leq d_{\text{med}}$ なら正方向, $x_0 > d_{\text{med}}$ なら負方向の探索を行う。式 (34) において $s = \rho\delta, t = \delta$ とすると, 極大点は $x_0 = \frac{\rho \log \rho}{\rho - 1} \delta$ となり, ρ が定まらなければ基準 x_0 を決定できないため, ρ が +1 から僅かに正方向, あるいは, 負方向に変化した場合で考える。この場合, $\lim_{n \rightarrow \pm\infty} (1 + 1/n)^n = e$ より, $\lim_{\rho \rightarrow 1+0} x_0 = \lim_{\rho \rightarrow 1-0} x_0 = \delta$ となる。ただし, q 回目の計算過程毎に方向を変更すると, 収束しない可能性があるため, 1 回のクラ

スタの変更では探索方向の変更は行わないこととする。以上より, δ を更新するためのアルゴリズムを Algorithm 3 に示す。

Algorithm 3 入力: C_a, C_b, δ

- 1 式 (48) より, $d_{\max}, d_{\min}, d_{\text{med}}$ を求める。
 - 2 $\delta \leq d_{\text{med}}$ なら, 式 (44), そうでなければ, 式 (47) を ρ の計算方法とする。
 - 3 繰返し番号を $q = 1$ とし, $\delta_q = \delta$ とする。
 - 4 式 (45) より x_a と x_b を求める。
 - 5 C_a, C_b, x_a, δ_q より 2 で ρ_q を計算する。
 - 6 以下のいずれかであれば, δ_q を出力し計算を終了する。
 - 式 (28) と式 (29) を同時に満たす
 - $\rho_q = 1$
 - 式 (49) を満たしてない
 - 7 $\delta_q = \rho_q \delta_q, q = q + 1$ とし, 4 へ戻る。
-

Algorithm 3 の 6 行目の最後の停止条件において, 実際には, 初期 δ が $\delta < d_{\min}$ となる場合もあるため, δ の正方向への探索の終了条件は $\delta \leq d_{\max}$ を満たさないことのみとする。同様に, 初期 δ が $d_{\max} < \delta$ となる場合もあるため, δ の負方向への探索の終了条件は $d_{\min} \leq \delta$ を満たさないことのみとする。初期 δ が $\delta < d_{\min}$ となる場合は強制的に $\delta = d_{\min}$ とし, 初期 δ が $\delta > d_{\max}$ となる場合は強制的に $\delta = d_{\max}$ とする方法も有力であるが, $\exists \delta \in \Delta, \delta < d_{\min}, \delta > d_{\max}$ となるデータも存在する可能性を考慮し, 採用しなかった。

4-3 最近傍点情報の利用

本論文では, 分類を期待するクラスタ同士が十分離れていると仮定しているが, 実際には, クラスタ同士が分離していないデータに関しても, クラスタリングを必要とする場合がある。また, 各クラスタにおけるクラスタ内のデータの分布が, 全てのクラスタでほぼ同じになるとも限らない。上記のような場合, d 次元空間上の L_2 ノルムのみをクラスタ分離の基準に使用すると, うまく分類できない可能性がある。そこで, データ x との距離が近い上位 K 個のデータからなる K -近傍点を $\text{nn}(K, x)$ と定義し, 式 (22) と式 (23) におけるクラスタ間の移動データ X_a と X_b の決定条件を, K -近傍点の条件を付加した式 (50) のように変更する。

$$\begin{aligned}
d_a &= \max_{0 \leq i \leq |C_a| - 1} d_{\min}(C_a - X_a(i), C_b \cup X_a(i)), \\
X_a &= X_a(t), \\
t &= \arg \max_{0 \leq i \leq |C_a| - 1} d_{\min}(C_a - X_a(i), C_b \cup X_a(i)), \\
\forall x \in \text{nn}(K, \text{idx}_b(C_a - X_a(t), C_b \cup X_a(t))), \\
x &\notin C_a - X_a(t), \\
d_b &= \max_{0 \leq i \leq |C_b| - 1} d_{\min}(C_a \cup X_b(i), C_b - X_b(i)), \\
X_b &= X_b(t), \\
t &= \arg \max_{0 \leq i \leq |C_b| - 1} d_{\min}(C_a \cup X_b(i), C_b - X_b(i)), \\
\forall x \in \text{nn}(K, \text{idx}_b(C_a \cup X_b(t), C_b - X_b(t))), \\
x &\notin C_b - X_b(t). \tag{50}
\end{aligned}$$

式 (50) は、式 (22) と式 (23) の条件に加えて、 $\text{idx}_a(C_a^{\text{new}}, C_b^{\text{new}})$ と $\text{idx}_b(C_a^{\text{new}}, C_b^{\text{new}})$ の K -近傍点がすべて他方のクラスタには含まれないという条件を付加することを意味する。パラメータを $K = 0$ としたときは、式 (50) ではなく、式 (22) と式 (23) を用いて C_a^{new} と C_b^{new} を決定することと等価となる。

4-4 複数クラスタへの拡張とアルゴリズム

二つ以上の複数クラスタに対しては、全ての2対のクラスタに関して、クラスタ間距離が最小となる順に、式 (50) を評価して $C_a^{\text{new}}, C_b^{\text{new}}$ への更新を行っていく。1対の更新後は、影響のあるクラスタを含む対のみ、クラスタ間距離の更新を行い、式 (50) を評価する順序を並べ換える。全ての評価を終えたあと、最終的なクラスタ間距離に対して降順に $k(k-1)/2$ 回 Algorithm 3 を実行し δ の更新を行う。上記のクラスタ更新と δ の更新を、クラスタ更新が発生しなくなるまで繰り返す。クラスタ更新アルゴリズムを Algorithm 4 に示す。

Algorithm 4 入力: C_1, C_2, \dots, C_k, K

- 1 $L = \emptyset$ とする。
 - 2 $\min_{(i,j) \notin L} \{d_{\min}(C_i, C_j)\}$ を満たす i と j を求める。
 - 3 式 (50) より、 $d_i \geq d_j$ なら $a = i, b = j$ とし、そうでなければ $a = j, b = i$ とする。また、 X_a も求める。
 - 4 $C_a = C_a - X_a, C_b = C_b \cup X_a$ とする。
 - 5 $L = L \cup \{(a, b)\}$ とする。
 - 6 $|L| = k(k-1)/2$ なら L を出力して終了、そうでなければ、2へ戻る。
-

Algorithm 4 では、クラスタの更新毎に δ の更新を行う方法も有力と考えられるが、計算時間の増加と δ の収束への悪影響の懸念から採用しなかった。最終的な提案法のアルゴリズムを Algorithm 5 に示す。

Algorithm 5 入力: X, k, δ, K

- 1 初期目的関数値を $f_0 = 0$ とする。
 - 2 繰返し番号を $l = 1$ とし、 $\delta_l = \delta$ とする。
 - 3 対象データ $x_i \in X (i = 1, 2, \dots, n)$ をランダムにクラスタ $C_j^{(l)} \subset X (j = 1, 2, \dots, k)$ に分類し初期クラスタとする。
 - 4 $X, k, C_1^{(l)}, C_2^{(l)}, \dots, C_k^{(l)}, \delta_l$ を入力として Algorithm 1 を実行し、クラスタ $C_1^{(l)}, C_2^{(l)}, \dots, C_k^{(l)}$ を再計算する。
 - 5 式 (5) より、目的関数値 f_l を計算する。
 - 6 $f_l = f_{l-1}$ なら、 $C_1^{(l)}, C_2^{(l)}, \dots, C_k^{(l)}$ を出力して計算を終了する。
 - 7 $C_1^{(l)}, C_2^{(l)}, \dots, C_k^{(l)}, K$ を入力として、Algorithm 4 を実行し、二対のクラスタの番号のリスト L を得る。
 - 8 $\max_{(u,v) \in L} \{d_{\min}(C_u^{(l)}, C_v^{(l)})\}$ を満たす u と v を求める。
 - 9 $C_u^{(l)}, C_v^{(l)}, \delta_l$ を入力として Algorithm 3 を実行し、 δ_l を再計算する。
 - 10 $L = L - \{(u, v)\}$ とし、 $L \neq \emptyset$ なら、8へ戻る。
 - 11 $l = l + 1$ とし、4へ戻る。
-

4-5 計算量

Algorithm 1 のカーネル k -平均法の計算量のオーダーは Algorithm 1 の繰返し数 t 、クラスタ数 k 、データ数 n 、データの次元数 d を用いて $\mathcal{O}(tkn^3d)$ と表すことができる。従来法の計算量のオーダーは Algorithm 2 の繰返し数 q を q_0 とすると $\mathcal{O}(q_0 t k n^3 d)$ となる (柳, 2012)。一方、提案法の計算量のオーダーに関しては、Algorithm 3 の繰返し数 q を q_p とすると、そのオーダーは $\mathcal{O}(q_p n^2 d)$ となり、Algorithm 5 の繰返し数 l に対して $lk(k-1)/2$ 回の呼び出しが発生する。Algorithm 4 のオーダーは $\mathcal{O}(k^2 n^2 d(1 + ndK \log K))$ で、Algorithm 5 の中で l 回の呼び出しが発生する。したがって、Algorithm 5 のオーダーは $\mathcal{O}(lk^2 q_p n^2 d + lk^2 n^2 d(1 + ndK \log K) + ltkn^3 d)$ となり、 $q_0 \gg l$ でない限り、クラスタ数 k の増加に伴い従来

法に比して提案法の計算量が増加していくと考えられる。

5. 実験

実験は、教師ラベル付きの人工データと実データに対して行う。実験環境は、Intel Xeon 2.00 GHz 4 コア × 2 のデュアルプロセッサ、および、24GB RAM のワークステーションで、OS は 64 ビット版 Linux を使用した。また、コンパイラとして gcc 4.6.3 を使用して C++ により Algorithm 1 ~ 5 を実装した。

5-1 クラスタリング結果の評価方法

教師ラベル付きのデータのクラスタリング結果に対して評価を行う代表的な指標として、Adjusted Rand Index(ARI)(Hubert and Arabie, 1985) や Normalized Mutual Information(NMI)(Strehl and Ghosh, 2003) がある。本論文では NMI を評価指標として用いる。あらかじめ教師ラベルにより決定されている k 個のクラスタ集合を $C^t = \{C_1^t, C_2^t, \dots, C_k^t\}$ 、実際にクラスタリングすることにより得られる k 個のクラスタ集合を $C = \{C_1, C_2, \dots, C_k\}$ 、そして、 $n = |C_1^t \cup C_2^t \cup \dots \cup C_k^t| = |C_1 \cup C_2 \cup \dots \cup C_k|$ をデータ数とするとき、 C^t と C のエントロピーは式 (51) で定義される。

$$\begin{aligned} H(C^t) &= - \sum_{j=1}^k \frac{|C_j^t|}{n} \log \frac{|C_j^t|}{n}, \\ H(C) &= - \sum_{i=1}^k \frac{|C_i|}{n} \log \frac{|C_i|}{n}. \end{aligned} \quad (51)$$

以降、本論文では C^t を正解クラスタ集合と呼ぶことにする。また、 C^t と C の結合エントロピーは式 (52) で定義される。

$$H(C^t, C) = - \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \frac{|C_i \cap C_j^t|}{n} \log \frac{|C_i \cap C_j^t|}{n}. \quad (52)$$

NMI の計算式は式 (51) と式 (52) を用いて、式 (53) により定義される。

$$\text{NMI} = \frac{H(C^t) + H(C) - H(C^t, C)}{\sqrt{H(C^t)H(C)}}. \quad (53)$$

NMI は 0 と 1 の間の値をとり、正解クラスタと実際に得られたクラスタが完全に一致するとき、 $H(C^t) = H(C) = H(C^t, C)$ より、最大値の 1 をとる。

5-2 実験条件

まず、Algorithm 2 の停止基準のパラメータ r_{low} と r_{up} に関しては、文献(柳, 2012) 同様、それぞれ $r_{low} = 0.8$, $r_{up} = 1.2$ とした。また、式 (18) において、 $d_1 \sim d_6$ のいずれかを選択するための安全係数 p に関しては、文献(柳, 2012) の結果より、0.5 とした。Algorithm 2 の最大繰返し回数を 100 回とし、100 回の繰返しを越えても計算を終了しない場合は強制的に計算を終了するようにした。さらに、Algorithm 2 は探索が正方向のみであるため、適切な初期 δ を選択する必要がある。しかし、計算環境には限界があるため、 δ の値が小さすぎると、ガウス関数の値が計算可能な有効桁以下となり距離計算が不能となる(柳, 2012)。そこで、文献(柳, 2012) のような統計的な情報からではなく、計算環境に依存した適切な初期値 δ_{min} を検討する。使用コンパイラにおける倍精度浮動小数型変数の正の最小値は 2.25074×10^{-308} であるため、計算対象データのデータ間の最大距離を d_{max} とし、 δ_{min} を式 (54) で定める。

$$\begin{aligned} 2.25074 \times 10^{-308} < e \times 10^{-308} = e^{-\frac{d_{max}^2}{\delta_{min}^2}}, \\ \therefore \delta_{min} &= \frac{d_{max}}{\sqrt{308 \log_e 10 - 1}}. \end{aligned} \quad (54)$$

次に、Algorithm 5 の入力 K に関しては $K = 0 \sim 4$ と変化させた。Algorithm 5 の最大繰返し回数を 20 回とし、20 回の繰返しを越えても計算を終了しない場合は強制的に計算を終了するようにした。

5-3 使用データの詳細

人工データは全て 2 次元とし、適切な δ を与えたとき、カーネル k -平均法により、正確に分類できるデータを用意した。 $\Delta \neq \emptyset$ の判定は、文献(柳, 2012) と同様、Algorithm 1 の入力を $(X, k, \delta_q, C_j^t (j = 1, 2, \dots, k))$ として Q 回 ($1 \leq q \leq Q$) の試行を行う。 δ_Q をデータ間の最大距離の 2 倍、 $\delta_1 = 0.01$, $Q = 200$ とし、各データの試行を行った結果、 $\delta_Q = 2$ までの試行で $\Delta \neq \emptyset$ の推定が可能であると判断できたため、 $\delta_1 = 0.01, \delta_Q = 2.001, Q = 200$ とした。表 1 に各データの詳細を示す。表 1 の最終列は、前節で述べた実験で使用する計算不能とならない初期 δ の値であり、その前列が式 (54) で初期 δ の計算に必要な最大距離である。図 2 ~ 15 に各データの分布状態と対

表 1 人工データの詳細

データ名	図番号	サンプル数	クラスタ数	NMIが最大となる δ の区間の推定	距離の最大値	初期 δ
データ1	図2	400	2	図9より0.47 ~ 1.26	1.984	0.075
データ2	図3	400	2	図10より0.16 ~ 0.54	4.396	0.165
データ3	図4	601	2	図11より0.09 ~ 0.15	2.445	0.092
データ4	図5	600	3	図12より0.16 ~ 0.54	4.396	0.165
データ5	図6	600	3	図13より0.47 ~ 0.78	3.583	0.135
データ6	図7	300	3	図14より0.20 ~ 0.40	2.034	0.076
データ7	図8	800	4	図15より0.47 ~ 0.54	4.396	0.165

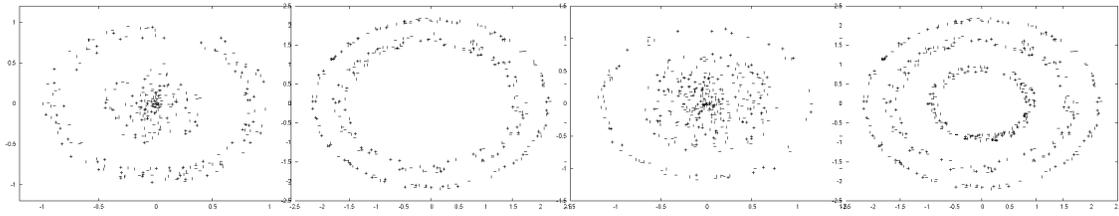


図 2 データ 1

図 3 データ 2

図 4 データ 3

図 5 データ 4

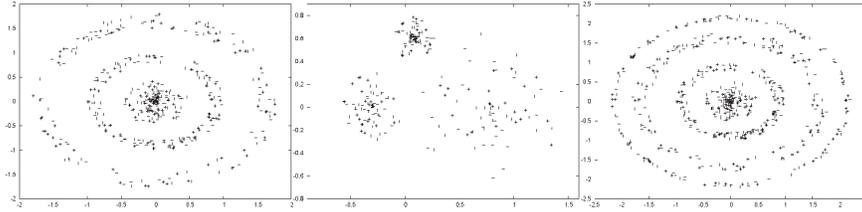
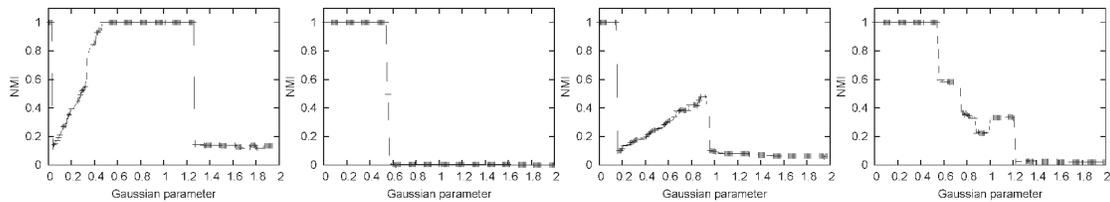
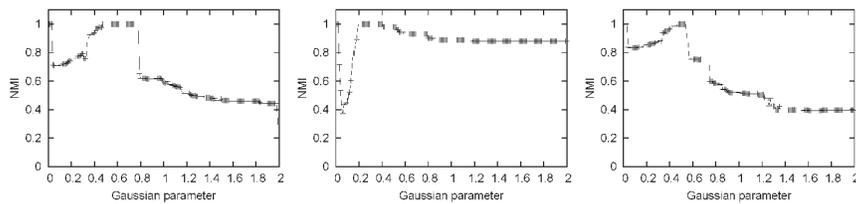


図 6 データ 5

図 7 データ 6

図 8 データ 7

図 9 1の δ 対NMI図 10 2の δ 対NMI図 11 3の δ 対NMI図 12 4の δ 対NMI図 13 5の δ 対NMI図 14 6の δ 対NMI図 15 7の δ 対NMI

応する δ 対NMI値のグラフを示す。

実データに関しては UCI machine learning repository(Frank and Asuncion, 2010) より, iris, wine, satimage, pen digit の4つのデータを使用した。satimage と pen digit に関しては, 元のデータのデータ数が非常に多いため, 各クラスタからランダムに80個を選択した。各データの詳細を表2に示す。表2の各データにおけるNMIが最大となる δ の区間は,

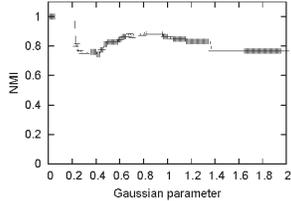
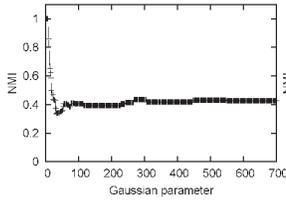
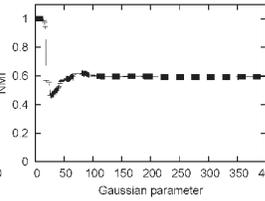
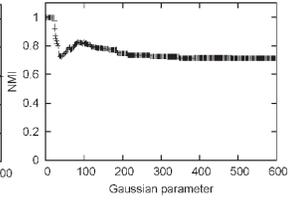
前述の人工データと同じ方法で推定した。結果を図16~19に示す。図16~19より, 全ての実データは $\Delta = \emptyset$ と推定できる。

5-4 従来法と提案法の比較

従来法である Algorithm 2 と提案法である Algorithm 5 を用いて, 各データに対して50回の試行を行い, δ の更新回数に関する平均と最小と最大, δ の更新毎の Algorithm 2 にお

表2 実データの詳細

データ名	次元数	サンプル数	クラス数	NMIが最大となる δ の区間の推定	距離の最大値	初期 δ
iris	4	150	3	図16より0.8～0.82	7.09	0.27
wine	13	178	3	図17より265～285	1402.1	52.7
satimage	36	480	6	図18より81～83	384.2	14.4
pen digit	16	800	10	図19より84～86	286.3	10.8

図16 iris の δ 対 NMI図17 wine の δ 対 NMI図18 sat. の δ 対 NMI図19 pen digit の δ 対 NMI

ける繰返し回数の平均と最小と最大，提案法である Algorithm 5 における繰返し回数の平均と最小と最大，計算時間の平均と最小と最大，および，NMI 値の平均と最小と最大を調べた。また，人工データに関しては NMI 値が 1 となった回数も調べた。表 3 に人工データの実験結果を示す。表 3 の最初の列項目の番号はデータ名である。2 番目の列項目の K は提案法における K -近傍点数であり，各データにおける最初の行の「-」は従来法を意味する。そして，最後の列項目の「=1」は NMI 値が 1 となった回数である。表 3 より，全体的に提案法の NMI の最大値は， K の値のいずれかで 1 となっており，その割合は異なるものの，カーネル k -平均法で分類可能なデータは，提案法で分類可能であると考えられる。また，計算時間に関しては，全体的にクラス数増加に比して提案法の計算時間の平均も増加していくのが見て取れる。各データで NMI 値が 1 となる回数が多い K に関して， δ の平均が表 1 の δ の推定区間の下限に近い値となっており，下から効率的に推定できていると考えられる。データ 1 では，提案法のすべての K の値に対して NMI 値は 1 となっている。4-5 節より，クラス数の増加に伴い提案法の計算時間が大きくなると考えられるが，データ 1 のクラス数は 2 であり，Al. 5 の繰返し数が 2 回であることから，アルゴリズムの特性上，1 回で $\delta \in \Delta$ となる δ の探索に成功していると考えられる。そのため， δ の更新回数は多いものの，Al. 2 の繰返し数が少なくなり，結果として計算時間が少なくなったと考えられる。データ 2 とデータ 4

はクラス数の違いはあるものの，各クラスが細長い環状に分布しており，初期クラス依存度が高いと考えられる。従来法は 100 回の上限で収束できず停止しており，NMI 値の平均もかなり低い。特に，データ 2 に関しては δ の平均が $\delta \in \Delta$ となっていることから， δ の更新毎に Al. 2 が行うクラスタリングにおいて，結合したデータ集合を再分割していると考えられる。一方で提案法では， δ の探索を正負両方向に対して行えるため，探索回数に制限を設けていない。そのため， δ の更新回数の最大数はかなり高くなっているが， $0 \leq K \leq 2$ で平均 100 回程度であり，探索回数に制限を設けていないことが優位性につながったとは考えにくい。Al. 4 はクラス間が十分な距離で分離している場合は，かなり高い確率で，正解クラスに分離することができると推測できる。また，そのときの δ が $\delta \in \Delta$ であれば，初期値として $\delta \in \Delta$ と正解クラスを与えて Al. 2 を実行した場合と同じになる。このことが，精度よく分類できた理由と考えられる。実際に，データ 2 では，提案法の δ は，ほぼ初期値の状態であり， $K = 0$ の場合は一度も δ の更新をしていないことに顕著に表れている。ただし， K の値が大きくなると，NMI が 1 となる回数が減少している。図 2，図 3 より，データ 1 に比してクラス同士の分離がやや不十分であるためと考えられる。データ 3 は，データ数が異なる二つのクラスからなっている。従来法の δ の平均は 0.49 で $\Delta = [0.09, 0.15]$ を大きく上回っており，うまく推定できなかったのに対して，提案法は全ての K において δ の平均が初期 δ

表3 人工データ(1~7)の実験結果

K	δ の更新回数			Al.5の繰返し数			Al.2の繰返し数			計算時間			δ			NMI				
	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	=1	
1	-	1	50.5	56	-	-	-	2	2.8	11	0.13	1.78	2.02	0.07	0.87	0.95	0.00	0.90	1.00	45
	0	77	77.5	78	2	2.0	2	2	2.0	2	1.16	1.19	1.25	0.47	0.48	0.49	1.00	1.00	1.00	50
	1	77	77.5	78	2	2.0	3	2	2.0	2	1.17	1.20	1.27	0.47	0.48	0.49	1.00	1.00	1.00	50
	2	77	77.5	78	2	2.0	2	2	2.0	2	1.16	1.20	1.27	0.47	0.48	0.49	1.00	1.00	1.00	50
	3	77	77.5	78	2	2.0	2	2	2.0	2	1.16	1.20	1.32	0.47	0.48	0.49	1.00	1.00	1.00	50
	4	77	77.5	78	2	2.0	2	2	2.0	2	1.17	1.20	1.35	0.47	0.48	0.49	1.00	1.00	1.00	50
2	-	100	100.0	100	-	-	-	2	2.1	13	2.42	2.51	2.87	0.17	0.23	0.63	0.00	0.02	0.09	0
	0	0	0.0	0	3	3.0	3	2	2.0	2	0.32	0.34	0.35	0.17	0.17	0.17	1.00	1.00	1.00	50
	1	27	84.0	141	3	3.0	4	2	2.1	12	0.33	0.40	3.16	0.17	0.17	0.48	1.00	1.00	1.00	50
	2	27	84.0	141	3	3.0	4	2	2.1	12	0.33	0.40	3.16	0.17	0.17	0.48	1.00	1.00	1.00	50
	3	22	236.3	1945	2	3.0	4	2	2.9	25	0.34	2.26	29.29	0.10	0.19	0.50	0.02	0.41	1.00	8
	4	54	363.0	1763	1	1.5	4	2	3.2	18	0.15	2.31	26.14	0.17	0.21	0.42	0.00	0.07	1.00	3
3	-	5	47.2	49	-	-	-	2	2.8	9	0.34	2.73	2.99	0.09	0.49	0.50	0.00	0.23	0.24	0
	0	0	0.0	0	2	2.0	2	2	2.0	2	0.51	0.56	0.64	0.09	0.09	0.09	1.00	1.00	1.00	50
	1	0	0.0	0	2	2.0	3	2	2.0	2	0.50	0.56	0.72	0.09	0.09	0.09	1.00	1.00	1.00	50
	2	0	0.0	0	2	2.0	2	2	2.0	2	0.51	0.56	0.62	0.09	0.09	0.09	1.00	1.00	1.00	50
	3	47	52.0	110	2	2.4	20	2	3.0	22	0.52	1.12	27.76	0.09	0.10	0.27	0.54	0.99	1.00	49
	4	0	0.0	0	2	2.0	3	2	2.0	2	0.51	0.56	0.69	0.09	0.09	0.09	1.00	1.00	1.00	50
4	-	17	88.9	100	-	-	-	2	2.6	34	3.09	5.93	8.41	0.17	0.58	1.54	0.01	0.08	0.35	0
	0	2	64.0	1869	2	5.5	20	2	6.4	32	1.06	12.65	60.66	0.05	0.33	0.86	0.59	0.97	1.00	46
	1	1	79.4	1335	3	4.7	12	2	6.2	42	1.25	10.92	89.10	0.05	0.31	0.48	0.68	0.99	1.00	48
	2	2	119.3	1656	2	4.9	9	2	6.7	43	1.00	12.54	45.88	0.05	0.27	0.54	0.68	0.99	1.00	48
	3	3	158.1	3107	2	5.8	14	2	7.6	42	0.89	26.15	89.54	0.04	0.21	0.49	0.60	0.94	1.00	40
	4	1	188.6	1974	2	6.0	12	2	8.7	42	0.91	31.22	93.00	0.05	0.21	0.54	0.58	0.95	1.00	43
5	-	16	31.3	95	-	-	-	2	4.1	32	2.01	3.32	7.75	0.97	1.15	3.22	0.21	0.58	0.61	0
	0	1	101.6	1632	2	4.4	20	2	7.2	30	1.06	12.89	50.76	0.02	0.64	1.27	0.50	0.96	1.00	46
	1	1	99.5	1619	2	4.8	20	2	7.1	25	1.06	12.81	39.50	0.01	0.65	1.27	0.50	0.94	1.00	44
	2	1	114.5	2143	2	4.7	20	2	7.8	27	1.16	14.37	70.25	0.01	0.70	1.27	0.22	0.89	1.00	39
	3	1	102.5	1231	2	5.6	17	2	7.7	30	0.87	16.62	75.92	0.01	0.54	1.27	0.50	0.83	1.00	30
	4	1	103.2	990	2	4.2	20	2	7.3	33	0.98	11.10	32.80	0.01	0.57	1.27	0.50	0.82	1.00	29
6	-	8	14.3	19	-	-	-	2	4.0	18	0.28	0.37	0.51	0.22	0.25	0.26	0.94	1.00	1.00	46
	0	4	12.6	243	2	5.1	20	2	5.1	9	0.24	0.93	4.50	0.06	0.13	0.16	0.28	0.68	0.75	0
	1	1	14.6	405	2	13.2	20	2	6.7	17	0.18	2.84	4.57	0.06	0.13	0.37	0.28	0.61	1.00	23
	2	1	11.4	320	20	20.0	20	2	7.0	12	3.46	4.02	5.52	0.07	0.35	1.12	0.28	0.45	0.88	0
	3	1	11.5	214	20	20.0	20	2	6.0	12	2.35	3.69	4.80	0.09	1.16	1.29	0.32	0.87	0.88	0
	4	2	34.7	838	1	5.6	20	2	5.3	11	0.10	1.05	3.71	0.01	0.18	0.52	0.15	0.53	0.97	0
7	-	13	35.6	100	-	-	-	2	4.5	54	3.19	7.11	14.59	0.33	0.96	2.22	0.35	0.52	0.69	0
	0	1	38.6	1045	2	9.5	20	2	12.4	51	2.36	34.95	137.05	0.04	0.41	0.89	0.61	0.90	1.00	31
	1	1	49.3	1055	2	6.4	20	2	9.9	41	2.22	19.81	80.58	0.02	0.47	0.84	0.69	0.96	1.00	42
	2	1	57.4	711	2	6.3	20	2	10.1	47	2.01	24.46	95.56	0.06	0.46	1.27	0.33	0.95	1.00	42
	3	1	114.9	953	2	13.5	20	2	13.1	47	2.23	102.80	284.96	0.03	1.77	3.59	0.36	0.61	1.00	14
	4	1	115.1	1017	2	8.2	20	2	10.7	44	2.05	50.00	257.82	0.05	0.15	0.51	0.56	0.82	1.00	8

と、ほとんど同じである。K = 0, 1, 2, 4で δ の更新回数が0となっていることから、クラス間が十分な距離で分離しており、 $C^f \in C_{Al1}^*$ であればデータ数の違いの影響は低いと考え

られる。データ6では従来法の結果が良好であった。データ6は3つのクラスタからなり、各クラスタは凸形状ではあるものの、各クラスタの分布状態が異なっている。そのため、提

表4 実データの実験結果

K	δ の更新回数			Al.5の繰返し数			Al. 2の繰返し数			計算時間(秒)			δ			NMI			
	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	
ir.	-	5	10.4	52	-	-	-	2	3.6	22	0.04	0.06	0.20	0.61	0.66	0.78	0.51	0.58	0.62
	0	3	13.8	313	2	7.4	20	2	5.9	12	0.09	0.20	0.57	0.55	0.87	1.40	0.57	0.71	0.74
	1	2	32.0	127	2	2.5	4	2	2.7	9	0.08	0.11	0.25	0.80	0.82	0.84	0.74	0.74	0.74
	2	1	7.4	310	20	20.0	20	2	3.5	16	0.42	0.57	0.93	0.70	0.72	0.84	0.66	0.66	0.66
	3	1	12.2	680	1	9.9	20	2	3.7	15	0.02	0.32	0.84	0.18	0.46	0.74	0.19	0.49	0.70
4	4	103.0	202	1	1.2	2	2	2.1	4	0.02	0.04	0.27	0.27	0.56	3.88	0.00	0.24	0.74	
wi.	-	1	3.0	100	-	-	-	2	2.0	6	0.01	0.02	0.46	52.69	52.95	65.81	0.08	0.30	0.31
	0	4	14.7	30	2	2.7	20	2	4.3	18	0.05	0.11	1.54	28.34	62.63	506.70	0.08	0.10	0.41
	1	2	34.5	352	2	6.0	20	2	6.5	20	0.06	0.50	2.59	14.89	101.26	464.56	0.09	0.38	0.42
	2	2	22.7	342	2	4.4	20	2	6.8	17	0.05	0.36	2.48	17.46	83.77	458.79	0.40	0.42	0.42
	3	1	36.7	377	3	10.0	20	2	7.5	18	0.32	1.13	2.49	13.02	76.40	285.55	0.39	0.42	0.44
4	2	42.0	516	2	11.7	20	2	5.8	17	0.04	1.34	4.59	16.15	102.71	302.23	0.22	0.35	0.44	
sa.	-	2	57.5	100	-	-	-	2	3.2	44	0.20	2.63	4.36	16.7	2.1×10^7	2.7×10^8	0.01	0.48	0.57
	0	0	0.0	0	2	2.2	3	2	2.0	2	0.93	1.58	2.19	14.44	14.44	14.44	0.32	0.35	0.36
	1	0	0.0	0	2	3.3	5	2	2.0	2	1.56	3.97	7.75	14.44	14.44	14.44	0.32	0.35	0.38
	2	0	0.0	0	1	1.1	3	2	2.0	2	0.15	0.16	0.46	14.44	14.44	14.44	0.01	0.01	0.02
	3	0	0.0	0	1	1.0	1	2	2.0	2	0.15	0.15	0.18	14.44	14.44	14.44	0.01	0.02	0.02
4	0	0.0	0	1	1.0	1	2	2.0	2	0.15	0.16	0.18	14.44	14.44	14.44	0.01	0.01	0.02	
pe.	-	10	23.3	71	-	-	-	2	5.6	40	2.98	5.05	11.43	123.0	4.7×10^7	3.2×10^8	0.67	0.72	0.76
	0	0	0.0	0	2	2.1	4	2	2.0	2	10.31	14.41	19.31	10.76	10.76	10.76	0.09	0.33	0.35
	1	0	0.0	0	2	10.3	20	2	2.0	2	16.6	289.4	763.6	10.76	10.76	10.76	0.32	0.34	0.39
	2	0	0.0	0	1	1.0	2	2	2.0	2	0.43	0.45	0.85	10.76	10.76	10.76	0.02	0.02	0.03
	3	0	0.0	0	1	1.0	1	2	2.0	2	0.43	0.44	0.45	10.76	10.76	10.76	0.02	0.02	0.03
4	0	0.0	0	1	1.0	1	2	2.0	2	0.44	0.45	0.46	10.76	10.76	10.76	0.02	0.02	0.03	

案法における R^2 上の距離基準では、適切に評価できなかつたと考えられる。データ6のようにガウス分布形状となっている場合は外れ値が悪影響を与えることが多く、実際に提案法における $K=0$ のクラスタリング結果は全て (2,100,198) という分類であった。 $K=1$ のときのみ、半分くらいの試行においてNMI値が1となっており、データの分布に対する最適な K の検討が必要と考える。データ7は4つのクラスタからなるため提案法のNMI値が1となる割合は小さくなっているものの、従来法のNMI値が一度も1となっていないことから、クラスタ数が増えてもクラスタ間が十分分離しているデータに対しては、ある程度の精度を期待できると考えられる。ただし、 K の値が増加すると、計算時間が増加するのに対して、NMI値が1となる回数が減少している。十分な距離で分離していないクラスタ対が影響を与えていると考えられ、図8の外側の二つのクラスタが該当すると推測する。データ5に関

しても同様の事が考えられる。

次に、表4に実データの実験結果を示す。

表4より、irisは $K=0,1,2$ で、従来法より提案法のNMI値の平均が高くなっているが、 $K=3,4$ で低くなっている。完全に分離していないため、 K の増加に対して性能は低下するが、データ6のように極端に悪影響を与える外れ値は含んでいないと考えられる。wineに関しては、従来法の δ の更新回数の平均よりも、提案法の更新回数の平均の方が大きくなっている。また、 $K=0$ のときのみ、 δ の平均が小さくなっているため、クラスタ間距離のみで分割する基準が適切ではないと考えられる。実際にデータ間の最大距離は1402とかなり大きい。 $K \geq 1$ で、従来法より提案法のNMI値の平均が高くなっているものの、図17より、 δ の値はかなり広範囲でNMI値が最大値に近い0.4となっているため、 $K \geq 1$ における従来法に対する提案法の優位性には疑問が残る。satimageとpendigitに関しては、提案法

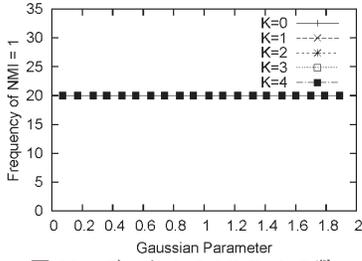


図 20 データ 1 の NMI=1 の数

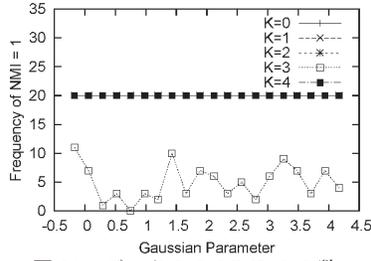


図 21 データ 2 の NMI=1 の数

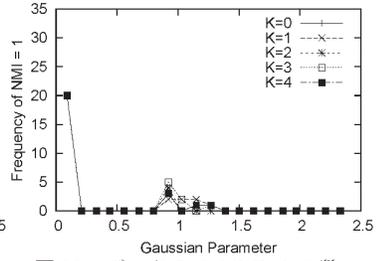


図 22 データ 3 の NMI=1 の数

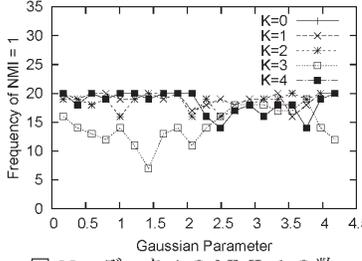


図 23 データ 4 の NMI=1 の数

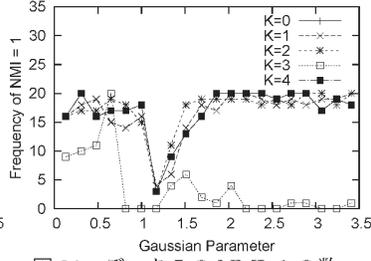


図 24 データ 5 の NMI=1 の数

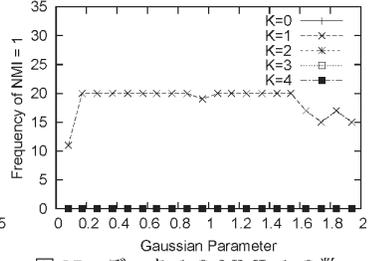


図 25 データ 6 の NMI=1 の数

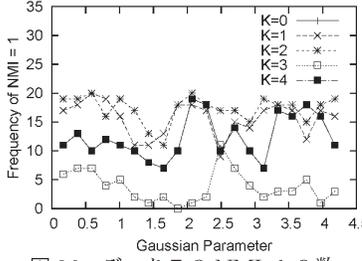


図 26 データ 7 の NMI=1 の数

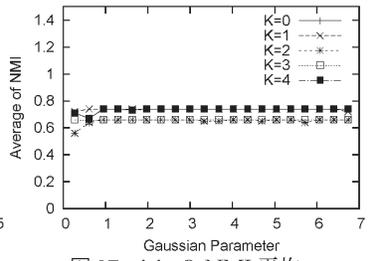


図 27 iris の NMI 平均

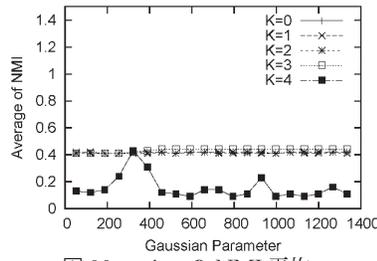


図 28 wine の NMI 平均

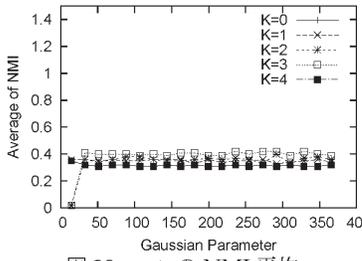


図 29 sat. の NMI 平均

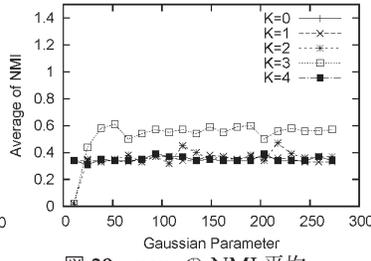


図 30 pen. の NMI 平均

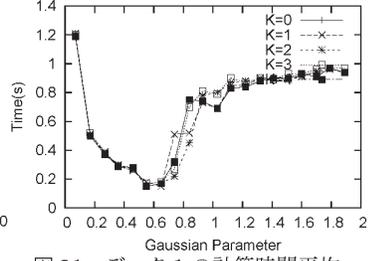


図 31 データ 1 の計算時間平均

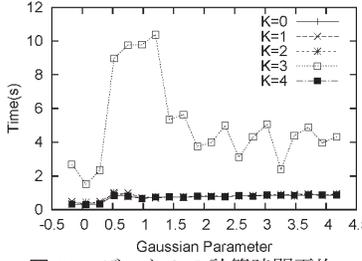


図 32 データ 2 の計算時間平均

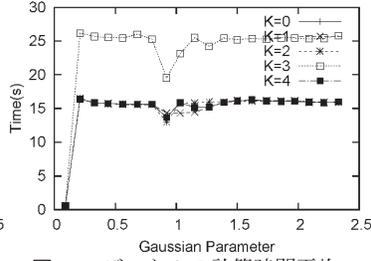


図 33 データ 3 の計算時間平均

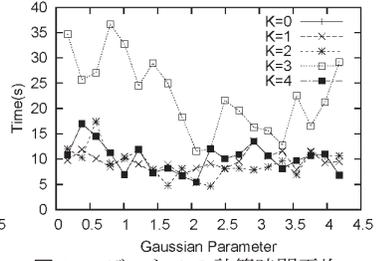


図 34 データ 4 の計算時間平均

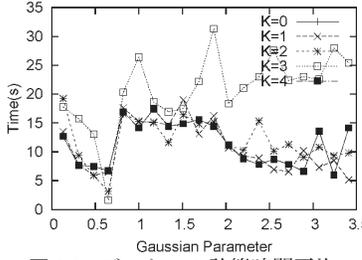


図 35 データ 5 の計算時間平均

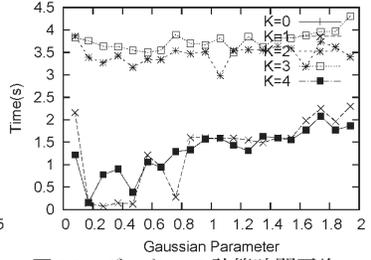


図 36 データ 6 の計算時間平均

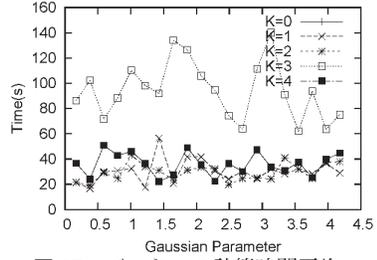


図 37 データ 7 の計算時間平均

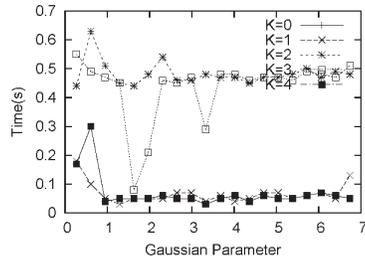


図 38 iris の計算時間平均

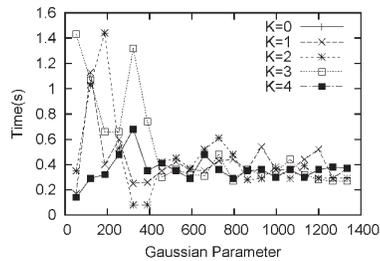


図 39 wine の計算時間平均

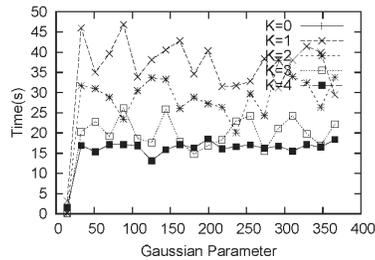


図 40 sat の計算時間平均

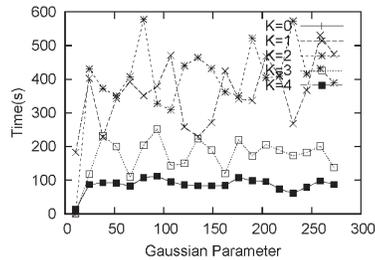


図 41 pen. の計算時間平均

の NMI 値は全体的に小さかった。 δ の更新回数が全て 0 となっており、データ 6 のような外れ値に分割された後、 δ の更新が発生しなかったためと考えられる。実際に、クラスタリング結果を調べたところ、pen digit は、ほとんどが (2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 5, 78, 703), satimage は、ほとんどが (2, 2, 2, 8, 51, 415) というように、一つのクラスタ数が極端に大きくなり、2 に近い値のクラスタ数がいくつか見られる偏りのある分類結果となっていた。また、図 18 と図 19 より、かなり広範囲な δ の値に関して、satimage の NMI 値は 0.6 近辺、pen digit の NMI 値は 0.75 近辺となっているため、初期クラスタへの依存度が低ければ、従来法のやや曖昧な停

止基準の方が有効であると考えられる。ただし、従来法の δ の平均と最大の値がかなり大きくなっており、pen digit に関しては 4 個程度が $10^7 \sim 10^8$ のオーダーであるものの、satimage に関しては半数程度が $10^7 \sim 10^8$ のオーダーとなっており、停止基準はやや不安定である。

5-5 初期値の変化に対する精度と計算時間

提案法の探索方向の有効性を確認するため、Al. 5 の入力である初期 δ の値に対する精度と計算時間の変化を調べた。表 1 と表 2 より、各データの初期 δ と距離の最大値を用いて $d\delta = (\text{距離の最大値} - \text{初期}\delta)/20$ とし、初期 δ から始めて逐次 $\delta = \delta + d\delta$ と加算しながら $\delta > \text{距離の最大値}$ となるまで 20 回の δ の更新を行った。各 δ に対して、20 回の Al. 5 の試行を行い、人工データに対しては、NMI 値が 1 となった回数と計算時間の平均、実データに対しては、NMI 値と計算時間の平均を調べた。結果を図 20～図 41 に示す。図 20～図 26 より、人工データに関して、データ 3 以外のデータで NMI が 1 となった回数は表 3 の結果とほぼ同等となっている。データ 3 のみ初期 δ の依存度が高いと考えられる。計算の詳細を確認すると、ほとんどの試行で Al. 4 で正解クラスタへの分類には成功しているものの、Al. 3 で δ の推定に失敗していた。いずれも、Al. 3 の 6 行目の 3 番目の停止条件を満たして計算を終了していたため、強制終了ではない。本来、式 (28) と式 (29) は 2 つのクラスタに所属する全データに対して評価しなければならない。データ数がほぼ同じクラスタに対しては、各クラスタから他のクラスタまでの最短距離に対応するデータである x_a と x_b のみの評価で、ある程度 δ を推定できている。 x_a と x_b は式 (45) より R^D 上の距離計算となるため、データ 3 に関しては、2 つのクラスタのデータ数が異なる影響が顕著に表れたと考えられる。図 27～図 30 より、実データの NMI の平均に関しては、iris と wine は表 4 の結果とほぼ同等である。satimage と pen digit は表 4 の従来法ほどではないものの、NMI の平均がやや向上しており、初期 δ の値は δ_{\min} よりも、ある程度大きい方がよいと考えられる。計算時間に関しては、図 40 より、satimage で $K=1$ のとき平均的に計算量が多くなっている。また、図 41 より、pen digit は全体的に計算量が多くなっているが、データ数が多いため妥当であ

り、逆に表4と異なり、提案法による計算が適切に実行されたとも判断できる。

6. 考察

表3より、提案法では $K=0$ でデータ6以外の人工データは、高い割合で正解クラスタへの分類に成功しており、特にクラスタ数が2の場合は、完全に正解クラスタを得ることに成功している。この理由について考察する。まず、クラスタ数が2の場合で、 $K=0, X = C_a^t \cup C_b^t$ とし、式(55)の仮定が成立するとき、Al. 4は必ず正解クラスタへの分類に成功することを示す。

$$\begin{aligned} d_{\min}(C_a^t, C_b^t) &\geq d_{\min}(C_a, C_b), \forall C_a \cup C_b = X, \\ d_{\min}(C_a^t - Y, Y) &< d_{\min}(C_a^t - Y, C_b^t), \forall Y \subset C_a^t, \\ d_{\min}(C_b^t - Y, Y) &< d_{\min}(C_b^t - Y, C_a^t), \forall Y \subset C_b^t, \\ \{C_a, C_b\}, \{C_a^t, C_b^t\} &\in C_{A11}^*. \end{aligned} \quad (55)$$

式(55)は任意の $2^{|X|}$ 個の2対の C_a と C_b の組合せに対する仮定に見えるため、かなり厳しい制約とも取れるが、図2や図3のようなデータ分布で $\{C_a, C_b\} \in C_{A11}^*$ を仮定しているため、実際に分離可能なクラスタに対して設定する条件として妥当であると考ええる。まず、以下の場合分けを行う。

- (1) $C_a \subseteq C_a^t, C_b^t \subseteq C_b$.
- (2) $C_b \subseteq C_b^t, C_a^t \subseteq C_a$.
- (3) $C_a \not\subseteq C_a^t, C_b \not\subseteq C_b^t$.

(1)の場合については、式(55)の仮定より、 $Y = C_b - C_b^t$ を満たす Y に対して式(56)が成立する。

$$d_{\min}(C_a \cup Y, C_b - Y) = d_{\min}(C_a^t, C_b^t). \quad (56)$$

また、 $\forall Y \subset C_b^t$ に関して式(57)が成立する。

$$d_{\min}(C_a^t \cup Y, C_b^t - Y) < d_{\min}(C_a^t, C_b^t). \quad (57)$$

同様に、 $\forall Y \subset C_a$ に関して式(58)が成立する。

$$d_{\min}(C_a - Y, C_b \cup Y) < d_{\min}(C_a^t, C_b^t). \quad (58)$$

式(56)、式(57)、式(58)より、式(50)における X_b が、 $X_b = C_b - C_b^t$ となることを示せばよい。式(55)の2行目と3行目の仮定より、 $x \notin X_b, \exists x \in C_a^t$ かつ $x' \in X_b, \forall x' \in C_b^t$ となることはない。したがって、 $X_b \subseteq C_b - C_b^t$ または $C_b - C_b^t \subseteq X_b$ であるが、 $X_b \subset C_b - C_b^t$ または $C_b - C_b^t \subset X_b$ は式(55)の1行目の仮

定に矛盾する。したがって、Al. 4は、 C_a^t と C_b^t に更新する。Al. 5におけるAl. 4の呼び出し回数は、もしAl. 3が $\delta \in \Delta$ の推定に成功し、Al. 1によるクラスタ更新に変化がなければ、最終的に C_a と C_b が変化しない終了段階の呼び出しも含めて2回となる。表3ではデータ1とデータ3が(1)の場合に該当すると考えられ、50回の試行におけるAl. 4の全呼び出し回数が2となっている。(2)に関しても、 a と b の添字を入れ換えて考えると(1)の場合と同様のことがいえる。(3)に関しては、まず、 $C_a^t = C_{a,1}^t \cup C_{a,2}^t, C_{a,1}^t \cap C_{a,2}^t = \emptyset, C_b^t = C_{b,1}^t \cup C_{b,2}^t, C_{b,1}^t \cap C_{b,2}^t = \emptyset$ とし、 $C_a = C_{a,1}^t \cup C_{b,1}^t, C_b = C_{a,2}^t \cup C_{b,2}^t$ とする。式(58)の d_a と d_b に関して、 $d_b > d_a$ であったと仮定すると、式(55)の仮定と式(58)の定義より、 $C_{a,2}^t \subseteq X_b$ 、または、 $C_{b,2}^t \subseteq X_b$ となる。一般性を失わず、 $C_{a,2}^t \subseteq X_b$ とし $Y = X_b - C_{a,2}^t$ とすると、Al. 4の更新により、式(59)の C_a', C_b' を得る。

$$\begin{aligned} C_a' &= C_{a,1}^t \cup C_{b,1}^t \cup C_{a,2}^t \cup Y \\ &= C_a^t \cup C_{b,1}^t \cup Y, \\ C_b' &= C_{b,2}^t - Y. \end{aligned} \quad (59)$$

式(59)より、次の更新は(1)の場合に帰着できるため、結局(3)の場合のAl. 5におけるAl. 4の呼び出し回数は、(1)の場合と同様Al. 3が $\delta \in \Delta$ の推定に成功し、Al. 1によるクラスタ更新に変化がないと仮定すると、最後の変化なしにおける呼び出しも含めて3回となる。表3より、データ2がこの場合に該当すると考えられる。 $C^t \in C_{A11}^*$ であれば、 $\delta \in \Delta$ が存在するため、Al. 3の $\delta \in \Delta$ の推定可能性の問題となるが、2つのクラスタのデータ数が同じであるデータ1とデータ2に関しては、距離の分布における中央値を探索方向の切り替えに利用し、最小値と最大値からなる区間を探索区間とした戦略が有効であったと推測できる。実際のデータのAl. 5の分類過程における(1)の場合の典型的な例として、データ1で初期 δ を表1の初期 δ としたときの分類過程を図42と図43に示し、(3)の場合の典型的な例として、データ2で初期 δ を表1の初期 δ としたときの分類過程を図44、図45、図46に示す。また、(3)のもう一つの例として、データ1で初期 δ を表1の最大値としたときの分類過程を図47、図48、図49に示す。図42はデータ1に対す

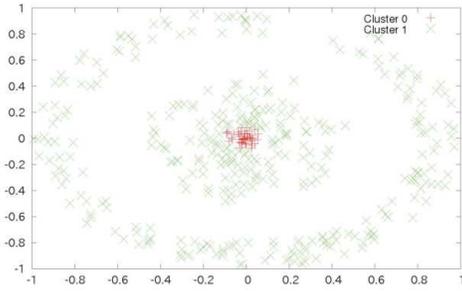


図 42 データ 1 の 1 回目の Algorithm 1 実行直後

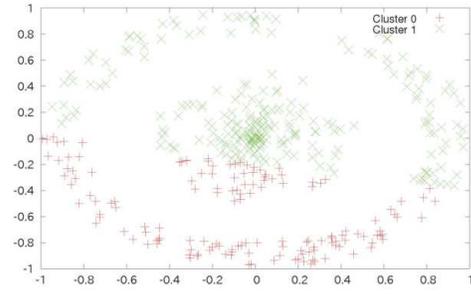


図 47 データ 1 で初期 δ を最大値としたときの 1 回目

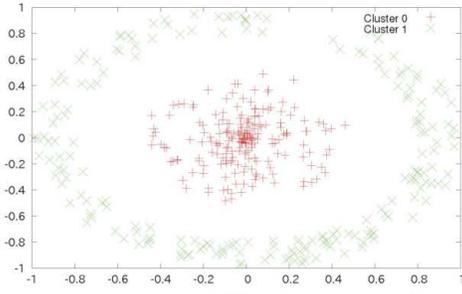


図 43 データ 1 の 1 回目の Algorithm 4 実行直後

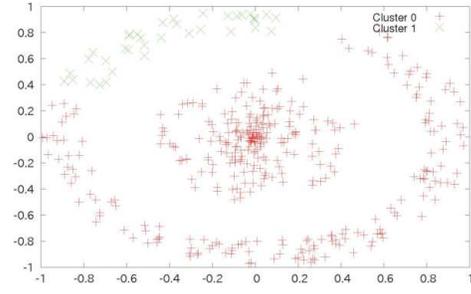


図 48 データ 1 で初期 δ を最大値としたときの 2 回目

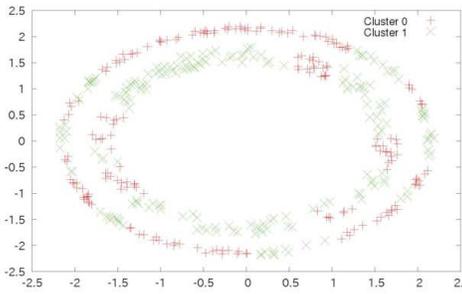


図 44 データ 2 の 1 回目の Algorithm 1 実行直後

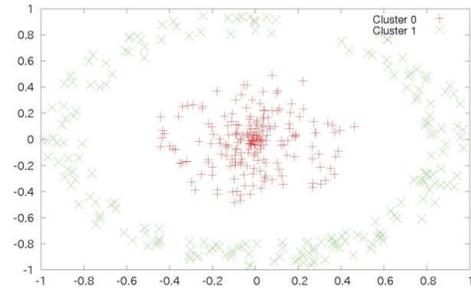


図 49 データ 1 で初期 δ を最大値としたときの 3 回目

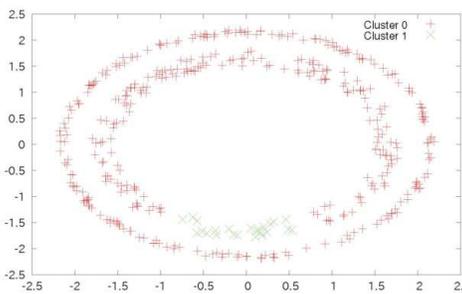


図 45 データ 2 の 1 回目の Algorithm 4 実行直後

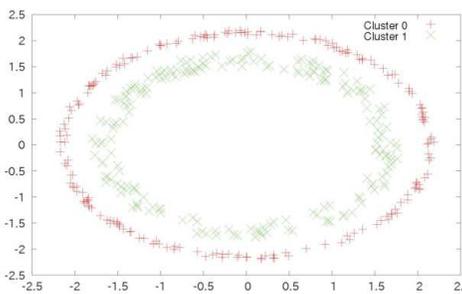


図 46 データ 2 の 2 回目の Algorithm 4 実行直後

る Al. 1 による初期クラスタリング結果を表しており、図 43 は Al. 4 により C_a と C_b の更新が終了した状態である。図 44 はデータ 2 に対する Al. 1 による初期クラスタリング結果を表しており、図 45 は Al. 4 により C_a と C_b の 1 回目の更新が終了した状態である。図 45 より、 $C_{a,1}^t \cup C_{b,1}^t$ と $C_{a,2}^t \cup C_{b,2}^t$ の状態から (1) の $C_{a,1}^t \cup C_{a,2}^t \cup C_{b,1}^t \cup Y$ と $C_{b,2}^t - Y$ の状態に遷移していることが見て取れる。最終的に、図 46 が 2 回目の更新が終了した状態であり、 δ の更新に成功できれば、正解クラスタが得られる状態となっている。データ 1 で初期 δ をデータ間距離の最大値とした場合の図 47、図 48、図 49 においても上記のデータ 2 と同じ過程で分類が行われていることを確認できる。

次に、クラスタ数が 2 以上の複数のクラスタに関して、表 3 より、外れ値の影響があるデータ 6 を除いて、クラスタ数が 3 のデータ

4とデータ5, および, クラスタ数が4のデータ7は, いくつかの試行で正解クラスタに分類することに失敗している。クラスタ間が十分な距離で分離しているにもかかわらず失敗する場合は, 複数クラスタが一つのクラスタとなってしまう, AI. 4が機能しない状態だと考えられる。以下, 簡単のため, クラスタ数が3の場合で考える。3つの正解クラスタを $C_1^t = C_{1,1}^t \cup C_{1,2}^t \cup C_{1,3}^t$, $C_2^t = C_{2,1}^t \cup C_{2,2}^t \cup C_{2,3}^t$, $C_3^t = C_{3,1}^t \cup C_{3,2}^t \cup C_{3,3}^t$ と3分割し, 現在得られているクラスタ C_1, C_2, C_3 が式 (60) の状態であると仮定する。

$$\begin{aligned} C_1 &= C_{1,1}^t \cup C_{2,1}^t \cup C_{3,1}^t, \\ C_2 &= C_{1,2}^t \cup C_{2,2}^t \cup C_{3,2}^t, \\ C_3 &= C_{1,3}^t \cup C_{2,3}^t \cup C_{3,3}^t. \end{aligned} \quad (60)$$

このとき, 二つのクラスタが一つに結合してしまう例を以下に示す。まず, C_1 と C_2 が更新対象に選択されたと仮定する。2つのクラスタの (3) の場合と同様, 式 (58) より, d_1 と d_2 に関して $d_1 > d_2$ となり, $C_{2,1} \cup C_{3,1} \subseteq X_1$ であったとすると, $Y = X_1 - (C_{2,1} \cup C_{3,1})$ として, AI. 4による更新 C'_1, C'_2 は (3) と同じ考え方により, 式 (61) となる。

$$\begin{aligned} C'_1 &= C_{1,1}^t - Y, \\ C'_2 &= C_{1,2}^t \cup Y \cup C_{2,1}^t \cup C_{2,2}^t \cup C_{3,1}^t \cup C_{3,2}^t. \end{aligned} \quad (61)$$

次に, C'_2 と C_3 が更新対象に選択されたと仮定する。上記同様, 式 (58) より, $d_3 > d_2$ となり, $C_{2,3} \cup C_{3,3} \subseteq X_3$ であったとすると, $Z = X_3 - (C_{2,3} \cup C_{3,3})$ として, AI. 4による更新 C''_2, C'_3 は式 (62) となる。

$$\begin{aligned} C''_2 &= C_{1,2}^t \cup Y \cup Z \cup C_{2,1}^t \cup C_{2,2}^t \cup C_{2,3}^t \\ &\quad \cup C_{3,1}^t \cup C_{3,2}^t \cup C_{3,3}^t, \\ C'_3 &= C_{1,3}^t - Z. \end{aligned} \quad (62)$$

式 (62) より, $C'_2 \cup C'_3 \subseteq C''_2$ となる。式 (62) は, あくまでも一つの計算例であり, 実際には各部分クラスタが結合して二つ以上の正解クラスタが一つのクラスタとして分類されるまでの計算回数はより多くなると考えられる。クラスタ数 k の増加に伴い, 上記の状態が発生する可能性は高まると推測できる。また, AI. 4による正解クラスタへの分類は成功しているものの, AI. 3による δ の推定に失敗している

場合もあり, データ5がこれに該当する。表3では, データ5は50回中4回の試行においてNMIが1とはならなかったが, その4回中3回が δ の推定の失敗であった。初期クラスタ割当の影響が少なからずあると推測できる。4つのクラスタからなるデータ7のAI. 4による典型的な分類失敗例を図50に示す。図50より, 外側の2つのクラスタが一つに結合されているのが見て取れる。

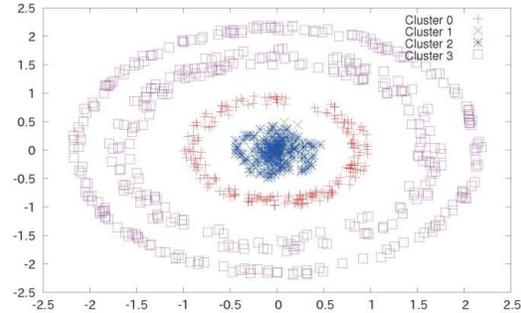


図50 データ7の失敗例

7. むすび

本論文では, 文献(柳, 2012)の改良として, データ間の距離の分布情報を利用して, カーネル k -平均法のガウスカーネルの適切なパラメータを探索するアルゴリズムを提案した。いくつかの人工データと実データを用いて, 従来法との比較実験を行い, クラスタ間が十分な距離で分離しているデータに関しては提案手法が有効であることを示した。一方で, クラスタが分離していないデータ, または, 外れ値を含むデータに関しては有効性を確認できなかった。今後の課題として, 外れ値にも強い基準の検討がある。

参考文献

- [1] Ben-Hur, A., D. Horn, H.T. Siegelmann, and V. Vapnik (2002) "Support vector clustering," *The Journal of Machine Learning Research*, Vol. 2, pp. 125–137.
- [2] Dhillon, I.S., Y. Guan, and B. Kulis (2004) "Kernel k -means: spectral clustering and normalized cuts," in *Proceedings of the tenth ACM SIGKDD international conference on Knowledge dis-*

- covery and data mining*, pp. 551–556, ACM.
- [3] Frank, A. and A. Asuncion (2010) “UCI Machine Learning Repository,” <http://archive.ics.uci.edu/ml>.
 - [4] Girolami, M. (2002) “Mercer kernel-based clustering in feature space,” *Neural Networks, IEEE Transactions on*, Vol. 13, No. 3, pp. 780–784.
 - [5] Hubert, L. and P. Arabie (1985) “Comparing partitions,” *Journal of classification*, Vol. 2, No. 1, pp. 193–218.
 - [6] MacQueen, J. (1967) “Some methods for classification and analysis of multivariate observations,” in *Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, pp. 281–297.
 - [7] Máté, L. (1989) *Hilbert space methods in science and engineering*: Hilger.
 - [8] Muller, K.R., S. Mika, G. Ratsch, K. Tsuda, and B. Scholkopf (2001) “An introduction to kernel-based learning algorithms,” *Neural Networks, IEEE Transactions on*, Vol. 12, No. 2, pp. 181–201.
 - [9] Ng, A.Y., M.I. Jordan, and Y. Weiss (2002) “On spectral clustering: Analysis and an algorithm,” *Advances in neural information processing systems*, Vol. 2, pp. 849–856.
 - [10] Strehl, A. and J. Ghosh (2003) “Cluster ensembles—a knowledge reuse framework for combining multiple partitions,” *The Journal of Machine Learning Research*, Vol. 3, pp. 583–617.
 - [11] Vapnik Vladimir, N. (1998) *Statistical learning theory*: Wiley-Interscience.
 - [12] Yu, S., L.C. Tranchevent, B. De Moor, and Y. Moreau (2011) “Optimized data fusion for kernel k-means clustering,” *Kernel-based Data Fusion for Machine Learning*, pp. 89–107.
 - [13] 柳信一 (2012) 「クラスタ間の距離に基づくカーネルk-平均法」, 『北海道情報大学紀要』, 第24巻, 第1号, pp.47–70, 11月。

〈研究ノート〉

簡易 EEG による BMI の実現可能性

長尾光悦* 海部剛士† 伊藤浩一†

Feasibility of BMI based on Simplified EEG Device

Mitsuyoshi NAGAO* Tsuyoshi KAIBE† Kouichi ITO †

要旨

脳波によって機器を動作させることを意図した技術はブレインマシンインターフェース（以下、BMI）と呼ばれる。近年、高度な専門知識を有していなくとも、安価に脳波計測が可能な簡易脳波計即装置（以下、簡易 EEG）が開発され、これを機に、玩具やゲーム分野において BMI が開発され始めている。本論文では、簡易 EEG による BMI の実現可能性を検証する。実験においては、対象の動作を思考する場合と、情動に対する脳波の時間的変化を分析する。これにより、簡易 EEG に適した BMI を検討する。更に、実験結果に基づき簡易 EEG に基づく BMI のプロトタイプシステムを構築し、動作確認を行う。

Abstract

The technology that device can be operated by electroencephalograph (EEG) is called Brain Machine Interface (BMI). Recently, simplified EEG device which is inexpensive and does not require advanced technical knowledge has been developed, and then the BMI using simplified EEG device has begun to be realized in the fields of toy and game. In this paper, we investigate the feasibility of BMI using simplified EEG device. Here, we analyze temporal variability of EEG obtained by device when user think the movement of target and when user feel emotions. From experimental results, we discuss about appropriate BMI for simplified EEG device. Moreover, we develop prototype of BMI using simplified EEG device, and then perform operation test.

キーワード

簡易 EEG BMI 脳波

* 北海道情報大学経営情報学部システム情報学科准教授, Associate Professor, Department of Systems and Informatics, Faculty of Business Administration and Information Science

† 北海道情報大学経営情報学部システム情報学科 B4, B4, Department of Systems and Informatics, Faculty of Business Administration and Information Science

1. はじめに

脳は人間において重要な器官であり、思考と記憶をコントロールしている。脳に関する研究の歴史は長く、近年は脳の活動を把握するために、脳内の電気現象である脳波に関する研究が多様な分野において行われている。更に、脳波の応用研究として、頭で思考したとおりに機械を操作するというブレインマシンインターフェース (Brain Machine Interface, 以下、BMI) の研究が進んでいる[1]。

これまでのBMIに関連する研究としては、義手や車いすの操作、視覚や聴覚を補助する装置など、医療、福祉、介護分野を中心に研究が実施されてきた。また、これら研究において利用される脳波計測装置 (以下、EEG) は、非常に高価なものであり、かつ、計測には高度な専門知識を必要とするものであった[2][3]。

一方、近年、高度な専門知識を有していなくとも、安価に脳波計測が可能な簡易 EEG が開発され、これを機に、脳波を用いたゲームや玩具が開発され始めている[4]。しかしながら、医療分野において利用されるような高度な EEG は、正確に脳波を取得することが可能であるが、このような簡易的な EEG により、どのような脳波が取得可能であるかは明確ではない。簡易 EEG により、多種多様な状況において、どのような脳波を取得可能であるかを明確にすることは、簡易 EEG に見合った BMI を検討する上で必要不可欠なものである。

本論文では、簡易 EEG による BMI の実現可能性を検証する。本研究では、簡易 EEG として NeuroSky 社製の MindWave Mobile を採用し、対象の動作を思念する場合の脳波と、情動に対する脳波の2種類の脳波の時間的変化を計測、分析する。実験結果に基づき簡易 EEG に適した BMI について検討を

行う。更に、この結果に基づきプロトタイプシステムの構築を行い、動作確認を行う。

2. BMI とは

人の脳では、生命体としての統括的な働きを維持するために、神経系を介して常に情報伝達が行われている。こうした情報伝達は、神経細胞であるニューロン間において神経活動に関わる接合部位であるシナプスを介し、電気信号を伝達する活動により行われる。脳波とは、このような電気活動の総和である。

BMI とは、このような脳波情報を基に機器を動作させる研究や技術を指す。BMI を可能とするための脳波の計測方式として、侵襲式と非侵襲式の二つの方法が存在する。

侵襲式は、頭部を切開し、硬膜下などの比較的安全な脳の部位、または、直接脳に電極を設置する方法である。侵襲式は、正確な脳波を取得することが可能であるが、脳を損傷するといったリスクがある。

一方、非侵襲式は、頭部を切開する必要がなく、頭部に脳波計測用の電極が取り付けられたヘッドギアを装着することにより脳波計測を行う。電極を手軽に取り扱うことができるが、頭蓋骨や瞬きなどの影響により脳波が変化するといった、計測の正確性の問題が存在する。

侵襲式の EEG は、従来、医療、福祉、介護向けの研究において利用されており、脊椎の損傷などにより麻痺となった患者が、コンピュータ上のカーソルを操作する BMI などが実現されている[5]。しかしながら、侵襲式の EEG は、脳に直接施術するという観点から一般ユーザへの敷居が高く、現在もまだ臨床研究と実験の段階にある。

これに対して、非侵襲式の EEG を用いた BMI の場合には、ユーザの心理的障壁が低い。加えて、近年、非侵襲式 EEG のローコスト化や小型化がなされ、コンシューマ向けの玩具

やゲームに用いられている。例えば、図 1 は、2009 年に Uncle Milton Industries 社から発売された、スターウォーズシリーズをテーマにした BMI 玩具「Force Trainer」である。利用者は、脳波を取得するヘッドセットを取り付け、集中を高めると、管の中のボールを吹き上げるためのファンが動作し、集中している限りボールが高い位置で留まるといものである。また、同様な玩具として、Mattel 社から集中を高めることで動く BMI 玩具である「Mind Flex」が 2009 年に発売されている (図 2)。

このように、非侵襲的 EEG の低価格化、小型化により、多様な研究開発に利用され始めている。しかしながら、このような簡易的な EEG は、さまざまな状況において取得可能な脳波が明らかとなっていないため、どのような BMI のために利用可能であるかは不明確である。そこで、本論文では、多様な状況において簡易 EEG により取得可能な脳波の確認を行い、これを用いた BMI の実現可能性についての検討を行う。

3. 簡易 EEG による BMI の実現可能性

3-1 使用デバイス

本研究において、検証を行う簡易 EEG として、図 3 に示す NeuroSky 社製 MindWave Mobile (以下、MindWave) を採用した。医療分野などで利用される EEG では、多数の電極を国際 10-20 法と呼ばれる電極配置に基づき配置する必要がある。MindWave は、電源は単四形電池 1 本で、電極が耳たぶと額の二箇所のみで動作する簡易 EEG である。

脳波の判読には、基礎律動とよばれる脳波の大部分を形成している特定の脳波活動の周波数帯域を用いる。基礎律動は、周波数帯域の低い方から、 δ 波、 θ 波、 α 波、 β 波、 γ 波と定義されている。また、基礎律動は α 波を基準に、 α 波より周波数の遅い波形を徐波、



出典: <http://power-engine.blogspot.jp/2010/03/star-wars-force-trainer-9999.html>

図 1 Force Trainer



出典: <http://www.engadget.com/2009/01/05/mattels-mind-flex-teaches-kids-fake-telepathy/>

図 2 MindFlex

周波数の早い波形を速波と呼ぶ。一般的な健康者では平常時に α 波が多く現れ、睡眠・安静時では除波、集中状態や興奮状態では速波が出現すると言われている。

表 1 に、MindWave で計測可能な脳波を示す。表に示されるように MindWave では、 δ 、 θ 、Low α 、High α 、Low β 、High β 、Low γ 、Mid γ の 8 つの脳波が計測可能となっている。それに加え、脳波の質と、瞬きが取得可能となっている。また、各脳波の値は、符号なしの 3 バイトの整数によって表現される。しかしながら、その値に単位は定義



図3 MindWave (上: デバイス, 下: 装着時)

されておらず、計測された値の相対的な時間変化を比較することに意味があるものとしている[6].

更に、各脳波に加え、MindWave では、Attention と Meditation の2つのパラメータの値を取得することが可能となっている。これら Attention と Meditation は、脳内における集中レベルとリラックスレベルを表す値であり、MindWave により取得された脳波に基づき eSense という NeuroSky 社独自のアルゴリズムを用いて算出されるものである。これら二つの値は 1 から 100 の間で表され、1 から 20 が強く低下しているレベル、21 から 40 が低下しているレベル、41 から 60 がニュートラルなレベル、61 から 80 がわずかに上

表1 MindWave により計測可能な脳波

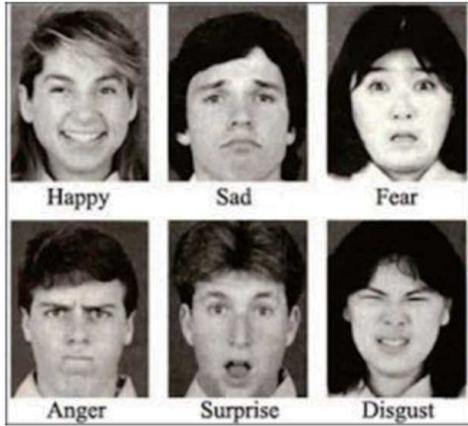
脳波	周波数帯域	名称	説明
δ	0.5 - 2.75 Hz	徐波	無意識状態, 深い睡眠状態
θ	3.5 - 6.75 Hz		深い瞑想状態, 睡眠状態
Low α	7.5 - 9.25 Hz	基準	リラックス状態, 閉眼状態
High α	10 - 11.75 Hz		
Low β	13 - 16.75 Hz		平常時から緊張・集中状態
High β	18 - 29.75 Hz		
Low γ	31 - 39.75 Hz	速波	イライラしている状態, 集中状態.
Mid γ	41 - 49.75 Hz		
Attention			集中度 (0 - 100)
Meditation			平穏度 (0 - 100)

昇したレベル, 81 から 100 が上昇したレベルとして定義される.

3-2 実験方法

本研究では、二種類の実験を行った。一つ目は、対象の動作を思考する直接的な思考に対する脳波計測である。これは、BMI の目的である機器の制御に最も密接である思考である。実験では、左に移動と右に移動という思考を行い、その際に発生する脳波波形の時間的変化の差異を検証する。直接的な思考に対する脳波の計測手順としては、20 秒間通常状態の脳波の測定を行う。次に、感情を落ち着かせるため 5 秒間の瞑想を行い、1 秒間の間隔を開け、右に移動、または、左に移動という思考を 10 秒間行うという手順で実施した。

二つ目は、情動に対する脳波計測である。これは、Ekman の 6 基本表情に対応した感情表出時の脳波波形の時間的変化を計測するものである。Ekman の 6 基本表情とは、表情認識の研究などにおいて頻繁に用いられるものであり、図 5 に示されるように「喜び」、「怒り」、「悲しみ」、「驚き」、「恐れ」、「嫌悪」の



出典：MIT OpenCourseWare [7]

図5 Ekmanの6基本表情

6つの表情を表す。Ekmanは、感情が表情に現れることが手がかかりとし、これら6基本表情が人種や文化、地域に依存せず認識することができる普遍的な特徴であるとして提唱している[7]。実験では、この6基本表情の中で、怒りと恐れを除外した喜び、「悲しみ」、「驚き」、「嫌悪」の4つ情動に対する脳波波形の時間的変化の差異を分析する。

また、これらの感情を想起するために、「喜び」では、お笑いコンビであるサンドウィッチマンのライブツアー2012の映像、「悲しみ」では、中島みゆきの「荒野より」の公式ミュージックビデオ、「驚き」では、瞬間的に音と映像で驚かせる典型的な吃驚動画、「嫌悪」では、ネガティブなニュース映像をそれぞれ視聴するものとした。

脳波波形を計測するためのツールとして、MindWaveから取得された脳波を1秒ごとにリアルタイムにグラフとして表示するBrain Grapher、更に、脳波の値を2秒毎にリアルタイムにバックグラウンド上でCSV形式に保存するMindStreamの二つを利用した。これら二つはいずれもオープンソースソフトウェアとして公開されている[8][9]。

3-3 実験結果

3-3-1 直接的な動作思考に対する実験結果

図6、及び、図7に直接的な動作思考に対する脳波の検証結果を示す。図6は右に移動という思考を行った脳波の時間的変化、図7は、左に移動という思考を行った脳波の時間的変化を表す。グラフにおいては、全脳波が急上昇、急下降する状態が存在する。これは、目の瞬きや顔の筋肉による体積伝導によるものであるため、ここでは、各脳波の連続性が重要となる。

図6に示すグラフは、右に移動の思考を3回行った脳波の時間的変化である。最初の5秒間の瞑想の際は、全試行において δ 波や θ 波の徐波が速波と比較して高い値を示している。また、これに伴い、MeditationがAttentionよりも連続的に高く、瞑想状態の脳波が適切に取得できていると考えられる。一方、右へ移動の思考を行っている際には、集中状態を表す、 α 波より高周波数帯域である速波の上昇傾向が確認された。更に、これと同時にAttentionが2試行目及び3試行目の実験において上昇している。このため、思考を実施している際の集中状態を、速波、及び、Attentionの状態から推定可能であると考えられる。

図7は、左に移動の思考を3回行った脳波の時間的変化である。こちらの場合においても、実験開始直後の5秒間の瞑想時においては、徐波が速波よりも高い値を示し、かつ、Meditationの値がAttentionよりも高い状態となったため瞑想状態に対応した脳波が観測できていると考えられる。また、左への思考を行っている場合は、3回目の試行において、高いMeditationの値が観測された。これは、被験者において瞑想状態から思考状態へ切り替えが適切に行われなかった可能性、繰り返しの実験による集中力の低下により発生したものと推察される。しかしながら、他の試行においては、速波が他の脳波よりも高い状態が観測されていることから、左へ移動の思考

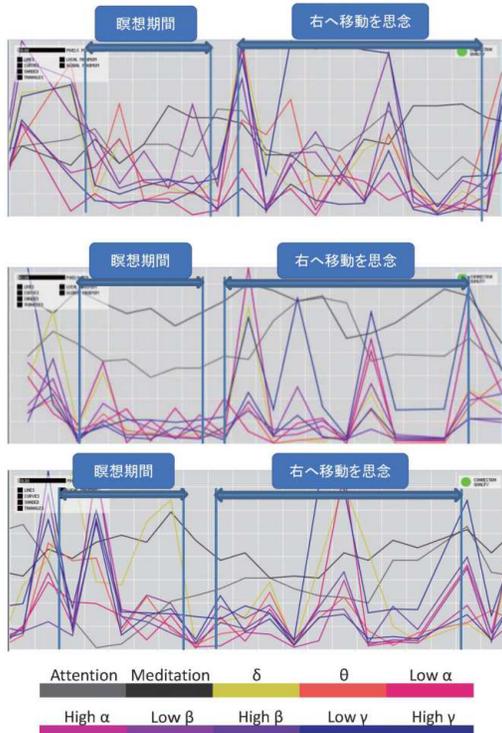


図6 右へ移動の思考に対する脳波

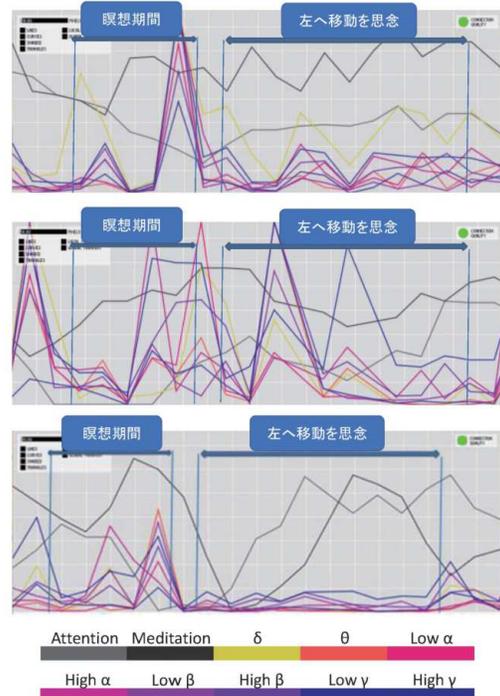


図7 左へ移動の思考に対する脳波

においても集中状態を捉えることはできているものと考えられる。

これら二つの直接的な移動思考に対する脳波の計測結果から、左右の思考に対する特徴的な差異を確認することができなかった。しかしながら、瞑想時には徐波が計測され、思念時には速波が観測可能であることが確認された。また eSense アルゴリズムに基づく Meditation と Attention の値が平穏状態、及び、集中状態と一致することが確認された。

3-3-2 情動に対する実験結果

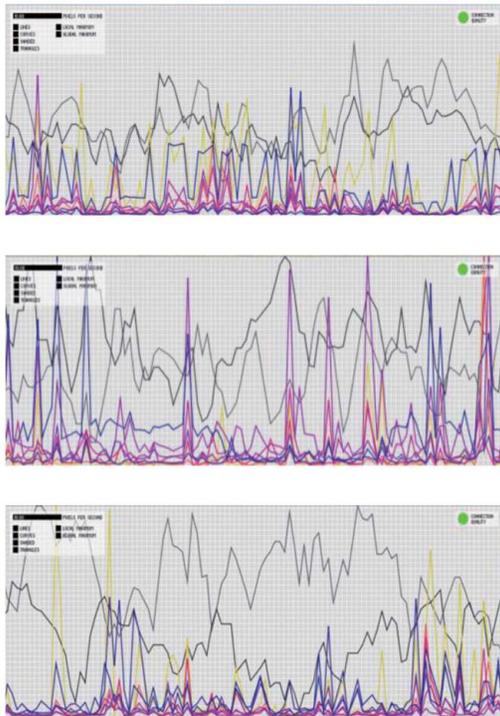
図8に嫌悪、図9に喜び、図10に悲しみ、図11に驚きの情動に対する脳波の時間的変化を示す。各感情において3試行を行っているため3つのグラフを示している。図11の驚きの情動に対する脳波は、他の感情とは異なり突発的に抱くものであるため、恐怖映像により、驚きの感情を抱いたと思われる時間帯を中心に脳波の計測結果を示している。

図8における嫌悪の情動に対する脳波の結

果から、徐波と比較し、速波が高い割合を示している。速波は集中度だけではなく、興奮状態やストレス状態にも関係している脳波である。このため、映像への集中状態とその視聴により発生する嫌悪感によるストレス状態に関係する速波が観測されたものと考えられる。また、同時に Attention の値が高い傾向が確認され、これからも集中度が高まっていることが確認された。

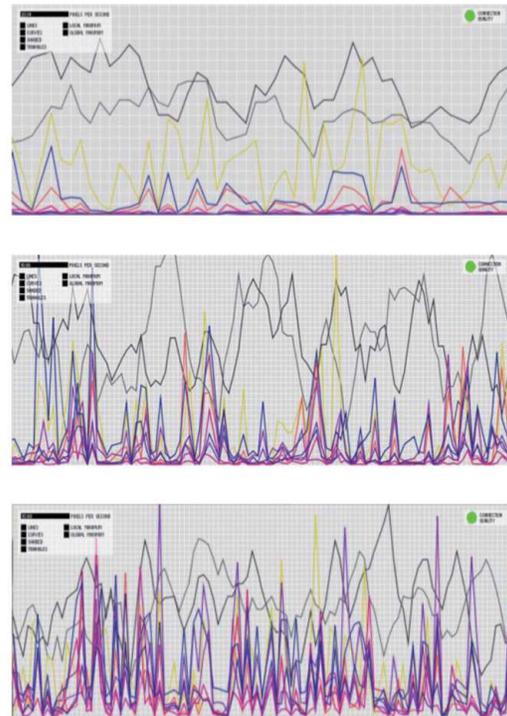
図9に示す喜びの情動に対する結果では、全試行において徐波の優位傾向が確認できる。徐波はリラックスに関連する脳波であるため、喜びの情動によりリラックス状態となったことにより、これらの脳波が計測されたものと考えられる。また、これらの脳波と同時に、Meditation の値が高い傾向を示した。

図10は、悲しみの情動に対する脳波である。結果から、全試行において、徐波である δ 波、 θ 波が高い割合で出現していることが確認できる。徐波は、リラックス状態や瞑想状態の場合に出現する脳波である。近年、涙を流す



Attention Meditation δ θ Low α
 High α Low β High β Low γ High γ

図8 嫌悪の情動に対する脳波



Attention Meditation δ θ Low α
 High α Low β High β Low γ High γ

図9 喜びの情動に対する脳波

行為がストレス解消に繋がるとして「涙活」と呼ばれる活動が行われている[10]. このことからわかるように、涙を伴う悲しみの情動により徐波が出現したものと考えられる. 更に, eSense による **Meditation** の値も, 高い値が示されることが確認された. 実験結果においては, 体積伝導が多く出現したが, これは, 動画視聴時に被験者が涙を流していたためと考えられる.

図 11 に驚きの情動に対する脳波を示す. 実験結果から, 全体として β や γ といった速波が高い割合で出現している. これは動画視聴に対する集中と, 恐怖映像による緊張が影響しているものと考えられる. また, **Attention** が高い状態になったことが確認された.

以上の実験結果から, 嫌悪, 及び, 驚きにおいては, 速波が高い値を示し, また, **Attention** の値も高い値を示した. 一方, 喜び,

及び, 悲しみにおいては, 徐波が他の脳波よりも高い状態となり, **Meditation** が大きな値を示した. このことから感情カテゴリーごとに脳波の差は確認できるため, 感情に基づく BMI の実現可能性はあるものと考えられる. しかしながら, 全ての感情を分類可能な特徴的差異を確認することはできなかったため, 簡易 EEG では, 詳細なレベルでの感情に基づく BMI を実現することは困難であると考えられる.

一方, いずれの感情においても集中状態では速波が優勢となり, 瞑想またはリラックス状態では, 徐波が優勢脳波となった. このため, **MindWave** を利用した場合には, 徐波と速波の優勢状態に基づく BMI, すなわち, 集中状態とリラックス状態に基づく BMI を実現することは可能であると考えられる.

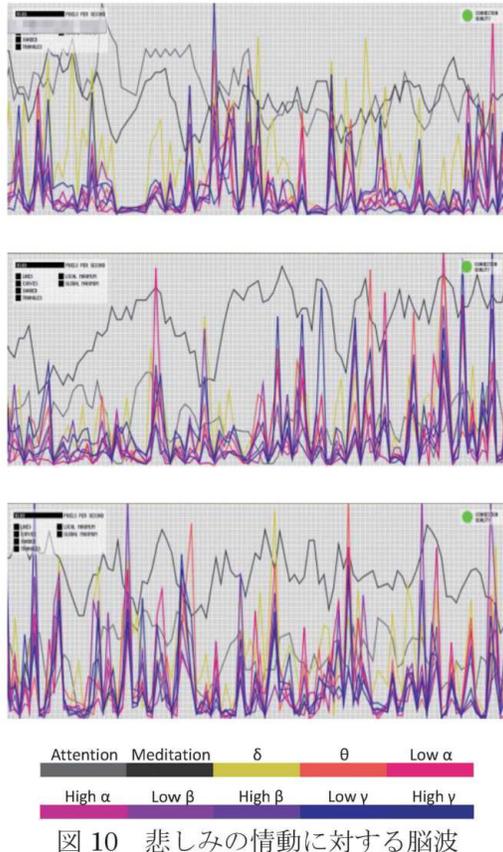


図 10 悲しみの情動に対する脳波

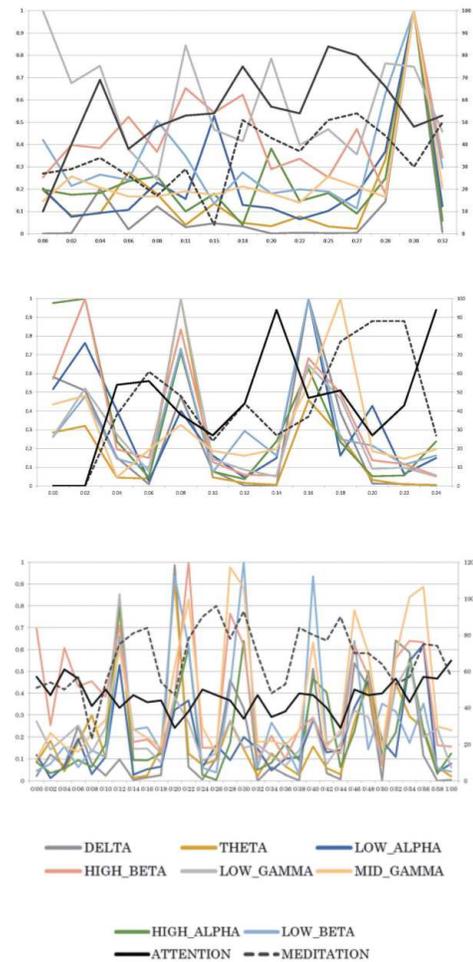


図 11 驚きの情動に対する脳波

4. 簡易 EEG による BMI の実装

実験結果から、MindWave を利用した BMI の実現可能性として、集中状態とリラックス状態に基づく BMI の実現可能性が示された。そのため、本研究では、これに基づき、ロボット開発ツールである LEGO MINDSTORMS NXT (以下、NXT) を動作させるプロトタイプシステム、及び、Microsoft Kinect (以下、Kinect) と連動した AR (Augmented Reality) プロトタイプシステムの二種類の BMI の実装を行い、動作確認を行った。

プロトタイプシステムにおいては、徐波と速波に基づき集中状態とリラックス状態を識別することは可能であるが、簡単化のため、eSense アルゴリズムに基づき算出される Attention と Meditation の一次元データを利

用することにより、これらの状態の判別を行うものとした。

4-1-1 NXT を利用したプロトタイプ

図 12 に NXT を示す。NXT は、LEGO 社から発売されているロボティクス学習のための教材製品である。NXT は、ロボットを設計・製作するために、レゴブロック、ギア、車軸、タイヤといった部品と共に、音や距離といった環境計測をすることが可能なセンサー群、動力となるサーボモーター、更に、プログラミングを行うことによって、これらセンサー群やサーボモーターを制御することができるインテリジェントブロックと呼ばれる



図 12 LEGO MINDSTORM NXT

部品から構成される。これらのインテリジェントブロック、サーボモーター、各種センサー、ブロックを組み合わせ、ロボットを設計・製作し、プログラミングを行うことによって、自由でユニークな動作が可能な自律型ロボットを製作することができる。

本研究では、図 12 に示されるように、インテリジェントブロックと、二つのサーボモーター、車輪、光センサーから構成される移動体ロボットを作成し、これを脳波に基づき動作させるものとした。

システム実装のための開発環境としては、Microsoft Windows 7, Visual C++ 2010, プログラミング言語は C 言語を利用した。また、MindWave への接続と脳波データの取得は NueroSky 社により公開されている C/C++ 向け API, NXT の操作は LEGO 社により公開されている Bluetooth Developer Kit 利用し、Bluetooth 通信に基づきサーボモーターの制御や内部に格納されているプログラムの実行が可能となるようにした。

プロトタイプでは、MindWave により取得される Attention と Meditation の値に基づき、NXT の左右のモーターの駆動、及び、予め機体内に格納されたライントレースプログラムを実行させる。ライントレースは、NXT 前部に取り付けた光センサーによって、黒いラインを判別し、識別したラインに従い NXT を進行させるものである。実装した BMI の動作の詳細は以下の通りである。

- Attention ≤ 40 以下 & Meditation ≤ 40 then 停止
- Meditation ≤ 40 & Attention ≥ 40 then 左旋回
- Attention ≤ 40 & Meditation ≥ 40 then 右旋回
- Attention ≥ 60 & Meditation ≥ 60 then ライントレース

これらの脳波に基づく条件分岐と対応する動作の確認を行った。確認の結果、計測された脳波データに基づき移動体ロボットが適切に動作することが確認された (図 13)。

4-1-2 Kinect を利用したプロトタイプ

Kinect は、Microsoft 社が販売する Xbox360 という家庭用ゲーム機の周辺機器として販売されている人間の動きを検出する、いわゆる、モーションキャプチャのためのデバイスである (図 14)。従来、モーションキャプチャを行うためには、高額な専用デバイスを必要とし、加えて、動きを取得したいユーザの身体部位に専用のマーカーと呼ばれる球状の物体をつけることが必要とされた。しかしながら、Kinect は、動作認識のためにマーカーを必要とせず、人体における関節部位の動きを取得することが可能であるため、ユーザに負担をかけることなく動作情報の取得を行うことが可能である。

本研究では、このような Kinect と MindWave を組み合わせたプロトタイプシステムを構築する。具体的には、Kinect により取得される動作情報と、MindWave により取得される脳波情報の中の Attention の値を組み合わせ、これらに基づきカメラにより取得された実空間映像に CG エフェクトを描画するシステムを実現する。ここでは、漫画「ドラゴンボール」の作品内で登場する必殺技の一つ「魔貫光殺砲」を動作と脳波に基づき描画するものとした (図 15)。



図 13 NXT を利用したプロトタイプ



図 14 Microsoft Kinect

プロトタイプシステムの構成を図 16 に示す。図に示されるように、本システムは、入力インターフェースとしての Kinect, MindWave に加え、頭認識モジュール, 手認識モジュール, 脳波認識モジュール, 判定モジュール, 出力インターフェースから構成される。以下、各モジュールの詳細を示す。

頭認識モジュール

頭認識モジュールにおいては、Kinect により取得された映像内においてユーザの頭部の位置の認識を行う。頭部が認識された際には、その座標値を出力する。

手認識モジュール

手認識モジュールは、ユーザの右手の位置を認識し、手の中心位置を座標値として出力する。

脳波認識モジュール

脳波認識モジュールは、MindWave から一秒ごとに Attention の値の取得を行う。



出典：鳥山明作「ドラゴンボール」より

図 15 魔貫光殺砲

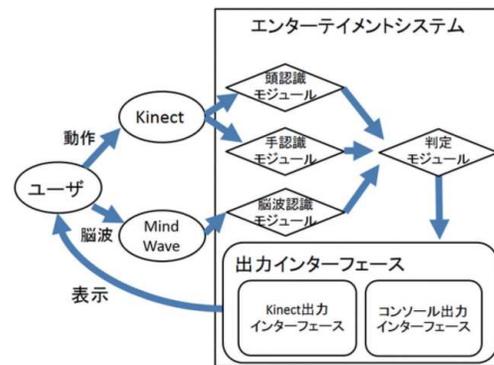


図 16 システム構成

判定モジュール

判定モジュールにおいては、頭認識モジュールによる頭部座標、手認識モジュールによる手中心座標、脳波認識モジュールによる Attention 値に基づき、ユーザが特定のモーションを実施しているか、更には、脳波の状態が特定の条件を満たしているかの判定を行う。条件が満たされている場合には、出力インターフェース上でユーザの位置に合わせた CG の描画が行われる。ここでは、頭部位置と手の位置の比較を行い、X 及び Y 座標が 20 以下の値、かつ、Attention の値が 60 以上の場合、すなわち、頭部と手の位置が近くにあり、更に、脳波が集中状態にある場合に、カウンターを増加させる。カウンターの値が 5 秒以上となり、かつ、頭部と手の位置が一定以上離れた場合に CG の描画が行われる。

出力インターフェース

出力インターフェースは、Kinect インターフェース、コンソール出力インターフェースから構成される。コンソール出力インターフェースには、Attention の値、頭部・手の位置情報、カウント情報が出力される。Kinect 出力インターフェースは、ユーザの映像、及び、CG エフェクトが描画されるインターフェースである。

このようなプロトタイプを構築し、動作検証を実施した。プロトタイプシステムの実装には、Kinect for Windows SDK 1.8, NeuroSky Developer Tools 2.1, CG 描画のために OpenCV 2.4.6 を使用した。構築したプロトタイプシステムを図 17 に示す。動作確認を実施した結果、動作、及び、脳波情報に基づく CG の描画が適切に行われることが確認された。

5. おわりに

本論文では、簡易 EEG による BMI の実現可能性を検討した。実験では、動作を思考する直接的な思考に対する脳波と、情動に対する脳波の時系列データを取得し、それぞれに対する特徴的な状態が存在するかの確認を行った。実験結果として、直接的な思考では、左右の移動の思考において脳波の顕著な差異を確認することはできなかった。しかしながら、移動を思考することにより生じる集中状態により、速波と Attention の値が上昇することが確認された。

一方、情動に対する脳波においては、各感情を全て分類可能な特徴的な脳波を確認することはできなかった。しかしながら、嫌悪と驚き、及び、喜びと悲しみのグループにおいて、速波、及び、徐波が一方のグループの特徴と異なることが確認された。これにより、ある程度分類された感情グループに対する BMI の実現可能性が示された。

更に、簡易 EEG を使用したプロトタイプと

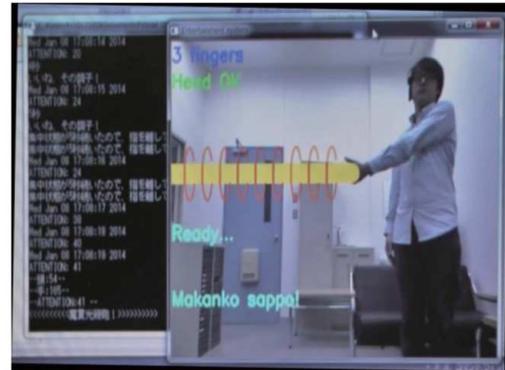


図 17 Kinect を利用したプロトタイプ

して、MindWave と NXT を利用したプロトタイプシステム、加えて、MindWave と Kinect を用いたプロトタイプシステムの二つのシステム実装を行った。これらにおいて、それぞれ動作確認を行い、簡易 EEG に基づく BMI が適切に動作することを確認した。

本研究においては、実験は 1 名の被験者により実施されたものである。今後、多くの被験者を用いた実験を行い、簡易 EEG を用いた汎用的な BMI の実現可能性について検証する必要がある。これは今後の課題である。

参考文献

- [1] 長谷川良平:ブレイン-マシン インターフェースの現状と将来, 電子情報通信学会誌, Vol.91, No.12, pp.1066-1075 (2008)
- [2] 小池康晴:非侵襲ブレインマシンインターフェース, <https://bmi.neuroinf.jp/column/BCI.pdf> (平成 26 年 5 月 26 日参照)
- [3] 田中一男:ロボット探訪(1)脳波でロボットを動かすという試み, インターフェース, Vol.31, No.1, pp.139-145 (2005)
- [4] 岡本達也, 夏目季代久:ブレイン・コンピュータ・インターフェースを用いたゲームの実用化に向けて, 信学技法, NLP2011-164, pp.131-135 (2012)
- [5] D.Orenstein,"BrainGate neural interface reaches 1,000-day milestone", News from

- Brown University, <http://news.brown.edu/pressreleases/2011/03/braingate> (平成 26 年 6 月 28 日参照)
- [6] NeuroSky, ”thinkgear_communications_protocol”, http://developer.neurosky.com/docs/doku.php?id=thinkgear_communications_protocol (平成 26 年 6 月 30 日参照)
- [7] MIT, “Discussion: Emotion | MIT Open CourseWare”, <http://ocw.mit.edu/courses/brain-and-cognitive-sciences/9-00sc-introduction-to-psychology-fall-2011/emotion-motivation/discussion-emotion/> (平成 26 年 6 月 30 日参照)
- [8] Eric Mika, “BrainGrapher”, <https://github.com/kitschpatrol/BrainGrapher> (平成 26 年 6 月 30 日参照)
- [9] Eric Blue, “MindStream”, <https://github.com/ericblue/MindStream> (平成 26 年 6 月 30 日参照)
- [10] 日本経済新聞: ストレスから解放 自ら泣いて癒す「涙活」とは, http://www.nikkei.com/article/DGXNASFK1900T_Z10C13A2000000/ (平成 26 年 6 月 6 日参照)

〈報 告〉

2013 年度紀要委員会スタッフディベロップメント活動報告

坂本 英樹* 豊田 規人† 隼田 尚彦‡ 関根 洋§ 田中 里実**

喜多 歳子†† 向原 強‡‡ 広奥 暢§§ 佐藤 貴俊*** 高田 かおり†††

2013 Activity Report by University Journal Committee, HIU

Hideki SAKAMOTO* Norihito TOYOTA† Naohiko HAYATA‡ Hiroshi SEKINE§

Satomi TANAKA** Toshiko KITA†† Tsuyoshi MUKOHARA‡‡ Tohru HIROHKU§§

Takatoshi SATO*** Kaori TAKADA†††

*北海道情報大学経営情報学部先端経営学科教授, Professor, Department of Business and Information Systems, Faculty of Business Administration and Information Science, Hokkaido Information University.

†北海道情報大学経営情報学部システム情報学科教授, Professor, Department of Systems and Informatics, Faculty of Business Administration and Information Science, Hokkaido Information University.

‡北海道情報大学情報メディア学部情報メディア学科教授, Professor, Department of Information Media, Faculty of Information Media, Hokkaido Information University.

§北海道情報大学経営情報学部先端経営学科講師, Lecturer, Department of Business and Information Systems, Faculty of Business Administration and Information Science, Hokkaido Information University.

**北海道情報大学医療情報学部医療情報学科講師, Lecturer, Department of Medical Management and Informatics, Faculty of Medical Informatics, Hokkaido Information University.

††北海道情報大学医療情報学部医療情報学科教授, Professor, Department of Medical Management and Informatics, Faculty of Medical Informatics, Hokkaido Information University.

‡‡北海道情報大学経営情報学部先端経営学科教授, Professor, Department of Business and Information Systems, Faculty of Business Administration and Information Science, Hokkaido Information University.

§§北海道情報大学情報メディア学部情報メディア学科准教授兼大学院経営情報学研究科教務学生委員長, Associate Professor, Department of Information Media, Faculty of Information Media, and Previous Chairman, Student Affairs Section, Graduate School of Business Administration and Information Science, Hokkaido Information University..

***北海道情報大学図書館事務室事務室長, Office Manager, Library Department, Hokkaido Information University.

†††北海道情報大学図書館事務室係長, Deputy Manager, Library Department, Hokkaido Information University.

要旨

本稿は、2013 年度に紀要委員会が取り組んできたスタッフディベロップメント (SD) 活動の報告である。当該年度、紀要委員会では、より多くの論文を投稿してもらうことを目的として、紀要の投稿環境の整備をおこなってきた。具体的には、紀要委員会規程、紀要投稿細則、紀要投稿要領、紀要原稿作成要領 (+ ページ割付) の精査をおこなって、これらに、時代の変遷と環境の変化にあわせた修正をおこなった。あわせて、ダウンロード形式によるワードと Tex の紀要テンプレートの提供、また、論文審査関係連絡書類の改変をとおして、論文の査読体制の充実を目指した。こうした取り組みは、紀要委員会の立場から、投稿論文数の増加を促進させることをとおして、本学紀要に投稿される論文の質を高め、それが、本学の研究機関としてのステイタスの向上につながることを目指す活動であった。

キーワード

2013 年度紀要委員会スタッフディベロップメント (SD) 活動

1. はじめに

1-1 2013 年度紀要委員会スタッフディベロップメント活動のスタート

2013 年 5 月 10 日、第 1 回紀要委員会が開催され、前年度委員長である蔵本信比古教授が議長を務めるなか、坂本英樹教授 (経営情報学部先端経営学科) が、当該年度の委員長に互選された。

委員会メンバーは、豊田規人教授 (経営情報学部システム情報学科)、隼田尚彦教授 (情報メディア学部情報メディア学科、当時准教授)、関根洋講師 (経営情報学部先端経営学科)、田中里実講師 (医療情報学部医療情報学科、2013 年 9 月まで)、喜多歳子教授 (医療情報学部医療情報学科、2013 年 10 月から) によって構成された。

スタッフディベロップメント (SD) 活動のメンバーは、紀要委員会構成員にくわえて、大学院の立場から廣奥暢准教授 (情報メディア学部情報メディア学科、大学院経営情報学

研究科 2013 年度教務学生委員長) と、ワードと Tex の紀要テンプレートのシステム開発を担当した向原強教授 (経営情報学部先端経営学科)、そして、図書館事務室から、佐藤貴俊事務室長、高田かおり事務室係長によって構成された。

本学の特徴でもある多様な研究領域を担う教員のあいだで、長年にわたってファジーになってきたのが、原稿のフォーマット統一であった。これを厳格運営するためには、スタッフディベロップメント (SD) 活動において統一フォーマットを定め、その遵守をサポートする仕組み作りが重要な位置づけを占めた。同様に、大学院の修士論文のフォーマットに関しては、その要旨が紀要に集録されることから、修士課程における研究成果を表現するためのよりよい形式を提供することに取り組んだ。

2013 年度、北海道情報大学は開学 25 周年の節目の年度をむかえた。紀要委員会では、これまでの時代の変遷と環境の変化への対応と、つぎなる四半世紀のスタートに向けて、より多くの論文を投稿してもらうための環境

の構築を目的としたSD活動を遂行してきた。本稿は、2013年度紀要委員会が取り組んだSD活動報告である。

1-2 SD活動の概要

2013年5月28日付「2013年度紀要委員会検討事項」において、委員長である坂本教授から、当該年度に取り組むべきテーマと、取り組みの方向性が提案された。テーマのポイントは大きく2つである。

第1に、関係規程等の精査にもとづく修正である。現存する規定等には、「紀要委員会規程」、「紀要投稿細則」、「紀要投稿要領」、「紀要原稿作成要領（+ページ割付）」がある。制定時点において最善と判断されたいかなる規程も、時代の変遷にともなう環境の変化によって修正が必要となる。

第2に、より多くの論文を投稿してもらうための環境整備である。投稿論文数の増加は、究極的に、掲載論文の質を高め、北海道情報大学の研究機関としてのステータスの向上につながる。

論文の投稿環境の整備は、さらに2つのポイントにわけられる。第1に、投稿者が執筆しやすい環境の整備、第2に、投稿から編集、出版にいたる査読プロセスの透明化ならびに迅速化である。

2. 規程・細則・要領の精査

2-1 整理の方向性

紀要委員会によって、「紀要委員会規程」、「紀要投稿細則」、「紀要投稿要領」、「紀要原稿作成要領（+ページ割付）」を精査したところ、規程、細則、要領間の項目の移動、重複内容の削除、不統一内容といった修正ポイントが浮かびあがった。しかしながら、さきにも触れたように、これらのポイントは、それらが制定された時点においては現実適合性を有していたものが、時代の変遷にともなって修正が必要となったものである。

関係文書の精査を踏まえて、紀要委員会では、「紀要投稿細則」、「紀要投稿要領」、「紀要原稿作成要領（+ページ割付）」の統合を模索することとした。結論として、本学の規程書類との整合性を勘案して、「紀要投稿要領」において論文の概要を規定し、その運用にあたっては、新たに「紀要原稿作成要領」を作成することとした。

こうした環境を構築することをとおして、将来、環境変化へのなんらかの対応が必要となったとき、その改廃には所定の手続きが必要となる、「紀要委員会規程」、「紀要投稿細則」、「紀要投稿要領」には触れることなく、紀要委員会において、「紀要原稿作成要領」をとおして、臨機応変な対応を実行する環境が整備された。

2-2 新たな「紀要原稿作成要領」の作成

さきにも触れたように、本学はさまざまな学問領域の研究者によって構成されている。そして、研究者の研究成果を表現する論文には、その研究領域におけるさまざまなルールや慣例が存在する。総合大学の場合、その研究領域ごとに論文集が編集されている場合が多いため、形式上の不統一は生じにくい環境が存在している。紀要委員会メンバーにおける議論のポイントは、さまざまな研究領域の研究者が受け容れ可能な紀要論文の新しい統一フォーマットを作成することができたならば、これまでの悩ましい課題を根本から解決することが可能となるという考え方であった。

そこで、事前に、各研究領域におけるフォーマットを、紀要委員会を構成する教員スタッフそれぞれの専門領域において調査することとした。具体的には、豊田教授は、量子情報科学、複雑系情報処理、理論物理、隼田教授は、環境行動学、環境認知、認知工学、建築計画学、関根講師は、法学、田中講師は、人文科学、そして、坂本教授は、経営学の各領域において、それぞれの統一見解を提示しようと考えた。あわせて、大学院の修士論文

の要旨のフォーマットに関して、廣奥准教授に、教務学生委員会での意見集約を依頼した。

そこで、メンバーは取り組んだハードルの高さを、改めて強く思い知ることになる。それは、学問領域は複雑であり、さらに、それぞれの領域には下位領域分野があり、この下位領域分野に、それぞれ、学会、学術雑誌があることに起因する。そして、それぞれの専門領域において、研究者には、強いこだわりがある場合が少なくない。

すなわち、単純に、人文科学、社会科学、自然科学の3つに大別されるというものではない。人文科学を例に考えてみても、哲学、宗教学、文学、言語学、歴史学、人類学、考古学、地理学などにその研究領域は細分化され、それぞれがさらに細分化されていき、そのそれぞれにルールと慣例などが存在する。句読点だけを採りあげてみても、「。」なのか「.」なのか、「、」なのか「,」から議論しなければならない現実に直面する。極端なメタファーを提示すると、異なった言語を統一して、あらゆる学問領域の研究者たちの第2言語として機能しうる言語を作成する作業にはかならなかった。

多くの事前調査ののちに、紀要委員会メンバーが導出した方向性は、論文執筆にあたって、基本的な項目に関してできるだけ多くのスタッフに受け容れ可能なフォーマットを作成して、その遵守に全面的な協力を求めるというものである。具体的な項目としては、用紙の上下左右の余白、主要項目の文字フォント・サイズ、本文の段組、行数・文字数、本文中の外国語、外国地名、外国人名の表記、注・脚注の統一、参考文献の表記などである。

現実には、なんでもないようなことに思われるこの作業に莫大な時間を費やすこととなった。紀要委員会構成員の願いをこめた新たな「北海道情報大学紀要原稿作成要領」を、付属資料1として添付する。

2-3 フォーマットのためのシステム構築

新たに策定した「北海道情報大学紀要原稿作成要領」を運用するにあたって、論文投稿者にフォーマットを受け容れてもらえるためのサポート環境を整備するための仕組みの構築を進めた。

具体的には、向原教授に依頼して、WordとTexのテンプレートを作成し、『北海道情報大学紀要』第25巻第2号から、試行をはじめることにした。フォーマットは、本学ポータルサイトからダウンロードできる環境が整えられた。こうした仕組みは、フォーマットの統一のために重要なポイントとなると考えられる。紀要フォーマットをダウンロードする教職員ポータルサイトを、付属資料2に提示する。

今回のシステム構築にあたって、向原教授は大変な労力の作業を担った。一例をあげると、参考文献に日本語と英語の文献が混在している場合は、Texの文献管理データベースの扱いに困難が生じた。こうした問題に対して、Texの文献リファレンスの作成方法を、「bibtexファイル」からの自動生成方式を基本とすることで対応するように工夫された。すなわち、bibtexファイルを準備すると、参考文献リストが決められた書式で自動的に生成される。

一方で、Wordにある「参考資料機能」を使う場合は、同じようなリストを作成することができないが、機能の拡張性を考慮して、今後、bibtex形式を標準形式にして、Word形式に変換する方法を考えていくこととした。このように、今回は、諸般の前提条件を検討した結果、Texの機能を優先させ、あえて、Wordの参考文献機能の使用は考慮されていない。

3. 論文投稿環境の整備

新しい論文フォーマットの制定とその運用体制の構築とあわせて、査読関連文書の改善や紀要査読プロセスの透明化と迅速化のための環境整備がおこなわれた。

3-1 査読関連文書の改善

図書館高田係長によって、査読依頼文書、査読結果通知文書の見直しがおこなわれ、論文投稿者、査読者、それぞれの立場にたって、従来のフォーマットよりも、実質的、かつ、わかりやすいフォーマットに整備された。

また、こうした運営が軌道にのるまでの経過措置として、暫定的に、連絡関係書類にフォーマットの統一にかかる修正を委員会に委ねる場合の申し出期限の表記を追加して、今年度に限っては、申し出に応じて、紀要委員長がフォーマットの統一作業を担うこととし、実際にそれを実行した。

3-2 査読プロセスの透明化と迅速化

これまでの論文審査は、基本的に1論文に対して1名の査読者が審査する形式を運用してきた。今年度は、これまでにない新たな試みとして、投稿者に不利益な査読結果が出された場合には、2名の査読者を追加して、審査をおこなうことを基本として、判断がわかれた場合には、紀要委員会において、採録に関する最終的な意思決定をおこなうこととした。

複数の査読者による査読の仕組みは、多くの学会誌においては一般的であるが、これまで、本学紀要においてはこうしたプロセスは採用されてこなかった。

今回の取り組みの狙いは、査読の公平性を実現すると同時に、論文のクウォリティを向上させることにあった。あわせて、さきに述べた、投稿者ならびに査読者に、よりわかりやすい伝達文書を提供することをおして、査読プロセスの透明化、迅速化を目指した仕組みを構築してきた。

システム面からは、さきに述べた紀要フォーマットに、著者情報、謝辞を非表示にするオプションが組み込まれており、これは、査読プロセスにかかる事務処理の迅速化に寄与する。

4. その他の活動

4-1 冊子のリニューアル

『北海道情報大学紀要』は、2013年度刊行の第25巻第1号から、従来のB5版からA4版化へのスタイルの変更が決定されていた。これにともない、紀要委員会では表紙の材質やデザインを一新することとし、新しい表紙デザインは、隼田教授によって手掛けられた。

4-2 ディスカッションペーパーの検討

研究の初期段階の成果をタイムリーに発信し、その著作権を確保しながら、他の研究者から多くのコメントをもらうことを目的としたディスカッションペーパー（DP）の導入を検討した。DPは、内閣府をはじめとする多くの官庁においても採用されている。

DPの特徴は、随時性と低コストにある。紀要をはじめとする紙媒体のメディア媒体の場合、その発刊に相応の時間とコストがかかる。それに対して、DPは、デジタルデータ形式であれば、発刊にかかる時間とコストの制約からある程度解放される。

とくに、こんにちのような情報化社会のなかで、自らの研究成果を保護するためには、これまで以上にその必要性が向上してきていることは紛れもない事実である。こうした環境で、DPの導入の是非に関する議論をおこなってきたが、その新設については、次年度以降の紀要委員会に引き継ぐこととした。

5. 2013 年度紀要委員会 SD 活動成果

5-1 投稿状況

『北海道情報大学紀要』第 25 巻第 1 号は、論文 7 編、解説 1 編、研究ノート 6 編、報告 2 編、合計 16 編が集録され、200 ページを超えるボリュームとなった。同様に、同 2 号は、論文 6 編、解説 1 編、研究ノート 1 編、報告 1 編、合計 9 編が集録された。

これによって、2013 年度の本学紀要掲載数は、2 巻あわせて論文 13 編、解説 2 編、研究ノート 7 編、報告 3 編、合計 25 編となり、フォーマットの統一も進んでいる。

5-2 大学院修士論文要旨

大学院教務学生委員長である廣奥准教授をおして、『北海道情報大学紀要』第 25 巻第 2 号に、修士論文ならびに特定課題研究の概要が、新しい形式で集録された。

廣奥准教授の尽力によって、大学院修士課程における研究成果の表現の場として、その勉学の努力を十分に反映させることができた。

6. 総括

2013 年度は、北海道情報大学の開学 25 周年であった。つぎなる四半世紀へ向けて、紀要委員会では、これまでに前例のない大がかりな SD 活動を推進してきた。ここから生みだされる価値は、間違いなく、それに見合うだけの大きな成果を創りだすはずである。

こうした活動が実現できたのは、投稿者ならびに査読にご協力いただいた教員スタッフの貢献はもちろんのこと、SD 活動構成員の活動の成果の賜物である。優れた組織は、昨日の優れた仕事を今日の当然の仕事に、昨日の卓越した仕事を今日の並の仕事に変える (cf., Drucker, 1998)。

参考文献

- [1] Drucker, P. F. (1998) *Peter Drucker on the Profession of Management*, Harvard Business School Press.

付属資料 1 北海道情報大学紀要原稿作成要領

北海道情報大学紀要原稿作成要領

【原稿の規格・形式】

- (1) 原稿は A4 版とし、原稿 1 枚が紀要 1 ページに相当する。原稿は、原則として、20 ページ以内とする。
- (2) 原稿の余白は、上下左右各 30mm とする。

【原稿の構成】

- (1) 原稿の構成は、フェイスシート、本文、謝辞 (Acknowledgment)、参考文献 (References)、資料 (分析の対象とした一次資料)、付録 (Appendix) の順番で、記載することとする。
- (2) フェイスシートと本文の間は、2 行 (行間隔 12 ポイント) 空けることとするが、ページをまたぐ場合は、空白行は設けない。
- (3) 見出しは、章、節、項に対応して、大見出し「1」、中見出し「1-1」、小見出し「1-1-1」のように表記し、大見出しの前後、中見出しならびに小見出しの前は、1 行あけとする。また、各見出しとタイトルの間は、和文の場合、1 字空け、英文の場合、半角 2 文字空けとするが、ページをまたぐ場合は、空白行を設けないこととする。
- (4) フォントならびに文字ポイントは、和文の場合、大見出し「1」(MS ゴシック・12 ポイント・左揃え)、中見出し「1-1」(MS ゴシック・11 ポイント・左揃え)、小見出し「1-1-1」(MS ゴシック・9 ポイント・左揃え) とする。
- (5) フォントならびに文字ポイントは、英文の場合、大見出し「1」(Arial・12 ポイント・左揃え)、中見出し「1-1」(Arial・11 ポイント・左揃え)、小見出し「1-1-1」(Arial・9 ポイント・左揃え) とする。
- (6) 注釈 (Notes) は、脚注とし、原稿全体で通し番号を付することとする。
- (7) 注釈の利用は最低限とする。

【フェイスシート】

- (1) フェイスシートは、原則として、1 枚とする。
- (2) 1 ページ目、余白内最上段に、左揃えで、原稿の種類 (論文 (Paper)・研究ノート (Research Note)・報告 (Report)・解説 (Commentary)・書評 (Review) など) を、山形括弧 (<>) 内に、MS 明朝・12 ポイントで表記する。
- (3) 1 ページ目、余白内最上段の原稿の種類の下、表題の表記までに、空白行を 1 行 (行間隔 12 ポイント) 設ける。
- (4) 日本語論文 (以下、邦文) の場合、以下の表記とする。
 - ・表題 (MS 明朝・16 ポイント・ボールド)

- ・副題 (MS 明朝・14 ポイント・ボールド (必要な場合))
 - ・著者名 (MS 明朝・14 ポイント)
 - ・著者名は、列記し、執筆者の表記の右肩に、アスタリスク (*), ダガー (†), ダブルダガー (‡), セクション記号 (§), 段落番号, (§), 双柱 (//), 以下, (* *), (††), (‡‡) の順で記号を付し、それぞれの所属と職位を、脚注で記す。
 - ・注釈の所属と職位は、「北海道情報大学経営情報学部先端経営学科教授, Professor, Department of Business and Information Systems, Faculty of Business Administration and Information Science, Hokkaido Information University」のように表記する。本学以外の著者に関しては、その所属機関名、肩書を表記する。
 - ・英文タイトル (Times New Roman・14 ポイント・ボールド)
 - ・英文サブタイトル (Times New Roman・12 ポイント・ボールド (必要な場合))
 - ・英字著者名 (Times New Roman・10 ポイント)
 - ・要旨 (タイトル・MS 明朝・12 ポイント)
 - ・Abstract (タイトル・Arial・12 ポイント)
 - ・キーワード (タイトル・MS 明朝・12 ポイント)
- (5) 上記の各項目間に空白行 (行間隔 12 ポイント) を設けたうえで、項目ごとに 1 行中央揃えで表記する。ただし、著者名と所属ならびに職位、英字著者名と所属ならびに職位の英字表記、副題 (英文サブタイトル) がある場合、表題 (英文タイトル) と副題 (英文サブタイトル) の間に、空白行は設けない。
- (6) 英語論文 (以下、英文) の場合、以下の表記とする。
- ・タイトル (Times New Roman・16 ポイント)
 - ・サブタイトル (Times New Roman・14 ポイント (必要な場合))
 - ・著者名 (Times New Roman・14 ポイント)
 - ・著者名は、列記し、執筆者の表記の右肩に、アスタリスク (*), ダガー (†), ダブルダガー (‡), セクション記号 (§), 段落番号, (§), 双柱 (//), 以下, (* *), (††), (‡‡) の順で記号を付し、それぞれの所属と職位を、脚注で記す。
 - ・注釈の所属と職位は、「Professor, Department of Business and Information Systems, Faculty of Business Administration and Information Science, Hokkaido Information University」のように表記する。本学以外の著者に関しては、その所属機関名、肩書を表記する。
 - ・Abstract (タイトル・Arial・12 ポイント)
 - ・要旨 (タイトル・MS 明朝・12 ポイント)
 - ・Keywords (タイトル・Times New Roman・12 ポイント)
- (7) 上記の各項目間に空白行 (行間隔 12 ポイント) を設けた上で、項目ごとに、各 1 行中央揃えで表記する。ただし、著者名 (と所属ならびに職位、サブタイトルがある場合、タイトルとサブタイトルの間に、空白行は設けない。英文表題中の語のうち、名詞、代名詞、数詞、形容詞、動詞、副詞などは大文字ではじめ、表題の最初の語以外の冠詞、前置詞、接続詞などは小文字とする。
- (8) 英文著者名のうち、名は大文字ではじめ、以下は小文字、姓はすべて大文字とする。

- (9) 英文原稿の場合、邦文表題、日本字著者名、日本字所属は、省略することができる。
- (10) 和文要旨は、MS 明朝、10.5 ポイント、左揃えで、2,000 文字以内に、Abstract は、Times New Roman、10.5 ポイント、左揃えで、200 文字以内にまとめる。また、要旨は、左揃えとし、最初の行は、和文の場合、全角 1 文字、Abstract の場合、半角 2 文字空けることとする。
- (11) 和文キーワードは、MS 明朝、10.5 ポイント、両端揃えで表記し、括弧書きで、英字表記を付することとする。キーワードとキーワードの間は、1 文字空けとする。
- (12) 英字キーワードは、Times New Roman、10.5 ポイント、両端揃えで表記し、括弧書きで和文キーワードを付することとする。キーワードとキーワードの間は、半角 2 文字空けとする。

【論述の体裁】

- (1) 1 ページは、40 行とする。
- (2) 原稿は、本文のみ 2 段組みとし、それ以外は 1 段組みとする。
- (3) 新しい行のはじめは、和文の場合、全角 1 文字空け、英文の場合、半角 2 文字空けとする。
- (4) 原稿は、原則として体裁は横書きとし、句読点は、日本語論文では「、」、「。」、英語論文では「,」、「.」を用いることとする。
- (5) 和文の場合、本文は、MS 明朝、10.5 ポイントで、英文の場合、本文は、Times New Roman、10.5 ポイントで記載する。
- (6) 原稿中の英数字は、半角で表記することとする。
- (7) 原稿中の英数字のフォントは、Times New Roman とする。
- (8) 和文の場合、常用漢字、現代仮名遣いを用いることとする。
- (9) 原稿中の年の表記は、原則として、西暦を用いることとするが、法令の表記に関しては、元号を認めることとする。
- (10) 文章中に現れる外国語、外国地名、外国人名は、原則として原字で表記することとする。
- (11) 注釈は脚注とし、本文中の該当箇所に、アラビア数字、右側片括弧の通し番号、1), 2), 3), …, を記すこととする。
- (12) 脚注は、和文の場合、MS 明朝、9 ポイントで、英文の場合、本文は、Times New Roman、9 ポイントで記載する。
- (13) 本文中の例文には、原稿全体で通し番号、丸括弧 (1), (2), (3), …, を記すこととする。
- (14) 資料は、必要に応じて、通し番号、A, B, C, …, を、資料 A, 資料 B, 資料 C, …, のように記すこととする。
- (15) 付録 (Appendix) は、必要に応じて、通し番号、A, B, C, …, を、付録 (Appendix) A, 付録 (Appendix) B, 付録 (Appendix) C, …, のように記すこととする。

【数式の体裁】

- (1) 式番号は、(1), (2), …, の通し番号を付すこととする。
- (2) 数式において、「点 A から辺 BC に垂線を下す。」「一次関数 $y=ax+b$, 関数 $y=\sin x$ (下線部分はイタリック)」のように、ネーミングを表すときは、本文のスタイルとし、数値を表すときは、イタリックにすることとする。
- (3) 数式において、記号の後の単位は、「物体 A にはたらく重力は mg [N]である。」「電圧は 5V であり、抵抗は R [Ω]である。」のように、ブラケット (□) でくくることとする。

【図表の体裁】

- (1) 図表、写真と本文の間は、1 行以上空けることとする。
- (2) タイトルは、表は表の上、図ならびに写真は図の下に、表記することとする。
- (3) 和文表題の場合は、原稿全体で通し番号、表 1, 表 2, …, 図 1, 図 2, …, 写真 1, 写真 2, …, と、MS 明朝, 8 ポイント, 両端揃えで、表記することとする。
- (4) 英文表題の場合は、原稿全体で通し番号、Figure1, Figure2, …, Table1, Table 2, …, Photo1, Photo2, …, と、Times New Roman, 9 ポイントで、両端揃えで、表記することとする。

【引用・参考文献】

- (1) 他の著作物からの引用には出典を明記し、必要な場合には、投稿までに著作権者の了解をえなければならない。
- (2) 引用文献、参考文献は、本文末に一括してリストを作成し、日本語、外国語ともに、第一著者名のアルファベット順に記載するものとする。
- (3) 同一著者の論文、著作等は、刊行年順とし、同一年に同一著者の論文、著作等が刊行されている場合には、(1999a), (1999b) のように、年号のあとに、アルファベットで順番をつけて区別することとする。
- (4) 同姓の著者が同年に論文・著作を刊行している場合は、フルネームを記して区別することとする。

【本文中での引用表記・参考文献表記】

- (1) 本文中で参考文献を引用する場合には、「野中 (1976)」, 「野中・加護野・小松・奥村・坂下 (1978)」, 「Imai, Nonaka, and Takeuchi (1985)」のように、著者の姓に続けた括弧内に年号を、アラビア数字で連記することとする。
- (2) 著者が 2 名の場合は、2 回目以降の引用も、「竹内・野中 (1978)」, 「Nonaka and Takeuchi」のように連記することとする。
- (3) 著者が 3 名以上の場合には、「野中ほか (1986)」, 「Imai, *et al.* (イタリック)」のように、第一著者に続けて、「ほか」(日本語の場合), 「*et al.* (イタリック)」(外国語の場合) を用いることとする。
- (4) 引用の場合は、竹内・野中 (1978) によれば、「……………」とされる (p.15)。

のように、括弧〈「」〉でかこみ、句点の前に括弧〈()〉で該当ページ数を表記することとする。

- (5) 括弧内の記述については、「……について論じられている (Imai, *et al.* (イタリック), 1985 ; 竹内・野中, 1978)。」のように、著者名と年号を続点で区切ってまとめ、第一著者のアルファベット順に、セミコロンで区切って記載することとする。
- (6) 章をまたがない直前の引用文献を使用する場合には、和文の場合、「前掲書」、英文の場合、*ibidem* (イタリック) を、引用文献の該当箇所に表記する。
- (7) 式を引用する場合は、「(1) 式より・・・となる。」といったように引用する。

【参考文献の記載方法】

- (1) 参考文献の記載は、以下の形式に従うこととする。なお、洋書名ならびに洋雑誌名は斜体 (イタリック) とする。
- (2) 参考文献は、書籍、書籍の特定の章、定期刊行物、インターネット文献を問わず、第1オーサーのファーストネーム、あるいは、執筆媒体の頭文字のアルファベット順に、表記することとする。
- (3) 参考文献には、[1], [2], [3], …, のように、表記中にブラケット ([]) でかこんだ通し番号を付することとする。

【書籍の体裁】

- (1) 野中郁次郎 (1974) 『組織と市場—組織の環境的合理論—』千倉書房。
- (2) 野中郁次郎・加護野忠男・小松陽一・奥村昭博・坂下昭宣 (1978) 『組織現象の理論と測定』千倉書房。
- (3) Nonaka, Ikujiro and Hirotaka Takeuchi (1995) *The Knowledge Creating Company : How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation* (イタリック), New York : Oxford University Press (梅本勝博訳 (1996) 『知識創造企業』東洋経済新報社。

【書籍の特定の章の体裁】

- (1) 竹内弘高・野中郁次郎 (1986) 「新製品開発の戦略と組織」今井賢一 (編著) 『イノベーションと組織』東洋経済新報社, pp.97-126。
- (2) Imai, Kenichi, Ikujiro Nonaka, and Hirotaka Takeuchi (1985) “Managing the New Product Development Process : How Japanese Companies Learn and Unlearn,” in Kim B. Clark, Richard H. Hayes, and Christopher Lorenz (eds.), *The Uneasy Alliance : Managing the Productivity-Technology Dilemma* (イタリック), Boston : Harvard Business School Press, pp.337-375.

【定期刊行物の体裁】

- (1) 野中郁次郎 (1976) 「コンティンジェンシー理論の構造・展開・意義」『組織科学』第10巻第4号, pp.15-25。
- (2) Nonaka, Ikujiro (1994) “A Dynamic Theory of Organizational Knowledge Creation,” *Organization Science* (イタリック), Vol. 5, No. 1, pp.14-37.

〈報 告〉

他大学の实地調査に基づく

北海道情報大学学生食堂の現状と課題

長尾光悦* 小林裕樹†

Current Situations and Problems of University Cafeteria in Hokkaido Information University based on Fieldwork of Other Universities

Mitsuyoshi NAGAO* Yuuki KOBAYASHI†

要旨

現在, 全国の大学の学生食堂は多様な進化を遂げている. 魅力的な学生食堂の運営は, 在学生に恩恵があるだけでなく, 受験生がその大学を志望する理由のひとつとなり得る. 本稿では, 札幌近郊の4大学における学生食堂の实地調査を行い, それに基づき北海道情報大学の学生食堂の現状を明らかにし, 課題について考察する.

Abstract

Recently, university cafeterias in Japan has made various progress. Appealing university cafeteria not only gives benefit to current students, but also leads increment of prospective students before entrance examinations. In this paper, we conduct fieldwork of university cafeterias in four universities near Sapporo. Moreover, we reveal the actual states of cafeteria in Hokkaido Information University, and then consider the problems.

キーワード

北海道情報大学 学生食堂 实地調査 アンケート調査

* 北海道情報大学経営情報学部システム情報学科准教授, Associate Professor, Department of Systems and Informatics, Faculty of Business Administration and Information Science

† 北海道情報大学経営情報学部システム情報学科4年生, B4, Department of Systems and Informatics, Faculty of Business Administration and Information Science

1. はじめに

現在、全国の大学の学生食堂は多様な進化を遂げている[1][2]。例えば、神奈川大学では、地産地消に力を入れており、横浜市神奈川区三枚町の契約農家から、朝取りキャベツなど、新鮮な地元の有機栽培の野菜を仕入れている[3]。北海道大学や東京大学の学生食堂では、イスラム圏からの留学生の要望を受け、豚肉やお酒などを使用していないイスラム法において合法的なハラール食を提供している[4]。また、成城大学では、宝島社とのコラボレーションにより、レシピ本「syunkon カフェごはん」のメニューを提供する試みを行っている[5]。更に、神田外語大学では、韓国やインドネシアなどアジア各国の本場の食を通して、アジア文化に親しむための学生食堂の運営を行っている[6]。このように、各大学において多種多様な取り組みが行われている。

学生食堂の魅力向上に努める大学が増加傾向にある理由として、大学間の競争が激化していることが一つの要因として挙げられる。文部科学省の調査によると、全国の大学数はこの10年間で11.4%増加しているものの、入学者数は1.6%の増加と、大学数の伸びに対して入学学生数の伸びが著しく低い[7]。また、2018年より18歳以下人口が減少期となり、大学進学者数が減少に転じるため、魅力的な学生食堂の運営は、受験生がその大学を志望する理由のひとつとなり得る[8]。更に、受験生の獲得のみではなく、在学生間のコミュニケーションの促進や、講義への出席率の改善にも繋がるため、学生食堂の魅力度向上は大学にとってメリットの大きなものになりえる。

このような風潮の中、著者らが所属する北海道情報大学の学生食堂は、メニュー数の少なさ、営業時間の短さなど、魅力度が高いとはいえない現状にある。このため、

今後、魅力ある学生食堂を実現していくためにも、その基礎データとして学生食堂の現状を調査分析する必要があるものと考え

る。これまで、学生に対する食生活指導や食生活の実態把握の観点から学生食堂を調査した研究などが散見されるがその数は少ない[9][10][11][12]。

本稿では、他大学の現地調査を行い、他大学との比較に基づき北海道情報大学の学生食堂の現状を明らかにする。更に、学生に対してアンケート調査を行うことによって学生の利用状況や満足度調査を実施する。これらの結果を踏まえ、学生食堂の課題と改善について考察を行う。

2. 学生食堂の現地調査

2-1 調査概要

北海道情報大学（以下、本学）の学生食堂の現状を把握するために、他大学の学生食堂の現地調査を行い、比較を行った。調査は、本学に加え、札幌圏に存在する、北翔大学（以下、北翔大）、北海道工業大学（以下、道工大、平成26年4月より北海道科学大学に改名）、北海学園大学（以下、学園大）、札幌大学（以下、札大）の4大学において実施した。

北翔大は、本学と同じ江別市に存在する大学であり、学生数が2071名と本学の1786名と規模が同程度であるということから選定した。また、道工大は学生数が2719名と本学よりも比較的規模が大きいものの、本学に類似する工学・情報学系学科を持つ大学ということで採用した。学園大は、学生数8456名と非常に規模の大きな大学であるが、大学生協が運営する学生食堂を持つことから選定した。札大は、学生数3450名と規模は本学と比較し大きいですが、学生食堂において様々な取り組みを行っていることか

ら採用した。

各大学の調査は、2013年11月11日から12月12日の期間内に実施した。調査では、提供メニュー、営業時間、利用者数を調査した。利用者数は、学生食堂の開店時間から14時までの間、レジおよび食券販売機付近において人数計測を行った。調査対象となる全大学において複数の学生食堂があるため、利用者数のカウントは主要な学生食堂でのみで行うこととした。本学では「学生食堂」、学園大では「G'caFe」、札大では「カモール」、道工大では「HIT プラザ食堂」、北翔大では「hashi」において計測を行った。これら調査を行った学生食堂を図1から図5に示す。

2-2 現地調査の結果

調査結果を表1に示す。表における「メニュー」はメニュー数、「日替」は日替わりメニューの数を表す。また、メニュー数においては、同一品目の量の違い（大盛りなど）は1品目として集計し、飲み物はメニュー数に含めない。更に、調査を実施した2013年11月時点で、札大における Palette は休業中、小手毬は予約営業のみであったため営業時間のみを記載している。

2-2-1 学生食堂数

学生食堂の数は、札幌大学の4ヶ所が最も多く、次いで道工大が3ヶ所、その他3校は2ヶ所であった。また、学生食堂の設置場所について、札大、北翔大の2校が1つの建物に集約しているのに対し、本学、学園大、道工大はそれぞれ離れた場所に学生食堂を設置している。

2-2-2 営業時間

営業時間は、最も長く営業している学生食堂は、道工大の20時までであり、最も短いところは、本学と北翔大の14時までであ



図1 本学 学生食堂

った。また、調査対象の大学の中で、唯一、学園大の2つの学生食堂が土曜日営業を行っていた。

2-2-3 メニュー数

各大学の主要学生食堂のメニュー数では、学園大の G'café が、特選ハンバーグ丼やビーフカツ丼などの主食から、牛タンメンチといった主菜、揚げ出し豆腐等の副菜など、合計80種類と最も多くのメニュー数を提供している。札大のカモールでは71種類と、他の3校と比較し多い結果となった。道工大の HIT プラザ食堂、北翔大の hashi の2つが45種類、及び、46種類とほぼ同数であり、本学の学生食堂は24種類と他大学の学生食堂と比べ、メニュー数が最も少ないことが確認された。



図 2 学園大 G'café



図 4 道工大 HIT プラザ食堂



図 3 札大 カモール (写真上はリクナビ進学より)



図 5 北翔大 hashi

表 1 調査結果

大学	食堂名	営業時間	メニュー	日替	その他
HIU	本学食堂	11:00~14:00	24	5	
HIU	本学カフェテリア	11:00~16:00	31	4	
HGU	G'caFe	10:30~19:30	80	0	土曜営業有
HGU	ハマナス	10:30~18:00	49	0	土曜営業有
SU	カモール	11:00~16:00	71	0	
SU	サピオ	10:00~13:30	41	0	
SU	小手毬	11:30~14:00			火~木曜予約営業
SU	Palette	10:00~14:00			焼きたてパンの提供
HIT	HIT プラザ食堂	10:30~14:00	45	5	
HIT	5号館食堂	8:30~20:00	48	8	
HIT	HIT プラザ喫茶	10:00~15:00	27	3	
HU	hashi	11:00~14:00	46	9	
HU	Central CAFE	11:00~16:30	27	2	ラウンジ hidamari 隣接

HIU: 本学, HGU: 学園大, SU: 札大, HIT: 道工大, HU: 北翔大

2-2-4 日替わりメニュー数

日替わりメニュー数は、道工大の HIT プラザ食堂、北翔大の hashi、本学の学生食堂では、それぞれ 5 種類、9 種類、4 種類のメニューが提供されている。但し、それぞれの大学にある学生食堂すべてで合算した場合、道工大では、5 号館食堂、HIT プラザ喫茶を合わせ 16 種類、北翔大では、Central CAFE を合わせ 11 種類、本学では、カフェテリアを合わせ 9 種類という結果となった。いずれの場合も、本学が最も少ないという結果になった。学園大と札大の 2 校は、日替り・週替りのメニューの提供はなかったが、前者は季節限定メニューの提供、後者は定期的にメニュー全体の変更を行っている。

2-2-5 価格帯

各大学における全学生食堂のメニュー価格は、札大が平均 278.5 円、本学が平均 242.7 円、道工大が平均 302.2 円、学園大が平均 299.7 円、北翔大が平均 276.9 円という結果であり、本学が最も価格が安いという結果になった。しかしながら、これは、セット

メニュー数が少なく、100 円から 200 円程度のサイドメニューがそれと比較し多いため、このような結果となった。

2-2-6 利用者数

図 6 に学生食堂の利用者数の結果を示す。図 6 において上のグラフが利用者合計を表し、下のグラフは時間帯ごとの利用者数を示している。利用総数が最も多かったのは、札大の 427 人、次いで道工大は 343 人であった。本学は 325 人、学園大は 313 人、最も少なかったのは、北翔大の 196 人であった。調査対象校の中で最も学生数が少ないのが本学であるが、本学よりも規模の大きな大学と同程度、更に、規模が同等程度の北翔大と比較して非常に利用者数が多いことが確認された。

また、時間帯ごとの利用者数については、本学の学生食堂が 12 時から 12 時 30 分の時間帯の利用者数が非常に多い結果となった。一方、他大学の学生食堂は、12 時前の時間帯から利用者数が増加しており、利用時間帯が分散していることが確認された。これらの結果から、本学の学生食堂は、利用者が多く、かつ、昼のピークの時間帯に集中する傾向があ

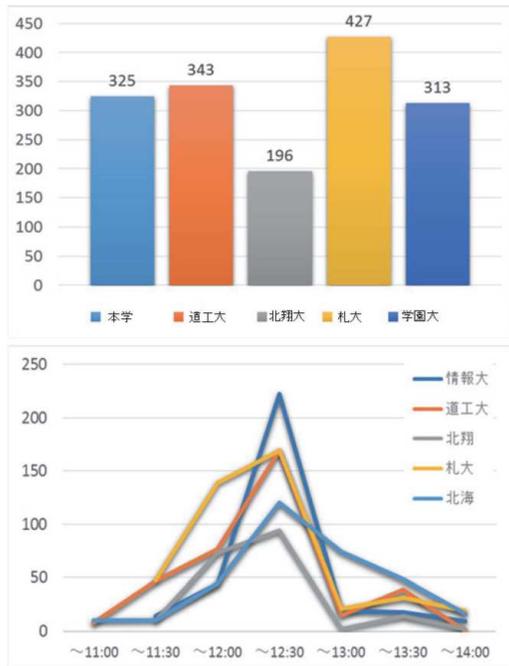


図6 学生食堂の利用者数

るといえる。

2-2-7 他大学における実施サービス

本調査において、学園大と札大ではメニュー数の多さ、北翔大と道工大では日替わりメニューの種類が多さ、学園大と道工大では営業時間の長さが特徴として確認された。

また、学園大と道工大では、初冬のおすすめメニューや期間限定ラーメンなど特別メニューの提供が行われていた。学園大と札大において、10種類以上の品目の中から自由に選択することができる量り売りのサラダバーの提供が確認された。更に、札大では、おしゃれな食事処や毎日焼きたてのパンが提供されるパン屋の運営、東北大震災への募金が行われるリムデイランチ・リムメニューの提供が行われていた。

本学においては、主だった特徴は確認できなかったが、提供されるお茶の種類が他大学よりも多いという点が唯一の特徴であった。

2-2-8 会計方法

支払い方法は、食券を用いたもの、プリペイドカードを用いたものなど、大学によって異なる形式を採用していた。道工大では、唯一、楽天Edyによる電子マネーでの決済が可能となっていた。また、メニューの一部について、Edyでの支払いでのみ割引が適用されるものが存在した。

3. 本学でのアンケート調査

3-1 アンケート調査概要

実地調査の結果に基づき、本学において、学生を対象としたアンケート調査を実施した。調査は、学生93名（1年生17名、2年生31名、3年生19名、4年生26名）を対象として実施した。

アンケートは、全27項目から成り、昼食の予算、学生食堂やカフェテリアの利用頻度、魅力、不満、満足度、他大学の学生食堂の利用経験の有無といった本学の現状調査を意図した質問項目、更に、期間限定メニューの提供、営業時間の長さといった、他大学の学生食堂において実施されているサービスの魅力度の調査を意図した質問項目から構成されるものである。

3-2 アンケート調査結果

3-2-1 昼食の予算

学生の昼食代の予算では、200円以下と回答した学生が19名、300円以下が22名、400円以下が21名、500円以下が29名、500円以上が1名であり、全体平均は368円という結果であった。学年別に平均額を見ると、1年生は365円、2年生は339円、3年生は361円、4年生は425円という結果となり、4年生のみが他の学年と比較し高いものとなった。4年生の場合には、講義スケジュールから1週間に数日しか大学に来ない学生がいる。そ

のため、1回の学食利用に対してかけられる金額が大きいという可能性が考えられる。また、本学のセットメニューは400円からとなっているため、予算から見るとバランスの取れた昼食を取れるのは50%弱の学生であると推察される。

3-2-2 利用頻度

学生食堂及びカフェテリアの利用頻度を図7に結果を示す。図から、学生食堂、カフェテリアともに「ほとんど利用していない」が最多となり、多くの学生がこれら施設を利用していないことが明らかとなった。次いで、「週に2、3回利用している」と回答した学生が多く、「ほぼ毎日通っている」と答えた学生は、学生食堂で8%、カフェテリアで4%と非常に低い値となった。この結果から、本学の学生食堂を利用している学生は少なく、学生の支持が獲られていないものと考えられる。

昼食の予算毎に、学生食堂、カフェテリアの利用頻度を集計した場合、学生食堂では、300円以下の予算において「利用しない」と回答した学生の割合が最も多かった。400円以上の予算帯においては、「週に2、3回利用する」と回答した学生の割合が多かった。これは、セットメニューの価格が400円以上であるためであると考えられる。しかしながら、「週に2、3回利用する」に次いで多かった回答は、「利用しない」であり、学生食堂でセットメニューなど十分な昼食を取る予算を有していたとしても利用しない学生も多いことが確認された。一方、カフェテリアでは全予算帯で「利用しない」と答えた学生が最も多かった。

3-2-3 学生食堂・カフェテリアの満足度

学生食堂、及び、カフェテリアの満足度の集計結果を表2に示す。これら満足度調査においては、「とても満足」、「やや満足」、「やや不満」、「とても不満」の4段階で調

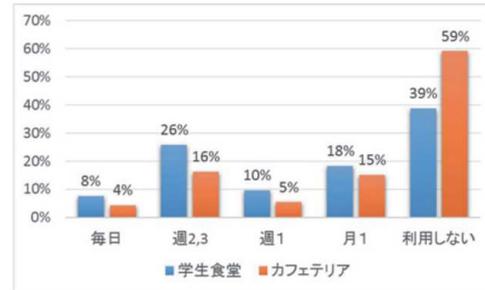


図7 学食・カフェテリアの利用頻度

査を行った。表における満足は、「とても満

表2 学生食堂・カフェテリアの満足度

	学生食堂		カフェテリア	
	満足	不満	満足	不満
全体	56%	44%	78%	22%
他大有	38%	62%	75%	25%
他大無	61%	39%	79%	20%

足」、または、「やや満足」と回答した割合、不満は「とても不満」、「やや不満」と回答した学生の割合を示している。

この結果から、学生食堂に対して満足度回答した学生は56%、不満と回答した学生は44%という結果になった。また、カフェテリアにおいては、満足が78%、不満が22%という結果になった。

学生食堂、及び、カフェテリアの満足度はそれほど低くはなかった。しかしながら、この結果を他大学の学生食堂の利用経験別に集計した時、利用経験がある場合、学生食堂で満足が38%、不満が62%となる。利用経験がない場合には、満足が61%、不満が39%という結果となり、利用経験がある場合、著しい傾向の変化が確認された。一方、カフェテリアにおいては、これらにおいて差は見られなかった。

3-2-4 学生食堂・カフェテリアの魅力と不満

学生食堂とカフェテリアの魅力と不満の集計結果を図8に示す。図における上のグラフが魅力、下のグラフが不満を表す。

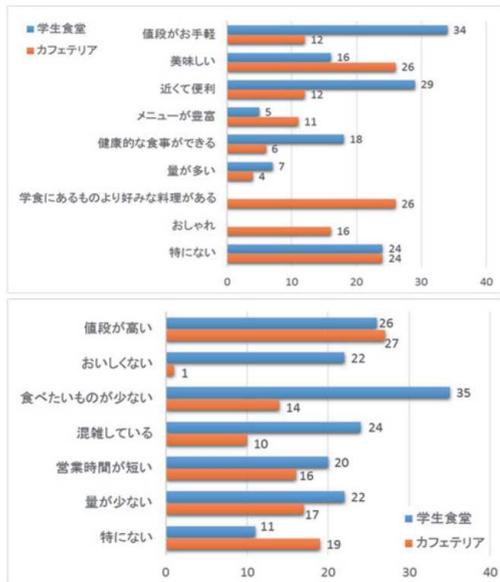


図8 学生食堂とカフェの魅力と不満

学生食堂の魅力としては「値段がお手頃」と答えた学生が3分の1程度と最も多かった。これは昼食に対して高い予算を持つ4年生の約半数がこれに回答したためである。しかしながら、不満としても約3分の1の学生が「値段が高い」と回答している。このため4年生以外の学生にとって価格は魅力としてよりも不満として捕らえられている可能性が高い。その他の魅力としては「近くて便利」、「特にない」と回答した学生が多く、本学の学生食堂の魅力度は低いものと考えられる。

一方、不満においては、「食べたいものが少ない」と回答した学生が最も多い結果となった。これは、他大学と比較して本学のメニュー数が少ないことに起因しているものと考えられる。また、学生食堂の料理が「美味しくない」と回答した学生は、「美味しい」と回答した学生を上回った。これらの結果から、本学の学生食堂は、価格、味の点で改善が必要であると考えられる。

カフェテリアにおいては、「美味しい」、「学生食堂にあるメニューより好みの料理がある」と回答した学生が最も多かったが、次いで多かった答えが「特にない」であっ

たことから学生食堂と比較してメニューは良いという判断をしている可能性が高い。不満については、「値段が高い」、「特にない」、「量が少ない」であった。このことから、カフェテリアにおいては味の点では満足しているものの、価格や量の面で不満に思う学生がいることがわかる。

上記の結果から本学の学生食堂、カフェテリア共に値段について不満に思っている学生が多く、また、魅力について「特にない」と回答した学生が、学生食堂では4人に1人に上ったことから、特段の理由なく学生食堂を利用している可能性が高い。

3-2-5 他大学におけるサービスの魅力度

他大学の学生食堂において実施されているサービスの魅力度の調査結果を図9に示す。すべての項目において魅力だと答えた学生が圧倒的に多い結果となった。その中でも「メニュー数が80品」、「お洒落な空間作り」、「期間限定メニュー」について魅力的と回答した学生数が多い結果となった。この結果から多くの学生が他大学において実施されているサービスの導入を希望していることが明らかとなった。

また、希望するメニュー数、営業時間について調査を行った。その結果、希望するメニュー数で最も多かったのは、50品の料理が学生食堂で提供されることを望む学生が最も多かった。50品という品数は、現在学生食堂で提供されている数の2倍に当たる。更に、営業時間については、「19時まで」と「18時まで」が多い結果となった。

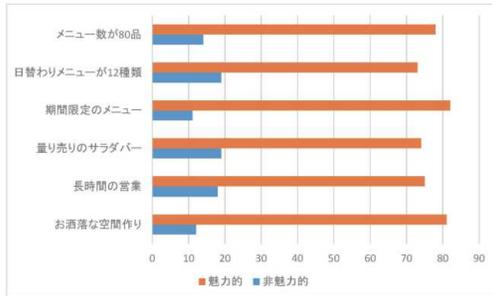


図9 他大学におけるサービスの魅力度

4. 考察

札大においては、豊富なメニュー数を誇る「カモール」に加え、ワンプレートメニューや鉄板料理を中心とする「サピオ」、高級感ある「小手毬」、毎日入れ替わる焼きたてのパンが味わえる「Palette」の4ヶ所の学生食堂が運営されていた。調査を行った大学の中では、多様なスタイルの昼食を提供しているという点で、最も先進的であったといえる。一方で、学園大の方が、1つの学生食堂で選べるメニュー数は多く、道工大では、日替りのメニューを数多く提供している。しかしながら、マイナビニュースが行った「【女性編】気分は学生？ 行ってみたい大学の学食ランキング」では、札幌大学は5位につけており、他大学にはない先進的な取り組みが、評価された結果であると考えられる[13]。

また、主要な学生食堂の利用者数については、本学の学生食堂において、学生数が本学より多い他大学と同程度の人数の利用が確認された。これにより本学の学生は、他大学に比べて学生食堂に依存していることが明らかとなった。また、時間ごとの利用者数において、昼休みに入る12時から12時半の時間帯の利用者数が、他大学と比較して多いことが明らかとなった。これらは、本学周辺に飲食店が少ないため、昼休みの時間帯に集中して学生食堂が利用されてい

るためであると考えられる。これを検証するためにYahoo ローカルサーチを利用し、各大学周辺の飲食店を検索した。Yahoo ローカルサーチは、地域内の店舗やイベントなどを検索可能なサービスである。検証では、大学から徒歩10分圏を想定した半径800m内の範囲において、業種コードをグルメとして検索した結果から菓子店などを除いた店舗数を計測した。その結果、本学周辺の飲食店の数は4店舗、道工大が22店舗、北翔大が8店舗、学園大が30店舗、札大が26店舗と本学が最も少ない結果となり、周辺飲食店の少なさが、本学学生の学生食堂の依存度の原因になっている可能性があることが確認された。

一方、他大学の学生食堂の利用経験により、学生食堂の満足度が変化することが明らかとなった。他大学の学生食堂の利用経験がない場合は、学生食堂の満足度は高かったが、利用経験のある場合には、満足度は著しく低下し、不満の割合も上昇した。このことから、本学は、学生の学生食堂の依存率が高いにもかかわらず、サービスレベルが低く、かつ、学生は満足しているかに見えるが、他大学の状況を知った場合、その満足度は急激に低下する可能性があることが示唆された。

また、昼食代の平均額は368円であったが、この予算額は、学生食堂における定食や日替わり丼、カレーライスなどの価格以下であるため、ラーメンやそば等しか選択の余地がない。また、カフェテリアにおいても予算内に収まるものは、主食の中ではミニDONのみである。このことから、本学の学生は、昼食のための十分な予算がなく、更に、学生食堂におけるメニュー数の少なさから組み合わせによる自由度が少ないため、選択の範囲が非常に限定的なものとなっていると考えられる。事実、アンケート調査では、学生食堂においてよく選ぶメニューは、そばとうどんが最も多い結果であ

った。更に、およそ2割の利用者が、持ち込みでの学生食堂の利用となっていた。これは予算によって、学生食堂で提供される料理ではなく、購買などで購入したもので昼食を済ませなければならぬためであると考えられる。そのため、様々な価格のメニュー展開や、曜日や料理の組み合わせなどで割引を行うなど、価格面での施策を実施する必要があるといえる。

学生食堂の魅力について、特にないと答えた学生は4人に1人の割合であり、また、提供される料理を美味しいと答えた学生が16名いたのに対し、美味しくないと答えた学生が22名、更に、昼食にお金をある程度かけられる学生であっても、利用する学生がそれほど多くなかったことから、本学の学生は、学生食堂をあまり魅力的に感じていないと推察される。学生食堂を利用することが出来る昼食代を持った学生に、学生食堂を利用してもらうためには、現状よりも魅力的な学生食堂を運営していく必要がある。そのためにも、本研究によって明らかとなった魅力あるサービスの提供を実施する必要がある。

5. おわりに

本稿では、他大学の学生食堂の現地調査を行い、調査結果に基づき本学の学生食堂の現状を明らかにし、改善すべき点を考察した。現地調査から、他大学においては、豊富なメニュー数、充実した日替わりメニューの提供が行われており、本学と比較して、サービスの魅力度が高いことが確認された。更に、本学学生に対してアンケート調査を実施し、本学の学生の昼食における現状、学生食堂、及び、カフェテリアに対する評価を調査した。その結果、本学の学生は学生食堂、及び、カフェテリアに対して魅力を感じていないことが明らかとなった。

設備投資のための予算の都合はあるとは考えられるが、学生にとって一層魅力のある大学とするためにも、本研究の結果に基づき、今後、学生食堂、及び、カフェテリアの改善が行われることを強く望むものである。

参考文献

- [1] 大学プレスセンター:魅力のメニューが満載 進化する学生食堂<第一弾>, <http://www.u-presscenter.jp/modules/bulletin/index.php?page=article&storyid=1317> (2014年5月12日参照)
- [2] 大学プレスセンター:魅力のメニューが満載 進化する学生食堂<第二弾>, <http://www.u-presscenter.jp/modules/bulletin/index.php?page=article&storyid=1318> (2014年5月12日参照)
- [3] 神奈川大学:学生食堂, <http://www.kanagawa-u.ac.jp/campuslife/dininghall/index.html> (2014年5月12日参照)
- [4] 全国大学生生活共同連合会:留学生のWA! -大学生協はいつも留学生のパートナー-, <http://www.univcoop.or.jp/activity/>
- [5] マイナビウーマン:レシピ本「syunkon カフェごはん」×成城大学がコラボ!学食内で特別メニュー提供-期間限定, <http://woman.mynavi.jp/article/140403-127/> (2014年5月19日参照)
- [6] 神田外語大学:アジアン食堂「食神」, <http://www.kandagaigo.ac.jp/kuis/facilities/cafe/asian/> (2014年5月19日参照)
- [7] 文部科学省:学校基本調査-平成25年度(確定値)結果の概要-, http://www.mext.go.jp/b_menu/toukei/chouse01/kihon/kekka/k_detail/1342607.htm (2014年5月12日参照)
- [8] 日経トレンドネット:大学は「学食」で選ぶ時代??, <http://trendy.nekkeibp.co.jp/article/pickup/20130809/1051401/> (2014年5月12日参照)

- [9] 川原崎淑子, 小西春江: 女子学生の昼食実態調査—本学学生食堂利用について—, 園田学園女子大学論文集, 第31巻, II号, pp.47-65 (1996)
- [10] 五島淑子, 藤本美紀子, 濱名智美: 生協食堂の利用かみた大学生の食生活, 山口大学研究論叢. 人文科学・社会科学, 第52号, 1巻, pp.35-50 (2003)
- [11] 江田節子: 学生食堂の利用状況(現状)と課題, 関東学院大学人間環境学会紀要, 第12号, pp.43-51 (2009)
- [12] 安藤真美, 神田知子: 学生食堂の現状と課題—利用者アンケートによる分析—, 山口県立大学生生活科学部研究報告, 31巻, pp.49-55 (2006)
- [13] マイナビニュース: 【女性編】気分は学生?行ってみたい大学の学食ランキング, http://news.mynavi.jp/c_cobs/enquete/ranking/2013/21_4.html (2013年12月22日参照)

CONTENTS

〈Papers〉

A Study of Methods of Instruction —On the Points in Teaching Practices—	Tsugio KONISHI	1
A Fragment of Consideration of Aims of A Subject of “Studies on Teaching Profession”	Tsugio KONISHI	9
The efficiency of predictor as HbA1c for type 2 diabetes occurrence in prediabetes subjects	Hiroki SATOH Eiji YOSHIOKA	15
Studies on the method to realize the cooperation between network services and control plane of SDN	Motoi TAKAHASHI Jun NAKAJIMA	23
Validation of Mental Health Improvement by Sightseeing Behavior	Mitsuyoshi NAGAO Hajime SAITO Seiji MATSUDA Naoki OHSHIMA Honoka SASAKI	41
A Study on Development of Teaching Contents about Euclid's Algorithm, RSA Public Cryptosystem and Factoring Integers	Yuuichirou HAYASHI	57
Through The Sociolinguistic Looking Glass: Common Japanese Assumptions Concerning Foreign Behavior Empirical Studies of the Globalization of Modern Japanese Lifestyles	Charles McLARTY	77
A Search Algorithm for Gaussian Parameter of kernel k-means method based on distribution of distance	Shinichi YANAGI	87

〈Notes〉

Feasibility of BMI based on Simplified EEG Device	Mitsuyoshi NAGAO Tsuyoshi KAIBE Kouichi ITO	109
---	---	-----

〈Report〉

2013 Activity Report by University Journal Committee, HIU	Hideki SAKAMOTO Norihito TOYOTA Naohiko HAYATA Hiroshi SEKINE Satomi TANAKA Toshiko KITA Tsuyoshi MUKOHARA Tohru HIROHKU Takatoshi SATO Kaori TAKADA	121
Current Situations and Problems of University Cafeteria in Hokkaido Information University based on Fieldwork of Other Universities	Mitsuyoshi NAGAO Yuuki KOBAYASHI	133

執筆者紹介（掲載順）

氏名		主たる専攻
小西 二郎	北海道情報大学経営情報学部 先端経営学科准教授	青年社会学、教育社会学
佐藤 浩樹	北海道情報大学医療情報学部 医療情報学科教授	内科学（循環器内科学、総合内科）、 産業医学、生活習慣病および循環器疾 患の疫学、医療情報学
吉岡 英治	旭川医科大学 健康科学講座准教授	健康科学
高橋 基	北海道情報大学大学院経営情報学研究科 修士課程2年	
中島 潤	北海道情報大学経営情報学部 システム情報学科准教授	ネットワークセキュリティ、 ネットワーク運用、システム監査
長尾 光悦	北海道情報大学経営情報学部 システム情報学科准教授	複雑系工学、システム工学、 観光情報学
斎藤 一	北海道情報大学情報メディア学部 情報メディア学科准教授	システム情報工学、 応用（教育、観光）情報メディア
松田 成司	北海道情報大学医療情報学部 医療情報学科准教授	生体工学、生体遠隔計測、 無線通信、アナログ光伝送技術
大島 直樹	北海道情報大学情報メディア学部 情報メディア学科准教授	感性メディアデザイン <ul style="list-style-type: none"> ・香りと図形との感覚間相互作用 （クロスモダリティ）の解明と利 活用「aroma-Graph」 メディカルメディア・デザイン <ul style="list-style-type: none"> ・眼科患者に向けたインフォームド コンセントツールの開発 感性科学 <ul style="list-style-type: none"> ・視重量感覚に対する感性科学研究
佐々木穂果	北海道情報大学経営情報学部 システム情報学科4年生	
林 雄一郎	北海道情報大学情報メディア学部 情報メディア学科教授	生徒指導、教育相談、数学教育、 学校経営論、教師養成教育
Charles McLarty	北海道情報大学情報メディア学部 情報メディア学科准教授	英語学、英語教授法、言語学、 北海道の国際化
柳 信一	北海道情報大学経営情報学部 システム情報学科講師	パターン認識、計算論的学習理論
海部 剛士	北海道情報大学経営情報学部 システム情報学科B4	
伊藤 浩一	北海道情報大学経営情報学部 システム情報学科B4	
坂本 英樹	北海道情報大学経営情報学部 先端経営学科教授	マーケティング、流通、 ベンチャービジネス

氏 名		主たる専攻
豊田 規人	北海道情報大学経営情報学部 システム情報学科教授	複雑系、量子情報、理論物理
隼田 尚彦	北海道情報大学情報メディア学部 情報メディア学科教授	環境行動学・建築計画学・ 環境認知・インターフェイス等
関根 洋	北海道情報大学経営情報学部 先端経営学科講師	法学、民事法、商法・有価証券
田中 里実	北海道情報大学医療情報学部 医療情報学科講師	日本語教育学、日本語文法
喜多 歳子	北海道情報大学医療情報学部 医療情報学科教授	公衆衛生学、社会疫学、保健行動
向原 強	北海道情報大学経営情報学部 先端経営学科教授	オペレーションズ・リサーチ、 意思決定支援システム
広奥 暢	北海道情報大学情報メディア学部 情報メディア学科准教授 大学院経営情報学研究科教務学生委員長	音声情報処理、ソフトウェア開発、 コンピュータシステム運用、 コンピュータネットワーク等
佐藤 貴俊	北海道情報大学図書館事務室事務室長	
高田かおり	北海道情報大学図書館事務室係長	
小林 裕樹	北海道情報大学経営情報学部 システム情報学科4年生	

平成26年度北海道情報大学紀要委員会

(2014年4月～2015年3月)

委員長 渡部 重十 (教授：システム情報学科)
委員 坂本 英樹 (教授：先端経営学科)
委員 佐藤 裕二 (教授：医療情報学科)
委員 島田 英二 (准教授：情報メディア学科)
委員 関根 洋 (講師：先端経営学科)

北海道情報大学紀要 第26巻 第1号

印刷 平成26年10月31日

発行 平成26年11月10日

編集者 北海道情報大学紀要委員会

委員長 渡部 重十

発行者 北海道情報大学

学長 富士 隆

発行所 北海道情報大学

〒069-8585 北海道江別市西野幌59番2

TEL 011-385-4411 FAX 011-384-0134

URL <http://www.do-johodai.ac.jp/>

印刷 株式会社松江印刷

〒060-0033 北海道札幌市中央区北3条東7丁目344番地1

TEL 011-206-7278 FAX 011-206-7268

