

国際 ICT 利用研究学会
論文誌
第 1 巻 第 1 号

国際 ICT 利用研究学会

目 次

巻頭言

創刊の辞	
国際 ICT 利用研究学会 会長	山下 倫範 1

展 望

記念号に際して	
国際 ICT 利用研究学会 副会長	上山 俊幸 2
異文化交流と国際化	
国際 ICT 利用研究学会 副会長	田中 敏幸 3

寄稿

学会創立記念論文誌発刊に寄せて	
富士通株式会社 執行役員	小林 澄人 4
学会創立記念論文誌発刊に寄せて	
株式会社富士通マーケティング 執行役員	梅田 靖 5
学会創立記念論文誌発刊によせて	
株式会社内田洋行 執行役員	吉永 祐司 6
学会創立記念論文誌発刊に寄せて	
日本データパシフィック株式会社 代表取締役社長	平 治彦 7

論文

ICT 分野におけるグローバルな協業を実現するための教育の提案	
福田真規夫（太成学院大学）	 8
e ラーニングにおける学びと学習タイプの適性処遇交互作用に関する考察～「e ラーニングはなぜ学ぶ行為を満足させることができないのか」への言承～	
菅原良（明星大学）	 16
ICT に対する養育者の態度と子どもへの影響～愛着障害の視点から考える～	
青木智子，水國照充（平成国際大学）	 23
青少年の情報行動リスクの現状と法規制について	
木川 裕（武蔵野学院大学）	 31
IFRS 適用時に生じる日本基準との業績の差異について	
白坂 亨（大東文化大学）	 38
サプライチェーンを構成する企業の研究	
上山俊幸（千葉商科大学）	 48
コミュニケーションロボットを用いたコミュニティ形成支援	
鎌田光宣（千葉商科大学）	 57
結託耐性を有する電子透かしに対する特性評価	
佐久間貴士（高崎商科大学）	 63
食物アレルギーを持つ乳幼児および児童生徒に配慮した給食システムの設計	
田中雅章（ユマニテク短期大学），内田あや（名古屋文理大学短期大学部）	. . . 72

眼周辺領域検出による男女判別	
神馬嵩大, 田中敏幸 (慶應義塾大学大学院)	78
保健・医療分野における ICT 利活用の将来像	
青木一雄 (琉球大学)	85
和田秀男先生の数学	
鈴木治郎 (信州大学)	102
Euler 関数導来対数的関数における abc-triple の高速列挙アルゴリズム	
宮田大輔 (千葉商科大学), 山下倫範 (立正大学)	111
象戯圖に基づく大将棋の復刻	
高見友幸, 喜田隆司 (大阪電気通信大学大学院)	117
非対称暗号としての短歌や短詩	
澤田秀樹 (数学者), 山下倫範 (立正大学)	123
小規模学会の持続可能性に関する一考察	
次郎丸沢 (株式会社カンファレンスサービス)	129
衛星画像を用いた深層学習による土地被覆土地利用分類	
青木和昭 (立正大学)	135
東日本大震災時と平常時における地域 SNS 利用状況の変遷の分析	
後藤真太郎 (立正大学), 酒井聡一 (ESRI ジャパン)	144
土地利用の変化が地表面温度に与える影響—台北市を例として—	
白木洋平, 小林彩乃 (立正大学)	154
マルチコプターによる空間情報の取得とその課題	
瀬戸真之, 中村洋介 (福島大学)	160

編集後記

国際 ICT 利用研究学会 理事	次郎丸 沢 (株式会社カンファレンスサービス)	166
------------------	-------------------------	-----

巻頭言

創刊の辞

国際 ICT 利用研究学会会長
立正大学 地球環境科学部 環境システム学科
山下倫範

本会の目的は「自然科学，社会科学を含むあらゆる学術研究領域における ICT の利用に関する研究調査，研究成果の公開ならびに図書の刊行，先端技術に関わる啓発と教育，研究者の育成，学会運営・研究集会開催，産学官金連携及び産業振興のための助言に関する事業を行い，ICT 利用の理解促進と社会の発展に寄与すること」です。

本会はこの設立趣旨に沿って昨秋産声を上げ，早速研究活動を始動し，すでに全国大会を立命館大学において，また研究会も立正大学において多くの活発な研究発表の中で開催したところであります。

学会の多くでは，限られた専門分野領域での研究活動がなされているのが一般的です。しかしながら，本学会では，創立にあたって，従来の学会からパラダイムシフトをしようと，ICT をキーワードにして，自然科学／社会科学／人文科学領域を学際的に横断しながら，相互交流の中で生まれる化学反応が新しい学術的価値を創造する，そのような場を共有できればという思いもありました。会員の皆様方には，ご研究の糸を紡ぐ中で，専門性を縦糸 ICT を横糸として新たな科学の染色とともに文様を織り出されることを強く願うものです。

このたび，会員の皆様方の日頃の優れたご研究果実発表の場である学会論文誌が創刊の運びとなったことは大変慶ばしいことです。学会の生命は，新しい息吹による充実した学会論文誌を内外に提供し続けてゆくとにより輝き続けてゆくものだと信じます。今後とも，会員の皆様方による優れた研究科実のご投稿を願って止みません。

展 望

記念号に際して

国際 ICT 利用研究学会副会長
千葉商科大学 商経学部
上山俊幸

本学会が設立されて 10 か月ほどが経ちますが、このたび学会のひとつの顔ともいえる学会論文誌がこのように創刊されました。2016 年 12 月には立命館大学びわこ・くさつキャンパスにおいて第 1 回全国大会が開催され、年が明けて今年 3 月には第 1 回研究会が立正大学品川キャンパスにおいて開催されました。全国大会はもちろんのこと、研究会でも予想を遙かに超える会員のかたからの発表があり、熱心な議論が行われました。全国大会および研究会は、会員の皆様の研究成果発表の場であり、その成果が文字となり、形となってそれぞれに発行されました。そして、このたび会員の研究成果をもうひとつの表現として、また学会の紹介機能を有する表現として、初めての学会論文誌がこのような内容と体裁で創刊できたことは、誠に喜ばしい限りです。目次に目を通すだけでも、本学会の多様性、斬新性、可能性、将来性をメッセージとして受け取ることができると思います。学会設立から短期間とはいえ、これまでの学会活動の流れを振り返ると、本学会の力強い息吹と将来への明るい展望を感じ取ることができます。

折しも、既に情報社会が成立したとされ、総務省が発行する情報通信白書においても IoT、ビッグデータ、AI という相互に関連のあるキーワードが記載され、これらのキーワードに内包される技術によって、利便性がさらに高められていくことが期待されています。また、このなかでも急速に発展・普及し、社会からの注目を集めている AI に関しては、企業の経営戦略上重要になる AI プラットフォームの標準化に向けて加速度が付いているようにも感じられますが、一方でマルウェアによる被害、情報戦争の脅威といった情報社会の持つ負の側面を克服して、私たちが活動していく環境で安心・安全が確保されることが求められています。このように私たちを取り巻く環境が急激に変化し、その影響が大きくなる時、先ほど述べたように ICT 分野とその学際領域において、多様性を持つ本学会の果たす役割はますます大きくなっていくものと推察します。人間の五感や身体を延伸させる ICT の利用とそれによる環境変化とをそれぞれ研究するとともに、この二つの関係性について、その是非も含めて様々な角度から分析・考察・吟味・評価していくことが重要であると考えます。

今後は本学会の会員数が増え、本学会の持つ多様性という特長を生かしながら ICT をコアにした分析・検討・議論・提案・共創が行われ、将来への破壊的イノベーションが誘発されることを期待しております。会員の皆様におかれましては、研究の成果を是非ともこの論文誌に投稿されますようお願いいたします。

展 望

異文化交流と国際化

国際 ICT 利用研究学会副会長
慶應義塾大学 理工学部 物理情報工学科
田中俊幸

国際 ICT 利用研究学会の副会長を務めております慶應義塾大学の田中と申します。近年、国際化という言葉は新しいものではなく、産業界・大学など多くの組織で取り組みが行われています。しかし日本の多く学会では、論文集や学術講演会を英語化し、海外の学会とジョイントすることに注力しているように思います。また、国立研究機関の研究者や工学系学部教員は、海外の学術雑誌、特にインパクトファクターの高い学会への投稿や参加が求められていますので、国内の学会は結果的に海外の学会との競争を強いられることになります。研究者・教員側としては、英語の論文・英語の予稿原稿を書いたのであれば、国内学会ではなく、まず海外に投稿することになります。日本国内の各学会において、国際化は学会そのもののグレードを上げるために行っているのですが、海外の学会との競争のために和文論文への投稿論文数が減り、学会の運営が難しい状況になっています。現状を考えると、工学系・情報系などの従来型領域の学会においては、海外の学会が優勢となるのはやむを得ないと思います。そのような中で、海外の有名学会とのジョイントによって知名度を上げるのではなく、日本国内にどのような学会を作っていくかというのが一つの課題となります。

ICT (Information and Communication Technology) の研究については、多くの工学系・情報系学会が研究対象としており、研究発表や交流の場を設けていますが、自然科学や社会科学までを含めた複合領域については、発表・交流の場が少ないのが現状です。最近、AI (Artificial Intelligent) や深層学習 (Deep Learning) などの研究が、いろいろな場面で注目されていますが、それらも限られた分野にとどまります。ICT の新しい研究分野を開拓するためには、異文化間の交流が必要不可欠であり、本学会はまさにそれを目標としています。国際 ICT 利用研究学会という名前も、ICT をキーワードとした異文化間交流と国際化を目的とした学会であることを表しています。まずは日本国内の異分野で活躍している方々の交流、コラボレーションを行い、その内容を世界に発信していくことが重要だと考えます。

本学会の発足以来、多岐にわたった研究分野の方々が参加されています。この度、国際 ICT 利用研究学会では、学会の発足を記念した論文誌創刊号を発行することになりました。この論文誌を見ていただければ、本学会がカバーしている研究分野や趣旨がわかると思います。この記念論文誌を契機として、一人でも多くの方々が本学会に興味を持ち、研究発表や交流の場としてご参加いただければ幸いです。

寄 稿

学会創立記念論文誌発刊に寄せて

富士通株式会社

執行役員 東日本営業本部長 小林 澄人

この度は、国際 ICT 利用研究学会における記念論文誌発刊、誠におめでとうございます。

グローバル化や技術進展などの急速な社会変化が目覚しい昨今ですが、人工知能（AI）や Internet of Things（IoT）などのテクノロジーが叫ばれるようになって以降、更にビジネスや私たちの生活に変化が現れています。富士通は長年の ICT 活用の経験と知見を活かし、デジタル時代の主要技術の開発・高度化に引き続き取り組むと同時に、お客様、パートナー様企業とともにデジタル革新を実現し、新たな価値の創造につなげていきたいと考えております。



また、そのような時代においては、変化に対応できる人材の育成が急務であると認識しており、一人ひとりのより良い学びのために ICT が貢献できる事を日々お客様と共に考えております。迫りくる教育大改革に向けて、学び続ける人を支援し続ける「富士通の教育ビジョン」を旗印に、新たな学びの実証や教育ビッグデータ活用などの取組みを進めており、微力ながらご支援できるよう切磋琢磨して参る所存です。貴学会の更なるご発展と会員の皆様の益々のご健勝、ご活躍を心から祈念申し上げます。

略 歴

- 1982 年 4 月 富士通株式会社入社
- 2012 年 4 月 保険証券ソリューション事業本部長
- 2012 年 6 月 第三金融ビジネス本部長
- 2015 年 4 月 執行役員 東日本営業本部長（現在に至る）

寄 稿

学会創立記念論文誌発刊に寄せて

株式会社富士通マーケティング

執行役員 公共営業本部長 梅田 靖

この度は、国際 ICT 利用研究学会における論文誌を発刊されます事を、心よりお祝い申し上げます。

2016 年 12 月に立命館大学（びわこ・くさつキャンパス）で開催された国際 ICT 利用研究学会 第 1 回全国大会から弊社も協賛させていただき、学会の目的でもある先端技術に関わる啓発と教育、ICT 利用による社会発展への理解を深めさせていただきました。

弊社も富士通グループの中核会社として、ICT ソリューションの提供を通じ、日本の成長と安定を支える企業・公団体のお客様の活動をご支援させていただいております。

今後も貴学会と共に成長、社会への貢献ができるよう日々取り組んでまいります。

結びに、貴学会の更なるご発展と会員様の今後益々のご健勝、ご活躍を心から祈念申し上げましてお祝いの言葉とさせていただきます。



略 歴

1983 年 富士通興業株式会社（現 株式会社富士通マーケティング）入社
2006 年 同 常務理事 関西営業本部副本部長
2010 年 同 執行役員 ヘルスケア事業本部長
2012 年 同 執行役員 公共営業本部長

寄 稿

学会創立記念論文誌発刊によせて

株式会社内田洋行

執行役員 営業本部 高等教育事業部 事業部長 吉永 裕司

学会創立記念論文誌の発刊、おめでとうございます。今回掲載予定の論文タイトルを拝見して、秋に発足したばかりの学会であるにもかかわらず、専門領域の異なる多様な研究者の皆様が広範囲に研究・議論を進めていること、また、「ICT 利用の理解促進と社会の発展に寄与する」という大きな目的に向かって力強く動き出していることを実感しています。これまで、人々の暮らしはテクノロジーの進歩に支えられ豊かになったものの、その代償として環境破壊をはじめとする多くの負の影響も発生しています。



今後、日本は人口減少というかつて経験したことのない時代に突入しますが、私たちの子供達の世代においては、これまで以上に ICT の活用が重要になることは言うまでもありません。

そのような中、ダイバーシティ豊かな本学会を設立した意義は大きく、より良い情報社会を実現するための提言を期待しています。最後に、未筆ながら、国際 ICT 利用研究学会の一層のご発展と皆様方のご活躍を祈念いたします。

略 歴

1984 年 4 月 株式会社内田洋行入社

2006 年 7 月 同 ICT 東日本第 1 営業部 部長

2010 年 7 月 同 執行役員 東日本大学営業部 部長

2013 年 7 月 同 執行役員 公共本部 高等教育事業部 事業部長

2015 年 7 月 同 執行役員 営業本部 高等教育事業部 事業部長（現任）

兼職の状況

ATR Learning Technology 株式会社 取締役

公益社団法人 私立大学情報教育協会 産学連携推進プロジェクト委員会 アドバイザー

寄 稿

学会創立記念論文誌発刊に寄せて

日本データパシフィック株式会社
代表取締役 平 治彦

この度は国際 ICT 利用研究学会の論文誌第 1 号の発刊おめでとうございます。

当社は「ICT 利用の理解促進と社会の発展に寄与する」という学会の目的に賛同して参加させて頂きましたが、1 年目から活発な活動がなされていることを目の当たりにし、今後の学会のさらなる発展を確信している次第です。

さて、私も大学の e-learning に関わる仕事に関わらせていただいておりますが、この数年間の学習環境の変化に驚きを隠せません。

アクティブラーニングに代表される授業スタイルの変化、それによってもたられる評価手法の変化など挙げればきりがありません。

今後の変化の一つとして、AI を利用した教育手法が広まるかもしれません。しかし AI に教育された学生が社会に出て生きていけるのか、また AI による教育は本当に「教育」なのか疑問もあります。国際 ICT 利用研究学会におきましては、ICT を利活用した血の通った研究と教育がなされ、社会の発展に寄与できる人材が継続的に育成されるものと期待しております。



略 歴

1996 年 電気通信大学 電気通信学部 電子情報学科卒業
1996 年 日本データパシフィック株式会社入社
2001 年 株式会社ウェブクラス 代表取締役
2013 年 日本データパシフィック株式会社 代表取締役

ICT 分野におけるグローバルな協業を実現するための教育の提案

福田真規夫
太成学院大学 経営学部

Proposal for Education to Realize Global Collaboration in ICT Field

Makio FUKUDA
Taisei Gakuin University

要旨：本論文では，ICT 産業における特にグローバル展開の状況について分析し，今後グローバル展開を行っていく場合，その障害となるものを挙げ，その障害を克服するための方策について，具体的に提案していく。また，今後 ICT に深く関係していくであろう大学生や若年技術者がグローバルな環境で活躍するために，オフショア開発の視察結果を反映して作成した情報処理教育教材や教育方法の提案も行う。

ABSTRACT: In this paper, we analyze the situation of the global development especially in the ICT industry, and when proceeding with the global development in the future, we will list the obstacles and concretely propose measures to overcome the obstacles. Also, in order for university students and young engineers who will deeply be involved in ICT to become active in the global environment in the future, we also propose information processing education materials and educational methods created reflecting the observation results of Offshore Development.

キーワード：グローバル化，オフショア開発，情報処理教育，ソフトウェア開発，ガラパゴス化

1. はじめに

現在，経済のグローバル化の進展が著しい。あらゆる産業において，例えば，日本で作られたものが，他の国で販売され，他の国で作られたものが，日本で販売されるということがほとんどの製品やサービスにおいて展開され。まさにボーダーレス社会になってきている ICT (Information and Communication Technology) の世界においても，ハードウェアや OS のような基本ソフトウェアおよび通信制御ソフトウェアなどにおいては，ボーダーレス化が進み，純粋に日本製のものは少ない。一方で，日本国内の企業や官庁等で使われているアプリケーション・ソフトウェアは，ほとんど日本で開発・製作され，外国製のものはほとんど無い。現在，携帯電話についてはスマートフォンが主流で，従来型のものの占

有率は少ない。この従来型の「ガラケー」と呼ばれる携帯電話においては，ハードウェアやソフトウェアは，日本で開発され，日本でしか使われない状況が長く続いた。そのため，そこに住む動植物が外界からの影響をうけずに進化していったガラパゴス諸島に良く似た状況に例えて，「ガラパゴス携帯」，つまり「ガラケー」と呼ばれるようになった。

このガラパゴス状況は，携帯電話の世界にとどまらず，その他の ICT 機器についても該当する。また，ソフトウェアの，例えばビジネスソフトウェアやエンターテインメントソフトウェアについては，日本で製造され日本で販売され，使用されているものがほとんどである。これらのガラパゴス化がもたらす問題としては，製造されたものが，ほとんどが日

本で消費され、国外へ輸出されることが少ないということである。

これに対して欧米先進国では、自国以外の国々での開発を行い、またその開発作業を委託している国々の市場へ販売していくという方法が採られている。まさにグローバルなビジネス展開を進めている。この方法は、「オフショア開発」と呼ばれ、先進国が自国で開発する場合に比べて、人件費が少なく済むため、発展途上国に対して開発や製造作業を委託するケースである。ソフトウェア開発などにおいては、国にもよるが、先進国で開発する場合に比べ、その人件費が 2 分の 1 や 5 分の 1 程度で抑えられるためである。

このようなことから、日本のソフトウェア開発の世界に対する競争力は、価格競争力を中心に弱い。また、新たな魅力がある開発案件も少なく、価格と新規性の両面から、ソフトウェア産業全体の競争力の低下をももたせている。このような問題の理由として、① ICT 産業の世界では、特に外国とのコミュニケーションは、英語によることが中心となるが、日本で英語を使って設計や開発業務を行えるレベルに達している技術者が非常に少ない。②日本の場合、和製英語や造語が多用され、それが定着してしまっているため、外国の技術者が参入しにくい状況もある。③オフショア開発の場合、打合せや設計者と製作者の間での文書による指示や報告が行われるが、日本人同士の場合は、口頭による指示や報告が便利で根付いているため、あらゆることについて文書による連絡を行おうとすると、今までの作業内容や手順についての大幅な見直しが必要となる。

このように問題は多いものの、今後日本が ICT のビジネス分野で活躍していくためには、国外の技術者や企業との協働を行っていき、グローバルなソフトウェアビジネスを展開していかなければならない。

本論文では、ICT 産業における特にグローバル展開の状況について分析し、今後グローバル展開を行っていく場合、その障害となるものを挙げ、その障害を克服するための方策

について、具体的に提案していく。また、オフショア開発の視察結果を反映した情報処理の教育教材の提案も行う。

2. ICT産業について

2.1 日本のICT産業の現況

一般社団法人情報サービス産業協会¹によると、日本の経済成長は、ICTの進展により加速、2020年度時点でGDPを約 33.1 兆円の押し上げ効果があるとされている。また、ICTは供給面のみならず需要の創出においても貢献している。しかしながら、経済産業省による「特定サービス産業実態調査¹」における、情報サービス産業の売上高、従業者数および企業数の推移を見ると、2005年から2011年の間は、比較的大幅な増加を見せているが、2012年から2014年にかけては、ほとんど横ばいで大きな増減が見られない。

日本のようにエネルギーや鉱物資源が少なく、食料も輸入に頼らなければならない国は、何か有効な外貨獲得手段を常に持たなければならないのは、従来より強調されてきたことである。日本は、世界的に見ても高学歴という国民的背景もあり、いわゆる ICT 産業のような知識集約産業を基軸にした産業構成で経済活動を行っていくのが、最適な産業政策であろうことは間違いない。

情報通信白書²のICT産業についての記述の特に「2005年～現在：モバイルとクラウドによる共創と競争の時代」をまとめると、現在の状況は以下ようになる。

1) 市場の多様化とグローバル化が急速に進む中、レイヤーによっては、成熟化や寡占化が進んだ。

¹ 参考文献〔1〕一般社団法人情報サービス産業協会

² 参考文献〔2〕平成 27 年版情報通信白書

2)上位レイヤーでは、google や Amazon 等のプラットフォーム・ネット系事業者の影響力が増大した。

3)下位レイヤーにおいては、コモディティ化が続き、低コストで大量生産を実現する中国等新興国の事業者が市場を席巻している。

4)そのため、従来競争優位であった事業者の業績が低迷する等の産業構造が大きく変化してきている。

つまり、サーバーや通信装置などを提供してきたプラットフォーム産業が中心の発展でなく、ICT サービスを提供している事業者が中心に発展し、その一方で、ICT サービス事業者がプラットフォーム事業や端末事業へと展開の幅を広げている。また、2000 年代後半から、世界中に分散したユーザーがサーバーを意識せずサービスを受ける、クラウドコンピューティングの処理形態へと発展してきているとしている。

また、このような状況は、「コモディティ化」の現象を生み出しているとしている。このコモディティ化は、情報通信白書によると、「ある商品の普及が一巡して汎用品化が進み、競合商品間の差別化が難しくなって、価格以外の競争要素がなくなること」としている。つまり、クラウドコンピューティングが進むと、従来のように端末、つまり PC の性能や周辺機器の性能の差の意味の重要さが薄れ、価格以外での差が重要だということを示している。このような ICT 産業を取り巻く環境や構造の変化に対して、従来から設計と生産の縦型一体型あるいは縦型連携で製品やサービスを作り出してきた日本の ICT 産業は、横型のグローバルな国際分業をで作り出されたものとの競争を、今後ますます強いられることになる。

2.2 ICT産業が抱える問題

情報通信白書³⁾によると、「日本のICT産業

の課題として、そのインフラ整備状況に比べてIOT進展指標が低く、人材の育成やユーザー企業へのIOTの導入事例の紹介やIOTの利活用を進める必要がある。」として、特にIOTの導入の進展状況を問題としている。また、「日本の主な産業の強みであった、設計能力と生産能力の垂直統合の高品質製品の生産であったが、アジア諸国におけるグローバルな国際分業によって作られる製品との競争において、コスト面での競争力が大きく減退した。」とされている。

ここで言う「グローバルな国際分業」は、主にデバイス、つまりハードウェアの場合を指している。日本のハードウェアにおける国際分業は、以前から家電製品の分野などにおいて行われてきた。しかしながら、ICT産業のソフトウェア開発や情報サービスの分野においては、ほとんど行われてこなかった。そのため、日本で使われるソフトウェアやユーザーウェアは、そのほとんどが日本製であり、輸出も少ない。また、輸入されるソフトウェアにおいては、設計書やマニュアルなどが一度日本語に翻訳し、日本向けにアレンジなどを施した後に販売されるなどの過程を経るようになっている。しかしながら、ソフトウェアは常に改善され、いわゆるバージョンアップされていくので、日本語に翻訳されたソフトウェアは、諸外国で使用されているソフトウェアに比べて、常に世代の古いものが供給され使用されることになる。

3. オフショア開発について

3.1 オフショア開発とは

我が国のソフトウェア産業では、近年、国外のソフトウェア産業にシステム開発作業を委託するいわゆる「オフショア開発」に関心が高まっている。経済産業省⁴⁾によると、

「ソフトウェア開発規模が増大する一方で、国内の人材不足が深刻化し、開発期間の短縮やコスト削減の要求の強まりに対応するため、

³⁾ 参考文献〔3〕平成 28 年版情報通信白書

⁴⁾ 参考文献〔4〕情報人材白書 2017

安価で豊富な労働力を海外に求めざるを得ない状況があると考えられる。」とのことである。しかしながら、ソフトウェア産業では、製造および販売において、特に中小規模の企業においては、グローバル化が進んでいるとは言い難い状況にある。IPA⁵によると、我が国のオフショア開発の比率は、2011 年度において調査した結果では、従業員 1,000 人規模のソフトウェア産業では約 66%であるが、

100 人規模の企業では約 17%程度である。このような状況から推察するのは、我が国ソフトウェア産業のほとんどを占める中小の規模の企業では、あまり進んでいないことが窺える。欧米先進国においては、アジアや東ヨーロッパの新興国でのオフショア開発が半ば常識的になりつつある。

一方、教育界においては、我が国の大学で多くの留学生を受け入れ、特に著者は情報処理システムについての授業をこれら留学生に対して担当している。このような授業の中では、我が国では既に日常語となっている IT 用語が多用されている。

教育する側は、IT 用語である和製英語・カタカナ英語を多用して授業や演習を行っているが、留学生の側からすると、和製英語・カタカナ英語の形で授業を受けた際には、その意味の理解が困難なため、国語辞典などの日本語辞書、さらには IT 用語辞典の使用が必要となり、このような分野での学習の効率を低下させている。

これらの「オフショア開発」の進展の遅滞や、留学生向けの情報処理授業における問題を解決する方法として、留学生らが、我が国の持つ情報処理技術について、和製英語でなく正しい英語を併用して学ぶことができる教材（学習支援システム）を開発して導入することが最も有効と考える。現に、ソフトウェア産業界においては、その求人において、英語運用能力を持つ技術者に対する需要が増えつつある。さらには、グローバルビジネスを

学ぶ日本人学生にとって、英語を使った情報処理演習に取り組むことは、将来グローバルな社会での活躍を考慮すると、大いに有効であると考ええる。

日本や欧米先進国におけるオフショア開発は、ソフトウェア開発工程の全工程を海外に委託・発注するのでなく、要件分析や設計などの上流工程、営業や企画などは顧客に近い発注者の国側で行い、実装やテストなどの下流工程を受託する側の国で行うことが多い。

このような方法により、高度の専門的知識や企画・設計能力が要求される工程でなく、プログラミングや画像制作などの技能的な能力を要求される工程をオフショア開発で行う。そのため、人件費や事業コストの低い新興国の企業・人材を活用してソフトウェア開発のコスト削減や効率的な開発を目的に、安価で豊富な労働力を海外に求めている。

日本の場合、このようなグローバル化が進んでいるとは言い難い状況にある。その最も大きな理由として、オフショア開発を行うには、ドキュメント作成能力、語学力（英語）などが重要であるが、我が国のようにほぼ単一民族で成り立っている社会では、普段は英語などの外国語の運用能力が必要でなく、かつ「口頭発注」という、作業の指示をわざわざ文書化をする必要が少ない方法が多く採られてきた。

オフショア開発のメリットとしては、新興国のスタッフの人件費は先進国の数分の一程度のことが多く、順調に進められれば大幅なコスト削減が可能であることが最も多い。

しかしながら、デメリットとしては、言葉や商習慣の違いから、意思疎通のコストが嵩んでコストメリットを打ち消してしまったり、品質や契約などをめぐる認識の相違からトラブルになることも多い。それが、我が国のオフショア開発の拡大や進展の障壁となっていると思われる。

3.2 オフショア開発の現地調査

オフショア開発の外国での状況を、著者は 2016 年 2 月 20 日（土）から 29 日（月）ま

⁵ IPA:独立行政法人情報処理推進機構

での期間でフィリピンのセブにおいて、オフショア開発の現状および英語による情報処理研修やその教材について下記の①～⑥の面から調査した。

- ①オフショア開発を請け負っている現地企業の規模や場所について。
- ②現地企業の経営の状況について。
- ③現地企業における具体的な作業内容。
- ④現地企業の技術スタッフの技術的な能力。
- ⑤現地企業の技術者と発注する側の技術者のコミュニケーションの状況を調査する。
- ⑥現地の生活環境や就業環境。

IPA の資料によると、我が国のオフショア開発先として、中国が最も多いことがわかる。中国には、日本に留学経験がある技術者が多いため、語学能力による壁は存在しない。しかし、世界をマーケットとしたソフトウェアを開発するためには、欧米先進国がオフショア開発している国で、しかも人件費が廉価である国となると、日本に比較的近いアジアの中ではフィリピンが該当する。

フィリピンは、外務省の資料によると、面積は日本の約 8 割で約 7,000 の島々から成り立っている国で、国民はマレー系の人々がほとんどである。使用されている言語は、フィリピン語（識字率 89%）であるが、各島では、方言が日常語として使われているため、公用語として英語が以前から使われている。そして、農林水産業の生産高が産業全体の 30% と大きな部分を占めているものの、今後の産業として有力視されているのが、年々増加傾向にある BPO(Business Process

outsourcing: ビジネス・プロセス・アウトソーシング) 産業である。これは具体的には、ソフトウェアのアウトソーシング、米国通販業などのコールセンター、英会話学校（最近ではオンラインによるものが増えている。また、旧来から看護婦・家政婦および船員などを派遣して本国に送金している人々は人口の 1 割で、約 800 万人いるとされている。これらの

人々による本国への毎年の送金額は約 174 億ドルとされている。

本調査では、「BPO のハブ」とされ、米国からのオフショア開発のランキングで 8 位となっているセブでの調査を行った。セブには、英語が公用語であるという BPO のための人的資源やインフラが整っており、セブの中心部に位置する「IT パーク」という場所では、米国系の企業のコールセンター、英語学校やソフトウェア産業は 24 時間体制で運営されている。さらには、珊瑚礁からなる美しい島々や海岸などを活用した観光業も有名である。

本調査では、日本の福岡市に本社があり、フィリピンのセブ、バングラディッシュのダッカにブランチを持つ A 社のセブブランチを訪問した。A 社では、日本の顧客からのソフトウェア開発を受注し、フィリピンとバングラディッシュの両方のブランチに開発作業を発注している。同時にフィリピンとバングラディッシュの両国の技術者に研修を行う事業も行っている。また、日本人（学生や技術者）を対象とした英語を使つてのプログラミングやコンテンツ製作などの技術研修も行っている。

日本からは、主に Web システムの開発やコンピュータを使ったデザイン製作を受注しており、写真 1 のようなオフィスで作業をしている。技術スタッフは、フィリピンおよびバングラディッシュでそれぞれ 40 名程度である。A 社では、このような日本からのアウトソーシ



写真 1. A 社のオフィスの風景

ングを受ける業務以外に、日本の学生や若手技術者向けに研修を行っている。この研修プログラムは、現在次のようなメニューが用意されている。

- ①グローバル IT ディレクターコース（1 週間）
- ②ブリッジ SE コース（1 週間）
- ③初心者向け Web プログラミングコース（1 週間）
- ④初心者向けデザインコース（1 週間）
- ⑥ブリッジディレクターコース（1 ヶ月）

これらのコースの内、②や③は、現地の技術者によるマンツーマンによる英語での指導がつく。これらのコース以外に、日本から自主的に集まってきた大学生らが参加している「起業コース」があり、セブでのランチを提供する店舗をインターシップの形で経営する研修を行っていた。著者は、上記のコースの内、③の初心者向け Web プログラミングコースを受講した。これは、オフショア開発の開発現場からの視点から観るためには、現地の技術者達と一緒にシステム開発業務を行うことが最適と考えた。このコースでは、フィリピン人技術者がマンツーマンによる Web プログラムの作成ツールである Word Press やプロジェクト管理用ツールである Git Hub の使い方についての指導を受けた。

A 社では、開発用のツールとして、基本的にオープンソフトを使用しており、徹底した

開発コストの削減と開発作業の標準化による効率の向上を図っている。また、社内教育や関係会社の技術者への教育・研修用に Olive Code（TV 会議システムという遠隔教育システムを自社開発して運用している。

今回の調査では、現地企業の経営の状況や具体的な作業内容を、社長やスタッフからヒヤリングおよび著者の体験を通して把握することができた。技術スタッフは、ほとんどが大学でコンピュータ科学を専攻しており、プログラミングやプロジェクト管理のための種々のオープンソフトを駆使して効率の高いシステム開発作業を行っていた。また、外国に居る設計者側と制作側のコミュニケーションも TV 会議システムや情報共有システムなどを使い円滑に行われているようであった。

4. 協業を実現するための教育の提案

4.1 教育の目的

ICT 分野におけるグローバルな協業とは、例えば情報システムの開発における各工程の作業を世界中のいろいろな企業で分業し、それぞれの得意な分野で協業することである。この協業によってコスト面はもちろん、品質面や作業効率面でも大きな効果が発揮される。

先にも述べたように、日本の場合、オフショア開発などがまだ普及してなく、国外の企業と共同で開発作業を行うことのノウハウも少ない。ICT 産業やそこで開発作業などに従事する技術者の多くは、まだ経験も少なく慣れていない。しかし、少なくとも今後 10 年以内に、日本の ICT 産業は、このグローバルな協業を本格的に展開しないと、まさしく ICT 産業全体のガラパゴス状態に陥ってしまい、現在のようなリーダー的な地位や存在は瓦解してしまうと思われる。本研究では、日本の ICT 産業におけるグローバルな協業を進め、今後もこの分野でリーダーとなって、ICT 社会を牽引していく若手技術者や学生のための情報処理教育についての新たな方法について提案するものである。

4.2 教育の方法

情報処理システムの開発をグローバルな協業という視点で PBL(Problem Based Learning) 形式で体験することで、システム開発における留意点を学び、どのようなコミュニケーションが必要かを次の手順で学ぶ。

①テーマを設定

どのような目的を持った情報システムにするかについて議論する。

②テーマに関する問題点を抽出

①で決定した情報システムを開発し稼動していくにあたって、予測される問題点をさまざまな視点から列挙する。

③各問題点に対する解決策を案出しディスカッションする。

④解決策を情報システムにより実現する具体的な方法を提案する。

⑤システム開発のスケジュールや実現可能性および継続可能性について検討する。

⑥システムの目的、設計概要、システム導入により得られる効果についてプレゼンテーションを行う。なお、グローバルな協業という視点から、可能な限り英語も交えて行う。さらに、プログラムの設計書やプログラムの実装については、英語を併用した教材を使用する。

5. おわりに

本論文では、ICT 産業の現況の中で、特にグローバルな協業という視点から問題点を提示し、それに対する解決策として、最後に新たな情報処理教育の概要を示した。

グローバルな協業は、世界の国々では、それぞれの強みを生かした形で進められている。我が国でも、特に衣料、家電製品、機械や自動車などの分野においては、かなりの深度でグローバル化が進められている。ICT の分野においては、ハードウェアや基本ソフトウェアについては、他産業並みの協業が行われているし、しかし、アプリケーションソフトウェアについては、ほとんど行われていない状況にある。この問題を解決するためには、ソ

フトウェア産業における協業の方法や設計作業の国際標準への取り組みや大学などの高等教育機関におけるグローバル化を意識した教材の開発や新たな教育方法の開発を早急に行っていく必要がある。

参考文献

- 〔1〕 一般社団法人情報サービス産業協会, "平成 27 年特定サービス産業実態調査・確報", 2016-09-05,
http://www.jisa.or.jp/Portals/0/resource/statistics/jittai_chart2015.pdf?150831 (参照 2017-05-01)
- 〔2〕 総務省, "平成 27 年版情報通信白書", 2015-07-01,
<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h27/pdf/> (参照 2017-05-01)
- 〔3〕 総務省, "平成 28 年版情報通信白書", 2016-07-01,
<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h28/pdf/> (参照 2017-05-01)
- 〔4〕 経済産業省, "情報人材白書 2017", 2017-04-25,
<https://www.ipa.go.jp/jinzai/jigyoku/about.html> (参照 2017-05-01)

著者紹介

福田真規夫



1952 年和歌山県生まれ, 71 年 3 月和歌山県立工業高等学校電気科卒業。同年コンピュー

タ製造業 F 社にて電子交換機のソフトウェア開発に携わる。77 年大阪電気通信大学経営工学科（情報工学専攻）卒業。その後、流通関係企業やコンピュータ製造業 F 社のシステムエンジニアリング部門等を経て、89 年帝国女子短期大学専任講師。96 年大阪国際大学人間科学部教授。2008 年同大現代社会学部教授。14 年同大グローバルビジネス学部教授。17 年太成学院大学経営学部教授。現在に至る。2008 年大阪大学大学院基礎工学研究科博士後期課程修了。博士（工学）。専門は教育工学，ヒューマンインターフェース。経営情報システムや AI を応用した教育システムに興味を持つ。趣味は海洋スポーツ。

e ラーニングにおける学びと学習タイプの適性処遇交互作用に関する考察 ～「e ラーニングはなぜ学ぶ行為を満足させることができないのか」への言承～

菅原良
明星大学明星教育センター

Study about the aptitude-treatment interaction between learning using the e-learning system and learning type of learner

- Reply of "Why cannot e-learning satisfy an act to learn?" -

Ryo Sugawara
Meisei Education Center, Meisei University,

要旨 : e ラーニングで学習する場合に, その萌芽期から問題として提起されてきた「修了率の低さ」は, まだ解決に至っていない問題として改めてクローズアップされた。本研究では, 学習者の修了率が低い原因として, 学習者の学習タイプによって e ラーニングによる学習効果が異なり, e ラーニングによる学びに適さない学習者が存在する可能性があると考え検証を行った。検証の結果, 7 つに分類した学習タイプによって e ラーニングの課題達成率に相違がみられることがわかった。このことは, e ラーニングによる学びと学習者の学習タイプが合致しない場合には, e ラーニングによる学習効果はほとんど示されない可能性があることが示唆された。

キーワード : e ラーニング, 学び, 学習タイプ, 適性処遇交互作用

Abstract: It has drawn a great attention as anew problem yet to be solved that "low completion rate" is the teething problem of e-learning ever since it was introduced into education. In this research, we have verified the hypothesis that the cause of the low completion rate is derived from the possibility of learners who are not suitable for e-learning because the learning effect of e-learning varies depending on the learning type of the learner. Our verification revealed that the task fulfillment rate of e-learning varies according to the learning type which is divided into seven categories. This result suggests that e-learning can produce almost no learning effect when the learning type of a learner does not match e-learning.

Keywords : e-Learning, Act of learning, Learning type, Aptitude-treatment interaction

1. 問題の所在

日本では一般に, 2000 年が e ラーニング元年[1]といわれており, 日本で本格的に e ラーニングシステムの開発と導入, 運用が始まってから 2017 年段階で 17 年が経過したことになる。2000 年当時は「教育のインターネット革命」[2]とする記述もみられ, e ラーニングに対する期待の大きさがみてとれた。しかし, 5 年後の 2005 年には早くも, 学校教育や社会教育, 企業内教育といった様々な教育形態のなかで, 最も普及が期待された高等教育においてさえ, 決して実践段階に達したといえるほどの広がりは見られない[3]という指摘がなされるようになり, e ラーニングに対する失望が表明されるようになった。このような傾向は, 世界に先駆けて e ラーニングを牽引してきたアメリカに

においても顕著であり, 1990 年代における e ラーニングを取り巻く興奮が「広がる失望感」に取って代わった[4]と指摘されるようになった。その原因としては多くの研究者によって様々な問題点が指摘されているが, 例えば, Clark and Mayer[5]は, マルチメディアを活用した学習の実証研究を行ってきた立場から, 今日に e ラーニングとされるものの多くが 30 年前からある CBT (Computer-based Learning) と同じであり, 単に紙ベースの教材(書籍等)をデジタル化してコンピュータネットワーク上に再現したものに過ぎない, という見解を示している。この当時, e ラーニングという新しい学びの道具を活用して, 「何を, どのように, どう学ぶのか」という学びの方法に戸惑いがあり, ま

た、e ラーニングの利点を十分に引き出す ICT (Information and Communication Technology) インフラが整備されていないことなどに起因したものと考えられる。

e ラーニングの登場は、企業内教育における様々なコスト（企業内教育において受講者が学習に充てる時間に費やすコスト、集合教育のために遠隔地から移動するために費やすコスト、集合研修を企画し実施するために費やすコストなど）を削減する必要性が開発と普及を後押ししてきたものである。通信教育や放送メディアを利用した教育、あるいはマルチメディアを活用した教育と比較して、e ラーニングは受講者の都合に合わせて、都合の良い時間に、都合の良い場所で受講することができ、さらに、コンピュータネットワークを介することによって、受講者と教授者との双方向即時通信が可能となり、双方間の課題や質問のやりとりに要する時間（時間的距離）、受講者が遠隔地にいる場合の距離（物理的距離）の短縮をも可能にするという遠隔教育における大きな課題を解決することになった。また、従来の遠隔教育では解決することができなかった、通信教育や放送メディアを利用した遠隔教育における印刷媒体を中心としたもの、あるいは、マルチメディア教育における大容量メディアを利用したものから、通信回線を通じて配信される多彩な学習コンテンツを利用する形態に発展することによって、(1) 学習教材の利用における選択余地が拡大したこと（学習教材選択余地の拡大）、(2) 学習方法において、個別学習・集合学習・双方をミックスしたブレンディッド学習などの様々な形態を選択することができるようになったこと(6)（学習方法選択余地の拡大）、(3) 学習教材の配布・課題の提出、および評価の返却がネットワークを介することによって即時になされるようになったこと（時間的距離の短縮）、(4) 学習過程において質問が生じた場合に、メールなどのツールを利用することによって、速やかに回答を得ることができるようになったこと（学習の効率化）、(5) 受講者と教授者間における一方向的な一対一のコミュニケーションから、ネットワークを介した双方向で速やかなコミュニケーションが可能となった。また、受講者と受講者間におけるコミュニケーションも含んだ双方向、且つ、一対多のコミュニケーションが可能となったこと（双方向・一対多のコミュニケーションの実現）、(6) 教室授業や従来の遠隔教育においては不可能であった、複雑な計算を要する学習者の学習状況（プロフィール）に応じて即時に課題の設定を行い、評価を行う仕組み

がコンピュータネットワークを介することによって実現される可能性が広がったこと[6]、などの整備された ICT 環境を利用しなければ実現できなかった遠隔教育における多くの問題点を解決に導くことが可能になった[7]。

一方、学校教育における e ラーニングの活用を目を向けると、企業内教育で利用されることを目的として開発がなされ、普及してきた e ラーニングは、そのシステムをそのまま学校教育に持ち込んだとしても、その利用が円滑に進むことにはならない。なぜなら、企業内教育の主な目的は、企業の利益を最大限にするための教育であり、学校教育の主な目的は、受講者それぞれの目的に合わせたオーダーメイドの教育であり、アウトラインにおいて目的が異なるからである。

近時、企業内教育にみられるような、資格試験に合格することを目的とした e ラーニング（医療系大学にみられる国家試験対策、語学試験を受験するためのトレーニングなど）が普及し、e ラーニングは学校教育にも広がりを見せている。しかしこれは、教授者が「これを覚えなさい」と指導するような場面における使われ方によって普及してきた側面が大きい。

しかし、これからの学校教育における e ラーニングは、2012 年の文部科学省中央教育審議会答申[8]で示された「従来のような知識の伝達・注入を中心とした授業から、教員と学生が意思疎通を図りつつ、一緒になって切磋琢磨し、相互に刺激を与えながら知的に成長する場を創り、学生が主体的に問題を発見し解を見いだしていく能動的学修（アクティブ・ラーニング）への転換」に資することを目指した、より柔軟なシステムに変わっていくことが重要である。学校教育における e ラーニングの活用は、LMS (Learning Management System)、ソーシャルメディア、SNS (Social Network System)、また、今後の技術革新において出現するかもしれない新しいメディアやシステムなどを包含した形態に変化していくことが予想される。

そこで本稿では、まず 2000 年当時の e ラーニング萌芽期を下支えした学習理論であるインストラクショナルデザイン (ID) から、未発達な ICT インフラに起因する制約が取り除かれ、整備された ICT 環境下における e ラーニングを活用することによって実現が可能になった、「学び」の質の変化と拡大について整理する。次に、筆者が本務校で関わっている、最近の大学教育における e ラーニング活用の事例から、学習効果と学習タイプの関連について検討する。e ラーニング受講者には、自己管理しながら学んでいくことに慣く

ことによって、多くの途中脱落者が出現するといった問題点があるが、これらの学習者は e ラーニングによる「学び」と受講者自身の「学び」のタイプ（本稿では、「適性処遇交互作用」^{注1)}に着目する）にミスマッチがあるのかもしれない。適性処遇交互作用の考え方を手掛かりに、e ラーニングに適した学習タイプが存在する可能性について検討する。

2. e ラーニングをめぐる学習理論の展開

e ラーニングは、長きに渡った郵便を利用した通信教育の時代を経た後、通信マルチメディア教材を使った遠隔教育の時期を経て登場したものである[9]。e ラーニングの登場が、それ以前の通信教育や遠隔教育と比較して漸進的と評されたのは、地理的・時間的に離れている教授者と受講者とがコンピュータネットワークを介することによって、双方向即時通信が可能となり、従来の遠隔教育においては解決することができなかったことを解決に導くことになったことに由来する[7]。

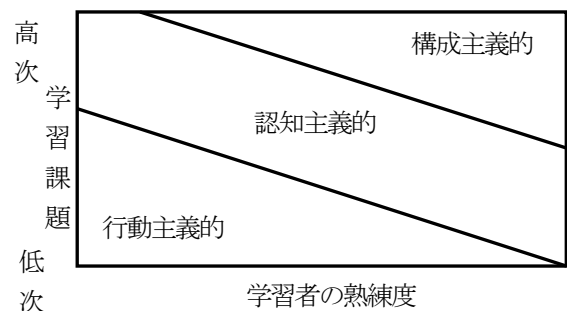
このeラーニングの萌芽期において、教育学の立場から理論的に支えたのが、ガニエが提唱したシステムアプローチ[10][11]である。eラーニングの萌芽期においてシステムアプローチが重用されてきたのは、教授者が決定する最終到達目標の設定、授業目標の決定、授業計画、教材開発、そして評価までの一連の教授サイクルを設計しようとする場合に、システムアプローチの考え方に基づいた一連の教授設計方法が、所与の未発達なICT環境の中で大きなパフォーマンスを得ようとする際に、コンピュータのアルゴリズム設計に極めて親和性が高かったからである。Gagnéのシステムアプローチに似た学習方法としては、Bloom[12][13]が提唱した、マスタリー・ラーニング（完全習得学習）[14][15]がある。

その後の急激なICTの発達に伴い、様々なバリエーションのIDが提唱されるようになった（菅原 2005）。それらのIDの根底にある学習理論は、大きく客観主義(Objectivism)と構成主義(Constructivism)に分けることができる。前者は、さらに行動主義(Behaviorism)と認知主義(Cognitivism)に分けられる。客観主義学習観のメカニズムは、教授に重点が置かれ、事前に教師によって生徒のレベルにあった目標が決められ、教授内容を分析、構造化し、教師から生徒への知識・技能の伝達を効率的に行うことに関心が払われ、構成主義学習観のメカニズムは、学習に重点が置かれ、学習者を取りまく社会的な状況、実際の日常生活に関連する意欲、他者との相互作用などの実体験を通して学習す

ることに関心が払われる[16]。

客観主義と構成主義は、それぞれが拠って立つパラダイムの土台を形成する4つの哲学的疑問（1.「知る」ということはどういうことか、「真理」とはなにか：存在論的疑問、2.「知ろうとする主体」と「知る対象」との関係はどのようなものか：認識論的疑問、3. どのように知識を見つけだすことができるか：方法論的疑問、4. 人間はどのような特徴を持っているか：人間論的疑問）において対立概念として扱われてきた[17][18][19]。客観主義では、「知識」は教授者によって与えられ、構成主義では、「知識」は学習者一人ひとりの頭の中で構成される[20]。鈴木[21]は、行動主義、認知主義、構成主義の関係を「持ち場」概念を使って、学習課題の複雑さと学習者の熟練度の2軸で整理し示している（図1）。

図1 学習者の熟練度



鈴木[22]によれば、行動主義心理学のメカニズムは刺激＝反応と強化であり、学習過程に一定の刺激を与えることによって、刺激に対する反応が発生し、このことによって学習が強化され、これを繰り返すことによって、教授者が意図する学習目標が達成されるとする。

Skinner[23]がスキナーボックスを使ったオペラント条件付けの研究を基に開発したプログラム学習の仕組みは、eラーニングが発達する前の1950年代から1960年代にかけて行なわれたアメリカにおけるCAI(Computer-assisted Instruction)に関わるイリノイ大学のPLATOやブリンガムヤング大学のTICCITなどに代表される諸実験[24][25]と共に、その後のCAIの発達において重要な意味を持つ理論的枠組みである。

認知主義に基づく教授モデルの代表例としては、Gagnéの9教授事象[26]がよく知られている。また、学習の動機づけのプロセスを強調したKeller and Suzuki[27]のARCSモデル(1.注意:Attention, 2.関連性:Relevance, 3.自信:Confidence, 4.満足感:Satisfaction)も、よく知られた認知主義を応用した

アプローチである。

ここまでの議論で述べてきた客観主義（行動主義および認知主義）に基づいた学習モデルは、学習者の学習過程を、ある関係（Inputされた一定の情報を学習者が学習過程において何らかの処理を行い、その処理結果がOutputとして返されるという関係）をもって、一つのつながりやまとまりをなすものと解釈する情報処理系とみなした情報処理モデルである。これらのことから、客観主義の根幹にある考え方は、学習者がより良い学習結果（Output）を獲得するためには、教授目標を達成するために、どのような学習環境を整え、どのような働きかけをするかについての構成要素と手順の計画である教授方略（教授ストラテジー、指導方略などのInput）[28]が適しているか否かということ、教授方略を構成する細かな要素の積み上げ方のいく通りもの組み合わせの中から、より良い教授方略を探索し、構築していこうとする試みの連続体であると解釈することができる。

文部科学省が推進する能動的学修（アクティブ・ラーニング）への転換[8]は、構成主義に基づいた学習観と深く関係している。例えば、Piagetは、発生的認識論[29][30]の枠組みを提唱している。Piagetによると、人間は、外界からの情報を「同化」と「調節」の機能によって獲得することに言及している。同化によって、認知構造がその時点で処理できる情報のみを取り入れ、調節によって、うまく情報を処理できない認知構造を修正してゆく。Piagetは、「学び」という学習者が行なう個々の行為を「スキーマ」という知識のかたまりが形成されていく過程として捉えたのである。

また、Vygotsky[31][32]は、「最近接領域」という概念を提示し、人間の認知機能は社会的・文化的なものを媒介として発達すると考え社会構築主義を提唱した。この考え方によると、発達水準には、子供が独力で解決可能な水準と大人あるいは集団から援助を受けることによって解決することが可能な水準である最近接領域があり、この領域に大人や第三者が働きかけることによって、個人の成熟を待たずに認知的な発達が遂げられると考える。Piagetの発生的認識論でも、Vygotskyの最近接領域でも、知識の獲得は、学習する各個人が知識体系を自ら構成していく過程であると捉える。

日本にeラーニングが導入されて以降、その背後にある理論は、そのほとんどが客観主義学習観に立脚したものであった。Mayerによると、eラーニングにおいて潜在的に教育効果があるのは、第一に、自動的で

致したフィードバック付の練習問題、第二に、独学と共同学習の融合、第三に、熟練度を高めるためのシミュレーションの利用の三つであるという[5]。

「自動的で合致したフィードバック付の練習問題」に関連しては、既に多くのCBT(Computer-based Training あるいは Computer-based Testing)における活用が盛んである。「独学と共同学習の融合」に関連しては、様々な形態のラーニングシステムが提案されてきた。Oliver and Herrington[33]は、ICTを活用した教育における学習理論は、少なからずとも構成主義の原理を踏まえたものであると指摘している。

3. eラーニングにおける学びと学習タイプの適性処遇交互作用

eラーニングで学習する場合に、その萌芽期から大きな問題として提起されてきたのが「修了率の低さ」である。日本eラーニングコンソシアム[34]は、「非同期型の学習の場合、学習ペースを学習者の自発性に任せると、期間内に修了しないことが多かったり、全く学習を行わなかったりする場合がある」と指摘し、「未修了を減らし、修了率を高めるには、進捗の遅い学習者に上司が学習を促すなどの働きかけを行うことが重要である」としている。また、「LMSには、進捗の遅い学習者に自動的にメールを配信して受講を促進する機能を持っているものがある。また、ASPの場合でも、メンターが学習者の進捗状況を監視し、学習が遅れた場合に、適切なアドバイスや激励メールを送付するサービスを提供するベンダーもある」ことを紹介している。このような取組みによって修了率が高くなることは、AO・推薦入試合格者に対する入学前教育にeラーニングを導入している筆者らの取組み[35][36]によっても確認されているが、本来、学習は自発的になされなければならない。この問題点をeラーニングはまだ克服できていない。筆者は、eラーニングが自発性を担保できない背景にあるのは、eラーニングシステム自体の欠陥にあるのではなく、eラーニングで提供するコンテンツ（先にも述べたが、それらの開発思想は認知主義に立脚している場合が多い）が提供している学び方（一般には、「このような勉強の仕方（使い方）をしてください」というマニュアルが示されている）と学習者の学習タイプ（適性処遇交互作用）にズレがある場合に、脱落していつたり、学習効果が低いなどの現象がみられるのではないかと考えることはできないだろうか。つまり、学習者の「適性」（学習タイプなど）と「処遇

(指導法) (eラーニングによる学習) には交互作用があり、両者の組み合わせによって学習効果が異なり、処遇にマッチしない適性を持つ学習者はeラーニングによる学びに適さない仮説である[1]。

ここでは、筆者の本務校で実施した入学前教育におけるeラーニングの難易度を振り分けるためにウェブ上で実施したプレースメントテストにおいて高得点を取った学習者の学習タイプを事例にして考察する。

菅原[37]、菅原・榎本・落合ほか[38]は、eラーニングで学習する学習者の学習タイプを、eラーニングシステムに対するログイン回数を指標として7タイプに分類し(表1)、それぞれのタイプのテスト得点と学習タイプの関連を調べた。

表1 学習タイプの分類

(課題達成)

長期達成	・学習期間を通じてログイン回数が30回以上である。 ・課題を達成している。
中期達成	・学習期間を通じてログイン回数が30回未満である。 ・課題を達成している。

(課題未達)

短期終了未達成	・学習期間を通じてログイン回数が前後半ともに10回以上である。 ・課題を達成していない。
前半集中未達成	・学習期間の前半に10回以上、後半に10回未満ログインし学習している。 ・課題を達成していない。
後半集中未達成	・学習期間の後半に10回以上、前半に10回未満ログインし学習している。 ・課題を達成していない。
非習慣	・学習期間を通じて前後半ともにログイン回数が10回未満。 ・課題を達成していない。
無学習	・一度もログインしていない。

※学習期間は3ヶ月間

その結果、学習タイプによってeラーニングの課題進捗率(学習者に対して提供されたeラーニングコンテンツを最後まで学習することができたかを示す割合)が異なることがわかった。長期達成型と中期達成型では、いずれも課題進捗率は100.0パーセントであるが、課題を達成していない短期終了未達成型では、長期達成型、中期達成型に対して課題進捗率が21.6ポイント低下し、さらに学習期間のうち前半あるいは後半にログイン回数が集中する前半集中未達成型(38.0ポイント低下)および後半集中未達成型(28.7ポイント低下)では、さらに課題進捗率の低下が顕著となる(表2)。

表2 学習タイプ別eラーニング課題進捗率

学習タイプ	課題進捗率
長期達成	100.0(%)
中期達成	100.0
短期学習未達成	78.4
前半集中未達成	62.0
後半集中未達成	71.7
非習慣	33.7
無学習	—
全体	75.6

テスト得点と学習タイプとの関連に関して、成績上位層(国語: ≥ 90 , 英語: ≥ 90)は、ほとんど(国語77.8%, 英語: 88.2%)が、長期達成型および中期達成型のいずれかの学習タイプであった。しかし、得点が下がる(国語 $90 >$, ≥ 80 , 英語 $90 >$, ≥ 65)と、長期達成型及び中期達成型の割合が、国語(64.8%)で13.0ポイント、英語(63.6%)で24.6ポイント低下する。これらの分析から、テスト得点が高いことと、eラーニングの学習期間を通して偏ることなく学習を続けることとの間に正の相関があることが推察される(表3)。

表3 学習タイプとプレースメントテスト得点の関連

		プレースメントテスト得点			
		国語		英語	
		≥ 90	$90 >$, ≥ 80	≥ 90	$90 >$, ≥ 65
学習タイプ	達成率	N:27	N:37	N:17	N:33
長期達成	100.0(%)	10(人)	17(人)	9(人)	15(人)
中期達成	100.0	11	7	6	6
短期終了未達成	<100.0	2	3	—	3
前半集中未達成	<100.0	3	—	1	—
後半集中未達成	<100.0	1	6	1	4
非習慣	<100.0	—	3	—	5
無学習	<100.0	—	1	—	—

4. 考察

本稿では、日本にeラーニングが本格的に導入されたとさせる2000年以降においてeラーニングによる学習がどのように変遷してきたのかを、菅原・村木の論文「なぜeラーニングは学ぶ行為を満足させることができないのか」[39]に対する言承として、2017年段階におけるeラーニングを取り巻くICT環境、教育・学習理論などと関わらせながら論じた。

そのなかで、eラーニングで学習する場合に、その萌芽期から大きな問題として提起されてきた「修了率の低さ」は、まだ解決に至っていない問題(日本eラーニ

ングコンソシアム 2017) として存在することが改めクローズアップされた。従来, この問題は学習者にとって学びやすいeラーニングシステムの開発,あるいは進捗の遅い学習者に学習を促すなどの働きかけを行う, LMSを利用して, 進捗の遅い学習者にメールを配信して受講を促進する, メンターが学習者の進捗状況を監視し, 学習が遅れた場合に, 適切なアドバイスや激励メールを送付するなどによって解決されと考えられ, 様々な工夫がなされてきた。

しかし本稿では, 学習者の修了率が低いのは, 学習者の学習タイプとeラーニングによる学習には交互作用があり, 両者の組み合わせによって学習効果が異なり, eラーニングによる学習に合致しない学習タイプの学習者はeラーニングによる学びに(システムアプローチによる開発思想に基づいたeラーニングシステムによる学習)に適さないと考え検証を行った。

その結果, 学習タイプによってeラーニングの課題達成率(学習者に対して提供されたeラーニングコンテンツを最後まで学習することができたかを示す割合)に大きな相違がみられることがわかった。このことは, eラーニングによる学びと学習者の学習タイプが合致しない(適性処遇交互作用に不一致がある)学習者には, eラーニングによる学習は適さない可能性があることが示唆された。

注

注1) アメリカの教育心理学者クロンバックが用いた概念で, 個別指導を重視する考え方の理論背景ともなっている。学習者の「適性」とは, その個人を特徴づける特性のことで, 学力や既有知識, 性格, 態度, 興味・感心, 学習スタイルなどがこれにあたる。また「処遇」とは指導方法の条件のことで, 指導の手法, 課題, かかわり方, カリキュラム, 学習環境などがあげられる。

参考文献

- [1] 先進学習基盤協議会(2003) eラーニングが創る近未来教育—最新eラーニング実践事例集—。オーム社, 東京
- [2] 坂出康志(2000) Eラーニング 教育のインターネット革命。東洋経済新聞社, 東京
- [3] 吉田文(2005) eラーニング実践を規定する組織内要因。日本教育工学会論文誌, 29:187-196

- [4] Zemsky, R. and Massy, F. W.(2004) *Why the E-Learning Boom Went Bust*. The Chronicle of Higher-Education, July 9
- [5] Clark, R.C., and Mayer, R. E.(2003) *E-Learning and the science of instruction: Proven guideline for consumers and designers of multimedia learning*. Jossey-Bass/Pfeiffer
- [6] Linn, R. L.,(1989) *Educational Measurement 3d Ed*. National Council on Measurement in Education, American Council on Education. American Council on Educational and Macmillan Publishing Company A Division of Macmillan, Inc. (池田央, 藤田恵壘, 柳井晴夫, 繁杵算男(編訳)(1992) 教育測定学. C.S.L.学習評価研究所, 東京)
- [7] 菅原良(2005) eラーニングの発展と企業内教育。大学教育出版, 東京
- [8] 文部科学省中央教育審議会 (2012) 新たな未来を築くための大学教育の質的転換に向けて～生涯学び続け, 主体的に考える力を育成する大学へ～(答申)
- [9] 鈴木克明(1997) 第3章マルチメディアと教育, 赤堀侃司(編著) 高度情報社会の中の学校～最先端の学校づくりを目指す～。ぎょうせい, 東京。
- [10] Gagné R. M., and Briggs L. J. (1979) *Principles of Instructional Design 2d Ed*. Holt, Rinehart and Winston, New York. (持留英世, 持留初世(訳)(1986) カリキュラムと授業の構成。北大路書房, 京都。)
- [11] Gagné R. M., Wager W. W., Golas K. C., and Keller J. M. (2004) *Principles of Instructional Design 5d Ed*. Wadsworth Pub, New York. (岩崎信, 鈴木克明(監訳)(2007) インストラクショナルデザインの原理。北大路書房, 京都)
- [12] Bloom, S.B. and Hastings, J. T.,(1971) *Handbook of Formative and Summative Evaluation of Student Learning*. McGraw-Hill, New York.
- [13] Bloom, S.B.,(1980) *All Our Children Learning*. McGraw-Hill Education, New York.
- [14] 金豪権(1976) 完全習得学習の原理—マスター・ラーニング。文化開発社, 東京
- [15] 梶田叡一・植田稔 (1976) 形成的評価による完全習得学習の原理。明治図書出版, 東京
- [16] 久保田賢一(1995) 教授・学習理論の哲学的前提。日本教育工学雑誌, 18:219-231

- [17] Burrell, G. and Morgan, G.(1979) *Sociological Paradigms and Organizational Analysis*. Heinemann, Portsmouth, New Hampshire
- [18] Lincoln, Y. and Guba, E.(1985) *Naturalistic inquiry*. Sage Publications, Beverly Hills
- [19] Guba, E. and Lincoln, Y.(1989) *Fourth Generation Evaluation*. Sage Publications, Newbury Park
- [20] Committee on Developments in Science of Learning, Bransford, J.D., Brown, A., and Cocking, R. R., (Eds.) . *How people learn: Brain, mind, experience, and school* (Expanded Ed.). National Research Council. (米国学術研究推進会議(編著) 森俊昭, 秋田喜代美 (監訳) (2002) 授業を変える: 認知心理学のさらなる挑戦. 北大路書房, 東京)
- [21] 鈴木克明(編著)(2004) 詳説インストラクショナルデザイン: e ラーニングファンダメンタル. 特定非営利活動法人日本イーラーニングコンソシアム(パッケージ版テキスト), 東京.
- [22] 鈴木克明(2005) 教育・学習のモデルと ICT 利用の展望: 教授設計理論の視座から. 教育システム情報学会誌, **22**(1): 42-53
- [23] Skinner B. F., (1965) *Science and Human Behavior*. Free Pr, New York. (河合伊六, 高山巖, 園田順一, 長谷川芳典, 藤田継道(訳) (2003) 科学と人間行動. 二瓶社, 東京)
- [24] Rockart, J. F., and Morton, M. S. S. (1975) *Computers and the learning process in higher education*, McGraw-Hill, New York.
- [25] Chambers, J. F., and Morton M. S. S.(1983) *Computer-Assisted Instruction*, Prentice-Hall, New Jersey. (日本知識工学会, 詫間晋平, 菅井勝雄(監訳) (1986) コンピュータ利用の教室学習 同文書院, 東京)
- [26] 鈴木克明(1989) 米国における授業設計モデル研究の動向. 日本教育工学雑誌, **13**(1):1-14
- [27] Keller, J. M., and Suzuki, K. (1988) *Use of the ARCS motivation model in courseware design*, In D. H. Jonassen (ED), *Instructional Design for microcomputer courseware*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- [28] 鈴木克明(2000)教授方略. 日本教育工学会(編) 教育工学事典. 実教出版, 東京
- [29] ピアジェ, J.(著),滝沢武久・佐々木明(訳)(1970) 構造主義. 白水社, 東京
- [30] ピアジェ, J.(著),滝沢武久(訳)(1972) 発生的認識論. 白水社, 東京
- [31] Vygotsky, L. S.,(1980) *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes*. Harvard Univ Pr, New York
- [32] 明神もと子(2003) はじめて学ぶヴィゴツキー心理学—その生き方と子ども研究. 新読書社, 東京
- [33] Herrington, J., & Oliver, R. (2000). *An instructional design framework for authentic learning environments*. Educational Technology Research and Development, 48(3), 23-48.
- [34] 日本 e ラーニングコンソシアム(2017)用語集「修了率」
(<http://www.elc.or.jp/keyword/detail/id=115>)
(2017 年 5 月 5 日閲覧)
- [35] 明星大学明星教育センター(2016) 平成 27 年度 入学前教育報告書
- [36] 明星大学明星教育センター(2017) 平成 28 年度 入学前教育報告書
- [37] 菅原良(2017)AO・推薦入試合格者の学力推移と学習傾向～入学前教育におけるブレースメントテスト及び修了テストの統計分析から～. 明星大学明星教育センター研究紀要, 7:49-56
- [38] 菅原良・榎本達彦・落合一泰・太田昌宏・鈴木浩子・高橋南海子・平塚大輔・南愛・百木英明・新村聡・御厨まり子・尼岡利崇・菊地滋夫
(2017)AO・推薦入試合格者の学習習慣の改善と学力向上を目的とした e ラーニングの活用, 日本教育工学会研究会報告集“協働的な学びづくり”, 403-406
- [39] 菅原良・村木英治(2007)なぜ e ラーニングは「学ぶ」行為を満足させることができないのか. 教育情報学研究, 5:1-10

著者紹介

菅原良

2009 年東北大学大学院教育情報学部博士課程修了。博士 (教育情報学)。2010 年北海道文教大学外国語学部国際言語学科准教授。2013 年秋田大学教育推進総合センター特任教授。2015 年明星大学明星教育センター特任准教授を経て、2017 年特任教授。コンピュータ利用教育, キャリア教育研究に従事。国際 ICT 利用研究学会理事。

ICT に対する養育者の態度と子どもへの影響

～愛着障害の視点から考える～

青木智子 水國照充¹
平成国際大学スポーツ健康学部

Attitudes of parents to ICT and their impact on children

Tomoko AOKI Terumitsu MIZUKUNI¹

¹Faculty of Sport and Health Studies, Heisei International University

要 旨 ICTは養育者の育児情報の収集だけでなく、育児ツールのひとつとして活用されている。そもそも、養育者のICTにおける育児情報収集の満足度は高く、自治体が提供する情報アプリケーションは広く活用され、育児日記などのアプリは、紙に代わる記録媒体として人気が高い。一方、近年、社会問題としても注目をあびているスマホ育児は、①養育者の子育てにおけるしつけアプリ・知育アプリや動画視聴などのICTに対する依存、②養育者が育児中にICT操作に没頭し、無自覚なまま子どもから目を離している態度、という2つの視点から見る事ができる。本研究は、ICTの過剰な利用が子どもたち、養育者の心身に様々な影響を与えていることに目を向け、養育者によるICTの適切な利用と子どもが受ける影響としての愛着障害について検討する。

キーワード：スマホ、ネット依存、育児、愛着障害、養育者

Abstract ICT is used not only as parent parenting information but also as a child-rearing tool. The satisfaction level of collecting parenting information by parent ICT is high. It seems that parents are utilizing the information application created by the administration. Childcare diaries and applications as recording media are used as an alternative to paper. Smartphone childcare can be seen from two perspectives. ① Parents take care of their children using ICT such as education application on smartphone ② Parents are absorbed in smartphone operation while parenting while unaware. This study examines the various effects that parent ICT addiction will bring to children. Therefore, It will consider appropriate use of parent ICT from a viewpoint of attachment disorder.

Keywords: smartphone, internet addiction, child care, attachment, attachment disorder

1. はじめに

スマートフォン（以下、スマホと記述する）やタブレット端末等ICT¹の急速な普及は、誰もが時間や場所を選ばずにインターネットに接続できる環境をもたらした。コミュニケーション機能をも有するICTは社会生活全般の利便性を高めただけでなく教育、医療、地域振興、購買等さまざまな分野で活用されている。

子どもの育ちに関係する教育場面においては、平成

22年「教育の情報化に関する手引」で、教育の情報化が円滑かつ確実に実施されることが目指された。^[1] 具体的な学習内容を示す学習指導要領^[2]においても、小学校では平成23年度から、中学校では平成24年度から、情報教育や授業でのICT活用など、学校での教育の情報化について一層の充実が謳われている。たとえば、小学校では各教科等の指導にあたり、コンピュータで文字を入力するなどの基本的な操作を身につけること、情報モラルを身に付けること、さらには情報手段を適切に活用できるようにするための学習活動充実、などが示されている。具体的には小学校・国語では「新聞やインターネット、学校図書館等の施設などを活用

¹ ここでいうICTの定義は、後述する日本小児科会の示すメディア、すなわちテレビ、ビデオ、テレビゲーム、携帯用ゲーム、インターネット、携帯電話などが含むものである

して得た情報を比較する」(第 2 学年)、社会では「資料の収集、処理や発表などにあたって、コンピュータや情報通信ネットワークなどを積極的に活用し、指導に生かす」(指導計画と内容の取扱い)、美術では「美術の表現の可能性を広げるために、写真・ビデオ・コンピュータ等の映像メディアの積極的な活用を図る」(指導計画と内容の取扱い) などとある。

これに追従するように、ICT に対する保護者²の意識も高い。小学生から高校生までの子どもを持つ保護者 4,700 名を対象とした、「子どもの ICT 活用能力に係る保護者の意識に関する調査報告書(2015)」^[3]では、9 割以上の保護者が子どもの将来にとって ICT の活用は必要である、6 割以上の保護者が子どもの ICT 活用能力のために家庭での指導が重要だと回答した。

その一方で、文部科学省は国内の小学校 6 年生および中学校 3 年生の全児童・生徒を対象とした「全国学力・学習状況調査(2014)」で、同時実施したアンケート調査の結果から、学習習慣・生活習慣やメディア接触状況と学力との関連関係を指摘し、携帯電話・スマホの利用時間が短い児童・生徒ほど学力テストの平均正答率が高い傾向にあると指摘している^[4]。ここには、多くの保護者が子どもに ICT は重要と考えながら、スマホや携帯電話という ICT 利用時間の短さが高学力に結びつくという矛盾した調査結果が見て取れる。保護者にとっての ICT とは、PC 操作やネットを用いた情報収集などに活用され、主に就学等に役立つものというイメージであり、スマホやタブレット端末のゲームは別なものとして捉えられているのかもしれない。

ICT、特に持ち運べるスマホやタブレットにおけるアプリケーション(以下、アプリと記述する)は、誰もが時間や場所を選ばずに楽しむことを可能にした。結果として、子どもたちの学習時間だけでなく運動時間の低下、昼夜逆転など生活習慣、登校や睡眠にまで影響をもたらし、LINE などの SNS やインターネット上の新しいコミュニケーション形態も、子ども社会でのいじめや依存、犯罪など深刻な問題を生じさせている。このように、ICT が子ども社会の遊びや人間・友達関係、生活習慣などに様々な変化をもたらしていることは多くの研究・報道等にも明らかであろう。

さらに、近年では、ICT に触れる前段階とも考えられていた就学前の子どもたちへの弊害が叫ばれるようになってきている。

一子どもが外出先で騒ぎ、アニメの動画を見せたら静

かなった。「子どもが騒いで周囲の人に舌打ちされ、スマホに頼ってしまった。一度使わされると、見せて～、見せて～と言い止められなくなった」^[5]などがその例である。子どもは自発的に ICT に触れるようになったのではない。養育者が与えたスマホやタブレット端末を楽しみ、その楽しさを学習し、更にスマホをせがむという行動を繰り返すのだろう。また、子どもたちは養育者が ICT 操作に没頭している様も、しばしば目にしている。ICT は面白いものであり、身近な者たちも積極的に利用している、だからこそ自分もまた使ってみてみたい、使ってもいいのだと理解するのだろう。

養育者が家庭内や外出先で乳幼児でも操作可能なアプリが入ったスマホやタブレットを手渡し、動画やゲームをさせる、泣き出した乳児をあやす、なだめるなどの態度は「スマホ育児」とよばれる。これらは、「スマホによる子育て」、「スマホネグレクト」^[6]、「スマホ放置」などと表現されることもある。諸富はこれらを「小さな虐待」^[7]ととらえた。

スマホがない時代、養育者たちは周囲を気にしながら、子どもを抱えてその場を立ち去る、なだめる、鞆から遊具を取り出して子どもの気を逸らすなど工夫をしてきた。無論、現在もそのような養育者の姿を見ることは少なくない。しかしながら、近年、スマホを含む ICT は、「子守り」道具の一つとしても利用されるようになってきた。養育者と子どもが共に動画やゲームを楽しむというならまだしも、子どもは ICT を自ら操作し、あたかも ICT に「子守り」されているかのような状態に置かれる。子どもにとって ICT は玩具の 1 つでもある。これにくわえ、養育者自身がスマホに夢中になり、子どもの要求や変化に気付けないなど、育児を放棄しているかのような態度が見られることもある。

スマホによる子育ては、広義には、ネットを通して子育てに関する情報収集することなども含まれる。その機能の活用は、子どもの教育や養育支援にも繋がるだろう。しかし、養育者の ICT に対する態度が子どもに与える影響への懸念も少なくない。本稿では、特に ICT が広く養育を含む教育場面にどのように活用され、どのような影響を与えているのかという現状に目を向けてみたい。

2. ICT と子育てをめぐる環境

2.1 子育てツールとしてのメディア・スマホ

核家族化や地域連帯感の希薄化などの社会背景から、母親たちは子育て支援が受けにくく、孤立しがちな傾

² 「保護者」、「養育者」とする記述があるが、特に「養育者」は乳幼児を養育する親という文脈から使用した。

向にあると言われて久しい。特に乳幼児の養育は目が離せないことも多く、養育者は私的な時間を割き、膨大な時間を子育てに費やしている。外出もままならない彼らの間で、ネットは子育てサポートツールとしても機能しており、インターネット利用で育児・子育て情報を入手している母親は約 8 割に上る。^[8]

「ICTで子育て支援」を標榜する世田谷区は、平成 27 年から、個々のニーズに対応したサービスを受けられる利用者支援事業の一端を担うツールとして、スマホによる「せたがた子育て応援アプリ」をスタートさせた。妊娠期から小学校就学前の子育て家庭を対象としたこのアプリは、養育者の孤立や不安軽減、待機児童の減少などに効果のある情報伝達を大きな目的としている。そのコンテンツは、①施設マップ：GPS機能を活用したトイレやおむつかえ、授乳スペース情報、公園、公民館などの地図情報、②子育て申請情報、③保育・教育施設検索、④配信：子どもの生年月日にあわせた予防接種や健康診断通知、⑤年齢・地域に応じた保育園空き情報、⑥区が実施する育児イベント一覧、⑦緊急情報：24 時間診療の病院検索などの情報が確認できる。^[9] このシステムは、自治体からの連絡等を知ることが難しい世帯でも、家事や仕事の空き時間に必要な情報を得ることを可能にした。また、その情報コンテンツも養育者が子どもとの外出時に必要な日常的なものから、養育者の社会生活にも関わる保育園待機児童情報、子どもの将来や教育に関係するものと多岐にわたる。世田谷区に限らず、このような取り組みを積極的に行う自治体³は急増している。

千葉県柏市の実施に代表される「電子親子手帳」^[10]もその一つである。妊婦の健康診断結果や未就学児の成長記録をネット上で管理できる。岡山大学のグループは、母子健康手帳の電子化を目指して、スマホ等のアプリで、養育者本人による書き込みで妊娠の経過、推定体重、胎児のエコー写真等を記録できる基本機能にくわえて、医療機関から妊産婦に提供される診療情報が電子的に閲覧できる一連のプロセスの構築を試みた。この開発に際して、外部評価委員会は「紙媒体では読み返しができるといいう良さがある」、「個人情報の観点より情報は母親が入力するのが良いのではないか」、「母子健康手帳のアクセス権をどのように設定するのか」、「外部からモニタリングができれば、母子健康手帳の更新がされていないという情報を得る事ができ、虐待やネグレクトへの早期発見につながる」「妊娠

期・乳幼児期・児童期において管轄する省庁が変わるため、分断された情報をつなぐ役割になる」「妊婦・母親への質問に対するレスポンスは可能か、利用者増加を求めるならばレスポンスが必要だろう」「電子化を行うと妊婦・母親が保健師と面談する機会がなくなる」などの積極的な意見が示されたという。^[11]これらの指摘は、今後、類似したアプリ開発時に役立つものである。

上述のように、スマホによるアプリ、すなわち ICT による自治体からの案内・サービス伝達は紙媒体の広報は、広い対象者への告知を可能にした。また、自治体側が子どもの健康管理や虐待等の前兆を知ることができるツールとして今後の活用も期待できる。

ICT は、これまで育児書などから得ていた育児情報の取得に変化をもたらした。他者のブログ等で育児日記が参考でき、離乳食の作り方や子どもの発達で気になる点、病気か否か判断できずに他者に質問したい場合など、ネットを通して即座に答えが得られる。

育児に関するアプリは、アプリで育児日記を書く、授乳や排せつ時間をメモする（授乳アプリ）など、記録媒体としての機能活用を促す結果にもつながっている。さらにスマホは、カメラで撮影した写真を、ビデオで撮影した動画の機能をも兼ね備え、高い汎用性をも有している。

これにくわえて、ICT のコミュニケーション機能は、子どもから目が離せない状態にある養育者へのセーフティネットとしてメールや SNS の活用を促し、これまでの友人関係や人間関係を維持するツールとしての機能をも果たしている。近年の ICT は育児のスタイルそのものを変えているといっても過言でないだろう。

2.2 子どもの遊び道具としての ICT

スマホのアプリは、子どもとの外出・移動時に保護者が YouTube など動画のアニメーション視聴をも可能にし、ぐずる子どもの気分転換や、空き時間を楽しむ玩具・遊具としても利用されている。これらは小型画面ではあるが、持ち運べる DVD、テレビとしての役割をも果たすものである。

子育てアプリ「鬼から電話」は、子どもが養育者の言うことを聞かない・歯磨きしないなど、子どもを叱っても望ましい態度変容が見られない場合、養育者の設定により、着信音が鳴るというものである。鬼などのキャラクターから子どもあてに電話がかかり、電話に出た子どもはキャラクターに叱られ、諭されることになる。いわば、アプリが養育者に代わって子どもに

³京都市「京都はぐくみアプリ」、大阪市天王寺区「ぎゅっと！」などが知られる。

教育を施してくれる。

しつけアプリ「子ども静かにタイマー」はマイク機能を活用し、子どもの音声レベルが超えた場合、怖い犬が怒って吠え出すというものである。子どもが一定時間静かにいれるよう、女の子のナビゲーターが常に画面上で励ましてくれる。子どもはゲーム感覚で「待つ」という態度を学ぶことができる。このように、子どもの教育につながるゲームや、絵本などに代表される知育アプリは、養育者が無料で入手できるもの多く、手軽に利用でき、育児に望ましく思われるものも多い。

日本小児科医会 (2004) は、

- ① 2 歳までのテレビ・ビデオ視聴を控える
- ② 授乳中、食事時のテレビ・ビデオ視聴を控える
- ③ 全メディアへ接触する総時間を 1 日 2 時間までとし、テレビゲームは 1 日 30 分までを目安とする
- ④ 子ども部屋にはテレビ・ビデオ・PC は置かない
- ⑤ 保護者と子ともにメディアを上手に利用するルールを作る

とする「子どもとメディアの問題に対する提言」^[12]を行った。ここでのメディアとはテレビ、ビデオ、テレビゲーム、携帯用ゲーム、インターネット、携帯電話などを含んでいる。

乳幼児期の子どもは、身近な他者すなわち養育者との相互関係、遊びなどの実体験を重ねることで、人間関係を築き、心と身体を成長させる。しかし、乳児期からの過剰なメディア曝露はそれらを阻害する。実際に、メディアが乳幼児に運動不足、睡眠不足、コミュニケーション能力の低下などを生じさせており、結果として心身の発達の遅れや歪みが生じた事例が臨床現場で見られることは少なくない。その根底には、象徴機能が未熟な 2 歳以下の子ども、発達に問題のある子どものテレビ画面への早期接触や長時間化は、親子が顔を合わせて一緒に遊ぶ時間を奪い、言葉や心の発達を妨げるとする考え方がある。そのうえで、メディアによって与えられる情報の質、影響を問いながら、一方でメディアを活用し、批判的な見方を含めて読み解く力 (メディアリテラシー) を育てるべきだとするのが提言の趣旨である。

1953 年のテレビの登場以来、ビデオ、テレビゲーム、パソコン、パソコンによるゲーム、携帯電話、スマホ、SNS やゲーム、アプリの多用など時代の変遷と共に、メディアの有り様も様々な変化を遂げてきた。従来の IT (information technology) は ICT (information and

communication technology) として、そのコミュニケーション機能を飛躍的に向上させた。

この歴史的なメディアの変遷に伴い、メディアが人間に与える効果・影響についてはさまざまな研究が行われて来た。日本は、アメリカやイギリスより早い段階で、0 歳代を含め乳幼児とメディアに関する研究を開始している。NHK 幼児の生活時間調査 (首都圏:1979 年、秋田・大阪 1980 年) は、生後 4 か月以上の乳幼児の日常生活、テレビ視聴の実態、テレビへの乳幼児の様々な反応を明らかにする目的で実施されたもので、結果、「2~4 歳の幼児が小中学生より長時間テレビに接している」、「画面の動きに応じた反射的な動作は、内容の理解ができない時期から盛んである」、「乳幼児は 0 歳代からテレビ画面への関心を示し、1 歳半から 2 歳にかけて番組内容の理解をはじめ、3 歳では大部分の子どもが習慣的な視聴をするようになる」などが報告された。

ビデオやテレビゲーム等のメディアが家庭に普及した実施した同種の調査結果 (2003 年) と比較すると、テレビ接触時期は早まっているものの、乳幼児の映像メディア接触時間に増大傾向はなく、ビデオやゲームに使われる時間はそれまでのテレビ視聴時間と置き換わっているようだとする指摘も見られる。^[13] 後に、家庭のテレビが双方向性を持ち、テレビで複数のメンバーとゲームができるなどのコミュニケーション機能が加わった現在、子どものメディアに対する態度や意識がどのように変化を遂げているのかについては、今後の研究に興味が持たれるところである。

2013 年、日本小児科医会は「スマホに子守りをさせないで!」という啓発運動をスタートした^[14]。具体的には以下の 5 つが重要とされる。

- ① 赤ちゃんとも目と目を合わせ、語りかけることで赤ちゃんの安心感と親子の愛着がうまれる
- ② 親子が同じものに向き合って過ごす絵本の読み聞かせは、親子が共に育つ大切な時間である
- ③ ムズがる赤ちゃんに子育てアプリの画面で応えることは、赤ちゃんの育ちをゆがめる可能性がある
- ④ 親も子供もメディア機器接触時間のコントロールが大切である。親子の会話や体験を共有する時間が奪われてしまう
- ⑤ 散歩や外遊びなどで親と一緒に過ごすことは子どもの体力・運動能力そして五感や共感力を育む

親がスマホに没頭し子どもへの興味・関心を無視し

たままであると、彼らへの安全配慮が難しくなる。これにくわえて、子どもとの情緒的交流は乏しくなり、コミュニケーションやボディタッチの機会の減少が心身の発達にネガティブな影響を与える。これらは、2004 年と同様に、養育者の子どもに対する ICT へ態度を警告するものである。ただし、スマホに子守りをさせないでという名称に象徴されるように、この背景には、近年問題とされている、子育て中にある養育者の ICT、特にスマホ依存が増加という現状がある。

2.3 乳幼児に与えられるスマホ

今月発表された、0 歳～満 9 歳の子どもの保護者を対象に 1,550 人から回答を得た、低年齢層の子供のインターネット利用環境実態調査(2017)^[16]は、ICT すなわち、スマホ(格安スマホ、子ども向けスマホ、携帯電話の契約が切れたスマホを含む)や携帯電話(子ども向け携帯電話を含む)、PC(ノート、デスクトップ)、タブレット端末(学習用タブレット、子ども向け娯楽用タブレットを含む)、携帯音楽プレーヤー、ゲーム機(携帯、据置型)、ネット接続テレビのいずれかの ICT を利用する子どもは全体の 57.4%、いずれかの機器でネットを利用している者は 39.2%と報告している。ネットを利用者のうち 77.5%が 1 人で操作することもあるという。その ICT は、携帯ゲーム機 88.4%、携帯電話の契約が切れたスマートフォン 86.7%が上位にあげられた。ICT 利用は年齢が高くなるにしたがって上昇し、スマホ単独での利用率(内はネット接続)は、0 歳児 3.1%(3.1%)、1 歳児 5.8%(5.0%)、2 歳児 32.1%(24.1%)、4 歳児 40.5%(29.8%)であった。スマホを含む ICT の利用は、3 歳が 37.4%、4 歳児 50.4%と、半数を超える。

ネットの利用目的は、動画視聴 85.4%、ゲーム 65.8%、知育(言葉、数遊びなど)が 30.4%を占める。いずれかの ICT を利用する者のうち、43.8%が子ども専用機を使用し、6 歳からの使用割合が大きく上昇する。子ども専用機は、学習用タブレット 88.5%、子供向け携帯電話 80.5%が上位であった。その内容は、動画視聴が全年齢で多く、ゲームは年齢共に利用率が上昇し、2 歳で 23.9%、9 歳では 81.7%を示した。コミュニケーションや情報検索は、7 歳以降の利用割合が大きくなる。また、1 日あたりのネットの利用平均時間は 60.9 分だった。⁴

⁴ ICT 先進国である韓国でも、「スマホ育児」は問題視されている。育児政策研究所がスマホ依存が懸念される乳児 9 人(3~5 歳)の事例を分析し、彼らの感情表現の幼さ、同年齢の子供との関係が悪く、意思

あわせて、乳幼児とスマホの調査研究の近年の代表的なもの^{[16][17][18]}も含めて検討すると、数値にばらつきがあるものの、乳幼児の半数が 4 歳頃までにスマホなど ICT に触れており、ほぼ毎日使用している者も半数に上る。乳幼児は写真や動画の閲覧が多いが、3~6 歳では、ネット上の動画閲覧、ゲーム、知育アプリの利用が増加する。次第にゲーム利用率が高まり、小学校以降 7 歳になると、ネット検索やコミュニケーションツールの利用率が上昇する。育児アプリが主に乳幼児を対象にしたものであることを勘案すると、自然な流れとも考えられよう。また、就学後には学校で ICT に増える機会が増加すると共に、安全などの面から保護者が子ども専用機の携帯電話などを持たせるケースも多く、結果として ICT と関わる機会は上昇するが、乳幼児の場合、養育者の家事・移動時間などの事情や状況が子どもの利用に影響すると推測される。いずれにせよ、ICT により子どもの機嫌はよくなり、さらに ICT を使いたがるようになる。また、養育者も ICT を手渡すことで子どもの機嫌が良くなり、喜ぶという状況を繰り返すと、自分自身で解決困難な問題が生じた場合に、ICT に頼ることが増加すると考えられる。前述した NHK による 1979 年、2003 年の乳幼児とメディアの調査結果^[10]でも指摘されているように、従来、子どもたちが興味・関心を向けていたテレビ視聴が、メディアの有り様の変化に伴い、ICT やスマホへ置き変わってきたとも理解できる。

未就学児等の ICT 利活用に係る保護者の意識に関する調査報告書(2017)^[16]は、この推測を裏付けるより具体的な乳幼児から学童期への移行状況が示されている。0~3 歳児は 7 割がスマホを利用しているが、年齢の上昇に伴いその利用率は減少し、PC 等の他の端末の利用率が上がる。未就学児の 3 割は端末の操作を自発的に修得しており、動画や知育アプリを好むが、小学生になると、インターネット検索機能の利用割合が増加し、利用率は小学 4~6 年生の 39.0%に上る。

一方で、8 割以上の保護者が、子どもが将来、情報通信端末を利用できるようになることに肯定的であった。子どもに ICT を利用させていない保護者(全体 4

疏通の困難さ、攻撃的傾向が見られたという。スマホに初めて接した時期が 24 ヶ月未満の子どもたちの攻撃性の強さや、幼児のスマホ使用時間が長いほど他者の情緒を共感する能力が劣ったなどの研究結果もある。(3세 미만 아이, 스마트폰 자주 보면 두뇌 발달 안 된다 언어 발달 늦고 사회성 떨어져... 근시 유발하고 수면 부족 위험 : 3 歳未満の子どもがスマホを目にすると脳の発達に悪く, 言語発達が遅れ, 社会性が乏しく...近眼誘発と睡眠不足の危険 朝鮮日報 2017.05.03 健康 A27 面

割を占める)のうち8割以上が、早すぎることを理由としてあげ、保護者が機器を使い始めてもよいと考える時期は、小学校段階59.2%、中学生・高校生段階が22.1%であった。さらに、ICT利用で、視力や心身の発達への悪影響、依存など、何らかの影響を心配している親は9割を超えている。保護者は漠然とICT、特に子どもへのスマホ等が良い影響を及ぼさないと気付いているものの、その便利さや汎用性の高さを熟知しているため(保護者がネット依存的な状況にある場合もある)矛盾した状況に置かれている。ただし、目に見える健康被害・身体的影響については敏感で、視力等への懸念を指摘する。ICTの使用をためらう保護者も、小学校段階になると使用を許す傾向にある。これには、学校でICT機器に触れざるえない状況や、利用モラルなどがある程度備わる年齢であるという意識がその背景にあると考えられよう。

3 養育者と愛着障害

3.1 養育態度と愛着形成

ネットの負の側面、「インターネット依存(ネット依存)」が問題視されるようになって久しい。特に、依存に陥りやすいとされるネット利用は、動画視聴、SNSそしてオンラインゲーム(インターネットゲーム)であるとされる。2013年5月に発刊された「精神疾患の診断・統計マニュアル第5版(DSM-5)」の「今後の研究のための病態」の項目に、「インターネットゲーム障害」が提案されたことも記憶に新しい。^[19]

1歳児の母親のインターネット使用状況が育児環境に及ぼす影響(2015)^[20]調査では、育児への負担・不安感の強い者ほど、インターネット依存度が高く、「若年」「初産婦」「無職」「使用時間の長さ」と関係する者に依存への可能性が示唆されている。初産で育児に関する情報に乏しい養育者や、依存と相関関係が高いとされるうつ状態(気分障害)の者の使用が多いであろうことも予想される。

ここで検討すべきなのは、ネットの過剰利用・依存(いわゆるスマホに夢中になるあまり育児において子どもとの関わりが疎かになる)等、仮に養育者が身体的問題や夫婦間トラブルなど何らかの理由で育児に没頭できなかった場合、子どもにどのような問題が生じるかという疑問である。

小児科医ウイニコットは、乳幼児期の子どもは、母

親(に代わる養育者を含む⁵からの全身全霊を傾けた関心と反応が必要であるとし、「原初的な母性的没頭」の重要性を述べた。彼は「幼児が育児に没頭する母親を必要とする段階にあるときに、母親が他のこと、母親自身の生活に属することだけに気を取られている姿に遭遇すると、幼児はひどく心を乱す(1965)」として、乳幼児期早期に子どもが母親との十分な関わりや愛情を得られなかった場合、後に深刻な問題が見られやすいことを臨床経験から見出した。この場合の子どもの自我は安定した発達を遂げることが難しい。また、一貫性のない親の態度や不測の事態を繰り返して経験した子どもは、親への混乱を一層深めていくことになる。

第2次世界大戦で親を失った子どもに関わり、ホスピタリズムの研究で知られるボウルビィも、親と離れ離れになった家庭環境が子どもの発達に大きな影響を与えることを「母性愛剥奪」という言葉で説明した。後に、この概念は親を失った子どものみならず、全ての子どもに該当する愛着理論研究を進展させた。1970年代には、親は子どもにとっての「安全基地」であるという考え方が広まる。これは、子どもが外の世界に出て、様々なことに挑戦し、失敗したとしても親である安全基地に戻った時には喜んで迎ええられるという確信が重要であるとするものである。つまり、親は子どもがいつでも行き帰りができる心の安全基地である。しかし、安全基地を持たないまま成長した子どもたちが逃げ場や戻る場所、安心感を得ることは難しい。^[21]

2歳、3歳までの乳幼児期に、母親が子どもに対して虐待等で十分な関心や世話を与えることが困難な場合、自閉症スペクトラム(＝発達障害)に類似した症状を呈する愛着障害が目立つようになる。反応性愛着障害は発達の遅れ、特に認知および言語の遅れや常同症等も併発するため、症状だけで自閉症スペクトラムや知的能力障害と区別することが難しい。脱抑制性社交障害はADHDとの鑑別を要し、多動は示さないが、不注意と衝動があり、思春期以降は表面的な情動表出や馴れ馴れしさ、見境のない行動などで仲間とのいざこざや争いも多く、不注意優勢型のADHDとの区別が難しいとされる。つまり、自閉症スペクトラムと診断されている子どもが、類似した症状を抱える愛着障害である可能性が高いことを杉山は指摘している^[22]。実際に、愛着障害が自閉症スペクトラムとして診断されている

⁵ 3章以降、ウイニコット、杉山(22)、岡田(23)などは、文献において、親＝養育者、保護者、広く親に代わるものを含んで説明しているため、ここでは文献表記に忠実に示した(注1を合わせて参照のこと)

ケースも少なくない。表現を変えると、親の子どもへの虐待や無関心が子どもの愛着障害を引き起こし、何らかの具体的な問題行動を生じさせている可能性がある。しかし、その問題行動は脳の先天的疾患である自閉症スペクトラムとして受け止められ、愛着の問題であると気づかれないまま、問題解決を図る機会が失われてしまう。

母親は生まれて初めて出会う大人であり、ロールモデルでもあるが、母親との関わりの少ない子どもは、適切な行動パターンなどの学習が困難になる。後に、子どもに関わろうとしてもスムーズな関係を結ばず、お互いに上手く愛情のコミュニケーションを取ることができなくなる。たとえば、母親がうつなど身体的問題を抱えている、夫婦間トラブル、家族の死など母親の気が滅入っていたという場合も愛着問題を引き起こす原因になる。岡田^[23]はこのような母親を「シックマザー」と呼び、その影響を受けた子どもを自閉症スペクトラムに類似した症状を有する（＝外発性発達障害）と説明した。

ウィスコンシン大学のハーロウ（1958）は、マカクザルの子どもの母親から離されると、ほとんど育たずに死んでしまう一方、母親に似せた人形を作って子ザルに与えると、子ザルは人形にしがみついて育つことができることを見出した。しがみつくものがあることで生存が可能となるこの現象はマラスムスと呼ばれ、人間でも同様のことが起きる。人間の2歳以下の乳幼児は、ボディタッチが不足すると死亡率が非常に高くなる。また、子どもの将来の知的発達や学業成績、社会的能力は、幼児の頃に多くの言葉に触れていたかに左右されることが知られている。ある研究では、よく喋る母親の子どもは、無口な母親の子どもに比べて1歳8ヶ月の時点で、平均して131語、2歳の時点で295語、語彙が豊富だった。

このことからわかるように、親が子どもに適切に関われないことによる言語発達の遅れ、自発的なコミュニケーション等の社会性発達が遅れなどに、自閉症スペクトラムという診断が下されることがある。しかしこれらは、脳疾患である自閉症スペクトラムとは異なり環境調整で改善が見られることも多い。^[23]

これらの研究は養育者と子どもの触れ合いやボディタッチがもたらす影響を示唆するものである。仮に養育者が子どもとの積極的な関わりや触れ合いを持たなかった場合、その子どもは言語の発達や発語も遅れがちになる。そしてその子どもは、自閉症スペクトラムと類似した症状を呈するとも考えられている。しかし

ながら、実際には愛着に問題があり、子どもの頃の母親との相互関係や情緒的、身体的な関わりが子どもの発達にとって重要であることはいまでもない。つまりこれらは、乳児期の養育者との関わり、家庭環境が後の子どもの発達のみならず、ネットやICTに対する態度を形成するのだと考えられる。

4. おわりに

ICTは養育者の育児情報の収集だけでなく、子どもの玩具として、子守り道具すなわち「スマホ育児」に使われている。そもそも、養育者のICTにおける育児情報の収集の満足度は高く、ネットに見られる情報のみならず自治体を実施する情報アプリは広く活用されている。また、育児日記などに見られる記録媒体としてのアプリ利用は、紙媒体に代わるものとして利用されている。

一方で問題視されているスマホ育児には、①しつけアプリ・知育アプリ等の活用や、動画などを視聴させる、②養育者がネットに没頭するあまり、無自覚なまま子どもとの関わりができなくなってしまう、という2つの視点から見るができる。

かつてメディア^[10]の調査で指摘されたように、子どもたちがテレビの黎明期に見せた反応と、類似したものがICTにも向けられているように推測された。ネットもアプリも子どもにとって興味深いメディアであり、玩具なのだろう。

ICTの変遷と共に子どもの興味対象も変化を見せる。しかしながら、注意すべきなのは養育者のICTに対する態度であり、その態度が子どもの愛着障害や問題行動に結びつくという可能性である。子どもが泣く、騒ぐなどの場合、養育者は「眠いのか」「不快なのか」「寂しいのか」など、子どもと接しながら、その理由を探して解決する必要がある。養育者がそれを避けて、スマホに任せてしまうと、子どもとの情緒的交流や愛情あふれる触れ合いは難しくなるだろう。

従来、主にICT、スマホやネットに関してはその依存が中心的な研究対象とされてきた。しかしながら、今後、ICTを使う、子どもに使わせる場合など、「使い手」に及ぼす影響を踏まえた適切な活用が求められるだろう。

参考文献

- [1] 教育の情報化に関する手引 2010 文部科学省
2010http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/1259413.htm
- [2] 小学校学習指導要領 第 4 版—平成 20 年 3 月告示
2009 東京書籍／文部科学省
- [3] 子どもの ICT 利活用能力に係る保護者の意識に関する調査報告書 2015 情報通信政策研究所／総務省
http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01iicp01_02000034.html (参照 2017-04-23)
- [4] 平成 26 年度全国学力・学習状況調査の結果について (概要) 国立教育政策研究所
<https://www.nier.go.jp/14chousakekkahoukoku/index.html> (参照 2017-04-23)
- [5] 「幼児にスマホ 心配しつつ」 朝日新聞 2017 年 2 月 16 日 朝刊 3 pp11
- [6] 倉本英彦 2016 スマホは現代のアヘンか? —「スマホネグレクト」にみる新たな人間疎外 児童心理 1025 pp53-57
- [7] 諸富祥彦 2016 スマホ依存の親が子どもを壊す 宝島社
- [8] 井田歩美, 合田典子, 片岡久美恵 2013 子育て情報に関する母親のインターネット利用についての実態調査—市町村子育て支援事業に参加した乳児の母親へのアンケート結果より— 母性衛生 54 (4) pp427-436
- [9] 佐藤里奈 2015 「せたがや子育て応援アプリ」による子育て支援情報の提供 月刊 J-LIS H27.8 月号 pp10-13
- [10] 柏市電子親子手帳サービス事業 (すくすく柏) <http://www.city.kashiwa.lg.jp/living/haguhagu/2100/2101/2102/78963/index.html> (参照 2017-04-23)
- [11] 妊娠・出産・育児支援コミュニティ・ネットワークとしての母子健康手帳の電子化の試み(会議録) 2016 下屋浩一郎, 村田 晋, 中井 祐一郎, 中野貴司, 川崎数馬, 三上史哲, 三田 岳彦, 合田 典子, 滝川 節子, 岡田 美保子 岡山県母性衛生 (0912-4942) 32 号 pp15-16
- [12] 「子どもとメディア」の問題に対する提言 2002 社団法人 日本小児科医会 「子どもとメディア」対策委員会
<http://jpa.umin.jp/download/media/proposal02.pdf> (参照 2017-04-23)
- [13] 小平さちこ 2010 乳幼児とメディアをめぐる海外の研究動向 放送文化と調査 Jounary2010 pp36-51
- [14] 日本小児科医会「スマホに子守りをさせないで」ポスター
<http://jpa.umin.jp/download/update/sumaho.pdf> (参照 2017-04-23)
- [15] 低年齢層の子供のインターネット利用環境実態調査 調査結果 (概要) 内閣府
http://www8.cao.go.jp/youth/youth-harm/chousa/h28/net-jittai_child/pdf/gaiyo.pdf (参照 2017-05-20)
- [16] 未就学児等の ICT 利活用に係る保護者の意識に関する調査報告書 2017 総務省：情報通信政策研究所
http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01iicp01_02000034.html (参照 2017-04-23)
- [17] 未就学児の生活習慣とインターネット利用に関する保護者意識調査結果 2017 子どもたちのインターネット利用について考える研究会
http://www.child-safenet.jp/wordpress/wp-content/uploads/research_08.pdf (参照 2017-04-23)
- [18] 乳幼児のスマートフォン利用実態に関する調査 2016 MMD 研究所
https://mmdlabo.jp/investigation/detail_1544.html 1 (参照 2017-04-23)
- [19] 水國照充 2015 ネット・ゲーム依存の基礎知識と対応方法 平成国際大学教職支援センター紀要 1 pp53-64
- [20] 藤岡奈美 糸瀬聡美 大竹李奈 戸敷つぐみ 2014 1 歳児の母親のインターネット使用状況が育児感情におよぼす影響 母性衛生 56 (1) pp128-136
- [21] 青木智子・水國照充 2016 子ども理解のための精神病理—愛着・精神疾患と自閉症スペクトラムの視点から—平成国際大学教職支援センター紀要 pp29-42
- [22] 杉山登志郎 2007 子ども虐待という第 4 の発達障害 学研
- [23] 岡田尊司 2011 シックマザー 心を病んだ母親とその子供たち 筑摩書房 学研プラス

著者紹介

青木智子

平成国際大学スポーツ健康学部教授 博士 (文学) 臨床心理士 1 級キャリアコンサルタント技能士

水國照充

平成国際大学スポーツ健康学部準教授 臨床心理士 さいたま市スクールカウンセラースーパーバイザー

青少年の情報行動リスクの現状と法規制について

木川 裕

武蔵野学院大学 国際コミュニケーション学部

Risks and Laws of information behavior of Youth

Yutaka Kigawa

Faculty of International Communication, Musashino Gakuin University

要 旨 インターネット上では、様々な情報が提供され、同時に、社会的に好ましくない情報も数多く存在している。社会的に好ましくないとされる情報であっても、成人であれば、その情報を制限しないでその価値を自らで判断すべきである。それが“表現の自由(知る権利)”から導き出される考え方である。しかし、成長途中にある青少年にとっては、これらの有害情報との接触によって思わぬトラブルに巻き込まれるリスク(コンテンツ・リスク)もあり、注意が必要である。また、出会い系サイトや SNS を利用することで生じるリスクや、学校裏サイトでのネットいじめなどにより生じるリスク(コンタクト・リスク)が、最近では特に社会で問題となっている。加えて、インターネット上でのプライバシー保護や情報セキュリティのリスクもあり、青少年を成人よりも保護する対策が必要である。これらの情報行動に関わるリスクから青少年をいかに保護していくかということは社会的にとって重要な課題である。本稿では、これら青少年の情報行動に関するリスクの現状と、青少年保護に関する法制度の有効性と問題点を検討していく。

キーワード: コンテント・リスク, コンタクト・リスク, 有害情報, 児童ポルノ

Abstract The explosive popularization of mobile devices such as smartphones has greatly changed the information environment of young people. On the Internet, various kinds of information are provided, and at the same time, there are many socially undesirable information. Even information that is considered socially undesirable, if you are an adult, you should judge the value yourself without limiting that information. That is the idea of "freedom of Expression "(the right of the people to know). However, for young people in the middle of growth, there is a risk (Content Risk) involved in unexpected troubles by contact with these harmful information. In addition, risks (Contact Risk) caused by using "Dating Sites and SNS, as well as "CyberBullying" at the "Underground Portal Weblog Sites by School-Children", have become a problem particularly in society recently. Furthermore, there are risks of privacy protection and information security on the Internet, and some systems to protect young people more than adults are necessary. How to protect young people from the risks related to these information behaviors is an important social issue. In this paper, we will examine the present situation of risks concerning information behavior of young people and the effectiveness and problems of some systems concerning youth protection.

Keywords: Content Risk, Contact Risk, Harmful Information, Child Pornography

1. 問題の所在

今日の子供達は「デジタルネイティブ」と呼ばれるほど、モバイル機器に触れる機会が多く、インターネットとともに成長している。総務省¹によれば、未成年者の

スマートフォン利用率は、6～12 歳で 32.8%、13～19 歳で 78.3%の割合を占めており、これは小学生の 3 人に 1 人、中学生以上の未成年者の 8 割近くがスマートフォンを利用していることになる。

¹ 総務省. “平成 27 年通信利用動向調査”, http://www.soumu.go.jp/main_content/000445736.pdf,

(参照 2017-06-02).

インターネット上では、様々な情報が提供され、同時に、社会的に好ましくない情報²も数多く存在している。

発達過程にある青少年にとっては、これらの有害情報との接触によって思わぬトラブルに巻き込まれる可能性もあり、注意が必要である。

しかし、青少年の情報行動に関するリスクはそれだけではない。出会い系サイトや SNS でのトラブル、また学校裏サイトでのネットいじめなどが、最近では特に社会問題化されている。

さらに、インターネット上でのプライバシー保護や情報セキュリティのリスクもあり、青少年には成人以上の保護対策が必要であるだろう。これらの情報行動に関わるリスクから青少年をいかに保護していくかという問題は社会的に重要な課題である。

本稿では、これら青少年の情報行動に関するリスクの現状と、青少年保護に関する制度の有効性と問題点を検討していく。

2. 青少年の情報行動リスク

青少年の情報行動に関わるリスクには、大別して 2 つのリスク、コンテンツ・リスクとコンタクト・リスクが挙げられる。

2-1 コンテンツ・リスク

情報行動リスクとしてまず取り上げるべきは、有害情報に接触することで青少年の健全育成が阻害されるリスクとしてのコンテンツ・リスクである。

インターネット上では、様々な情報が飛び交い、その利便性の裏側には社会的に好ましくない情報も数多く存在しているが、たとえ社会的に好ましくないとされる情報であっても、成人であれば、特にその情報を制限することなく、自由に接することでその価値を自らで判断すべきであるというのが表現の自由（知る権利）から導き出される考え方である。

しかし、発達過程にあり十分な判断力があるとはいえない青少年にとっては、これら有害情報との接触には多くの問題を生じさせる可能性があり、「知る権利」の原則が当然に妥当しないケースも存在する。青少年にとって有害な情報について、我が国では特に性的な情報が想定されており、これらの情報に対する青少年のアクセスに制限を加え、青少年を保護するための制度が存在して

いる。

2-1-1 コンテンツ・リスクの分類

コンテンツ・リスクは、次の 3 つのサブカテゴリー³に分類される。

① 違法なコンテンツ

② 年齢に不適切な、または有害なコンテンツ

③ 有害情報

これらのリスクと他の要因は、子供の年齢などによりその影響は異なってくる。

違法・合法の判断はもちろん国によって異なるが、子供達の性的搾取に関するコンテンツはほとんどの国で違法であり、「違法なコンテンツ」に分類される。

また、残虐性、人種差別、ヘイトスピーチなどは、それぞれの国によって法的対応が異なるため、「年齢に不適切なコンテンツ」に分類される。また、アダルトポルノ等の年齢に対して不適切なコンテンツも、暴力等同様に一般的に有害なコンテンツにあたる。

「有害情報」と無害な情報、有益な情報との区別は難しいが、自殺やドラッグ、自傷行為⁴に関する情報は、一般的に「有害情報」にあたるだろう。

2-2 コンタクト・リスク

青少年が SNS や出会い系サイトに参加するなど、インターネット上のインタラクションによって生じるのが、コンタクト・リスクである。青少年が見知らぬ成人と出会うことで、児童買春・児童ポルノ、強姦などの性犯罪やストーカー被害、リベンジポルノ被害、さらには殺人事件に発展するケースもある。

コンタクト・リスクには、学校裏サイトなどでのネットいじめなども含まれる。

2-2-1 コンタクト・リスクの分類

コンタクト・リスクは、次の 3 つに分類⁵される。

① そのインタラクションが子供を害する意図を持って行われているか（サイバーグルーミングなど）

② 子供達が悪意のあるインターネット上のやりとりさらされているか

③ 子供達が自らの意図のもと害を負っているか（違法なファイル交換など）

「ネット上の性的搾取」は、大人が子供達と性的接触

³ OECD^[1] p55 参照。

⁴ OECD^[1] p59 参照。米国の調査において 400 以上の掲示板が最も効果的な自傷行為の方法について情報を公開しているという報告がある。

⁵ OECD^[1] p60 参照。

² 曾我部^[2] p243 によれば、我が国では青少年にとって有害な情報として、特に性的な情報が想定されている。

を持つ意図でインターネットを利用する方法であり、これを犯罪としている国もある。欧州評議会⁶⁾においても、性的教唆という犯罪として記載されており、たとえば、サイバークレーミングなどが考えられる。

サイバークレーミングとは、成人が未成年の振りをして SNS 等で未成年、主に少女と接触し、信頼関係を築いたうえで、ヌード写真の強要や性的悪戯、最悪の場合、強姦致死などに至る犯罪のことをいう。

青少年のコンタクト・リスクの中で、最も多いのはネット上での嫌がらせだろう。学校裏サイトや SNS を利用したネットいじめは、現在では非常に大きな社会的脅威となってきた。また、インターネット上のいじめは、プライバシーや身元がさらされるリスクもあり、これについては規制が必要だろう。アメリカや EU においては青少年のオンライン・プライバシー保護を強化する法規制⁷⁾があるが、現在、我が国では同様の法律は存在しておらず、青少年のオンライン・プライバシー保護については自主規制に委ねられている。

また、問題のあるコンテンツを共有することで発生するリスクがある。自分自身による暴力行為や未成年者が自身のヌードやセミヌードの画像を転送する「セクスティング」などという行為がそれに当たる。最近では、他に「デジピックス⁸⁾」や「ハッピー・スラッピング⁹⁾」などが問題となっている。

3. 我が国における青少年保護と有害情報規制

インターネット上に氾濫する有害表現、たとえば過激な性表現や暴力的な表現など、成人であれば問題のないものであっても、青少年との関係では法的規制を受けることがある。青少年の健全な育成は、子を持つ親にとっては重要な課題であり、政府にとっても有害情報規制は

着手しやすい表現規制だろう。諸外国において、たとえばアメリカやドイツなどでも、選挙キャンペーンとして有害表現規制のための法改正が提案¹⁰⁾されるなどの傾向がみられるが、もちろん、我が国においてもいくつかの法規制が存在している。

3-1 風営法による規制

ところで、我が国においては、戦前の言論統制の影響もあり、これら法規制の現場では先進諸国に後れを取ってきた。しかし、インターネットに起因する様々な問題が山積し、これらのトラブルから青少年を保護する必要性が生じてきた。

特に、緊急の課題とされていたのがアダルトサイトに関する問題であったが、我が国の「風俗営業等の規制及び業務の適正化等に関する法律」、いわゆる風営法において、無店舗型風俗営業は規制対象外であったが、アダルトサイトに対応すべく、1998 年 5 月にアダルト情報の有償提供やアダルトビデオ販売等も規制の対象とする改正が行われた。これにより、18 歳未満の者に対する販売と雇用も禁止されている。

3-2 児童買春、児童ポルノ禁止法の制定

さらに我が国においては、以前よりその規制の緩さから、児童ポルノに関して諸外国より規制¹¹⁾を求められてきた。そこで、1999 年 5 月 26 日「児童買春、児童ポルノに係る行為等の処罰及び児童の保護等に関する法律」が成立し、2003 年の法改正で処罰規定が追加¹²⁾された。

しかし、米務省の「2013 年国別人権報告書¹³⁾」において、「日本は依然として、児童ポルノの製造および取引の国際的な拠点」であり、さらに、日本の「法律は児童ポルノの単純所持を処罰化して」おらず、「このため法律の効果的な執行や、この分野における国際的な法

⁶⁾ Council of Europe “Council of Europe Convention on the Protection of Children against Sexual Exploitation and Sexual Abuse (CETS201)”, 2010/1/7, <http://www.coe.int/en/web/conventions/full-list/-/conventions/treaty/201> (参照 2017-05-29)。

⁷⁾ 入江¹²⁾ p35

⁸⁾ 「デジピックス (Dedipix)」はフランスで生まれ、自分のボディパーツやヌード等をメッセージと共にポストするもの。公共の場にポストされると、プライバシーに短期的・長期的なリスクが生じる。

⁹⁾ 「ハッピー・スラッピング (happy slapping)」とは、単なる楽しみだけのために、暴行や強盗を行い、携帯カメラで一部始終を撮影し、動画共有サイト等で公開したりすること。

¹⁰⁾ アメリカの状況については、松井茂記⁴⁾ p182 以下。

ドイツの状況については、鈴木秀美⁵⁾ p 21 以下を参照。

¹¹⁾ 1996 年 8 月 29 日にエクパットやユニセフ等の主催によりストックホルムで行われた「児童の商業的性的搾取に反対する世界会議」(122 か国参加)においても、日本は国際的に非難を浴びることとなり、この問題に真剣に取り組む意向を表明した。

¹²⁾ この改正で、18 歳未満の児童の姿態を描写した児童ポルノ提供、提供目的の製造・所持、不特定多数者への提供、ネットワーク上での公開等の処罰規定が追加された。

¹³⁾ 米務省 “2013 年国別人権報告書—日本に関する部分”。在日米国大使館・領事館。

<https://jp.usembassy.gov/ja/hrr-2013-ja/>, (参照 2017-06-02)。

執行への全面的な参加に向けた警察の取り組みが引き続き妨げられている」との指摘を受けた。2014 年 4 月時点で単純所持が約 90 カ国以上で禁止される中、日本の取り締まりが甘いという諸外国での認識は広まっていた。

もちろんこの指摘を受けるまでもなく、児童ポルノの問題は「性的搾取及び虐待の記録」であり、記録されることにより児童に精神的な苦痛を半永久的に与え続けることになり、これについては我が国においても早急な対策が必要であった。

こうした背景の中、2014 年 6 月「児童買春、児童ポルノに係る行為等の規制及び処罰並びに児童の保護等に関する法律」と名称に下線部が加えられ、直接的な性的行為を伴わない児童ポルノの定義も明確化¹⁴された。

また、“自己の性的好奇心を満たす目的”で、児童ポルノを所持等した者を処罰する規定(単純所持罪¹⁵)や、ひそかに児童ポルノに該当するような児童の姿態を写真等で盗撮し、児童ポルノを製造する行為を処罰する規定(盗撮による製造罪¹⁶)も新設された。

3-2-1 児童買春、児童ポルノ禁止法の問題点

児童ポルノとは、法 2 条 3 項で「写真、電磁的記録に係る記録媒体その他の物であって、次の各号のいずれかに掲げる児童の姿態を視覚により認識することができる方法により描写したものをいう」と定義されており、次の 1 号から 3 号まで類型が列挙されている。

- ① 児童を相手方とする又は児童による性交又は性交類似行為に係る児童の姿態
- ② 他人が児童の性器等を触る行為又は児童が他人の性器等を触る行為に係る児童の姿態であって性欲を興奮させ又は刺激するもの
- ③ 衣服の全部又は一部を着けない児童の姿態であって、殊更に児童の性的な部位(性器等若しくはその周辺部、臀部又は胸部をいう。)が露出され又は強調されているものであり、かつ、性欲を興奮させ又は刺激するもの

ところで、2 条 3 項では、児童の性的姿態を「写真、電磁的記録に係る記録媒体その他の物で」、視覚的に描写されていれば児童ポルノに該当することになるが、こ

¹⁴ 改正法第 2 条第 3 項第 3 号で、「殊更に児童の性的な部位(性器等若しくはその周辺部、臀部又は胸部をいう。)が露出され又は強調されているものであり、」の文言が加えられた。

¹⁵ この罪を犯した者は、1 年以下の懲役又は 100 万円以下の罰金に処せられる。(第 7 条第 1 項)

¹⁶ 改正法第 7 条第 5 項

こでいう「その他の物」には、絵画やCGで作成され印刷されたものも含まれるため、実在の児童をこれらの方法で描写した場合も児童ポルノに該当する可能性がある。しかし、児童とは 18 歳未満の者をいうが、ここで「者」とは自然人を指すため、実在しない児童(非実在児童)の性的姿態を描写したアニメ等は児童ポルノに該当しない¹⁷。

一方、諸外国においては、非実在児童の描写も児童ポルノに含める傾向が強く、我が国でも創作物による描写を規制対象に含めるべきだという主張も、検討段階では論点¹⁸になっていた。

また、同様の主張は 2014 年改正時の議論においてもなされたが、こうした改正は児童ポルノ規制の趣旨とは異なるものとして反対論¹⁹も強く、附則も含め言及されることはなかった。

3-2-2 児童ポルノの定義に関する批判

前述した児童ポルノの定義においては、いくつかの問題があるが、とりわけ 3 号の定義が不明瞭であり、過度に広範であるという指摘がある。

改正前の定義の「衣服の全部又は一部を着けない児童の姿態」には、入浴中の家族写真も含まれるため、「性欲を興奮させ又は刺激するもの」という要件が付け加えられている。しかし、性欲の興奮、刺激の基準となる主体は、判例・通説では、小児性愛者等ではなく一般人を基準としているが、乳幼児や児童の裸体を見て、一般人が性的に興奮、刺激を受けることは考えにくい。そうだとすると、この 3 号の規定に該当するものはほとんどなくなってしまい、本来手厚い保護を必要としている乳幼児等の保護が薄くなってしまいう問題も生じる²⁰。

実際の裁判例では、こうした不都合が生じないように、一般人基準としながらも乳幼児等の入浴写真等について児童ポルノ該当性を解釈で認めているが、それでは 3

¹⁷ 松井¹⁷⁾p107 を参照。

¹⁸ 島戸¹⁸⁾p 77, 井川¹⁹⁾p 37

¹⁹ 児童ポルノ規制の保護法益は、被写体とされた児童の保護であり、個人的法益の保護を第 1 の目的とする点で、社会的法益の保護を第 1 とするわいせつ表現規制とは異なる。しかし、児童を性的対象として扱う風潮の阻止、児童の健全育成等の社会的法益も含まれるとする見解もある。

²⁰ 裁判例においては、「一般人基準」としながら解釈によって乳幼児等の入浴写真等について児童ポルノ該当性を認めているが、それでは 3 号の定義が曖昧になってしまう。

号の定義が曖昧²¹になってしまうおそれがある。

一方、現行法の 3 類型に該当しないものでも、それらと同等の性的搾取・性的虐待の記録も考えられる。たとえば、着衣児童の顔面等に精液をかけられた画像などは、現行法の定義だと含まれなくなってしまうという問題がある。

このような問題を解決するためには、児童ポルノの定義を根本的に変更し、性的虐待行為を明確に定義した上で、それを視覚により認識できる方法で描写したものを児童ポルノとして定義すべきとの意見²²があり、こうした考え方は、大阪府青少年健全育成条例の性的虐待の記録の製造等に関する努力義務の規定²³に反映されている。

3-2-3 単純所持規制に関する批判

2014 年改正により、児童ポルノを所持し、その電磁的記録を保管することが禁止されている (3 条の 2)。また、7 条 1 項で、自己の性的好奇心を満たす目的で、児童ポルノを所持した者 (自己の意思に基づいて所持するに至った者であり、かつ、当該者であることが明らかに認められる者に限る。) は、1 年以下の懲役又は 100 万円以下の罰金に処せられる。

改正法の制定過程で、「自己の性的好奇心を満たす目的で」という文言が入り、目的犯となったが、従来から既に処罰されていた提供目的の所持と区別するために、一般では「単純所持罪」と呼ばれている。

この単純所持罪についてはいくつかの批判があるが、たとえば、恣意的な処罰のおそれが指摘されている。この点は立法過程でも問題になり、児童ポルノが一方的にメールに添付されて送られてきたり、間違っただウンロードして所持に至ったケース等について議論されている。前述した 7 条 1 項の括弧書きはこの点を担保するものであるが、実効的な限定になっているかどうかについて疑問が呈されている。

また、調査研究目的など正当な理由による所持のケー

スでも、実効的な限定になっているかどうかについて批判がある。

3-3 出会い系サイト規制法の制定

有害情報からの青少年の保護に関する規制として、2003 年に「インターネット異性紹介事業を利用して児童を誘引する行為の規制等に関する法律」、いわゆる出会い系サイト規制法が制定された。その後、2008 年に改正され、規制が強化された。

出会い系サイト (インターネット異性紹介事業) とは、同法 2 条 2 号により次の 4 つの要件から定義²⁴されている。

- ① 異性交際 (面識のない異性との交際) を希望する者 (異性交際希望者) の求めに応じ、その異性交際に関する情報をインターネットを利用して掲載する役務 (サービス) を提供していること
- ② その異性交際希望者に関する情報をウェブサーバ等に記録し、公衆がいつでも閲覧することができる状態であること
- ③ ネット上に書き込まれた異性交際に関する情報を閲覧した異性交際希望者が、当該情報を掲載した異性交際希望者と電子メール等を利用して相互に連絡することができるような役務を提供していること
- ④ 反復継続的に提供されていること。営利目的であるかどうかは問わない。

しかし、これらは一般のソーシャルメディアでも満たす可能性があり、この規正法の適用を受けないためには、規約等で出会い目的の利用を禁止する必要がある。

3-4 ネットいじめといじめ防止対策推進法

近年、青少年保護の観点から社会問題化しているのがネットいじめ (Cyber-bullying) である。

スマートフォン等の普及により、インターネット上で、一方的に継続的な物理的・精神的苦痛が与えられ、被害者が深刻な苦痛を感じている状態のことである。

SNS に悪口や誹謗・中傷を書き込んだり、メールを送ったりするなど非常に悪質なものであるが、ネットを介しているため、通常のいじめのように相手との物理的な力関係が軽視され、低い罪悪感で面白半分に行われることが多く、エンターテインメント化する特徴がある。

ネットいじめの例として、「無断で相手の個人情報

²¹ 最高裁では、「性欲を興奮させまたは刺激するもの」という文言について不明確ではないとしている (最判 2002・6・17 集刑 281 号 p 577)。

²² 園田²⁰によれば、児童ポルノは性的虐待の記録として純化すべきであり、「性欲を興奮させ又は刺激」の要件は見る側の視点であり定義に混入させるべきではないと指摘している。

²³ 第 39 条で、事業者及び保護者は「青少年に対する性的虐待に係る行為の全部又は一部を視覚により確認することができる方法により描写した写真、電磁的記録に係る記録媒体その他の物を製造し、及び販売しないよう努めなければならない」と定めている。

²⁴ 警察庁、「インターネット異性紹介事業を利用して児童を誘引する行為の規制等に関する法律等の解釈基準」。<https://www.npa.go.jp/cyber/deai/law/images/kaishaku.pdf>, (参照 2017-06-02)。

さらすこと」,「裏サイトなどでの誹謗中傷」,「自己紹介サイトやメール経由でのいやがらせ」,「なりすまし投稿」などが挙げられる²⁵。

3-4-1 いじめ防止対策推進法の制定と問題点

2011 年 10 月に滋賀県の大津市の中学 2 年生の男子生徒が, いじめを苦に自殺した事件を契機に, 2013 年 6 月 28 日に「いじめ防止対策推進法」が公布された。

同法第 19 条において,「インターネットを通じて行われるいじめに対する対策の推進」が定められており, その 1 項によると「学校の設置者及びその設置する学校は, 当該学校に在籍する児童等及びその保護者が, 発信された情報の高度の流通性, 発信者の匿名性その他のインターネットを通じて送信される情報の特性を踏まえて, インターネットを通じて行われるいじめを防止し, 及び効果的に対処することができるよう, これらの者に対し, 必要な啓発活動を行う」ことが求められている。

また, 2 項では「国及び地方公共団体は, 児童等がインターネットを通じて行われるいじめに巻き込まれていないかどうかを監視する関係機関又は関係団体の取組を支援するとともに, インターネットを通じて行われるいじめに関する事案に対処する体制の整備に努める」ことが要求されている。

3 項では,「インターネットを通じていじめが行われた場合において, 当該いじめを受けた児童等又はその保護者は, 当該いじめに係る情報の削除を求め, 又は発信者情報の開示を請求しようとするときは, 必要に応じ, 法務局又は地方法務局の協力を求めることができる」と規定されている。

しかし, 同法でいじめを禁止しているが, これに違反していじめを行った児童・生徒に対して直接の制裁はなく, また, 同法は国や地方公共団体にネットいじめを防止するために必要な啓発活動や監視のための取組の支援, いじめ事案に対処する体制の整備に努めることを要求しているにすぎず, 罰則は規定されておらず, その有効性は期待できない²⁶。インターネット上のいじめ防止

対策としては, フィルタリングの利用の重要性²⁷が主張されている。

4. 青少年保護と規制の限界

我が国の法規制は, 他にも「ストーカー行為等の規制等に関する法律 (ストーカー規制法)」や, 「私事性的画像記録の提供等による被害の防止に関する法律 (リベンジポルノ被害防止法)」等²⁸がある。

これら法規制を概観すると, 依然としてパッチワーク的な脆弱さは否めない。しかし, どのように完全な法規制であっても, 必ず抜け穴やトラブルが生じてしまうだろう。

あくまでも人間が主体となってリスクが発生し, 特に青少年に関してはその傾向が強いだろう。この青少年のリスクに対する弱さの多くは, 経験不足や知識不足に起因する。このようなリスクを軽減させるためには, 法規制のみでは難しく, フィルタリングなど技術的なバックアップや教育に依るべきところは多いだろう。このデジタルネイティブの時代には, とりわけ, 情報セキュリティ教育や情報倫理教育の早期実施がカギになるに違いないだろう。

参考文献

- [1] 経済協力開発機構 (OECD)『サイバーリスクから子どもを守る—エビデンスに基づく青少年保護政策』, 明石書店, 2016
- [2] 曾我部真裕, 林秀弥, 栗田昌裕『情報法概説』, 弘文堂, 2015
- [3] 松井茂記, 鈴木秀美, 山口いつ子『インターネット法』, 有斐閣, 2015
- [4] 松井茂記『インターネットの憲法学 (新版)』, 岩波書店, 2014
- [5] 鈴木秀美「メディア融合時代の青少年保護」慶應義塾大学メディア・コミュニケーション研究所紀要 61 号, 2011
- [6] 島戸純『児童買春, 児童ポルノに係る行為等の処罰及び児童の保護等に関する法律の一部を改正する法律』について, 警察学論集 57 巻 8 号, 2004
- [7] 井川良「法令解説 児童買春, 児童ポルノに対し, より厳格に対処—児童買春, 児童ポルノに係る行為等の処

²⁵ 田代 剛

²⁶ 藤川大祐, “ゼノンの逆説—教育の今を読む (第 8 回)”, 読売オンライン, <http://www.yomiuri.co.jp/kyoiku/special/CO015131/20150721-OYT8T50208.html>, (参照 2017-06-02). 藤川によれば, 「法に定められた義務を果たさず, 生徒の自殺という結果を生じさせたようなケースでは, 担任教師や学校は不作為の罪に問われてしかるべきではないか」と主張している。

²⁷ 島田^[10] p 38

²⁸ 関連するものとして「青少年インターネット環境整備法」や「青少年健全育成条例」などが挙げられる。

罰及び児童の保護等に関する法律の一部を改正する法律」, 時の法令 1734 号, 2005

[8] 園田寿「児童ポルノ禁止法の問題点」法学セミナー 55 巻 11 号, 2010

[9] 田代光輝, 服部哲『情報倫理 ―ネットの炎上予防と対策―』, 共立出版, 2013

[10] 島田敦子「児童のインターネット上のいじめと解決に向けた取組」, 法律のひろば 68 巻 3 号, 2015

[11] 田中佑佳「公立学校における生徒による他人を傷つける表現の規制をめぐる憲法問題」, 阪大法学 64 巻 1 号, 2014

[12] 入江晃史「オンライン上の児童のプライバシー保護の在り方について」情報通信政策レビュー 3 号, 2012

著者紹介

木川 裕

1991 年, 日本大学大学院法学研究科博士前期課程修了 (法学修士). 98 年, 獨協大学大学院経済学研究科修士課程修了 (経済学修士). 97 年, 立正大学文学部非常勤講師. 同年, 武蔵野短期大学国際教養学科専任講師. 2000 年, 大東文化大



学経営学部非常勤講師. 2004 年, 武蔵野学院大学国際コミュニケーション学部専任講師. 2006 年, 日本大学法学部非常勤講師. 2010 年武蔵野学院大学国際コミュニケーション学部准教授. 現在に至る. “留学生の出身国における教育や法制度を考慮した情報倫理教育教材の作成と多言語化” というテーマで科研費を取得する等, 情報法, 情報セキュリティなどの研究に従事. 日本刑法学会, 著作権法学会, 国際 ICT 利用研究学会等の会員

IFRS 適用時に生じる日本基準との業績の差異について

白坂 亨

大東文化大学 経営学部

要旨 近年、国際会計基準を適用する日本企業が徐々に増えてきた。それにともない適用が進んでいる業界とそうでない業界がはっきりしてきた。国際会計基準への移行がすすんでいる医薬品業界である。そこで医薬品業界のなかから、そーせいグループを採り上げ、日本基準から IFRS を適用する際にいかなる経緯で利益額に変化が起きるのか検討してみた。そーせいグループは IFRS 適用により赤字を黒字に転換させ、財務体質を一変させたからである。この検討から IFRS 適用の際に注意すべき問題点を明らかにする。

キーワード : IFRS 日本基準 ROE 売上高当期利益率 総資産回転率 財務レバレッジ

1 はじめに

近年、徐々にではあるが、国際会計基準(以下、IFRS)を適用する日本企業が増えてきた。IFRS を適用した会社一覧を眺めてみると、IFRS を適用が進んでいる業界とそうでない業界がはっきりしていることに気が付く。

2017 年 3 月期までに IFRS を適用した企業(日本基準, アメリカ基準からの適用および IFRS にて新規上場した企業合計 101 社)を大まかなくくりで分類し、業種別適用会社数をみると、電気機器 15 社、サービス業 13 社、情報・通信業 13 社、医薬品 12 社、輸送用機器 11 社という状況となっていることがわかるⁱ。

また、計測時期と範囲が若干異なるが、IFRS 適用会社の時価総額の合計をその当該業界の発行済み株式数で除した数値が金融庁から発表されている。それを見ると、医薬品 60%、卸売業 52%、石油石炭製品 44%、食料品 43%、精密機器 37%となっており、医薬品業界は他業種に比べ、IFRS 適用が進んでいる業界ともいえようⁱⁱ。

そのため、本稿においては、この医薬品業界で IFRS 適用が進む原因と IFRS を適用する際の問題

点を洗い出すことを目的とする。

2 先行研究の検討

IFRS に関する先行業績は枚挙にいとまがない。しかし、IFRS 適用時の業績に関する実証研究は意外に少ない。その中で IFRS 導入支持を明確にし、しかも実証的な手法で分析をおこなった代表的な文献として、桜井(2016)を挙げることができよう。

そこで、まずはこの文献を丁寧に読み解き、IFRS 適用時に起きる業績の差異について検討してみたい。

桜井(2016)では、まずその研究の目的を、「日本企業の間で IFRS の適用が広く普及している医薬品業界を取りあげ、日本企業と欧米企業のグローバル競争を反映した連結財務諸表に基づく企業間の財務分析を試みることにより、会計基準の国際統合のメリットを観察すること」(53 頁)とする。

なぜ一つの業界を採り上げるかという点、「所属業種が異なる企業を比較しても、財務比率の差異は業種の特性を反映しているに過ぎず、そのような値を比較しても企業経営そのものの優劣の評価には結びつかない」(54 頁)としている。

医薬品業界を選択した理由としては、「適用企業数、適用企業の時価総額、および業種別時価総額に占める割合のいずれの尺度でみても、日本で IFRS 適用企業が顕著なウェイトを占めているのは医薬品業界である」(56 頁) からとしている。

その医薬品業界は世界的な規模での競争が行われており、競争相手は欧米の巨大医薬品会社となっている。その「上位 20 社のうち、IFRS 適用企業は 10 社であり、米国基準(US-GAAP)の適用会社は 9 社」(58 頁)という状況となっている。とりわけ欧州の企業は全て IFRS を適用している状況であることが明らかとなった。

分析の核心となる、日本の医薬品業界で IFRS を適用した際における業績への影響については、
 「(a)総資産に関しては、対比が可能な 23 ケースのすべてにおいて、IFRS による測定値の方が大きい。(b) 自己資本に関しては、対比が可能な 23 のケースのうち、22 ケースにおいて、IFRS による測定値の方が大きく、逆に IFRS による測定値の方が小さいのは、残りの 1 ケースだけである。(c) 売上高に関して対比が可能な 16 ケースのうち、14 ケースは IFRS による測定値の方が小さく、残りの 2 ケースでは日本基準と IFRS の測定値が同額となっている。(d) 当期純利益については、対比が可能な 16 ケースのうち 12 ケースにおいて IFRS の測定値の方が大きく、これとは逆に IFRS 測定値の方が小さくなっているのは 4 ケースに過ぎない。この結果から、日本基準から IFRS への変更は、総資産、自己資本および当期純利益の金額を引き上げ、売上高を引き下げるという効果を有するという大まかな傾向を観察することができる」(61-62 頁) としている。

さらに、これらの IFRS 適用時における差異の要因については、「①日本基準では定率法で減価償却してきた有形固定資産を、IFRS のもとで定額法を用いることから生じる差異、②企業結合で生じたのれんを日本基準では規則的に償却の対象

としたが、IFRS では非償却とすることから生じる差異、③他企業からの技術導入契約に際して支払った一時金を、日本基準では研究開発費として、費用処理したが、IFRS では所定条件を満たすものを無形資産とすることから生じる差異」(62 頁)と、「④未消化の有給休暇に関して人件費と引当金を追加計上する決算整理事項」(62 頁)、
 「⑤時価が観察できない非上場株式を、日本基準では原価評価するが IFRS では公正価値評価するため、含み益が資産計上されるケース」(63 頁)が存在すること、さらに「⑥退職給付の数理的計算差異を日本基準では規則償却して退職給付費用に追加計上するが、IFRS では償却せずにその他の包括利益として取扱う」(63 頁) ことによるとしている。

さらに、分析は投資家にとって最重要分析指標として ROE を採り上げ、その ROE への影響を測定している。その結果は「予想通り両者 (ROE の増減-白坂) の個数は拮抗している」(64 頁)ものとなっているが、「両方の年度(2013, 2014 年-白坂)とも、日本基準と IFRS の間で ROE の差が 1%を超える企業が 2 社ずつあり、この差異は投資意思決定において非常に重要であると思われる。なかでも、ROE がマイナスから顕著なプラス値に転じている点で、そーせいグループは特異な企業である」(64 頁)と、そーせいグループの数値の特異性についての指摘はあるものの、さらなる検討はなされていない。この点については検討を加えたい。

しかしながら、この IFRS により算出された ROE の値は、国際比較を容易にし、「日本企業が IFRS を採用したことにより、その業績をヨーロッパの有力企業と直接に比較できるようになったことの意義は大きい」(65 頁)と積極的な評価を下している。

一方、ROE の評価については「日本企業の ROE が概して非常に低い」(66 頁)もので、「売

上高純利益率の低さと財務レバレッジの抑制に起因して ROE が低水準にとどまっている」(66 頁)としている。

つまり、IFRS 導入により直接比較対象ができるようになったけれど、大手欧米各社と比較してみたら、数値的には劣っていたことが明確になったということである。

それでも IFRS 移行のメリットとして、「日本企業の業績をグローバル競争の中に位置づけ、その特徴と原因の分析から得られる情報は、投資家のみならず、当該企業自身にとっても経営戦略を考える上で価値が高い。この情報は、IFRS を適用することで、よりいっそう厳密な比較の結果としてえられるものであり、IFRS の任意適用がもたらす重要なメリットの一つである」(67 頁)との評価を与えているのである。

以上、代表的な先行研究として、桜井(2016)を採り上げ、その内容を辿ってみた。そこでは精緻な分析と洞察がなされているものの、いくつかの問題点を指摘することが可能となる。

第一に、ROE による影響の測定である。そもそもこの ROE には分子分母に当期利益が組み込まれているので、IFRS 適用により当期利益に影響が出ても、ROE に大きな影響を与えないということとは自明であるということである。IFRS に移行しなくとも日本の医薬品業界各社の ROE は欧米大手各社に比べて低かったものであり、IFRS 移行によって明らかになったというものではないⁱⁱⁱ。

第二に、問題にすべきは IFRS 移行により ROE が上下に変化した会社数が拮抗していたことではなく、その内容ではないのかという点である。周知のとおり、ROE は売上高利益率、総資産回転率、財務レバレッジの三つの要素の積として理解することが可能である。分解されたこれら三つの要素は IFRS に移行することにより、影響を受けていなかったのか、検証が必要である。

第三に、そーせいグループのように、IFRS 適用

により当期利益が赤字から黒字に転換してしまう例があるということである。

この点に関し、桜井(2016)では 2013 年 3 月期における日本基準による ROE は▲9.5(%)、IFRS によるものが 12.87(%)で、その増減を+22.37 とし、2014 年 3 月期におけるものは、日本基準では▲1.4(%)、IFRS によるものが 13.68(%)で、その増減を+15.08 となっていることを明らかにしている^{iv}。しかし、一般的に赤字の時には自己資本利益率は算出しない。さらに、このそーせいグループについては「特異な企業」として評価し、なぜこのような事態が起きたのかとの検討はなされていない。

そこで、本稿において解決すべき第一の問題として、IFRS 適用により、影響を受ける指標についての検討を加える。

第二の問題として、そーせいグループを採り上げ、IFRS 適用時に日本基準では赤字となる数値が如何なる経緯で黒字に転換してしまうのか、その経緯を明らかにしていきたい。

3 IFRS 適用薬品会社において影響を受ける経営指標

桜井(2016)においては、IFRS の適用が ROE に及ぼした影響を測定しているので、それを利用して、ROE を構成する売上高当期利益率の増減、総資産回転率の増減、財務レバレッジの増減について検討してみた。

すると、総資産回転率の増減においては、ROE を増加させた企業も減少させた企業も含めて、全社が総資産回転率を下げていることが明らかとなる。ROE の増減では増加した企業数と減少した企業数が拮抗していたこととは対照的な結果である。

原因としては前述した桜井氏の検討の中で触れられているように「(a)総資産に関しては、対比が可能な 23 ケースのすべてにおいて、IFRS による測定値の方が大きい」という結果と、「(c)売上高に関

して対比が可能な 16 ケースのうち、14 ケースは IFRS による測定値の方が小さく、残りの 2 ケースでは日本基準と IFRS の測定値が同額となっている」という結果によるものと考えられる。

増減の数値自体は、一見、ROE や他の構成指標に比べて小さい。しかし、元となる総資産回転率自体の数値も他の指標に比べて小さいため、増減の

数値が小さいから影響が小さいとは言えない。

さらに、この分析結果は、従来の IFRS 適用に関する経営指標への影響として認識されてこなかったと思われる。

効率性の指標として知られる総資産回転率が IFRS の導入により低下しやすいということは、IFRS 導入時に考慮すべき点である。

表 1 日本基準から IFRS 適用により ROE および構成指標に及ぼした影響

(単位：ポイント)

企業名	ROE 増減	売上高当期 利益率増減	総資産 回転率増減	財務 レバレッジ増減
2013 年 3 月期(中外製薬のみ 2012 年 3 月期)				
中外製薬	▲ 1.20	▲ 0.41	▲ 0.069	0.018
武田薬品	0.49	1.11	▲ 0.006	▲ 0.057
アステラス	0.07	1.18	▲ 0.069	▲ 0.030
小野薬品	▲ 0.57	▲ 0.54	▲ 0.021	▲ 0.002
そーせい(注 1)	22.37	81.44	▲ 0.032	0.046
第一三共	▲ 0.46	▲ 0.24	▲ 0.015	▲ 0.001
エーザイ	0.42	0.60	▲ 0.011	▲ 0.021
参天製薬(注 2)	—	—	—	—
2014 年 3 月期(中外製薬のみ 2013 年 3 月期)				
中外製薬	▲ 0.67	0.13	▲ 0.066	0.023
武田薬品	0.42	0.96	▲ 0.014	▲ 0.072
アステラス	▲ 0.95	▲ 0.15	▲ 0.069	▲ 0.042
小野薬品	▲ 0.03	0.92	▲ 0.017	▲ 0.004
そーせい(注 1)	15.08	79.62	▲ 0.051	0.014
第一三共	▲ 0.73	▲ 0.42	▲ 0.015	▲ 0.017
エーザイ	0.83	0.89	▲ 0.015	▲ 0.017
参天製薬	1.23	1.97	▲ 0.032	0.008

出所) 桜井(2016)64 頁, 図表 5 より作成。

注1) IFRS 適用により黒字転換したため、増減は+指標値から-指標値の差を表記した。

注2) 2013 年 3 月期の IFRS における数値が不明であることによる。

4 そーせいグループの IFRS 適用に伴う利益調整

さて、ここからは個別企業として、そーせいグループを採り上げて可能な限りの検討を加えて

いきたい。

というのも、同社は 2014 年 3 月期において、日本基準では最終赤字でありながら、IFRS を適用することにより黒字に転換するという離れ業をやったのけたからである。

いかなることなのか、そーせいグループの 2014 年 3 月期有価証券報告書を見る。実は IFRS 適用に際し、その前年度にあたる 2013 年 3 月期においても日本基準では赤字にもかかわらず、IFRS では黒字に転換していることが明らかになっている。

そこでまず、同社の概要を簡単に確認してから、同社の 2013 年 3 月期の貸借対照表(連結財政状態計算書)の対応項目を比較し、いかなる経過により日本基準では赤字であった決算数値が IFRS を適用することにより黒字になったのかを明らかにしていく。

4.1 そーせいグループの業績推移

1990 年に創業したそーせいグループは、医薬品の独自開発とともに、海外展開、M&A に積極的に取り組む。2005 年にイギリス Arakis Limited 社(現 Sosei R&D Limited)、2010 年にアクティバスファーマ社、2014 年に JITSBO 社、2015 年にイギリス Heputares Therapeutics 社を 100%子会社化している。

また、2004 年に東京証券取引所マザーズ市場に上場、さらにグループ化にともない、2006 年

に持株会社体制に移行、現社名に変更している。

ここで近年のそーせいグループの業績の推移について見ていきたい。すると、日本基準による決算では赤字が続いていたことがわかる。にもかかわらず、2014 年 3 月期より IFRS を適用後、翌 2015 年 2 月にはヘプタレス社(Heptares Therapeutics Ltd.)を最大 4 億ドルという支払条件で 100%子会社化している。そーせいグループの文書によれば 1 ドル 118.66 円で換算しており、円換算では約 475 億円の巨額投資である。

この投資に際し、そーせいグループはみずほ銀行より 200 億円の融資を受けている。2014 年 3 月期の純資産が約 144 億円であったことを考えると、通常では考えにくい融資であったと言える。

しかし、日本基準による 2013 年と IFRS による 2016 年における売上高(売上収益)と総資産額を買収前の状況と比較すれば、売上高(売上収益)は約 4 倍強、総資産額は 7 倍強と、会社の規模は急拡大している。

そーせいグループは、IFRS 適用により当期利益が黒字化し、財務体質の転換を図ることに成功した。それを梃子に有望企業の M&A 案件に対し、金融機関からの融資を引き出すことに成功したということになる。これら一連の活動により短期間のうちに会社規模を急拡大させることができたということになる。

表 2 そーせいグループの沿革

年月		事項
1990 年	6 月	バイオ医薬品の研究開発と技術移転事業を目的として、株式会社そーせいを設立
1999 年	3 月	ドラッグ・リプロファイリング・プラットフォーム® (DRP®) プロジェクトを開始
2001 年	4 月	HRA Pharma から緊急避妊薬「NorLevo®」の日本における独占的販売権に関する契約を締結
2002 年	9 月	英国ロンドンにオフィスを開設

2004 年	7 月	東京証券取引所マザーズに上場
2005 年	6 月	「委員会設置会社」へ移行
2005 年	8 月	Arakis Ltd. (現 Sosei R&D Ltd. 、英国) の株式取得 (子会社化)
2006 年	10 月	持株会社体制へ移行
2010 年	8 月	株式会社アクティバスファーマの完全子会社化
2011 年	2 月	ノルレボ®錠 0.75mg(緊急避妊薬) 国内での製造販売承認を取得
2011 年	5 月	ノルレボ®錠 0.75mg(緊急避妊薬) 国内での発売
2011 年	5 月	BioAlliance Pharma (現 Onxeo) と SO-1105 (口腔咽頭カンジダ症) の導入に関する契約を締結
2014 年	12 月	JITSUBO 株式会社の子会社化
2015 年	2 月	Heptares Therapeutics Ltd. の子会社化

出所) そーせいグループ HP より作成。

表 3 そーせいグループの IFRS 適用前後の会社規模と業績

(単位: 百万円)

決算年月	第 20 期	第 21 期	第 22 期	第 23 期	第 24 期	第 25 期	第 26 期
	2010 年 3 月	2011 年 3 月	2012 年 3 月	2013 年 3 月	2014 年 3 月	2015 年 3 月	2016 年 3 月
売上収益(注 1)	920	717	862	1959	2069	3671	8151
親会社の所有者に帰属する当期利益又は損失(△)(注 2)	△ 1769	△ 1872	△ 1954	△ 647	1526	516	△ 1432
親会社の所有者に帰属する持分(注 3)	10377	8656	7102	6512	14354	14600	23142
総資産額	10673	8992	7390	6795	14582	47833	47354

出所) そーせいグループ『有価証券報告書』各年度版より作成。

注 1, 2, 3) 日本基準ではそれぞれ売上高, 当期純利益(損失), 純資産額にあたる。

4.2 損益計算書(包括利益計算書)の検討

それでは, そーせいグループの損益計算書(包括利益計算書)について検討していこう。

まず, 注目すべきは売上高(売上収益), 売上原価, 売上総利益である。

IFRS 適用に際し, 売上高が減少する会社が多いことが知られているが^{vi)}, そーせいグループは日本基準と IFRS では同額の金額が計上されている。

次に, 販売費及び一般管理費(以下, 販管費)である。ここで日本基準と IFRS では項目構成に若

干の差異が生じてくる。

つまり, 日本基準では売上総利益から販管費を差し引いたものがそのまま, 営業利益となるが, IFRS では販管費を差し引いた後, 研究開発費が独立して計上され, さらにその他の収益, 費用が計上されて営業利益となる。

さて, 各項目の額を確認すると, 日本基準では 26 億円弱が計上されているが, IFRS では 6 億円強しか計上されていない。率にして 76.5%減と大幅に減額されているのである。

内訳をみていこう。

先ず、日本基準では販管費の中に含まれていた研究開発費が IFRS では独立して表記されている。しかし、この研究開発費が 1 億 6800 万円弱程減額されている。これは研究開発費の一部が無形固定資産に計上され、その分が除外されたことによる。

問題は「認識・測定の差異調整」により、16 億円弱減額されていることである。

この販管費の減額要因は三つある。

一つは、リース資産を除く有形固定資産の減価償却方法を主に定率法だったものを定額法にしたことである。

二つめは、開発費用の一部を無形資産に計上したことである。

そして、三つめの要因がのれんの償却である。のれんの処理について、これまで 10 年間における定額法で償却していたものを、IFRS を適用することで償却しないことになったからである。無論、毎年減損テストをするものの、大幅に販管費が削減されている。

これに助成金収入・その他によるその他の収益

5600 万円強と固定資産除却損その他の費用 40 万円弱を計上されている。

日本基準では 9 億 5 千万円強の営業損失が計上されていたにもかかわらず、IFRS における 2013 年 3 月期の営業利益は 8 億 5 千万円強の黒字となる。

営業損益以下の項目においても、その項目構成や数値に相違があるものの、税金等調整前当期純損失(税引前当期利益)は日本基準で 7 億 6 千万円弱の損失、IFRS では 9 億 6 千万円弱の利益となっている。

当期包括利益(当期包括利益合計)においても日本基準では 6 億 6 千万円強の赤字、IFRS で 10 億 5 千万円弱の黒字となっており、それぞれ損失、利益の数値に変動はあっても、日本基準と IFRS の対応項目における数値の差に大きな変動はないといっていよう。

つまり、ソーセイグループは IFRS を適用することにより、販管費を大幅に圧縮することが可能となり、赤字経営から黒字経営に転換することができたと言えるのである。

表 4 ソーセイグループの IFRS 適用にともなう 2013 年 3 月期の包括利益に対する調整

(単位：千円)

日本基準		表示科目の 差異調整	認識・測定の 差異調整	IFRS	
日本基準表示科目	金額			金額	IFRS 表示科目
売上高	1,958,996			1,958,996	売上収益
売上原価	325,749			325,749	売上原価
売上総利益	1,633,247	—	—	1,633,247	売上総利益
販売費及び一般管理費	2,586,682	Δ385,695	Δ1,594,321	606,665	販売費及び一般管理費
		385,695	Δ156,837	228,857	研究開発費
		Δ53,501	Δ2,778	56,279	その他の収益
		360		360	その他の費用
営業損失	Δ953,434	53,140	1,753,937	853,643	営業利益
(営業外収益)					
受取利息	1,216	101,409		102,625	金融収益

日本基準		表示科目の認識・測定の		IFRS	
日本基準表示科目	金額	差異調整	差異調整	金額	IFRS 表示科目
為替差益	96,812	Δ96,812		—	
有価証券売却益	4,596	Δ4,596		—	
助成金収入	62,625	Δ53,455	Δ9,169	—	
その他	45	Δ45		—	
(特別利益)					
新株予約権戻入益	31,175		Δ31,175	—	
(特別損失)					
固定資産除却損	360	Δ360		—	
税金等調整前当期純損失	Δ757,323	—	1,713,591	956,268	税引前当期利益
法人税、住民税及び事業税	7,759			7,759	法人所得税費用
少数株主損益調整前当期純損失	Δ765,082			—	
少数株主損失	Δ118,226		118,226	—	
当期純損失	Δ646,856	—	1,595,365	948,509	当期利益
					(当期利益の帰属)
				948,509	親会社の所有者
				—	非支配持分
(その他の包括利益)					(その他の包括利益)
その他有価証券評価差額金	Δ1,419			Δ1,419	売却可能金融資産の公正価値
為替換算調整勘定	101,992			101,992	在外営業活動体の為替換算差額
その他の包括利益合計	100,573	—	—	100,573	その他の包括利益合計
当期包括利益	Δ664,509		1,713,591	1,049,082	当期包括利益合計
(内訳)					(当期包括利益の帰属)
親会社株主に係る包括利益	Δ546,283		1,595,365	1,049,082	親会社の所有者
少数株主に係る包括利益	Δ118,226		118,226	—	非支配持分

出所) そーせいグループ『有価証券報告書』2014 年 3 月期より作成

5 小括と今後の課題

本稿においては、医薬品業界で IFRS 適用が進む

原因と IFRS を適用する際の問題点を洗い出すべく、先行業績の検討からそーせいグループの IFRS 適用時における業績の変化の様子を確認した。

結果として、そーせいグループは販管費に占めるのれんの償却額が大きく、IFRS を適用することで大幅に販管費を圧縮することが可能となり、それまでの赤字経営から脱出することができた。

IFRS を適用した会社がすべてこのような状況であるわけではない^{vii}。

むしろ、極端な例として認識すべきであるとは思いますが、会計基準を換えるだけで業績が大幅に変化してしまう現実の事例を目の当たりにすると、いくつかの問題点を指摘しておかなければならない。

第一に、複数の会計基準が存在し、その基準に隔たりが大きな場合、会計そのものに対する信頼性を損なう可能性があるということである。会計基準を変更することになり、黒字額に変化が起きたというのではなく、赤字であったものが黒字になったということになれば、投資家をはじめとして、利害関係者は IFRS を適用した企業の適用前までの決算数値は何であったのかと疑念を持つことになる。

また、各項目の数値の変化率等が全く比較の対象にならないことも問題である。これもそのまま会計そのものに対する信頼性を損なう可能性がある。

ただし、この点に関しては適用前年の調整表による数値を利用することにより、各項目の変化率は容易かつ正確に計算が可能であるため、追加の開示で対処が可能であると思われる。

第二に、IFRS においてはのれんの償却をしない代わりに、減損テストを求めている点である。IFRS のみならず米国基準も同様であるが、筆者はこの減損テストの実施時期や評価に恣意性の入り込む余地がないのか、という疑念を持たざるえない。

現在、経営破綻に瀕している東芝は IFRS 適用会

社ではなく、米国基準を採用している。しかし減損テストの評価に関する会社側の説明には十分納得することができない。会社の説明が不十分であることは結果として減損テストの客観性に関する問題を提起する。減損テストを行なうタイミングやその評価に対して、従来の基準より明確な説明が必要なのではないかとの思いを持つ。

第三に、調整表についてである。そーせいグループが IFRS 適用した 2014 年 3 月期の有価証券報告書において、前年度における日本基準と IFRS に関する調整表が作成されているのは前述したとおりであるが、この中で「認識・測定の違い調整」に記載されている数値の根拠はどこにあるのか。

この点に関して、2014 年 3 月期のそーせいグループの有価証券報告書ではこれ以上の検討、確認はできない。勿論、2015 年以降の有価証券報告書でも明らかにはならない。

調整前の日本基準におけるのれんの償却額を確認するためには、2013 年 3 月期の有価証券報告書によって確認しなければならないのである。

また、有形固定資産の減価償却方法を主に定率法だったものを定額法にする計算手続きも明らかにはならない。「認識・測定の違い調整」についての計算過程を明確にすることが求められる。

参考文献, サイト一覧

- [1]桜井久勝,「IFRS 財務諸表による医薬品業界の国際経営分析」,『商学論究』63(3), 関西学院大学商学研究会, 2016 年
- [2]白坂 亨,『わが国における IFRS 初度適用会社の実態分析』Research Paper No.W-68, 大東文化大学経営研究所 2016 年
- [3]山田善隆「IFRS 編」『26 年 3 月期 有価証券報告書 開示実例と傾向』税務研究会 2014 年
- [4]山田善隆「IFRS 編」『27 年 3 月期 有価証券報告書 開示実例と傾向』税務研究会 2015 年

- [5]山田善隆「IFRS 編」『28 年 3 月期 有価証券報告書 開示事例と傾向』税務研究会 2016 年
- [6]そーせいグループ『英国へプタレス社の株式取得(子会社化)に関するお知らせ』2015 年
- [7]そーせいグループ『有価証券報告書』2013 年 3 月期, 2013 年
- [8]そーせいグループ『有価証券報告書』2014 年 3 月期, 2014 年
- [9]そーせいグループ『有価証券報告書』2015 年 3 月期, 2015 年
- [10] そーせいグループ『有価証券報告書』2016 年 3 月期, 2016 年
- [11]アステラス『有価証券報告書』2016 年 3 月期, 2016 年
- [12]第一三共『有価証券報告書』2016 年 3 月期, 2016 年
- [13]武田薬品工業『有価証券報告書』2016 年 3 月期, 2016 年
- [14]<http://www.jpx.co.jp/listing/others/ifrs/index.html>

i 日本取引所グループ IFRS 適用済・適用決定会社一覧

(<http://www.jpx.co.jp/listing/others/ifrs/index.html>)を参照のこと。

ii 金融庁 国際会計基準をめぐる最近の状況 (http://www.fsa.go.jp/singi/singi_kigyousiryou/kaikei/)を参照のこと。尚, この資料において, IFRS 適用企業が存在しない業種として, 水産・農林業, 鉱業, 建設業, 繊維製品, パルプ・紙, 電気・ガス, 海運業, 空運業, 倉庫・運輸関連, 銀行業, 保険業を挙げている。

iii 桜井 (2016) 65 頁において, 武田薬品(16 位), アステラス(18 位), 第一三共(20 位)が掲載されている。これら 3 社の 2013 年 12 月期 (日本企

業は 2014 年 3 月期) の ROE の数値は武田薬品が 4.1%, アステラスが 8.4%, 第一三共が 7.2% と記載されている。しかし, これらの数値は 2013 年 3 月の日本基準による数値であり, 同期の IFRS による数値は武田薬品が 4.5%, アステラスが 7.4%, 第一三共は 6.5%である。(各社有価証券報告書, 「主要な経営指標の推移」より)

[15]http://www.fsa.go.jp/singi/singi_kigyousiryou/kaikei/(金融庁 国際会計基準をめぐる最近の状況)

[16]<http://www.rosei.com/about/history.html> (そーせいグループ 歴史・沿革)

著者略歴

白坂 亨

1996 年明治大学大学院経営学研究科博士課程単位取得退学。同年大東文化大学経済学部経営学科専任講師, 2000 年同学科助教授, 2011 年大東文化大学経営学部経営学科教授。2014 年博士(商学)学位取得。現在に至る。専門は経営財務, 会計史。日本経営財務研究学会, 日本財務管理学会, 日本会計史学会, 国際 ICT 利用研究学会等の会員。

業は 2014 年 3 月期) の ROE の数値は武田薬品が 4.1%, アステラスが 8.4%, 第一三共が 7.2% と記載されている。しかし, これらの数値は 2013 年 3 月の日本基準による数値であり, 同期の IFRS による数値は武田薬品が 4.5%, アステラスが 7.4%, 第一三共は 6.5%である。(各社有価証券報告書, 「主要な経営指標の推移」より)

iv 桜井 (2016) 64 頁, 図表 5 を参照のこと。

v そーせいグループ (2015) 8 頁を参照のこと。

vi 電通は-71.4%, 日本たばこ産業は-66.8%, 双日は-55.4%を記録している。

vii 白坂亨(2016)を参照のこと。

サプライチェーンを構成する企業の研究

上山 俊幸

千葉商科大学 商経学部

A study on companies that make up the supply chain

Toshiyuki Ueyama

Faculty of Commerce and Economics, Chiba University of Commerce

要旨 自動車産業と電子機器産業において、サプライチェーンを構成している企業間の利益構造、在庫状況の差についてデータを使って分析し、またそれらの企業がどの程度の財政的余裕があるのかを研究開発費で評価する。その結果を基にサプライチェーンの川上企業と川下企業という観点から業界や企業の特徴を検討した。その結果、産業構造の違いにも影響されるが、自動車産業と電子機器産業とは異なる特徴があることなどが明らかとなった。統計解析では、分散分析とクラスタ分析を行い、分散分析では Games-Howell 法を使用した。

キーワード：自動車産業、電子機器産業、利益、在庫、研究開発、クラスタ分析

Abstract This paper analyzed the difference between the profit structure and inventory situation existing among the companies that make up the supply chain in the automobile industry and the electronic equipment industry, and the degree of financial margin that these companies have was evaluated by the R & D expenses. Based on this result, this study attempted to find for the characteristics of industries and companies from the viewpoint of upstream companies and downstream companies in the supply chain. It turned out that the characteristics are different between the automobile industry and the electronic equipment industry, reflecting the difference in the industrial structure. For statistical analysis, the Games-Howell method in ANOVA and cluster analysis were used.

Keywords: automobile industry, electronics industry, profit, inventory, R & D, cluster analysis

1 はじめに

サプライチェーンに関する研究では、過去に次のような変化があった。すなわち、当初業界において企業同士が競争を行っていたのでは、輸送・配送オペレーションのスピードや在庫の適正化で優位に立ち、コスト面や利益面で優位に立つには、限界があることが理解され、当該企業の属するサプライチェーンに着目し、企業間の競争よりサプライチェーン間のそれに関する研究が重要であるとみられていた。しかし、実際にはサプライヤーとなる企業が複数のサプライチェーンに属し、部品や材料を川下の企業に提供することは普通に行われているし、また製品を製造するメーカーが異なるサプライチェーンに属する小売企業やあるいは

卸企業に製品を販売することも普通に行われていることから、サプライチェーンを独立した存在ととらえ、それらサプライチェーン間の競争を観察・研究するというとらえ方は、業界によっても差があるが、現実世界の企業活動に即した研究になりにくいことが明らかになったのであった。すなわち、図 1 に示すモデルのような関係性があることを想定することが必要になったのである。

したがって、企業に焦点を当てながら、またサプライチェーンが有向ネットワーク構造的な形態を持っていることに配慮した分析が必要になるのである。

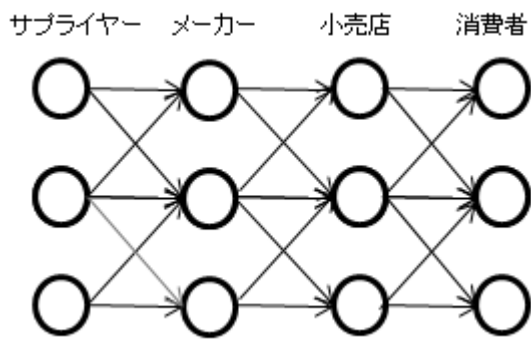


図1 一般的サプライチェーンのモデル

ちなみに、サプライチェーンといっても、それを構成する企業間に財務的な差や販売チャネルの差など、いわゆる企業の体力的な差があった場合、実際にはこれらの差を背景として、優位な企業がサプライチェーンのオペレーションや情報システムに関して、支配的に全体を牽引することも起きている。このことは、サプライチェーンの重要性が叫ばれ、サプライチェーンが注目されるきっかけとなったP & Gとウォールマートを想起すれば容易に理解できる。この点も研究テーマとしては重要である。

サプライチェーンではもう一つ忘れてはならないのが、BCP (Business continuity planning : 事業継続計画) あるいは BCRP (Business Continuity & Resiliency Planning : 事業継続と復旧計画) に関する課題である。日本の社会と経済に、そして同時に私たちのところに深い傷を刻むことになった3.11の東日本大震災が起これ、さらにその後タイ王国で起こった洪水が日本企業の経営とサプライチェーンに大きく影響を及ぼした。サプライチェーンが途絶し、震災の直接的な影響を受けなかったにもかかわらず工場の稼働が止まったところもあった。こういった、BCPやBCRPの観点からの報告は多くなされた。[1][2]一方、会計情報を取り入れたサプライチェーンに関するBCPやBCRPの分析は少ない。筆者はこれまで研究してきた過程でサプライチェーンのBCPに関わる議論を公表してきた。[3][4]

本稿では、いったんBCPやBCRPの課題から離れて、サプライチェーンの財務的データから評価を行う。対象としては、把握しやすく、またケイ

レツ (Keiretsu) の文化が残っている自動車産業とサプライチェーンとしては企業間の関係性がやや不明瞭で密ではない電子機器産業を取り上げて、サプライチェーンを構成する企業間のコストと利益の関連、そしてそれぞれの企業がどの程度の余裕を持って事業を行っているのかを議論する。自動車産業の代表的2社とサプライヤーに絞って行われたサプライチェーンの利益・リスク分配に関する研究 [5]やサプライチェーンをモデル化した研究[6][7]などがあるが、ここではこれまでの筆者の研究[8][9][10]を踏まえてもう少し水平的に広い範囲を視野に入れた検討を行う。

まず、サプライチェーンを構成する企業間の利益構造や在庫状況についてデータを使って分析する。そして、それらの企業が財政的にどの程度余裕があるのかを検討する。その際、企業の有する余裕は債務に関わる指標、例えば流動比率などでもその一端が分かるのであるが、しかしながら同時に当該企業の置かれたライフステージ、すなわち創業期、成長期、安定期などによってそれらの指標を評価するには難しい面があることも事実である。そこで、企業のライフステージにも左右されることが比較的小さいと考えられる研究開発に関わる経営指標を使って評価したい。

企業において研究開発に資金を投入することは、将来に対する投資とみることができるが、当然のことながら企業に財政的に余裕がなければ研究開発に十分な投資は行えない。研究開発を行うためには、それを支える利益が確保できるような企業構造・財務構造である必要がある。

自動車産業においては、旧来のケイレツの影響が残っており、またサプライヤーに比べてアセンブリ企業が財務的余裕から研究開発により大きな投資をしているのではないかと、そしてその関連として得る利益に差が出ているのではないかと、また電子機器産業においては、サプライヤー企業である川上企業と川下企業の関係性が弱いので、サプライヤーである川上企業が川下企業に比べて電子部品の研究開発に大きな投資をしているのではないかと、そしてその関連として得る利益に差が出ているのではないかと、という仮説を立てて分析を試みたい。一般的には、研究開発は、研究と開発、

あるいは基礎研究と応用研究に分けられるのであるが、今回の分析ではそれらに分けることなく分析・議論することにする。

2 分析方法

自動車産業のサプライチェーンを構成する企業に関しては、アセンブリ企業として、トヨタ自動車株式会社（以下、トヨタ）、日産自動車株式会社（以下、日産）、本田技研工業株式会社（以下、本田技研）を取り上げ、トヨタへのサプライヤーとして株式会社デンソー（以下、デンソー）、アイシン精機株式会社（以下、アイシン精機）、また日産へのサプライヤーとしてカルソニックカンセイ株式会社（以下、カルソニックカンセイ）、そして本田技研へのサプライヤーとしてティ・エステック株式会社（以下、ティ・エステック）を取り上げてそれぞれの企業を分析する。トヨタ、日産、本田技研をアセンブリ企業グループ（川下企業グループ）、デンソー、アイシン精機、カルソニックカンセイ、ティ・エステックをサプライヤーグループ（川上企業グループ）として検討を加えたい。

電子機器産業に関しては、サプライチェーンを構成する企業として、電子部品メーカーでありサプライヤーである京セラ株式会社（以下、京セラ）、TDK 株式会社（以下、TDK）、日本電産株式会社（以下、日本電産）、株式会社村田製作所（以下、村田製作所）、オムロン株式会社（以下、オムロン）、アルプス電気株式会社（以下、アルプス電気）を取り上げ、電子部品を使用している川下の企業として、パナソニック株式会社（以下、パナソニック）とソニー株式会社（以下、ソニー）、さらにソフトウェアも製造販売しているがハードウェアの製造販売を事業としている富士通株式会社（以下、富士通）を取り上げた。パナソニック、ソニーおよび富士通は自社でも電子部品を製造しているので、単純なサプライヤーとアセンブリ企業という関係ではないことは理解しておく必要がある。また、アセンブリ企業が機密の面から仕入先や仕入れている部品名を公表したがることはよく知られているが、それに呼応してサプライヤーである電子部品製造企業の側も納入先およびその部品名を公表していない。したがって、サプライヤー

としての電子部品産業とその下流企業にあるアセンブリ企業の位置づけられる企業は、自動車産業と同等の扱いはできないのであるが、ここでは、サプライヤーとアセンブリ企業の個々の企業間の関係性が密ではないことを理解した上で、広くとらえて川上のサプライヤーグループと川下のアセンブリ企業グループととらえることにする。

なお、ここでは川上企業と川下企業を合わせて電子機器産業と表現して取り扱っているが、日本標準産業分類、とりわけその中分類とは名称が一致していないことを付記しておく。

使用するデータは企業が公表している有価証券報告書に記載されたものである。分析対象期間は、自動車産業、電子機器産業ともに 2006 年度（平成 18 年度）から 2015 年度（平成 27 年度）までの 10 年間とした。

分析の対象期間中には、世界経済を揺るがすリーマンショックがあった。そして、先ほども触れた 3.11 の東日本大震災とタイ王国での洪水があったが、これらの年も分析の期間に含めているので、企業によってはこれらの影響を大なり小なり受けたところがあることは念頭に置いておきたい。

分析では、まず自動車産業に属する企業について、売上高との関係で利益を見るために本業の利益である営業利益を採用し、売上高営業利益率を使用する。そして営業利益と在庫とを考慮した指標として棚卸資産営業利益率を使用し、在庫の偏在を見るために棚卸資産に関する在庫回転率を使用する。

在庫回転率は、 $\text{在庫回転率} = \frac{\text{売上高}}{\text{平均在庫高}}$ （ただし、 $\text{平均在庫高} = \frac{(\text{期首在庫高} + \text{期末在庫高})}{2}$ ）とするのが一般的であるが、ここでは時系列で分析することもあり、 $(\text{期首在庫高} + \text{期末在庫高})$ の代わりに期末在庫高を使っている。電子部品産業を含む電子機器産業においても同様の方法で分析する。

さらに、企業の将来への投資ともいえる研究開発の状況を把握するために売上高研究開発費率を使用することにした。

自動車産業では、サプライヤーとして取り上げる各社の大株主、その大株主が所有する持株の比率は、表 1 の通りである。カルソニックカンセイ

以外は、20%台前半でほぼ差がないことが分かる。ただし、日産はこの後の2016年11月22日にカルソニックカンセイの株式を米投資ファンド Kohlberg Kravis Roberts (KKR) に売却すると発表している。この株式売却は本稿の分析には影響がないとみてよいだろう。

表 1 サプライヤー概要 (単位: 百万円)

	大株主	持株比率
デンソー	トヨタ	22.25%
アイシン精機	トヨタ	22.25%
カルソニックカンセイ	日産	40.70%
ティ・エステック	本田技研	22.59%

(2016年3月31日現在)

一方、電子機器産業についても同じ指標を使用して分析する。ただ、株の持ち合い状況は自動車産業とは異なっている。すなわち、電子部品サプライヤーについては、電子機器産業の特定の川下企業が大株主になっているということはない。

この大株主の違いがサプライチェーンに属する企業間の関係性に影響する可能性があるので、注記しておきたい。

なお、本稿の統計解析には、SPSS を使用し、分散分析とクラスタ分析を行った。また、分散分析では、Games-Howell 法を使用した。

3 分析

売上高営業利益率を使って、自動車産業の企業、そして電子機器産業に関して平均と変動係数をグラフに表現し分析し、同様に棚卸資産営業利益率、在庫回転率、そして最後に売上高研究開発費率についても同様にグラフに表現してそれぞれの産業について検討する。

3.1 売上高営業利益率

自動車産業の売上高営業利益率に関して各社の平均と変動係数を表現したものが図 1 である。

グラフでは、トヨタを TY, デンソーを DE, アイシン精機を AI, 本田技研を HO, ティ・エステックを TE, 日産を NI, カルソニックカンセイを CK で表している。図 1 から、カルソニックカンセイの平均だけが低く、変動係数が大きいことがわかる。分散分析を行ってみると、カルソニックカンセイの売上高営業利益率はトヨタを除く 5

社と有意となることが確認できた。自動車産業において川上企業グループと川下企業グループとの間で差があることは認められないが、日産グループだけがサプライヤー企業とアセンブリ企業の間で差のあることがわかる。

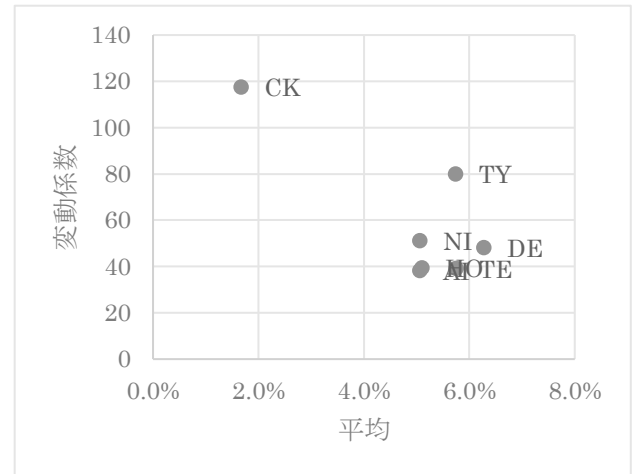


図 1 自動車産業の売上高営業利益率

電子機器産業の売上高営業利益率について同様にグラフで表現したのが図 2 である。

グラフでは、京セラを KS, TDK を TDK, オムロンを OM, 日本電産を ND, アルプス電気を AL, 村田製作所を MU, パナソニックを PA, ソニーを SO, 富士通を FJ で表現している。

図 2 をみると、パナソニック、ソニー、富士通といった川下にある企業の売上高営業利益率が低いということが読み取れ、また分散分析を行うと、有意差もないことがわかる。またサプライヤーについては、企業間にばらつきのあることがわかる。

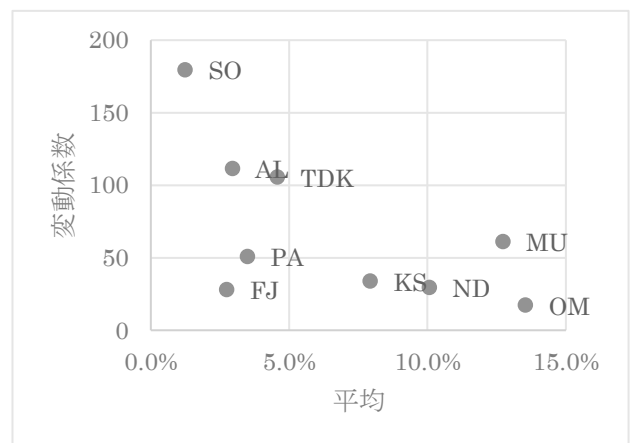


図 2 電子機器産業の売上高営業利益

電子機器産業でも、川上企業グループと川下企業グループとでははっきりとした差は認められない。個別にみると、TDK はオムロンとの間で有意差があったが、それ以外の企業との間には有意差が認められなかった。また、村田製作所はソニーとの間に有意差があったが、それ以外の企業との間に有意差は認められなかった。他の企業のケースについては、複数の企業との間に有意差のあることが認められた。

3.2 棚卸資産営業利益率

自動車産業の棚卸資産営業利益率について、平均と変動係数を視覚化したものが図 3 である。

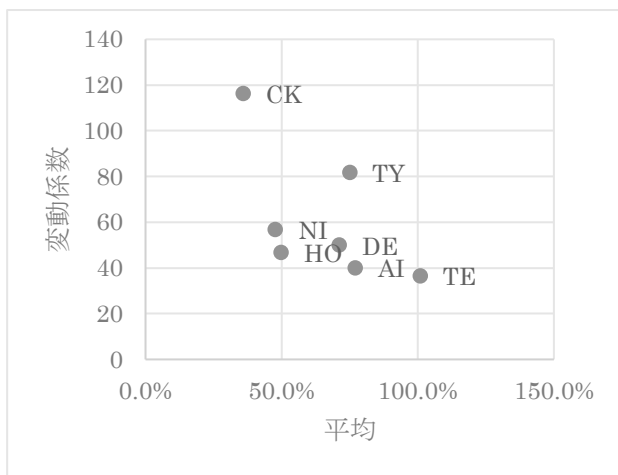


図 3 自動車産業の棚卸資産営業利益率

図 3 でも、カルソニックカンセイの平均が低く変動が大きいことがわかる。ただ、売上高営業利益率ほどの差は開いていない。また、テイ・エステックだけが 100%を超えていることもわかる。

分散分析を行うと、テイ・エステックは本田技研、日産、カルソニックカンセイとの間に有意差があった。川上企業グループと川下企業グループとの間には、はっきりとした差は認められないが、本田技研グループとして見た場合、サプライヤー企業とアセンブリ企業との間に差のあることがわかる。しかも、仮説を支持するように、サプライヤー企業のほうが高い値が出ている。

電子機器産業についても、同様にグラフを作成してみる。それが図 4 である。

ソニーの変動係数がほかの企業に比べて大きい

ことがわかる。

分散分析を施すと村田製作所だけが他の企業との間に有意差が認められなかった。TDK がオムロンとの間に有意差がある以外は他企業との間に有意さが認められなかったが、それ以外の企業は複数の企業との間に有意差があった。

川上企業グループと川下企業グループとの間では、はっきりとした差は認められなかった。

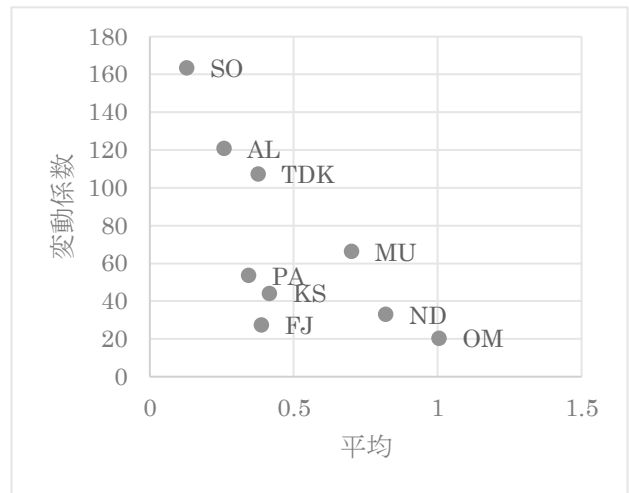


図 4 電子機器産業の棚卸資産営業利益率

3.3 在庫回転率

さらに、自動車産業各企業の在庫回転率をグラフにしたものが図 5 である。

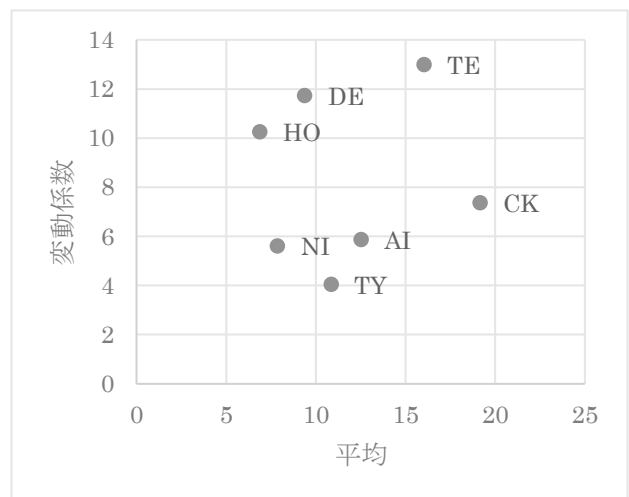


図 5 自動車産業の在庫回転率

ここでは、カルソニックカンセイの在庫回転率の平均が高い値を示している。

分散分析を行うと 7 社全てについてほかの企業との間に有意差があることが分かった。自動車産業では、企業間で在庫回転率に差があることが理解できる。

川上企業グループと川下企業グループとの間では、はっきりとした差は認められないが、概してサプライヤー企業のほうが在庫回転率は大きい傾向がある。電子機器産業について、各企業の在庫回転率をグラフに表現したのが図 6 である。

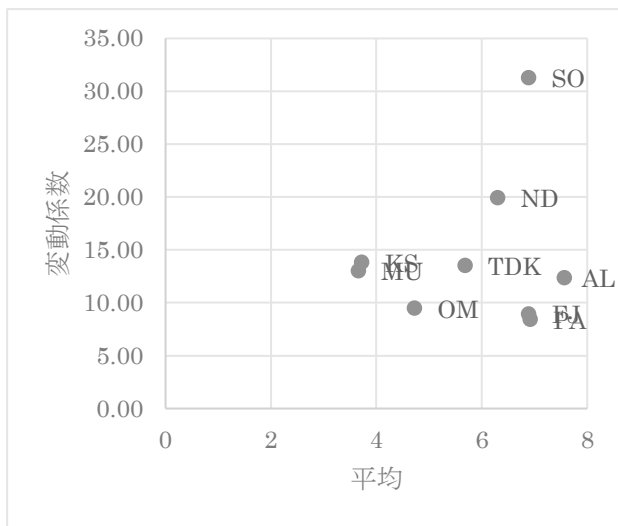


図 6 電子機器産業の在庫回転率

全体からは、川上企業グループより川下企業グループのほうが高い値を示しているものの 2 つのグループ間に、はっきりとした差は認められない。

分散分析では、京セラと村田製作所との間に有意差がなく、また TDK、オムロン、日本電産の 3 社間に有意差がなく、さらに日本電産、アルプス電気、パナソニック、ソニーの 4 社間に有意差はなかったが、それ以外には有意差があった。

3.4 研究開発費率

最後に、企業の財務的余裕をみるため、売上高研究開発費率に着目し、平均と変動係数をグラフにしてみる。それが図 7 と図 8 である。

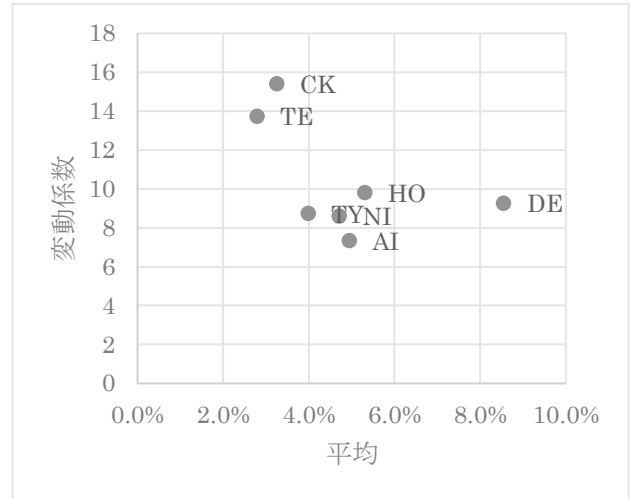


図 7 自動車産業の研究開発費率

まず、自動車産業についてであるが、平均をみると売上高研究開発費率でデンソーが突出していることがわかる。

分散分析を行うとデンソーは他の企業との間に有意差があることが分かる。ほかには、アイシン精機と本田技研と日産の 3 社の間、およびティ・エステックとカルソニックの間に有意差はなかったが、それ以外の企業間には有意差があった。

ここでも川上企業グループと川下企業グループとでははっきりとした差は認められないが、トヨタグループ、本田技研グループ、日産グループのグループ内でサプライヤーとアセンブリ企業との間にそれぞれ有意差があるということが分かる。

電子機器産業についても、同様に検討する。

図 8 からは、村田製作所とオムロンとが突出しているように見える。実際、分散分析の結果でも村田製作所とオムロンとがほかの企業との間に有意差があることが認められた。また、村田製作所とオムロンと間には有意差は認められない。その他には、京セラ、アルプス電気、富士通の間には有意差は認められず、TDK、日本電産、アルプス電気、パナソニック、ソニーの 4 社間にも有意差はなかった。オムロンと村田製作所の間、日本電産と富士通の間にも有意差は認められなかった。

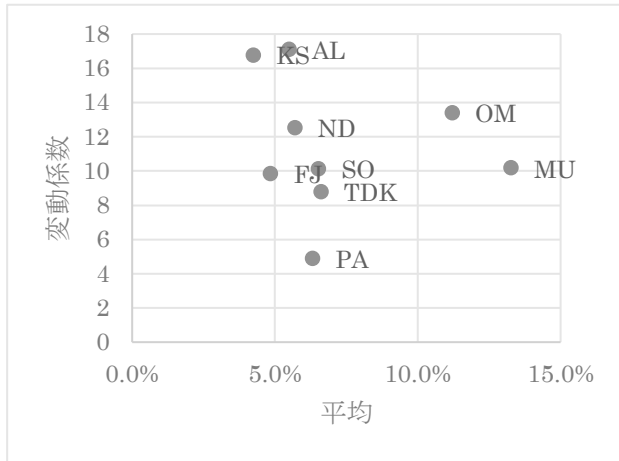


図 8 電子機器産業の研究開発費率

川上企業グループと川下企業グループとはっきりとした差は認められないが川上企業グループ内で有意差が認められ、企業間では余裕に差があるということである。

3.5 クラスタ分析

これまでに取り上げた 4 つの指標をみると自動車産業および電子機器産業には、いくつかの特徴がみられるが、ここで利益の偏在としての営業利益、在庫の偏在としての棚卸資産、財政的余裕の発現としての研究開発という視点から、これまでにみてきた 4 つの指標のうち売上高営業利益率、在庫回転率、売上高研究開発費率の 3 つの指標に絞り、クラスタ分析を適用して総合的に検討することにする。

クラスタ分析の Ward クラスタ法を使用し、測定方法としてはユークリッド平方距離法によって計算し、その結果のデンドログラムを図 9 から図 11 に示す。なお、上記で取り上げた 4 つの指標間の関係性からも予想できることであるが、本節で取り上げた 3 つの指標に棚卸資産営業利益率を要因として追加しても、処理結果はほとんど同じであった。

まず、図 9 に示す自動車産業であるが、テイ・エステックとカルソニックの 2 社が他の 5 社とは距離があることが理解できる。見方を変えれば、今回取り上げた指標からみた場合、デンソーとアイシン精機は、アセンブリ企業と同じ傾向にあることが分かる。これは、これらの 2 社の財務状況

や経営成績の特徴を良く表している結果であるとも理解できる。

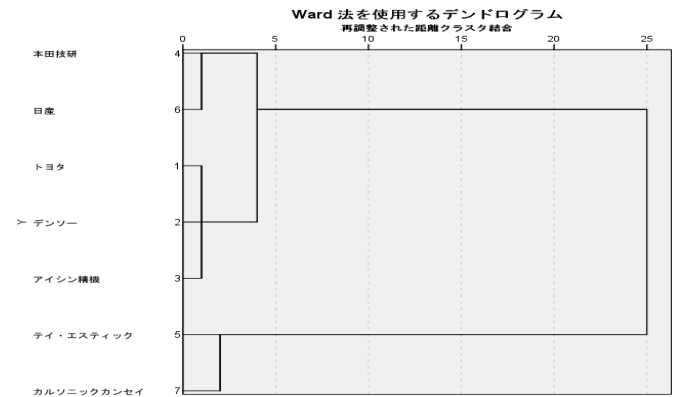


図 9 自動車産業のデンドログラム

次に、電子機器産業に関するクラスタ分析の結果のデンドログラムである図 10 からは、電子機器産業では、川上企業グループである電子部品製造企業と川下企業グループとを分けるような結果にはならなかったことがわかる。ただ、この結果を見ると、京セラ、村田製作所、オムロンと他の企業とに距離があることが読み取れる。これら 3 社が本稿で取り上げた利益、在庫、研究開発では電子機器企業のなかではアセンブリ企業や他の電子部品製造企業とは異なる性質があり、逆にみるとアルプス電気、TDK、日本電産が川下グループの企業と同じ特徴があるということである。

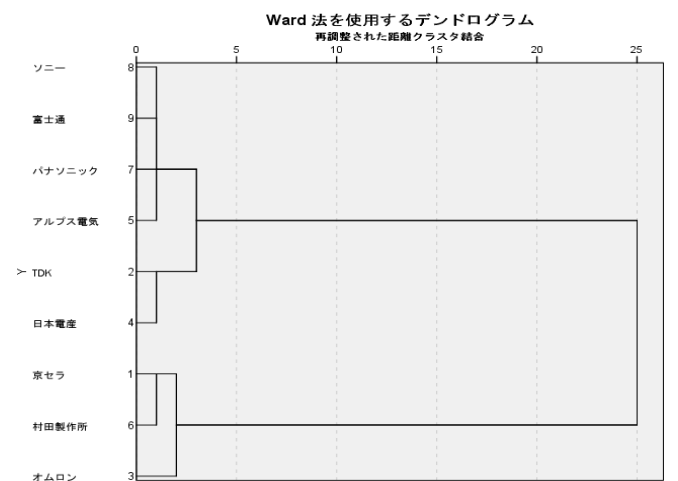


図 10 電子機器産業のデンドログラム

自動車産業と電子機器産業とをまとめて分析す

ると、図 11 から理解できるように、トヨタ、デンソー、アイシン精機というトヨタグループがひとつのグループを形成していることが特徴的である。

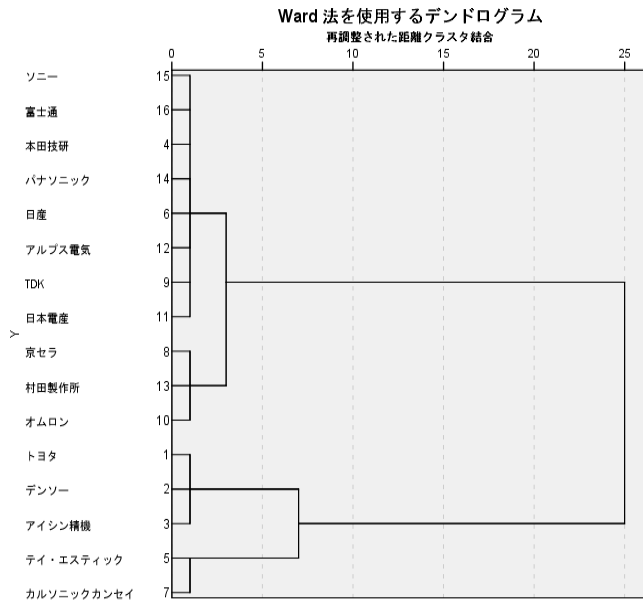


図 11 自動車産業・電子機器産業のデンドログラム

また、それ以外には、先に述べたようにティ・エスティックとカルソニックの 2 社が自動車産業の他社と離れているだけでなく、電子機器産業の各社とも離れていることがわかる。

日産と本田技研が電子機器産業と近いということもわかる。

4 考察

当初は、先述のように自動車産業においてはサプライヤーに比べてアセンブリ企業が財務的余裕との関連で研究開発により大きな投資をしているのではないかと、そして利益に差が出ているのではないかと、また電子機器産業においては逆に川上企業が川下企業に比べて電子部品の研究開発に大きな投資をしているのではないかと、そして利益にも差が出ているのではないかと、という大きな仮説を立てていた。上記のように、自動車産業と電子機器産業のサプライチェーンに焦点を当てデータ分析を使って分析し吟味してみると、川上グループ、川下グループというような区分でみたときの 2 つのグループ間には、区分するような明確な結果は

得られなかった。しかし、2 つの産業においていくつかの特徴的な結果が見られた。

自動車産業においては、研究開発力に関連がある利益に関する分散分析でもサプライヤー企業の 1 社を除くと差がなくプライヤー企業とアセンブリ企業とが類似していることが分かった。また、利益を支える一つの指標である在庫回転率に関しては、例外はあるもののサプライヤー企業の方が高い値を示していることが確認できた。

また、クラスタ分析によって、トヨタグループだけがサプライヤー企業とアセンブリ企業とが近い距離を示し、他のケイレツではサプライヤー企業とアセンブリ企業とに距離があることも分かった。

電子機器産業においては、川下企業同士が近い距離にあり、それに加えて川上企業グループに属するアルプス電気、TDK、日本電産、とりわけアルプス電気が、川下企業と近い距離にあるという特徴が見られた。そして、それを裏付けるようにアルプス電気の売上高営業利益率、棚卸資産営業利益率もアセンブリ企業に近い値を示していて有意差もないという結果であった。また、アルプス電気は在庫回転率でも富士通を除いたソニーとパナソニックに近い値を示していた。川下企業の間では、売上高営業利益率、棚卸資産営業利益率に有意差がないということから近い距離にあることが判明した。

5 おわりに

本稿では、自動車産業と電子機器産業のサプライチェーンを構成する企業の利益の状況、在庫の状況のほか、各社の将来に対する投資や意欲という視点も導入して研究開発費も対象に入れて分析し考察した。

今後は、サプライチェーンにおける特徴を抽出するために、できれば両産業のサプライチェーンでサプライヤー企業である川上企業と川下企業の数を増やしてデータ分析を行う必要があると考えている。また、同時に他の産業も視野に入れて、川上企業と川下企業の分析を行いサプライチェーンの企業間関係について議論したい。

なお、ある特定の企業がサプライチェーンにお

いて主導権を握る、あるいは支配的に振る舞う可能性がある。しかし、それは今回の分析とは別に吟味する必要があり、今後の取り組むべき研究課題といえる。

参考文献

- [1] 日本公認会計士協会経営研究調査会「経営研究調査会報告第 58 号「CSR 報告書にみるサプライチェーンにおける CSR 課題への取組と開示」(概要)」会計・監査ジャーナル, 日本公認会計士協会, 2016.10.
- [2] 泊輝幸, 尾嶋博之, 前中敬一郎, 糸岡栄博, 櫻井三穂子「近似のサプライチェーンにおけるリスクと事業継続への影響」企業リスク, デロイトトーマツ企業リスク研究所, 2016.10.
- [3] 上山俊幸, 企業の BCP への取り組み, 第 7 回パーソナルコンピュータ利用技術学会全国大会講演論文集, 2012.
- [4] 上山俊幸, 電子部品製造企業の BCP 取り組みに関する分析, 第 8 回パーソナルコンピュータ利用技術学会全国大会講演論文集, 2013.
- [5] 下野由貴, サプライチェーンにおける利益・リスク分配; トヨタグループと日産グループの比較, 組織科学, Vol.39, No.2, pp.67-81, 2005.
- [6] 三木良雄「IoT における公正な利益配分方法について」経営情報学会全国研究発表大会要旨集, 経営情報学会, 2016.9.
- [7] Mustapha Salia and Vincent Giard, *Optimal stock-out risk when demand is driven by several mixed-model assembly lines in the presence of emergency supply*, International Journal of Production Research, 2015, Vol. 53, No. 11.
- [8] 上山俊幸, 自動車産業サプライチェーンにおける在庫と利益配分に関する分析, 第 9 回パーソナルコンピュータ利用技術学会全国大会講演論文集, 2014.
- [9] 上山俊幸, サプライチェーンにおける在庫と利益に関する分析, パーソナルコンピュータ利用技術学会 10 周年記念全国大会講演論文集, 2015.
- [10] 上山俊幸, 自動車産業サプライチェーンにおける利益と研究開発費に関する分析, 第 1 回

国際 ICT 利用研究学会全国大会講演論文集, 2016.

上山俊幸



1977 年東京理科大学卒業, 1979 年東京工業大学大学院修士課程修了, 日立電線株式会社, 産能大学総合研究所, 東京工芸大学女子短期大学部を経て, 1991 年千葉商科大学専任講師, 1994 年助教授, 2000 年より教授。

現在に至る。企業の情報システム設計, 経営指導などに従事。主な著書として、『原価管理導入のポイント』(日刊工業新聞社), 『経営情報システム』(共立出版), 『経営情報システム論』(日本理工出版会) など。

コミュニケーションロボットを用いたコミュニティ形成支援

鎌田光宣¹

¹千葉商科大学人間社会学部

Community Formation Support using Communication Robot

Mitsunobu KAMATA¹

¹Faculty of Humanities and Social Sciences, Chiba University of Commerce

要 旨 福祉・介護の分野におけるロボット技術の活用が注目されている。高齢者にとっては、介護施設や一般社会でのコミュニケーションの場を広げ、活発な交流を行うことが生活の質（QOL）を向上させるために非常に重要であるが、地域のコミュニティを支える町内会・自治会も、高齢化、共働き世帯の増加、外国人住民の増加などにより円滑な運営が困難になってきている。そこで、コミュニケーション型ロボット「Pepper」を介してコミュニケーションを行うことで、対人関係のハードルを下げ、住民のコミュニティへの参加を促す仕組みを検討していく。

キーワード：福祉，ロボット，ペッパー，自治会，町内会

Abstract Utilization of robot technology in the field of welfare / nursing care has attracted attention. For the elderly, it is very important to expand the communication space and make vigorous exchanges to improve the quality of life. But, local neighborhood associations and residents associations that support regional communities are becoming difficult to operate smoothly due to aging, increasing number of dwelling houses, increasing number of foreign residents, and others. Therefore, by communicating through the communication type robot "Pepper", we will consider a mechanism to lower the barriers of interpersonal relationship and urge residents to participate in the community.

Keywords: Welfare, Robot, Pepper, Residents association, Neighborhood association

1. はじめに

独居の高齢者が増加し、どのコミュニティにも属さないまま孤独死する事例が増えている。高齢者にとっては、介護施設や一般社会でのコミュニケーションの場を広げ、活発な交流を行うことが生活の質（QOL）を向上させるために非常に重要であるが、地域のコミュニティを支える町内会・自治会も、高齢化、共働き世帯の増加、外国人住民の増加などにより円滑な運営が困難になってきている。[1]

町内会・自治会は、行政の連絡を回覧し、防災、防犯を担うなどの役割を持つ。同じ地域に住む人同士が地域の問題に対応する組織であり、その地域に住む全世帯の構成員、事業所、あるいは外国人が会員の対象となる。財政難により行政の役割が縮小しているなか、

地域社会において自治会・町内会の役割が今後ますます増加して行く。ところが、非婚化や少子高齢時代を迎え、多くの地域で一人暮らし・共働き・高齢者の世帯の増加、人口減少、外国人住民の増加といった問題に直面している。世代間の繋がりがなくなり、あるいは文化や言語の違いにより住民同士の対話がなくなると、相互理解が進まず、地域コミュニティの力が弱まり、生活ルールや災害時の情報共有などで多くの問題が生じてくる。[2, 6, 7]

本研究では、コミュニケーション型ロボット「Pepper」を地域社会のコミュニケーションツールとして活用する。ロボットを介して町内会や自治会などの地域内の情報共有を行い、またロボットを介してコミュニケーションを行うことで、住民のコミュニティへの参加を促す仕組みを考える。各家庭に 1 台、ロボットまた

はタブレット等の情報端末を設置し、それらを介してイベントの連絡や住民からの返信を行うシステムを構築する。

2. ロボット

2.1 ロボットの分類

経済産業省の分類によると、ロボットは次の通り分類される。[3, 5]

- 産業用ロボット
 - 製造業分野
 - 非製造業分野
- 非産業用ロボット
 - 生活分野
 - 医療／福祉分野
 - 公共分野

日本の産業用のロボットは世界の産業用ロボットの 4 分の 1 が稼働していて、世界最多である。産業用ロボットは、人間の代わりに作業を行う機械装置で、単純な繰り返し作業を行ったり、緻密な作業を正確に素早くこなす役割を持った、ファクトリー・オートメーション用のロボットである。形状は用途に合わせて作られ、必ずしも人型のデザインではない。

2.2 介護ロボット

介護分野では介護者が要介護者を抱えたりするなどの介添えをする際に、足腰を痛めたり、怪我をすることが問題となっている。介護・福祉分野で利用され、あるいは今後の活躍が期待されるロボットについて述べる。

介護ロボットは「介護支援ロボット」、「介護福祉ロボット」とも呼ばれ、医療機器、福祉機器、介護機器などにも分類される。

介護分野で活躍するロボットとしては、まず、移乗などの介護支援として、介護する側の力仕事のサポートを行うものがある。介護の現場では人の動きをサポートする力仕事が多く、足腰を痛めるスタッフが多い。そこで、体に身につけるロボットが数多く考案されている。また、自立支援として、移動や食事や排せつ、読書などのサポートを行うロボットがある。低下した脚力を補うための「リズム歩行アシスト」(本田技研工業)や筋肉の信号をセンサーで検知して歩行をサポートする装着型の「ロボットスーツ HAL」(サードバ

イン社) などがある。

次に、一人暮らしや、寝たきり、徘徊を見守るセキュリティ分野で活躍するロボットがある。部屋の中で住人の動きをセンサーで認識し、異常があれば通知するものや、施設内を定点観測または移動して観測し、顔認識などで人物を特定して通知するものがある。

「Reborg-Q」(アルソック) は、自立走行型で各種センサーを装備した巡回警備ロボットである。あらかじめ決められたルートを巡回し、侵入者や異常を検知し、監視センターに通報する。また、ケアボット株式会社の服薬支援ロボは、設定した時間になると、「お薬の時間です。ケースをお取り下さい」という音声と共に、あらかじめセットしておいた薬を取り出せる。設定した時間帯以外は取り出せないようにすることで、飲み忘れ予防、飲み間違い予防、飲みすぎ予防になる。みまもり支援ロボット「i-mo wan (アイモワン)」(NSL ネクストシステムラボラトリーズ)は、スマートフォン、パソコン、タブレット端末から映像で見守ることができ、認知症である老人が徘徊し屋外に出ようとした時や、屋内のある地点を通過した時に、人感センサーにより感知し家族、隣人等へ通報する機能を持つ。

その他に、家電見守りによるシステムもある。日頃使われている家電機器の操作(電気のオンオフ操作や扉の開閉)を検知して、システムが異常を検知したときに、家族や知人へ通知するシステムである。カメラのように、監視されている圧迫感が少なく、姿を直接見ているわけではないので、プライバシーも守られる。高齢者の無意識な操作を取得して利用するため、見守られる為の操作は一切不要であり、高齢者の負担軽減にもなる。

矢野経済研究所の推計[8]によると、高齢者の介護向けロボット(排泄支援、食事支援、移乗支援、歩行支援、見守り支援)を対象とした場合、市場規模(メーカー出荷金額ベース)は 2011 年度に 1 億 2400 万円、2012 年度に 1 億 7000 万円だが、2020 年度には 349 億 8000 万円に急拡大すると予想されている。現在の日本は、4 人に 1 人が 65 歳以上であり、高齢者の介護の需要が急増している。2025 年には現在の倍に近い約 250 万人の介護職員が必要とされ、介護施設をはじめとする現場の人手不足は深刻なものとなる。

前述の通り、「介護ロボット」が注目され、開発会社も増加しているが、介護現場ではロボットの導入が進んでいない。そこには現場と開発側の溝がある。開発者や行政は「介護分野の問題をロボットで解決したい」と考える一方、介護現場では「相手は人間。介護は人

がやるもの」という認識のズレがある。そもそも、介護施設における仕事は多岐に渡り、分業化できない上に、変則的であり、工場の生産ライン現場のように自動化することは極めて難しいとされる。しばらくの間は、基本的には人が介護を行い、ロボットが補助としてかわる形になるだろう。

2.3 コミュニケーションロボット

続いて、会話などのコミュニケーションの分野で活躍するロボットを紹介する。

長崎のハウステンボスにオープンした「変なホテル」では、ロボットが接客を行っている。人が行っていた業務の約 7 割をロボットが行うことで、人件費を従来の 3 分の 1 に抑えることが可能となった。

市販されているロボットのうち、コミュニケーションロボットとして利用されているものを以下に紹介する。

「OriHime (オリヒメ)」(オリィ研究所) は、分身ロボットとも呼ばれる。小型のロボットにカメラ・マイク・スピーカーが搭載されており、家や会社など行きたいところに置き、インターネットを通して操作するものである。これにより、遠隔旅行、遠隔会議のほか、入院や単身赴任などで会いたい人に会えない人が家族や友人に会いに行くこともできる。

セラピーロボット「PARO-パロ-」(大和ハウス) はアザラシ型のロボットであり、海外では医療機器の認定を受けて認知症患者の治療などに利用されている。30 カ国以上で 3500 体が活躍し、改良を重ね現在では第 9 世代に進化している。デザインにアザラシを採用したのは、犬や猫では身近なペットとしてなじみがあるため、ロボットの動きの不自然さを強く感じてしまうことが理由とされる。センサーにより、人が触った場所、なでた方向、叩いたり抱っこしたりすることを感じることができる。このようなペット型のロボットは、一人暮らしの高齢者向け市場でも拡大している。

会話ロボット「パルロ」(富士ソフト) は、主に介護支援や介護予防の分野で活躍している。二足歩行で机の上に置ける大きさであり、老いた状態で人の視線よりやや低くなるよう設計されている。人間の言葉や会話の趣旨を認識するだけでなく、自ら積極的に話しかけることができる。ゲームやクイズ、ダンスを楽しむアプリもあらかじめ搭載されており、介護施設のレクリエーション時間になると、パルロ自身が司会進行役となり、高齢者を相手に体操をしたり、ゲームやクイズなどを行うことができる。

本学のキャンパスライフセンターにも「Pepper」を導入しており、学生たちのコミュニケーションのきっかけになったり、学内外のイベントでは広報の役割を果たしている。

なお、コミュニケーションの道具としてはスマートフォンやタブレット端末があるが、本節で紹介したロボットは、この部分をロボットに置き換えたものである。スマートフォンに話しかけると、人型あるいは動物型ロボットに話しかけるとでは、人が受ける印象が異なるため、ロボットであることが重要となる。

人型ロボットは厳密に言えば、ヒューマノイド(humanoid)とアンドロイド(android)に分類される。ヒューマノイドは人間のような外形をした生命体やロボットであるのに対し、アンドロイドは外見のほか、思考や行動なども人間同様であるものとされる。この定義によれば、本節で紹介したロボットはヒューマノイドに位置づけられる。

3. コミュニティー支援システムの構築

3.1 Pepper の特徴

「Pepper」(ソフトバンクロボティクス) は、人型にデザインされた感情認識パーソナルロボットである。感情を認識するために用意されたのが「感情認識エンジン」であり、会話をすることで、相手が笑ったり怒ったり落ち込んだりするのを認識・分析することで自律学習をしていく機能を持っている。感情の認識には、内蔵されたカメラで表情を認識するほか、音声認識機能を使用して、言葉の解析と共に声のトーンも分析している。また、学習すべき様々な情報については、インターネットを介して専用のクラウドシステムと送受信している。

現在、Pepper は店頭での販促活動のほか、家庭や介護施設で活用されている。介護施設用のレクリエーションアプリを入れることで、利用者とともに歌や運動を楽しむことができる。介護分野での人材不足が問題になっているが、現場の看護師によると、ロボットにより介護者を持ち上げたり排泄物を管理するといったことも必要だが、それ以上に、施設の利用者とのコミュニケーションが大事だということである。作業が忙しいと、利用者から話しかけられても、話相手になってあげられず、そのことがストレスになってしまっている。そこで、例えば認知症の方の話し相手になることで、その分、スタッフが他の仕事をできるようになったという事例も報告されている。

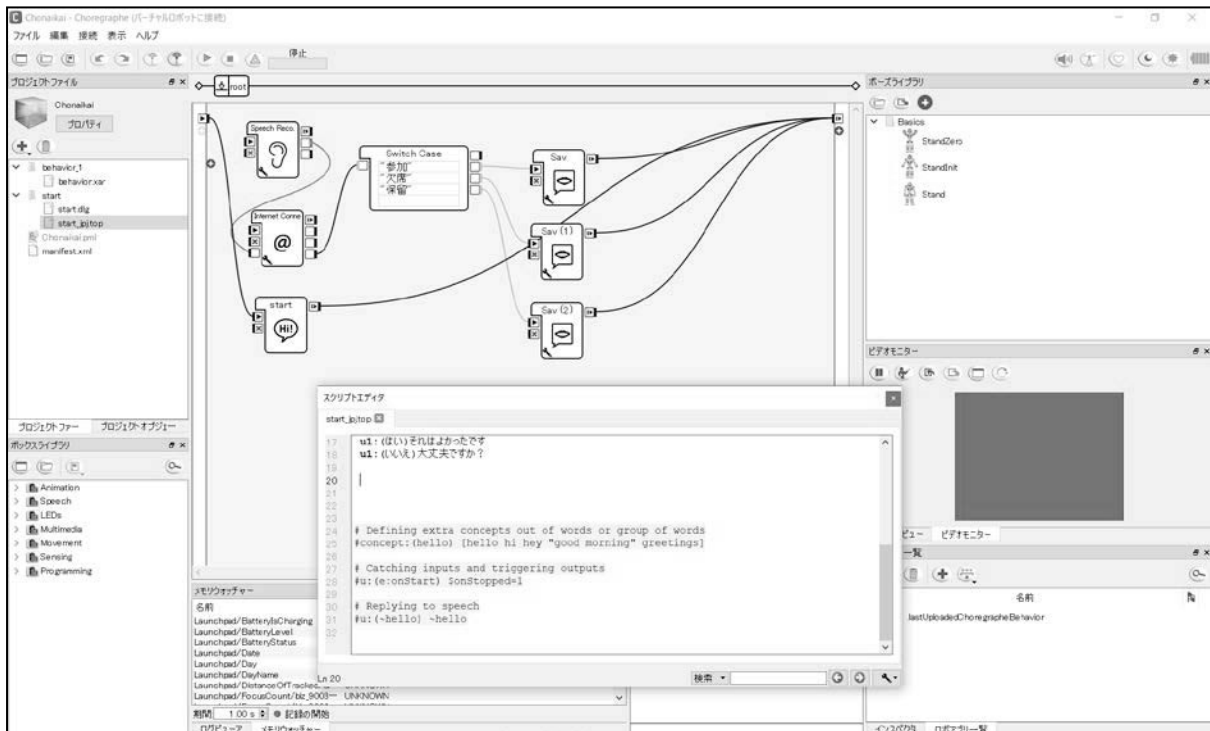


図 1 Pepper の統合開発環境 Choregraphe

3.2 Pepper のアプリケーション開発

Pepper 上で稼働するアプリを開発するには、統合開発環境である Choregraphe を用いる (図 1)。プログラミング言語としては Python, C++等を用いることができる。また、Javascript を用いて Pepper を操作する仕組みも用意されている。

コミュニケーションの核となる会話については、例えばスクリプトで次のように記述する。

u:(こんにちは)はい、こんにちは！

これは、ユーザーが「こんにちは」と言ったときに、Pepper が「はい、こんにちは！」と返事するよう記述したものである。

会話中にユーザーの反応により処理を分岐する場合は、「u」の後に深さを示す数字を付け、次のように記述する。

u:(こんにちは)落とし物をしていますか？
 u1:(はい)何を落としましたか
 u2:(サイフ)受付に届いているそうです
 u2:(けいたい)受付に届いているそうです
 u2:(e:Dialog/NotUnderstood)その落とし物は届いていないようです

u1:(いいえ)そうですか。何か落としものをしたら、私に話しかけてください

これまでの実験により、ある程度はっきりとした発音でないと正確に認識できないことが分かっているため、曖昧な返事でも対応できるよう工夫が必要である。なお、サーバーとのデータ通信には Ajax が利用できるため、サーバー側に Node.js を使い、複数の Pepper および情報端末の間で情報の共有を行う。

3.3 提案システムの概要

町内会・自治会での活用を念頭に置き、Pepper を用い、安否確認およびイベントの通知と出欠の返事を行うシステムを構築した。

安否確認の仕組みを図 2 (A)に示す。Pepper と住民が何かしらの会話を行うと、応答した時刻がサーバーに通知され、住民に異常がないことが確認できる。例えばスクリプトで次のように記述する。

proposal:%挨拶 おはようございます。元気ですか？
 u1:(はい)それはよかったです
 u1:(いいえ)どうしましたか？

なお、返事はできるものの、何かしら困ったことが

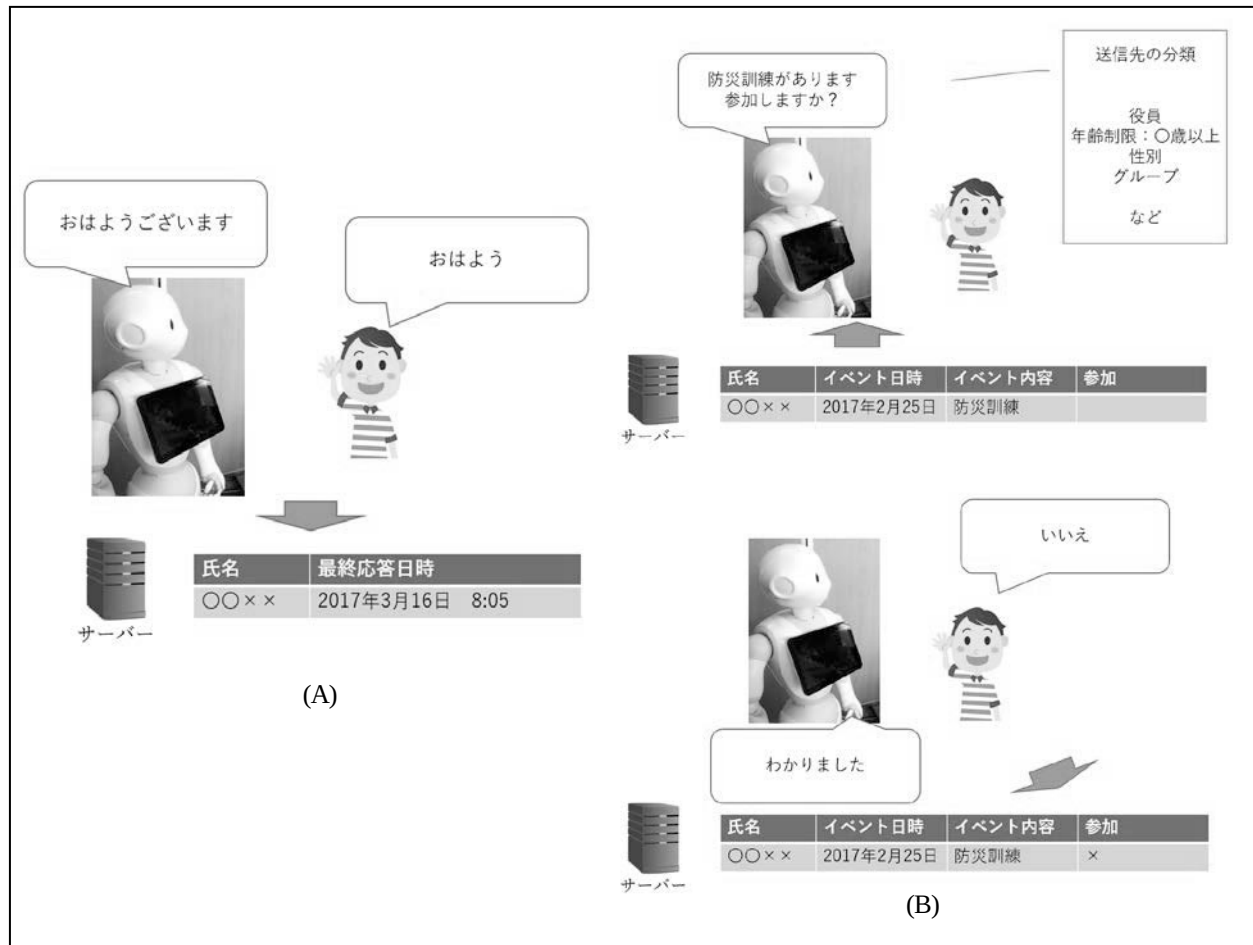


図2 安否確認・イベント告知システムの概要

ある場合には、その旨を Pepper に伝えることで、自動的に管理者のもとへ連絡が行くシステムも検討している。

次に、イベントの通知と参加の有無を確認するシステムについて述べる。図 2(B)に示すように、対象とする住民を選んでイベントの通知を行い、参加の有無を確認する。Pepper はサーバーと通信することで、イベント日時および内容を取得し、住民に伝える。例えばスクリプトで次のように記述する。

proposal:%挨拶 今日はお休みですか？

u1:(はい)楽しい一日をお過ごしください。えーと、お知らせが届いていますが、読みますか？

u2:(はい)2 月 25 日、に、防災訓練、があります。参加しますか？

u3:(はい)わかりました。参加のお返事をしておきます。

u3:(いいえ)わかりました。欠席のお返事をしておきます。

u2:(いいえ)わかりました

u1:(いいえ)お仕事、ご苦労様です

このとき住民から得られた返事の内容をサーバーに伝える。町内会長・自治会長は、住民の参加の有無が一括して見られるという仕組みである。

4. 今後の予定

図 3 のように、各家庭に 1 台、ロボットまたはタブレット等の情報端末を設置し、それらを介してイベントの連絡や住民からの返信を行うシステムを構築する。

地域内でのコミュニケーションについては、回覧板や掲示板の他、集会や対面でのやりとりが行われている。また、独居老人の健康状態を把握できるよう、家電と連動した確認システムを取り入れている自治体もある。しかしながら、単身世帯、共働き世帯、外国人住民などを中心に、生活時間帯が異なるなどで近所づきあいが希薄となり、また仕事により町内会・自治会



図3 コミュニティー支援システムの概要

の活動に参加したくてもできないという問題もある。

そこで、町内会・自治会への理解を促すための情報提供を行う。賃貸住まいや外国人住民の場合は地域への帰属意識が低い傾向にあり、特に都市部では会員にならない世帯が増えている。町内会・自治会の意義と役割、市区町村などの行政との関わりを誰に対しても分かりやすく説明して理解を促し加入促進を図ることが望まれる。どのような説明が求められているのかを調べ、共通に使える汎用的なコンテンツの内容や適切な情報提供の手段について明らかにする。

また、地域の抱える問題への対応のノウハウの蓄積及び共有の仕組みを構築する。地域の抱える問題（例えば、ごみ処理、ペット、防犯、防災、騒音など）により住民間でトラブルが起こった場合、あるいはそれを防ぐために町内会・自治会での対応が求められる。どの地域でも抱えている問題について、それらへの対応を含めて情報を蓄積し、地域間で共有する仕組みを検討する。

5. おわりに

Pepper のアプリを制作して実験を行い、会話の認識や応答の様子を確認した。

今後、コミュニケーション型のロボットを用い、ロボットを介してコミュニケーションを行うことで、どの程度、対人関係のハードルを下げる効果があるのかも調査する。また、町内会・自治会の円滑な運営に必要な情報や仕組みについて調査するとともに、電話、地域 SNS、電子メールなどによる連絡手段の問題点を調べる。

参考文献

- [1] 鎌田光宣, “町内会・自治会における情報共有及び地域間連携を考慮した知識共有”, 『千葉商大紀要』第 52 巻第 2 号, 2015
- [2] 鎌田光宣, “人にやさしい社会と ICT (情報通信技

術)”, 『CUC View & Vision』No.28, 千葉商科大学経済研究所, 2014

- [3] 神崎洋治, “Pepper の衝撃！パーソナルロボットが変える社会とビジネス”, 日経 BP 社, 2015
- [4] ソフトバンクロボティクス 村山龍太郎, 谷沢智史, 西村一彦, “Pepper プログラミング 基本動作からアプリの企画・演出まで”, SB クリエイティブ, 2015
- [5] 日経産業新聞 編, “ロボティクス最前線”, 日本経済新聞出版社, 2016
- [6] 中田実, 山崎丈夫編著, “地域コミュニティ最前線”, 自治体研究社, 2010
- [7] 中川幾朗編著, “コミュニティ再生のための地域自治の仕組みと実践”, 学術出版社, 2011
- [8] 矢野経済研究所, “介護ロボット市場に関する調査 (2016 年)”, <https://www.yano.co.jp/press/press.php/001546> (参照 2017-04-23)

著者紹介 鎌田光宣



1999 年豊橋技術科学大学工学部知識情報工学課程卒。2004 年同大学博士課程修了。博士(工学)。同年千葉商科大学商経学部専任講師。同大学サービス創造学部准教授を経て、2017 年同大学人間社会学部教授。情報メディア学、情報工学の研究に従事。国際 ICT 利用研究学会、情報処理学会、日本マネジメント学会会員。情報処理安全確保支援士 (登録番号 第 000160 号)

結託耐性を有する電子透かしに対する特性評価

佐久間貴士¹

¹ 高崎商科大学商学部経営

On the Evaluation of Characteristic of Digital Watermarking with Resilience Against Collusion

Takashi SAKUMA¹

¹ Faculty of Commerce, Takasaki University of Commerce

要 旨 デジタルデータを扱う機会が増加しているなか、デジタルコンテンツの著作権保護をどのように実現するかの検討が必要である。デジタルコンテンツの著作権保護技術の一つとして、電子透かしが注目されている。電子透かしとはデジタルコンテンツに対して、人間の知覚特性を利用した技術であり、人間の知覚では認識することのできない、コンテンツ自体とは別の情報を埋め込む技術である。先行研究でスペクトル拡散の概念を利用した画像情報に対する電子透かし法があり、その手法のもとで結託攻撃に対する耐性をもったユーザ ID 符号化法が提案されている。この提案手法において、様々な攻撃に対する画像への耐性を評価し、ユーザ識別情報の検出能力を明らかにする。電子透かしに対する画像処理攻撃ツールとして StirMark を採用し、その有用性についての検討を行う。

キーワード：電子透かし、結託攻撃、StirMark、スペクトル拡散、

Abstract While the opportunities to handle digital data are rapidly increasing, it is necessary to consider how to realize the copyright protection of digital contents. Digital watermarks are attracting attention as one of copyright protection technologies for digital contents. Digital watermarking is a technique that uses human perceptual characteristics for digital contents, and embeds information that is different from the content itself, which cannot be recognized by human perception. In previous research, there is a digital watermarking method for image information using the concept of spectrum spreading, and a user ID encoding method with resistance to collusion attack is proposed under the method. In this proposed method, resistance to images against various attacks is evaluated, and the detection capability of user identification information is clarified. We adopt StirMark as an image processing attack tool against digital watermarking and investigate its usefulness.

Keywords: Watermark, Collusion attack, StirMark, Spectrum spreading,

1. はじめに

近年、インターネットやデジタルメディアの普及により、デジタルデータを扱う機会が増加している。一般に、デジタルコンテンツは容易に編集や配付が可能である。更にデジタルデータは劣化せずに複製が可能であり、著作権保護をどのように実現するかの検討が必要である。デジタルデータの著作権保護技術の一つとして、電子透かしが注目されている。電子透かしとは、人間の知覚特性を利用した技術であり、デジタルコンテンツに対して人間の知覚では認識することのできない、コンテンツ自体とは別の情報を埋

め込む技術である[1]。電子透かしに埋め込む情報の代表的なものとして、著作者情報、あるいは利用者情報などの署名情報がある。前者はコンテンツの著作権を所有していることを透かし情報に記録するものであり (watermarking)、後者はコンテンツが受け渡されるたびに、ユーザの識別符号を透かし情報として記録するものである (fingerprinting)。また、電子透かしは人間の知覚により認識できないような画質や音質の劣化のない状態が求められ、ユーザが複製しても情報が残る、さらにそれらの除去が困難であることが必要とされる。

Fingerprinting はユーザの識別情報 (ID 情報) を埋め込む方式である。この方式では不正コピーを行った場

合、埋め込まれている情報を正しく検証することができれば、不正ユーザを特定することができる。先行研究[2]では、スペクトル拡散の概念を利用した画像情報に対する電子透かし法と、その電子透かし法のもとで結託攻撃に対する耐性を持ったユーザ ID 符号化法が提案されている。結託攻撃とは、複数のユーザで共謀し、コンテンツへの改変を行うことである。ユーザ ID 符号化法には 1 out of n code を接続して使用し、短い符号長で大多数のユーザに対応できるようにしている。先行研究[2]では結託攻撃に対する耐性は検証しているが、その他の攻撃に対する耐性は検証されていない。そこで本研究では、Fingerprinting を対象とし、先行研究[2]の提案電子透かし法において、様々な攻撃に対する画像への耐性を調査し、識別情報の検出能力を明らかにすることを目的とする。C 言語によりインクリメントし、標準画像データ“lenna”を用いて実験を行う。また、電子透かしに対する攻撃ツール StirMark により画像処理攻撃を行い、その有用性についての検証を行う。

2. スペクトル拡散を用いた電子透かし手法

2.1 スペクトル拡散

スペクトル拡散システムでは、情報を伝送するのに必要な帯域幅を、情報とは独立した信号により広帯域に拡散させて通信する。このことから干渉や妨害を与えたり受けたりすることが少なく、信号秘匿の能力が増えて傍受されにくい性質がある。スペクトル拡散を行うのに、直接拡散 (direct sequence) と周波数ホッピング (frequency hopping) の 2 方式があるが、本研究では直接拡散を用いる。

一般に画像データの周波数スペクトルは広い範囲に分布するが、埋め込まれる秘密情報のスペクトルは狭帯域に限られる。そこでスペクトル拡散させるべき信号に、それよりかはるかに広帯域の信号を直接乗じて拡散させる。この広帯域信号として、PN 符号 (pseudo-random number) を用いる。PN 符号とは擬似乱数であり、ランダムな 0 と 1 からなる 2 値系列の 0 を -1 で書き換える。

2.2 離散コサイン変換

DCT (Discrete Cosine Transform 離散コサイン変換：以下 DCT とする) は画像信号を周波数成分に直交変換する方法の一つである。DCT を使ったデータ圧縮では、画像内の小さなブロック単位を直交変換し、周波数成分を示す係数を得る。JPEG 等の圧縮技術の中心

をなす変換方式であり、フーリエ変換と同様の目的で使用されるが、コサイン項のみを使用する。自然画像の統計的な性質に比較的よく適合し、演算量が少なくてすむ。

・1 次元 DCT の定義

$$F(n) = \frac{1}{2} \cdot C(n) \sum_{i=0}^{N-1} f(i) \cdot \cos \frac{(2i+1)n\pi}{2N}$$

$$\text{ただし } C(n) = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (n=0), \quad C(n)=1 \quad (n \neq 0)$$

この式において、 $f(i)$ は入力信号であり、 $f(i)$ に $\cos(2i+1)n\pi/2N$ を乗算することによって歪波交流を $\cos$ 成分による表現に変換し、DCT 係数である $F(N)$ を求める。 N は入力信号のサイズを示す。

本研究では画像データを扱うので、1 次元 DCT を拡張し、2 次元 DCT を行う。図 1 のようなイメージとなり、これを定義すれば次式のようにになる。

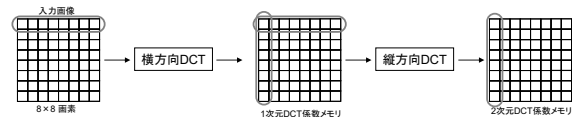


図 1. 2 次元 DCT への拡張

・2 次元 DCT の定義

$$F(n, m) = \frac{1}{\sqrt{2N}} C(n) \cdot C(m) \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} f(i, j) \cdot \cos \frac{(2j+1)i\pi}{2N} \cdot \cos \frac{(2j+1)m\pi}{2N}$$

$$\text{ただし, } i, j, n, m = 0, 1, \dots, N-1$$

$$C(n) = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (n=0), \quad C(n)=1 \quad (n \neq 0)$$

$$C(m) = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (m=0), \quad C(m)=1 \quad (m \neq 0)$$

上式において、 $f(i, j)$ は入力信号、 $F(n, m)$ は DCT 係数、 N は入力信号のサイズを表す。

また、DCT 係数は $N \times N$ 画素の画像ブロックを図 2 のような周波数を持つ基本パターンに分解する。右下に行くほど周波数が高く、人間の資格情報では高周波成分ほど認識しにくい。この状態で画素ブロック内のデータをジグザグに集めるジグザグスキャンを行う。これにより、高い周波数成分を積極的に 0 にすることを実現する。

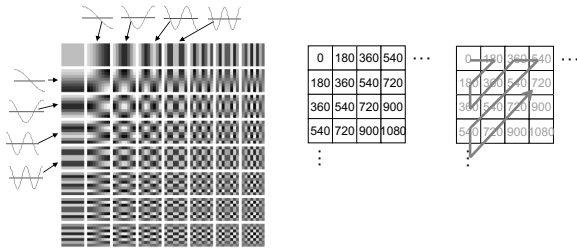


図 2. DCT で分解する基本パターン

2.3 電子透かし法

Fingerprinting は電子透かし技術の 1 つであり、透かし情報としてユーザ ID 情報を埋め込む方式である。この方式では不正コピーを発見した場合、埋め込まれているユーザ ID 情報が正しく検証されれば、不正コピーを行ったユーザの特定が可能である。この埋め込み方式に先に述べたスペクトル拡散の概念を利用する。図 3 にその概要を示す。まず元画像に DCT を施すことで周波数領域への変換を行う。その後スペクトル拡散を行い、透かし情報（ユーザ ID 情報）を画像全体に拡散させる。そして透かし情報を埋め込み、逆変換を行い、透かし入り画像を生成する。



図 3. スペクトル拡散を利用した埋め込み手法

しかし、同じ内容のコンテンツに異なる情報を埋め込むため、複数のユーザにより集められたコンテンツを比較することで、その埋め込まれた透かし情報が解析される恐れがある。このようにコンテンツに対しての結託攻撃が考えられる。電子透かしへの攻撃とは、透かし情報の抽出に何かしらの影響を与えることを指す。

3. 埋め込み・抽出手法

3.1 埋め込み手法

先行研究[2]で用いられている提案手法により、画像の周波数成分に PN 符号を用いて拡散させた透かし情報を埋め込む。ここで、透かし情報はユーザ情報を二値系列で表した $W = \{w_0, w_1, \dots, w_{L-1}\}$ とする。

Step1. 元画像に DCT を施して周波数成分に変換する。DCT のブロックサイズは画像サイズと同じにする。

Step2. DC 成分を除いた低周波成分から任意の DCT 系列を l^2 個選出し、 $l \times l$ のブロック B を構成する。ここで $l^2 > L$ とする。また、ブロック B の選出情報を鍵情報という。

Step3. B に PN 符号を乗算してスペクトル拡散した後、DCT を施す。ブロックから任意に L 個の係数を選出し、系列 $V = \{v_0, v_1, \dots, v_{L-1}\}$ を構成する。

Step4. 透かし信号の強度を r として、透かし情報ビット $w_i (0 \leq i \leq L-1)$ が 1 ならば v_i に r を加える。

Step5. Step3 から Step1 に逆変換を順次行い、透かし入り画像を得る。この過程で加えた透かし信号は画像全体に拡散される。

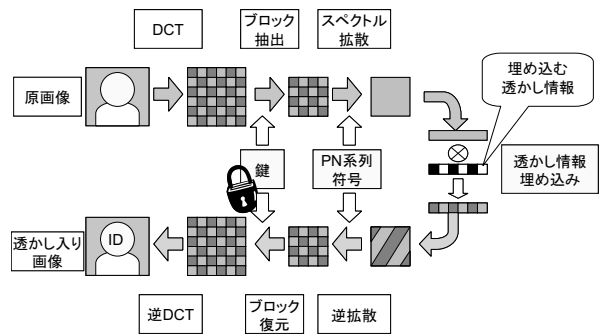


図 4. 埋め込み手法

3.2 抽出手法

埋め込み時に用いた鍵情報と PN 符号、系列 V を用いて、透かし情報を抽出する。検証画像に対し、埋め込み手法の Step1 から Step3 と同様の操作を行って系列 $V^* = \{v_0^*, v_1^*, \dots, v_{L-1}^*\}$ を得る。次に以下の規則に従って元画像と検証画像を比較し、透かし情報の抽出を行う。

$$\begin{cases} v_i^* - v_i \geq th & \text{のとき } w_i^* = 1 \\ v_i^* - v_i < th & \text{のとき } w_i^* = 0 \end{cases}$$

ただし th は閾値とし、この操作を各ビット $(0 \leq i \leq L-1)$ に対して行い、ユーザ情報 $W^* = \{w_0^*, w_1^*, \dots, w_{L-1}^*\}$ の抽出を行う。

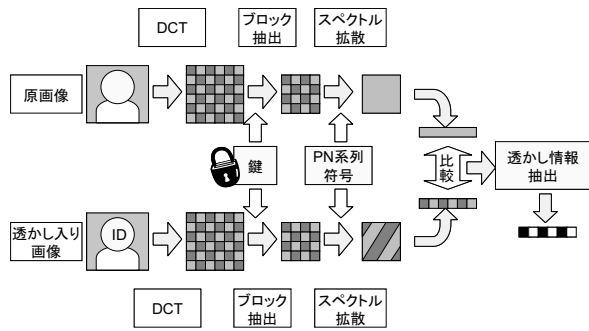


図 5. 抽出手法

4. ユーザ ID 符号化法

先行研究[2]で提案されている手法により、1 out of n code を利用し、ユーザ ID を生成する。1 out of n code とは、符号長 n 、重み 1 のすべての符号語からなるものである。ユーザ ID: $(0 \sim n-1)$ のユーザに対応する符号語を C_x とすると、

$$C_x = \{ c_j \mid x=j \text{ のとき } c_j=1, \\ x \neq j \text{ のとき } c_j=0 \} \quad (0 \leq j < n)$$

となる。 $n=3$ ならば、

$$C_0 = \{ 100 \}, \quad C_1 = \{ 010 \}, \quad C_2 = \{ 001 \} \text{ となり、}$$

抽出される符号語の値が 1 となるビットの位置より、ユーザ ID の特定が可能となる。この 1 out of n code を 3 つ連接させることで、ユーザの許容可能人数の拡大を図る。

Step1. ユーザ ID: X を n 進数に変換し、変換後の値を $(x_1 x_2)_n$ とする。

Step2. $x_3 = (x_1 + x_2) \bmod n$ を計算する

Step3. $W = C_{x1} \parallel C_{x2} \parallel C_{x3}$ とする。

これにより、符号長は $3 \times n$ 、 W は重み 3 となり、 $3 \times n$ の符号長で n^2 人のユーザが許容可能となる。

5. 電子透かし法の評価実験

本研究では、透かし情報の検出能力を検証するために、3 章の手法を実装し、透かし情報を埋め込んだ画像に対して、電子透かしに対する攻撃ツールである StirMark を使用し画像処理攻撃を行う。その後、原画像と透かし入り画像を比較し、透かし情報の抽出を行う。

5.1 実験概要

電子透かし技術の評価する上で、画像劣化は重要な要素であり、また攻撃に対する耐性とトレードオフの関係にある。たとえ攻撃に対して強い耐性を持つとしても、画像の品質が著しく劣化しては実用的とはいえない。そこで画像処理攻撃における透かし情報への影響を示すために評価実験を行う。原画像として 256×256 画素、白黒濃淡画像“lenna”を使用する。埋め込み手法のパラメータは $l=32$ と設定し、ユーザ情報として 1 out of 256 code を連接して構成する。これにより、符号長 $L=768$ 、最大許容ユーザ数は 65536 人となる。また、透かし情報の埋め込み位置は低周波成分から高周波成分への 3 段階で設定し、実験を行う。さらに同様のパラメータで複数ユーザから結託攻撃を受けた状況での実験も行う。

5.2 埋め込み強度の設定

画像劣化を調べるために“lenna”を用いて、埋め込み強度とその PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) の関係を求める。PSNR は画像評価指数であり、両画像の相違が大きければこの値は小さくなる。一般的に、PSNR ≈ 40 [dB]で原画像との見分けが難しく、20[dB]付近になると見るに耐えない画質といわれている。PSNR 値と画像への埋め込み強度 r の関係を図 6 に示す。埋め込み強度 $r \geq 400$ のとき、PSNR 値が 40[dB]未満となる。実際に埋め込み処理を行った結果、 $r \geq 400$ では視覚上画質の劣化を確認することができたため、 $r \geq 400$ と設定し、実験を行う。閾値 th は 40 とする。図 7 に示す原画像“lenna”に透かし情報を埋め込み、得られた画像を図 8 に示す。

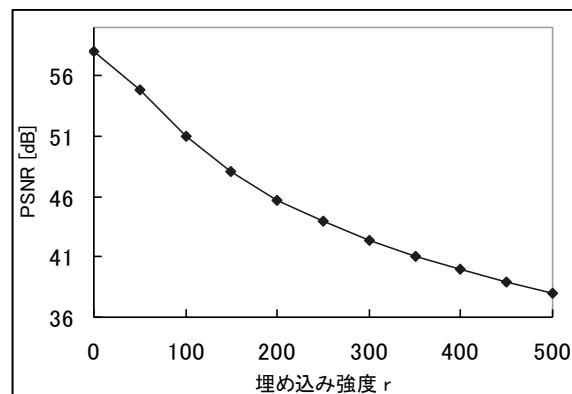

 図 6. 埋め込み強度 r に対する PSNR



図 7. 原画像



図 8. 埋め込み画像

5.3 StirMark 攻撃に対する耐性

デジタル画像の電子透かしを評価する支援ツールとして StirMark 攻撃(文献[3])が広く活用されている。この攻撃法は種々の攻撃法(切り取り, 行列の切り取り, 縮小・拡大, 軸の比率変更, 回転と切り取り, 回転と拡大, せん断加工, ガウシアンフィルタリング, 鮮明化, 中央値フィルタリング, JPEG 圧縮)を複合的, かつランダムに行うものである。特に, この攻撃に含まれる回転, 拡大, 縮小, 平行移動などの幾何学的な変更は, 座標軸そのものを变化させる。そのため, 埋め込まれている透かし情報位置の特性を困難にさせる。他にも JPEG 圧縮や各種フィルタ操作などの画素レベルでの変更も行う。この StirMark を用いて, 透かし情報が埋め込まれている画像への耐性を調べる。version3.1 を使用, パラメータはデフォルト値を用いた。

また, StirMark による電子透かし画像に対する処理は多数あるが, 大きく分けると日常的に行われると考えられる画像処理, そして意図的に透かし情報を除去しようとする操作に分類することができる。そして, これらの複数の処理を混在させることにより, 幾何学的な変更処理, 画素レベルの変更処理を行う。表 1, 2 にその内容を示す。

表 1. StirMark による幾何学的の変更処理

処理	内容
幾何学的歪み	水平方向, 垂直方向に画像を歪ませる
回転	画像を任意の角度だけ回転させて電子透かしが検出できるかどうか
切り取り	画像の一部を切り取ってきたとき, 電子透かしが検出できるかどうか
スケール変更	1/2 等の縮尺変更を行う
行, 列の削除	画像の特定の行, 列を除去する
ランダムな幾何学的歪み	幾何学的歪みを一定量でなくランダムに与える

表 2. StirMark による画素レベルへの変更処理

処理	内容
各種のフィルタ操作	ローパス, シャープネス, ヒストグラム変更など
ガンマ補正	階調を変更する
色変更	フルカラー画像を 256 色に減色するなど

5.4 透かし情報の抽出実験

透かし情報の位置を異なる 3 ヶ所 (A: 低周波成分, B: 中周波成分, C: 高周波成分) に埋め込み, それぞれに StirMark 攻撃を施した後, 透かし情報の抽出を試みた。透かし情報埋め込み位置 A では, 回転と拡大の処理に関してパラメータによる抽出が可否であったが, それ以外の攻撃では抽出が可能であった。PSNR は 32[dB]以下であり, 他のパターンと比較すると最低値である。B では攻撃処理により抽出の可否が明らかになった。B における StirMark 攻撃後の透かし情報検出結果を表 3 に示す。画像自体への直接的な操作(切り取り, 回転, 削除, 歪み, スケール変更)を行う処理には非常に弱いことがわかる。また, 透かし情報の抽出が可能であった処理でも, パラメータにより差が生じた。しかし, 直接的な画像変更の中でも, 原画像より大きなサイズに変更する処理であれば, 透かし情報を抽出することができる。一方, 各種フィルタ操作, ガンマ補正といった画素への変更に対しては耐性もっていることがわかる。JPEG 圧縮においては, 圧縮率が低ければ変更後の画像より透かし情報を抽出することができるが, 20%以下の圧縮率では検出不可能であるという結果が得られた。その要因として, 圧縮時に埋め込んだ周波数成分が変わることが考えられる。その解決手段の一つとして, DCT ブロックの固定, あるいは埋め込みの位置情報の補正, 及び修復を行う処理が考えられる。

表 3. StirMark 攻撃後の検出結果

処理	パラメータ	画像サイズ	検出	誤検出
切り取り(cropping)	1%	253×253	×	有
	2%	250×250	×	有
行列の切り取り (remove)	5 行 17 列	251×239	○	
	17 行 5 列	239×251	○	
縮小・拡大(scaling)	150%	384×384	○	
	200%	512×512	○	
軸の比率を変更 (change aspect ratio)	100%, 110%	282×256	○	
	100%, 120%	308×256	○	
回転と切り取り (rotation with cropping)	1 度	252×252	×	有
	0.75 度	253×253	×	有
回転と拡大 (rotation with cropping and scale)	1 度	256×256	×	有
	0.75 度	256×256	×	有
せん断加工(shearing)	0%, 1%	256×253	×	有
	0%, 5%	256×243	×	有
ガウシアンフィルタリング (gaussian filtering)	3.00, 3.00	256×256	○	
鮮明化(sharpe)	3.00, 3.00	256×256	×	有
中央値フィルタリング (median filter)	3.00, 3.00	256×256	○	
	4.00, 4.00	256×256	×	有
JPEG 圧縮(JPEG)	25%	256×256	○	
	20%	256×256	×	

5.5 抽出におけるノイズと残存するパワーの比較

透かし情報として、ユーザ ID を 1 パターン埋め込み、埋め込み強度を 400 に設定し、StirMark 攻撃を施した後の抽出時に発生するノイズと残存するパワーを比較した。切り取り、変形、回転、圧縮、画素変更（フィルタリング）の 5 種類の攻撃を施した後、閾値 th 40 でのノイズと残存するパワーを比較した。

切り取り処理（切り取り、せん断加工、行列の移動）の結果を図 9 に示す。ノイズの発生が少なく、残存するパワーは行列の移動処理（removed）後のレベルは強い。また、切り取り処理（cropping）の結果は、残存するパワーレベルが弱い。このことから、多少の切り取りには強いが、画素位置がずれると抽出能力が低下することがわかる。

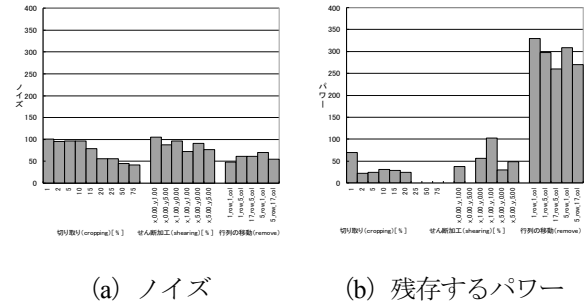


図 9. 切り取り処理におけるレベルの比較

変形処理（縮小・拡大、軸の比率変更、一般線形）の結果を図 10 に示す。このパターンも切り取り処理と同様、ノイズの発生が少ない。しかし、縮小・拡大処理（scale）と軸の比率変更処理（change aspect ratio）においては、残存するパワーレベルが強い。縮小・拡大処理に関してはノイズにおいてパラメータによる変化はないが、残存するパワーのレベルでは変化がみられる。軸の比率変更処理はパラメータに関わらず、ノイズ発生が少なく、残存するパワーのレベルが強い。

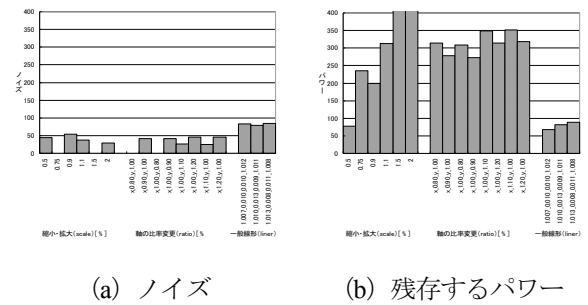


図 10. 変形処理におけるレベル比較

回転処理（回転、回転と拡大・縮小）の結果を図 11 にまとめた。ノイズの発生は少ないが、残存するパワーのレベルも弱い。回転処理（rotation），回転と縮小・拡大（rotation scale）共に 40 から 120 のレベルでノイズの発生がみられる。残存するパワーにおいては、回転の比較比率 ± 0.25 まではパワーが残存しているが、比率が大きくなるにつれ、少しずつ弱まることが分かる。

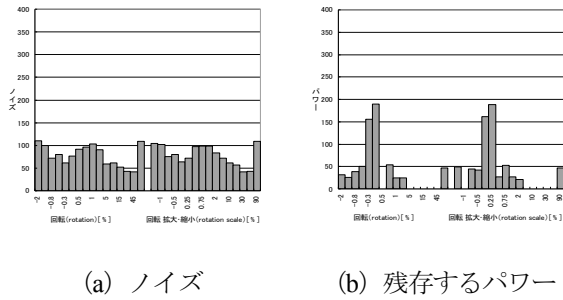


図 11. 回転処理のレベル比較

JPEG 圧縮処理の結果を図 12 にまとめた。ノイズが少なく、特に圧縮率 90% と 80% に関しては発生していない。また、多少ではあるが、70% から段階的に増加していることがわかる。残存するパワーのレベルは圧縮率による差が明らかである。圧縮率が低くなるにつれ、残存するパワーのレベルも弱まる。高圧縮率でのみ耐性があると考えられる。

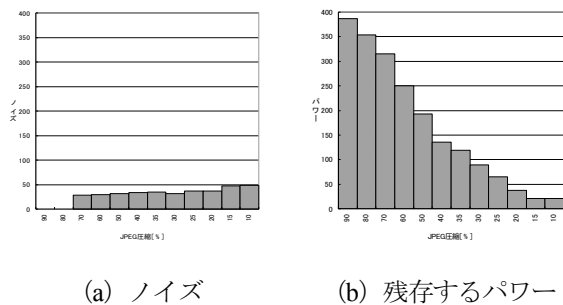


図 12. JPEG 圧縮処理のレベル比較

画素処理（中央値フィルタリング、ガウシアンフィルタリング、鮮明化、階調変更）の結果を図 13 にまとめた。階調変更（reduce color）に関しては、ノイズが少なく、残存するパワーのレベルが強い。鮮明化（sharpening）ではノイズの発生が 115 であるが、残存するパワーのレベルは 1650 である。つまりこの処理において、ノイズは発生するが残存するパワーも共に強まる。

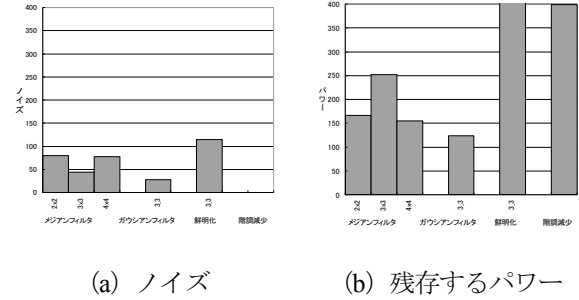


図 13. 画素（フィルタリング）処理のレベル比較

5.6 結託攻撃における透かし情報の抽出

この実験では、3 ユーザからの結託攻撃後の抽出能力を調査する。結託攻撃後、さらに StirMark 攻撃を施し、透かし情報が残るかを調べる。ユーザ情報である 3 パターンの情報の抽出能力、その時発生する誤抽出の数を StirMark 攻撃の種類別に示す。埋め込み強度は前節の比較実験と同様の 400 に設定、閾値 th も 40 とする。縦軸は (a) 正しく抽出した透かし情報の数、(b) 誤抽出の数、横軸は共に処理内容とする。

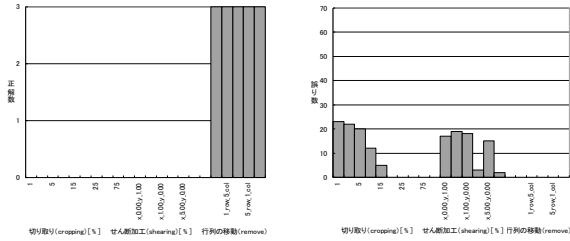
切り取り処理において、行列の移動処理（removed）でのみ正しい抽出が行われた。他の処理では抽出できず、それに伴い、誤り抽出が発生している。

変形処理において、一般線形処理（general linear transformation）では検出不可能であった。また縮小・拡大処理（scale）と軸の比率変更処理（change aspect ratio）では全てのパラメータで正しく抽出することができ、誤抽出はみられない。このことから、少ない埋め込み強度で抽出を増幅させることが可能かもしれないと推察できる。

回転処理において、回転変更比率が ± 0.25 付近での抽出能力は高いが、誤抽出も発生している。このことから、軸の変更に対する耐性は低いものと考えられる。

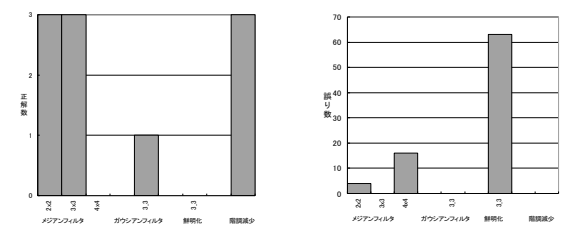
JPEG 圧縮処理に関しては、圧縮率 50% までは正しく抽出できる。さらに誤抽出は発生していない。つまり JPEG 圧縮処理は誤抽出を発生させる程のノイズは発生しないが、圧縮率による抽出能力の差が段階的に明らかになる処理となる。

画素（フィルタリング）処理では、ガウシアンフィルタリング（Gaussian filtering）に関しては正しく抽出している数は少ないが、誤抽出はない。結託攻撃による影響が発生しているのかもしれない。また、中央値フィルタリング（median filter）はパラメータにより抽出の可否が明らかであり、誤抽出の発生も明らかである。



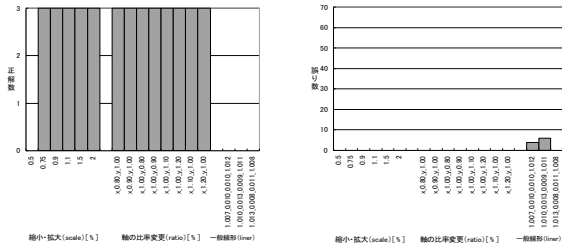
(a) 正解抽出数 (b) 誤り抽出数

図 14. 切り取り処理後の比較



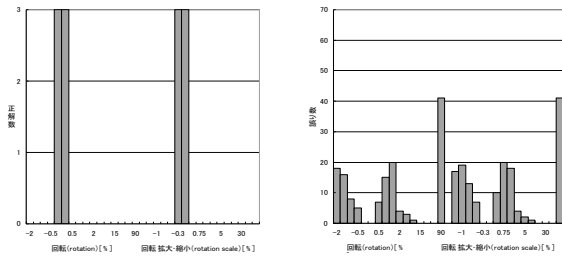
(a) 正解抽出数 (b) 誤り抽出数

図 18. 画素（フィルタリング）処理後の比較



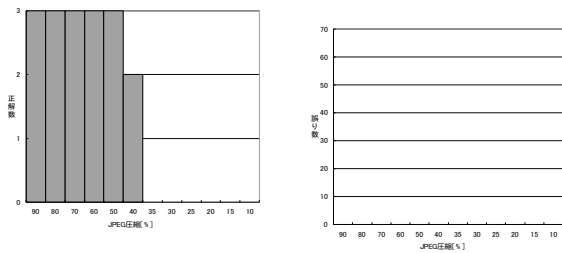
(a) 正解抽出数 (b) 誤り抽出数

図 15. 変形処理後の比較



(a) 正解抽出数 (b) 誤り抽出数

図 16. 回転処理後の比較



(a) 正解抽出数 (b) 誤り抽出数

図 17. JPEG 圧縮処理後の比較

6. まとめと今後の課題

本研究では、画像処理攻撃において結託耐性を有する電子透かし法に対する識別情報の検出能力の評価実験を行った。先行研究[2]の手法において、画像に透かし情報を埋め込み、結託攻撃と考えられる画像への改変を StirMark により行い、改変後の画像から透かし情報抽出の可否を求め、その耐性を評価した。透かし情報を埋め込む位置により攻撃への耐性は変化し、情報抽出レベル、画像品質への影響が明らかになった。さらに幾何学的に画像を歪ませる処理に対しては弱く、画素レベルへの操作に対しては耐性を有するという結果が得られた。幾何学的改変と JPEG 圧縮に対する耐性を有する電子透かし技術を検討することが今後の課題となり、コンテンツへの適用を考慮した埋め込み位置の決定が必要となる。また、周波数成分への変化に対応するために、DCT ブロックの固定、あるいは埋め込み位置の補正や修復を行う処理を検討する必要がある。

参考文献

- [1] 松本甲子雄：電子透かしの基礎，森北出版株式会社，(1998/08)
- [2] 小林寛，田中初一：スペクトル拡散を用いた結託耐性を有する電子透かし法の一検討，第26回情報理論とその応用シンポジウム Volume I，pp. 317-320 (2003)
- [3] 小林東：電子透かしとコンテンツ保護，オーム社，(2001/02)
- [4] 松本甲子雄，岩切宗利：情報バイディングの基礎，森北出版株式会社，(2004/06)
- [5] 小松尚久，田中賢一：電子透かし技術，東京電機大学出版局，(2004/01)
- [6] 柏木潤：M 系列とその応用，昭晃堂，(1996/03)
- [7] 松尾憲一：スペクトラム拡散技術のすべて，東京

電機大学出版局, (2002/05)

- [8] 須崎亮太郎, 萩原友隆, 内村創: フルスクラッチによるグラフィックスプログラミング, 秀和システム, (2004/12)
- [9] 山内雪路: デジタル移動通信方式, 東京電機大学出版局, (2000/12)
- [10] 酒井幸一: デジタル画像処理の基礎と応用, CQ 出版社, (2003/09)
- [11] 今井秀樹: 符号理論, 電子情報通信学会, (1990/03)
- [12] 岡本英司: 暗号理論入門, 共立出版株式会社, (1993/02)
- [13] D.Boneh and J.Shaw: Collusion-Secure Fingerprinting for Digital Data, IEEE Trans. inform. Theory, vol.44, no.5, pp.1897-1905 (1998)
- [14] I.Cox, J.Kilian, F.Leighton, and T.Shamoon: Secure spread spectrum watermarking for multi-media, IEEE Trans. on Image Process, vol.6, no.5, pp.1673-1687 (1997)
- [15] W.Trappe, M.Wu, Zhen Wang, and K.J.R.Liu: Anti-collusion Fingerprinting for Multimedia, IEEE Trans. on Signal Processing, vol.51, pp.1069-1087 (2003)
- [16] 伊藤浩, 馬養浩一, 鈴木光義, 浅井光太郎: 画像電子透かしに対する局所的な信号の相関に基づくリプレース攻撃, 電子情報通信学会論文誌 D Vol.J89-D No.2, pp.237-249 (2006)
- [17] 久永隆治, 栗林稔, 田中初一: 幾何学的ひずみの局所的な補正による電子透かし検出能力の改善, 電子情報通信学会論文誌 A Vol.J88-A No.10, pp.1146-1153 (2005)
- [18] 栗林稔, 田中初一: DCT 係数間の加法特性に基づく電子透かし, 電子情報通信学会論文誌 A Vol.J85-A No.3, pp.322-333 (2003)
- [19] 関裕介, 小林弘幸, 藤吉正明, 貴家仁志: 埋込位置の特定を必要としない JPEG 画像へのデータ埋込法, 電子情報通信学会論文誌 D-II Vol.J88-D-II No.10 pp.2037-2045 (2005)
- [20] stirmark benchmark
<http://www.petitcolas.net/fabien/watermarking/stirmark/>,
 (参照 2017-05-08)

著者紹介 佐久間貴士



2007 年東京理科大学工学部第二部経営工学科卒。2013 年東京電機大学先端科学技術研究科博士課程後期単位取得満期退学。工学修士。2015 年より高崎商科大学商学部専任講師。情報セキュリティ, 情報教育の研究に従事。国際 ICT 利用研究学会理事。教育システム情報学会, コンピュータ利用教育学会, 情報文化学会など各会員。

食物アレルギーを持つ乳幼児および児童生徒に配慮した給食システムの設計

田中 雅章¹, 内田 あや²

¹ユマニテク短期大学, ²名古屋文理大学短期大学部

Design of the School Lunch System with Consideration for Infants and Students with Food Allergy

Masaaki TANAKA¹, Aya UCHIDA²

¹Humanitec Junior College, ²College of Nagoya Bunri University

要 旨 日本小児アレルギー学会や文部科学省は、食物アレルギーを持つ子どもの統計を公表した。この報告によると、食物アレルギー患者は0歳児が最も多く、全体の10%ぐらいである。小学生から高校生までの食物アレルギー患者は、全体の5%ぐらいである。しかし、その人数は45万人以上である。本研究において我々は、給食の提供を受けている食物アレルギーを持つ乳児から高校生対して安全に給食を提供するためのシステムを設計した。

キーワード：食物アレルギー、アナフィラキシーショック、給食

Abstract The Japanese Society of Pediatric Allergy and Clinical Immunology or Ministry of education published statistics on children with food allergies. According to these statistics, food allergy patient is most common in 0 years old, and the rate is about 10% of the all generations. From primary school children to high school students who have food allergy are about 5% of the all. And, the number of people who have food allergy are more than 450 thousand people. In this study, we designed a safe system of school lunch or feeding service for infants and school children, junior and senior high school students with food allergies.

Keywords: Food allergy, Anaphylactic shock, School lunch

1. はじめに

本来、児童が安心して生活できるはずの学校で、女子児童が死亡するという痛ましい事故が発生した。この事故は食物アレルギーによるアナフィラキシーショックが原因ではないかといわれている¹⁾。

平成24年12月に調布市の小学校5年生の女子児童が給食を喫食した30分後に体調不良を訴え病院に搬送された。搬送先の病院へ到着時は、すでに心肺停止状態でアナフィラキシーショックの疑いで死亡した。平成25年3月に公表された調布市立学校児童死亡事故検証結果報告書²⁾によると、その原因となったアレルギー食品は粉チーズで、本人が誤っておかわりしたじやがいものチヂミに添加されていた。

調布市では誤食事故防止のために対応食一覧が作成²⁾されていたが、保護者向けの対応食一覧は準備されていなかった。母親はやむを得ず詳細な献立表を見な

がら、普通の献立表へアレルギーを含む献立の食品にマーカーでラインを引いて女子児童に持たせていた。女子児童がおかわりを希望した時、担任は自分の対応食一覧を確認せずに女子児童へ確認した。不幸にも当日の給食にアレルギー物質が含まれているにもかかわらずマーキングがないので、女子児童はおかわりをしても大丈夫だと判断した。喫食30分後にアナフィラキシーショックを発症した。担任は女子児童のランドセルからエピペン®を取り出し、本人に確信したが拒否されたため、エピペン®を打たなかった。その15分後に養護教諭がトイレに連れて行った。校長がエピペン®を打ちAEDを試みた時は、すでに心肺停止状態にあったと思われる。この事例では、アナフィラキシーショックを発症後15分以内に適切な手当をすれば、助かったと推測できる。

近年、食物アレルギーを持つ子どもが増える傾向にある。学校給食は限られた時間内にミスのない調理作

業と提供が要求される。調理で間違いなく提供することは必要であるが、喫食時にも間違いが起らないようにしなければならない。栄養士養成課程では「応用栄養学」等の科目で、食物アレルギーに関する知識を習得する。本稿では食物アレルギー対策の現状を明らかにし、食物アレルギーを持つ児童生徒の誤食を防止するシステム設計を行なう。

2. 食物アレルギーの発症時期と原因物質

わが国の食物アレルギーの有病率は乳児で約 5～10%、幼児で約 5%、学童期以降が約 1.5～3%と推定されている。この数字は日本小児アレルギー学会で確認された患者数 3,882 名からの推定値である。年齢別食物アレルギー発症者を図 1 年齢別即時的食物アレルギー患者数に示す。

図 1 から明らかなように、食物アレルギー患者数は 0 歳児が最も多い。これは、乳児の離乳食が始まる時期にはじめて口にした食物で、アレルギー症状を発症する事が多いためである。両親のどちらかに何らかの食物アレルギーがあれば、アレルゲンを含む食物を離

れもアレルゲンを含む食物を避ける食事を作るように配慮する。あるいは、年齢とともに食物アレルギーに対する耐性を少しずつ持つてくるため、食物アレルギーを発症することが少なくなってくる。

即時型食物アレルギーの主要原因食物は、鶏卵、牛乳、小麦であるが、年齢別でその頻度は異なる。図 2 年齢別食物アレルギー原因物質を示す。0 歳児では、最も多い原因食物が鶏卵 62%で、2 番目に多い原因食物が乳製品 20%で、3 番目に多い原因食物が小麦 7%である。この 3 つの原因物質だけで、この時期の食物アレルギー物質の 89%を占める。この理由は乳児が離乳食を初めて口にするため、食物アレルギー症状を発症する件数が極めて多い。初めて離乳食を食べさせる時には次の注意が必要である。「一度にたくさん食べさせないようにする」「食事の時は乳児の様子を見ながら少しずつ食べさせる」「小児科が通常業務を行っている平日の日中にする」など、重症な食物アレルギーを発症することがないように配慮が必要である。アナフィラキシーショックの様な重篤な症状は食後 30 分ごろに発症することが多い。そのため、食後 30 分後は乳児の様子に変化がないか、ていねいな観察が必要である。

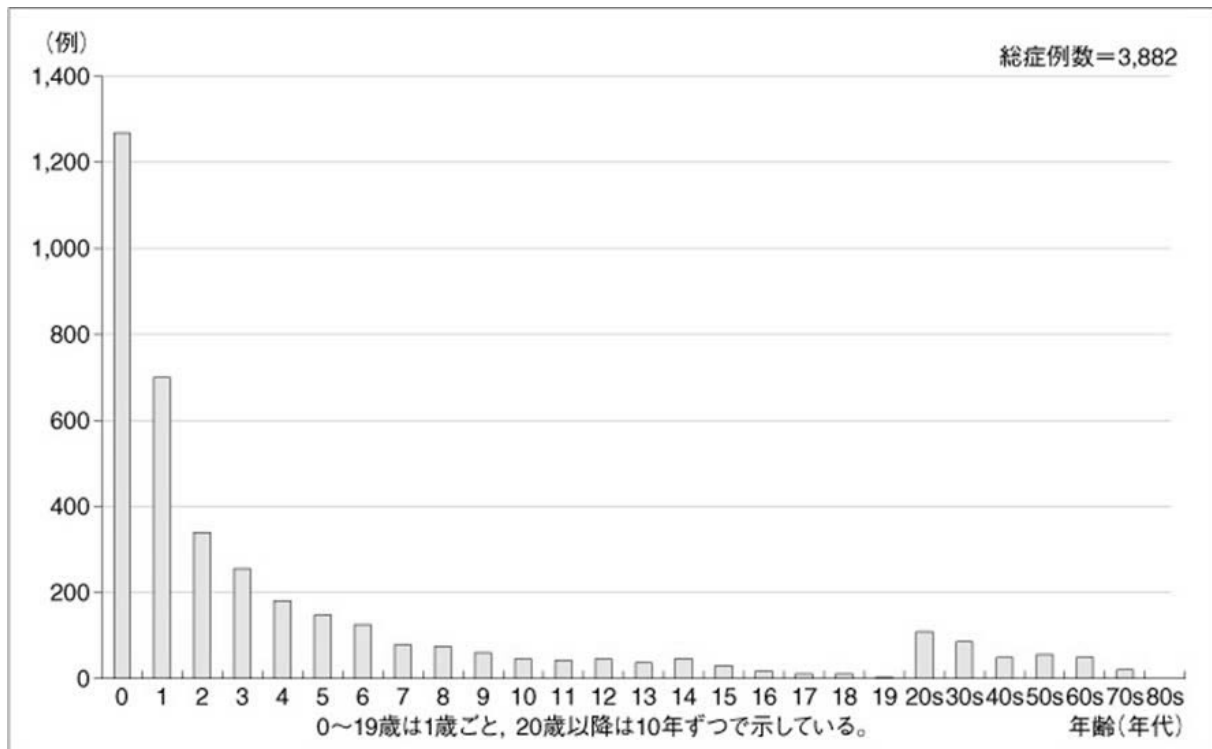


図 1 年齢別即時的食物アレルギー患者数

出典 日本小児アレルギー学会診療ガイドライン 2012

乳食として喫食させることは避けた方がよい。しかし、離乳食で食物アレルギーを発症するときは、予測もつかない原因物質によるケースも多い。そのため、離乳食を始めて口にする 0 歳児に多いのである。しかし、

＜年齢別 主な原因食物＞ n=3882

	0歳 N=1270	1歳 N=699	2, 3歳 N=594	4-6歳 N=454	7-19歳 N=499	20歳以上 N=366
No.1	鶏卵 62%	鶏卵 45%	鶏卵 30%	鶏卵 23%	甲殻類 16%	甲殻類 18%
No.2	乳製品 20%	乳製品 16%	乳製品 20%	乳製品 19%	鶏卵 15%	小麦 15%
No.3	小麦 7%	小麦 7%	小麦 8%	甲殻類 9%	ソバ 11%	果実 13%
No.4		魚卵 7%	ソバ 8%	果実 9%	小麦 10%	魚 11%
No.5		魚 5%	魚卵 5%	ピーナッツ 6%	果実 9%	ソバ 7%
小計	89%	80%	71%	66%	61%	64%

出典：H14・17 厚生労働科学研究報告より

図2 年齢別食物アレルギー原因物質

1歳児になり、味付けは異なるが大人と同じような食材に近いミキサー食、きざみ食が始まるようになる。原因食物の1番目から3番目までの順位は変わらないものの、鶏卵45%、乳製品16%、小麦7%と原因食物に示す割合が減少する。新たに4番目として魚卵7%、5番目に魚5%が増える。この時期になると様々な食物を食べるようになり、それに伴いアレルギーの原因物質の種類が増えていることを示している。

乳児時期から幼児時期は、鶏卵や乳製品、小麦に注意する必要があった。ところが、学童期が近づいてくる幼稚園の年長の年齢になると、原因物質の3番目が甲殻類9%、果実9%に変わってくる。学童期から高校生の時期では、最も多い原因食物が甲殻類16%で、2番目に多い原因食物が鶏卵15%で、3番目に多い原因食物がそば11%、小麦10%、果物9%である。成人になると最も多い原因食物が甲殻類18%である。2番目に多い原因食物が小麦15%で、3番目に多い原因食物が果実13%に変化する。

食物アレルギーを持つ幼児が、鶏卵、乳製品、小麦、そば、魚類、エビやカニなどの甲殻類、ピーナッツなどの誤食によって、アナフィラキシーショックにまで重症化することがある。重症アレルギーを持つ幼児は、摂食中におけるコンタミネーション事故もありえる。保育士や幼稚園教諭はアナフィラキシーショックの応急処置やエビペン処置の知識と事故時の対応訓練が必要と思われる。

3. 学校給食における食物アレルギーの対応

平成25年度に文部科学省が実施した実態調査では表1 アレルギー疾患に関する公立小中高校の児童生徒数のように、小学校4,642,473人(14,963校)、中学校・中等教育学校2,401,024人(7,208校)、高等学校

1,693,084人(2,675校)、合計10,153,188人(28,958校)を対象として行われた。合計には、校種不明の対象数1,416,607(4,112校)を含み、公立小中高校に在籍する児童生徒の中で食物アレルギーが4.5%(45万3,962人)、アナフィラキシーの既往が0.5%(4万9,855人)、「エビペン®」保持者が0.3%(2万7,312人)である。9年前の表2 アレルギー疾患に関する調査研究報告の平成19年度の調査と比較すると食物アレルギーを持つ児童生徒の割合が1.7倍へと増加している。

表1 アレルギー疾患に関する公立小中高校の児童生徒数

	食物アレルギー有症者	アナフィラキシー経験者	「エビペン®」所持者
小学校	210,461	28,280	16,718
中学校	114,404	10,254	5,092
高校	67,519	4,245	1,112
校種不明	61,578	7,076	4,390
合計	453,962 (4.5%)	49,855 (0.5%)	27,312 (0.3%)

出典 平成25年8月 文部科学省調査

表2 アレルギー疾患に関する調査研究報告

	食物アレルギー有症者	アナフィラキシー経験者
小学校	194,445	10,718
中学校	88,100	5,023
高校	67,519	2,582
合計	329,423 (2.6%)	18,323 (0.14%)

出典 平成19年 文部科学省調査

表3 学校給食での食物アレルギー対応

レベル	方法	対応内容	対応比率
1	詳細な献立表	児童生徒自身の判断で給食からアレルゲン食品を除去しながら食べる	28.1%
2	完全弁当	給食の代わりに弁当を持参する	2.2%
	一部弁当	対応食が提供出来ないときに弁当を持参する	8.6%
3	除去	アレルゲンを除去した給食を提供する	39.1%
4	代替食	アレルゲンに代わる食材を補った給食を提供する	22.0%

※レベルの数字が大きくなるほど、対応として充実しており望ましい

平成25年に全国から抽出した小中学校579校を対象に実施

出典 平成25年 文部科学省調査

文部科学省の調査結果のように食物アレルギーを持つ児童・生徒の割合は年々増加する傾向にある。それにもかかわらず学校給食において食物アレルギー対応

がレベル 4 まで対応できている教育機関は全体の 2 割程度と少ない。栄養士や調理員が何度も確認するため給食は間違いなく提供ができています。にもかかわらず、情報の共有化がスムーズにできていないため、配膳ミスやおかわりで痛ましい誤食事故が発生している。

つまり、児童生徒へ学校給食を提供している教育機関は食物アレルギー対応が急務である。しかし、給食における食物アレルギー対応の現実、レベル 1 の詳細な献立対応 (28.1%)、レベル 2 の弁当対応 (10.8%)、レベル 3 の除去食対応 (39.1%) までは多いものの、レベル 4 の代替食対応 (22.0%) まで実施している教育機関は少ない。

表 3 学校給食での食物アレルギー対応のように代替食対応が遅れている原因として、給食でのアレルギー食材誤食防止を支援するための給食の管理やアレルギー情報の確認を行うソフトウェアも開発されており、様々な教育機関で利用が進んでいるものの、代替食の管理が不十分であるものが多く、手作業でせざるを得ない環境であることが問題として挙げられる。

手作業で行う内容として、献立にアレルギー物質が含まれているかどうか、該当する児童生徒が誰かといった項目の照合作業があげられる。これらの項目は、絶対にミスを起こしては行けないものである。万が一ミスをしてしまえば、誤食を引き起こす原因になってしまうからである。そこで、栄養士は手作業による転記作業と何度も確認をしなくては行けないという手間が増えることとなる。実際の現場では対応献立を配膳しているにもかかわらず、子どもが誤ってアレルギー食材を摂食してしまい、アレルギー症状が出てしまう事故が発生している。調布市の小学校で、5 年生の女子児童が給食の 30 分後に体調不良を訴え病院に搬送されたものの、搬送先の病院に到着した時にはすでに心配停止状態であった。アナフィラキシーショックの疑いで死亡した原因は、不幸なミスが重なり、起ったものである。

表 4 アレルギー 27 品目物質一覧表

表示義務	7品目	卵 乳 小麦 えび かこ そば 落花生
推奨表示	18品目	あわび いかに いくら オレンジ キウイ フルーツ 牛肉 くるみ さけ さば ゼラチン 大豆 鶏肉 パナナ 豚肉 まつたけ もも やまいも りんご
	追加 2品目	カシューナッツ ゴマ

2013 年 9 月に「アレルギー物質を含む食品に関する表示について」の改定によって、アレルギー物質表示は 25 品目から 2 品目増え、表 4 アレルギー 27 品目物質一覧表のアレルギー表示が義務付けられている。これまで日本で食べることのなかった外国の果物が頻繁に輸入されるようになった。スーパーなどの店頭で外国の果物が並べられるようになり、普通に食べる食品として普及するようになった結果、子ども達が摂取することでアレルギー反応を示す可能性があることが明らかになってきた。学校給食の現場では、食物アレルギーに該当する果物が 10 品目近く報告されている。

このような状況でアレルギーを持つすべての子ども達に学校給食で食物アレルギー対応レベル 4 を維持した提供を継続するのは容易なことではない。給食を提供する栄養士や調理員は基本的に手作業による確認が欠かせない。現場は提供前に何度も確認をするため、アレルギーを持つ子どもの特別食の種類が増えれば増えるほど現場の作業量は増え、ミスを誘発する要因が増えるばかりである。

4. アレルギー特別食の対応の概要

本研究で提案する食物アレルギーを持つ児童生徒の誤食防止の概要を図 3 特別食の対応フローに示す。

管理栄養士が給食の献立を作成する時に特に気をつけなければならないのは、「えび」、「かこ」、「小麦」、「そば」、「卵」、「乳」、「落花生」の 7 品目である。この食品は患者数の多さや症状の重さから原材料として使った場合だけでなく、原材料を作るときに使った場合にも注意が必要である。

その他に 20 品目があり、計 27 品目が食物アレルギーとして表示が必要である。現場の声によると、最近では 27 品目以外にも食物アレルギー食品の追加登録機能が必要である。

除去食や代替食などの特別食の対応で誤食事故が発生している。特別食の調理は通常の給食と異なる別室で行い、調理担当者が何度もチェックするので間違えることは少ない。しかし、給食を喫食するのは児童生徒である。周囲の大人が十分に注意しても、児童生徒が自分自身の食物アレルゲンを確認せずにおかわりを喫食する場合や周りの児童生徒からの飛沫の混入によるコンタミネーションによって、重篤な食物アレルギーを発症することがある。

システムを設計する上で重視したことは、利用者が自ら確認できるよう、情報確認を促す工夫をした。つ

まり,おかわり等で誤食を起こさないようにするには,
⑧食札 (特別食のメニューとアレルギー物質が明記してある), ⑨対応一覧表 (給食のメニューにアレルギー物質と除去あるいは代替の対応が明記してある) である. 対応一覧表は, 担任, 保護者, 本人の 3 者に通知することで 2 重 3 重の確認となり, より安全性が高まることになる. この 2 点が不十分な時, ⑩配膳確認や ⑪給食提供時に誤食事故につながっていた.

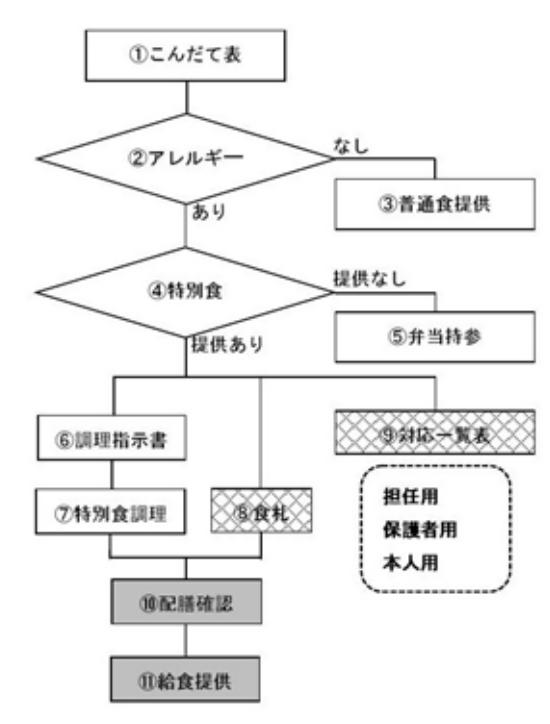


図3 特別食の対応フロー

給食提供時は, 別色プレート, 別色食器, 食札の 3 点セットを必ず順守する. この様に基本を守ることによって, 複数のチェックが実施される. おかわりによる誤食事故を防止することができると思う.

5. 情報の共有と実績の表示

本システムの利用対象は, 県から市や町の教育委員会, 給食センター, 管理栄養士, 栄養教諭, 養護教諭, 学校長などの学校管理者を想定している. 管理区域の食物アレルギーを持つ児童生徒の情報が照会できるようになっている.

5.1 食物アレルギー児童・生徒の状況照会

食物アレルギーを持つ児童・生徒の在籍状況を照会する画面を図4に示す.

校種は, 保育所, 幼稚園, 小学校, 中学校, 高校, その他である. エピペンの欄はエピペン所有者数を表

示する. 重度の欄は食物アレルギーが重度である人数を表示する. 食物の欄は食物アレルギーがある人数を表示する.

No.	校種▽	校名・施設名	エピペン	重度	食物
計			人	人	人

図4 対象地域内一覧

図4の校種の欄の▽をクリックし, プルダウンメニューの全て, 保育所, 幼稚園, 小学校, 中学校, 高校から選ぶ. これを選択することで, 管理区域内の全体あるいは校種別の食物アレルギー者情報が表示される.

校名・施設名を選択すると, 学校・施設の学年 (年齢) 別に食物アレルギー者の人数が表示される画面を図5に示す.

No.	学年▽	アレルギー	重度	エピペン
計		人	人	人

図5 学校・施設内一覧

図5の学校・施設内のどこかをクリックすると, 児童・生徒個人一覧が表示される画面を図6に示す. 個人ごとにアレルギー物質が表示される. さらに食物アレルギーが重度の場合は重度欄にその旨が表示され, エピペンが処方されている場合は, エピペン欄に表示される.

No.	学年	クラス	名前	アレルギー	重度	エピペン
				乳	○	
				そば	○	○
計				人	人	人

図6 児童・生徒個人一覧

さらに, 個人を選択すると, 個人の詳細情報が表示される画面を図7に示す.

個人情報欄	食物アレルギー情報欄
特別食対応履歴欄	食物アレルギーカルテ欄

図7 個人情報画面

画面右上の食物アレルギー情報欄には現在のアレルギー

ギー情報が表示される。食物アレルギーは年齢と共に寛解することが多い。しかし、場合によっては新たに食物アレルギーが発症することもある。そのため、食物アレルギーカルテ欄が右下に表示される。左下には特別食の提供を受けた履歴の一覧が表示される。さらに履歴の一つを選択するとその時の特別食のレシピが表示される。

5.2 食物アレルギー対応献立の状況照会

献立を参照すると特別食レシピと特別食対応履歴の 2 つの情報を表示する画面を図 8 に示す。

献立欄	食材 レシピ欄
特別食対応 履歴欄	特別食 レシピ欄

図 8 食物アレルギー対応献立画面

学校給食において食物アレルギーを持つ児童・生徒のために除去食や代替食などの特別食に対応したレシピの登録があれば、経験の少ない栄養士でも献立作成が容易である。ベテランの栄養士が考案した特別食用のレシピを蓄積する。だれもが情報照会ができるならば、経験の浅い栄養士でもベテランの知識を共有することで、特別食レシピを作成できるようになる。

6. まとめ

小学校の現場では、食物アレルギーに関する死亡事故を受けて 2014 年度から必修講習として救急法の研修が盛んに実施されている。万が一の場合はそれも必要である。しかし、誤食事故を起こさないようなコンピュータシステムを充実させる事が、より重要であると考ええる。

近年の食物アレルギーは専門性の高い分野であり、かつ考え方や治療が近年急速に発達し変化している。児童・生徒よりも乳幼児の方が食物アレルギーを発症しやすいのは、これまで述べたとおりである。このような現場で働く保育士および栄養士は、食物アレルギーの知識を持ち、万が一子どもが誤食事故を起こしたときに適切な対応ができるように知識と技術を深める必要がある。

また、食物アレルギーのある子どもでも、他の児童生徒同じように給食が楽しめるよう、食物アレルギーに対応した特別食が提供できるシステム化の提案を行った。本研究の提案のポイントは次に述べる 2 点であ

る。一つは、児童でも理解できるように 2 重 3 重のチェックができるような喫食支援システムである。もう一つは実績のデータベース化である。食物アレルギーを持つ子どもが提供を受けた特別食の実績である。さらに献立の食物アレルギーに対応した特別食レシピと提供した実績である。この経験の蓄積を活用することによって、食物アレルギーを持つ子どもでも安全に給食の提供を受けることが可能になる。一人でも給食を楽しめるようになってほしいと考える。

参考文献

- [1] 学校給食における食物アレルギー対応に関する調査研究協力者会議, 文部科学省, 参照 2016.7.7
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/sports/018/shiryo/_icsFiles/afiedfile/2013/06/05/1335638_5.pdf
- [2] 富士見台小学校児童死亡事故の検証結果報告書, 調布市, 参照 2016.7.7
<http://www.city.chofu.tokyo.jp/www/contents/1363069358235/>
- [3] 食物アレルギーに関する調査結果について, 文部科学省, 参照 2016.7.7
http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/25/12/_icsFiles/afiedfile/2013/12/19/1342460_1_1.pdf
- [4] 学校給食における食物アレルギーを有する児童生徒への対応調査結果, 文部科学省, 参照 2016.7.7
http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/25/12/_icsFiles/afiedfile/2013/12/19/1342460_1_1.pdf

著者紹介

田中 雅章 (たなか まさあき)



愛知大学卒業。中部大学大学院経営情報学専攻修士課程修了。名古屋工業大学大学院情報工学専攻博士後期課程修了。ユマニテック短期大学 教授。現在、教育および技術、電子書籍に関する研究に従事。博士 (工学), 修士 (経営情報学)。

内田 あや (うちだ あや)

名城大学卒業。名古屋文理栄養士専門学校卒業。女子栄養大学大学院栄養学研究科修士課程修了。名古屋文理大学短期大学部 助教。現在、高校生の食育に関する研究に従事。修士 (栄養学), 管理栄養士, 薬剤師。

眼周辺領域検出による男女判別

神馬嵩大, 田中敏幸
慶應義塾大学大学院 理工学研究科

Gender Classification with Periocular Region Detection

Shudai Jinba, Toshiyuki Tanaka
School of Science and Technology, Keio University

要 旨 現在, カメラから得た画像情報に対し顔認識技術を適用することで, 自動的に性別や年齢などの人物属性を取得するアプリケーションが登場している。しかし, 実用化されている現在においても顔認識技術には解決すべき課題が数多く存在しており, 代表的な課題の 1 つとして, 遮蔽物による顔の隠れ (オクルージョン) がある。オクルージョン状況下においては, 注目領域中の隠れの無い部分領域を除き, 画素値情報が失われてしまうため, 人物属性の判別や顔領域の検出は困難となる。判別におけるオクルージョンへの対処可能な手法としては, 顔領域全体ではなく部分領域を用いる手法が提案されており, 近年では判別精度の面で優れているなどの理由により, 眼周辺領域 (目と眉を含む矩形領域) が注目されている。本研究では, 顔の検出を用いない眼周辺領域を用いた男女判別における特徴表現の比較検討を目的とする。これらの目的の達成により, 眼周辺領域による人物属性判別の汎用性および精度向上を目指す。眼周辺領域の検出の場合には, 両目領域未検出時には画像を回転した後で再探索を行っている。

キーワード : 男女判別, 眼周辺領域, オクルージョン, Ada-boost, Haar-like 特徴量

Abstract Recently, a human attribution detection by face recognition receives attention from many application, such as age and gender detection in digital signage. However, the face recognition has many problems, and one of them is a partial disappearance of face that is so called occlusion. Since the facial information is lost by disappearing a partial region in the face, attribution classification and face detection become difficult under occlusion. As handling method for occlusion in attribution classification, the method using only a partial region of face is proposed. In recent study, periocular region, which means the rectangle region including eye and brow, receives attention in terms of high classification accuracy when it is used as input. Therefore, we performed the periocular region detection method with a partial face region detection and then compared feature representations in periocular region. We propose this method for the purpose of increasing human attribution classification accuracy. In periocular region detection, both eye region detection is used instead of whole face region detection. In addition, both left and right regions are re-searched after the input image is rotated with an adequate angle, when the both eye regions are not detected.

Keywords: Gender classification, Periocular region, Occlusion, Ada-boost, Haar-like features

1. はじめに

現在, カメラから得た画像情報に対し顔認識技術を適用することで, 自動的に性別や年齢などの顧客属性を取得するアプリケーションが登場している。得られた情報の活用例としては, デジタルサイネージと連携し顧客属性ごとに適した広告提供や商品レコメンドを行うなど, マーケティング活動への使用が挙げられる。

実用化されている現在においても, 顔認識技術には解決すべき課題が数多く存在している。代表的な課題の 1

つとして, 遮蔽物による顔の隠れ (オクルージョン) がある。オクルージョンの事例としては, サングラスなどによる目の隠れやマスクなどによる鼻・口の隠れなどがある。これらの状況下においては, 注目領域中の隠れの無い部分領域を除き, 画素値情報が失われてしまうため, 人物属性の判別や顔領域の検出は困難となる。

オクルージョンへの対処法としては, 近年, 顔領域全体ではなく眼周辺領域 (目と眉を含む矩形領域) のみを用いた属性判別手法が提案されている[1][2]。すなわち, 従来用いられてきた顔領域よりも狭い領域に着目するこ

とで、注目領域が遮蔽される可能性を低下させる方針である。この手法ならば目か眉に隠れがある状況を除けば、オクルージョンへの頑健性を得られる。さらに、冒頭に挙げたようなデジタルサイネージとの連携を考えた場合、目に隠れないという仮定のため、画像分析による視線推定技術を用いた顧客の関心調査とも組み合わせることが可能であるという、副次的なメリットも期待できる。加えて、文献[1][2]の実験結果では、顔領域を用いた場合に近い精度が眼周辺領域を用いた場合に得られており、精度面においても優れた手法であるといえる。しかし、これらの研究及びその類似研究の多くにおいて、眼周辺領域の検出は手作業で行っている。加えて、領域間の判別精度比較に主眼を置いているため、眼周辺領域の情報のみを用いて判別精度を向上させるための検討については十分ではない。

眼周辺領域(または目領域)の検出に取り組んだ研究としては、あらかじめ顔領域や肌色領域を検出しておき探索範囲を限定することで、検出精度向上を図る手法が提案されている[3][4]。しかし、これらの手法では、オクルージョン状況下においては顔領域検出が困難となる、照明条件の変化などの原因により肌色の定義が困難であるといった点で課題が残る。

以上の背景を踏まえ、本研究では眼周辺領域を用いた人物属性判別及びその入力画像を取得するための眼周辺領域検出を目的とする。判別する人物属性は、マーケティング活動において実務的に用いられる顧客情報の 1 つである、性別を対象とする。判別過程では、眼周辺領域で算出した特徴量ごとの判別精度の比較検証を行い、検出過程では、顔領域検出や肌色検出を用いない、眼周辺領域検出手法の構築を行う。

2. 実験方法

2.1 データセット

研究用のデータセットとして The MUCT Face Database (MUCT)を用いた[5]。MUCT は被験者 276 人(女性 145 名, 男性 131 名), 画像 3755 枚(女性 1910 枚, 男性 1845 枚)から構成される, 480×640 pixel のバスタップ写真のデータベースである。各ファイルの撮影状況や被験者に関する情報も記載されており, 性別, ID, 照明条件, カメラアングル, 眼鏡の有無などを確認可能である。画像のフォーマットは RGB カラーの JPEG, サイズは 640×480 pixel である。MUCT の画像サンプル例を Fig. 1 に示す。



Fig. 1 Images in the MUCT Face Database [5]

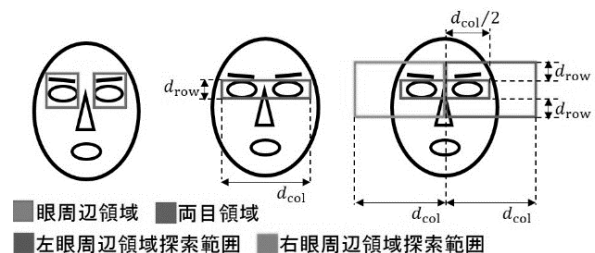


Fig. 2 Definition of each region

2.2 眼周辺領域検出法

本研究の検出過程では顔や肌色領域の検出を行わない。顔や肌の代わりに両目領域の検出をあらかじめ行い、その周辺領域で眼周辺領域を探索することで検出精度を高める。「眼周辺領域」の定義は眉と目を含む矩形領域、「両目領域」の定義は左右の目を含む矩形領域であり、眼周辺領域探索範囲は両目領域を基準に位置・大きさを決定する矩形領域である。これらの定義を Fig. 2 に示す。なお、眼周辺領域探索範囲は両目領域矩形と重心を同じくする矩形内であり、両目領域矩形の縦幅を d_{row} 、横幅を d_{col} としたときの眼周辺領域探索範囲の縦幅を $3d_{row}$ 、横幅を $2d_{col}$ とする。探索範囲の右半分を左眼周辺領域を、左半分を右眼周辺領域を探索する。

提案手法における検出の処理手順を Fig. 3 に示す。「両目領域探索」「眼周辺領域探索」には MATLAB の Computer Vision System Toolbox で提供されている、MUCT 以外の画像によって学習されたカスケード構造オブジェクト検出器を用いた[3][6]。両目領域、左眼周辺領域、右目周辺領域の検出器はいずれも Viola・Jones のカスケード構造オブジェクト検出アルゴリズムによって作られている。このアルゴリズムでは、Haar-like 特徴量(または矩形特徴量)という画像特徴量によって学習された Adaboost 判別器を用いて、Fig. 4 のようなカスケードを作る。探索窓内の Haar-like 特

微量を入力後、カスケード中の Adaboost 群で順に判別を行い、全ての層で「オブジェクト領域である」と判別された場合にのみ、判別対象領域をオブジェクト領域としてみなす。カスケード序盤の判別器は変数の数が少ないシンプルな判別器である。このため、明らかな非オブジェクト領域はカスケードの比較的序盤の層で棄却することができる。また、Haar-like 特徴量が Integral Image という画像処理によって高速に算出可能であることなども、アルゴリズムの高速化に有効となっている。Fig. 3 に示すように、提案手法においてはフローの進み方によっては再探索を行うこともある。このため、計算の高速性の観点から、カスケード構造オブジェクト検出器は提案手法と相性がよい。

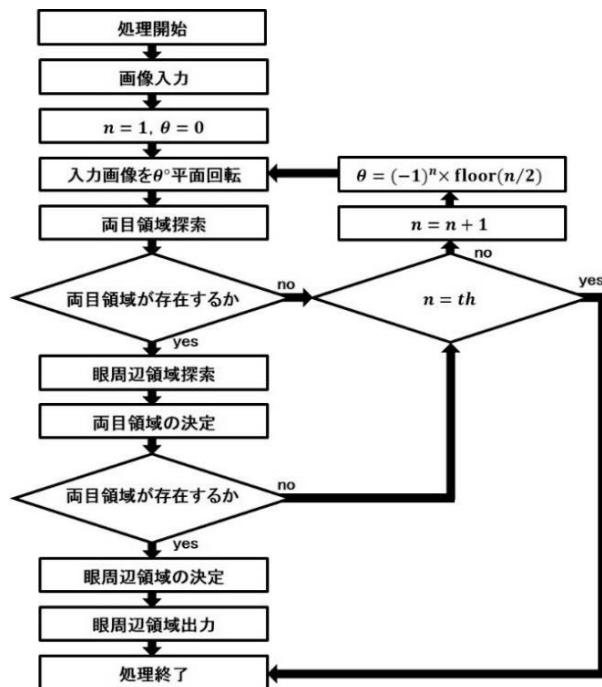


Fig. 3 Flowchart of periocular region detection

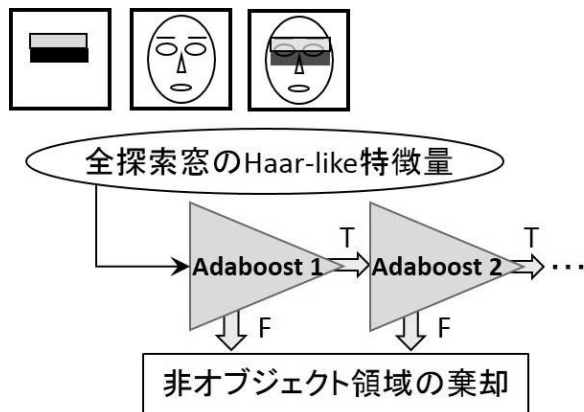


Fig. 4 Cascade object detector by Viola and Jones

探索後は、各検出領域の保持・棄却の判断、検出領域群からの領域選択の処理を行い、誤検出を抑えた (Fig. 3 中の「両目領域の決定」「眼周辺領域の決定」に該当する)。また、両目領域を検出できなかった場合、あるいは保持条件を満たす両目領域候補が存在しなかった場合には入力画像を回転して再探索を行い、未検出を抑えた。

本研究では提案手法の有用性を確かめるために、次の 3 つの手法での検出精度を比較する。

- (a) 眼周辺領域のカスケード構造オブジェクト検出器のみを用いた場合
- (b) 両目領域を検出し、領域を限定して眼周辺領域を探索した場合
- (c) (b)に加え、両目領域・眼周辺領域の決定処理を行った場合
- (d) (c)に加え、両目領域未検出時の画像回転処理を行った場合 (提案手法)

2.3 男女判別

ここでは男女判別における使用特徴量についての比較検討方法について説明する。既存研究でも用いられている Local Binary Pattern (LBP) 特徴量と、顔領域を入力とした男女判別でも用いられることの多い輝度値特徴量と Gabor 特徴量で判別精度の比較を行う。

入力画像は、検出された左右の眼周辺領域画像であり、その内訳は教師サンプル数 467 枚(女性 233 枚, 男性 234 枚), テストサンプル数 236 枚(女性 119 枚, 男性 117 枚)である。また、特徴量の次元削減法には変数増減法, 判別器には非線形 Support Vector Machine (SVM) を用いる。なお, SVM のカーネルには Radial Basis Function カーネルを用いる。

LBP 特徴量や輝度値特徴量, Gabor 特徴量, SVM には設定すべきパラメータが存在する。パラメータの決定方法を以下に示す。

- (1) 定義域内のあらゆるパラメータの特徴量のクラス内・クラス間分散比を計算し、同一次元数ごとに分散比が最大となるものをパラメータの候補として選出する。
 - (2) (1) で選出されたパラメータの特徴量を次元削減したものを入力として SVM パラメータの探索を行う。探索法はグリッドサーチ・粗密探索, 評価値には教師サンプルに対する 10-交差検証における平均判別率とする。
 - (3) (2) で決定した SVM パラメータにおける平均判別率が最も高かった, 特徴量・判別器のパラメータの組み合わせを, 最終的なパラメータとして採用する。
- 以上の手順で決定された特徴量・判別器パラメータを用

いて, SVM を学習し, LBP 特徴量を用いた場合と輝度値特徴量を用いた場合と Gabor 特徴量を用いた場合の判別結果を比較する。

2.4 特徴量

本研究では, 画像特徴量として Pixel intensity value 特徴量(px 特徴量)と Local Binary Pattern 特徴量(LBP 特徴量)と Gabor 特徴量の 3 種類を用いる。どの特徴量も顔画像を入力とした男女判別においても用いられる特徴量である。

(1) Pixel intensity value 特徴量[1][26]

px 特徴量とは, その名の通り画像の輝度値をそのまま用いた特徴量である。一般的には RGB 色空間ではなくグレースケール色空間の値が使用されており, 本研究でもそのようにしている。後述の Local Binary Pattern (LBP) と Gabor 特徴量の算出についても, グレースケール画像に対して行うのが一般的であり, 本研究でもそのようにしている。

輝度値をそのまま扱うため情報の保存性が高いというメリットがある一方で, 照明条件の変化など外部ノイズへの頑健性に欠けるというデメリットもある。この手法は注目領域のコントラストが似通っている場合, 例えば人種が統一されている場合などに有効な手法である。本研究で用いている MUCT の画像は南アフリカで撮影されたものであり, ネグロイドとコーカソイドを中心に複数の人種が混在している。このため人種の違いに起因する肌色の違いが現れており, ヒストグラム均等化処理等による照明条件調整手法は不向きである。予備実験の結果から, ヒストグラム均等化処理を行わない方が高い精度を得られることが確かめられている。

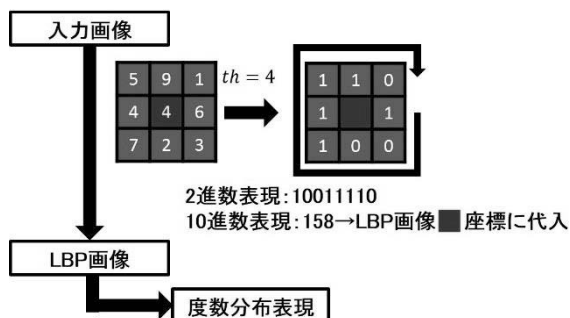


Fig. 5 Local Binary Pattern

(2) Local Binary Pattern 特徴量

LBP 特徴量は Fig. 5 に示すような, 画像の局所的明暗パターンの度数分布である。図において, 入力画像

から LBP 画像を作成する際, 入力画像中の全画素について LBP 値の演算を行う。その演算式は次式によって表される。

$$\text{LBP}(x_c, y_c) = \sum_{n=0}^P s(f_n - f_c) 2^n \quad (1)$$

$$s(k) = \begin{cases} 1 & \text{if } k \geq 0 \\ 0 & \text{if } k < 0 \end{cases} \quad (2)$$

(1)~(2)式は, Fig. 5 に示すように, 注目画素と各周辺画素の輝度値との大小関係を 2 進数表現した後, 10 進数に変換することを意味している。

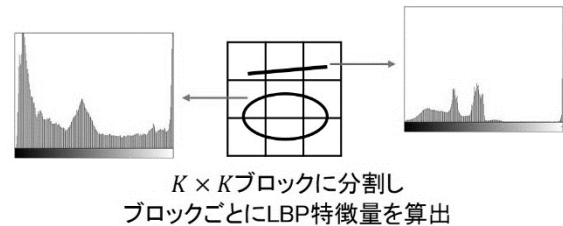


Fig. 6 Brock segmentation LBP

LBP 特徴量は, 明暗関係のみを表現するという性質上, 照明条件の変化などによる様な画素値変化に対する高い頑健性を持ちつつ, 多様なテクスチャの度数を表現できる。しかし, 画素の位置などの情報は保存されない。そこで Fig. 6 のように入力画像を $K \times K$ ブロックに分割し, ブロックごとに度数分布を算出することで, ブロック単位での位置情報を保存する手法を用いる。なお, 画像解像度によっては K で割り切ることができない場合もある。そのような場合には, 余剰分に該当するブロックは画像の下辺・右辺に配置されるようにする。また, 出力される度数分布についても, ブロックの画素数を用いて正規化することで, 各特徴量次元のスケールを規格化する。

LBP 特徴量は中心画素と周辺画素群とのあらゆる明暗パターンを表現するが, その中にはノイズと見なししてしまった方が良いパターンが存在する可能性もある。その可能性を考慮したのが uniform LBP 特徴量である。uniform LBP 特徴量ではパラメータ u を導入する。まず, 明暗パターンを 2 進数表現したとき, 隣り合う bit 間の値が変化した回数 (「0 から 1」か「1 から 0」かは問わない) を数える。そして変化回数が u を超えたとき, その明暗パターンをノイズとみなし, 度数分布作成の際, 専用の 1 本の bin でカウントする。

(3) Gabor 特徴量

Gabor 特徴量は Fig. 7 に示すような異なるスケール・

方向のフィルタ群と入力画像との畳み込みによって算出される画像の画素値である。Gabor フィルタはガウス関数と正弦波との積によって表現される。

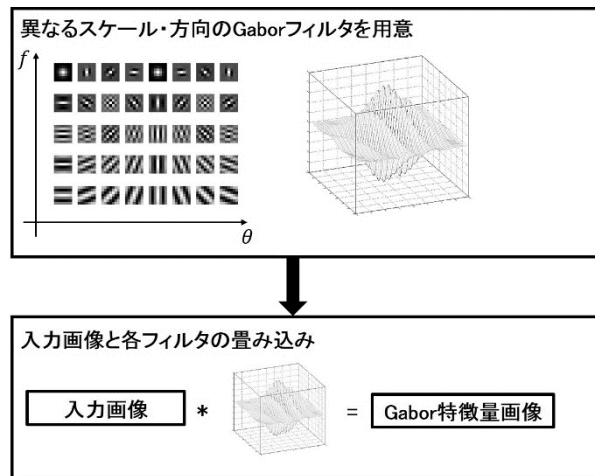


Fig. 7 Gabor feature

この手法は、画素値変化への頑健性は LBP 特徴量に劣るものの、エッジ情報の保存、画素単位での位置情報の保存など、情報の保存性という面では優れている。

3. 実験結果の評価基準と考察

3.1 眼周辺領域検出と検出成否の基準

本研究では判別工程に左右両方の眼周辺領域を用いるため、左右どちらか片方でも未検出である場合は未検出サンプル、左右両方が検出されかつ片方でも誤検出であれば誤検出サンプルとして評価している。

オブジェクト検出の研究において、検出の成否は定性的にならざるを得ないのが現状である。オブジェクト検出とは、「オブジェクト領域」「非オブジェクト領域」の 2 クラス判別の問題に帰着するが、性別などとは異なり各クラスの明確な定義は存在しない。このため、定性的な定義を決め、目視で検出の成否を判断することでしか評価できない。

今回実験に用いた眼周辺領域検出器は、目の位置を基準に矩形内におけるオブジェクトの位置を決定し、教師サンプルを作成している。このため、「矩形内に目が含まれていること」は教師サンプル・テストサンプル間で共通しているべきである。一方、オブジェクトの位置の決定に関与していないため、矩形内の眉の位置は目に比べ安定しない。眉が化粧や剃毛などによって、目との相対的な位置を変えやすい部位であることを加味しても、矩形内での眉の位置は安定しなくても

やむをえないと考えられる。このため、目については厳しい条件を、眉については少し緩い条件を与え、検出成否の基準を定義するのが妥当である。眼周辺領域による男女判別は視線推定と組み合わせることも可能であるというメリットをもっている。視線推定を同時に行う場合、目領域を十分に矩形内に含んでいることは、応用の上で強く求められる条件である。

以上の理由より、以下を単一の眼周辺領域の検出成功の定義とし、この定義に当てはまらない場合には検出に失敗したものとして評価する。

定義 1 : 矩形内に目領域の全てを含み、かつ眉領域の一部を含んでいること

次の処理である男女判別実験においては左右の眼周辺領域両方を入力画像として扱うため、以下の定義を定める。

定義 2 : 左右両方の眼周辺領域が定義 1 を満たしていること

これらの定義を踏まえ、左右の眼周辺領域のどちらか片方でも未検出である場合は未検出サンプル、左右両方が検出されかつ片方でも誤検出であれば誤検出サンプルとして扱う。

ここで、両目領域の検出成否の基準も定義しておく。両目領域検出はあくまで探索範囲の限定のための処理に過ぎず、後の男女判別処理に両目領域画像が関わることもないため、検出成否の定義には眼周辺領域ほどの厳密性は求められない。処理過程において誤って両目ではなく両眉が検出されたとしても、最終的な出力として眼周辺領域が取得されていればよい。このため、両目領域の検出成功の定義は以下のようにする。

定義 3 : 矩形内に左右の目領域の一部がそれぞれ含まれていること

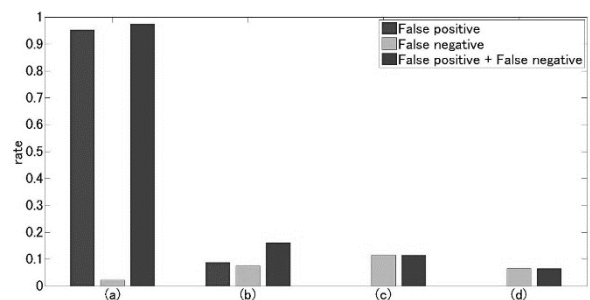


Fig. 8 Error rate of periorcular region detection

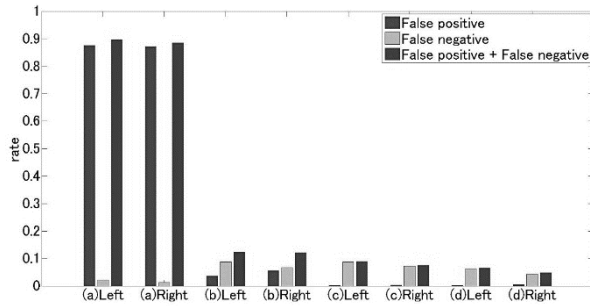


Fig. 9 Error rate of periocular region detections by left and right

3.2 男女判別

提案手法の有用性を確かめるため、(2.2) 節の 4 つの手法での検出精度を比較した結果を示す。

誤検出サンプル、未検出サンプル、誤検出サンプルと未検出サンプルの和の割合を Fig. 8 に図示する。手法(a)(b)(c)(d)の誤検出率は順に、95.2%, 8.7%, 0.0%, 0.0%である。未検出率は順に、2.1%, 7.3%, 11.5%, 6.4%である。和をとると順に、97.3%, 16.0%, 11.5%, 6.4%である。手法(a)の検出率が最も低く、カスケード構造オブジェクト検出器のみを用いても、眼周辺領域を安定的に検出することは困難であることが示された。Viola・Jones が文献[7]でカスケード構造オブジェクト検出器を用いて顔領域の検出実験を行った際の精度が 93.9%であったことを考慮しても、眼周辺領域の検出は顔領域の検出に比べ困難であるといえる。また、手法(b)(c)を用いると手法(a)よりも誤検出率が低下することより、両目領域の事前検出が眼周辺領域の誤検出抑制に貢献することが示された。手法(d)を用いた場合、手法(c)と同じ誤検出率を保ちつつ、未検出率はより低く抑えられることより、両目領域未検出時の画像回転と再探索が未検出抑制に貢献することが示された。この結果において注目すべきことは、手法(c)(d)共に誤検出率が 0%となったことである。このことは、後の男女判別処理における判別器の学習の際、明らかなノイズとなるような非眼周辺領域サンプルが含まれないことを意味する。

次に、左右ごとの誤検出サンプル、未検出サンプル、誤検出サンプルと未検出サンプルの和の割合を Fig. 9 に示す。左眼周辺領域における手法(a)(b)(c)(d)の誤検出率は順に、87.5%, 3.6%, 0.1%, 0.1%である。未検出率は順に、2.1%, 8.7%, 8.7%, 6.3%である。和をとると順に、89.6%, 12.3%, 8.8%, 6.4%である。右眼周辺領域における手法(a)(b)(c)(d)の誤検出率は順に、87.1%,

5.5%, 0.3%, 0.5%, 未検出率は順に、1.3%, 6.7%, 7.2%, 4.3%, 和をとると順に、88.4%, 12.1%, 7.5%, 4.8%である。

Fig. 8 における評価法は左右両方が正検出となっはじめて正検出とするものであるため、左右ごとに評価すれば精度が高く算出されるのは当然である。しかし、手法(b)(c)において左右の眼周辺領域の誤検出率がそれぞれ 0 ではなく、かつ左右の眼周辺領域として評価した時の誤検出率が 0 である点は興味深い。これは、片方の眼周辺領域が誤検出されたサンプル全てにおいて、もう片方の眼周辺領域が未検出であったことを意味する。すなわち、定義 2 が誤検出抑制のフィルタとして機能していたことになる。これは「左右の眼周辺領域検出器がいずれも領域を検出すること」が眼周辺領域らしさの指標となっていたということである。

正しく判別できた割合は、LBP 特徴量を用いた場合が 82.6%, 輝度値特徴量を用いた場合が 86.4%, Gabor 特徴量を用いた場合が 85.6% であった。この事より、今回用いた特徴量の中では輝度値特徴量が最も高い汎化性能を持っていることが確認された。

4. おわりに

本研究では、眼周辺領域以外のオクルージョンに頑健な眼周辺領域検出手法の構築、および眼周辺領域情報を用いた男女判別の高精度化のための特徴表現の比較検討を目的として、検出・判別実験を行った。

眼周辺領域検出実験においては、従来用いられていた顔領域や肌色領域に代わり、両目領域の事前検出により領域探索範囲を定義した。探索には照明条件の変化への頑健性を持つ Haar-like 特徴量を用いた。また、両目領域を取得できなかった際には、画像を回転後、再探索を行った。以上の処理により、誤検出率 0.0%, 未検出率 6.4%の左右眼周辺領域検出手法を構築した。しかし、未検出サンプルのうち 81.3%が両目領域の定義に失敗していることから、両目領域検出精度の改善が課題として残った。

男女判別実験においては、検出領域から輝度値特徴量、Local Binary Pattern 特徴量、Gabor 特徴量について、次元削減を行わない場合と変数増減法により次元削減を行った場合の合計 6 種類の特徴表現を用いて男女判別を行った。判別器には非線形 Support Vector Machine を用いた。判別の結果、次元削減を行わない場合の Gabor 特徴量が最も精度が高く、正判別率 91.5%であった。男女別の正判別率は、女性が 88.2%, 男性が 94.9%

であった。変数増減法を適用した場合に、適用しない場合よりも低い判別精度が得られたことより、特徴空間のクラスタ構造を考慮した次元削減法を用いる必要性が示唆された。また、過剰適合の度合いを評価したところ、教師ありの手法である変数増減法を用いた場合の方が過剰適合の傾向を強く示した。このことより、教師なし、もしくは半教師ありの次元削減法を用いる必要性も示唆された。

以上より、両目領域の検出精度の改善、およびクラスタ構造を考慮して、かつ過剰適合のリスクの低い次元削減手法の適用により、より高い検出率・判別率を期待できるといえる。

参考文献

- [1] Jamie R. Lyle, et al.: Soft Biometric Classification Using Periocular Region Features, 2010 Fourth IEEE International Conference on Biometrics: Theory Applications and Systems, pp. 1-7, 2010
- [2] Jameson Merkow, et al.: An Exploration of Gender Identification Using Only the Periocular Region, 2010 Fourth IEEE International Conference on Biometrics: Theory Applications and Systems, pp. 1-5, 2010
- [3] Tanmay Rajpathak, et al.: Eye Detection Using Morphological and Color Image Processing, In Proceeding of Florida Conference on Recent Advances in Robotics, pp. 1-6, 2009
- [4] Castrillón Marco, et al.: ENCARA2: Real-time detection of multiple faces at different resolutions in video streams, Journal of Visual Communication and Image Representation, Vol. 18, No. 2, pp. 130-140, 2007
- [5] Fred Nicoll, et al.: The MUCT landmarked face database, Pattern Recognition Association of South Africa, No. 201.0, 2010
- [6] Yu Shiqi: Eye detection, Shiqi Yu's Homepage <http://yushiqi.cn/research/eyedetection> (2017 年 3 月 30 日 確認)
- [7] Paul Viola, Michael J. Jones: Robust real-time object detection, International Journal of Computer Vision, Vol. 4, pp. 34-47, 2001

著者紹介

神馬嵩大

2013 年 3 月慶應義塾大学理工学部物理情報工学科卒業。2015 年 3 月同大学大学院理工学研究科基礎理工学専攻修士課程修了。2015 年 4 月インフォコム株式会社

入社。現在に至る。在学中、画像解析による顔画像からの男女判別に関する研究に従事。

田中敏幸



1982 年、慶應義塾大学工学部計測工学科卒業。89 年、同大学大学院博士課程修了（工学博士）。同年同大理工学部助手。93 年同大専任講師。95、96 年ドイツ・アーヘン工科大学客員研究員。97 年同大物理情報工学科専任講師。2003 年助教授（2007 年より准教授）。2009 年より教授。現在に至る。医用画像処理、GPS とその応用、信号処理、非破壊検査などの研究に従事。計測自動制御学会、バイオフィリアリハビリテーション学会、パーソナルコンピュータ利用技術学会、国際 ICT 利用研究学会等の会員。

保健・医療分野における ICT 利活用の将来像

青木一雄¹

¹ 国立大学法人琉球大学大学院医学研究科衛生学・公衆衛生学講座

Vision of Future Application of Information and Communication Technology in Health and Medical Fields

Kazuo AOKI¹

¹ Department of Public Health and Hygiene, Graduate School of Medicine, University of the Ryukyus

要 旨 本稿では、保健および医療分野の ICT 利活用の将来像を厚生労働省、経済産業省、総務省等の資料をもとに概説し、今後の各工程の達成に向けての課題と問題点について言及し解決策を提示する。これらの保健・医療分野の ICT 利活用の課題に対する具体的な解決策については、分野横断的かつ学際的な視点からの連携と共同研究が不可欠である。先日（2017 年 4 月 14 日）、塩崎恭久厚生労働大臣から「データヘルス改革—ICT・AI 等を活用した健康・医療・介護のパラダイムシフトの実現—」と題した配布資料が発出され、その中で保健・医療分野への ICT 利活用の将来展望が述べられており、データヘルス改革の中で、ゲノム医療・AI 等の最先端技術やビッグデータの活用、ICT インフラの整備などを戦略的、一体的に展開する、と述べられている。この資料の中で取り上げられた 3 つの課題は、Ⅰ. 最先端技術の活用；がんゲノム医療の実現、保健・医療分野の AI の開発加速化、遠隔診療・介護ロボット、Ⅱ. ビッグデータの活用；ビッグデータを活用した保険者機能の強化、科学的介護の実現、Ⅲ. ICT インフラの整備；保健・医療分野のデータ活用基盤の構築であり、これら 3 課題について将来のより良い保健、医療の発展に向けての ICT 利活用について課題と解決策について論じることとする。時代は正に ICT 社会に突入しており、そのスピードはこれまで私たちが経験したことのないものであり、保健・医療の量（マンパワーや医療器材を含めた医療資源の地域格差など）と質（医療技術などの地域格差や施設間格差など）の諸課題を解決する鍵となるのが、行政、企業、医療施設などの組織内外の多種多様な障壁を乗り越えた ICT の利活用であることを明らかにした。

キーワード： 保健、医療、ICT（情報通信技術）、利活用、データヘルス

Abstract The purpose of this review is to introduce the vision regarding the future application of information and communication technology (ICT) in the fields of health and medicine, mainly focusing on the measures of the Japanese government. The proposed tasks and solutions are also discussed. This review particularly focused on features mentioned recently by Mr. Shiozaki, Minister of Health, Labor and Welfare, Data Health Reform – Implementation of Paradigm Shift in Health, Medical Care and Nursing Care Utilizing ICT and/or artificial intelligence (AI), and these are reviewed in the health and medical field. It is reported three major policies proposed were (a) Utilization of advanced technology; implementation of Cancer Genome Medicine, improvement in AI development in the health care field, remote medical care, and nursing robot, (b) Collection and analysis of large amounts of data; strengthening insurer's function using such data, realization of care based on scientific evidence, and (c) Improvement in ICT infrastructure based on the utilization of data in the field of health and medicine. Health reform based on research is mainly to implement the three major policies mentioned above, in the field of health and medicine. Additionally, the importance of promptly promoting these policies by overcoming political and bureaucratic barriers, as well as those in the business circles, medical facilities, and research institutes will be emphasized.

Keywords: Health, Medicine, ICT, Utilization and Application, Data Health

1. はじめに

保健・医療分野に限らず全産業、全業種に ICT の利活用は急速に拡大し、それぞれの分野における発展は、ICT の発展と言い換えても過言ではない。保健・医療分野においても、この数年 ICT の利活用は目を見張るものがあり、具体例を挙げれば枚挙に暇がない。本稿では、保健・医療分野における ICT 利活用の実態を踏まえた将来展望を提示し、それらの実現に向けての課題と解決策についても言及する。最近、厚生労働大臣の塩崎恭久氏の資料が厚生労働省の Web site に up され、その資料に簡潔にわが国のデータヘルス改革の中での保健・医療分野における ICT 利活用について述べられている。それらの資料を参照するとともに、一部引用し本分野における展望を論じ、同時に本分野への ICT 利活用の際の課題と解決策について論じることとする。

2. 対象と方法

厚生労働省、総務省、経済産業省、内閣府などの公的機関の Web ページ、PubMed、Medline、医中誌などの医学系のデータベースサイト、筆者の専門分野に関係する医学系学会の学術雑誌の Web site から、キーワードとして、「保健」、「医療」、「ICT」の 3 つをキーワードとし、さらに資料や論文の発行年月日を最近 1 年間に限定して検索を行い、資料の収集・検討を行った。その結果、本稿の「保健・医療分野における ICT 利活用の将来像」を論じるためには、塩崎恭久厚生労働大臣から発出された配布資料（資料 5、2017.4.14）「データヘルス改革－ICT・AI 等を活用した健康・医療・介護のパラダイムシフトの実現－」が、最も相応しい資料であると考え、この資料を中心に説明するとともに、この検索により抽出したいくつかの文献を参照し、保健・医療分野における ICT 利活用の発展のための課題と解決策について論じる。

3. 結果と考察（保健・医療分野における ICT の利活用～今後の課題と解決策～）

保健・医療分野における ICT 利活用についてのいくつかの省庁の取り組み事例について、紹介するとともに、併せて今後の課題と解決策について考察を加える。

3.1 保健・医療の ICT～厚生労働省の取り組み例～

本稿では、塩崎恭久厚生労働大臣から発出された配布資料 [1]「データヘルス改革－ICT・AI 等を活用した健康・医療・介護のパラダイムシフトの実現－」に厚生労働省のデータヘルス改革の全体像とその中で述べられている ICT 関連項目について厚生労働省が考えている将来の方向性が提示されている。ここでは、この資料を参考に保健・医療の ICT の将来展望を述べることにする。

●ICT を活用した「個々人に最適な健康管理・診療・ケア」を提供し、健康・医療・介護のビッグデータを連結した「保健医療データプラットフォーム」の 2020 年度本格稼働を実現することにより、国民が、世界最高水準の保健医療サービスを、効率的に受けられる環境を整備する、としている。

データヘルス改革の方向性として、ゲノム医療・AI 等の最先端技術やビッグデータの活用、ICT インフラの整備などを戦略的、一体的に展開することとなっており、大きく 3 課題を取り上げている。

(1) 最先端技術の活用； がんゲノム医療の実現、保健医療分野の AI の開発を加速化、遠隔診療・介護ロボットの応用

(2) ビッグデータの活用； ビッグデータを活用した保険者機能の強化、科学的介護の実現

(3) ICT インフラの整備； 保健医療分野のデータ利活用基盤の構築

上記の 3 課題を実現させるため、2017 年 1 月、厚生労働省内に「データヘルス改革推進本部（本部長：厚生労働大臣）」が設立された。また、より具体的な「改革工程表（抄）（2017.1.）」[2]が提示され、この中で、支払基金・国保中央会におけるビッグデータ活用推進計画、保健・医療データプラットフォーム構築、保険者機能の強化（国保データベースの活用拡大、被用者保険でのビッグデータの活用）の 3 点を取り上げ、2020 年度には、健康、医療、介護の ICT が本格稼働することになっている。

以下、上記 3 課題 (1)～(3) についてそれぞれ少し具体的に見てみることにする。

(1) 最先端技術の活用

1) 最先端がんゲノム医療の実現

●「がんに立ち向かう国民の命（いのち）を守るため、がんゲノム医療の計画的な推進を実施」（がんゲノム医療フォーラム 2016（2016.12.27 開催）における総理メッセージ[3]が表明された）●

一人ひとりに最適な最先端のがん治療を、医療保険で受けられるようにする。解析したゲノム情報や臨床情報を集約・管理・活用する体制を構築し、革新的な医薬品・治療法等の開発を推進する。

ここで現在のがん診療の実態と課題を考えてみよう。

① 現在、生涯でがん罹患する確率は、男性 63% (2 人に 1 人)、女性 47% (2 人に 1 人) となっている。また、1981 年以降、「がん」が死亡原因の第一位である状況が続いており、2016 年には、新たながん罹患患者数は約 100 万になると見込まれている。

② がんゲノム情報により分子標的薬の奏効率が大幅に上昇した。例えば、肺腺がんのうち、EGFR 遺伝子変異がある例では、変異検索なしでのゲフィチニブ (イレッサ®) を投与した場合の奏効率が 27.5%であったのに対し、EGFR 遺伝子変異検査を実施し、遺伝子変異ありの症例に投与した場合の奏効率は、76.4%であり、大幅に奏効率が上昇した。このように、あらかじめ遺伝子検査を施行し変異の有無を確認した上で投薬治療を行うことにより、よりエビデンスに基づいた効率のよい治療が可能になると思われる。すなわち、遺伝子変異の検査なしに肺腺がんの薬物治療を行うことにより、無効例にこのような薬を投与することを回避することが可能になる。

③この 10 年、ゲノム解析技術は急速な進歩を遂げた。一人の全ゲノム解析に必要な時間と費用は、2003 年には解析に要した時間は 13 年、費用は 30 億ドルであったが、2016 年には、解析に要する時間は、1 週間、また費用も約 1000 ドルになっている。

このようなゲノム解析の急激な進歩に伴い国民・患者のゲノム解析の保健・医療に活用する期待は高く、これまでに得られたゲノム医療の成果を国民・患者に還元することが求められている。このため、最先端ゲノム解析を保険導入し、それに基づく一人ひとりに最適な個別化治療を推進することが必要不可欠である。さらにこれらのデータの集積、分析により超早期の診断技術や革新的新薬の開発に繋げることが可能になると思われる。また、全国の医療機関等が参加した「がんゲノム医療推進コンソーシアム」を構築して、大学、企業、がんゲノム医療中核拠点 (医療機関より指定) などが、がん克服のため官民が協力して資本やイ

ンフラを整備して、ゲノム医療用データベース連結技術 (ゲノム情報や臨床情報などを集約・管理・活用するための技術) を担う「がんゲノム情報管理センター」 (仮称) も計画されており早期の実現に期待したい。

2) 保健医療人工知能 (AI) の開発加速化 (重点 6 領域)

●AI (ディープラーニング、機械学習等) によって、
(1) 新たな診断方法や治療方法を創出する (2) 全国どこでも最先端の医療を受けられる環境を整備する (3) 患者の治療等に専念できるように医療・介護従事者の負担軽減を実現する。 ●このため、次の両面から AI 開発を進めるべき重点 6 領域が選定された。 ①我が国における医療技術の強みの発揮 ②我が国の保健医療分野の課題の解決 (医療情報の増大、医師の偏在等) ●AI の開発を促進する基盤整備と AI の質や安全性を確保するためのルールを作成する。

表1 重点6領域とわが国の強みの発揮と課題解決の方向性

重点6領域	わが国の強みの発揮	わが国の保健医療分野の課題解決
画像診断支援	① ディープラーニング (ヒトの能力を超える画像認識能力の獲得と、機械ではこれまで成しえなかった運動機能の習熟などの高度な認知能力を実現する革新的技術) を活用する	
医薬品開発	①	
手術支援	①	②
ゲノム医療		②
診断・治療支援		②
介護・認知症		②

機械学習等 (機械学習、自然言語処理等による大量の情報から推定等を行う技術) を活用する

重点 6 領域(表 1)の選定は、わが国の強みを発揮する領域とわが国の保健医療分野の課題を解決することの両面をカバーするように考慮されたものである。

① わが国の強みは、画像診断等と AI を組み合わせ機器により世界をリードしており、例えば、平成 26 年度特許出願技術動向調査報告書[4]に見られるように内視鏡市場のシェアの上位企業 (2012 年) は、国内外を問わず、オリンパス、富士フイルム、HOYA の 3 社が入っており、この日本企業 3 社で、内視鏡の全シェアに占める割合は、国内では、72.5%、米国では、65.1%、欧州では、63.0%であっ

た。

② わが国の保健医療分野の課題（・医療情報の増大（ここ数年、医学系論文の公表数（PubMed で集計すると年間 100 万件を超えている）、・医師の偏在など）の解決のため、全国どこでも最先端の医療を受けられるようにするため、AI（機械学習等）を積極的に活用する必要がある。

これら重点 6 領域の選定を踏まえ、AI 開発を加速させることが喫緊の課題である。そのため、まず全国をカバーした保健医療人工知能の研究・開発に必要なビッグデータを整備することが必要であり、また AI 開発用のクラウド環境の整備も急務である。各施設、研究機関が過去に収集した情報も加え、データの更なる収集、蓄積により新たなデータを創出し、これらのデータを活用しなければならない。その際、AI の性能向上とさらなる AI の新規開発を進めるとともに、それらを用いたデータ分析に基づき臨床応用に繋げることにより、保健医療の質の向上が達成可能となる。そして、継続的にデータの収集、蓄積を行い、データを随時リニューアルし、適宜データの分析を行い、結果をフィードバックすることにより、データの保健医療分野への正の有効活用のサイクルが確立し、質の向上に寄与する。

ここで、医療における AI 活用事例として、カプセル型内視鏡[5,6]を紹介する。カプセル型内視鏡とは、カプセル型のカメラを口からの飲み込み食道、胃、十二指腸、空腸、回腸、結腸、直腸を撮影し、撮影後に病変を検出し、診断、治療に活用する技術である。カプセル型内視鏡 1 回の検査で、数千～数万枚の画像データが取得され、それらを網羅的に確認し診断することは、マンパワーの問題、時間、労力、コストの問題などがあり、医療機関で現実的に対応することが難しい。そこで、これらの検査で得られた大量の画像を AI 技術の活用により補助診断に活用し、病変をスクリーニングしようとするものである。また、上部消化管内視鏡検査[7,8,9]では、注意すべき画像（病変（疑い））や疾患の候補名を表示することも可能なシステムが実用化のための最終段階に来ており、このような内視鏡とシステムを活用することにより、正診率を高くすることが可能となり、医師（診断支援、検査時間の短縮）にとっても患者（被検査時間の短縮、適正な検査、医療を受けること）ととも、双方に利益をもたらすと思われる。

3) 遠隔診療・介護ロボットの導入

① 遠隔診療

遠隔診療を活用した「かかりつけ医」による効率的な医療の提供による格差の是正に繋がるものとして期待されている。

●離島や中山間地などの過疎地では、医療設備や医療資源が不足していることが指摘されているが、このような地域住民の方々に、最新で最良の医療技術やサービスを提供するためには、医療の質や生産性の向上を考慮した診療報酬上の評価を行っていくことが必要不可欠である。●例えば、遠隔診療を対面診療と適切に組み合わせて提供することが可能となれば、かかりつけ医による日常的な健康指導や疾病管理の飛躍的向上が期待でき、ひいては慢性疾患の重症化予防等に寄与すると思われる。

これらの遠隔診療には、この数年の種々画像（X 線、CT、MRI、病理などの画像）の解像度の向上やデータの転送速度の飛躍的な高速化が寄与しており、遠隔地における保健・医療の質の担保には、これらの ICT 技術の向上と発達が不可欠である。画質の向上による医師対医師における ICT 活用の例として、遠隔地の医師が X 線、CT、MRI、病理標本画像などを、放射線科や病理の専門医のいる施設に画像を送信し、受信した専門医が遠隔地の医師に診断や治療についての的確なアドバイスを遠隔地の医師に返すことが可能となった。また、医師対患者では、医療機関から離れた遠隔地に居住する心臓ペースメーカーを埋め込まれた患者をモニタリングするなど、より安全に患者をフォローすることが可能になった。今後ますます技術革新が進むことにより、保健・医療分野における多種多様なサービスが展開されると考えられており、厚生労働省も 2018（平成 30）年度の診療報酬において評価を行うことを検討している。例えば、オンライン診察を組み合わせた糖尿病等の生活習慣病患者の効果的な指導や管理を実施した場合、あるいは血圧、血糖などの遠隔モニタリングを活用した早期の重症化予防を実施した場合などに、診療報酬上のインセンティブを与えることが検討されている。これらを踏まえ、ICT を活用した保健・医療分野の新規のサービスに対しても、有効性、安全性の知見が得られれば、2020（平成 32）年度以降の改定においても診療報酬に反映される可能性がある。

② 介護ロボット：厚労省が現場とともに「受け身」から「攻め」の開発に転換している。

●利用者の生活の質の維持・向上と介護者の負担軽減を実現するため、現場主導の開発と普及を加速化させる必要がある。介護用ロボットの開発が進み、一部医療・介護施設では介護者がロボットスーツ[10,11]を着用して介護作業をすることにより、介護者の筋骨格系の負担軽減に寄与している。さらに広範に介護用ロボットの開発を推進することにより、介護の安全性と質の向上に貢献することが期待されている。

(2) ビッグデータの活用

1) ビッグデータを活用した保険者機能の強化

●医療保険者は、加入者の予防・健康づくりや重症化予防に取り組むべきであり、予防・健康づくりに向けた加入者の行動変容を促すための働きかけは、保険者の責務である。 ●インセンティブ制度（①健保・共済（加減算制度）②協会けんぽ（都道府県別保険料）③国保（保険者努力支援制度））の強化に伴い、「保健医療データプラットフォーム」の構築は不可欠である。また、①～③の各制度共通の評価指標に、特定健診等に加え、新たにがん検診・歯科検診の実施状況などが追加された。さらに、「日本健康会議[12]」等とも連携し、データヘルスを推進することも明記されている。これらの取り組みを通して、予防・健康づくり等に向けた加入者、経営者の意識改革、行動変容を推進するねらいがある。

保険者機能の強化のためには、ビッグデータを活用した医療保険者等のデータヘルスの支援が必要である。現在、日本では、国民皆保険制度のためすべての国民は、いずれかの医療保険に加入しているが、転職や退職などにより保険者が変更になることがある。そのような場合には、データの一元管理ができず、生涯を通しての健康管理や疾病管理が困難である。そのため、例え何らかの理由により保険者が変更となったとしても、データの一元管理ができ、保険者がこれらのビッグデータを活用したエビデンスを得ることができるように、個人情報保護に留意した保健医療データプラットフォームの確立が急務であり、一日も早いこれらのプラットフォームの運用を期待したい。また、保険者機能の強化の一環として、保険者の取り組みや加入者の健康状態等をスコアリングすることも計画されている。保険者が高い喫煙率や

高いメタボ罹患率の事業所や組織を把握し、そのような事業所や組織に積極的に健康管理や健康づくりを実施した保険者とそのような取り組みをしなかった保険者を比較、検討するためのスコアリングを行うことも計画されている。

2) 科学的介護の実現～自立支援・重症化予防に向けて～

●科学的に自立支援等の効果が裏付けられた介護を実現するため、科学的分析に資するデータを新たに収集し、世界に例のないデータベースをゼロから構築する。 ●データベースを分析し、科学的に自立支援等の効果が裏付けられたサービスを国民に開示する。 ●2018（平成30）年度介護報酬改定から、自立支援に向けたインセンティブを検討する。

これらを少し具体的に説明しよう。

基本的事項として、高齢者や介護を受ける個人に関するデータの取得、収集が必要である。高齢者の状態把握は、従来の取得データとして、要介護認定情報、日常生活動作（ADL）、認知機能、新たに取得するデータとして、身長・体重、血液検査、筋力・関節可動域、骨密度、開眼片脚起立時間、握力計測、心機能検査、肺機能検査、などがある。これらのデータを診療・介護記録、リハビリデータ、要介護認定情報（介護DB）を統合した保健医療データプラットフォームに集積、蓄積、分析することにより、科学的介護実現のためのエビデンスを得ることが可能となる。なお、これらのデータプラットフォームに、従来取得していたデータである介護サービスの種別に加え、新たに医療、リハビリテーション、介護の具体的なサービス内容などを追加・統合し、診療・介護記録、リハビリデータ、要介護認定情報等と併せて、分析を行い、科学的に良質なエビデンスを得なければならない。

(3) ICT インフラの整備（参考資料；保健医療分野のデータ利活用基盤の詳細；第2回 未来投資会議（2016年11月10日）[13]）

実効的施策を支える「データ利活用基盤」整備の概観—3つの分散・独立した問題を解決する2つの大規模ネットワークと6つのサービス—を提唱している。

●健康・医療・介護のデータを有機的に連結させたICTインフラを整備[1]（図1）する。①国民・患者にとって、最適な健康管理・診療・ケ

アを提供するとともに、データや技術が生み出す成果を国民・患者に還元する。② 医療・介護関係者が、健康・医療・介護の情報を共有し、診療・サービスの効率化・生産性の向上に努める。③ 研究者・民間・保険者が、個人のヒストリーとしての健康・医療・介護のビッグデータを分析することを可能にする。これら 3 つの分散・独立した問題を解決するた

め、2 つの大規模ネットワークである全国医療情報ネットワークと保健医療データプラットフォームを整備[1]し、図 1 のような 6 つのサービスを展開することにより、飛躍的に保健、医療、介護のサービスと運用面の効率化と質の担保、そして、地域間および地域内の種々格差を是正することを期待したい。



図1 「データ利活用基盤」整備の概要—3つの分散・独立した問題を解決するための2つの大規模ネットワークと6つのサービス—「保健医療分野のデータ利活用基盤の詳細」;第2回 未来投資会議(2016年11月10日)[13]を参考に、筆者が一部加筆・修正し作図した。

3.2 保健・医療のICT～総務省の取り組み例～

未来投資会議構造改革徹底推進会合「医療・介護—生活者の暮らしを豊かに」会合(2017.3.9)(第6回)の資料3の「総務省における医療ICT利活用基盤の構築等について」[14]によると、「個人を中心とした医療・健康等データ流通環境の構築」と「医療機関等が保有するデータ利活用の取組」が取り上げられており、それぞれ概要は、以下のようなものである。

(1) 個人を中心とした医療・健康等データ流通環境の構築

総務省では、健康寿命の延伸、医療費の適正化、医療分野の新産業・新たなサービスの創出に向け、ICTによる医療・介護等分野での関係機関のネットワーク化およびデータの利活用を推進する

ことになっている[14](図2)。

具体的には、次の3点である。①医療や介護等の地域包括ケアの現場でのネットワーク化を進める。②個人を中心としたデータ流通環境を実現するため、個人の医療・健康等データ(PHR: Personal Health Record)の活用基盤を構築し、個人のライフステージや生活状況に合わせた医療・健康等データの活用を推進する。③先進的ICT(8K, AI, IoT等)利活用の検証・エビデンスの蓄積と、現場で活用可能なモデルの構築を推進する。

これらの実現により、空間的にも時間的にも分散している母子手帳、学校健診、健康管理、かかりつけ連携手帳、お薬手帳、介護予防などのPHR(個人健康記録)が、医療機関や介護施設での診療記録

などの EHR (生涯健康医療電子記録)と相互に接続・連携を図ることにより、より質の高いデータになり、同時に個人データの集積 (ビッグデータ)・分析を実施することにより効率的な保健医療福祉へのフィードバックが可能となる。しかし、これらの実施に当たっては、保健医療に係る個人情報に非常な機微な情報であることを十分認識

し、個人情報の保護やセキュリティに関しては細心の注意を払い運用する必要がある。これらの個人情報の保護やセキュリティを十分担保した上、本分野での個人番号カードの利用が促進され、安全で安心してネットワークが利用可能になることを期待したい。

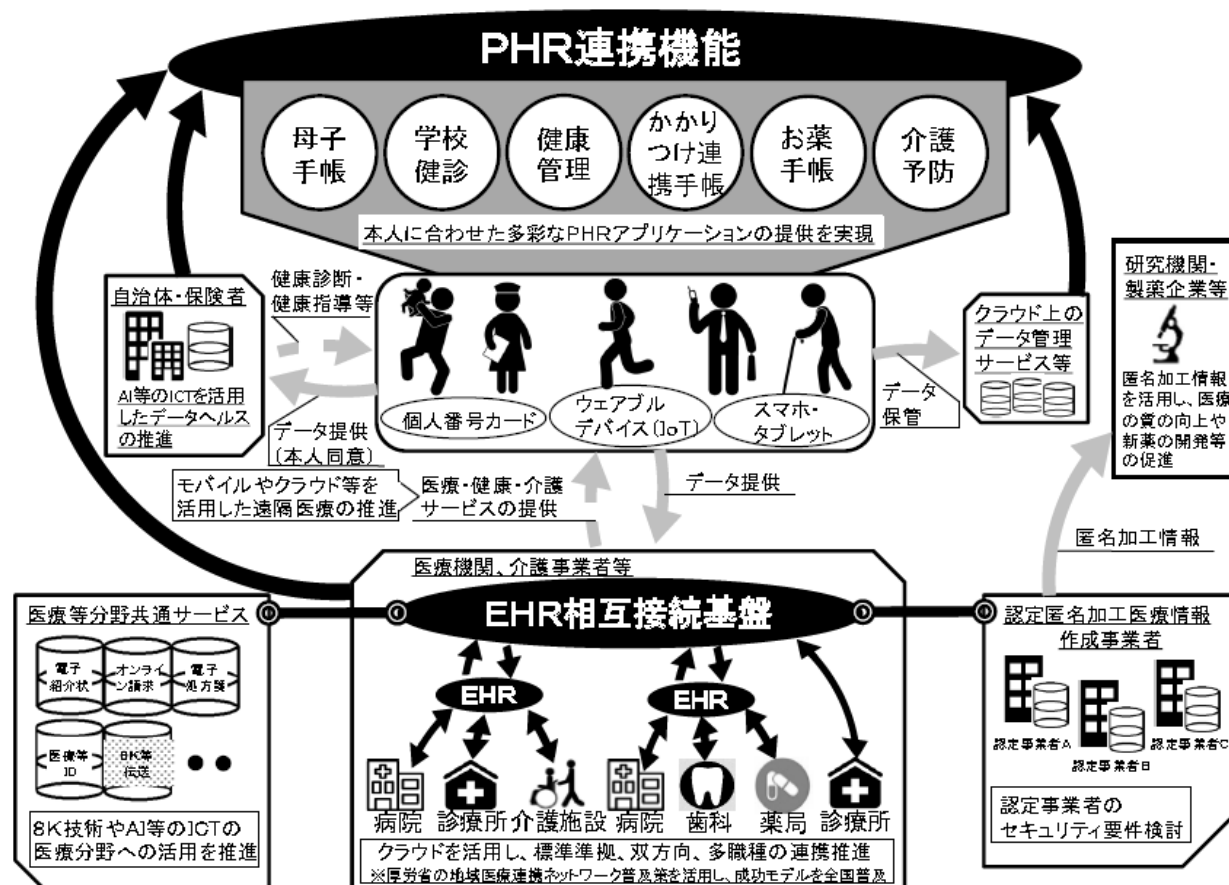


図2 「ICTによる医療・介護等分野での関係機関のネットワーク化およびデータの利活用」；未来投資会議構造改革徹底推進会合「医療・介護—生活者の暮らしを豊かに」会合（2017.3.9）（第6回）の資料3[14]を参考に、筆者が一部加筆・修正して作図した。

(2) 医療機関等が保有するデータの利活用のための取り組み

- 医療機関や介護施設に存在するデータは、個別の施設内や施設間で利用するために収集されたものが多く、他の施設での共有・活用を可能にするためにはネットワーク化およびデータの標準化の取り組みが不可欠である。
- このため、標準準拠かつ双方向のクラウド型EHRの構築を推進（H28補正予算20億円（補助事業）：H29年3月7日に16団体を採択候補に

決定、H30年3月末まで事業を実施）するとともに、今後のEHR間の広域連携に向け、相互接続のあり方（セキュリティ確保のための対策や、データ共有のための運用ルールなど）について、厚生労働省と協力して、実証を行うことになっている（H28補正予算8億円（実証事業）：H29年3月中旬に事業者決定予定、H30年3月末まで事業を実施する）。

3.3 次世代デジタル医療システム開発～経済産業省の取り組み～

次世代デジタル医療システム開発について、次世代医療 ICT 基盤協議会「次世代デジタル医療システム開発ワーキンググループ」の中間とりまとめ(2016 年 3 月)資料[15]を参照、引用し概説する。

このワーキンググループの設立された背景には、少子高齢化や人口減少が加速する中、医療分野における ICT 化の推進が必要なこと、デジタルデータの利活用を促進することにより、世界最先端の医療の実現による医療の質・安全性の向上をはかること、均一化、効果的・効率的な治療の実現による医療費の適正化を図ること、IoT、ビッグデータ、人工知能等による変革に的確に対応すること、などがあった。このような状況下で、経済産業省では、「日本再興戦略」改訂2015 [16] (平成27年6月30日閣議決定)に基づき産業構造審議会に「新産業構造部会」を設置し、官民が共有できるビジョンを策定することになった。このため内閣官房の健康・医療戦略推進本部に「次世代医療 ICT 基盤協議会」が平成27年4月に設置され、医療 ICT 基盤の構築、次世代医療 ICT 化の推進について検討を開始し、次世代デジタル医療システム開発ワーキンググループが上記協議会のもとに設けられ、診断・治療現場における次世代診療システムによる医療情報の高度な統合・活用のあり方を検討することになった。

(1) 次世代デジタル医療システムの現状と課題

病院内の医療情報は、主として3種類からなっている。① 基本情報 (医療機関名、患者情報等) ② 診療報酬請求に必要となる診療行為の記録情報 (疾病名、投薬、治療実施内容等のインプットデータ) ③ 診療行為の結果得られる情報 (X線画像、血圧、脈拍等のアウトカムデータ) に区分される。

このうち、①及び②については、電子カルテシステムが大規模病院 (400 床以上) の約6割に普及し、業界標準規格 (HL7, SS-MIX 等) の整備が進んでおり、他のシステムとのネットワーク接続、データ共有も進みつつある。また、③のうち検査・診断部門については、X線、CT、MRI等の検査・診断機器を中心として、工程や結果の管理、検査データの表示、通信、画像処理等を担う規格 (DICOM) が整備され、画像管理システム (PACS) 等が大規模病院の約8割に普及している。しかし、③の治療部門 (治療室) については、手術の映像を記録・配信するシステムが一部で実用化されているものの、それらの多くは研究目的で利用されており、

病院内の他のシステムとの連携は一部にとどまっている。一方、③の治療部門に設置されている個々の医療機器 (内視鏡麻酔装置、患者監視装置等) のデジタル化は進んでおり、国においても、高精度な放射線治療システム、スマート治療室等、ICT を活用した医療機器の研究開発を推進している。

このワーキンググループの検討範囲は、医療機関内における全体プロセスのうち、治療室及び重症系病棟であり、研究開発の方向性の検討対象は、医療機器のほか、システム・ソフトウェアが対象である。主要な検討項目は、治療室から得られる情報を対象として、病院内において求められている情報ニーズを調査し、新たな次世代デジタル治療機器の在り方について検討し、併せて当該治療機器の実用化を図るため、市場動向、標準化、情報セキュリティといった技術面、普及面の課題の検討することであり、① 治療室のICTの活用の今後の方向性、② 治療室から発生する情報の取得及び利活用の在り方、③ 新たな仕組みの在り方、技術開発要素、④ ③を実現するに当たっての課題 (市場動向、情報セキュリティ、標準化その他 の社会的、技術的課題) が具体的に検討されている。

(2) 次世代デジタル治療システムにおける研究開発コンセプト

1) 次世代デジタル治療システムのコンセプトの最適化

次世代デジタル診療システムに係るコンセプト[15]を図3に示す。医師が患者の状態を正確に把握し、判断・診断を行い、それに対応した処置を行うという医療行為の流れに基づき、「患者状態の正確な把握 (目) と「意思決定 (脳) その結果である「治療行為 (手)」という視点で研究開発のニーズ・シーズを分類・整理して検討する。また、デジタル化の検討では、医師が最も快適な状態で手術できることが、治療の質を向上させるという視点から、「周辺環境」も付け加えられた。次世代デジタル治療システムの構成要素を、「目」(患者状態の把握)、「脳」(判断・意思決定)、「手」(施術・実行)、「周辺環境」として整理した (図3と表2; [15]の図、表を一部修正し、筆者が作成した)。

なお、図3は、従来はクローズな環境である手術室

内の各種情報が、手術室外で共有されることにより、術中のみならず、予後データを含めた分析が可能

となり、治療の質の向上につながることを期待できる。

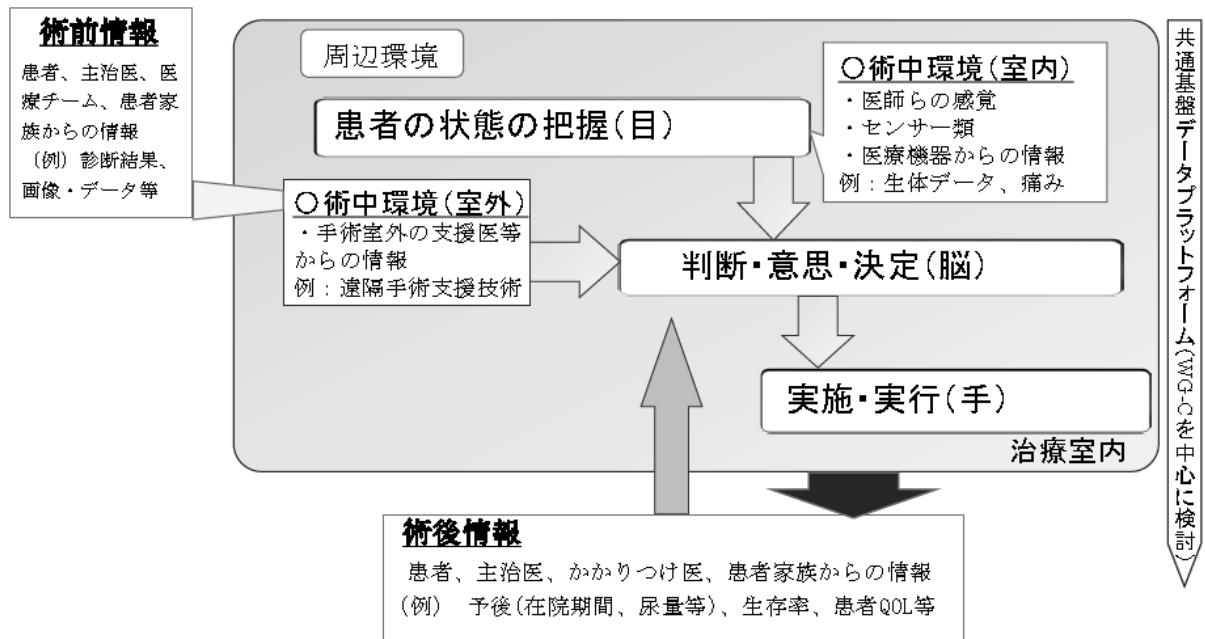


図3 治療室内における次世代デジタル治療システムのコンセプト (イメージ図)

表2 手術室の目、脳、手、周辺環境の次世代デジタルシステムの内容

術中の患者状態の正確な把握(目)	医師が、視覚・触覚・嗅覚等を用いて患者状態を即時に、正確かつ詳細に把握するためのノウハウを医療機器によって可視化(見える化)する。
判断・意思決定(脳)	医師が行っている術中判断について、ICT 基盤やソフトウェアの活用により、正確化、高スピード化するといった支援を行うこと。
施術・実行(手)	医師の手技について、ロボット等の機器を用いて高精度化、低侵襲化するといった支援を行うこと。
周辺環境	ICT 基盤やIoT の医療機器等を用いて、医師を筆頭とした手術チームが最適な環境で施術を行うための支援を行うこと。

このような次世代デジタル治療システムの実現により、術中のリアルタイムでの患者状態の正確な把握が可能となり、手術(治療)の質が向上する。さらに、術中の周辺環境の最適化をICT化された治療室で実現することにより、手術に関わる医療従事者の負担軽減になり、医療ミス

の減少やより良い手術(治療)成績、すなわち質の向上につながり、ひいては患者のQOLの向上につながる。これら一連のプロセスは、最終的に患者や家族に利益をもたらすことになる。

2) 次世代デジタル治療システムの実現・普及に

向けた課題

次世代デジタル治療システムの実現・普及に向けた課題は、①システムのセキュリティー、②国際標準化、③システム導入の際のコストと効果を含めた医療機関による経営判断、などである。

① システムのセキュリティー(次世代デジタル治療システムとセキュリティー)

これまでは医療機器ごとに単体でICT化が進められてきており、一つの医療機関であっても部門毎のニーズに基づき導入されてきたこともあり、セキュリティー対策は十分ではなかった。次世代デジタル治療システムは、複数の医療機器を連携、

統合することにその価値と新規性があり,各部門と手術室といった院内の連携に留まらず,遠隔医療やテレメンタリングなど,院外ともネットワーク化されることが想定されている。このことは内部からの情報漏洩のみならず,外部からのネットを介した攻撃リスクに晒されることと表裏一体であり,あらかじめ十分なセキュリティー対策を講じておく必要がある。

セキュリティーに配慮した次世代デジタル治療システムの実現に向けての検討事項は多数あり,インシデントの発生を視野に入れたセキュリティー思想の教育,セキュリティー上の脅威とインシデント発生時の患者への影響を視野に入れた医療機器のセキュリティーレベルからみたクラス分け(リスクの分類),ユースケースの積み重ねによるクラス別でのリスクの全体像と脆弱性のポイントを整理し,把握する,脆弱性のポイントごとの対応の方向性(医療機関・医療従事者,メーカー,ベンダー,行政,保険者,被保険者など)をあらかじめ決めておく,既存機器の(更新を含めた)セキュリティー対策の実施ロードマップを作成する,セキュリティー確保に対する最低水準の遵守,本人認証等のセキュリティー技術の開発,セキュリティーの確立・維持に向けた開発,運用に係るコスト負担およびインセンティブの考え方,セキュリティー・マネジメント人材の確保・育成,セキュリティーに対する認証制度の設立,インシデント発生時の責任の所在と補償のあり方,などを早急に検討する必要がある。

② 国際標準化

次世代デジタル治療システムを,海外の治療システムと競合して事業展開を図っていくためには,国際標準化を念頭に研究,開発を推進する必要がある。特に,手術室については,一般的な医療情報以上に標準化が進んでおらず,システムとして安全性を維持するための「技術的な標準」とデータの交換規約などの「データ標準」を検討する必要がある。

標準化については,厚生労働省の保健医療情報標準化会議,医療情報標準化推進協議会のもと,医薬品,標準病名,医用画像などの厚生労働省標準規格が検討され,さらに臨床検査データ交換,DICOM規格について標準規格化が検討されている。しかし,データの交換規約については,臨床検査など一部では進展が見られるものの,規約があっても実装

例が少ないなど,全体として標準化は進んでいるとは言えない。現在では,電子カルテシステムを出発点として,部門システムや医療機器の仕様を統合していく傾向がみられるものの電子カルテシステム自体の標準化が十分ではない。異なった仕様によって得られたデータを変換して接続する負担は,医療機関に転嫁されており,医療機関にかかるコスト,時間,人的負担は重い。さらに,例えば HL7 や SS-MIX のように標準化を実装したとしても,システムとして運用した際に,データ標準が担保されるかどうか不明である。なお,標準化に向けた取り組みは,東京女子医科大学等で進められている OPeLiNK の他,欧米でも具体的事例が散見される[17,18,19,20]。

標準化は緒についたばかりであるが,標準化の必要性は論をまたない。データの交換や蓄積を行うことにより,院内はもとより院外とのデータの利活用を円滑に進めるためには,データ項目や形式が,統一化・標準化されていることが望ましい。特に国際標準には,自国が競争優位性を確立するために戦略的に適用する側面があるが,わが国が他国に先駆けて開発を行って技術分野について,必要要件として設定することを考慮する必要がある。

一方,標準化が進まない背景としては,メーカーが顧客である医療機関の要望に応じて既存システムへのネットワーク接続を実現することを優先してきた結果,国際標準への対応を図る余力がなかったという側面も否めない。さらに,医療機関や医師にとって,標準化に対応された機器やシステムを利用するインセンティブもなく,標準化によるメリットを感じるができないことも影響していると思われる。

標準化に係る課題の解決に向けて,現在の医療分野向けの規約をベースとして,上層に部門独自の規約を載せる形を考慮し,標準化によって受けるメリット及び負担,標準化を進める領域と自由競争を行う領域を明確化するなど,標準化の必要性(目的)を整理することが必要である。また,規格の国際提案に当たっては,データプラットフォームにデータをインプットする際の標準化にこだわらず,まずはデータの拠出を受けた上で,アウトプットにあたって標準化を行う技術開発を視野に入れておくことが必要である。

① 医療機関による次世代治療システム導入の

経営判断 (導入の費用対効果)

次世代デジタル治療システム普及のためには、実際に導入することになる医療機関による経営判断も重要な要素である。「機器導入により事故が防がれば経営に資する」のは間違いないが、診療報酬で担保されていない状況での導入、実施はコストの点で現実的には困難である。医療機関では、「従来専門医の判断を必要としたことを非専門医でも判断可能となる」、「手術に必要な人数を減らすことができる」、といった明らかなメリットがないと導入は難しいかもしれない。一方、研究開発にあたって考慮すべきポイントとしては、導入による経営上のメリットの明確化、導入にあたってのインセンティブ付与などが挙げられる。

今後、早急に検討を行う事項は、●研究開発コンセプトのさらなる練成 (目・脳・手の粒度をそろえる)、●治療室外との情報連携に係ること (①治療室外、病院外の情報との連携 (空間的視点からの情報連携)、②予後情報の評価、活用) に資するための情報収集 (時間的視点からの情報連携)) ●利用目的 (1 次/2 次利用) とデータプラットフォームの要件、●医療機関、医療従事者の育成 (評価) への活用のあり方、●医療機関でのセキュリティに関する教育の必要性、責任の所在、保障のあり方、●ガラパゴス化の防止と国際競争力の強化、などである。

3.4 わが国の保健・医療の ICT 利活用のための課題と解決策

わが国の保健・医療の ICT 利活用については、「データヘルス改革」でその方向性は明示されており、(1) 最先端技術の活用 (がんゲノム医療の実現、保健医療分野の AI の開発を加速化、遠隔診療・介護ロボットの応用)、(2) ビッグデータの活用 (ビッグデータを活用した保険者機能の強化、科学的介護の実現)、(3) ICT インフラの整備 (保健医療分野のデータ利活用基盤の構築) 3 つの課題を実現させるため、2017 年 1 月、厚生労働省内に「データヘルス改革推進本部」を立ち上げ、「改革工程表 (2017.1.)」に沿って、具体化に向け、加速させることになっている。具体的な改革工程表も提示されて、それらが工程表のように進むことを期待しているが、本工程表の実現には、多くの省庁や保健・医療施設、研究機関、さらには業種の垣根を乗り越えた多業種・他職種との緊密な連携と協

力が不可欠である。健康や医療にかかわる問題は国民の生命に直結する重要問題のひとつであり、行政や医療関係者のみならず国民一人ひとりが健康と医療の標準化、医療の最適化について考え、政官業と保健・医療施設や研究機関、そしてすべての国民が一体となり連携・協力することが、保健・医療分野への ICT 利活用を効率的に推進するための鍵になるのではないと思われる。

その先駆的取り組みのひとつである「スマート治療室」を紹介する。国立研究開発法人日本医療研究開発機構 (AMED)、学校法人東京女子医科大学、国立大学法人広島大学は、AMED の Web site で、2016 年 6 月 16 日のプレスリリース「スマート治療室」[21]を公開している。それによると、現在、手術等の現場では多種多様な医療機器から発生する膨大な情報を医師やスタッフが限られた時間内に判断し治療を行っているが、国立研究開発法人日本医療研究開発機構 (AMED、理事長 末松 誠) は、こうした治療の現場において IoT を活用し各種医療機器を連携・接続させることで、手術の進行や患者さんの状態などの情報を瞬時に整理・統合し、医師やスタッフ間で共有できる「スマート治療室」[21,22]の開発を世界に先駆けて進めている。開発は、東京女子医科大学先端生命医科学研究所の村垣善浩教授を中心に、広島大学・信州大学・東北大学・鳥取大学の 5 大学、(株)デンソー・ミズホ (株)・(株)日立製作所・東芝メディカルシステムズ (株)・パイオニア (株)・日本光電工業 (株)・エア・ウォーター (株)・(株)セントラルユニ・他 13 社が参加して、医療機器の連携・接続の実証を進めている。スマート治療室は医療機器の設定ミスによる医療トラブルの防止、術中診断情報や現場外からの助言等による手術の精度・安全性の向上を可能とし、治療を受ける患者さんの QOL 向上に貢献することになるとと思われる。

このたび、スマート治療室の「基本仕様モデル」が広島大学病院に完成し、実際の患者への適用についての検証を開始し、同時に、東京女子医科大学に完成した「最終目標モデル (プロトタイプ)」で各種医療機器の連携・接続の実証を進めていくことになっている。治療現場で使用される様々な医療機器は、患者の状態をリアルタイムでモニタリングするもの (呼吸、心拍、体温等)、患部の状態を診断するもの (顕微鏡、MRI、超音波診断等)、治

療を行うもの（電気メス等）、さらには手術者の動作等を補助・支援するもの（治療器具の手渡し、手ぶれの補助等）など、機器毎に様々な種類の情報を収集・提供（表示）している。

このような多種多様な情報が、治療現場外のサポートスタッフ（医師・技師等）に共有されることにより治療の精度や安全性が高まることが期待されている。さらに、ビッグデータとしての「時系列の治療記録」として管理することにより高度な解析も可能となる。また、保守・管理の面でも、単純な操作ミスの防止やコスト管理（稼働時間の短縮、電気使用の低減）に大きなメリットをもたらすと思われる。

実際に使用される医療機器は製造者が異なるとそれぞれに仕様も異なり、それらを連携させることは困難である（仕様が異なるとデータの統合・連携が難しい）。一方、治療現場よりもはるかに多数かつ多様な作業機器が存在する工場の現場においては、それらを統合的に制御・管理するためにミドルウェア（ソフトウェア）を有効に活用している。この「スマート治療室」プロジェクトは、こうした産業用のミドルウェアを医療機器の連携・接続に活用することを目指し、治療に及ぼす影響（安全性）を十分に考慮しながら、医療機器に適用される各種の規制への対応の必要性についても検討を進めている。なお、両大学に設置した治療室モデルは、「機器」「ミドルウェア（ソフトウェア）」「治療」を連動させて開発を進めるためのプラットフォームとなるものである。

3.5 保健・医療情報の利活用のための個人情報保護と研究倫理

前項で述べたスマート治療室を含め、種々実証実験や治験を開始するためには、被験者になる方々の人権や意思を最大限尊重し実施されなければならない、保健・医療に大きく貢献する研究であってもこれらのプロジェクトを遂行する際には、実施者に高い倫理観が求められる。ICT を活用した保健・医療分野に実証実験や治験を実施するためには、近年改正された個人情報保護法と人を対象とする医学系研究に関する倫理指針を遵守することが求められている。

個人情報保護に対する国民の関心は高く、特に保健・医療情報という非常に機微な情報の取

り扱いには、十分な配慮と注意が必要である。本項では、個人情報保護法等の改正に伴う研究倫理指針について言及し、前項までに論じてきた保健・医療情報の取り扱いやビッグデータ解析に向けての留意点にも考察を加えたい。

まず、ここ数年の3省の研究倫理指針[23,24]（【平成26年文科省・厚労省】○人を対象とする医学系研究に関する倫理指針）、【平成25年文科省・厚労省・経産省】○ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針、【平成22年文科省・厚労省】○ヒト受精胚の作成を行う生殖補助医療研究に関する倫理指針、）が見直され、個人情報の定義の明確化、パーソナルデータの利活用ができる環境の整備等が図られたことに伴い、医学研究における個人情報の適切な取扱いを確保するため、必要な指針の見直しが行われた。指針見直しのポイント[24]は、次の3つである。

1. 用語の定義の見直し；個人情報保護法等で新たな定義（個人情報符号（ゲノムデータ等）、要配慮個人情報等（病歴等を含む個人情報））が追加されたことに伴い見直しされた。

2. インフォームド・コンセント等の手続きについて、個人情報保護法等で個人情報の取り扱いが一部簡略化（要配慮個人情報の取り扱いには原則同意が必要等）されたことに伴い、インフォームド・コンセント等の手続きの見直し；医学系研究に用いる情報の多くは「要配慮個人情報」に該当するため、指針改正後は研究対象者から同意が必要になることで、診療記録等を研究に用いることができなくなるのではないかと懸念が上がっていたが、個人情報保護法第76条の義務規定の適用除外(注1)や各法律の例外規定に該当する場合に、オプトアウト等による取得・利用・提供を可能とした（国立大学は「専ら学術研究」等の例外規定を利用可能）。

(注1) 個人情報保護法第76条は、これまで私立大学、学会等が適用除外であるとされていたが、「1つの主体とみなすことができる共同研究を行う機関・団体」も該当することになった。これらの大学や組織が適用除外に該当するか否かは、個別具体的な判断となるものの、指針に定める一定の手続きを経て実施される研究活動は、実質や外形が1つの機関としてみなし得る場合が多く、そのような場合は、個人情報保護法第76条の適用除外に該当し得ると考えられている。

3. 個人情報保護法等で匿名加工情報の規定；個人情報保護法等で匿名加工情報（特定の個人を識別することができないよう個人情報を加工し、復元できないようにしたもの）が規定されたことに伴う取扱い規定が整備された（行個法、独個法では、「非識別加工情報」と呼ぶ）。

個人情報保護法等と指針との関係であるが、研究主体ごとに適用される法律が異なるが、複数施設間での共同研究等において試料・情報のやり取りに支障が出ることがないように、各法律の趣旨を包含した統一的なルールが作成された。

今後、これらの個人情報保護や研究倫理指針に則り、医療機関（病院、診療所など）、研究機関（大学、国公私立の研究機関など）、島嶼地域を含め北は北海道から南は九州・沖縄まで、そして経時的に良質なデータ（ビッグデータ）を蓄積・分析することにより、日本発の非常に質の高い保健・医療・介護に関する科学的エビデンスを得ることが可能になるであろう。

上述したように医学系研究に用いる情報の多くは「要配慮個人情報」に該当するため、指針改正後は、研究遂行のためには研究対象者から同意を得ることが必要であり、診療記録等を研究に用いることができなくなるのではないかと懸念が生じていた。しかし、個人情報保護法第76条の義務規定の適用除外や各法律の例外規定に該当する場合には、オプトアウト等による取得・利用・提供を可能としたため、特段の研究疎外要因にはならないと思われる（国立大学は「専ら学術研究」等の例外規定を利用可能）。

4. まとめ

厚生労働大臣の資料「データヘルス改革—ICT・AI等を活用した健康・医療・介護のパラダイムシフトの実現—」には、保健・医療分野への ICT 利活用の将来展望が示されているが、それらはデータヘルス改革の中で、

(1) ゲノム医療・AI等の最先端技術、(2) ビッグデータの活用、(3) ICT インフラの整備などを戦略的に一体的に展開する、とされている。これら3つの主要課題である、(1) 最先端技術の活用；がんゲノム医療の実現、保健医療分野のAIの開発加速化、遠隔診療・介護ロボット、(2) ビッグデータの活用；ビッグデータを活用した保険者機能の強化、科学的介護の実現、(3) ICT インフラの整備；保健医療分野のデータ利活用基盤の構築について概説し考察を加えるとともに、将来のより良

い保健・医療・介護の発展のためのICT利活用について課題と解決策について論じた。時代はこの10年でスマホの普及率を見てもわかるようにICTが社会の中心的役割を果たし、今後もその勢いはとどまることがないように思われる。私たちがこれまで経験したことのないスピードで、ICT 機器の開発、普及、発展が成し遂げられてきており、保健・医療・介護の量（マンパワーや医療器材を含めた医療資源の地域格差など）と質（医療技術などの地域格差や施設間格差など）の諸課題を同時に解決する鍵となるのが、行政、企業、医療施設などの組織内外の多種多様な障壁を乗り越え、私たち一人ひとりと双方向性のデータ通信を可能とするICTの利活用であることが改めて明らかになったと言えるのではないだろうか。

謝辞

本稿の執筆機会を与えていただき、難航する執筆プロセスに辛抱強くお付き合いいただきました、国際 ICT 利用研究学会会長の山下倫範先生に深甚なる謝意を表する。

参考文献

- [1] 塩崎恭久厚生労働大臣：「データヘルス改革—ICT・AI等を活用した健康・医療・介護のパラダイムシフトの実現—」（資料5, 2017.4.14）
- [2] 厚生労働省：第1回データヘルス改革推進本部資料2「医療介護分野の工程表」（2017.1.12）
- [3] 安倍晋三内閣総理大臣：「がんゲノム医療フォーラム 2016」でのメッセージ（2016.12.27 国立研究開発法人国立がん研究センター「国際交流会館」にて開催）
- [4] 特許庁：平成26年度特許出願技術動向調査報告書（概要）内視鏡、平成27年3月。
- [5] 丸山 智愛：カプセル内視鏡の歴史と将来（ここまできている最新内視鏡事情）—（内視鏡の進歩が示す臨床での有用性）月刊新医療 44(3), 120-122, 2017-03.
- [6] 加藤元嗣：従来の胃内視鏡と比較した胃病変検出における磁気制御カプセル内視鏡の精度。日本消化器内視鏡学会雑誌 59(1), 123-123, 2017.
- [7] 田尻久雄：これからの内視鏡医療-内視鏡はここまで進化しているのか。学士會会報. 2016; 917; 63-72.
- [8] 多田智裕：Vol.270 瞬時に内視鏡組織診断を

- 下す人工知能の衝撃 〜いつでもどこでも専門医の診断が受けられる日常への大きな一歩〜. MRIC by 医療ガバナンス学会 発行 <http://medg.jp>, 2016 年 12 月 7 日.
- [9] Misawa M, Kudo SE, Mori Y et al.: Characterization of Colorectal Lesions Using a Computer-Aided Diagnostic System for Narrow-Band Imaging Endocytoscopy. *Gastroenterology* 2016; 150:1531-1532.
- [10] 佐藤帆紘, 川畑共良, 田中文英, 山海嘉之: ロボットスーツ HAL による移乗介助動作の支援. 日本機械学会論文集 2010; C 編 76(762): 227-235.
- [11] Asai T, Ojima I, Minami S, Takeshima Y, Matsuo M.: Gait Training for Becker's Muscular Dystrophy Using Robot Suit Hybrid Assistive Limb. *Phys Med Rehabil Int.* 2014; 1(3): 4.
- [12] 日本健康会議: 「日本健康会議 2016」開催. <http://kenkokaigi.jp/movie/160725/160725-09.html>, 2016.7.25.
- [13] 首相官邸: 優先的に取り組むべきアジェンダについて. 第 2 回未来投資会議 (配布資料 1), 2016.11.10.
- [14] 総務省: 未来投資会議 構造改革徹底推進会合「医療・介護—生活者の暮らしを豊かに」会合 (第 6 回) (資料 3), 2017.3.9.
- [15] 次世代医療 ICT 基盤協議会 次世代デジタル医療システム開発ワーキンググループ: 次世代医療 ICT 基盤協議会 次世代デジタル医療システム開発ワーキンググループ 中間とりまとめ. 2016.3.
- [16] 首相官邸: 「日本再興戦略」改訂 2015—未来への投資・生産性革命—
—<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/pdf/dai1jp.pdf>, 2015.6.30.
- [17] Kimura E, Ishihara K: Virtual file system on NoSQL for processing high volumes of HL7 messages. *Stud Health Technol Inform.* 2015; 210: 687-691.
- [18] Kimura M, Nakayasu K, Ohshima Y. et al.: SS-MIX: a ministry project to promote standardized healthcare information exchange. *Methods Inf Med.* 2011; 50(2):131-139.
- [19] 岡本淳: 未来の CAS を支える基盤技術研究システムインテグレーションが実現する次世代治療室 AMED スマート治療室プロジェクトの取り組み(会議録). 日本コンピュータ外科学会誌 2016; 18(4):222.
- [20] 正宗 賢, 伊関 洋, 村垣 善浩: 先端医療の現場から考える安全管理 医療の未来を描く 医療の質・安全を支える未来志向手術室「スマート治療室 SCOT」と医工融合による研究開発(会議録). 医療の質・安全学会誌 2016; 11:Suppl:153.
- [21] 国立研究開発法人日本医療研究開発機構: プレスリリース「スマート治療室」のプロトタイプモデルの完成—IOT を活用した各種医療機器の連携・接続の実証開発の加速化と, 治療システムの臨床への適用検討を開始—
http://www.amed.go.jp/news/release_20160616.html, 2016.6.16.
- [22] 岡本淳: スマート治療室が実現する Medicine 4.0(解説). 未来医学 2017; 30:44-49.
- [23] 文部科学省, 厚生労働省: 人を対象とする医学系研究に関する倫理指針. 平成 26 年 12 月 22 日 (平成 29 年 2 月 28 日一部改正)
- [24] 文部科学省, 厚生労働省, 経済産業省: 個人情報保護法等の改正に伴う研究倫理指針の見直しについて.
http://www.kantei.go.jp/jp/singi/kenkouiryou/genome/dai7/siryou5_1.pdf; 平成 29 年 2 月 15 日.

付録 本論文で使した略語、用語の説明(五十音、アルファベット順)

・機械学習等； 機械学習、自然言語処理等による大量の情報から推定等を行う技術。

・スマート治療室；治療に用いる診断機器及び治療機器の稼働情報をネットワーク化することで治療室内外における円滑な情報交換を可能とし治療の質及び効率が上がる治療環境

・先端的医療；先端的技術開発の成果を活用することで、治療効果を高めたり低侵襲化を実現したりする最新の医療

・基盤；院内における全ての診療プロセスから発生するデータを収集蓄積するためのデータプラットフォーム

・治療の適切性；患者の予後データやQOL情報等から判断される治療プロセスの評価

・ディープラーニング；ヒトの能力を超える画像認識能力の獲得と、機械ではこれまで為し得なかった運動機能の習熟などの高度な認知能力を実現する革新的技術。deep learning を参照。

・8K; 8K は現行のテレビ放送(フルHD)の次世代の放送として採用される検討・開発が進められてきた「スーパーハイビジョン(SHV)放送」の解像度のことであり、最近ではスーパーハイビジョンと表現するより8Kと呼ばれることが多くなった。

・AI; artificial intelligence (人工知能)

・CT ; computed tomography(コンピュータ断層撮影),CT検査は,X線を体の回りに当てて得られた情報をコンピュータで計算し,格子の目のような2次元画像を得る方法である。最近では検査の台を動かしながら複数の検出器を用いて撮影できる装置(MDCT)ができて,検査時間が大幅に短縮しました。頸部から骨盤までのおおむね25秒ほどで検査が終了する。このため,広い範囲の検査にはCTが適している。またMRIでは骨や肺の描出が難しいので,骨や肺の状態を観察したい場合にはCTが適している。しかしCT検査では放射線被ばくがあることが欠点である。また病変と正常組織の濃度の差(コントラスト)ではMRIに劣る。

・deep learning; (深層学習) 多層構造のニューラルネットワーク(deep neural network)を用いた機械学習である。

・DICOM ; Digital Imaging and COmmunications in Medicine (医用画像の画像規格及び通信プロトコルを決める全世界共通仕様のこと),DICOMは,以下のような医療現場の様々な需要に対応している。

- 検査または治療を実施するための属性データの取得
- 撮影した画像データまたは検査データの転送
- コンピュータシステムへの画像データまたは検査データの保存
- 端末からの画像データまたは検査データの検索
- 表示端末での画像データまたは検査データの表示
- CD/DVDなどの保存媒体への画像データまたは検査データの出力

上記のような様々な医療需要に対応するために,DICOM仕様は非常に膨大かつ複雑になっており,実装するには高度な技術レベルと相当な開発リソースが必要となる。この北米発の業界仕様に対して,まだ多くの国内メーカーは消化しきれておらず,特にエンジン部分は北米の企業に技術的に依存している状況である。

・DPC ; Diagnosis Procedure Combination,患者分類としての診断群分類を意味する

・DPC/PDPS (Diagnosis Procedure Combination / Per-Diem Payment System ,支払制度としてのDPC制度の略称。

・EHR; electronic health record (生涯健康医療電子記録)

・EMR; electronic medical record (電子カルテ)

・HIS; Hospital Information Systems (病院情報システム), 病院内の各種情報システムの総称であり,自動受付システム,電子カルテシステム,入退院管理システム,医事会計システム,薬局管理システム,診療予約システムなどを含む。

・iArms ; iArmS® Intelligent Arm Support System(インテリジェント・アーム・サポート・システム),iArmS®は手術時に医師の腕を支え,生理的に生じる手のふるえや疲れを軽減する手術支援ロボットである。医師が腕を動かしたい位置にロボットアームが自由に追従し,かつ手術時にはしっかりと固定され医師の腕を支える。また医療現場で求められる高い安全性と軽やかな操作性を実現するため,動作はモーターを使わず,重力バランスと医師の自発的な腕の動きによって行われる。

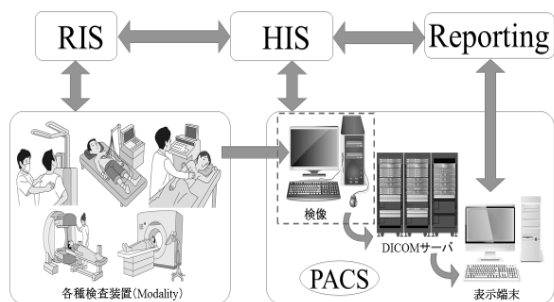
・ICT; Information and Communication Technology(情報通信技術)

・ JPKI; Japanese Public Key Infrastructure(公的個人認証サービス)とは、インターネット上での本人確認に必要な電子証明書を住民基本台帳に記載されている希望者に対して、無料で提供するためのサービスである。

・ MRI ; magnetic resonance imaging(核磁気共鳴画像法), MRI) とは,核磁気共鳴 (nuclear magnetic resonance, NMR) 現象を利用して生体内の内部の情報を画像にする方法である。被験者に高周波の磁場を与え,人体内の水素原子に共鳴現象を起こさせて反応する信号を撮影・画像化する仕組み。水分量が多い脳や血管などの部位を診断することに長けている。MRI 装置のガントリーの中にはコイルや磁石が搭載され,電流を流す原理を実現する。PET 診断との組み合わせた複合タイプも一部普及しつつある。

断層画像という点では、X線CTと一見よく似た画像が得られるが、CTとは全く異なる物質の物理的性質に着目した撮影法であるゆえに、CTで得られない三次元的な情報等（最近のCTでも得られるようになってきている）が多く得られる。また、2003年にはMRIの医学におけるその重要性と応用性が認められ、「核磁気共鳴画像法に関する発見」に対して、ポール・ラウターバーとピーター・マンスフィールドにノーベル生理学・医学賞が与えられた。

・ MWM; Modality Worklist Management (モダリティワークリスト管理) ,英語の「*Worklist*」 のことで,「予定の仕事」という意味である。一般に DICOM 仕様上の MWM のことを指している。MWM は,検査を行う前に,モダリティ (この用語は,本来,医療機器の分類や様式という意味であるが,一般に医療機器の代名詞になっている現状がある。医療現場では CT, MR, CR, DR, XA, US, ES などのモダリティがよく利用されている) から RIS に問い合わせを行い,ワークリストを取得する操作を管理する DICOM 仕様のことである。付図 1 にこれらの関係を示す。



付図1 MWM: Modality Worklist Management (モダリティワークリスト管理) の概略図

- ・ NDB ; national database, 医療のビックデータのひと

つである匿名化電子レセプトのアーカイブである

・**OpeliNK** ; 産業用ミドルウェアの一つである **ORiN** ミドルウェアを (株) デンソーが医療用にカスタマイズした **OpeliNK®** を用いて治療の IoT 化を推進しており、「スマート治療室」事業では、このシステムが使用されている。

- ・ PACS ; Picture Archiving and Communication Systems (画像保存通信システム) 各種検査機器(モダリティ)から画像データを受信し、データベースへ保存するとともに、端末に表示するシステムのことである。このシステムの中核的な役割を果たすのが、一般的に **DICOM** サーバと呼ばれる画像サーバで、**DICOM** 送信機能を持つ検査機器から送信された画像データを受信し、データベースに保存する。 **DICOM** サーバに保存された画像は、**DICOM** 画像ビューアなどのクライアントのリクエストによって、表示端末に転送される。

医療業務および医用画像データの性質上、システム動作の安定性、画像データ保存の安全性・真正性が PACS の重要なポイントとなる。PACS に保存された画像データの総容量は数十 TB(テラバイト)に達することもあり、システムを安定して運用するためには、システム構成の柔軟性や拡張性も非常に重要要素になる。

・PHR; personal health record (個人健康記録, 個人医療記録, 個人の医療・健康等データ)

個人が健康や医療に関する情報を、自己管理のもと集約、統合した記録のことであり、このような情報の集約・統合化を行うツールやシステムのことを言う。個人の健康や医療に関する情報は、健康増進ジムやスポーツクラブ、健診機関、医療機関、家庭や職場などに散在しており、これらの保健、医療、その他の健康情報を集約・統合することにより、各施設や機関・事業者で利用可能になれば、家庭や職場での生活習慣の改善やウォーキングやハイキングなどの日々の健康増進活動に活用でき、さらに医療機関での診察や治療に活用できることが期待できる。これらの健康情報の収集と管理を各自が自己の責任で個人が主体となって行うのがPHRである。

・ RealSense ; インテル社が進めている3D Depthセンサーで、手の動きや顔の表情を認識するインテル® RealSense™ テクノロジーとして、PCに実装され市販されている。

・ RIS; Radiology Information Systems (放射線科情報システム),主として放射線機器による検査と,治療の予約から検査結果までの管理を行うシステムのことを示している。 患者情報や予約情報,検査情報などの内容を

HIS から取得するのが一般的であり,放射線以外の機器による,超音波,内視鏡,眼底などの検査と治療に対しても,RIS によって一元管理することが可能である。通常,DICOM 仕様のワークリストサーバが中心的な役割を果たしている。

・ SCOT; Smart Cyber Operating Theater (スマート治療室),SCOT は,メスを握る外科医の姿が存在しなければ,手術室とは思えないような洗練された空間である。未来の外科医が腕をふるうのは“シアター型”のサイバー空間である。SCOT では,手術室内の医療機器をそれぞれの機能や役割に応じてパッケージ化し,それらを「OPeLiNK (オペリンク)」と呼ぶシステムで統合し,手術室全体をネットワーク化している。

著者紹介

青木一雄

・ 1976 年 上智大学理工学部数学科卒業。1978 年 上智大学大学院理工学研究科博士前期課程修了(理学修士)。1981 年 同上 博士後期課程単位取得満期退学。1987 年 大分医科大学(現大分大学医学部医学科)卒業,同年医師免許取得。1987 年 10 月 大分医科大学公衆・衛生医学講座助手,講師,准教授を経て,2008 年 4 月より,琉球大学大学院医学研究科衛生学・公衆衛生学講座 教授,現在に至る。

・ 1995 年 「Changes in 2,5-hexanedione concentration in sciatic nerve, serum and urine of rats induced by combined administration of 2,5-hexanedione with acetone or methyl ethyl ketone (2,5-ヘキサンジオンとアセトンあるいはメチルエチルケトンとの混合投与における坐骨神経,血清及び尿中 2,5-ヘキサンジオン濃度の変化)」にて,博士(医学)取得。1998 年 日本公衆衛生学会 奨励賞受賞(血清ペプシノゲンおよびガストリンを用いた胃がんスクリーニング方法の開発と地域への応用)

・ 1998 年～1999 年 米国ジョーンズ・ホプキンス大学公衆衛生学部生化学教室 客員教授(DNA 修復能の基礎的研究)。

(所属学会) 日本公衆衛生学会(試験委員),日本衛生学会(理事),日本産業衛生学会(代議員,九州地方会理事),日本農村医学会(理事),国際 ICT 利用研究学会(常任理事),九州農村医学会(副理事長),日本労働安全衛生コンサルタント会(沖縄支部長)。

和田秀男先生の数学

鈴木治郎[†]

[†] 信州大学 全学教育機構

[†]szkjiro@shinshu-u.ac.jp

要旨 2012 年 1 月に逝去された数学者の和田秀男氏は、計算機利用を整数論へと応用したわが国のパイオニアであり、同時に『数学セミナー』など一般誌への整数論への興味をかき立てる数々の文章でも知られている。そんな和田秀男氏の研究はフェルマーの最終定理の解明へも計算機応用で迫ろうとするものであった。そんな氏の数学研究の特徴を、筆者によるフェルマーの最終定理に関する発展も交えて概説する。

キーワード 整数論, 計算機利用, 素数, フェルマーの最終定理

1 はじめに

2012 年 1 月に逝去された和田秀男先生は、1970 年代に発表したフェルマーの最終定理や素数表現多項式に関する研究成果などに始まり整数論の研究に計算機を応用した、わが国におけるパイオニアであった。一方で多くの人たちにとっては、素数の話を中心とした『数学セミナー』などでの語り手として知られていると思う。ここでは、そうした和田先生の数学研究を中心とした活動に関して、研究者視点を重視しながら、

1. 素数表現多項式との関わり
2. フェルマーの最終定理との関わり
3. 素因数分解法との関わり
4. プログラミングを通じた実験精神

について述べて行きたい。

なお研究対象の扱いにおいては、なるべく和田先生視点を意識したために、最新の成果までは、詳しくは述べなかった。和田先生の論文のいくつかは、現代ではオンラインで自由に閲覧できるものがある。それらには参考文献内で「オンライン閲覧可」と付記しておいた。

2 素数表現多項式

「その値がすべて素数になるような多項式 (Prime Generating Polynomial) は存在するのだろうか」という問題がある。有名な例に、オイラーの与えた $n^2 + n + 41$ がある。この式は $n = 0, 1, \dots, 39$ に対して、いずれも素数となる。この現象の背景には、虚二次体 $\mathbb{Q}(\sqrt{-163})$,

$163 = 41 \times 4 - 1$ の類数が 1 であることが、オイラー以降の整数論の発展を通じて理解された。

素数表現多項式の問題に対して 1970 年代に、マテアセビッチはヒルベルトの第 10 問題を否定的に解決した際に、このような性質をもつ多項式の存在を証明の副産物として与えている [10]。その式は 21 変数 21 次であった。さらにマテアセビッチは、ロビンソンとの共同作業により 14 変数まで減らしたものを得た [11]。この性質をもつ式の変数を減らす問題に当時の研究者が取り組んだ中で、和田先生たち¹は 12 変数まで減らせることを示した [3]。現在知られている変数の個数が最小の結果は、マテアセビッチによる 10 変数のものである。また、このような多項式は 2 変数以上でなくてはならないこともわかっている。和田先生はこの論文により、アメリカの若手に与えられるフォード賞を受けている。

以下で和田先生の与えた証明の概略を説明する。詳しい証明は和田先生の著書 [2, 第 10 章] にある。

2.1 証明の概略

準備のための主張 次の性質をもつ整係数の多項式

$g(X_1, X_2, \dots, X_{n+1})$ を与えることができる。

1. $(X_1, X_2, \dots, X_{n+1})$ に自然数 $(x_1, x_2, \dots, x_{n+1})$ を与えたとき $g(x_1, x_2, \dots, x_{n+1}) = 0$ であれば $x_1 + 1$

¹和田先生が『数学』に寄稿した 1975 年の小論 [1] の中で「この小文で得られた結果をロビンソンに知らせたところ、マテアセビッチよりロビンソンへの私信 (1973 年 4 月) の中に同じ結果が書かれているとのことでした」と述べている。また共著論文 [3] には “This result was reportedly known to Yuri Matijasevič in 1973, although no literature is available concerning this.” とほぼ同じ立場の説明が書いてある。論文 [3] の共著者 4 名の内、和田先生を除く 3 名の在籍がカナダであることを考えると、ほぼ同時期に和田先生とカナダのグループとが独立に同じ証明を与えたものを、ロビンソンの計らいで 4 名の共著論文として発表されたのではないかと推測する。

は素数である.

2. 任意の素数 $p = x_1 + 1$ に対して, $g(x_1, x_2, \dots, x_{n+1}) = 0$ となる自然数 $(x_1, x_2, \dots, x_{n+1})$ が存在する.

このような式 g を与えるのに, 次の性質をもつ多項式 h の存在を仮定する.

1. $(X_1, X_2, \dots, X_{n-1})$ に自然数 $(x_1, x_2, \dots, x_{n-1})$ を与えたとき $h(x_1, x_2, \dots, x_{n-1}) = 0$ であれば $x_2 = x_1!$ である.
2. 自然数 x_1, x_2 が $x_2 = x_1!$ を満たせば, 自然数 $(x_3, x_4, \dots, x_{n-1})$ が存在して $h(x_1, x_2, x_3, \dots, x_{n-1}) = 0$ である.

h の構成は煩雑であり, ここでの説明は省略せざるを得ないが, 証明上の重要な部分である. 和田 [2] を参照してほしい.

このとき素数 p に関するウィルソンの定理

$$p \text{ が素数} \iff (p-1)! \equiv -1 \pmod{p}$$

を用いれば, p と $(p-1)!$ は互いに素なので, ユークリッドの互除法より整数 y, z が存在して

$$py + (p-1)!z = 1$$

と表せる. このとき y, z は符号違いである. よって

$$\begin{aligned} p \text{ は素数} &\Rightarrow px_n - (p-1)!x_{n+1} = 1 \text{ または } -1 \\ &\text{を満たす自然数 } x_n, x_{n+1} \text{ が存在する} \\ &\Rightarrow (px_n - (p-1)!x_{n+1})^2 = 1 \\ &\text{を満たす自然数 } x_n, x_{n+1} \text{ が存在する} \end{aligned}$$

がわかる.

上の性質と先の h の存在を合わせて

$$\begin{aligned} g(X_1, X_2, \dots, X_{n+1}) \\ = \left\{ ((X_1 + 1)X_n - X_2X_{n+1})^2 - 1 \right\}^2 \\ + h(X_1, X_2, \dots, X_{n-1})^2 \end{aligned}$$

とおくとき²,

$$\begin{aligned} f(X_1, X_2, \dots, X_{n+1}) \\ = (X_1 + 1)(1 - g(X_1, X_2, \dots, X_{n+1})^2) \end{aligned}$$

は $g(x_1, x_2, \dots, x_{n+1}) = 0$ かつ $x_1 + 1 = p$ であり, 素数である.

²ここで h^2 を h としても性質は満たすが, 和田 [2] にしたがった.

2.2 この問題への関心

和田先生は素数の問題への興味から, 素数表現多項式の論文 [11] を読まれたときに, 計算手続きの問題として理解されたのではないかと想像する. 一方で, この問題の背景にあるモデル理論へのご興味は深まらなかったとも想像する. その理由は, この問題では実際に素数 p を計算する手続きを与えられないことにある. 実際, 和田 [2, p.217] では「 f から素数 p を得るために $x_1 = p-1$ とおくのだから, どこかでごまかされたような気持ちになる」と書いている.

3 フェルマーの最終定理

フェルマーの最終定理は, 1994 年に楕円曲線理論への解釈を通じて, ワイルズにより解決された [12]. そこで決定的な役割を果たしたのがフライの楕円曲線

$$Y^2 = X(X - a^p)(X + b^p)$$

である. ここで p は奇素数であり, 0 でない整数 a, b はフェルマーの方程式

$$a^p + b^p = c^p$$

を満たすと仮定する. ワイルズによる証明が完成した理由は, フライの楕円曲線が**奇妙な楕円曲線**であると証明できたことにある.

ここで扱うのは, ワイルズによる解決以前の結果である. 和田先生の博士の学位のもととなる論文 [6] でも, フェルマーの方程式に解があると仮定する. そのとき奇しくもフライの楕円曲線と同様, **奇妙な現象** (クンマーの合同式) の成り立つことを扱っているのである.

3.1 ワイルズによる証明以前

フェルマーの最終定理とは, 方程式

$$x^n + y^n = z^n \quad (n \geq 3)$$

が, いずれも 0 でない整数解を持たない, というフェルマーに由来する有名な主張である [13].

ワイルズによる証明 (直接関係するアイデアも含める) 以前に, この問題への直接の寄与をもつ結果は,

- クンマーによる正則素数概念の発見
- ソフィー・ジャーマンの主張および証明

とする意見が代表的である.

フェルマーの最終定理の証明のためには、式の指数を素数に制限して証明できれば十分であることは容易に分かる。指数 p をもつ方程式に関するフェルマーの最終定理のことを記号 $\text{FLT}(p)$ で表す。つまり $\text{FLT}(p)$ であるとは

$$x^p + y^p = z^p \quad (1)$$

ただし p は奇素数として、この方程式はいずれも 0 でない整数解をもたない主張のことである。

ソフィー・ジャーマンの主張とは

p と $2p+1$ がともに素数であれば $\text{FLT}(p)$ が成り立つ

であり、証明は簡単かつ初等的である [13]。

この主張の拡張として、解析的整数論のヒース-ブラウンらが次の性質を証明したことにより [14]、条件付きだが、フェルマーの最終定理の成り立つ素数は無数に存在することが初めて証明された。

p と $kp+1$ がともに素数であれば $\text{FLT}_1(p)$ が成り立つ ($k=2, 3, \dots$)。また p と $kp+1$ がともに素数であるような素数 p は無数に存在する。(未定義の記号は次節で定義する)

3.2 クンマーの発見

クンマーは、フェルマーの方程式の考察に際して素因数分解の一意性が成り立たなくなる場合を考慮しなくてはならない、という代数的整数論のもととなる大発見をしている [13]。ここでは $\text{FLT}(p)$ を検討する上で重要な概念をいくつか扱う。

3.2.1 正則素数と非正則素数

$\zeta = \zeta_p = \exp(2\pi i/p)$ で 1 の原始 p 乗根を表すことにする。クンマーは方程式 (1) を

$$x^p + y^p = \prod_{k=0}^{p-1} (x + \zeta^k y) = z^p \quad (2)$$

と分解したとき、

$$x + \zeta^k y = \alpha^p, \quad \alpha \in \mathbb{Q}(\zeta)$$

となる可能性を考察した [15]。現代のことばでいえば、素イデアル分解の一意性が $\mathbb{Q}(\zeta)$ では成り立たなくなる場合のあることを指摘したのである³。

³現在でも絶えることのない「フェルマーの最終定理を初等的に証明した」というアマチュアによる証明、中には自費出版をしたことで国立国会図書館に納められているものもあるが、それらのほとんどでは、この素因数分解の一意性に関する問題を理解せずに、うまい式変形により解をもたないことを証明できた、としていることが多い。

すなわち、代数体 $\mathbb{Q}(\zeta)$ の類数が p で割れるかどうかが問題になる。 h で $\mathbb{Q}(\zeta)$ の類数、 h^+ で $\mathbb{Q}(\zeta + \zeta^{-1})$ の類数を表す。 $\zeta + \zeta^{-1}$ は実数であり、 $\mathbb{Q}(\zeta + \zeta^{-1})$ は $\mathbb{Q}(\zeta)$ の最大実部分体になる⁴。これらの類数の間には

$$h = h^+ h^-$$

の関係が成り立つ。ここで h^+ を類数の第 2 因子、 h^- を類数の第 1 因子 (または $\mathbb{Q}(\zeta)$ と $\mathbb{Q}(\zeta + \zeta^{-1})$ の相対類数) と呼ぶ。

ヴァンデューバーは「 p は h^+ を割らない」ことを証明したとする論文を発表したが、それには誤りのあることが分かった (和田 [5, 第 5 章 §5] など)。クンマーにより提起された類数の問題は重要である (ワシントン [15, §5.6, §6.5, 第 9 章])。とくに重要な関係は

$$p \text{ は } h^+ \text{ を割らない} \Rightarrow p \text{ は } h \text{ を割らない} \\ \Rightarrow \text{FLT}(p) \text{ が成り立つ}$$

である。

素数 p は h を割らないとき正則素数といい、割るとき非正則素数という。このことばを使えば

正則素数に対しては $\text{FLT}(p)$ が成り立つ

となる。非正則な素数は小さい順に 37, 59, 67, 101, 103, 131, 149, 157, 233... である。この 2 種類の素数の分類に関して

非正則素数は無数に存在する

ことが分かっている (ワシントン [15, 第 9 章])。一方で正則素数が無数に存在するかは証明されていない。

3.2.2 非正則素数の探索

非正則素数はベルヌーイ数の分子に現れることを利用して発見できる。ベルヌーイ数 B_k は展開

$$\frac{x}{e^x - 1} = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{B_k}{k!} x^k \quad (3)$$

の係数として定義できる。ベルヌーイ数に対しては

$p \nmid B_2, B_4, \dots, B_{p-3}$ ならば p は正則素数である

⁴ $\mathbb{Q}(\zeta + \zeta^{-1})$ と $\mathbb{Q}(\zeta)$ とは、その単数群の構造において、1 のべき乗根だけ違っている。そしてフェルマーの最終定理が解決された今でも、これを代数的整数論の枠内の情報だけで証明しようという試みにおいては、この単数群の性質が大きな焦点になる。

という性質が成り立つので、各素数 p が正則であるか非正則であるかを決定できる。非正則素数の探索は、計算の高速化の観点から、ベルヌーイ数自身を求めてはいない。それは整数パラメータ b をもつボロノイの合同式

$$(b - b^{p-2k}) \frac{B_{2k}}{2k} \equiv \sum_{a=1}^{p-1} \left[\frac{ba}{p} \right] a^{2k-1} \pmod{p}$$

を活かして計算された (和田 [5])。この式をいくつかの b に対して調べると、たとえば

$$(2^{p-2k} + 3^{p-2k} - 4^{p-2k} - 1) \frac{B_{2k}}{4k} \equiv \sum_{\frac{p}{4} < a < \frac{p}{3}} a^{2k-1} \pmod{p}$$

などが得られる。この例で計算に要する項数は $p/3 - p/4 = p/12$ で済む。筆者は、より効率的な合同式を得るための計算機による探索を試みたが、論文発表するための新規性をもつ成果は得られなかった。

ワクスタッフ (Wagstaff) はこうした関係式をうまく使い

$p < 125,000$ までの素数に対して FLT(p) が成り立つ

を証明した (和田 [4])。ワクスタッフは「100 万までの計算をライフワークとしたい」と語っている (和田 [4])。その後ワクスタッフたちは $p < 150,000$ まで計算している。

3.2.3 非正則素数の探索の革新

非正則素数の探索は 1990 年になって急速にスピードアップした。クランドールたちが次の計算法を開発したからである [16, §4.4]。

- 基本的な計算式はベルヌーイ数の定義式 (3) による。これを適当な素数 p を法として計算する
- 逆数関数 $1/z$ に関するニュートン-ラフソン法から得られる漸化式 $y_{n+1} = y_n - z \cdot y_n^2$ を用いると、 y_n は $1/z$ に収束する。そこで式 $z(x) = e^x - 1$ の級数展開を有限項で打ち切った式による除算を、この漸化式にもとづき計算する。収束の判定は多項式の次数による。
- ニュートン-ラフソン法の計算は乗算と加減算であり、乗算は高速フーリエ変換により高速化する

多項式の乗算は (もとは除算だったので、これだけでも高速化する) その次数 (ここでは p と思ってよい) に対して p^2 に比例する。さらに高速フーリエ変換により $p \log p$ に比例した計算量となる。この方法により

1. 1990 年 1,000,000 まで
2. 1993 年 4,000,000 まで
3. 2001 年 12,000,000 まで
4. 2011 年 163,000,000 まで

と、非正則素数の計算を進めた。

4 フェルマーの最終定理とクンマーの合同式

4.1 FLT(p) の 2 つの場合分け

フェルマーの最終定理を考察する上で、整数解 (x, y, z) が存在すると仮定し、それらが方程式の指数 p と互いに素であるか否かで分類する。整数解が p と互いに素であるときは、クンマーの合同式が成り立つからである。

第 1 の場合 $(xyz, p) = 1$ 。記号 $\text{FLT}_1(p)$ で表す。

第 2 の場合 $(xyz, p) = p$ 。整数解の考察では x, y, z は互いに素であると仮定してよいので、フェルマーの最終定理の方程式 (1) を満たすという条件と合わせれば、 x, y, z のうち一つのみが p で割れることになる。記号 $\text{FLT}_2(p)$ で表す。

$\text{FLT}_1(p)$ が成り立たない (つまり解がある) と仮定したとき、その整数解 x, y, z に対して $t = \frac{y}{x}$ とおく。このとき t に関する有理数の集合

$$A = \{t_1, t_2, \dots, t_6\} \\ = \left\{ t, \frac{1}{t}, -(t+1), -\frac{1}{t+1}, -\frac{t+1}{t}, -\frac{t}{t+1} \pmod{p} \right\}$$

を考察する。

もしも t が存在するときに、この集合は位数 $|A|$ に関して 3 つに場合分けできる。

$|A| = 2$ 。たとえば $t = -1/(t+1)$ のとき $A = \{t \mid t^2 + t + 1 \equiv 0 \pmod{p}\}$ であることが分かる。

$|A| = 3$ 。たとえば $t = -(t+1)$ のとき $A = \{1, -2, -1/2 \pmod{p}\}$ であることが分かる。

$|A| = 6$ 。 A の元の間に合同関係のない場合である。

クンマーは方程式の因数分解 (2) にもとづき、以下のアイデアを用いて一連の合同式を導いた。以下に述べる式の導出過程が正当化されるためには、精緻な考察が必要である。

1. 式 (2) の対数

$$\log \prod_{k=0}^{p-1} (x + \zeta^k y) = \log z^p$$

より, 次の合同式が成り立つ.

$$\sum_{k=0}^{p-1} \log(x + \zeta^k y) = p \log z \equiv 0 \pmod{p}$$

2. $\zeta = \zeta_p = \exp(2\pi i/p)$ を指数関数の特殊値と見て, 上式を考察すれば, 実変数 v に対して次が成り立つと解釈できる.

$$\sum_{k=0}^{p-1} \log(x + e^{vk} y) \equiv 0 \pmod{p}$$

3. v に関して 1 回微分すると次式が得られる.

$$\sum_{k=0}^{p-1} \frac{ky e^{vk}}{x + e^{vk} y} \equiv 0 \pmod{p}$$

4. 分母分子を x で割り, $t = y/x$ と表す.

$$\sum_{k=0}^{p-1} \frac{kt e^{vk}}{1 + e^{vk} t} \equiv 0 \pmod{p}$$

5. v に関して何回も微分すれば一連の合同式が得られる.

$$\frac{d^m}{dv^m} \sum_{k=0}^{p-1} \frac{kt e^{vk}}{1 + e^{vk} t} \equiv 0 \pmod{p}$$

フェルマーの最終定理に関する**クンマーの合同式**とは, 上の式をもう少し詳しく調べるとき, その係数にベルヌーイ数を見いだせるものを指す.

4.2 クンマー・ミリマノフの合同式

ミリマノフはクンマーの合同式を考察し, 次の合同式を導いた [17].

$$B_{p-n} \cdot P_n(t) \equiv 0 \pmod{p} \quad (n = 3, 5, \dots, p-2)$$

ここで P_n は次数が n より小さな相反多項式 (t が根であれば $1/t$ も根になる, 対称性をもった多項式) である. t は前述の集合 A の元であることを利用して, ミリマノフは 1905 年に $n = 3, 5, 7, 9$ に対して $P_n(t) \not\equiv 0 \pmod{p}$ を証明することができた. その結果, 上の合同式から $B_{p-n} \equiv 0 \pmod{p}$ が示され, $\text{FLT}_1(p)$ が成り

立たなければ (つまり p と互いに素な整数解が存在するとき)

$$B_{p-3} \equiv B_{p-5} \equiv B_{p-7} \equiv B_{p-9} \equiv 0 \pmod{p}$$

が成り立つことを証明した. この合同式に関して和田 [6] では

$$B_{p-11} \equiv B_{p-13} \equiv B_{p-15} \equiv B_{p-17} \equiv B_{p-19} \equiv 0 \pmod{p}$$

まで, ミリマノフの結果を拡張した.

この証明のために必要とされる計算は膨大であり, コンピュータの助け抜きには不可能に近い. 実際にうまく計算するためには修正を要するが, 基本的な計算は以下の場合を扱うことになる.

- $|A| = 3$ の場合には $P_n(-2)$ の素因数分解を行う. 各素因数 p に関しては個別に $\text{FLT}_1(p)$ の成り立つことを示す.
- $|A| = 2$ の場合には $P_n(t)$ を $t^2 + t + 1$ で割った余りの多項式を調べる.
- $|A| = 6$ の場合には A の元の 6 種の t に応じて多項式 P_n を書き直し, 式同士の最大公約数などを調べる.

以上で多項式を扱う際にも, 多項式同士の終結式などを調べるために, 多くの素因数分解が必要である. そして, ここでいう「個別に $\text{FLT}_1(p)$ の成り立つことを示す」ための標準的な方法は次節で述べるヴィーフェリヒの判定条件である.

4.3 ヴィーフェリヒの判定条件

素数 p と整数 a に関して, フェルマーの小定理

$$a^p \equiv a \pmod{p}$$

が成り立つ. これより次式で定義される**フェルマー商** $q_a(p)$ は整数であることが分かる.

$$q_a(p) = \frac{a^p - a}{p}$$

ヴィーフェリヒ [18] はクンマー・ミリマノフの合同式の一つを利用して

$\text{FLT}_1(p)$ が成り立たなければ (つまり p と互いに素な整数解が存在すれば) $q_2(p) \equiv 0 \pmod{p}$ である

を示した. $q_2(p) \equiv 0 \pmod{p}$ すなわち

$$2^p - 2 \equiv 0 \pmod{p^2}$$

を満たす p は, レーマーにより 3×10^9 まで調べられていた. さらに先まで計算された現在でも, $p = 1093, 3511$ 以外に満たすものは見つかっていない.

4.4 ポラチェックによる拡張

ポラチェックはヴィーフエリヒの判定条件を拡張できるアルゴリズムを開発した [19]. 基本的なアイデアは, クンマーの合同式を利用するものであり, $a = 2, 3, \dots$ に対して

$$q_a(p)R_a(t) \equiv 0 \pmod{p}$$

の形の合同式が成り立つことを証明していく. それにより, $R_a(t) \not\equiv 0 \pmod{p}$ の成り立つことを順次導くことができるのである.

実際にポラチェックは $a \leq 31$ までそれを証明し, 結果として

FLT₁(p) が成り立たなければ (つまり p と互いに素な整数解が存在すれば) $q_a(p) \equiv 0 \pmod{p}$ ($a = 2, 3, \dots, 31$) である

を証明した.

4.5 拡張されたヴィーフエリヒの判定条件

ポラチェックのアルゴリズムにしたがって, ヴィーフエリヒの判定条件は以下の通り拡張された.

1. $a = 2$: ヴィーフエリヒ (Wieferich)
2. $a \leq 31$: ポラチェック (Pollaczek)
3. $a \leq 43$: 森島太郎 (ここまでは手計算)
4. $a \leq 56$: 鈴木, 1986 (未発表)
5. $a \leq 89$: グランヴィル (Granville), 1987/1988
6. $a \leq 113$: 鈴木, 1992/1994

1986 年の筆者 (鈴木) の結果は, その年に AMS の *Mathematics of Computation* に投稿したが, 審査は進まなかった (和田先生のお亡くなりになった今, どんなやりとりが投稿先とあったのかは, もはやわからない). そうする内にグランヴィルの結果が 1988 年の AMS の *Transaction* に発表されたため [20], $a \leq 56$ までの結果は, 論文としての発表の機会を失っている. 投稿論文が戻されたので,

数値的結果の報告のみ 1988 年春の数学会で発表した. この論文は和田 [6] の発展と言えるものであり, **和田先生が計算機を整数論に応用する上での苦勞を押し量る助けとなるだろう**. そこで当時の事情をもう少し書いておく.

1992 年の鈴木の結果は, グランヴィルの先まで計算を進めざるを得なくなったことに応じたものである. グランヴィルは, 当時の高度な数式処理に不可欠な LISP マシンをほぼ独占的に数ヶ月にわたって計算することで, 上記の結果を得ている. そのため, この計算結果を上回することは簡単ではなかった. 論文に発表した結果に数学的な発展はほとんどない. ポラチェックのアルゴリズムに関する一変数多項式の計算を, 当時国内最速級のスーパーコンピュータを有していた東京大学計算機センター用に最適な数値計算アルゴリズムとして開発し, 論文発表できるまで計算を進めたものである.

これを論文にして上記と同じところへ投稿した. 今度は審査の反応は良好であり, レフリーから, 計算の高速性は驚きをもって迎えるべきものなので, コンピュータ向きの計算部分をより詳細に記述するようアドバイスを得て, 投稿論文の改訂作業を進めた. その改訂作業の最中に起こった事件が, 1993 年のワイルズによるケンブリッジ大学ニュートン校におけるセミナーでの講演, すなわちフェルマーの最終定理を解決したという発表である. この発表のもたらした騒動 (証明には欠陥があるらしい, あるいは欠陥はたいしたことないなど) により, 鈴木の投稿論文審査は止まった.

5 年の歳月の計算結果がまたも論文として無効になってはかなわない, という判断で, 和田先生のご助力により, 改訂作業中の論文は投稿先から取り下げ, 学士院紀要へ投稿し直して掲載された [21]. これが, 和田先生も関わったフェルマーの最終定理の第 1 の場合に関して歴史に刻まれた最後の論文である.

4.6 数学的証明への可能性

ポラチェックによるヴィーフエリヒの判定条件の拡張とは, FLT₁(p) が成り立たない, すなわちフェルマーの方程式が解をもつならばフェルマー商に関して特殊な合同式関係が成り立つという主張である.

和田先生たちによるベルヌーイ数に関する合同式でも, フェルマー商に関する合同式でも, 基本的な証明は

1. FLT₁(p) が成り立たないと仮定するときクンマーの合同式が成り立つ
2. クンマーの合同式にもとづき得られるベルヌーイ数またはフェルマー商の係数となる多項式は, FLT₁(p)

の解を与えたとき 0 にならないことを計算機利用のもと証明する

であった。ところが、たとえばヴィーフェリヒの判定条件 $q_2(p) \equiv 0 \pmod{p}$ を満たす素数は今のところ $p = 1093, 3511$ 以外に発見されていない。だからクンマーの合同式の類似をもっと増やすことができれば、フェルマー商の満たすべき関係式にもっと強い条件の成り立つことを要請できるとすると、 $FLT_1(p)$ を満たす素数が存在できないと証明できる可能性がある。

そのため、1986 年の論文投稿以降、鈴木はクンマーの合同式の拡張に着手した。それは円単数と群環の関係式としてクンマーの合同式を再構成できる可能性を検討することであった。しかし、実際に証明を進める前に、上に述べた計算やり直しの問題にかかることになり、このアイデアの実現はならなかった。

なお円単数の問題は、シノット (Sinnott) により 1970 年代から始められており (ワシントン [15, 第 9 章]), 80 年代以降のガロア加群理論の発展に伴いティンなどにより群環にもとづく解釈が、実際に 90 年代に得られた。

5 素因数分解

和田先生の一般誌への寄稿で最も発表数の多い話題は素数に関するものである。しかし研究論文として発表されたものは残念ながらない。数学研究への貢献に明確に数えられるものには、和田先生のゼミ生だった大学院学生たちが数表やプログラムの公開をしているものをあげてよいと思う。

素数および素因数分解に関する和田先生の研究業績は、研究を完成して発表できるものとするために必要不可欠な、ツールとして使いこなしたことにあると考えるべきであろう。

例えば鈴木 [21] では、和田 [6] と同様の素因数分解の計算を実施しているが、それは 1990 以前に上智大学パソコン室にあったパソコン利用のもと数ヶ月を要している。

和田 [4], [6] においては、前節の $P_n(-2)$ などの素因数分解を結果のみ示している。しかし 1980 年以前のコンピュータ利用のもと実用的な時間内に計算を終えることは、けっして容易ではなかったはずである。

そのことが、素因数分解や素数判定の高速かつ有効な方法への理解に向かう、和田先生の活動へとつながったといえるだろう。それらの成果は上智大学数学講究録の一冊、和田 [7] にまとめられ、後に再構成されたものが一般書籍として出版された [9]。

6 プログラミングの研究活用

和田先生の著作から例を引き、プログラミングに関わる先生の特徴をここでは見ていくことにする。

6.1 円周率計算

和田先生は上智大学数学講究録 [7] の序文で、学生授業への演習に BASIC による多倍長計算プログラム群を作成したと書いている。その応用例に円周率計算を取り上げ、何種類かの計算アルゴリズムを扱っている。その例の一つ、和算の建部賢弘の計算の考察において

1. 単純な円の多角形分割では文献に残された計算精度は得られない
2. 和算の文献を読み解くのではなく、計算の途中経過から考えられる数値計算加速法を推定した
3. 数値計算の加速法と文献に残された計算精度から建部賢弘が実際に計算した方法を推測した

を行っている。

これが和算研究者の小川東氏の興味を引き、実証的和算研究の引き金となったようである [22]。小川氏は自身の計算による検証作業の中で改めて、建部賢弘は文献記述通りの計算方法で進めたのではないかと確信を得たと述べている。実証計算の成果であろう。なお、小川氏が実証に用いた計算ツールは *Mathematica* であり、多倍長計算に苦勞を要するものではまったくない。

6.2 プログラミングスタイル

和田先生の著書から、先生の計算スタイルのよく表れているものを取り上げてみた。

6.2.1 『反例から見た数学』

これは共著の書籍である。その「代数学における反例」の章を担当された中に「群論入門 §3 パソコン用プログラム」という節がある。群の公理の一つ結合法則を話題とすることで、位数 3 の集合に対して考えられるすべての演算において結合法則を満たすものがどれだけあるかを調べようという提案をしているところを引用した。

物事は徹底的に調べなければ本質はわからない。しかし、あまりに調べる場合が多いときは、手に負えない。こんなときパソコンを使うとよいと思う。参考のために、3 個の元の

演算の中で結合法則を満たすのは何通りあるか数えるプログラムを書こう。BASIC による次のプログラムを実行してみた。計算時間は 753 秒であった。同じプログラムを、今後流行するであろう「言語 C」に書き換えて実行すると、計算時間は 11 秒であった。約 70 倍のスピードである。[8]

以下にこのプログラムの C の例を引用しておく。機械語に慣れた和田先生にとっては、データのメモリ配置や転送効率を意識した単純作業として、このプログラムを設計されたのだと思う。しかしながら、普通は、たとえば、変数 a,b,c,... は余分ではないのか、と思えるのではないだろうか。機械語の間接アドレス参照と計算効率の問題に悩んだことのない人には想像つきにくい問題を自然に扱っているのである。

```
main() {int t[3][3],s=0,
        a,b,c,d,e,f,g,h,i,x,y,z,p,q;
for(a=0;a<3;++a){t[0][0]=a;
for(b=0;b<3;++b){t[0][1]=b;
for(c=0;c<3;++c){t[0][2]=c;
for(d=0;d<3;++d){t[1][0]=d;
for(e=0;e<3;++e){t[1][1]=e;
for(f=0;f<3;++f){t[1][2]=f;
for(g=0;g<3;++g){t[2][0]=g;
for(h=0;h<3;++h){t[2][1]=h;
for(i=0;i<3;++i){t[2][2]=i;
for(x=0;x<3;++x){
for(y=0;y<3;++y){p=t[x][y];
for(z=0;z<3;++z){q=t[y][z];
if(t[p][z]!=t[x][q]) goto NEXT;
}}} s+=1; printf("%d\n",s);
NEXT: }}}} printf("end\n");}
```

6.2.2 『コンピュータと素因子分解』

和田先生は最初期のマイコン利用のもと機械語でプログラミングを始められている。そんなマイコンにおいて機械語で扱える命令は、簡単に言えば、加減算、比較、計算結果に応じたジャンプの 3 種類だけである。だから「付録 第 6 章のプログラム」では次のような記述がある。

流れ図 6 のプログラムは pro5-6 である。流れ図どおりのプログラムである。もう少し goto 文を少なくしてすっきりしたプログラムを書きたいが、昔、機械語で多くプログラムを書

いたので、私には goto 文が少しも恐ろしくない。流れ図さえしっかり書けばよいのではないだろうか [9]。

こんな和田先生に「鈴木はコンピュータがたいへんできる」と言っていたのは、たいへん光栄なことである。私自身は滅多に goto 文は使わない。徹底した効率化のもとプログラミングコードを考えれば、goto 文は不要になると考えるからである。和田先生に近いところで唯一、先生を書くよりも高速に実行されるプログラムをいくつも書いてきたことは、僥倖ながら誇ってよいのかも知れない。

謝辞

和田先生の研究されていたフェルマーの最終定理に関する問題を、論文発表したただ一人のゼミメンバーでありながら、先生のご逝去に際し、未だに先生の研究成果をまとめることをできずにいた私である。そんな私に本稿を執筆する機会をくださった編集委員会の方に感謝したい。

参考文献

- [1] 和田秀男, 素数を表す多項式について, 数学, 27 (1975), 160–161. オンライン閲覧可
- [2] 和田秀男, 数の世界 – 整数論への道 –, 岩波書店, 1975.
- [3] J.Jones, D.Sato, H.Wada and D.Wiens, “Diophantine representation of the set of prime numbers,” Amer. Math. Monthly, 83 (1976), 449–464. オンライン閲覧可
- [4] 和田秀男, 非正則素数の見付け方, 京都大学数理解析研究所講究録 301, 1977, 32–49. オンライン閲覧可
- [5] 和田秀男, 整数論への計算機の応用, 上智大学数学講究録 7, 1980.
- [6] H.Wada, “Some computations on the criteria of Kummer,” Tokyo J., 1980, 173–176. オンライン閲覧可
- [7] 和田秀男, 高速演算法と素数判定, 上智大学数学講究録 15, 1983.
- [8] 和田秀男ほか共著, 反例から見た数学, 遊星社, 1985.

- [9] 和田秀男, コンピュータと素因子分解, 遊星社, 1987.
- [10] Y.Matijasevič, “Diophantine representation of the set of prime numbers,” *Doklady Akademii Nauk SSSR*, 196 (1971), 770–771.
- [11] Y.Matijasevič, Robinson, “Reduction of an arbitrary Diophantine equation to one in 13 unknowns,” *Acta Arithmetica*, 27 (1975), 521–553.
- [12] A.Wiles, “Modular elliptic curves and Fermat’s Last Theorem,” *Annals of Math.* 141-3 (1995), 443–551.
- [13] リーベンボエム (吾郷博顕訳), フェルマーの最終定理 13 講, 共立出版, 1983.
- [14] L.M.Adleman, D.R.Heath-Brown, “The first case of Fermat’s last theorem”. *Invent. Math.* 79-2 (1985), 409–416.
- [15] L.C.Washington, “Introduction to Cyclotomic Field,” Springer, 1982.
- [16] J.P.Buhler, R.E.Crandall, and R.W.Simpolski, “Irregular Primes to One Million,” *Math. Comp.* 59 (1992), 717–722.
- [17] D.Mirimanoff, “Sur le dernier théoème de Fermat,” *J. reine Angew. Math.*, 139 (1911), 309–324.
- [18] A.Wieferich, “Zum letzten Fermat’schen Theorem,” *J. reine Angew. Math.* 136 (1909), 293–302.
- [19] F.Pollaczek, “Über den grossen Fermat’schen Satz,” *Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien, Abt. IIa*, 126 (1917), 45–59.
- [20] A.Granville, M.B.Monagan, “The first case of Fermat’s last theorem is true for all prime exponents up to 714,591,116,091,389,” *Trans. Amer. Math. Soc.* 306 (1988), 329–359.
- [21] J.Suzuki, “On the generalized Wieferich criteria,” *Proc. of the Japan Acad., Ser. A*, 70-7 (1994), 230–234.
- [22] 小川束, 円理の萌芽: 建部賢弘の円周率計算, 数理解析研究所講究録, 1019 (1997), 77–97.

著者紹介

鈴木治郎

1985 年より上智大学理工学研究科数学専攻にて和田秀男氏のもと数学研究を進める。1990 年より信州大学, 現在は同大全学教育機構教授。フェルマーの最終定理解決以前の第 1 の場合が証明済み素数指数の上限は筆者が与えた。著書に『はじめての数論』(丸善出版) など多数。

Euler 関数導来対数的関数における abc -triple の高速列挙アルゴリズム

宮田大輔[†]

[†]千葉商科大学 商経学部

山下倫範[‡]

[‡]立正大学 地球環境科学部

A fast algorithm for enumerating abc -triples on the logarithmic function derived from Euler function

Daisuke MIYATA[†]

[†]Faculty of Commerce and Economics
Chiba University of Commerce

Michinori YAMASHITA[‡]

[‡]Faculty of Geo-Environmental Science
Rissho University

要 旨 a, b, c を互いに素な自然数とし $a + b = c$ のとき, $L(c) < 2L(\text{rad}(abc))$ が成り立つという予想が提案されている。ここで L は Euler 関数導来対数的関数, $\text{rad}(n)$ は n の根基である。この予想は計算機実験によって $c < 10^5$ であれば正しいことが確かめられている。本論文では $L(c) \geq (1+\epsilon) L(\text{rad}(abc))$ となるような abc -triple を高速に列挙するアルゴリズムを提案する。またそのアルゴリズムを利用して予想が $c < 2^{30}$ で正しいことを確かめた。

キーワード : オイラー関数, abc -triple, 列挙アルゴリズム

Abstract Let a, b and c be relatively prime positive integers such that $a + b = c$. We have been conjectured that $L(c)$ is less than $2L(\text{rad}(abc))$, where L is the logarithmic function derived from Euler function and $\text{rad}(n)$ is the radical of n . So far, it had been verified that the conjecture is true for $c < 10^5$, using computer resources. In this paper, we propose a fast algorithm for enumerating abc -triples such that $L(c) \geq (1+\epsilon) L(\text{rad}(abc))$. Using this algorithm, we also verified that the conjecture holds for $c < 2^{30}$.

Keywords: Euler function, abc -triple, enumerating algorithm

1. はじめに

x 以下の自然数のうち x と互いに素なものの個数を $\varphi(x)$ で表す。 φ を Euler の totient 関数と呼ぶ。また, x の相異なる素因数の積を $\text{rad}(x)$ で表す。

x の素因数分解が $x = p_1^{e_1} p_2^{e_2} \cdots p_r^{e_r}$ のように与えられたとき,

$$\varphi(x) = x \prod_{k=1}^r \left(1 - \frac{1}{p_k}\right)$$

および

$$\text{rad}(x) = \prod_{k=1}^r p_k$$

である。

いま, $\varphi^1(x) = \varphi(x)$ として $\varphi^k(x) = \varphi(\varphi^{k-1}(x))$ を考えると, $x > 1$ のとき, $\varphi(x) < x$ であるから, $\varphi^k(x) = 1$ となるような最小の k が必ず存在する。そ

のような k の性質について, これまで Pilali[2,3], Shapiro[4,5], Murányi[1]らによって数多くの研究がなされてきた。1971 年に Yamashita は Euler 関数導来対数的関数 $L(x)$ を

$$L(x) = \begin{cases} 0, & \text{if } x = 1 \\ L(\varphi(x)), & \text{if } x > 0 \text{ is odd} \\ L(\varphi(x)) + 1, & \text{if } x > 0 \text{ is even} \end{cases}$$

と定義し, 任意の自然数 x, y について,

$$L(xy) = L(x) + L(y)$$

が成立することを示した[7]。2001 年には筆者らによって一般化した命題の簡潔な証明が与えられている[8]。

また L について

$$\log_3 x \leq L(x) \leq \log_2 x$$

が成り立つことが知られている[7]。

対数的関数 L に関して, a, b, c を $a + b = c$ を満たす互いに素な自然数とすると,

$$q(a, b, c) = \frac{L(c)}{L(\text{rad}(abc))}$$

を (a, b, c) の質と呼ぶことにする。

(a, b, c) の質は、ほとんどの場合 1 未満となるが、まれに $q(a, b, c) > 1$ となることがある。例えば $n \geq 1$ について

$$\begin{aligned} a &= 5, b = 3^{8n-5}, c = 5 + 3^{8n-5} \\ \text{とすると, } 3^{8n-5} &\equiv -5 \pmod{32} \text{ であるから,} \\ \frac{L(c)}{L(\text{rad}(abc))} &= \frac{5L(2) + L(c/32)}{L(5) + L(3) + L(\text{rad}(c))} \\ &\geq \frac{5 + L(c/32)}{4 + L(c/32)} > 1 \end{aligned}$$

である。したがって質が 1 より大きい (a, b, c) は無限に存在する。しかしながら、この例では $n \rightarrow \infty$ のとき、 $q(a, b, c) \rightarrow 1$ となる。現在のところ、大きな質をもつような (a, b, c) の組が無限にあるかどうかはわかっていない。

筆者らは次のような予想を提出している[7]。

予想 A : a, b, c が互いに素な自然数で $a+b=c$ ならば

$$L(c) < 2L(\text{rad}(abc))$$
 が成り立つ。

もし、この予想が正しければフェルマーの最終定理などいくつかの数論における重要な定理が直ちに系として得られることが分かっている[5]。

本論文では $\varepsilon > 0$ に対して

$$\begin{aligned} a &\leq b \\ a + b &= c \\ \gcd(a, b, c) &= 1 \\ q(a, b, c) &\geq 1 + \varepsilon \end{aligned}$$

となる自然数 (a, b, c) の組を *abc-triple* と呼ぶ。比較的高い質をもつ *abc-triple* をコンピュータによって列挙することは、この予想に関する洞察を深めるためにも重要である。実際に、これまで $c < 10^5$ では予想が正しいことが計算機実験によって確かめられているが、そこで使われたアルゴリズムは計算量が大きいため、より大きな整数について検証することは困難である。

本論文では、高い質を持つ *abc-triple* を高速に列挙するアルゴリズムを提案し、 $c < 2^{30}$ で予想 A が正しいことを検証したので報告する。

2. 列挙アルゴリズム

$c < n$ について *abc-triple* を素朴に列挙する方法を図 1 に示す。 $\varphi(x)$ および $\text{rad}(x)$ を計算するためには x を素因数分解する程度の計算量が必要であり、 $\sqrt{x}$ まで

の試割で実装すれば、その計算量は $O(\sqrt{x})$ となる。 $L(x)$ の値を求めるためには φ を $\log x$ 回程度計算する必要があるため、その計算量は $O(\sqrt{x} \log x)$ である。また、Euclid の互除法を用いれば $\gcd(a, c)$ は $O(\log c)$ で計算することができる。

したがって素朴な方法で $c < n$ となる *abc-triple* を列挙するための計算量は

$$O(n^2(\sqrt{n} \log n + \log n)) = O(n^{2.5} \log n)$$

となる。しかし、後述する参照テーブル作成と $L(\text{rad}(x))$ によるソートを用いることで大幅に計算量を削減することが可能である。

```
for (int c = 3; c < n; c++) {
    for (int a = 1; a <= c / 2; a++) {
        if (gcd(a, c) > 1) continue;
        int b = c - a;
        int num = L(c);
        int den = L(rad(a)) + L(rad(b)) + L(rad(c));
        double q = (double)num / den;
        if (q >= 1 + EPS) print(a, b, c);
    }
}
```

図 1. 素朴な実装

2.1 参照テーブル

$L(x)$ および $L(\text{rad}(x))$ について、あらかじめテーブルを作成しておき、それを参照するようにすれば、 $O(n)$ の記憶領域が必要になるが計算量を抑えることができる。

$\varphi(x)$ および $\text{rad}(x)$ は x を素因数分解する程度の計算量が必要であるが、 $0 < x < n$ について $\varphi(x)$ および $\text{rad}(x)$ の値を一度に求める場合には、Eratóstenes sieve を用いて効率的に値を求めることができる。図 2 に $0 < x < n$ について $\varphi(x)$ および $\text{rad}(x)$ の値を配列 $\text{phi}[x]$ および $\text{rad}[x]$ に格納するコードを示す。

図 2 のコードでは 8-9 行目が最も頻繁に実行されることになるが、ここは変数 i が素数のときだけ実行されるため、実行回数は高々

$$\sum_{\substack{p \leq n \\ p: \text{prime}}} \frac{n}{p} = O(n \log \log n)$$

となる。

また、図 3 に示すようなコードによって $0 < x < n$ について $L(x)$ および $L(\text{rad}(x))$ の値を配列 $L[x]$ および $Lrad[x]$ に格納することができる。この処理に必要な計

計算量は $O(n)$ である。

参照テーブルの作成によって $L(x)$ および $L(\text{rad}(x))$ が $O(1)$ で参照できるようになるため、全体の計算量を $O(n^2(1 + \log n)) = O(n^2 \log n)$ に落とすことができる。

```
for(int i = 1; i < n; i++) {
    phi[i] = i;
    rad[i] = 1;
}
for(int i = 2; i < n; i++) {
    if (phi[i] == i) {
        for (int j = i; j < n; j += i) {
            phi[j] = phi[j] - phi[j] / i;
            rad[j] = rad[j] * i;
        }
    }
}
```

図 2. $\phi(x)$ と $\text{rad}(x)$ のテーブル作成

```
L[1] = 0;
for(int i = 2; i < n; i++) {
    if (i % 2 == 0) {
        L[i] = L[phi[i]] + 1;
    } else {
        L[i] = L[phi[i]];
    }
}
Lrad[1] = 0;
for(int i = 2; i < n; i++) {
    Lrad[i] = L[rad[i]];
}
```

図 3. $L(x)$ と $L(\text{rad}(x))$ のテーブル作成

2.2 $L(\text{rad}(x))$ によるソート

自然数 x に対して $d(x)$ を次のように定義する。

$$d(x) = \left\lfloor \frac{L(x)}{1 + \varepsilon} \right\rfloor - L(\text{rad}(x))$$

c を固定して abc -triple を見つけるためには、

$$L(\text{rad}(a)) \leq d(c)$$

となるような a だけを検査すればよい。なぜなら $L(\text{rad}(a)) > d(c)$ であれば

$$\begin{aligned} & L(\text{rad}(abc)) \\ &= L(\text{rad}(a)) + L(\text{rad}(c - a)) + L(\text{rad}(c)) \\ &> L(\text{rad}(a)) + L(\text{rad}(c)) + 1 \\ &> \lfloor L(c)/(1 + \varepsilon) \rfloor + 1 > L(c)/(1 + \varepsilon) \end{aligned}$$

であるから $L(c) < (1 + \varepsilon)L(\text{rad}(abc))$ となるからである。

そこで n 以下の自然数の集合 A を次のように分割する。

$$A_k = \{x \in A \mid L(\text{rad}(x)) = k\} \quad (k = 0, 1, \dots, \lfloor \log_2 n \rfloor)$$

この分割に必要な計算量は $O(n)$ である。集合 A_k がリスト $A[k]$ に与えられているとき、 abc -triple を列挙するアルゴリズムは図 4 のようになる。ただし $A[k]$ は昇順にソートされているものとする。

```
for (int c = 3; c < n; c++) {
    int d = (int) (L[c]/(1+EPS)) - Lrad[c];
    if (d < 0) break;
    for (int k = 0; k <= d; k++) {
        for (int a: A[k]) {
            if (a > c / 2) break;
            if (gcd(a, c) > 1) continue;
            int b = c - a;
            if (d >= k + Lrad[b])
                print(a, b, c);
        }
    }
}
```

図 4. 高速列挙アルゴリズム

4. 計算量

提案したアルゴリズムの計算量について考察する。

いま、 n 以下の自然数の集合を A として

$$D_n(k) = |\{x \in A \mid L(x) - L(\text{rad}(x)) = k\}|$$

$$R_n(k) = |\{x \in A \mid L(\text{rad}(x)) < k\}|$$

とし、

$$T(n) = \sum_k D_n(k) R_n(k)$$

とすると、図 4 のアルゴリズムの 6 行目は最大でも $T(n)$ 回しか実行されないため、本アルゴリズムの計算量は

$$O(T(n) \log n)$$

である。

$D_n(k)$ および $R_n(k)$ について、 k の小さい範囲では

$$R_n(0) = 0$$

$$R_n(1) = 1$$

$$R_n(2) = \left\lfloor \frac{\log n}{\log 2} \right\rfloor + \left\lfloor \frac{\log n}{\log 3} \right\rfloor + 1$$

$$\begin{aligned}
 D_n(0) &= \sum_{k=1}^{\sqrt{n}} \mu(k) \left\lfloor \frac{n}{k^2} \right\rfloor \\
 &= \sum_{k=1}^{\sqrt{n}} \mu(d) \left(\frac{n}{k^2} + O(1) \right) \\
 &= n \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\mu(d)}{k^2} + O(\sqrt{n}) \\
 &= \frac{n}{\zeta(2)} + O(\sqrt{n}) = \frac{6n}{\pi^2} + O(\sqrt{n})
 \end{aligned}$$

および

$$D_n(1) = \frac{3n}{2\pi^2} + O(\sqrt{n})$$

などが得られているが、一般の k についてはわかっていない。 $T(n)$ の良い評価 (近似式) は得られていないため、ここでは計算機実験によって計算量を評価する。

表 1 に計算機を使用して求めた $n = 100000$ の場合の $D_n(k)$ と $R_n(k)$ の値を示す。

自然数 a, b, c のうち c を固定したとき、ほとんどの場合ごくわずかの a について計算すればよいことがわかる。 $D_n(0) + D_n(1)$ で n の 76% を占めるが、これは 76% の c については検査を省くか $a=1$ のときに abc -triple になるかどうかだけ検査すればよいことを示している。

表 1. $D(k)$ および $R(k)$ ($n=10^5$)

k	$D_n(k)$	$R_n(k)$
0	60794	0
1	15199	1
2	10708	27
3	5537	113
4	3650	263
5	1789	653
6	1180	1216
7	566	2341
8	318	4257
9	143	7447
10	64	12739
11	31	21381
12	14	34883
13	4	54717
14	2	80087
15	1	96927
16	0	99945
17	0	100000

計算機を用いて $10 \leq k \leq 27$ の範囲で $n=2^k$ のときの $T(n)$ を計算した。その結果を両対数グラフにプロットしたものを図 5 に示す。比較のため、 $f_1(n)=c_1 n^{1.5}$ と $f_2(n)=c_2 n$ を破線でプロットしてある。ここで c_1 と c_2 は $T(2^{10})=f_1(2^{10})=f_2(2^{10})$ となるように調整してある。両対数グラフにおける $T(n)$ の傾きを最小二乗法により求めたところ、

$$T(n) = O(n^{1.39})$$

が得られた。

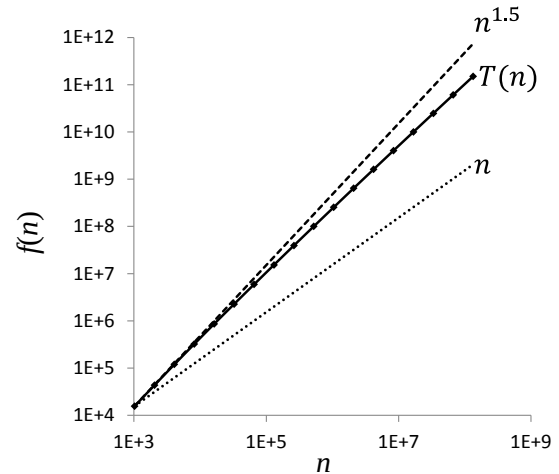


図 5. n vs. $T(n)$ (両対数グラフ)

5. 予想の検証

予想 A の検証を行うために、C 言語でプログラムを記述し gcc 4.9.3 を用いてコンパイルした。実行環境は Windows 7, CPU は Core i7(3.2GHz), メモリは 16GB である。 $\epsilon=0.25$, $n=2^{30}$ として実行したところ、256 秒で $q(a,b,c) \geq 1.25$ となる 1339 組の abc -triple が発見できた。発見した abc -triple のうち $q(a,b,c) \geq 1.5$ となるものを表 2-1 および 2-2 に示す。

また $c < 2^{30}$ の範囲で $q(a,b,c) \geq 2$ となる abc -triple は存在しないことが確認できた。

6. おわりに

Euler 関数導出来対数的関数における abc -triple を高速に列挙するアルゴリズムを提案した。その計算量は実験によっておおむね $O(n^{1.4} \log n)$ 程度になることが確認できた。また本アルゴリズムを用いて予想 A が $c < 2^{30}$ の範囲で成立することを確認できた。

表 2-1. 質の高い abc -triple ($c < 10^9$)

a	b	c	$q(a,b,c)$
11^2	$3^2 \cdot 5^6 \cdot 7^3$	$2^{21} \cdot 23$	1.923
7^3	3^{10}	$2^{11} \cdot 29$	1.875
$3^5 \cdot 7$	$5^6 \cdot 67$	2^{20}	1.818
2	$3^{10} \cdot 109$	23^5	1.818
$3^9 \cdot 29$	$7^6 \cdot 43^2$	$2^{24} \cdot 13$	1.800
3	5^3	2^7	1.750
$3^2 \cdot 19^3$	5^{11}	$2^{17} \cdot 373$	1.714
$3^{11} \cdot 5^4$	$7 \cdot 11^6 \cdot 43$	$2^{17} \cdot 17^3$	1.706
11^2	$3^9 \cdot 13$	$2^{11} \cdot 5^3$	1.700
1	$2 \cdot 3^7$	$5^4 \cdot 7$	1.667
7	181^2	2^{15}	1.667
$3^6 \cdot 7$	$59^3 \cdot 1307$	2^{28}	1.647
$3^4 \cdot 43$	$5^3 \cdot 7^2 \cdot 37^2$	2^{23}	1.643
1	$3 \cdot 5^5 \cdot 47^2$	$2^{18} \cdot 79$	1.643
$3^4 \cdot 23^2$	31^5	$2^{15} \cdot 5^3 \cdot 7$	1.643
$3^{13} \cdot 19$	$7 \cdot 53^4$	$2^{10} \cdot 17^4$	1.625
$5^2 \cdot 23 \cdot 67$	$3^3 \cdot 7^6 \cdot 13^2$	2^{29}	1.611
13	3^5	2^8	1.600
3	$13 \cdot 71^2$	2^{16}	1.600
3^4	$7^3 \cdot 19^2$	$2^{10} \cdot 11^2$	1.600
5	3^{11}	$2^{10} \cdot 173$	1.600
19^3	$2 \cdot 3^4 \cdot 5 \cdot 31^3$	17^6	1.600
1	$3^9 \cdot 7^2 \cdot 197$	$2^7 \cdot 5^7 \cdot 19$	1.600
1103	$3 \cdot 5^3 \cdot 71^3$	2^{27}	1.588
3^5	$5 \cdot 19^2$	2^{11}	1.571
$5^2 \cdot 73$	$3^{10} \cdot 71$	2^{22}	1.571
5^2	$3^7 \cdot 13^3$	$2^8 \cdot 137^2$	1.571
$7 \cdot 11^5$	$3^9 \cdot 17^2$	$2^{19} \cdot 13$	1.571
$3^2 \cdot 263$	7^8	$2^{19} \cdot 11$	1.571
7^2	$3^9 \cdot 293$	$2^{19} \cdot 11$	1.571
$3^2 \cdot 5^4 \cdot 7$	53^4	$2^{16} \cdot 11^2$	1.571
$3 \cdot 5^5$	11^8	$2^{16} \cdot 3271$	1.563
1	$3^{16} \cdot 7$	$2^3 \cdot 11 \cdot 23 \cdot 53^3$	1.563
7^2	$3^3 \cdot 5 \cdot 11^2$	2^{14}	1.556
$2^6 \cdot 3$	$7^5 \cdot 211^2$	$17^6 \cdot 31$	1.556
$3 \cdot 11^3 \cdot 37 \cdot 43$	13^8	$2^{24} \cdot 7^2$	1.556
$3^6 \cdot 5^2$	$7^4 \cdot 47$	2^{17}	1.545
67^2	$3^{10} \cdot 31$	$2^{18} \cdot 7$	1.538
$7^3 \cdot 43^2$	$3^{11} \cdot 19$	$2^8 \cdot 5^6$	1.538
1	$2^4 \cdot 3^7 \cdot 547$	$5^8 \cdot 7^2$	1.538

表 2-2. 質の高い abc -triple ($c < 10^9$)

a	b	C	$q(a,b,c)$
5	$3^6 \cdot 37 \cdot 311$	2^{23}	1.533
5^9	$3 \cdot 11^2 \cdot 13^4$	$2^{18} \cdot 47$	1.533
5^9	$3^2 \cdot 7 \cdot 61^3$	$2^{19} \cdot 31$	1.533
$41^2 \cdot 197$	3^{15}	$2^{21} \cdot 7$	1.533
$3^3 \cdot 5^4$	$19^4 \cdot 197$	$2^{19} \cdot 7^2$	1.533
5^7	$11^5 \cdot 13^2$	$2^{15} \cdot 7^2 \cdot 17$	1.533
3^{10}	$7^8 \cdot 23$	$2^9 \cdot 509^2$	1.533
$3^4 \cdot 199$	11^8	$2^3 \cdot 5^7 \cdot 7^3$	1.533
$11 \cdot 13^2 \cdot 71$	$3^7 \cdot 5^4 \cdot 7^2$	2^{26}	1.529
31^2	$3^5 \cdot 5^9$	$2^5 \cdot 23^4 \cdot 53$	1.529
1	$3^2 \cdot 7$	2^6	1.500
13^2	7^3	2^9	1.500
7^6	$3^2 \cdot 5 \cdot 13^2 \cdot 19$	2^{18}	1.500
$5^5 \cdot 23$	$3^8 \cdot 29$	2^{18}	1.500
1	$3^3 \cdot 7 \cdot 19 \cdot 73$	2^{18}	1.500
29^3	$2^{17} \cdot 3$	$5 \cdot 17^4$	1.500
1	$11^4 \cdot 47$	$2^{15} \cdot 3 \cdot 7$	1.500
1	$2^{11} \cdot 3^3 \cdot 19$	$5^4 \cdot 41^2$	1.500
$7 \cdot 13$	$2 \cdot 3^{11} \cdot 5$	11^6	1.500
3^3	$5^3 \cdot 19 \cdot 883$	2^{21}	1.500
$3^4 \cdot 37^2 \cdot 43$	229^3	2^{24}	1.500
$5^6 \cdot 7$	79^4	$2^{18} \cdot 149$	1.500
$3^8 \cdot 5^2$	7^9	$2^{14} \cdot 2473$	1.500
2^2	$3^{15} \cdot 5$	$17^4 \cdot 859$	1.500
$3^9 \cdot 163$	$2^3 \cdot 11^6 \cdot 17$	5^{12}	1.500
$17 \cdot 31$	$3^{15} \cdot 19$	$2^{22} \cdot 5 \cdot 13$	1.500
$5^3 \cdot 127^3$	$3^8 \cdot 37^3$	$2^{17} \cdot 67^2$	1.500
$2^{14} \cdot 5^2 \cdot 19^2$	3^{18}	$13 \cdot 17^5 \cdot 29$	1.500

参考文献

- [1] Murányi, A., “Az Euler-félé φ -függvény iterálásával nyert számelméleti függvényről”, *Mat. Lapok*, **11**, pp.47-67, 1960.
- [2] Pillai, S., “On some functions connected with $\phi(n)$ ”, *Bull. Amer. Soc.*, **35**, pp.832-836, 1929.
- [3] Pillai, S., “On a function connected with $\phi(n)$ ”, *Bull. Amer. Soc.*, **35**, pp.837-841, 1929.
- [4] Shapiro, H., “An arithmetic function arising from the φ function”, *Amer. Math. Monthly*, **50**, pp.18-30, 1943.
- [5] Shapiro, H., *Introduction to the Theory of Numbers*, John Wiley & Sons, New York., pp.77-78, 1983.
- [6] Yamashita, M., Private communication between Yamashita, M. and Uchiyama, S. 1977.
- [7] Yamashita, M. and Miyata, D. “On the *abc* conjecture for a derived logarithmic function of the Euler function”, *Proc. of 1st International Conference on Computer Application Technologies 2015 (CD-ROM)*, Matue, Japan, 2015.
- [8] 宮田大輔・山下倫範, “Note on derived logarithmic functions of Euler's functions”, 日本数学会 2004 年度秋季総合分科会応用数学分科会講演アブストラクト, pp.97-100, 2004.

著者紹介

宮田大輔

1991 年慶應義塾大学理工学部電気工学科卒。1997 年同大学大学院理工学研究科博士後期課程(計算機科学専攻)単位取得退学。修士(工学)。立正大学地球環境科学部助手などを経て、現在、千葉商科大学商経学部教授。国際 ICT 利用研究学会理事。

山下倫範

上智大学理工学部数学科卒。同大学大学院理工学研究科博士後期課程(数学専攻)満期退学。現在、立正大学地球環境科学部教授。同大学情報環境基盤センター長。国際 ICT 利用研究学会会長。

かなり違うルールで指されていたという結果を導く。また、そのルールで対局すれば、大将棋の十分な面白さも味わうことができるのである。このことは、同系統の大型将棋である摩訶大将棋を日常的に楽しんでいゝる我々の研究グループにとっては、予想どおりの結果であった。

いくつかの古文書では、大将棋は中将棋のルールに基づくと考えてルール構築しているものがあるが、これは中将棋が大将棋よりも先に成立していたという考え方からの帰結である。摩訶大将棋が大将棋よりも先に成立したのだとすれば、大将棋は摩訶大将棋のルールに倣うと考えるのが自然である。このように、大将棋の復刻は、大型将棋の成立順に大きく依存する。まず、次節で、大型将棋の成立順についてまとめておきたい。

2. 摩訶大将棋から大将棋へ

大将棋は摩訶大将棋が成立した後で作られた将棋であるという説が提起されている[3]。本稿では、この立場で議論を進める。ただ、一部の研究者の間では、大将棋が先にあり、摩訶大将棋が後で成立したとする考えもある。これは単にゲームが複雑化の方向へと進化するという思いに基づいており、具体的な根拠を挙げている研究者はいない。逆に、摩訶大将棋が先で、大将棋は後で成立したとする根拠は数多く提出されている。詳細は文献[3]に譲るとし、ここでは、その主要な根拠を列挙するに留める。

1) 当時の慣習からすれば、狛犬と師子はペアで導入されるのが自然である。摩訶大将棋には、師子と狛犬の両方が揃っているが、大将棋には師子だけしか含まれていない。

2) 摩訶大将棋には、十二支に相当する駒のほぼすべてが含まれる。一方、大将棋には十二支の駒の一部しか含まれていない。

以上の2点から、大将棋は摩訶大将棋から駒を落として作られた将棋と考える。つまり、大将棋が作られた際、摩訶大将棋で揃っていた狛犬と師子のペアのうち狛犬が落とされたと見る。また、ほぼ揃っていた十二支の駒も半数ほどが落とされたのである。

一方、この逆の過程は考えにくい。つまり、先に大将棋があったとしたとき、まず大将棋に師子だけが導入され、ついで摩訶大将棋が作られた際に狛犬が追加されてペアが完成したというシナリオである。同じく十二支の駒についても、まず大将棋でその一部が導入

され、摩訶大将棋になったとき残りが追加されて、十二支が揃った。これは考えにくいであろう。

また、ペアの霊獣である麒麟と鳳凰の成り先を検討することからも、摩訶大将棋が先に成立したことが窺える。成り先は各将棋で次のとおりである。

摩訶大将棋：麒麟は師子に成る。鳳凰は狛犬に成る。

大将棋：麒麟は師子に成る。鳳凰は奔王に成る。麒麟と鳳凰、師子と狛犬はともにペアの駒であり、ペア同士は類似した機能を持つ。摩訶大将棋では、2組のペアがペア同士で成り元と成り先に対応している。大将棋では、将棋成立時に狛犬が落とされた結果、この対応が崩れ、麒麟と鳳凰の成りが、師子と奔王というアンバランスな設定となったのである。

図1において、摩訶大将棋の赤色の駒は大将棋を作るにあたって落とされた駒を示している。大将棋では29種類、敵味方130枚の駒を使う。したがって、摩訶大将棋(50種類、192枚)から21種類、62枚の駒が取り除かれたことになる。落とされた駒の中に、狛犬と十二支の6駒が含まれている。

大将棋から駒が追加されて摩訶大将棋ができたのではないことは、駒の差分に士将、瓦将、老鼠のような弱い駒が含まれることから類推できる。弱い駒を追加することで、将棋が大型化された例は世界の大型将棋類にもないのである。スペインやドイツには大型チェス、ペルシアには大型シャトランジの存在が知られている。これらの大型将棋類は、小さな将棋が大型化したものであるが、大型化の際には、いずれの場合も、追加される駒はより強力な駒か同等の強さの駒である。大型化は将棋を面白くするための試みであって、敢えて弱い駒を追加しても意味がないのである。

3. 仲人の動き

象戯圖の中将棋の箇所には、師子、鳳凰、角鷹、飛鷲、仲人に関する注釈が書かれている。まず、仲人の項に注目しよう。

A: 不行傍立聖目内 或説云居喫師子許也
鳳凰仲人等行度如大象戯

この記述は、単に仲人の動きを説明したものだと見るべきではない。中将棋には、摩訶大将棋や大大将棋にも見られない、動きの複雑な駒が多数含まれており、単純な動きである仲人をわざわざ取り上げるのは不自然なのである。中将棋の箇所の注釈は、従来のルール

からの変更点だけを列挙したものと考えるべきで、象戯圖の著者には、全部の駒の動きを説明しようという意図はなかったものと思われる。

上記の記述Aから導かれる解読過程は別文献[4]に譲るとして、結論だけを言えば、仲人の動きは、大将棋と中将棋で異なるというものである。記述Aでは、仲人は「不行傍」つまり、横（傍＝かたわら）には行けないと書かれているが、これは、仲人は横に動けないということを説明したのではなく、横に動くというルールもあるので注意せよということを書いたのである。図3に中将棋と大将棋の仲人の動きを示した。●印は動くことのできる位置である。大将棋の仲人が前後だけでなく左右にも動くことを示している。

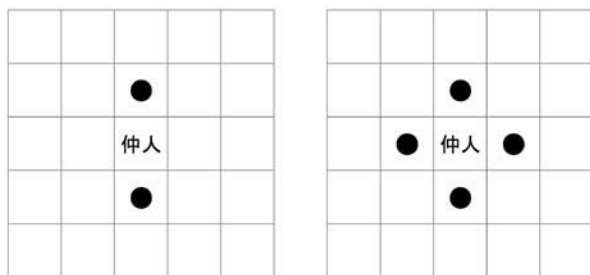


図3. 仲人の動き：左) 中将棋、右) 大将棋の場合

4. 鳳凰と麒麟の動き

3節では、大将棋の仲人と中将棋の仲人の動きが異なることを述べた。これと同じ考え方を、大将棋の鳳凰と中将棋の鳳凰にも適用することができる。記述Aの「鳳凰仲人等行度如大象戯」の箇所は、ある説によると鳳凰や仲人の動きは中将棋と大将棋で同じであると記している。逆に言えば、通常は、中将棋と大将棋で動きが違うのである。つまり、仲人と同じく、鳳凰の動きも中将棋で変更されたということである。どのように変更されたかは、同じ中将棋の箇所、鳳凰の項の次の記述から導くことができる。

B： 鳳凰飛角 不如飛竜

飛龍は摩訶大将棋と大将棋にある踊り駒で、中将棋にはない駒である。動きが周知の飛龍を取り上げ、飛龍の動きとの比較で鳳凰の動きが説明されている。図4に、中将棋の鳳凰の動きと飛龍の動きを示した。●印は移動することのできる位置、○印は踊ることのできる位置を示している。つまり、○印の位置にある敵駒を飛び越えたときに取ることができる。

中将棋では、鳳凰は斜め2目の位置に直接移動でき

る駒である。その途中に駒があっても、2目の位置まで飛ぶことができる。これが「鳳凰飛角」の意味である。ただし、中将棋の鳳凰は飛龍と同じような「飛角」ではない。飛龍の場合は、飛ぶだけでなく、飛び越した駒を取ることができる（図4の左右の図を比較されたい）。これが、「不如飛竜」の意味するところである。着地点は同じであるものの、飛龍は踊り駒、中将棋の鳳凰は踊ることはできず、単に越すだけの駒である。だから、注意せよと記述Bでは言っているのである。

ところで、本節の冒頭で述べたとおり、中将棋と大将棋の鳳凰は動きが違う。しかし、どのように違うかを象戯圖は明記しなかった。ただし、よく読めばその答えを導き出すことが可能である。「不如飛竜」とわざわざ書いたのは、中将棋の鳳凰は大将棋の鳳凰と違い、踊り駒ではないということに対する注意喚起なのである。これは、記述Aの「不行傍」が書かれたのと全く同じ経緯である。以上から結論できることは、大将棋の鳳凰は飛龍と同じ動き、つまり、踊り駒である。図5の左図に、大将棋の鳳凰の動きを示した。象戯圖の原本が書かれた頃には、中将棋の鳳凰も踊り駒として指されていたことがあったわけである。

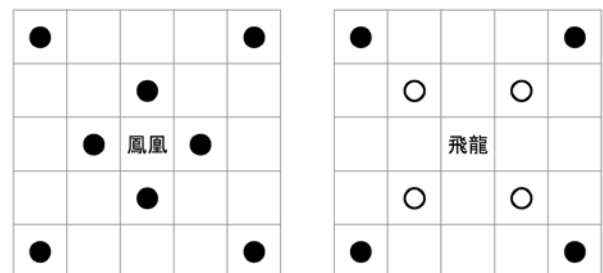


図4. 左) 中将棋の鳳凰の動き、右) 飛龍の動き

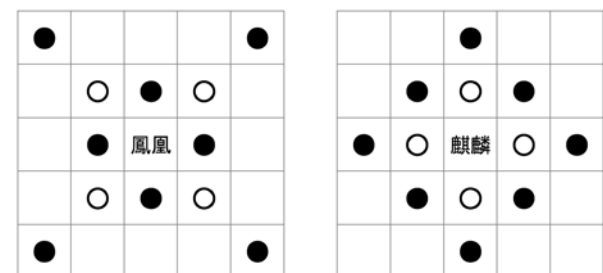


図5. 大将棋の鳳凰の動き（左）と麒麟の動き（右）

大将棋では、鳳凰と飛龍の両方が斜め方向への2目踊り駒である。同じように、麒麟と猛牛は、前後左右に2目踊る駒と考えてよい。この点は、記述Aで「鳳凰仲人等」の「等」の言葉で表現している。鳳凰等は、鳳凰と麒麟の2駒を意味していると捉えるべきである

う。象戯圖には明記されていないが、大将棋では、麒麟も踊り駒だったと類推できる。鳳凰と麒麟がペアの霊獣である以上、麒麟と鳳凰が同じ機能の駒であることは自然である。図 5 の右図に大将棋の麒麟の動きを示した。通説では、大将棋の鳳凰・麒麟と中将棋の鳳凰・麒麟は同じ動きだとされているが、これは、上述した中将棋成立時での動きの変更を見過ごしているのが原因である。大将棋の麒麟と鳳凰が踊れるか踊れないかは、対局への影響が非常に大きい。摩訶大将棋や大将棋が対局されなかっただろうという通念は、このような間違ったルールが、江戸時代以降ずっと引き継がれてきたことによる。

なお、摩訶大将棋と大将棋においては、桂馬も踊り駒である。現代将棋の桂馬とは、動きも機能も違うので注意されたい。図 6 に、大将棋と現代将棋の桂馬の動きを対比させた。大将棋の桂馬の動きは、象戯圖から読み取ることができる。

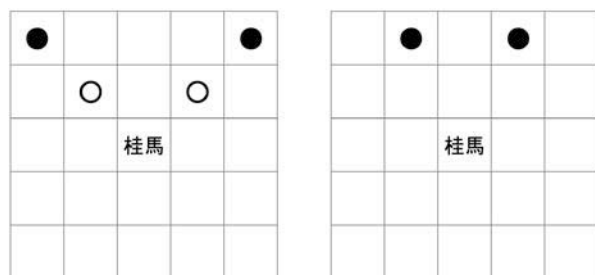


図 6. 左) 大将棋の桂馬の動き、右) 現代将棋の場合

5. 大将棋の成り駒

象戯圖の大将棋の箇所には、次のような成りに関する記述がある。大将棋に関する注釈はこれのみであり、中将棋の箇所にある注釈よりもずっと少ない。大将棋成立にあたっての変更点が少なかったことを物語っていると言えよう。

C : 大象戯成馬 以上三枚
 酔象成太子 鳳凰成奔王 麒麟成師子

さて、記述 C をそのまま信じる限り、大将棋の成り駒は酔象、麒麟、鳳凰の 3 枚だけであって、この 3 枚以外の駒はすべて不成りだと考えねばならない。歩兵も成らないのである。しかし、それでは、他の将棋類のルールから考えても不自然であるし、そもそも将棋自体の面白味が減じるのは明らかである。

象戯圖を種本とした江戸時代の古文書も上記の記述 C の解釈には悩んだようで、文面どおりの解釈 (3 枚

以外はすべて不成り)をとる古文書はない。たとえば、大象棋絹篩 (1821 年) では、中将棋にある駒は中将棋の成りのとおりだとしている。しかし、この考えの根底には、将棋は小さな将棋から順に大きな将棋へと発展していったとする思い込みがあって、より小さい将棋 (= 中将棋) をルールの基準としたことからの帰結なのである。2 節で述べたとおり、大型将棋の成立順が、摩訶大将棋から大将棋、大将棋から中将棋であることから考えて、大象棋絹篩の解説は間違っているとするのが妥当であろう。

本稿では、大将棋の成り駒を規定するにあたり、次の仮説を提起したい。

仮説：大将棋の成りは 3 枚だけであるという記述 C には、写本の段階で些細な間違いがあったと考える。中将棋の箇所の注釈と同じく、大将棋に関する記述 C も、注意すべき点だけを明記した注釈とみなす。つまり、「大将棋の成りは 3 枚だけである」と読むのではなく、「大将棋の成りのうち注意すべき成りは 3 枚だけ」と解釈する。したがって、記述 C にある 3 枚 (酔象・鳳凰・麒麟) 以外の駒の成りは、従来の成りのルールに従うものとする。大将棋は、先に成立していた摩訶大将棋を踏襲するため、成りのルールは摩訶大将棋の成りと同じということになる。

上記の仮説を、摩訶大将棋の成り駒と比べ合わせたとき矛盾が何も生じないことから、仮説は正しいものと考えている。摩訶大将棋から大将棋が作られた際、成りについては、次の 2 点が変更されている。

1) 鳳凰の成り：狛犬から奔王に変更

2) 酔象の成り：王子から太子に変更

1) については、鳳凰の成りは、本来は狛犬であるべきところが、大将棋では狛犬が落とされたため、その代替の成り先として奔王が選ばれたということである。2) については、酔象の成り駒の名称が王子から太子に変更されたというだけである。言葉の使い方が時代とともに変わったということであろう。なお、摩訶大将棋と大将棋で、麒麟の成りはともに師子であり、変更されてはいない。麒麟の成りについては、大大将棋の麒麟の成りが大龍であることに注意しなければならない。記述 C では、この点を問題にしたものと思われる。大将棋が作られたときには、すでに大大将棋ができていたのであろう。記述 C は、麒麟の成り先が摩訶大将棋の麒麟のように師子に成るのか、それとも、大大将棋の麒麟のように大龍に成るのかを明確にするため

だったと思われる。

以上の考え方に基づけば、大将棋の成り駒は図 7 のとおりである。図 2 の初期配置と対応づけて成り駒が示されている。酔象と鳳凰を除き、成り駒はすべて、摩訶大将棋のルールに倣う。奔駒（成り駒になれば、歩くことができた方向に走ることができる）が、大将棋の成り駒としても使用されているという点が大きな特徴である。大型将棋の対局において、現実的な時間内で勝敗を決するためには、多数の走り駒は必須であると言えよう。成りのタイミングについても、摩訶大将棋のルールに倣うのが最も自然である。したがって、成りが金である走り駒（飛車・角行・堅行・横行・反車・香車）と踊り駒（飛龍・猛牛・桂馬）は、敵陣で駒を取ったときに成るものとする。不成りの駒は、奔王・龍王・龍馬・師子・玉将の 5 駒である。なお、摩訶大将棋では、玉将は自在王に成るが、大将棋では、不成りとした。

				奔人						奔人					
金	金	金	金	金	金	金	金	金	金	金	金	金	金	金	金
金	金	金	金	金	不成	不成	不成	不成	不成	金	金	金	金	金	金
	金		奔猪		奔狼	師子	不成	奔王	奔狼		奔猪		金		
金		奔猫		奔豹		奔虎	太子	奔虎		奔豹		奔猫		金	
金	金	奔石	奔鉄	奔銅	奔銀	奔金	不成	奔金	奔銀	奔銅	奔鉄	奔石	金	金	

図 7. 大将棋の成り駒

6. 師子の居喰い

師子は摩訶大将棋、大将棋、中将棋のいずれにも含まれる。中将棋が遊戯自体として後世まで伝わったため、師子の動きは古文書を引くまでもなく明らかである。師子は玉将の動きを 2 回続けて動くことのできる駒である。摩訶大将棋の鉤行（飛車の動きを 2 回続けてできる）や摩羯（角行の動きを 2 回続けてできる）に似た駒であるが、鉤行と摩羯が 1 回目の動きで駒を取った場合、2 回目は動けなくなるのに対し、師子は 1 回目の動きで駒を取った場合も 2 回目の動きを続けることができる。つまり、師子は 2 目の踊り駒であり、1 手で 2 駒を取ることができるのである。摩訶大将棋の狛犬とは異なり、方向を違えて踊ることができるため、象戯圖では、狛犬を正行度の踊り、師子を不正行

度の踊りと記述している。象戯圖の摩訶大将棋口伝の箇所に、師子の動きは次のように引用されている。

D: 狛犬 四方四角踊三目・・(中略)・・
如師子但師子踊二目不正行度
狛犬踊三目八方正行度・・(後略)

すでに忘れ去られつつあった摩訶大将棋の狛犬の動きを、当時誰もが知っていた師子の動きと比較することで解説しているのである。象戯圖には、師子の動きに関する説明はないが、居喰いという語句が象戯圖の中将棋の箇所に、次のように現れている。居喰いは居喰いの意味である。

E: 師子居喰 一枚二枚可隨時

ただ、居喰いがどのような機能なのかの説明はない。このことから、居喰いが、当時、周知のルールだったということがわかる。このように、上記の記述 D と記述 E から読み取れるのは、中将棋の師子が居喰いの機能を持っていたということだけである。

ところで、不正行度の踊り駒である師子は、隣接する敵駒を取ったあと、再び元の位置に戻ることが可能であり、この動きで一枚取りの居喰い（駒を動かさずに隣接する敵駒を取る）を実現することができる。ただ、記述 D だけからでは、師子の駒を移動させることなく一手を使えたかどうかは不明で、居喰いが可能だったかどうかはわからない。居喰いは、記述 E に居喰いという語句があることで確認することができるわけである。記述 E では、さらに、二枚取りの居喰いがあったことを伝えている。伝承された中将棋の師子、つまり、江戸時代以降の師子には居喰いの二枚取りはないので、象戯圖が書かれて以降（遅くとも 1443 年以降）、二枚取りの居喰いルールはなくなったのであろう。

象戯圖の記述からわかることは、居喰いが、摩訶大将棋、大将棋、中将棋で使われていたルールだったということだけである。二枚取りの居喰いが、当時の中将棋から新しく導入されたルールなのか、摩訶大将棋や大将棋のルールでもあったのかは不明である。我々の研究グループでは、摩訶大将棋の師子は居喰いの二枚取り可能というルールで対局を続けており、大将棋においてもこれに倣うこととする。摩訶大将棋や大将棋では、師子の機能の細かな差が将棋の対局観までを変えることはない。師子と同等に強力な駒がいくつも存在するため、その影響は小さいのである。

7. まとめ

大将棋のルールに関する記述は古文書にはほとんど見られない。したがって、大将棋の復刻を古文書だけで行うのは不可能である。大将棋の復刻が実現したのは、最近になって大型将棋の成立順が明らかにされたことが大きい。大将棋が摩訶大将棋よりも後で成立したということから、先行する摩訶大将棋のルールを大将棋でも踏襲することができるからである。これによる大きな成果は、不明であった大将棋の成り駒を解明できたことである。この際、象戯圖の大将棋の箇所記述に、些細な写本ミスがあったものと仮定して復刻を進めたが、この点については、賛否が分かれるかも知れない。ただ、象戯圖の記述には、変更された点のみを重点的に書くという特徴がある。中将棋の箇所もそうした記載となっており、その特徴を考えに入れた結果として、これまで解明されずにいた仲人や鳳凰、麒麟の動きが明らかになったわけである。大将棋の箇所においても同様の考え方を適用するのはさほど無謀ではないと考えた。「大将棋の成りは以下の 3 枚」をそのままに読めば、残りの駒は全部不成りという不自然な結果となる。それよりも、「大将棋の成りは以下の 3 枚に注意」と解釈すれば、成り駒の問題は矛盾なく解決するのである。

象戯圖に基づく復刻により新しく得られた大将棋のルールを以下に一覧する。

1) 駒の動きについて

- 仲人：前後左右に 1 目歩く (図 3 の右図)。
- 鳳凰：ななめ 4 方向に 2 目踊る。前後左右に 1 目歩く (図 5 の左図)。
- 麒麟：前後左右に 2 目踊る。ななめ 4 方向に 1 目歩く (図 5 の右図)。
- 桂馬：ななめ前 2 方向に 2 目踊る (図 6)。
- 師子：居喰いで 2 駒を同時に取ることができる。上記 5 駒以外の駒については、通説どおりでよいと思われる。

2) 成り駒について (図 7)

- [a] 奔王・龍王・龍馬・師子・玉将は不成り。
- [b] 麒麟：師子に成る。[c] 鳳凰：奔王に成る。
- [d] 醉象：太子に成る。[e] 歩兵：金に成る。
- [f] 歩き駒 (金将・銀将・銅将・鉄将・石将・仲人・盲虎・猛豹・悪狼・嚙猪・猫又)：奔駒に成る (歩くことができた方向に走ることができる)。
- [g] 走り駒 (飛車・角行・堅行・横行・反車・香車)：金に成る。

[h] 踊り駒 (飛龍・猛牛・桂馬)：金に成る。

3) 成りのタイミング

摩訶大将棋の成りのタイミングと同じである。上記 2) の [b] ~ [f] の成りについては、敵陣自陣を問わず、駒を取ったときに成る。[g] と [h] の成りについては、敵陣で駒を取ったときのみ成る。

参考文献

- [1] 大野峻, 田村一樹, 飯田聡, 甲斐誠也, 高見友幸, 摩訶大将棋の復刻, 映情学技報, Vol. 37, No. 17, AIT2013-86, pp. 171-174, 2013.
- [2] 高見友幸, 中根康之, 原久子, 摩訶大将棋の復刻, 大阪電気通信大学人間科学研究, Vol.19, pp.63-80, 2017.
- [3] 高見友幸, 中根康之, 原久子, 大型将棋の成立順に関する考察, 映情学技報, Vol.40, No.11, AIT2016-86, pp.147-150, 2016.
- [4] 高見友幸, 久保直子, 山本博史, 中根康之, 原久子, 大型将棋における仲人の動きについて 一象戯圖と普通唱導集の解説から一, ゲーム学会第 14 回全国大会論文集, pp.11-14, 2016.

著者紹介

高見友幸



1980 年, 京都大学理学部卒業。1992 年, 京都大学大学院工学研究科電子工学専攻博士課程修了。工学博士。現在, 大阪電気通信大学総合情報学部デジタルゲーム学科・教授。研究テーマは, 床の超大画面アプリケーション, 摩訶大将棋, 日本将棋の起源, 大型将棋のディープラーニング, 古代日

本の盤双六。

喜田隆司



2016 年, 大阪電気通信大学総合情報学部メディアコンピュータシステム学科卒業。現在, 同大学大学院総合情報学研究科在学中。公益社団法人日本将棋連盟アマチュア四段免状取得。

非対称暗号としての短歌や短詩

Tanka and short poems as asymmetric cryptography

澤田秀樹, 山下倫範

Hideki SAWADA, Michinori YAMASITA

要 旨

短歌や短詩を暗号の視点で読み解こうとするとき、多くは折り句等の転置式暗号の視点でなされる。本稿では、短歌や短詩を数理科学的な暗号の視座で眺め、その基底としてシャノンの定義した判別距離を用いた。ここでは、まず齊藤史の作品とその英訳を考察材料としてとりあげた。その中で、短詩の解釈過程から、創作「鍵」は「感性」などであり、解釈（解読）「鍵」は「作者の「作者の背景や季語」等であることを述べ、齊藤史の場合、英文としての判別距離は約 90 文字であると類推する。他にリルケの詩や松尾芭蕉の俳句でも同様の考察を試み、理解できるほどよい判別距離と暗号との関係から短歌・短詩・俳句の解釈（解読）可能性を論じる。

キーワード 暗号, 判別距離, 換字式暗号, 短歌

Abstract

When trying to interpret tanka or short poems from a cryptographic point of view, many are done from the viewpoint of transposition cryptography such as acrostics. In this paper, we looked at tanka and short poems from mathematical scientific cryptography viewpoint, and used the unicity distance defined by C.Shannon as the basis of the point of view. Here, we first saw the works of Fumi Saito and its English translation as consideration ciphertxts. Among them, from the interpretation processing of Short poems, the compose "key" is "feeling", etc., interpretation (or deciphering) "key" is "the author's background of the author, season word", or etc. , It is inferred that the unicity distance as English sentences is about 90 characters. We also try other similar considerations in Rilke's poem and Basho's haikus, and discuss the possibility of interpretation (or deciphering) of tanka, short poem and haiku from the relationship between unicity distances and cryptographs that can be understood.

Keywords Cryptography, Unicity Distance, Substitution Cipher, Tanka.

1 序

暗号というと何を思い浮かべるだろう。もちろんこれは通信内容を当事者間でしか分からないようにする技術や方法を指すわけであるが、もっと漠然と「秘密」や「謎」を含んだ言葉や文章を暗号と呼ぶことはないだろうか？

小説や詩に秘密のメッセージが隠されている。作品そのものが難解で作者の意図が掴みにくい。このような場合、読者はその「秘密」や「謎」の解読を迫られることになる。

短歌を詠むようになって 12 年余りが過ぎた。もともとが数学者であるので交際の範囲は、いわゆる

理系に片寄り、短歌の話は余り分かってはもらえない。つまりこれは、短歌は「暗号」であって「解読」は文系に、というパターンである。しかしそうではない。万葉の時代から途切れることなく 5, 7, 5, 7, 7 という詩型は多くの人々に親しまれた。文系、理系の別なく理解され得るものである。

それはこの 31 音節がたとえ短くても、十分な量の情報を持つことにある。短歌を 31 音節の暗号とみなした場合、引用短歌の英訳から分かるように英文単換字暗号の判別距離 25 文字よりはるかに多くなる。解釈（解読）は誰にでも可能といえる。

もとより直感に基づいた問題提起である。短歌が 31 音節でありながら何故千年以上に及んで生き続

けて、さらに発展しているのか、数理科学的に問うて見たかった。精神的な文化活動であっても、その根底には伏流水のように数理科学の法則が流れている。

なお山下倫範氏とは、共著者としてご意見を頂きながら、第 5 節 まとめ を共同で執筆した。

2 暗号と判別距離

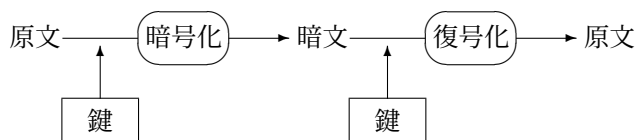
暗号 (cryptography) とは情報の交換や記憶集積に際して、第三者にそれが知られること、あるいはさらに当事者をも含めて故意による情報の改変を防ぐため、その対象となる情報を秘匿する技術や方法のことである。このような暗号について研究する数理情報科学を暗号理論 (cryptology) と呼ぶわけであるが、その中には暗号の組立 (encryption)、翻訳 (decryption)、解読 (cryptanalysis) や暗号鍵の管理 (key management) さらに暗号発信者等の認証 (authentication) などが含まれる ([1], p.87)。

簡単な暗号の例として原文に現れるビット列や文字列の順序を入れかえる転置式暗号 (Transposition cipher) や、原文に現れるビットや文字を他のビットや文字に書き換える換字式暗号 (Substitution cipher) があるが、これらの方法はより洗練された形で米国標準暗号 AES (Advanced Encryption Standard) にも使用されている ([5], p.102)。

換字式暗号の例をあげよう。

1. 単純なものでは原文のアルファベットを K 文字ずつ前へずらして (Z まで来たら一回りして A に戻る) 書き換えて暗文を作る。鍵 K が 3 のとき、すなわち A は D , B は E , ..., Z は C に書き換える暗号はシーザー暗号 (Caesar cipher) とよばれる。このような暗号は $K = 1, 2, 3, \dots$ と順に復号してたやすく解読出来る。

一般に暗号化の手順は次のように図式化される。

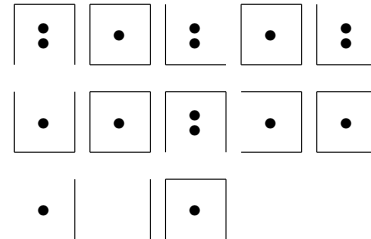


上のシーザー暗号では暗号化・復号化ともに同じ鍵 3 が

使用されているが、このような暗号を**対称暗号**という。また異なる鍵により暗号化・復号化するものを**非対称**

暗号という。

2. 原文中の文字の換字が一意的な英文単換字暗号では、鍵の総数が $26!$ 個あるので、解読に必要な暗号文の文字数は 25 といわれている。次の 13 文字からなる Churchyard cipher が解読されたのは 1794 年から 100 年以上経った 1896 年である ([4], p.64)。



鍵

$A \bullet$	$B \bullet$	$C \bullet$	$K \bullet\bullet$	$L \bullet\bullet$	$M \bullet\bullet$
$D \bullet$	$E \bullet$	$F \bullet$	$N \bullet\bullet$	$O \bullet\bullet$	$P \bullet\bullet$
$G \bullet$	$H \bullet$	$I \bullet$	$Q \bullet\bullet$	$R \bullet\bullet$	$S \bullet\bullet$
T	U	V			
W	X	Y			
Z					

を使用してこの Churchyard cipher 翻訳すれば rememberdeath すなわち Remember death となる。この暗号も対称暗号である。

3. 原文の文字を N 個ずつに区切って換字を繰り返す英文多換字暗号では、解読に必要な暗号文の文字数は鍵長 N に対して $N \times 1.7$ といわれている (<http://www.practicalcryptography.com/cryptanalysis/text-characterisation/statistics/>).

定義 2.1 (判別距離) (Claude E. Shannon) 十分な計算時間のもとで、鍵を特定するために必要な暗号文の量を判別距離 (unicity distance) という ([5], p.66)。

英文単換字暗号の判別距離は 25 である ([5], p.67)。ただし計算時間は考慮されない。長い暗号は短い暗号よりも解読しやすいという目安が判別距離である ([3], p.514)。たった 13 文字の Churchyard cipher の解読になぜ 100 年以上かかったのか理解出来よう。

3 暗号の解説

暗号はどのようにして、解読されるのだろうか？
暗号への解読攻撃は、攻撃側が使用されている暗号の種類を「知っている」というケルケホフの原則 (Kerckhoff's principle) を前提にして研究され、次の 4 つの攻撃法に分類される ([5], p.26).

暗号文単独攻撃 (ciphertext only attack)

暗号文のみにより解読、すなわち暗号鍵を特定する攻撃。

既知平文攻撃 (known plaintext attack)

一組の平文 (原文) と対応する暗号文に基づいて、暗号鍵を特定する攻撃。

選択平文攻撃 (chosen plaintext attack)

任意の平文に対してその暗号文を作成出来るという条件下で、暗号鍵を特定する攻撃。

選択暗文攻撃 (chosen ciphertext attack)

任意の暗号文に対してもとの平文を知り得るという条件下で、暗号鍵を特定する攻撃。

上から順に攻撃の難易度は低くなるが、ここでいう「解読」とは対象となる暗号系の鍵を見つけることである。それで選択暗文攻撃という分類も成立する。

古典的な換字式暗号への暗号文単独攻撃は、参考文献 [2] の 3.8 節でも示したように、必要な長さの暗号文に対して各文字の出現頻度を、その使用言語各文字の平文に対する出現頻度統計と比較したりして、実行される。暗号文の量が多いほど解読の可能性は高くなる。

4 短歌への応用

それでは英文単換字暗号の判別距離は 25 であることを、念頭に 31 音節からなる短歌がなぜ 1 首屹立して解釈され得るのか、昭和という時代を生き抜いた齋藤史 (明治 42 年 ~ 平成 14 年) の作品 ([7]) を例に考察して見よう。

齋藤史は、帝国陸軍少将で歌人でもあった齋藤瀏 (りゅう) の娘で、父の手ほどきで若くして歌を作り始めた。父瀏は二・二六事件 (昭和 11 年) で不当に罪に問われて二年にわたって収監され、すべての位階勲功を剥奪された。何人かの青年将校たちが公正な裁判を受けることなく銃殺刑に処せられたが、そのなかの二人は史の幼なじみであった ([7])。史の波乱万丈の運命の始まりである。

白きうさぎ雪の山より出でて来て殺されれば眼
(め) を開き居り (p.100)

A snow-white hare, who
had come down from his mountain
that is deep in snow,
has been hunted to death –
his eyes wide open, staring.

これは昭和 28 年に発刊された歌集「うたのゆくへ」の中の作品で、彼女の代表作の一つといわれる。病気で召集解除となった軍医の夫と長野に疎開していたが、この年七月父は 74 歳でなくなり八月に夫は医院を開業している。「白きうさぎ」は処刑された幼なじみであろうか、あるいはもっと大きく二・二六事件全体の死者であろう。何れにせよ理不尽な死の象徴である。

終戦前後は、誰もが問題を抱え不幸であったが、さらに裁かれた側に立つ史の歌には独特の個性が際立ち、その心の一面はしばしば「鬼」という暗号で表現される。歌集 [7] より「鬼」の歌を列挙しよう。

鬼火よりさびしきいろに眼を燃せば夜のほどもにひらくゆふがほ (p.176)

Burning my eyes to
a flame more solitary
than will-o'-the-wisps –
in the depths of night, flowers
of bootle gourds opening.

Burningmyeyestoaflamemoresolit
arythanwilllothewispsinthedepth
sofnightflowersofbootlegourdso
pening

96 文字

先行くも鬼と知りつつ従 (つ) きて来しわれの一期
(ご) の身の捨てどころ (p.176)

I went on, knowing
full well I was following
another demon,
to the place where my body's
life was to be cast away.

IwentonknowingfullwellIwasfolll

owinganotherdemon to the place where
remy body's life was to be cast away

101 文字

88 文字

花見ると鬼もやさしきまなこせむ我はもとよりふは
ふはとなる (p.228)

振りむかば形相 (ぎやうさう) は鬼 坂道をのぼりつ
くしし逆光の中 (p.194)

If I turn back now
my face must appear to be
that of demon
after climbing to the top
of the hill against the light.

To view the cherry
blossoms, even a demon
might soften his glance.
– But I, from the very start,
grow utterly frivolous.

If I turn back now my face must appear
to be that of demon after climbing to
the top of the hill against the light

To view the cherry blossom even a
demon might soften his glance But I
from the very start grow utterly
frivolous

93 文字

90 文字

爪燃せば鬼が來るとふ 堕ちてゐるひとりの夜のそ
れも客人 (まろうど) (p.214)

If we burn our nails,
so people say, the devil
will appear. – At night,
as I am sinking down, even he
is my welcome visitor.

鬼の顔に黒き眼鏡を描きゆけば涙をかくす誰やらに
似る (p.318)

As I draw the dark
sunglasses on the face of
a demon, it starts
to resemble somebody
I know well, hiding her tears.

If we burn our nails so people say the
devil will appear at night as I am
sinking down even he is my welcome
visitor

As I draw the dark sunglasses on the
face of a demon it starts to resemble
somebody I know well hiding her
tears

90 文字

92 文字

老いはてて盲母 (はは) が語るは鬼語ならむわれの
見えざるものに向かひて (p.222)

My blind mother, who
touches the end of old age –
faced with the thing I
cannot see – is that the tongue
of demons she is speaking?

鬼の役たのしと言へり生真面目 (きまじめ) に生き
て吼 (ほ) えたる日のあらざれば (p.374)

I really love
playing the role of devil –
living seriously
allowed not even one day
when I could let myself howl.

My blind mother who touches the end of
old age faced with the thing I cannot
see is that the tongue of demon she
is speaking

I really love playing the role of devil
living seriously allowed not even
one day when I could let myself howl

90 文字

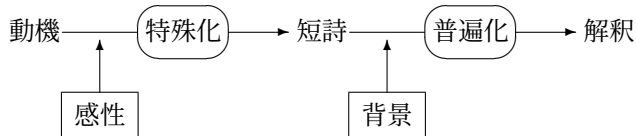
以上平均して 92.5 文字の歌が 8 首もあり「鬼」の何たるかを解説するには十分な数の「暗号文」といえる。短歌は読み手の心を詠うものであるから、この「鬼」は史自身であり、史の心の奥底に生き続ける怒りであろう。もちろん史は十分に知的で教養のある人物であるから、裁き裁かれる両者を冷静に見つめている。怒りは熱い怒りではなく鬼火のような青い怒りといえる。ちなみに史の父瀏は「反乱幫助」で服役したわけであるが、「反乱の名は戦後何の通告もなく消されていた。」という ([7], 年譜)。

この「鬼」を解説する鍵は次の歌にもあった。

正史見事につくられゐて物陰に生きたる人のいのち
傳へず (p.238)

Official views of
history have been laid down
with great skill – but we
never hear how people lived
under the shadow of the thing.

このようにして解釈 (解説) に至った過程を図示すると



となる。短詩を創作する鍵は作者の「感性」などで、解釈 (解説) する鍵は作者の背景や (俳句ならば) 季語などであろう。この二つの鍵は異なるので、短詩は「非対称暗号」ともいえる。

ところで重い歌ばかり並べてしまったが、青春を感じさせる明るい歌もある。

岡に来て両腕に白い帆を張れば風はさかんな海賊
のうた (p.34)

Reaching a hill top,
I hoist a white sail on both
arms, and the wind starts
deliriously singing
sea-shanties of the pirates.

第一歌集「魚歌」(昭和 15 年) に収められた歌で、海を遠く眺めてはむ心がよく詠われている。よく読むと 2 句目は字余りの 5, 8, 5, 7, 7 でその上「白い帆を張れば」は 2 句と 3 句にまたがっている

が、音読すれば何の違和感もなく、風さえ感じとれる。歌集が刊行された時、歌壇は「詩は短歌ではない」と言って退けたという ([7], 序)。31 歳の史にとって、これも試練であったに違いない。

5 まとめ

英文単換字暗号の判別距離 25 文字に対して、その 3.6 倍 90 文字ほどになる短歌は、一首だけ与えられても理解できるちょうど良い長さの短詩である。これよりも短い詩の理解は時に難しいものとなる。

リルケ (Rainer Maria Rilke 1875 年 ~ 1926 年) の有名な詩

薔薇、おお純粋な矛盾の花、
そのようにも多くのまぶたを重ねて
なんびとの眠りでもない、よろこび。 ([6], p.253)

ROSE, oh reiner Widerspruch, Lust,
Niemandes Schlaf zu sein unter soviel
Lidern.

ROSEohreinerWiderspruchLustNie
mandesSchlafzuseinuntersoviell
idern

65 文字

ROSE, oh pure contradiction, delight
in being no one's sleep under so many
eyelids.

ROSEohpurecontradictiondelight
inbeingnoonessleepundersomanye
yelids

66 文字

(英訳は Oxford World's Classics "Rainer Maria Rilke, Selected Poems" による。)

は独文で 65 文字、英文では 66 文字であるが解釈は多岐に渡る。このような短い詩も書いたリルケは俳句にも関心があったという ([6], p.253)。松尾芭蕉の有名な発句 (俳句)

夏草や兵どもが夢の跡 ([8], p.57, p.106)

A mound of summer grass:
Are warriors' heroic deeds
Only dreams that pass?

AmoundofsummergrassArewarriors
heroicdeedsOnlydreamsthatpass

59 文字

閑さや岩にしみ入る蟬の声 ([8],p.62,p.109)

In this hush profound,
Into the very rocks it seeps –
The cicada sound.

InthishushprofoundIntotheveryr
ocksitseepsThecicadasound

55 文字

は英文で 60 文字ほどである。「奥の細道」という紀行文 (背景) とともにあること「季語」という言わばコード表を持つことが、一意的解釈を可能にしている。つまり作者の背景がよく研究・理解されている場合や季語のような決まり事が守られているとき、短詩の解釈はある程度一意的に定まると考えられる。

一方、作者やその作品の背景がよくわからない状態では解釈 (解説) に曖昧さが生じ一意的解釈は困難となる。それは、例えば著名な俳句にも少なからず異なる印象の他言語解釈 (翻訳) が存在することからも理解できよう。

以上、短詩の解釈をシャノンの判別距離との関係で考察した。今後、文系・理系の垣根を越えて研究が深まって行くことを願って止まない。

参考文献

- [1] 澤田秀樹, 暗号理論と代数学 (第 4 版). 海文堂 2005
- [2] 澤田秀樹, 暗号と代数プログラミング (第 2 版). 海文堂 2002
- [3] 吉田一彦, 友清理士, 暗号事典. 研究社 2006
- [4] D.E.R.Denning, Cryptography and data security. Addison-Wesley 1983
- [5] D.G.Stinson, Cryptography, Theory and Practice, 3rd ed. CRC Press, 2006

[6] リルケ詩集, 高安国世訳, 岩波文庫 2014

[7] 齋藤史歌集, 記憶の茂み [和英対訳], ジェイムス・カーカップ, 玉城周訳. 三輪書店 2002

[8] 松尾芭蕉, 奥の細道 (英文版), ドロシー・ブリトン訳. 講談社インターナショナル (株) 2002

著者略歴

澤田秀樹 (さわだ ひでき) 数学者. 昭和 50 年 3 月上智大学大学院理工学研究科博士課程単位取得退学. 理学博士. 元山形大学教授. 昭和 54 年デンマーク王国政府奨学生, 昭和 55,62 年西ドイツフンボルト奨学生, 昭和 62 年西ドイツ DFG 奨学生. その間, 有限代数群の表現論や暗号理論等の研究に従事, 国際 ICT 利用研究学会 (IIIAR) 理事, 平成 16 年 10 月から平成 27 年 1 月まで短歌結社「心の花」会員, 平成 27 年 5 月から作品を日本語及び独逸語で公開. <http://haruhiko.art.coocan.jp/>

山下倫範 (やました みちのり) 立正大学地球環境科学部教授. 昭和 57 年 3 月上智大学大学院理工学研究科博士課程単位取得退学. 産業能率大学システム開発研究所研究員, 産業能率短期大学専任講師を経て, 平成元年, 立正大学教養部専任講師, 同助教授, 経営学部教授を経て, 平成 10 年より現職. 現在, 情報環境基盤センター長を兼任. 日本数学会会員, ゲーム学会理事, NPO 法人建設教育研究推進機構理事, 情報文化学会理事, (社) 土木学会・地震工学委員会・突発災害時における夜間時の避難誘導に関する調査研究小委員会委員, 国際 ICT 利用研究学会会長

小規模学会の持続可能性に関する一考察

A Study on the Sustainability of Small Society

次郎丸 沢[†]

Taku Jiromaru

[†] 株式会社カンファレンスサービス
Conference Service Inc.

要 旨 小規模学会がおかれている状況をニーズ・会計・組織の寿命・業務内容の 4 点から見ることで小規模学会が置かれている状況を明らかにし、小規模学会が持続可能なものになるための考察を行なった。その結果、小規模学会は①ニーズがあるものの②資金や人員の不足に問題を抱えており、③学会の寿命は企業のそれより長いものの④実際の業務は短期的なものばかりである、ということが分かった。よって、①資金源の多様化をはかり、②学会の方向性が正しいかどうかを検討するための仕組みを持つことで小規模学会の持続可能性を高めることが出来ると思われる。

キーワード：小規模学会 持続可能性

Abstract I analyzed the situation of small-scale academic societies on 4 points: needs, accounting, organization's life span and business contents. As a result, the small-scale academic society has 4 points: (1) they are necessary (2) there is a problem in the shortage of funds and members, (3) the life expectancy of the academic society is longer than that of the company (4) the business contents is only in the short term. Therefore, it seems that it is possible to increase the sustainability of small-scale academic societies by (1) diversifying the source of funds and (2) having a mechanism to examine whether the direction of the academic society is correct or not.

Keywords: small-scale academic societies, sustainability

1 はじめに

筆者が経営している株式会社カンファレンスサービスは学会の企画運営を主な業務としている。その関係で、学会業務に関する相談を受ける機会が多い。そのなかで筆者は小規模学会が抱える様々な問題を目にしてきた。

小規模学会は増加傾向にある。小規模学会は非常に狭い分野で議論が出来るため、ニッチな研究をしている研究者にとっては無くてはならないものである[1]。実際に、多くの会員を持つ学会が小規模国際会議を開いている事例もある[2]。

いわば、小規模学会を経済活動の言葉で表現すると「成長分野」であるが、現場には成長分野の業種に見られるような楽観的な雰囲気あまり感

じられないことに筆者は違和感を覚えていた。

そこで、本論文では小規模学会がおかれている状況をニーズ・会計・組織の寿命・業務内容の 4 点から見ることで小規模学会が置かれている状況を明らかにし、小規模学会が持続可能なものになるための考察を行う。

2 小規模学会の開催件数

小規模学会のニーズを小規模学会の開催数で判定する。小規模学会の開催件数について、2007 年から 2015 年までの国際会議の開催件数のグラフを図 1 に、件数の割合を表 1 に示す。

図 1：国際会議の開催件数[3]

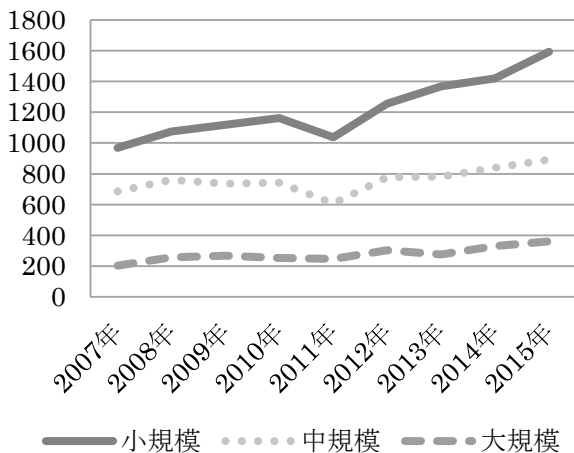


表 1：国際会議の開催件数（割合）

	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年
小規模	52.2%	51.4%	52.7%	53.9%	54.8%	53.7%	56.4%	54.8%	56.0%
中規模	36.9%	36.4%	34.6%	34.4%	32.1%	33.3%	32.2%	32.4%	31.3%
大規模	10.9%	12.3%	12.7%	11.8%	13.1%	13.0%	11.4%	12.7%	12.7%

ここで、小規模とは参加者数 200 名未満、中規模とは参加者数 200 名以上 1000 名未満、大規模とは 1000 名以上のことを指す。なお、国内学会の開催件数については正確なデータが無かったため考慮に入れていない。

本グラフより、東日本大震災が起こった 2011 年を除けば、小規模の学会の件数が中規模や大規模の件数に比べて明らかに増えていることが分かる。また、2007 年度の割合を基準にして、各規模の学会の割合がどのように変化したかを図 2 に示す。

図 2：国際会議の開催割合（基準：2007 年）

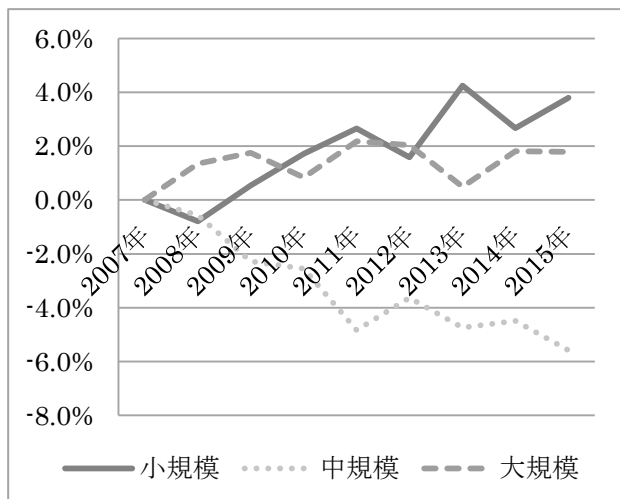


図 2 を見ると、小規模と大規模の学会はその割合を増やしているものの、中規模の学会は割合を減らしていることがわかる。

大規模学会が増加しているのは、①資金面、②手間、③誘致、の 3 つの側面であると予測している。

一般に規模が大きい学会ほど資金面に余裕が出てくる。規模が小さい学会は参加費が収入のほとんどを占めるのに対して、規模が大きな学会は展示会を併設するなど寄付金やスポンサーからの協賛金など参加費以外の収入がある[4]。また、JTB などの学会運営の実績が豊富な会社が提供する論文投稿システム参加登録システムは参加者 1000 人以上を対象としていることが多く、資金的に余裕が出来ればこういったサービスを利用することもできる。

また、学会は大きくても小さくても準備する手間に規模の大きさの違いほどの差が出てこない。100 人の学会と 10000 人の学会で手間が 100 倍になることはまずない。さらに、来日外国人の数を増やすために JNTO などが積極的に大規模国際会議の誘致を行っている[5]。

以前は中規模国際会議にも世界中の人が参加するという事と実質的な討議が行うことが出来るという点が利点として挙げられていたが[6]、今日のように専門分野が細分されている状況では、大規模国際会議や小規模国際会議の利点の方が勝っていることが中規模国際会議の割合が減っている理由であると考えられる。

3 小規模学会が抱える問題点

筆者が小規模学会の方々とコミュニケーションを取って感じるのは、「資金が足りない」とことと「動いてくれる人間が足りない」という 2 点である。

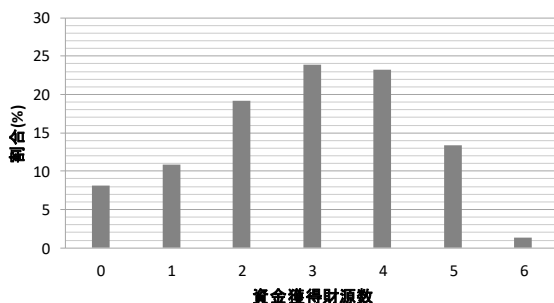
これは、小規模学会に限らず特定非営利活動法人全体にも当てはまる問題である。「平成 27 年 特定非営利活動法人に関する実態調査」によると、特定非営利活動法人に認定されている団体のうち 77.5%が人材の確保や教育を、66.1%が収入源の多様化を問題点として挙げている[7]。

資金源の多様化により組織の存続性が高まるということが指摘されているが[8]、筆者がこれまでに担当した小規模学会のほとんどは資金源に限られてい

た．そのような学会は資金を得るための活動は行っていたが、資金源の多様化への努力が十分とは言えなかった．

参考として、NPO の資金獲得源の数を図 3 に示す．筆者が担当した学会の財源は参加者からの会費と協賛金の 2 種類であることが多かったが、担当した中で最も財政的に安定した会議では①参加費②地方公共団体からの補助金 1 件③企業からの協賛金 5 件④財団からの助成金 2 件⑤科研費からの研究費 2 件という 5 種類の財源を獲得していた．

図 3 : NPO の資金獲得源[8]



4 学会の寿命

近年、科学との関係を強化する企業が増えており、企業と科学との関係性が指摘されている[9]．また、企業レベルのみならず産業レベルにおいても、医薬品やバイオテクノロジーという産業に代表されるように、科学との距離の近い「サイエンス型産業」が顕著に増える傾向にある[10]．

よって、学会の寿命を算出するにあたって、企業の寿命を参考に出来るかどうかについて検討する．

4.1 利用するデータ

そこで、学会と企業との相関について考える．本論文ではそのためのデータとして、学会は学会名鑑に記載されている学会を、企業は株式を上場している企業のデータをそれぞれ使用する．学会名鑑に学会名が記載されるためには日本学術会議の活動に協力する「協力学術研究団体」である必

要があり、協力学術研究団体になるためには、①学術研究の向上発達を主たる目的として、その達成のための学術研究活動を行っていること、②活動が研究者自身の運営により行われていること、③構成員（個人会員）が 100 人以上であり、かつ研究者の割合が半数以上であること、④学術研究（論文等）を掲載する機関誌を年 1 回継続して発行していること等が必要である[11]．本規定により、学会として一定の活動をしている団体が登録されていると期待できる．

一方、企業のデータは株式を証券取引所に上場している企業を集計して使用する．株式を上場するためには一定の審査がある．例えば、福岡証券取引所に上場するためには時価総額や株主数などの規定があり、加えて継続性・収益性および健全性などを書類およびヒアリングで判定している[12]．そのため、企業として一定の活動をしている会社が選ばれていると期待することが出来る．

4.2 集計結果

学会名鑑に記載されている学会を設立年毎に集計した直近 60 年分の集計結果を図 4 に示す．現在から遡ると 1990 年ごろにピークをつけ、その後 1970 年ごろまでに緩やかに数が少なくなるものの、そこからは横ばいの状態が続く．図 4 には記載していないが、1956 年以前は、第二次世界大戦の終戦近くまで増加し続け、第二次世界大戦戦中は年数件のみ設立されている．

一方、上場企業の設立年毎に集計した直近 60 年分の集計結果を図 5 に示す．現在から遡ると 2000 年～2005 年ごろにピークをつけ、その後 1990 年ごろまでに緩やかに数が少なくなるものの、そこからは横ばいの状態が続く．図 5 には記載していないが、1956 年以前は第二次世界大戦の終戦近くまでは横ばいであり、第二次世界大戦後の 1947 年から 1950 年は爆発的に増えている、戦時中は終戦した 1945 年のみ平年の半分ほどになるが、それ以前の年は戦時中でも平年と変わらない企業が設立されている．

図 4：学会における設立年毎の集計結果

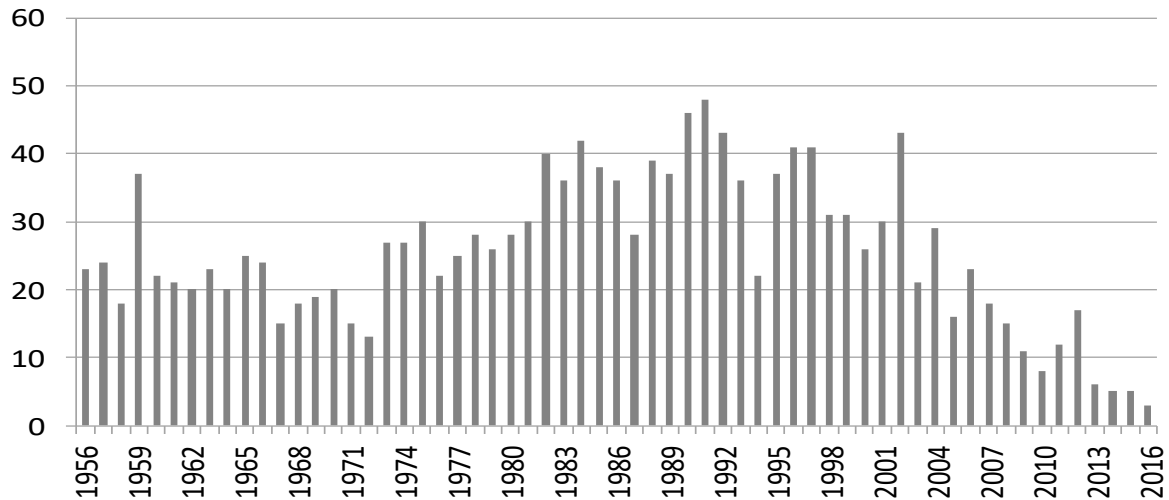
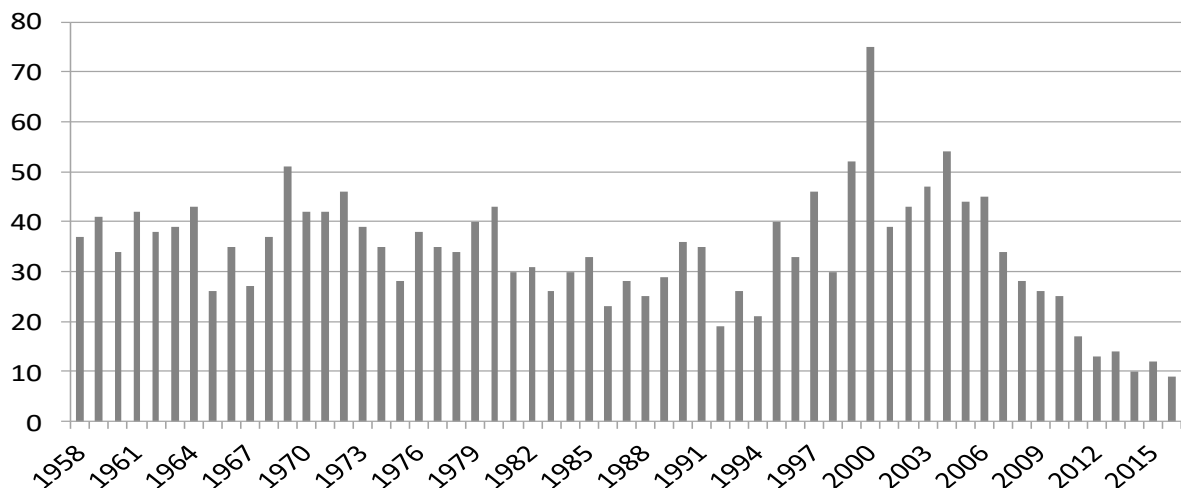


図 5：上場企業における設立年毎の集計結果



4.3 企業と学会との寿命の相関

すなわち、戦争という影響がなければ学会の設立数と企業の上場件数には相関があることが予想される。そこで、過去 60 年のデータを使用して学会の設立数と企業の上場件数に関する相関係数を算出した。その結果を表 2 と表 3 に示す。なお、表に記載している整数の数値は上場企業および学会の設立年毎のデータを、その整数の年数で集計している。例えば、3 であれば、2014 年～2016 年の集計結果、2011 年～2013 年の集計結果、2008 年～2010 年の集計結果のように 3 年分を 1 つのデータとして集計していく。

表 2：学会と企業に関する相関係数

	1	2	3	4	5
1	0.7141	0.1366	0.42	0.3744	0.2044
2	0.8285	0.3823	0.2813	0.2477	0.3526
3	0.2234	0.8145	0.3014	0.3678	0.2697
4	0.0347	0.8634	0.6578	0.3189	0.3904
5	0.0085	0.5115	0.9173	0.6004	0.3517

表 3：学会と企業に関する相関係数の順位

	上場企業				
	1	2	3	4	5
1	5	23	9	12	22
2	3	11	18	20	14
3	21	4	17	13	19
4	24	2	6	16	10
5	25	8	1	7	15

表 2 を見ると、学会を 5 年、企業を 3 年毎に集計した場合の相関係数は 0.91 と極めて高い正の相関を示しており、他にも上場企業数の集計単位を x 年、学会数の集計単位を y 年としたとき、 $(x, y) = (1, 2), (2, 3), (2, 4)$ の組み合わせで相関係数が 0.8 を超えている。これより、学会の設立年と企業の設立年には正の相関があり、かつ相関係数が 0.8 以上の組み合わせが $x < y$ となっていることから、企業の学会のタイムフレームは上場企業のそれより長いことが分かる。

すなわち、企業の寿命を 30 年とすると[13]、学会の寿命は少なくとも 30 年よりは長いということになる。

5 学会の業務分析

学会には学術会議（年会および部会）の開催や論文誌等の出版以外に以下のような業務を行う場合がある。なお、ここには総会など組織の維持のために必要な業務は含まれていない。

5.1 市民公開講座の開催

学術会議は研究者向けもしくは実務者向けのものであるのに対して、市民公開講座は一般の方に向けたものであることが多い。一部の学会では、学術会議の中で市民公開講座を開き、そこは参加費無料で一般の方々が参加することが可能である。目的は地域社会への貢献と知の解放であるが、組織の広報効果も同時に期待している[14]。

5.2 研究プロジェクトの推進もしくは助成

課題を募集もしくは設定して研究プロジェクトを立ち上げる。もしくは資金面等の援助を行う場合もある。基本的には研究の発展を支援することが目的であるが、研究組織づくりのためや[15]、学会で発表することをゴールにするなど[16]、目的やゴールをある程度絞った学会も見受けられる。

5.3 セミナーや講座の開催

学会が照準を合わせている分野の研究者・実務者および学習者を増やすことを目的にしてセミナーを開いている学会が見受けられる[17]。特に、化学工学会は技術者向けと教育向けのセミナーを分けて全国で開催している[18]。

5.4 その他

上記のほか、表彰、会員に有益になると思われる情報の共有、資格の認定事業、研究者や外部の方々との交流事業などを行っている学会がある。

5.5 各業務のタイムスパン

5.1 から 5.4 に列挙した各業務において、業務のタイムスパンを短期・中期および長期に分類する。ここで、短期とは 3 年以内、中期とは 4 年～9 年、長期とは 10 年以上とすると、すべてが短期の業務となる。5.1 の市民公開講座と 5.3 のセミナーや講座は中長期の視点が動機となっているが、実際に行う業務としては単発もしくは 1 年で完了することがほとんどである。

6 考察

以上より、①小規模学会にはニーズがあるものの②資金や人員の不足に問題を抱えており、③学会の寿命は企業のそれより長いものの④実際の業務は短期的なものばかりであることが分かった。

非営利機関を運営するためには、リーダーが長期的な視点と短期的な視点・資源の投入先・性急と慎重および機会とリスクのバランスをとることが重要であるという指摘があるが[19]、①ニーズがあるために最適ではない決断であったとしても需要が喚起されるためにその決断が正しかったのかどうか分かりづらく、②資金や人員が足りないために決断をするための十分なリソースを確保するのが難しく、③学会の平均寿命が長いために短期間で大きな変化が起こりにくく、変化という現象から現在のバランスを感じる取ることが難しく、④短期的な業務のみであるために長期的な視点で学会を考察する機会が少なくなりがちである。

以上より、小規模学会に関して①資金源の多様化をはかり、②学会の方向性が正しいかどうかを検討するための仕組みを持つことで持続可能性が高くなると思われる。

7 おわりに

本論文では小規模学会の持続可能性を高めるための一考察について述べたが、すべての考察を終えたとは言えない。また、学会の方向性が正しいかどうかを検討するための仕組みについて考察す

ることが出来なかった。こちらについては別の論文および学会発表で触れていきたい。

参考文献

- [1] 井上正康, “智の真空地帯と研究のニッチ”, 生化学 81(9), p761, 2009
- [2] 武智 弘, “小規模国際会議「IF 鋼の金属学」報告”, 鉄と鋼 : 日本鉄鋼協会々誌 80(12), N611-N612, 1994
- [3] 日本政府観光局, “2015 年国際会議統計”(グラフは掲載データを基に作成), http://mice.jnto.go.jp/doc/data/cv_tokei_2015_1shou.pdf(2016 年 12 月 26 日閲覧)
- [4] 松尾徳朗, 及川拓哉, 齋藤進之介, 大塚実, 納伸一郎, 福島壽一, 村磯毅, 潘征,” サービス価値に基づく国際会議主催者業務管理機構”, 第 8 回パーソナルコンピュータ利用技術学会全国大会講演論文集, pp88-91, 2013
- [5] JNTO, “MICE の誘致・開催の支援”, <http://www.jnto.go.jp/jpn/business/index.html>, JNTO, 2016 年 12 月 26 日閲覧
- [6] 笹川辰弥. "中規模国際会議の形態学." 日本物理學會誌 36.7, pp493-495, 1981
- [7] 政策統括官(経済社会システム担当)付参事官(共助社会づくり推進担当), “平成 27 年 特定非営利活動法人に関する実態調査”, p52, 2016
- [8] 石田祐, "NPO 法人における財源多様性の要因分析," ノンプロフィット・レビュー 8.2 , pp49-58, 2008
- [9] 榊原 清則, “日本の製造業企業の課題と展望”, 映像情報メディア学会誌, Vol.68, No.6, pp435-439, 2014
- [10] 後藤晃, 小田切宏之, “サイエンス型産業”, NTT 出版, pp3-16, 2003
- [11] 日本学術会議協力学術研究団体規程, 日本学術会議, <http://www.scj.go.jp/ja/group/dantai/pdf/kitei.pdf>, 2017-5-1 閲覧
- [12] 上場審査基準の概要, 福岡証券取引所, <https://www.fse.or.jp/stock/criteria.php>, 2017-5-1 閲覧
- [13] 児玉敏一,” 環境適応の経営管理 : 低成長・グローバル化時代の日本的経営”, 学文社, 2004
- [14] 文部科学省, “公開講座の実施が大学経営に及ぼす効果 に関する調査研究”, http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/detail/_icsFiles/afieldfile/2012/02/27/1316423_2.pdf, 文部科学省, 2010
- [15] 研究プロジェクト, http://www.kosodategakkai.jp/project_study.html, 日本子育て学会, 2017 年 5 月 1 日閲覧
- [16] 研究プロジェクト, <http://www.sysaudit.gr.jp/project/>, システム監査学会, 2017 年 5 月 1 日閲覧
- [17] 若手支援のための「次世代育成セミナー」, <http://www.jasca.org/meetings/youth/frame.html>, 日本文化人類学会, 2017 年 5 月 1 日閲覧
- [18] 公式ウェブサイト, <http://www.scej.org/>, 化学工学会, 2017 年 5 月 1 日閲覧
- [19] Drucker, P. F., 上田惇生, & 田代正美, “非営利組織の経営-原理と実践”, pp31-34, ダイアモンド社, 1991

著者紹介 次郎丸 沢



2001 年九州工業大学情報工学部卒。一般企業を経て 2006 年より株式会社 OME, 2011 年より株式会社カンファレンスサービスの代表取締役役に就任。2014 年山形大学大学院理工学研究科博士後期課程修了。博士(学術)。同年より久留米大学非常勤講師を兼任。教育工学に関する研究に従事。

国際 ICT 利用研究学会会員

衛星画像を用いた深層学習による土地被覆土地利用分類

青木 和昭[†]

[†] 立正大学 地球環境科学部 環境システム学科

[†]kazu@ris.ac.jp

要旨 地球観測のための衛星とセンサ類の数は増加しており、性能向上も続いているため、衛星データの大規模化が進んでいる。衛星画像を用いた土地被覆分類や土地利用分類を自動的に行う手法の開発が必要であるものの、従来の特徴量ベースのアプローチでは、目的に応じて適切な特徴と識別子を選択する必要がある。したがって、衛星画像の種類や利用目的毎に、個別に分類モデルを構築することは困難である。近年では、画像認識に対して深層学習の適用が進んでおり、飛躍的な性能向上を示している。そこで、本研究では、深層学習による画像認識について述べ、衛星画像を用いた土地被覆土地利用分類へ深層学習を適用した研究について検討する。

キーワード 衛星画像, 画像認識, 土地被覆分類, 土地利用分類, 深層学習

Abstract The number of satellites and sensors for earth observation has increased, since the continued performance improvement, scale of the satellite data is advanced. Although development of techniques for automatically land cover classification and land use classification using satellite images is required, the conventional feature based approach, it is necessary to select appropriate features and classifier for each purpose. Therefore, it is difficult to construct individual classification model for each satellite image and purpose of use. In recent years, the application of deep learning for image recognition has progressed, and it shows a dramatic improvement in performance. In this study, we describe the image recognition by deep learning, and consider the study of applying deep learning to land cover classification land land use classification using satellite images.

keywords satellite image, image recognition, land cover classification, land use classification, deep learning

1 はじめに

近年、地球観測衛星の数は増加傾向にあり、企業による衛星打ち上げ数の増加もあり、衛星数は加速的に増加している。また、衛星に搭載されるセンサ類も性能向上を続けており、取得データの分解能が向上し、データ量も大規模になっている。たとえば、2013年に打ち上げられ運用が開始された Landsat8 からは、1日あたり 500GB のデータが送られてきている。日本列島のデータだけでも 1日 7GB になり、年間にすると約 3TB となる。こうした大規模なデータから土地被覆分類、土地利用分類といった分析を行う手法の構築は不可欠である。しかし、衛星やセンサの増加に伴って、衛星画像の種類とデータ量も時間とともに増加している。したがって、衛星画像の種類や利用目的毎に個別に分類モデルを設計・構築するには、時間とコストが必要となる。

画像認識の分野においては、2010年代から深層学習 (Deep Learning) により、識別性能が飛躍的に向上した。特に、物体認識において深層学習は成功を収めている。これは畳み込みニューラルネットワーク (Convolutional

Neural Network, CNN) が物体認識タスクに適していたという点と、大規模なデータセットが整備された点が必要因として挙げられる。正解ラベル付き大規模データセットを用いて学習を行った CNN は汎化性能が高く、特徴抽出器としても適切な働きを示すことが知られている。

そこで、本研究では、衛星画像を用いた土地被覆土地利用分類問題において、様々な特性を持つ衛星画像から目的に応じた適切な特徴設計・分類手法について検討する。特に、深層学習を用いた画像認識手法について概観した後、衛星画像からの土地被覆土地利用分類に関する研究について述べる。

2 深層学習を用いた画像認識

2.1 畳み込みニューラルネットワーク

画像認識分野において、深層学習の手法は様々な手法が提案されており、種々のアプローチが試みられている。その中でも最も良い成果を挙げている手法が、畳み込みニューラルネットワーク (Convolutional Neural Network,

CNN) である。CNN は多層パーセプトロン [2, 3] を基に発展した手法である。CNN は、画像の局所的な特徴抽出を行うための畳み込み層と、画像の局所ごとに特徴をまとめてダウンサンプリングするプーリング層の繰り返し構造になっている (図 1)。畳み込み層では、画像全域に渡ってフィルタ処理を行うことで画像全体から特徴を抽出し、プーリング層では平行移動、回転、スケーリングに対して不変性を獲得可能となる。こうした畳み込みとプーリングの繰り返し構造をもつニューラルネットワークは、福島らが提案した Neocognitron[5] が初出であり、その後 LeCun らによって誤差逆伝搬法 (Backpropagation, BP) による学習手法 [4] が提案され、CNN の基本的な理論が確立された。

2.2 CNN による画像認識

画像から物体を検出するタスクは、大別すると、特定物体認識と一般物体認識に分けられる。一般物体認識とは、制約のない実世界画像に対して、計算機が画像中に含まれる物体を一般的な名称で認識することであり、コンピュータビジョンにおける目標の一つとされてきた。これに対して、特定物体認識はある特定の物体が画像中に存在するかどうか判定する処理であり、両者を比較すると、一般物体認識の方が困難なタスクであり、CNN の適用は 2000 年代から試みられている [6]。一般物体認識のタスクとしては、画像全体のカテゴリ識別、画像アノテーション、画像ラベリング、物体検出、物体領域検出の 5 種類が主要なタスクである。

- 画像全体のカテゴリ識別：画像全体を 1 つのカテゴリに識別
- 画像アノテーション：画像に複数のラベルを付与
- 画像ラベリング：画像を複数の領域に分割し、各領域に対してカテゴリラベルを付与
- 物体検出：長方形の矩形で、画像中の物体が存在する位置を検出
- 物体領域検出：画像から、物体の存在する領域を正確に切り出す

CNN の応用が始まった 2000 年代は計算機性能と学習のためのデータ量が十分ではなかったため、HoG[7] や SIFT[8] といった特徴量ベースの手法が用いられることが多かった。例えば、一般物体認識でしばしば用いられてきたデータベースである Caltech101[9] は、101 カテゴリ

り約 5000 枚の 200×300 ピクセルの画像が含まれているものの、数千枚の画像では、CNN の全パラメータを最適化するには不十分である。また、計算機の性能としても、 640×480 , 1280×1024 といったサイズの画像に CNN を適用することは困難であり、MNIST[10] などのサイズが小さい画像を用いた研究が主であった。

2010 年代に入ると、ImageNet[11] という大規模な教師付き画像データセットが公開されるようになった。ImageNet のベースとなる画像データは既存の検索エンジンを用いて収集され、クラウドソーシングを利用することで、大規模で良質な正解ラベル付き画像データセットが構築された。ImageNet には、2017 年 5 月時点において 21841 クラス、14,197,122 枚の画像データが存在している。2010 年代は、CPU の高速化と並列化、メモリの大容量化と同時に、GPU (Graphics Processing Unit) による計算能力の向上が著しく、大規模学習データセットの整備とともに、CNN が適用可能となる基礎が完成した。

CNN による一般物体認識が注目を集めるようになったのは、ILSVRC2012 (ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge) においてトロント大学のチーム [13] が、2 位のチームに大差をつけてコンテストで優勝したことがきっかけであった。トロント大学のチームは 8 層の CNN (図 2) を用いて識別を行っており、このネットワーク構造は第一著者の名前から AlexNet と呼ばれた。

2.3 CNN による画像認識手法

ILSVRC2012 では、1000 クラスの識別問題に CNN を適用することで、大幅なエラー率の改善を達成した。これに対して、物体検出タスクに CNN のアルゴリズムを適用するきっかけとなった研究が、Regional CNN (R-CNN) [14] である。R-CNN のアルゴリズムは以下の通りである (図 3)。

1. 1 枚の画像から、物体候補領域 (最大 2,000 個程度) を、Selective Search[15] と呼ばれる手法を用いて探索する。
2. 1. で抽出した物体候補領域を同一サイズに変換し、CNN に入力することで特徴を抽出する。
3. 特徴を用いて、SVM (Support Vector Machine) の学習、クラス分類を行う。

R-CNN によって、PASCAL VOC データセットにおいて既存の手法と比較して 30%以上の精度向上を達成したものの、R-CNN には以下のような課題もあった。

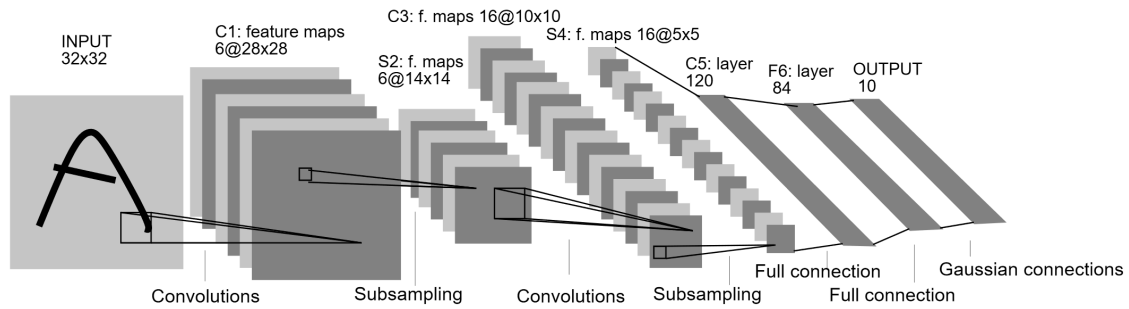


図 1: 畳み込みニューラルネットワークの構造 [4]

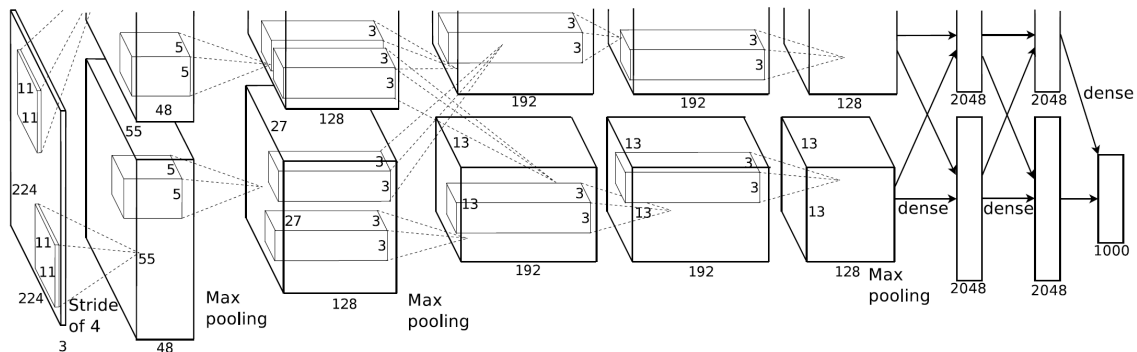


図 2: AlexNet[13]

- 学習が多段になっているため、手順が煩雑である。
 - － 特徴抽出のための CNN の学習
 - － クラス分類のための SVM の学習
 - － 物体の詳細位置推定
- 学習の時間計算量，空間計算量が大きい。
- 実行時間が遅い．画像 1 枚あたり 10-45 秒の計算時間を要する。

して 10-100 倍の高速化を実現した．しかし，SPPnet でも学習が多段であるという欠点は解決されていない。

R-CNN と SPPnet では，特徴抽出・クラス分類・詳細位置推定に対してそれぞれ学習を行う必要があったため，煩雑であるという欠点があった．Fast R-CNN[17] では，以下の手法によってこの課題の解決を図った．

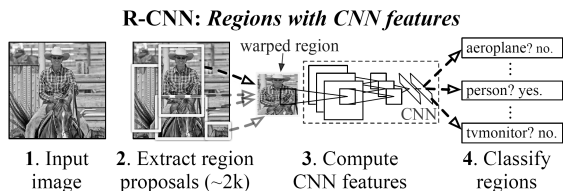


図 3: R-CNN による一般物体検出法の概要 [14]

SPPnet[16] では，画像全体に対して 1 回だけ CNN を計算し，注目領域の特徴を抽出した．R-CNN のように物体候補領域すべてに対して CNN を計算するのではなく，1 枚の画像から特徴マップを作成し，各領域の特徴を SPP によってベクトル化することで，R-CNN と比較

- RoI (Region of Interest) pooling layer と呼ばれる，SPP からピラミッド構造を除去した幅可変のプーリングを行う。
- Multi-task loss によって，クラス分類・詳細位置推定を 1 回の学習によって同時に行う。
- Multi-task loss の導入によって，誤差逆伝搬法が CNN 全層で利用可能となるため，全層で学習が可能となった。

上記アルゴリズムによって，R-CNN，SPPnet よりも物体検出精度が向上した．さらに，実行速度は R-CNN と比較して学習速度が 9 倍，クラス分類速度が 213 倍，SPP net と比較して学習速度が 3 倍，クラス分類速度が 10 倍高速化した．

Fast R-CNN では，特徴抽出・クラス分類・詳細位置推定を CNN で行っているものの，物体候補領域の検出

には Selective Search を用いていた。Faster R-CNN では、Region Proposal Network (RPN) と呼ばれる、物体候補領域を推定するネットワークで Selective Search を置き換えたことにより、物体候補領域の推定からクラス分類まで全ての学習を CNN で行うことが可能となった。RPN では、物体らしさを示すスコアと、物体領域を同時に出力する。画像全体の特徴マップから k 個の Anchor Box を用いて特徴を抽出し、RPN への入力としている。そして、各領域において物体候補となる場所を推定している。物体候補と推定された出力を RoI pooling し、クラス分類ネットワークの入力とすることで、最終的な物体検出を行っている。Selective Search を CNN で置き換えたことにより、物体候補領域の候補数が減少し、精度が向上した。結果として、GPU を用いて 5fps の実行速度を達成し、検出精度も Fast R-CNN と比較して向上した。

R-CNN や Fast R-CNN, Faster R-CNN では、物体候補領域を何らかの手法で推定した後に、クラス分類を行っていた。YOLO (You Only Look Once) は、これらの手法とは異なるアプローチを提案しており、事前に画像全体をグリッドで分割しておき、分割された領域ごとに物体のクラス分類を行う、という手法である。学習の枠組みが単純になった結果、Faster R-CNN と比較して精度は若干低下したものの、10-30 倍の高速化を達成している。さらに、画像全体を学習に用いるため、背景の誤検出が Fast R-CNN の約半分となっている。欠点としては、分割するグリッドサイズが固定である点、分割された各領域に割り当てられるクラスは 1 つとなり、検出可能な物体数は 2 つという制約があるため、領域内に複数の物体が存在するような画像に対しては精度が低下する点が挙げられる。

3 衛星画像認識への適用

ここまでは、深層学習を用いた画像認識手法について、その歴史といくつかの手法について概観した。本章では、衛星画像を用いた土地被覆土地利用分類手法について述べ、深層学習を適用した研究について述べていく。

3.1 分類の流れ

衛星画像を用いた土地被覆土地利用分類は、衛星画像を訓練データとして分類のための特徴を設計し、画像と正解ラベルの組を学習させ分類モデルを構築し、モデルの分類結果を評価する。一連の流れを図 4 に示す。

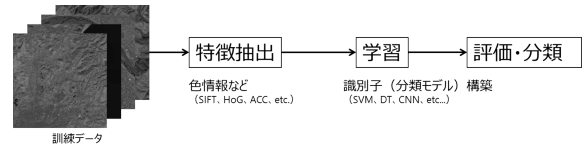


図 4: 分類の流れ

3.2 衛星画像データ

衛星画像としては、1972 年から地球の観測を続けている Landsat シリーズによる衛星データがある。Landsat は現在も観測を続けており、この衛星画像を用いて研究を進めることで、将来的にも利用可能なシステム構築が期待できる。さらに、Landsat が取得した衛星データは、オープンデータとして公開されているためフリーで利用可能であり、システムの再利用も容易であると考えられる。現在稼働中である Landsat8 は 2013 年 2 月に打ち上げられた衛星であり、16 日ごとに任意の地点を観測している。分解能は 15-100m であり、搭載されているセンサは Operatina Land Imager (OLI) と Thermal Infrared Sensor (TIRS) である。OLI は可視から近赤外までの 9 バンドを持つマルチスペクトルセンサ、TIRS は地表面から放出される熱赤外線を観測する 2 バンドのセンサである。表 1 に Landsat8 の概要 [20] を示す。

3.3 教師データ

衛星画像を用いて学習を行うためには、Landsat の衛星画像の他に、衛星画像のどの部分がどの土地分類（クラス）に属しているかという教師データが必要となる。衛星画像に正解クラスのラベル付けを行うためには時間がかかるため、オープン利用が可能である土地分類図を教師データとして用いることが可能である。地球全体をカバーしている土地分類データとしては、例えば Global Land Cover National Mapping Organization 2008 (GLCNMO2008 [21]) や、AVNIR-2 高解像度土地利用被覆図 Ver16.09 [22] などが挙げられる（図 5）。

3.4 分類クラス

土地被覆土地利用分類では、どの程度まで詳細に分類を行うか、つまりクラスを決定する必要がある。例えば {都市部, 森林, 水域, その他} のように大分類のみを行うか、{都市部, 落葉広葉樹, 落葉針葉樹, 常緑広葉樹, 常緑針葉樹, 海, 湖沼, 河川, 雪原, その他} といった詳細分類まで行うかを決定する。クラス数を増やせば増

表 1: Landsat8 の概要

OLI				
バンド No.	バンド名称	波長帯 (nm)	解像度 (m)	観測対象
1	New Deep Blue	433-453	30	エアロゾル/沿岸域
2	Blue	450-515	30	顔料/散乱/沿岸
3	Green	525-600	30	顔料/沿岸
4	Red	630-680	30	顔料/沿岸
5	NIR	845-885	30	葉/沿岸
6	SWIR2	1560-1660	30	葉
7	SWIR3	2100-2300	30	鉱物/残物/無散乱
8	PAN	500-680	15	画像先鋭化
9	SWIR	1360-1390	30	シラス・雲検知
TIRS				
バンド No.	バンド名称	波長帯 (nm)	解像度 (m)	観測対象
10		1060-1119	100	熱近赤外
11		1050-1251	100	熱近赤外

表 2: CNN を用いた分類手法 [25], GLCNMO2008, および高解像度土地利用被覆図 [22] の分類クラス例

CNN に よる分類 [25]	GLCNMO 2008[21]	高解像度 土地利用被覆図 Ver16.02[22]
Urban	都市部	都市部
Forest	常用広葉樹	常用広葉樹
	落葉広葉樹	落葉広葉樹
	常用針葉樹	常用針葉樹
	落葉針葉樹	落葉針葉樹
	混合樹林	
Water	水域	水域
Others	他 13 クラス	他 4 クラス

やすほどより詳細な分類図が得られるものの、分類は困難となるため精度低下が予想される。したがって、利用目的に応じて適切にクラス数を決定する必要がある。表 2 に、CNN を用いた分類手法 [25], GLCNMO2008, および高解像度土地利用被覆図 [22] の分類クラスを示す。

4 衛星画像からの土地被覆土地利用分類

衛星画像からの土地被覆土地利用分類には、古典的な分類手法に加えて、カーネル密度推定や深層学習が用いられている。また、土地被覆土地利用分類の他にも特定地物認識手法や、作物の収量推定手法なども提案されている。

4.1 機械学習法を用いた土地被覆分類 [26]

新潟県佐渡市を対象として、SPOT5/HRG データを用いて機械学習によって土地被覆分類を行った研究 [26] では、特徴量ベースの土地被覆分類を行っている。分類には、CART, Bagging, Boosting, Random Forest, SVM を識別子として用いている。特徴量は 4 つのデータセットを用いて比較しており、分類オブジェクトの輝度値の平均値、標準偏差、バンド比、オブジェクト形状、テクスチャ特徴量を含んでいる。特徴次元数は、4 つのデータセットそれぞれで 4, 12, 19, 25 となっている。各クラス 100 枚のテストデータに対する識別結果としては、Boosting, Bagging, SVM の識別精度が高く、CART が最も低い結果となった。

一方、特徴次元数によって識別子毎の識別精度の傾向が異なっており、特徴次元数が大きい場合には Random Forest と SVM の精度が高く、特徴次元数が低い場合には Boosting の精度が Random Forest と SVM を上回っ

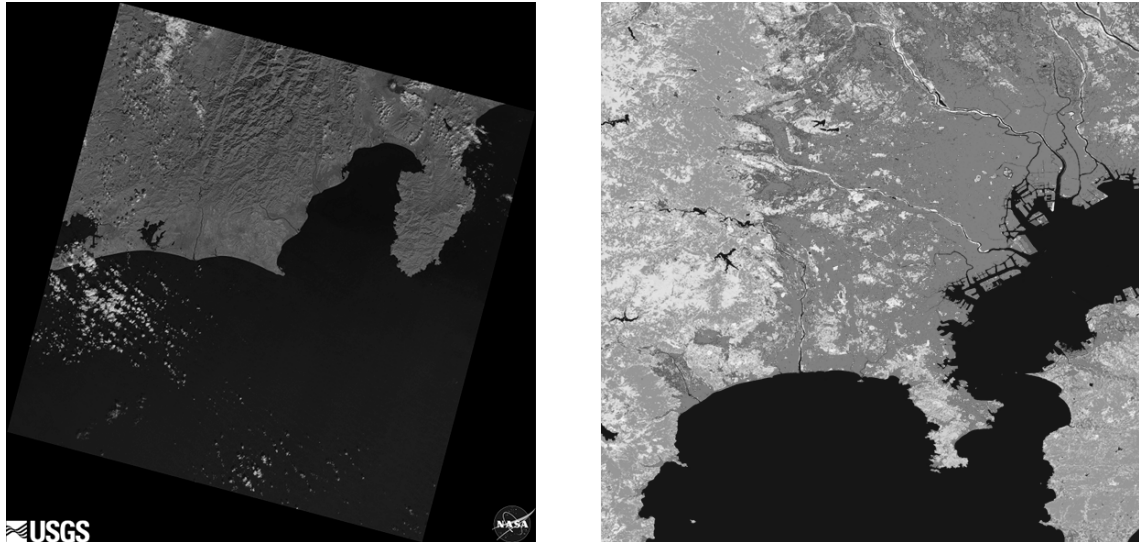


図 5: Landsat8 衛星画像および AVNIR-2 高解像度土地利用被覆図

ていた。このことから、対象となる識別問題の特徴次元数に応じて、適切に識別子を選択することが重要であるといえる。

4.2 日本域高解像度土地利用土地被覆図 [22]

JAXA の衛星である ALOS 搭載のセンサ (AVNIR-2/PALSAR など) による衛星画像を用いて、日本全域の土地被覆分類を行っている研究であり、植生調査や森林管理、土砂災害の分析などに活用されている。ALOS の衛星データの他に、国土地理院数値地形データやオープンストリートマップなどを用いて分類を行っている。分類はカーネル密度推定 [28]、日陰部分の推定や手作業による修正を併用して行っている。本手法の特徴としては解像度が 10m であり、他の手法と比較して高解像度である点が挙げられる。評価地点 1,409 点、分類クラス数 10 に対する総合精度は 78.0% となっており、前述の実用利用基準である 85.0% には届いていないものの、改良が進むごとに精度は向上している。

4.3 深層学習を用いた衛星画像からの土地被覆分類

前述のとおり、近年は衛星の数が増加しており、衛星やセンサごとに画像の特性が異なっている。また、土地被覆土地利用分類の目的に応じて、最適な分類モデルも異なると考えられるため、個別にモデルを構築することは困難であるといえる。そこで、深層学習 (CNN) を用いて衛星画像から特徴抽出・分類を行っている。

フリーで入手可能な衛星データと深層学習を用いた土

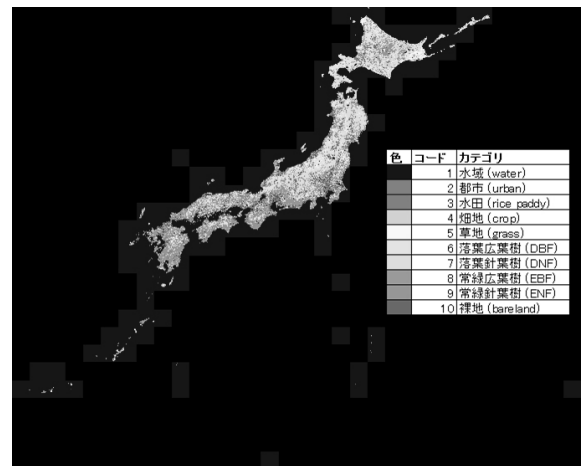


図 6: 日本域高解像度土地利用土地被覆図 [22]

地被覆分類手法の性能評価を行っている研究 [25] では、Landsat5 の衛星画像に GLCNMO2008 を用いて正解ラベルを付与したデータを訓練データとして CNN の学習を行い、Landsat5 衛星画像による性能評価と、JAXA 高解像度土地利用被覆図 [22] によって汎化性能を評価している。

学習を行うには、衛星画像の各ピクセルがどの土地被覆クラスであるかを示す教師画像が必要である。Global Land Cover National Mapping Organization 2008 (GLCNMO2008) [21] は、NASA の地球観測衛星 Terra/Aqua に搭載されている光学センサ (Moderate Resolution Imaging Spectoradiometer, MODIS) によって観測されたデータ等を用いて作成された土地被覆分類図である。GLCNMO2008 は、解像度 500m、分類クラ

ス 20, 総合精度 77.9%である. 土地被覆分類図としては, Glob Cover[23] (解像度 300m, 分類クラス 22, 総合精度 67.5%), GLC SHARE[24] (解像度 1000m, 分類クラス 11, 総合精度 80.2%) 等もある. 土地被覆分類は解像度が高く, クラス数が多いほど分類が困難になるため, これらの総合精度をそのまま比較することはできない. CNN には 31x31 ピクセルの画像と中心 1 画素の正解ラベルを入力し, 訓練サンプルとしては各クラス 40,000 枚 (計 160,000 枚) を用いている. 検証用サンプル (各クラス 30,000 枚) に対する総合精度は 82.8%, 評価用サンプル (各クラス 15,000 枚) での総合精度は 77.9%であった. 分類モデルの実用性に関する評価 [27] としては, 総合精度 (Overall Accuracy) で 85.0%以上, クラス毎の精度である PA (Producer's Accuracy) で 70.0%という基準を定めており, この評価基準には届いていない.

4.4 衛星画像上の地物認識 [29]

衛星画像から特定の地物を認識・分類する手法もあり, 例えばメガソーラー (太陽光発電施設) を検出する試みがある [29]. Landsat8 の衛星画像を用いて, 深層学習によって衛星画像上のメガソーラーを学習し, 認識している. 学習・認識は 16x16 ピクセルの画素で行い, 訓練サンプル数 300 による学習で, およそ 50% の検出率となっている (図 7). この研究ではメガソーラーを検出対象としており, 他の施設の検出や異常検知等にも応用が可能であると考えられる.

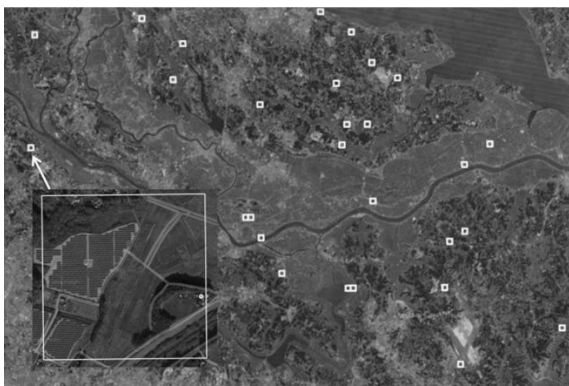


図 7: メガソーラーの検出例 [29]

4.5 衛星画像分類のための特徴抽出

これまでの画像分析では, あらかじめ設計された方法に基いて特徴抽出を行う, 特徴量ベースのアプローチが主流であった. しかし, 近年では CPU や GPU の高速化

と, 学習データの量と質が向上しているため, 深層学習によるアプローチが急速に浸透している. 衛星画像による土地分類においても, Scale Invariant Feature Transform (SIFT) や Speeded Up Robust Features (SURF), あるいは Histogram of Oriented Gradients (HoG) といった従来の特徴量が用いられてきたものの, 深層学習によるアプローチが既存の方法と比較して, 同等以上の性能を示すことが確かめられている [1].

深層学習の実装には, パラメータの最適化や正常動作の確認など, 複雑な挙動を制御する技術が必要である. 実装の手段としては, 深層学習ライブラリの利用が考えられる. ライブラリを利用することで実装にかかる時間の短縮が可能となる. 深層学習ライブラリとしては Tensor Flow[30] や Caffe[32], Chainer[31] などのライブラリが利用されている.

5 おわりに

本研究では, 深層学習を用いた画像認識について紹介し, 深層学習を用いた衛星画像からの土地被覆分類・土地利用分類について述べた. センサの種類や分解能に応じた特徴を深層学習によって抽出し, 分類モデルを構成することで, これまでの手法と比較して, 精度の高い分類結果が得られている. 今後は, 大規模な衛星画像データを教師データとして CNN に入力することで, 全球の自動探索や, 様々な地物認識が可能となることが期待される.

参考文献

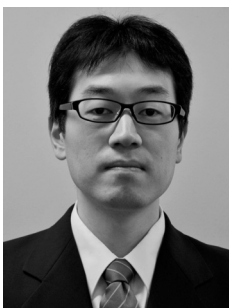
- [1] O. A. B. Penatti, K. Nogueira and J. A. dos Santos, "Do deep features generalize from everyday objects to remote sensing and aerial scenes domains?", IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), pp. 44-51, 2015.
- [2] D. E. Rumelhart, G. E. Hinton and R. J. Williams, "Learning representations by back-propagating errors". Nature, 323, pp. 533-536, 1986.
- [3] D. E. Rumelhart, G. E. Hinton and R. J. Williams, "Learning internal representations by error propagation". Parallel Distributed Processing, Vol.1, pp.318-362, 1986.
- [4] Y. LeCun, L. Bottou, Y. Bengio, and P.

- Haffner. "Gradient-based learning applied to document recognition". Proc. of the IEEE, pages 2278–2324, 1998.
- [5] K. Fukushima, "Neocognitron: a self-organizing neural network model for a mechanism of pattern recognition unaffected by shift in position", Biol Cybernetics, Vol. 36, No. 4, pp. 193–202, 1980.
- [6] K. Jarrett, K. Kavukcuoglu, M. A. Ranzato and Y. LeCun, "What is the Best Multi-Stage Architecture for Object Recognition?", Proc. IEEE ICCV, 2009.
- [7] N. Dalal and B. Triggs. "Histograms of Oriented Gradients for Human Detection". Proceedings of Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 886–893, 2005.
- [8] D. Lowe, "Object recognition from local scale-invariant features", Proceedings of International Conference on Computer Vision, Vol. 2, pp. 1150–1157, 1999.
- [9] Caltech 101, http://www.vision.caltech.edu/Image_Datasets/Caltech101/, 2017 年 5 月 1 日参照.
- [10] MNIST handwritten digit database, <http://yann.lecun.com/exdb/mnist/>, 2017 年 5 月 1 日参照.
- [11] ImageNet, <http://image-net.org/index>, 2017 年 5 月 1 日参照.
- [12] WordNet, <https://wordnet.princeton.edu/wordnet/>, 2017 年 5 月 1 日参照.
- [13] K. Alex, I. Sutskever and G. E. Hinton. "Imagenet classification with deep convolutional neural networks". Advances in Neural Information Processing Systems 25, pp. 1106–1114, 2012.
- [14] G. Ross, D. Jeff, D. Trevor and M. Jitendra, "Rich Feature Hierarchies for Accurate Object Detection and Semantic Segmentation", Proceedings of the 2014 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 580–587, 2014.
- [15] J. R. R. Uijlings, K. E. A. van de Sande, T. Gevers and A. W. M. Smeulder, "Selective search for object recognition." International journal of computer vision, Vol. 104, Issue 2, pp. 154–171, 2013.
- [16] K. He, X. Zhang, S. Ren and J. Sun, "Spatial Pyramid Pooling in Deep Convolutional Networks for Visual Recognition", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 37, pp. 1904–1916, 2014.
- [17] R. Girshick, "Fast R-CNN.", Proceedings of the 2015 IEEE International Conference on Computer Vision, pp. 1440–1448, 2015.
- [18] S. Ren, K. He, R. Girshick and J. Sun, "Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks.", Advances in Neural Information Processing Systems 28, pp. 91–99, 2015.
- [19] Joseph Redmon, Santosh Divvala, Ross Girshick, Ali Farhadi, "You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection.", Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 779–788, 2016.
- [20] 一般財団法人リモート・センシング技術センター, <https://www.restec.or.jp/satellite/landsat-8>, 2017 年 3 月 12 日参照.
- [21] R. Tateishi, N. T. Hoan, T. Kobayashi, B. Alsaadeh, G. Tana and D. X. Phong, Production of Global Land Cover Data (GLCNMO2008), Journal of Geography and Geology, Vol. 6, No. 3, Canadian Center of Science and Education, 2014.
- [22] 宇宙航空研究開発機構 (JAXA) 地球観測研究センター, 日本域高解像度土地利用土地被覆図, http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/lulc/jlulc_jpn.html, 2017 年 5 月 1 日参照.
- [23] S. Bontemps, P. Defourny, E. V. Bogaert, O. Arino, V. Kalogirou and J. R. Perez, GLOBCOVER 2009, Products Description and Validation Report, 2011.
- [24] J. Latham, R. Cumani, I. Rosati and M. Bloise, Global Land Cover SHARE (GLC-SHARE) Database Beta Release Version 1.0-2014, 2014.

- [25] 伊東里保, 飯野翔太, 藤田藍斗, 今泉友之, 彦坂修平, ディープラーニングを適用した衛星画像からの土地被覆利用分類手法の評価, 第 30 回人工知能学会全国大会, 2016.
- [26] 望月翔太, 村上拓彦, 機械学習法を用いた SPOT5/HRG データの土地被覆分類とその精度比較, 統計数理, Vol. 64, No. 1, pp. 93–103, 2016.
- [27] J. R. Thomlinson, P. V. Bolstad, and W. B. Cohen, Coordinating Methodologies for Scaling Landcover Classifications from Site-Specific to Global: Steps toward Validating Global Map Products, Remote Sensing of Environment 70.1, pp. 16–28, 1999.
- [28] 橋本秀太郎, 田殿武雄, 小野里雅彦, 堀雅裕, 塩見慶, 多時期光学観測データを用いた高精度土地被覆分類手法の開発, 日本リモートセンシング学会誌, Vol. 34, No. 2, pp. 102–112, 2014.
- [29] 中村良介, 石井智代, 野里博和, 坂無英徳, シモセラ・エドガー, 望月義彦, 飯塚里志, 石川博, 地球観測衛星画像上の地物認識, 第 30 回人工知能学会全国大会, 2016.
- [30] TensorFlow, <https://www.tensorflow.org/>, 2017 年 5 月 1 日参照.
- [31] Chainer: A flexible framework for neural networks, <http://chainer.org/>, 2017 年 5 月 1 日参照.
- [32] Caffe2, <https://caffe2.ai/>, 2017 年 5 月 1 日参照.

著者紹介

青木和昭



2011 年, 北海道大学大学院情報科学研究科博士後期課程修了(情報科学)。NTT コムウェア株式会社, 東京農工大学特任助教を経て, 2015 年より立正大学地球環境科学部助教, 現在に至る。パターン認識, 機械学習, ヒューマンインタフェースの研究に従事。

東日本大震災時と平常時における地域 SNS 利用状況の変遷の分析

後藤 真太郎*, 酒井 聡一**

*立正大学地球環境科学部 **ESRI ジャパン株式会社

Analysis of transition of regional SNS usage at East Japan great earthquake and normal time

Shintaro Goto *, Toshikazu Sakai **

* Faculty of GEO-Environmental Science Rissho University, ** Esri Japan Corporation

要 旨 本研究では震災時に SNS に情報を投稿したユーザーが平常時にはどのような記事を投稿していたのか、どのような話題でコミュニケーションを取っていたのか分析を行った。研究対象として岩手県盛岡市で使用されている地域 SNS「モリオネット」を調査し、東日本大震災時に記事を投稿したユーザーが平常時に投稿していた記事につきデータマイニングを行い分析した。

分析の結果、震災時において支援活動への議論、現状報告を行っていたユーザーは、平常時には情報を共有し合い、継続的に他のユーザーと顔の見える関係を築くような話題でコミュニケーションを取っていた。さらに、震災時に生活の中から得た情報を投稿したユーザーは、平常時には神社を実際に訪れて写真を撮影して記事を投稿など、生活の中で体験した情報を投稿しているという結果が得られた。

キーワード 地域 SNS, データマイニング, 東日本大震災, ソーシャルキャピタル

Abstract In this research, we analyzed what kind of articles were posted by users who posted information to SNS at the time of the earthquake and what kind of topics they were communicating with at normal time. For this object, we surveyed the regional SNS "Morionet" used in Morioka City, Iwate Prefecture, and analyzed the article which the user who posted the article at the time of the Great East Japan great earthquake posted in the normal times by data mining.

As a result of the analysis, users who were discussing about support activities and reporting on current situation at the time of the earthquake disaster, share the information in a normal time and continuously communicate with topics such as building a visible relationship with other users I was taking. In addition, users who posted information at the time of the earthquake were able to post information that they experienced in their lives, such as posting articles by actually photographing shrines etc. in normal times, etc. .

Keywords: Regional SNS, Data mining, Great East Japan earthquake, Social Capital

1 はじめに

2011 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災では様々な情報ツールが大きな役割を果たした。その中でも Twitter や FaceBook などの SNS (ソーシャルネットワーキングサービス) は大きく注目され、実際に多くの人々に利用された。この震災が起こ

った際に情報を投稿したユーザーが、どのようなモチベーションから投稿し、平常時にはどのような情報を投稿しているのかを把握することが出来れば、平常時における地域 SNS の利用が、震災時における有効的な情報提供の場として活用につながる事が期待できる。

本研究では震災が起こった際に SNS に情報を書き込んだユーザーが平常時にはどのような記事を投稿していたのか、どのような話題に興味を持っていたのかにつき分析をすることを目的とする。

2 研究方法

2.1 研究対象

本研究では岩手県盛岡市で使用されている地域 SNS「モリオネット」を研究対象として調査を行った。「モリオネット」は 2011 年 3 月 11 日に起きた東日本大震災で停電や断水等の被害を受けた岩手県盛岡市の地域 SNS である。モリオネットに参加しているユーザーの数は 1292 名である(2012 年 10 月 20 日時点)。モリオネット内に設立されているコミュニティ『【緊急】東北地方太平洋沖地震に関する情報共有』に記事を投稿したユーザーを対象に、平常時にどのような事柄の記事を投稿しているのか分析する。コミュニティ内には図 1 に示すように様々なトピックがあるが、その中から 3 つのトピックを選定し、各トピックに記事を投稿したユーザーを抽出し、平常時にどのような話題でコミュニケーションを取っているかを分析する。

2.2 調査対象トピック

『【緊急】東北地方太平洋沖地震に関する情報共有』コミュニティ内には様々な情報提供のためのトピックが存在するが、投稿数が上位のトピックに着目した結果 3 つのカテゴリに分類された。

まず第 1 に様々な議論の場として使用されるトピック、第 2 にメディアや他の情報サイトから得た情報を掲載するトピック、そして第 3 に生活などの活動の中から自分で体験して得た情報を提供するトピックである。

これら 3 種類に分類されたトピックの中からコメントの投稿数が最も多かったトピックをそれぞれ選択し、『モリオネット発「学び応援プロジェクト～20年後の未来のために～」』『沿岸地方に関する情報』『ガソリンなどに関する情報』の 3 つのトピックを分析対象とした。しかし、後述におけるユーザーの特定において『沿岸地方に関する情報』トピックでは抽出されたユーザーが少数であったため、『沿岸地方に関する情報』トピックの次に投稿数の多かった『生活情報』トピックを分析

対象とした。

議論の場として最もコメント投稿数が多かったトピックは『モリオネット発「学び応援プロジェクト～20年後の未来のために～」』である。このトピックではモリオネットから始まった支援活動「学び応援プロジェクト」に関する情報、また学び応援プロジェクトに関する議論の場として活用されていた。

メディアや他の情報サイトから得た情報を掲載するトピックとして『沿岸地方に関する情報』の次に最もコメント投稿数の多かったトピックは『生活情報』である。このトピックではスーパーなどの営業情報、節電に関する情報などを他のウェブサイトなどから引用してきて情報を掲載していた。さらに、自分で実際に得た情報を提供するトピックとしてコメント投稿数が最も多かったトピックは『ガソリンなどに関する情報』であった。このトピックは自分が直接生活の中で得たガソリンの備蓄情報、給油所などに関する情報が投稿されていた。以上の 3 つのトピックを調査対象とした。

2.3 分析対象とするユーザーの特定

『学び応援プロジェクト』、『生活情報』、『ガソリンなどに関する情報』のトピックごとに、ユーザーごとの投稿件数を調べ、投稿件数が高い順に並べ替え、その累計割合が 8 割までのユーザーを抽出した。基準とした累計割合 8 割に複数のユーザーが存在する場合は、それらのユーザーを含めて抽出した。以上の方法で抽出したユーザーの平常時の投稿記事に着目して分析を行った。しかし、『沿岸地方に関する情報』から分析対象として抽出されたユーザーは少数であったため、以降の分析では『生活情報』トピックのユーザーを対象とし、平常時における投稿記事の分析を行った。

3 東日本大震災に関するコミュニティに書き込まれた内容

「モリオネット」では、震災発生後に、安否確認や被害情報等の発信、具体的な支援活動に関する議論等が行われ、東日本大震災に関する情報共有のためのコミュニティが設立された。震災が発

生してから震災のコミュニティに書き込まれた投稿記事数の推移は図 1 の通りである。

この図の中の学び応援プロジェクトとは、モリオネットから始まった支援活動であり、学用品などの義援物資を収集して避難所に送り届けるイベントである。

震災発生直後にコメント投稿数の多いトピックは『【0】モリオネットでは何をすべきか?』『【2】モリオネットメンバー以外の安否に関する情報交換』『【8b】岩手県外のアクセスに関する情報』『【8c】ガソリンなどに関する情報』『【3】沿岸地方に関する情報』へと推移している。

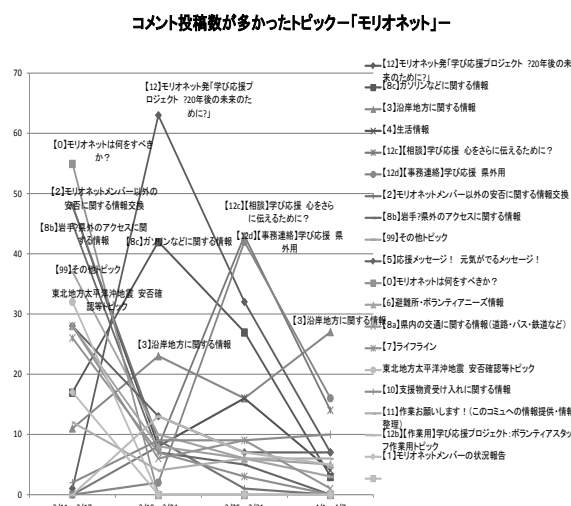


図 1.震災発生後のイベントに伴うコメント投稿数の推移 (出典は後藤ら[1])

4 分析結果

まず、『学び応援プロジェクト』、『ガソリンなどに関する情報』、『生活情報』トピックに投稿していたユーザーが、平常時にどのような話題に関心があるのかを把握するため、ユーザーが記事を投稿した割合が高いコミュニティの推移を調査した。東日本大震災以前を 4 つの期間に区切り、『学び応援プロジェクト』、『ガソリンなどに関する情報』、『生活情報』の各トピックに記事を投稿したユーザーが、各期間において、いずれかのコミュニティに記事を投稿したユーザー数を集計した。その

後、複数のユーザーが投稿していたコミュニティのうち割合の高いコミュニティの抽出を行い、4 つの期間それぞれにおいて同様の集計を行った。これによって記事を投稿したユーザー数の割合の高いコミュニティの推移を調査した。その結果を図 2, 図 3, 図 4 に示す。

『学び応援プロジェクト』トピックに投稿したユーザーに関しては、最初の 1 年は自己紹介をするコミュニティ、イベント情報を掲載するコミュニティに記事を投稿するユーザーの割合が高かった。2 年目以降からは様々なコミュニティで発言するユーザーが増えてゆき、2010 年 1 月 15 日以降では 1000 人オフ会といったオフ会のためのコミュニティに発言するユーザーが多く見られた。

これらのことから平常時では様々なコミュニティに投稿しているユーザーが、4 年目のオフ会という顔の見えるような関係を築き上げる話題のコミュニティが設立されたことにより集まってきたことが推察される。

また『ガソリンなどに関する情報』トピックに投稿したユーザーに関しては、最初の 1 年では様々なコミュニティに投稿しているユーザーが多く見られた。その後の 3, 4 年目では『学び応援プロジェクト』トピックに投稿したユーザー同様に 1000 人オフ会のコミュニティが設立されたことにより顔の見える関係を築くための話題にユーザーが集まっているのが見られた。共通な点としては 1 年目では両トピックともに交流広場への投稿の割合が高く、このコミュニティは自己紹介をする場所として利用されていた。また同じように投稿ユーザーの割合が高かったイベントインフォメーションではイベントをみんなに伝えて参加を呼びかけている投稿が見られた。また『学び応援プロジェクト』では 4 年目、『ガソリンなどに関する情報』では 3, 4 年目にかけて 1000 人オフ会のような顔の見える関係が見られた。

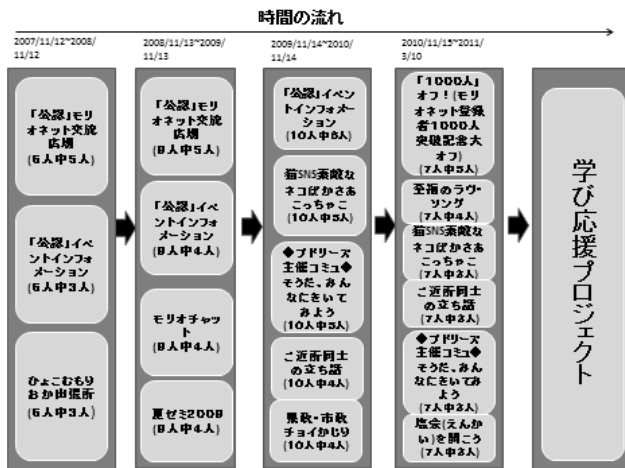


図2.『学び応援プロジェクト』ユーザーの記事投稿割合の高いコミュニティの推移(トピックに投稿したユーザーを対象)

『生活情報』トピックに記事を投稿したユーザーに関して特徴的な部分に着目すると、最初の1年では『学び応援プロジェクト』、『ガソリンなどに関する情報』トピック同様に自己紹介をするコミュニティ、実際に顔を合わせて活動を行うようなイベント情報を掲載するコミュニティが見られ、またそれ以外にもオフ会のような顔の見える関係を築くようなコミュニティが見られた。また2年目ではボランティアに関するコミュニティが見られる。その後の3,4年目では1000人オフ会といった顔の見えるような関係を築くコミュニティに発言するユーザーが多く見られた。

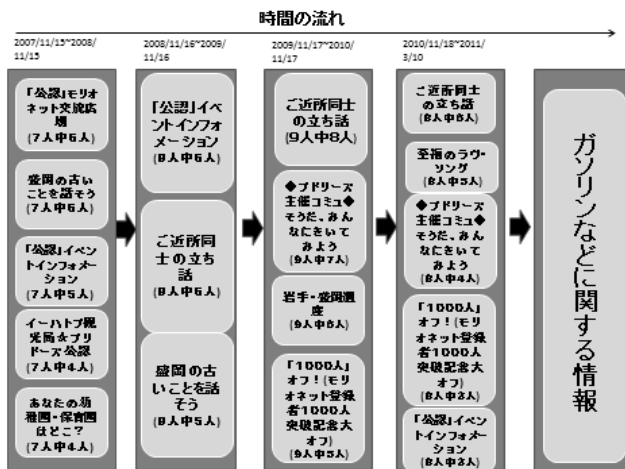


図3.『ガソリンなどに関する情報』ユーザーの記事投稿割合の高いコミュニティの推移(トピック

に投稿したユーザーを対象)

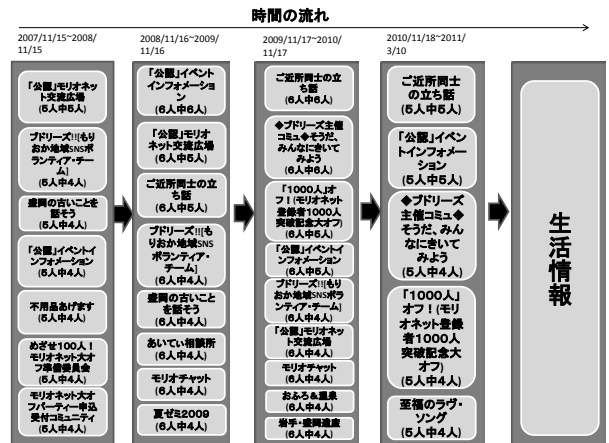


図4.『生活情報』ユーザーの記事投稿割合の高いコミュニティの推移(トピックに投稿したユーザーを対象)

次いで、4つに分類した各期間において、それぞれのトピックから特定したユーザーが平常時に書き込んだ記事を抽出し、樋口耕一氏が開発、公開しているKHcoder (<http://khc.sourceforge.net/>)を使用して、書き込まれていた記事の中から頻繁に用いられていた用語の上位20語を、1年ごとの時系列で抽出した。その結果を表1、表2、表3に示す。特徴的な単語に注目すると、『学び応援プロジェクト』のトピックに投稿したユーザーが平常時に投稿していた内容では各年ごとに「参加」という用語が比較的上位に入っている。内容としては何かしらのイベントに参加を募る内容やイベントへの参加表明を行う使用方法が多かった。また最初の2007年11月12日から2009年11月13日にかけての2年間で見られる「情報」という用語も情報交換や情報を募る方法として使用されていた。

表1.『学び応援プロジェクト』トピックにコメントを投稿したユーザーの平常時における投稿記事から抽出した頻出語

2007/11/12~2008/11/12		2008/11/13~2009/11/13		2009/11/14~2010/11/14		2010/11/15~2011/3/10	
抽出語	出現回数	抽出語	出現回数	抽出語	出現回数	抽出語	出現回数
思う	463	思う	411	思う	363	曲	106
参加	290	人	207	参加	136	思う	95
人	273	参加	163	笑	133	参加	71
盛岡	267	笑	129	笑	133	アルバム	41
地域	236	見る	122	見る	132	見る	40
コミュニティ	231	フェア	114	言う	120	出る	40
お難い	203	トレード	112	前	115	聞く	39
笑	203	自分	107	ボール	109	オフ	36
ユーザ	177	可能	97	今	108	日本	36
月	156	お難い	95	盛岡	108	人	36
利用	153	月	92	日本	97	人	30
思える	150	書く	92	出る	93	相手	29
情報	129	情報	90	人	88	今	27
可能	126	発言	89	月	84	発言	27
トピック	119	今	87	自分	84	バンド	26
オフ	116	必要	79	行く	79	知る	26
コメント	116	考える	78	書く	78	お難い	25
メンバー	113	口	76	選手	74	バス	25
決定	110	前	75	相手	68	音楽	25
予定	102	問題	75	考える	65	言う	24

表 2. 『ガソリンなどに関する情報』トピックにコメントを投稿したユーザーの平常時における投稿記事から抽出した頻出語

2007/11/15~2008/11/15		2008/11/16~2009/11/16		2009/11/17~2010/11/17		2010/11/18~2011/3/10	
抽出語	出現回数	抽出語	出現回数	抽出語	出現回数	抽出語	出現回数
年	881	放送	596	盛岡	578	曲	182
神社	747	思う	387	思う	543	思う	178
月	682	月	272	言う	458	塩	134
思う	651	使う	254	年	379	良い	129
写真	558	良い	251	良い	306	言う	118
酒	525	見る	243	月	290	脂肪	115
良い	473	言う	225	人	268	見る	83
見る	404	参加	181	見る	257	お難い	80
盛岡	396	次	181	笑	243	月	77
命	379	お難い	175	行く	242	聞く	71
吟醸	365	フリー	172	選手	215	月	71
神	357	年	167	管理	213	使う	65
撮影	348	行く	165	出る	213	体重	64
祭神	339	盛岡	161	前	205	人	63
米	332	出る	154	番号	204	人	63
使う	323	口	152	賢治	197	筋肉	62
お難い	315	人	145	今	190	歌う	61
言う	308	情報	142	使う	181	今	61
参加	288	人	136	啄木	177	体	60
		知る	135	方法	172	アルバム	59

表 3. 『生活情報』トピックにコメントを投稿したユーザーの平常時における投稿記事から抽出した頻出語

2007/11/15~2008/11/15		2008/11/16~2009/11/16		2009/11/17~2010/11/17		2010/11/18~2011/3/10	
抽出語	出現回数	抽出語	出現回数	抽出語	出現回数	抽出語	出現回数
思う	1004	放送	596	盛岡	657	思う	170
参加	596	思う	497	人	637	塩	133
人	563	参加	277	言う	415	参加	133
盛岡	545	月	270	年	369	脂肪	115
お難い	492	情報	217	笑	316	良い	108
月	450	使う	214	月	303	言う	97
笑	427	お難い	209	良い	290	お難い	96
コミュニティ	403	人	189	人	288	曲	90
地域	401	良い	189	参加	282	体重	84
良い	383	次	180	見る	257	見る	83
写真	333	笑	157	管理	228	筋肉	62
情報	330	見る	144	お難い	227	月	58
見る	285	フリー	141	岩手	221	人	58
考える	244	ファイル	140	番号	210	体	58
言う	237	盛岡	137	行く	204	結果	56
書く	235	地域	137	前	197	年	56
行く	234	世界	135	賢治	196	使う	55
使う	234	言う	132	話	189	内臓	54
次	233	可能	126	出る	181	基準	53
可能	200	管理	126	啄木	181	今般	52

これらのことから平常時には情報を共有し合い、イベントなどへの参加から実空間において顔を見える関係を築く様子がうかがえる。2009 年 1 月 14 日から 2011 年 3 月 10 日の期間においても、「参加」や「オフ」といった用語が見られ、これは図 2 にある 1000 人オフ会での参加表明として多く用いられたことが推測される。『学び応援プロジェクト』のトピックに記事を投稿したユーザーは、顔の見える関係を築くような話題に関連して記事

を投稿している傾向が見られた。

これらから平常時に情報を共有しあい、参加などといった交流を交えた動きをするユーザーが、学び応援プロジェクトのような議論の場で情報を投稿していたことがわかった。

『ガソリンなどに関する情報』のトピックに投稿したユーザーが平常時に投稿していた内容では、最初の 2 年の期間において「参加」という用語が頻出語としてみられ、イベントに参加を募る内容やイベントへの参加表明などのような用いられ方がされており、初期段階において顔の見える関係の構築が行われていたことが推察される。

また、2007 年では「神社」、「写真」、「酒」などの用語が見られるが、これらの用語の使用方法を調査したところ、実際に神社を訪れ、写真を撮影して記事を投稿していたり、自分が入手したお酒の情報を投稿している記事が見られ、私生活の中で体験した情報を掲載しているものが多く見られた。

また 2009 年で特徴的な抽出語は、「賢治」や「啄木」といった用語であろう。これらは岩手県出身である宮沢賢治と石川啄木に関する情報が提供されていることを示し、関連する事柄を頻繁に投稿している様子が伺えた。

最初の 1 年で見られる「神社」、「写真」、「酒」などの事柄から、『ガソリンなどに関する情報』トピックのような生活の中から得た情報を掲載する場所では平常時にも同じように自分で直接得た情報を投稿する人物が投稿していたことがわかった。

『生活情報』のトピックに投稿していたユーザーの平常時の投稿内容では『学び応援プロジェクト』トピックに書き込んだユーザーと同様に、各期間において比較的上位に「参加」という用語が見られる。この内容がどのように使用されているのかを調査した結果、実際に顔を合わせて活動を行うようなイベントへの参加を募る内容やイベントへの参加表明を行う使用方法が多かった。最初の 1 年目で見られる「写真」という用語ではオフ会をした際の写真を掲載したり、自分が実際に訪れた場所の写真を掲載しているものが見られた。また最初の 2 年間で見られる「情報」という用語では情報を募るという使用例の他、他の場所から得た

情報を掲載したという告知や情報が得られるウェブサイトなどの紹介などが見られた。

また2年目で見られる「放送」という用語もテレビ番組の放送内容を掲載するような内容のものが見られた。

また3年目では『ガソリンなどに関する情報』トピックに書き込んだユーザーと同様に「賢治」「啄木」の用語が見られ、彼らに関連する事柄を他のサイトなどから引用し、情報を掲載している様子が見られた。

また4年目で見られる「塩」という用語は塩に興味のある方々でオフ会を行うような動きをとっていることがわかった。

共通な点としては『学び応援プロジェクト』、『ガソリンなどに関する情報』、『生活情報』トピックにおいて「参加」という用語が見られ、実際に顔を合わせて活動を行うようなイベントへの参加を募る内容やイベントへの参加表明を行う使用方法が多々見られた。また、各トピックにおいてオフ会に関する用語も見られ、平常時において顔の見えるような関係を築く話題について投稿している様子が見られた。

これらのことから、日頃から顔の見える関係を築く話題に興味を持っているユーザーが多いことが推測される。

次いで、『学び応援プロジェクト』、『ガソリンなどに関する情報』、『生活情報』のトピックが生成されるまでのどのようなコミュニティの過程を経ているのかを分析した。

分析の手法としては抽出したコミュニティに記事を投稿していた各トピックのユーザーを調査し、次の期間でどのようなコミュニティに記事を投稿していたのか推移を分析した。その結果を図 5A、図 6A、図 7A に示す。

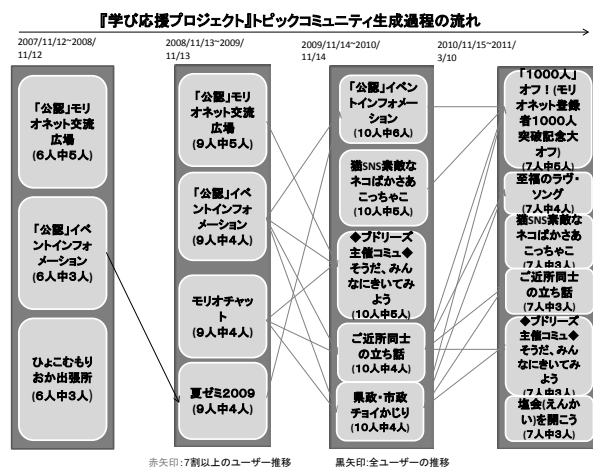


図 5A. 『学び応援プロジェクト』トピックまでの
コミュニティ生成過程の流れ

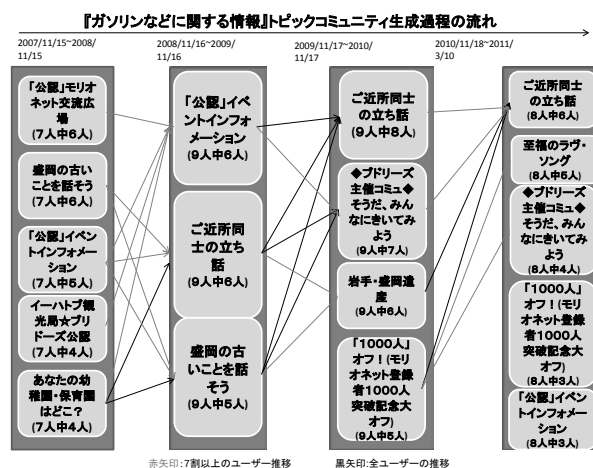


図 6A. 『ガソリンなどに関する情報』トピックまでのコミュニティ生成過程の流れ

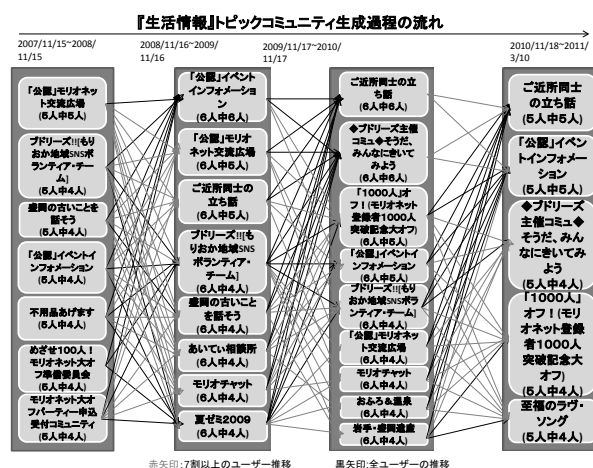


図 7A. 『生活情報』トピックまでのコミュニティ生成過程の流れ

また、図 5A、図 6A、図 7A における災害時と平

常時における投稿内容の比較を行ったものを図 5B, 図 6B, 図 7B に示す。

東日本大震災時に支援活動などの議論の場として利用されていた『学び応援プロジェクト』トピックに書き込んでいたユーザーのコミュニティ生成過程は図 5A の通りである。この図では『学び応援プロジェクト』トピックが生成される以前に、『学び応援プロジェクト』トピックに記事を投稿したユーザーがどのようなコミュニティから推移してきたかを示した図である。各矢印はコミュニティに記事を投稿したユーザーの推移の割合を示している。

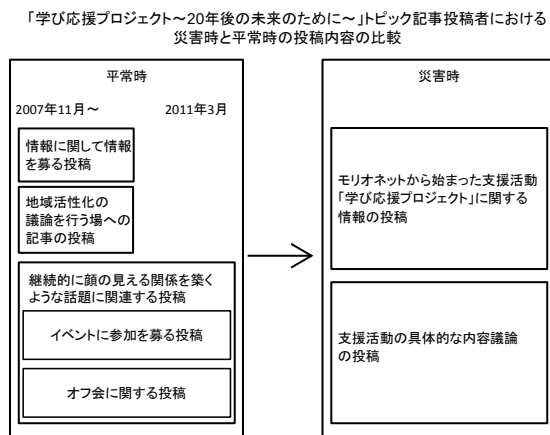


図 5B. 平常時と災害時における投稿内容の比較 (学び応援プロジェクト)

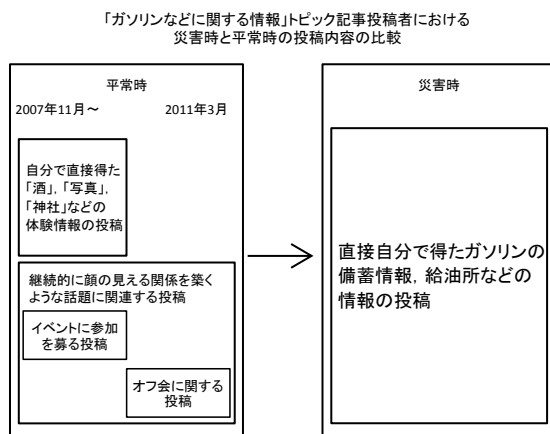


図 6B. 平常時と災害時における投稿内容の比較 (ガソリンなどに関する情報)

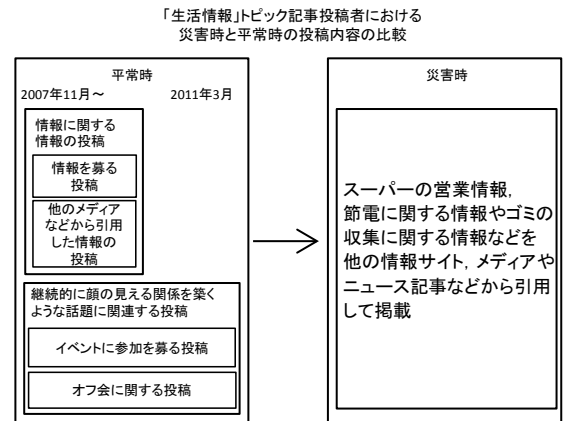


図 7B. 平常時と災害時における投稿内容の比較 (生活情報)

特徴的な部分として挙げられるものは『「公認」イベントインフォメーション』という実際に顔を合わせて活動を行うようなイベントに関連する情報の掲載、また参加の呼びかけなどを募っているコミュニティに記事を書き込んでいた全ユーザーが、2年目の期間に見られる『夏ゼミ 2009』へ推移している点である。『夏ゼミ 2009』のコミュニティの具体的な使用例は地域活性化のための話し合いをする場として利用されていることがわかった。

また3年目までの特徴としては『◆ブドリーズ主催コミュ◆そうだ、みんなにきいてみよう』に7割以上のユーザーの推移が多く見られる。

このコミュニティでは様々な質問を投稿し、それに対してコミュニティの参加者がその質問に回答をするといった交流の広場として利用されていた。

4年目の特徴として見られるものは『「1000人」オフ! (モリオネット登録者1000人突破記念大オフ)』といったオフ会のような場に7割以上のユーザーの推移が数多く見られた。このことから顔の見える話題に興味のあるユーザーが多いことが推測される。

東日本大震災時に、生活などの活動の中から自分で体験して得た情報を提供するトピックとして利用されていた『ガソリンなどに関する情報』トピックに書き込んでいたユーザーのコミュニティ生成過程は図 6A の通りである。

2 年目における特徴的な推移は『ご近所同士の立ち話』、『盛岡の古いことを話そう』コミュニティに対して、1 年目の『あなたの幼稚園・保育園はどこ?』というコミュニティから全ユーザーが推移している点である。『あなたの幼稚園・保育園はどこ?』というコミュニティでは出身の幼稚園などの情報を掲載し、それをきっかけに交流を広げる動きが見られた。このようなコミュニティから『ご近所同士の立ち話』というような雑談をするためのコミュニティや『盛岡の古いことを話そう』というような盛岡に関する話題で交流をする場へと流れているのがわかった。

3 年目における特徴的な推移では、2 年目のコミュニティに記事を投稿していたユーザーのほとんどが『ご近所同士の立ち話』、『◆ブドリーズ主催コミュ◆そうだ、みんなにきいてみよう』コミュニティに推移しているのが特徴である。これらも雑談、質問などを介して交流を行うコミュニティである。

4 年目における特徴的な推移では『ご近所同士の立ち話』のような雑談を介して交流を行う場に集中して推移が見られる。また 3 年目に見られる『「1000 人」 オフ! (モリオネット登録者 1000 人突破記念大オフ)』コミュニティに書き込んだユーザーが様々なコミュニティに推移しているのも特徴的であった。

そして、東日本大震災時にメディアや他の情報サイトから得た情報を掲載するトピックとして利用されていた『生活情報』トピックに書き込んでいたユーザーのコミュニティ生成過程は図 7A の通りである。

2 年目における特徴的な推移は 1 年目における全てのコミュニティからユーザーが推移している『「公認」イベントインフォメーション』コミュニティが挙げられる。

このコミュニティでは『学び応援プロジェクト』、『ガソリンなどに関する情報』トピックにおけるコミュニティ生成過程で記載したように実際に顔を合わせて活動を行うようなイベント情報の掲載、イベントへの参加を募るといったような利用がなされている。また 1 年目のほとんどのコミュニティから全ユーザーの推移が多い、ボランティアに関する話題で交流を行う『ブドリーズ!! もりお

か地域 SNS ボランティア・チーム』、地域活性化に関して話題を話し合う『夏ゼミ 2009』のようなコミュニティに興味のあるユーザーが多いこともわかる。

3 年目での特徴としては『ご近所同士の立ち話』、『◆ブドリーズ主催コミュ◆そうだ、みんなにきいてみよう』コミュニティに比較的多くのユーザーの推移が見られる。これらのコミュニティから雑談や質問を介してコミュニケーションをとっていることが推測される。また、新たに『「1000 人」 オフ! (モリオネット登録者 1000 人突破記念大オフ)』コミュニティのような実際に顔の見える関係を築くような話題にもユーザーの推移が多いことがわかった。

4 年目の特徴としては 3 年目におけるほとんどのコミュニティのユーザーが『ご近所同士の立ち話』、『「公認」イベントインフォメーション』コミュニティに推移しているのが特徴であった。

『学び応援プロジェクト』、『ガソリンなどに関する情報』、『生活情報』におけるコミュニティ生成過程において、相違点としては、『学び応援プロジェクト』トピックにおいては『夏ゼミ 2009』のように地域活性化のような議論をするコミュニティへユーザーが推移している点が特徴的であった。『ガソリンなどに関する情報』トピックにおいては、『あなたの幼稚園・保育園はどこ?』コミュニティのように自分が実際に体験した場所の話題のコミュニティが見られたことが特徴的であった。また、共通な点として特徴的だったのはオフ会などのような顔の見える関係を築くコミュニティにユーザーが推移している点である。このことから、顔の見える関係を築く話題に興味を持っているユーザーが多いことが推測される。

5 まとめ

本研究では、地域 SNS 「モリオネット」を対象として、東日本大震災に関するコミュニティに記事を投稿したユーザーが、平常時にどのような話題に興味を持ち、どのような情報を投稿しているかを分析した。

分析の結果、震災時においてユーザー間で支援活動の具体的な内容を議論し、支援活動の現状報

告のような情報提供が行われていた『学び応援プロジェクト』のトピックに記事を投稿したユーザーは、平常時には顔を合わせて活動を行うイベントのような話題の場へ記事を投稿したり、また情報を共有し合い、オフ会のような継続的に他のユーザーと顔の見える関係を築くような話題でコミュニケーションを取っている点が特徴的であった。

また、震災時にガソリン情報など生活の中から得た情報が投稿されていた『ガソリンなどに関する情報』のトピックに記事を投稿したユーザーに関して、平常時でのコミュニケーションの内容で特徴的だったのは、実際に顔を合わせて活動を行うイベント情報に関する話題でのやり取り、また一時的ではあるが他のユーザーと顔の見える関係を築くオフ会のような話題や、神社を実際に訪れて写真を撮影して記事を投稿、入手したお酒の情報を投稿するような、生活の中で体験した情報を投稿していた。

震災時において、メディアや他の情報サイトなどから得た情報を引用し、掲載していた『生活情報』トピックに記事を投稿していたユーザーは、平常時には実際に顔を合わせて活動を行うイベント情報に関する話題でのやり取りが見られ、また継続的にメディアやニュース記事からイベント情報などを引用して掲載し、コミュニケーションを取っているのが特徴的であった。そしてオフ会のような顔の見えるような関係を築く話題の場に継続的に記事を投稿していることも把握することが出来た。

これらのことから、平常時に顔を合わせて活動を行うイベントに関する話題やオフ会などの顔の見える関係を築くような話題の場を増やすことで、そこでのコミュニケーションが災害時での地域 SNS の有効的な情報提供の場として活用につながることを期待できると考えられる。

本研究で分析したトピックのカテゴリでは、同じカテゴリの中のトピックでも災害時において多少利用用途が異なるトピックが存在する。それらの内容をさらに把握することで、さらなる有効的な情報提供の場として活用につながることを期待できるであろう。

参考文献

- [1] 後藤真太郎, 小川祐樹, 山本仁志, 和崎宏, 五味壮平, 吉田等明, 2011 東日本大震災時の地域 SNS における場所への関心とコミュニケーションネットワークとの関係評価, 地理情報システム学会第 20 回研究発表大会講演論文集 (CD-ROM), 2011
- [2] 小川祐樹, 山本仁志, 和崎宏, 後藤真太郎 (2011): 災害時における地域 SNS の活用: コミュニティの時系列推移に基づく分析, 日本社会情報学会誌, Vol.23, No.1, pp.45-56.

著者紹介

後藤真太郎



立正大学地球環境科学部環境システム学科教授
博士 (工学) (東京大学)。

岐阜大学大学院工学研究科土木工学専攻修士課程修了。三菱総合研究所研究員, 金沢工業大学助教授を経て, 2003 年 より現職。

地理情報システム (GIS), リモートセンシングなどの技術を環境解析, 社会課題の解決等への適用研究に従事。科学技術振興機構:「サハリン沖石油・

天然ガス生産に備える市民協働による油汚染防除体制の構築」(2008.10-2011.9) 復興庁:福島県地域づくり総合支援事業(地域協働モデル支援事業)(2012.8-2013.3) 等 多数の研究プロジェクトを代表。

土木学会, 地理情報システム学会, 日本流体力学学会, 日本写真測量学会, 環境情報科学センター, 国際 ICT 利用研究学会等の会員。埼玉県 GIS 普及推進研究会会長, NPO 法人 GIS パートナリシップ代表理事, 新しい公共をつくる市民キャビネットスマート ICT 部会部会長, NPO 法人災害支援団体ネットワーク理事, NPO 法人基盤地図情報活用研究会理事, Code for SAITAMA 代表等を務める。

酒井聡一



ESRI ジャパン株式会社プラットフォーム
プロダクトグループ課長 博士(理学)(立正大学)
金沢工業大学大学院経営工学専攻修士課程修了。
株式会社パスコ, ESRI ジャパン株式会社, 立正大
学研究員・助手, 文京学院大学環境教育研究セン
ター研究員を経て, 2014 年より現職。GIS 製品/
サービスのリリース業務に従事。

土地利用の変化が地表面温度に与える影響 —台北市を例として—

白木洋平, 小林彩乃

立正大学地球環境科学部環境システム学科

Impact of Land-Use Change on Surface Temperature in Taipei

Yohei SHIRAKI, Ayano KOBAYASHI

Faculty of Geo-Environmental Science, Risscho University

要 旨

本研究では、台湾の中でも特に都市化の著しい台北市を研究対象地域とし、デジタル化を行なった過去と現在の土地利用図を利用した土地利用の変化について考察を行なった。次に、地球観測衛星 Landsat-5/TM を用いて 2 時期の地表面温度の抽出を行い、土地利用変化が地表面温度の分布に与える影響について評価を行った。その結果、他の土地利用と比べて市街地は相対的に地表面温度が高くなるという傾向が確認された。また、市街地に隣接する土地利用は市街地に近いほど地表面温度が高くなることも確認された。これは、市街地に近い土地利用には市街地から離れている土地利用よりも市街地を構成する成分（アスファルトやコンクリートなど）が多く含まれていることや土地利用図をデジタル化する際に生じた位置情報のずれによって地表面温度との位置と正しく一致しなかったことが考えられるが、このことから土地利用の変化と地表面温度の関係について正確な評価を行う場合、土地利用の境界領域の取り扱いについて十分に注意を行う必要があることが示唆された。

キーワード：地理情報システム, リモートセンシング, 土地利用変化

Abstract In this study, We studied the land-use change based on the digitalized land-use maps of the past and the present in Taipei, the most urbanized city in Taiwan. Next, using Landsat-5 /TM, the surface temperatures in two periods were extracted to evaluate the influence of the land-use change in the land-use on the distribution of the surface temperature. As a result of evaluation, the urban areas tended to be relatively higher in surface temperature than the other land-uses. It also confirmed that the other land utilizations had a higher temperature as they were located closer to an urban area. This might be explained by 1) The fact that the land uses located closer to an urban area include more constituent components of an urban area (such as asphalt and concrete) than land-uses located far from an urban area or 2) The possibility that the digitalization of the land-use maps might produce inaccurate positional information that did not match with the positional information of the surface temperatures. This suggested that border areas between different land uses should be carefully treated and examined for accurate evaluation on the relationship between the land-use change and surface temperature.

Keywords: Geographic Information System, Remote Sensing, Land-Use Change

1. はじめに

都市化の進展に伴う土地利用の変化や土地被覆の改変が都市の温暖化現象、いわゆるヒートアイランド現象を引き起こす一つの要因となっていることが知られており、これまでに様々な地域にて発生要因の解析や影響評価に関する研究がなされてきた [1]- [5]。特に、近年ではアジアの顕著な都市化に伴う市街地化が温度の上昇に与える

影響について着目されており、たとえば MODIS の地表面温度プロダクトを利用した研究によると中国の河北・北京・天津大都市圏では土地被覆の変化（市街地の拡大に伴う植生の減少）がヒートアイランド強度の増大に大きな影響を与えることを指摘している[6]。また、Landsat-5/TM と Landsat-8/TIRS を利用した吉林省の州都である長春を対象とした研究では、地表面温度が不透水域の面積（市街地面積）と大きな関係を

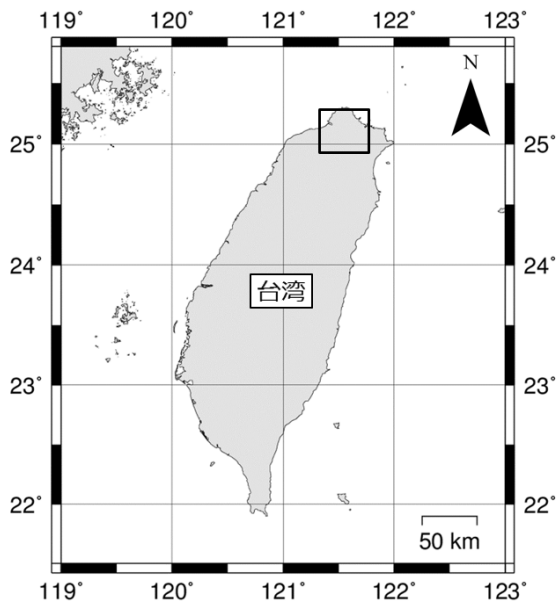


図 1. 研究対象地域 (図中四角にて囲まれた地域)

持っていることを指摘している[7]. わが国においてもこれまで様々な研究がなされており, 全国の都市を対象とした研究[8][9]や, 都市化に伴う市街地化が顕著な東京周辺域などに注目した研究がなされている[10][11].

本研究では, アジアの中でも近年都市化の著しい台湾北部に位置する台北市を研究対象地域(図 1)とし, 上述した既往研究と同様に都市化に伴う市街地の拡大が温度にどのような影響を与えているか評価を行うこととした. なお, 既往研究によって既に台北市を含むアジアのメガシティ(台北以外のメガシティとして東京, 大阪, ソウル, バンコク, ジャカルタ, マニラが挙げられている)における土地利用の変化と地表面温度の関係について評価が行われているものの[12], 土地利用における「市街地」を一つの単位で評価しているため, たとえば市街地とそれに接する土地利用の境界領域における温度の評価などについては詳細な議論が行われていない. そこで, 本研究では都市の進展に伴う市街地の拡大が明瞭である 2 時期の土地利用図をデジタル化し, 土地利用の変化が温度に与える影響, 特に市街地と他の土地利用との境界付近に着目し, 土地利用図を用いた温度分布の評価方法に関する問題点について議論することとする.

2. 研究方法および使用データ

2.1 2 時期の土地利用図の作成

本研究にて対象とする 2 時期は 1984 年および 1992 年である. なお, これらの土地利用図は総合地球環境学研究所の研究プロジェクト「都市の地下環境に残る人間活動の影響(代表者: 谷口真人)」によって入手されたものを利用している. まず, これらの土地利用図を GIS 上にて位置情報を与え, 併せてデジタル化を行うことで土地利用図のデジタル化を試みた. また, 地図中に地図記号のない空白地域が散在したが既往研究[13][14]を参考とし, 「市街地でも農地でもない開発の及んでいない地域」「森林でもない地域」については「その他」と分類することとした. 図 2 および図 3 にデジタル化を行った両時期の土地利用図を示す.

2.2 温度情報の算出

本来, 土地利用図と温度の関係を評価する場合は気温を用いることが望ましい. しかしながら気温は点の情報であるため, 対象地域が広域の場合は密な情報を得ることが極めて困難である. そこで, 本研究では衛星リモートセンシングによって得ることができる地表面温度を気温の代わりとして利用することとした. なお, 本研究にて利用した地表面温度は Landsat-5 によって 1984 年 8 月 22 日, 同年 9 月 7 日, 1992 年 7 月 27 日に撮影されたものの 3 画像である. 1984 年の衛星画像に関しては研究対象地域にまったく雲がかかっていない画像がなかったため, 比較的雲量が少なく全体的な地表面温度も近い 1984 年 8 月 22 日, 同年 9 月 7 日の 2 画像の最大値をとったものを 1984 年の地表面温度として使用したことを追記する. ここで Landsat-5 とは, 1984 年 3 月 1 日にアメリカ航空宇宙局により打ち上げられた光学センサ(TM: Thematic Mapper)搭載の地球観測衛星である. 空間分解能は, 熱赤外バンド(band6, 波長域 10.4~12.5 μm) が 120m, その他の可視近赤外(band1~5 および 7, 波長域 0.45~2.35 μm) が 30m であり, 観測幅は 185km である.

熱赤外バンドの DN (Digital Number) から地表面温度 T を推定する方法として, 以下に記す(1)式にて放射輝度への変換を行い, 次に(2)式にて放射輝度から地表面温度への変換を行った. またこれらの式から得られる値は絶対温度 (K) であるため, 摂氏 ($^{\circ}\text{C}$) に単位変換を行ったものを本研究における地表面温度とした. なお, 放射輝度や地表面温度の変換に必要な計算式および係数はアメリカ地質調査所(USGS: United States of America Geological Survey)により公開されている手順に従っている.

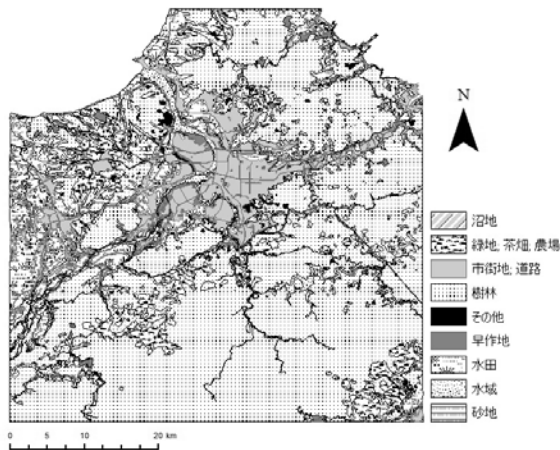


図 2. 台北市の土地利用図 (1984 年)

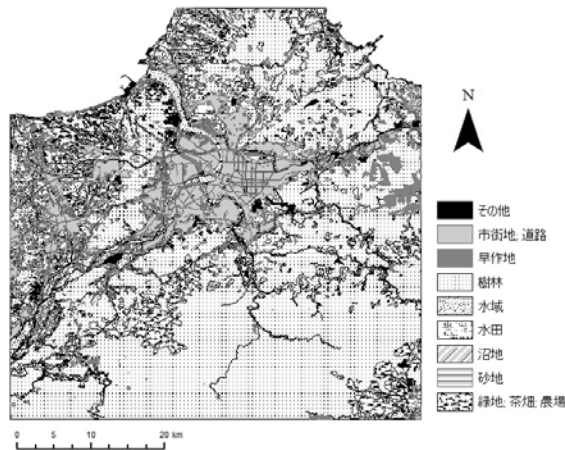


図 3. 台北市の土地利用図 (1992 年)

$$R = \left(\frac{L_{max} - L_{min}}{QCAL_{max} - QCAL_{min}} \right) \times (DN - QCAL_{min}) + L_{min}R \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$T = \frac{1282.71}{\ln \left(\frac{666.09}{R} \right) + 1} \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここで, L_{max} : 最大放射輝度, L_{min} : 最小放射輝度, $QCAL_{max}$: 最大諧調値, $QCAL_{min}$: 最小諧調値である. 図 4 および図 5 に作成した台北の地表面温度を示す.

3. 結果および考察

図 2 および図 3 に示した 2 時期の土地利用図を考察してみると, 両時期とも主要な河川の一つである淡水河を中心として市街地が形成されており, その周辺には水田や樹林が広がっている様子が見て取れる. さらに両時期の土地利用を比較してみると, 研究対象地域西部 (桃園市) および淡水河河口北部において市街地および水田が拡大している様子も見取れる.

次に, 図 4 および図 5 に示す地表面温度を見てみると, 市街地が形成されている地域において地表面温度が高くなる傾向が見て取れる. このことから, 市街地は他の土地利用と比べて相対的に地表面温度が高くなる傾向があることがわかる. さらにその他の土地利用を考察してみると, たとえば研究対象地域の土地利用の多くを形成している樹林や水田において地表面温度に差がある様子がうかがえ, 特に市街地に近い樹林は地表面温度が高い様子が見てとれる. なお, 図 4 および図 5 にて極端に低い値がととなっている地域は除外しきれなかった雲の影響によるものである.

次に, 市街地に隣接する土地利用の地表面温度が市街地の地表面温度の影響をどの程度受けているか考察するために, 図 6 および図 7 に示す通り市街地から 500m 毎 (4 段階: 0~500m, 500~1000m, 1000~1500m, 1500~2000m) にて領域を設定し, 市街地が周辺の土地利用の地表面温度にどのような影響を与えるか評価を行うこととした. なお, 本研究で対象とする隣接の土地利用は研究対象地域における全ての土地利用のうち占める割合の大きい水田および樹林としたことを追記する.

図 8 に結果を示す. これによると, 樹林及び水田の両方の土地利用において, 市街地に近いほど地表面温度が高くなるという傾向を見ることが出来た. これは, 市街地に近い土地利用には市街地から離れている土地利用よりも市街地を構成する成分 (アスファルトやコンクリートなど) が多く含まれていることや土地利用図をデジタル化する際に生じた位置情報のずれによって地表面温度との位置と正しく一致しなかったことが考えられる.

3. まとめと今後の課題

本研究では, 台北を研究対象地域として 2 時期の土地利用図をデジタル化するとともに, 土地利用の変化

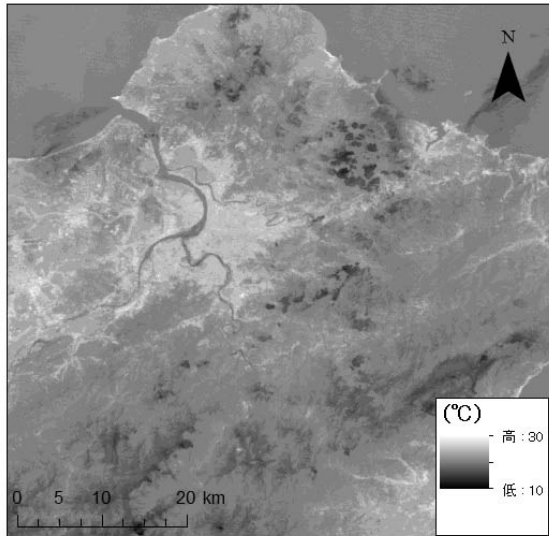


図 4. 台北市周辺の地表面温度分布図 (1984 年)

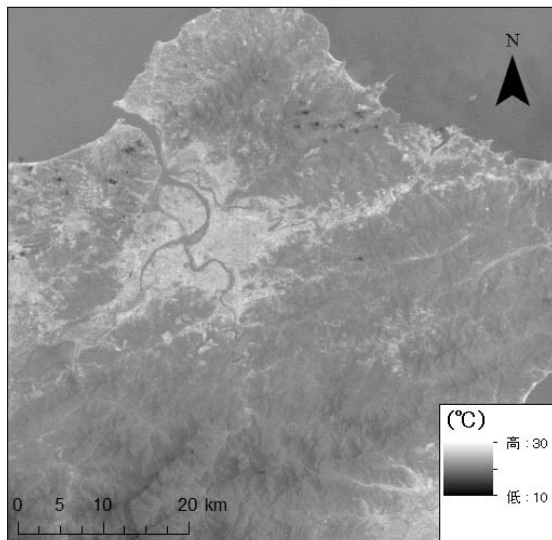


図 5. 台北市周辺の地表面温度分布図 (1992 年)

が Landsat-5 の DN から推定された地表面温度に与える影響についてリモートセンシングと地理情報システムを用いて評価を行った。

その結果、他の土地利用と比べて市街地は相対的に地表面温度が高くなるという傾向が確認された。また、市街地に隣接する土地利用は市街地に近いほど地表面温度が高くなることも確認された。これは、市街地に近い土地利用には市街地から離れている土地利用よりも市街地を構成する成分（アスファルトやコンクリートなど）が多く含まれていることや土地利用図をデジタル化する際に生じた位置情報のずれによって地表面温度との位置と正しく一致しなかったことが考えられ

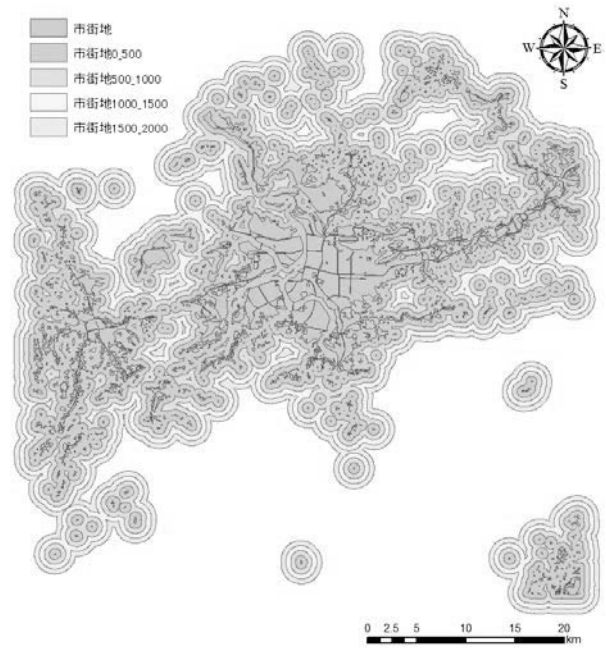


図 6. 市街地から 500m 毎にて設定した領域(1984 年)

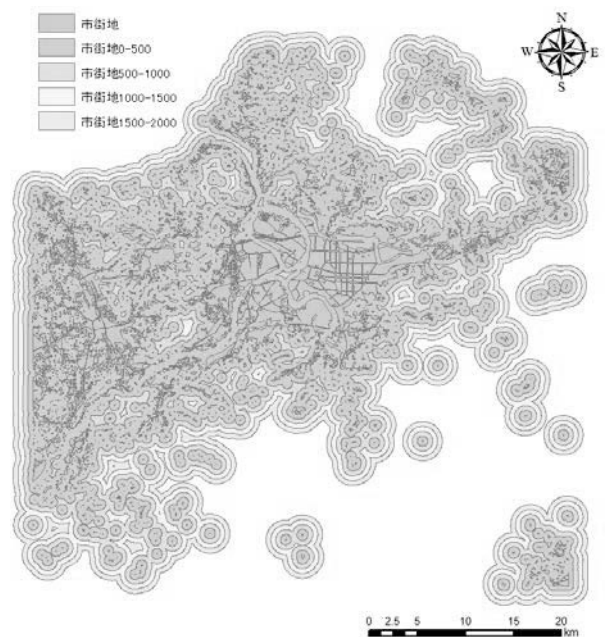
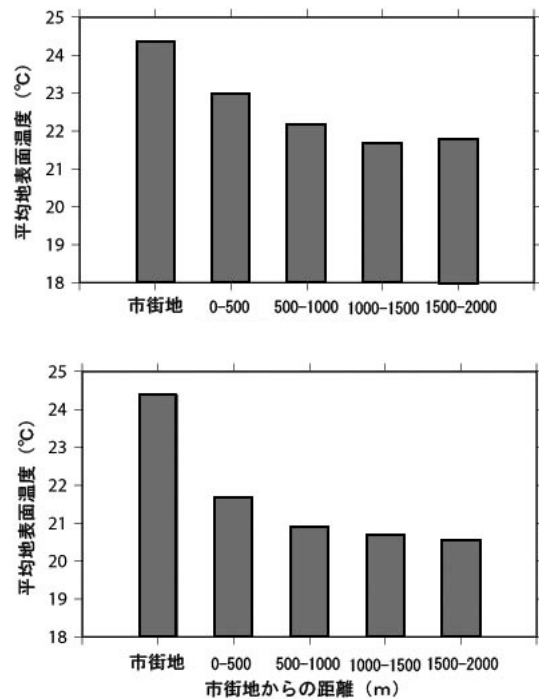
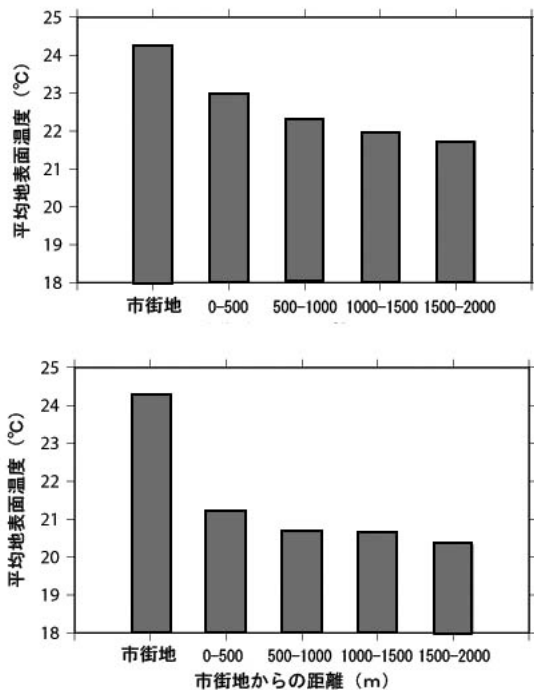


図 7. 市街地から 500m 毎にて設定した領域(1992 年)

るが、このことから土地利用の変化と地表面温度の関係について正確な評価を行う場合、土地利用の境界領域の取り扱いについて十分に注意を行う必要が重要となる。

本研究では 1984 年および 1992 年の土地利用図を利用して解析を行ったが、今後は本研究と同様の手法を用いて 2000 年代以降においても解析を行い、市街地の



扱

ついて、さらに検討を行う予定である。

謝辞

本研究にて利用した土地利用図は、総合地球環境学研究所の研究プロジェクト「都市の地下環境に残る人間活動の影響」(代表者：谷口真人)にて収集された情報を利用している。ここに記して感謝を述べる。また本研究は小林彩乃氏の卒業論文に一部加筆・修正を加えたものである。

参考文献

- [1] 河村武：都市気候の分布の実態，気象研究ノート，133, 26-47 (1977)
- [2] T. R. Oke : Review of urban climatology, 1973-1976, WMO. Tech. Note., 169, 100pp (1979)
- [3] M. C. Moreno-Garcia : Intensity and form of the urban heat island in Barcelona, Int. J. Climatol, 14, 705-710 (1994)

気温分布の時空間構造解析，GIS-理論と応用，6(2)，1-10 (1998)

- [5] 白木洋平，近藤昭彦，一ノ瀬俊明：GIS とリモートセンシングを用いた地表面構造が都市の温度形成に及ぼす影響評価，環境科学会誌，20(5)，347-358 (2007)
- [6] 王榮華，中越信和：土地被覆の変化によってもたらされた北京・天津・河北大都市圏の都市ヒートアイランドの変化，日本生気象学会雑誌，47(2)，77-89 (2010)
- [7] C. Yang, X. He, F. Yan, L. Yu, K. Bu, J. Yang, L. Chang, and S. Zhang : Mapping the Influence of Land Use/Land Cover Changes on the Urban Heat Island Effect—A Case Study of Changchun, China, Sustainability, 9(2), 312 (2017)
- [8] T. Maruyama, K. Saito, S. Ishikawa, and S. Nagasaka : Analysis of Annual Mean Temperature Difference Between Prefectural Capital Cities and Their Surrounding Small Town by AMeDas Data, The Japanese Society of Irrigation, Drainage and Rural Engineering, 70(2), 127-136 (2002)
- [9] 羽島知洋，清水庸，大政謙次：都市域の気温変化と土地利用変化の関連性の分析，日本農業気象学会誌，60(4)，291-297 (2004)
- [10] 杉山寛克，持田灯，村上周三，尾島俊雄：沿岸部における都市圏の拡大がヒートアイランドの形成に

- 及ぼす影響に関する解析, 62 (492), 83-90 (1997)
- [11] H. Kusaka, F. Kimura, H. Hirakuchi, and M. Mizutori :
The Effects of Land-Use Alteration on the Sea Breeze and
Daytime Heat Island in the Tokyo Metropolitan Area,
Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II
78(4), 405-420 (2000)
- [12] 白木洋平, 山下亜紀郎, 谷口智雅, 香川雄一, 一
ノ瀬俊明, 豊田知世, 吉越昭久・谷口真人: アジア
のメガシティにおける都市の発達が郊外との温度差
に与える影響, 地球環境研究, 13, 107-113 (2011) .
- [13] 山下亜紀郎, 阿部やゆみ, 高奥淳: アジアのメガ
シティにおける 5 万分の 1 地形図からの土地利用メ
ッシュマップ作成, 地理情報システム学会, 17(2),
205-208 (2008)
- [14] 山下亜紀郎, 阿部やゆみ: アジアのメガシティに
おける官製地図からの土地利用判読の問題点とその
対応, 酪農学園大学, 35(1), 15-27 (2010)

著者紹介

白木洋平

2008 年千葉大学大学院自然科学研究科修了. 博士 (理学).
総合地球環境学研究所プロジェクト研究員, 立正大学地球環
境科学部助教, 専任講師を経て, 2016 年同大学地球環境科学
部准教授. リモートセンシングや地理情報システムを活用し
た環境動態解析の研究に従事. 国際 ICT 利用研究学会会員.

小林彩乃

2016 年立正大学地球環境科学部環境システム学科卒. 在学中
は, 主に地理情報システムを活用した土地利用の変化に関す
る研究を行う.

マルチコプターによる空間情報の取得とその課題

瀬戸真之, 中村洋介
福島大学

Acquisition of Spatial Data by Multicopter and Its Problems

Masayuki Seto, Yosuke Nakamura
Fukushima University

要 旨 近年, ドローン的一种であるマルチコプターを用いた空間情報の把握が活発になってきた. そこで本稿はマルチコプターの有用性とこれから解決しなければならない課題について考察した. マルチコプターはヘリコプター的一种であり, ローターを複数持つ. このうち, ドローン (無人機) として運用されるものは無線操縦され, GPS や各種センサの働きにより, 安定した飛行を実現している. マルチコプターの運用による空間情報把握の利点は, 1. 効率的に広範囲の空間情報を把握できること, 2. 時間的・空間的に高解像度に空間情報を取得できることである. 他方, マルチコプター運用の課題として, 1. マルチコプターのデータ解析には高額なソフトウェアが必要なこと 2. GIS の高い能力が要求されること 3. 予期せぬ事態や環境の影響を強く受け, 時に簡単に墜落してしまうこと 4. 法的問題が残されていることを指摘した.

キーワード: 空間情報, マルチコプター, ドローン, 画像解析, SfM

Abstract Reentry, special data were acquired by multicopter. This paper considered usability of multicopter and its problems. Multicopter is a kind of helicopter that have three or more rotors. This type of drones was controlled by radio. There are many sensors and GPS receiver for stable flight. Multicopter have some advantages: 1. It can acquire wide special data efficiently. 2. Multicopter can acquire high resolution spatio-temporal data. On the other hand, multicopter have some problems: 1. The data analysis need expensive SfM software. 2. Users are requested high ability of GIS. 3. Multicopter is weak in a state of emergency situations. 4. There are legal problem of multicopter.

Keywords: Spatial data, Multicopter, Drone, picture analysis, SfM

1. はじめに

地理学に代表される空間情報を取り扱う学術分野では, ①どのようにして空間情報を得て, ②それをどのように表現し, ③どのように活用するかが長い間大きな課題であった. 例えば①は自分が地球上のどの位置にいるかを正確に知るために六分儀の他に精密な時計の発明が必要であった. これらのことは地図の歴史をひもとけば分かる (織田, 1973 ; Sobel, 1995). 近年では GPS をはじめとする時間情報を発信する人工衛星の運用により精密な位置情報を得ることができるようになった. ②は球 (楕円体) である地球をどのように平面に表現するか, という議論やいわゆる主題図を作成するときに, どのように表現するかといった試行錯誤があった. ③では例えば各種主題図を作成するだけでなく, 近年では GIS による空間情報の解析が一般的

となった. さらには全球規模の空間情報もリモートセンシングにより活発に行われるようになった.

上に述べたように科学の発達とともに, 空間情報の取得, 表現, 活用も急速に発達した. このような背景の中, ここ数年の間にドローンと呼ばれる無人航空機を用いた空間情報の取得がかなり活発に行われるようになった. なお, 「ドローン」という呼称は無人機の総称であり, 無人航空機そのものを指す呼称ではない. 無人航空機には回転翼があるもの, ないもの, 動力があるもの, ないものなどさまざまな種類がある. 本稿ではこの中で 4 つ以上の回転翼を持ち, 動力を得て飛行するものをマルチコプターと呼ぶ. したがってドローンの 1 種類としてマルチコプターを取り扱う.

空間情報の収集には衛星画像解析や航空写真判読が用いられてきた (松岡・山崎, 2002 ; 小荒井ほか, 2008). しかしながら, これらの手法は空間分解能と時間分解

能に限界がある。すなわち、航空機や人工衛星など高高度からの画像取得ではカメラ（センサ）から地表までの距離が遠いことから空間分解能に制約が生じる。また、コストや人工衛星の軌道が決まっていることなどから、必要な時間に適宜データ取得をすることは困難である。

以上のようなことから、低高度で高解像度の画像を取得でき、かつ時々刻々と変化する地表の様子を把握する方法が模索されてきた。このような中、マルチコプター（UAV ; Unmanned Air Vehicle）が低価格化、高性能化して詳細な空間情報を取得できるようになってきた（富田・北川, 2012 ; 佐藤・越村, 2013 ; 内山ほか, 2014）。なお、マルチコプター（UAV）は UAS（Unmanned Aircraft Systems）と呼ばれることもある。本稿ではマルチコプターを用いた空間情報の取得について、現状と問題点について述べる。

2. マルチコプターのシステム

無人航空機にはグライダー、プロペラ飛行機、ヘリコプターなどの種類がある。本論で議論するマルチコプターはヘリコプターの一種であり、一般には飛行するためのローターを 4 本かそれ以上持つ。これらはクアッドコプター、オクタコプターなどとローターの数により呼び方が変わることもある。

マルチコプターは無線操縦され、エンジンまたは電動モーターで飛行する。マルチコプターは高性能の Lipo バッテリーを搭載し、電動モーターで飛行するタイプが一般的である。連続飛行時間は従来 5~10 分であったが、近年の技術革新により 15~30 分の連続飛行が可能になった。Lipo バッテリーの欠点として可燃性であり、時に自然発火するという問題がある。他方で小さな容積に大容量の蓄電が可能である。この Lipo バッテリーの欠点は Lipo バッテリーそのものに制御用のコンピュータを搭載し、バッテリーの充電回数や温度、電圧などを把握し、適宜放電する機能を持たせたことである程度は解決されている。業務用の大型機ではさらに長時間の飛行も可能である。

位置情報の取得には GPS、GLONASS、みちびきを用いており、気圧高度計等と組み合わせて、同じ位置、高度を維持すること、すなわちホバリングすることができる。

飛行高度は百メートル以上に達する。床面を捉えるセンサを持つ機体は GPS などの衛星による位置情報を得ない状態でもホバリングが可能である。この機能の登場により高さ数十センチから数百メートルまで、他の手法では不可能な幅広いレンジを持った高さでの空撮が可能になった。

マルチコプターはローターが 4 本以上あることと、コンピュータによる精密な制御によって飛行することから、操縦は極めて容易である。また、飛行経路を指定すれば離着陸も含めた完全自動操縦も可能である。ただし、GPS や極めて精密な電子コンパスを使用するため、例えば高圧線の近くでは地磁気が乱れていてコンピュータ制御による飛行が困難であるなどの欠点もあわせ持つ。

空間情報を取得するときには、上記のようなマルチコプターにフルハイビジョンあるいは 4K 動画を撮影可能な高解像度カメラを搭載する。撮影は FPV（First Person View）を見ながら行う。FPV とはマルチコプターに搭載したカメラのリアルタイム画像である。

本論で例として紹介するマルチコプターは DJI 社製の Mavic Pro という機種（以下、Mavic と称する）である（写真 1）。本稿執筆時点で Mavic は最も高性能なマルチコプターの一つである。Mavic は 4 本のローターを持つクアッドコプターで高度センサ、磁気センサ、GPS を内蔵しており、これらから得た情報を制御用コンピュータで処理して機体の安定を図ると同時に、自動操縦することが可能である。また、機体にはカメラが取り付けられており、このカメラには本体 GPS から得た位置情報を送り、位置情報付きの画像を撮影できる。また Mavic は FPV が可能である。Mavic の連続飛行時間は約 27 分である。画期的な点として Mavic には前方障害物を検知するセンサが取り付けられており、自動で障害物を回避することができる。このセンサは超音波センサと二つのカメラから構成され、前方障害物を検知することができる。

Mavic のシステムは次のようである。すなわち、本体の操縦は専用プロポで行い、飛行経路の設定や FPV 画像の表示、カメラの撮影関係の制御はプロポに取りつけたスマートフォンに専用のアプリケーションをインストールして行う。アプリケーションには iOS 版と Android 版がある。

マルチコプターを使って地理情報を取得する場合、

例えば建造物の被害状況や河の増水の様子など単に映像を取得すれば良いケースではインターバル撮影や動画撮影で十分に対応できる。他方、防災のための避難経路策定や土砂災害による地形変化の詳細など 3 次元の情報が必要なケースでは複数の画像を一部が重複するように連続で撮影し、その画像をコンピュータで解析する必要がある。原理的には航空写真の立体視と同じである。この時には地表に GCP (Ground Control Point) を設置して、連続撮影した画像の中で同一点をコンピュータに認識させる手法をとることが多い。画像解析に使うソフトウェアは SfM (Structure from Motion) と呼ばれる。

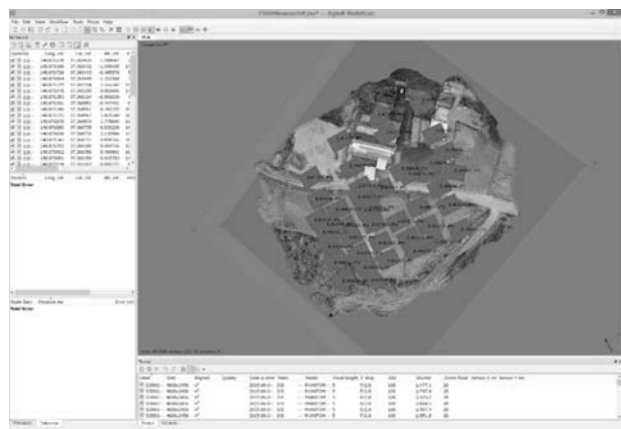


図 1 SfM の例

離陸から着陸まで 27 分程度という時間を考慮すると、Mavic では、実用的な運用範囲としては最大で 200m×200m 程度が 1 回のフライトで詳細な画像解析をするための限界であろう。なお、1 回のフライトで撮影できる範囲はバッテリー性能の他に飛行高度に依存する。大規模な地すべりや斜面崩壊など広範囲を詳細に解析したい場合には複数回フライトして取得した画像データを連結すれば良い。

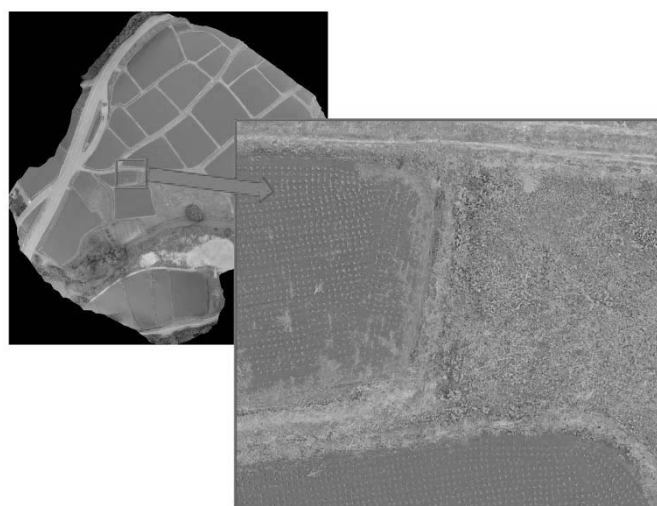
3. 空間情報の取得

本稿では空間情報の例として地形および土地利用を事例にマルチコプターの運用事例を紹介し、その利点と問題点とを整理する。

事例 1 土地利用 (農地)

Seto et. al. (2014) , Seto. et. al. (2015) は福島県川内村において農業の復興過程や耕作放棄地を把握するために目視による調査を実施し、述べて約 1000 枚の圃場

を詳細に記載している。最初に目視で調査を実施しておけば時系列変化を追うための調査は UAV を飛行させて変化している箇所を発見し、必要に応じて現地で確認すれば良い。図 2 はこのために撮影・解析した画像の一例である。広範囲の土地利用変化を知るだけならば解析画像を取得しなくても斜め写真でも十分である。川内村の例では目視で半日～1 日かかる範囲を複数回のフライトを行って約 3 時間で終わることができた。



この事例ではマルチコプターの運用により極めて効率的に調査を進めることができた。

図 2 オルソ化した農地の画像とその拡大画像
(福島県川内村)

事例 2 土地利用 (津波被災地)

岩手県山田町において撮影・画像解析した津波被災地のオルソ画像を図 3 に示す。このオルソ画像には約 400 枚の画像データが使用されている。このようにオルソ画像を作成し、被災した場所と被災しなかった場所とを比較することで津波の実態や安全な場所・危険な場所を見分けることが可能である。

東日本大震災に伴う津波では海岸に沿った崖に津波があたり、一部で斜面崩壊を引き起こした。このような場所で斜面崩壊を観察するためには船をチャーターすることを唯一の方法であったがマルチコプターを飛ばすことで容易に接近困難な場所の観察をすることができた。津波被災地では復旧・復興工事がかなりの早さで進行するため、現地の被災状況や復興過程を記録するには時間解像度の高い(=いつでもフライトできる)マルチコプターは空間情報の変化を捉えるために最適である。



図 3 津波で被災した集落のオルソ画像
(岩手県山田町)

事例 3 地形（地表地震断層の位置）

Seto and Nakamura (2016) は 2015 年に発生した熊本地震の被災地において地表踏査では分かりにくい状態にあった地表地震断層についてマルチコプターによる空撮を用いてオルソ画像を作成した。この結果、踏査で点の状態で把握されていた地表地震断層を線として明確に認識することに成功した (図 4)。この事例は従来の航空写真判読や衛星画像の解析では線として認識できない地表の変位や破壊の痕跡をマルチコプターを用いて線として認識できた点で画期的である。

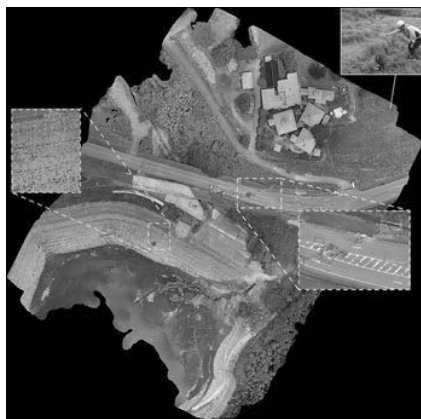


図 4 線として認識した地表地震断層
(熊本県西原村)

事例 4 地形（測量不可能な地形の認識）

Seto. et. al. (2015) は韓国南東部に位置するマノ山において、いわゆる「岩塊流」と呼ばれる巨岩が帯状に斜面に堆積している地形をマルチコプターによって調査した。マトリックスフリー（細粒物に充填されていない）の径 1m から 5m の花崗岩からなる巨岩が堆積している地形であり、その成因を考察する上で堆積物の 3 次元的形態の把握が必須であった。従来は横断測量や縦断測量で岩塊流の形態を把握することが多かった

(例えば、瀬戸, 2003)。しかしながら、マノ山の例で

は堆積域が広く、岩塊径が大きく、測量して堆積形態を把握することは事実上不可能であった。Seto. et. al.

(2015) はマルチコプターの空撮画像を解析し、オルソ画像, DSM (Digital Surface Model), 等高線図を作成した (図 5)。さらにこれらの画像をオーバーレイすることで岩塊流表面に大きな溝状の凹部があること、この溝状地形は地下水によって侵食された花崗岩風化層上部の形態を反映していることが強く示唆されることなどを明らかにした (図 6)。

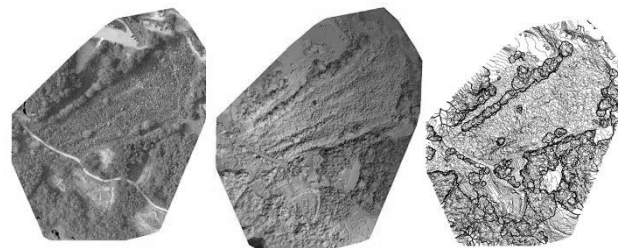


図 5 韓国マノ山における空撮画像の解析結果
左：オルソ画像 中央：DSM 右：50cm 等高線図

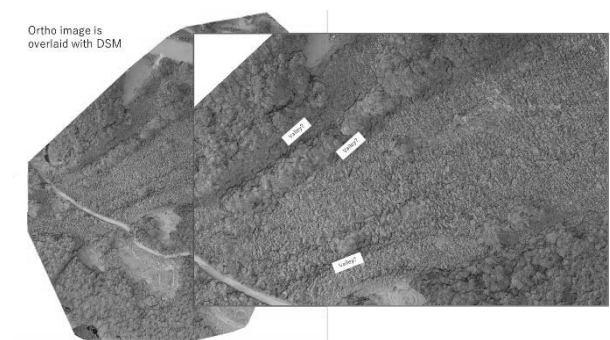


図 6 オルソ画像と DSM のオーバーレイ

4. マルチコプターの利点と課題

以上、見てきたようにマルチコプターによる地理情報の取得は機材さえあれば非常に容易で短時間で終了する。すなわち、離陸－撮影－画像解析と一連の流れを考慮しても、これまでより大幅に短い時間で作業を完了できる。このように手軽に地理情報を把握できるマルチコプターは土地利用調査や地形調査にも広範囲の空間情報の把握に応用できると思われる。さらにマルチコプターは有人機よりもはるかに低い高度を飛行するため、高解像度に地表状態を把握することができる。現在、日本のみならず、全世界で UAV (ドローン) の応用が活発になりつつある (Chang et. al., 2012 ; Wu et. al., 2013)。

他方で、マルチコプターの活用にはいくつかの問題

点がある。1. マルチコプターのデータ解析には高額なソフトウェアが必要なこと 2. GIS の高い能力が要求されること 3. 機体は年々進化しているとはいえ、予期せぬ事態や環境（地磁気，風，2.4GHz 帯の電波状態）の影響を強く受け、時に簡単に墜落してしまうことなどである。これらの課題は主として運用者の努力によって補うことができるが、民間で幅広くマルチコプターを活用することを考えると大きな課題である。また法整備の問題も残されている。現在，航空法によりマルチコプターを含むドローンの飛行範囲やルールが定められているが，例えば個人所有の土地の上空，国，県，市町村が管理する土地の上空を飛行して良いかどうかは法的にグレーな状態で航空法が運用されている実態がある。

5. まとめ

本稿では日々進化が続いているマルチコプターによる空間情報の把握について，本稿執筆時点における最新の情報を記載し，いくつかの運用事例を紹介した。これらのことから，マルチコプターの運用による空間情報把握の利点は，1. 効率的に広範囲の空間情報を把握できること，2. 時間的・空間的に高解像度に空間情報を取得できることを指摘した。また，マルチコプター運用の課題として，1. マルチコプターのデータ解析には高額なソフトウェアが必要なこと 2. GIS の高い能力が要求されること 3. 予期せぬ事態や環境の影響を強く受け，時に簡単に墜落してしまうこと 4. 法的問題が残されていることを指摘した。

今後，マルチコプターによる空間情報の把握は災害現場や農業などさまざまな現場で展開されていくことが予想される。マルチコプターによる空間情報把握の利点と問題点とを認識し，運用することがさらに高度な空間情報の取得・加工・利用方法の開発にとって重要となるだろう。

謝辞

本論を執筆するにあたり使用したデータの一部は JSPS 科研費 25220403，15K11927 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 内山庄一郎・井上 公・鈴木比奈子. SfM を用いた三次元モデルの生成と災害調査への活用可能性に関する研究. 防災科学技術研究所研究報告, 81, pp.37-60. 2014
- [2] 織田武雄. 『地図の歴史』, 講談社, 330P. 1973.
- [3] 佐藤遼次・越村俊一. UAV による空撮と画像解析を用いた被災者捜索技術の開発・土木学会論文集, B2 (69), pp.1461-1465. 2013
- [4] 富田 茂・北川一敬. 電動式ラジコンヘリによる災害状況の可視化. 可視化情報学会誌, 32, pp.75-78. 2012
- [5] 小荒井 衛・佐藤 浩・宇根 寛・天野一男. 各種光学高分解能衛星画像による地質災害の判読－判読特性の視点から見た各種画像の比較検証－. 地質学雑誌, 114, pp.632-647. 2008.
- [6] 高木 亨・瀬戸真之. 2000 年三宅島噴火による長期避難とその後の復興過程. 平岡昭利・須山 聡・宮内久光『離島研究 V』, pp. 49-64. 海青社. 2014
- [7] 高木 亨・瀬戸真之. 原子力災害による旧避難地域における耕作放棄地の現状. 日本地理学会発表要旨集 87, pp. 350. 2015.
- [8] 松岡昌志・山崎文雄. 人工衛星 SAR 強度画像による建物被害地域の検出手法. 日本建築学会構造系論文集 551, pp. 53-60. 2002
- [8] Chiang, K., Tsai, M., Huang, Y. and Lo, C., Lin, Y.. The Comparative Study of Direct-Georeferenced Unmanned Airborne Vehicle Geospatial Information Acquisition Platform. Advanced Scientific Letters 8, pp. 19-24. 2012.
- [9] Chien-Ting W., Cheng-Yang H. and Pao-Shan H.. Using UAV and VBS-RTK for Rapid Reconstruction of En-vironmental 3D Elevation Data of the Typhoon Morakot. Journal of Chinese Soil and Water Conservation 44, pp. 23-33. 2013.
- [10] Seto M., Takagi A. Comparison of the disasters and spatio-temporal scale. The 9th KCJ Joint Conference on Geography (Proceedings), pp. 37-44. 2014.
- [11] Seto M., Takagi A., Honda T. and Imaizumi R. Development of Disaster Reconstruction Model and Application to Post-Disaster Education Environment. The 10th CJK Joint Conference on Geography (Proceedings) CD-ROM, 2015.
- [12] Seto M., Nakamura Y. Combined ground survey and

UAS for finding surface fault at the 2016 Kumamoto earthquake. Abstract of East Eurasia workshop in 2016, CD-ROM, 2016.

著者紹介

瀬戸真之

1999 年立正大学文学部地理学科卒業。2004 年 3 月同大学大学院地球環境科学研究科環境システム学専攻博士後期課程修了



(博士 (理学))。2004 年 4 月立正大学地球環境科学部助手。埼玉大学地圏科学研究センター研究員などを経て 2013 年 9 月福島大学うつくしまふくしま未来支援センター研究員。2017 年 4 月同センター特任准教授。現在に至る。気候地形学, 自然地理学, 災害科学の研究に従事。日本地形学連合, 日本地理学会などの会員。福島県地学調査会理事。

中村洋介

2004 年 3 月, 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻博士後期課程修了 (博士 (理学))。 (独) 産業技術総合研究所地質情報研究部門特別研究員などを経て, 2013 年 4 月より福島大学人間発達文化学類文化探究専攻准教授 (自然地理学研究



室)。専門分野は自然災害科学, 活断層研究, 防災教育。土木学会地盤工学研究委員会斜面工学研究小委員会幹事, 福島県地学調査会代表理事。

編 集 後 記

国際 ICT 利用研究学会論文誌の創刊号をこうして無事発刊することが出来ました。全国大会の発表もしかりですが、論文のバリエーションが豊かで読んでいてワクワクさせてくれます。今回はフリーフォーマットで著者の皆様にお書き頂いているのですが、そのことがバリエーションの豊かさを増進させているのかもしれません。

ここで ICT と私との関りについて少し書かせてください。最初に私が ICT に触れたのは 1986 年のことでした。当時流行っていたファミリーコンピュータを両親に希望したところ「パソコンであれば勉強も出来るから」と言われて購入してもらったのが、本体はキーボード内蔵型でディスプレイはテレビを使用する MSX でした。メモリーが 64KByte (単位の間違いではないです) で、ハードディスクは内蔵されておらず、フロッピーに入らない容量のデータはカセットテープに保存していました。

私が携帯電話を初めて所持したのが 1996 年の時で、当時はアルバイトに行っていた FM 局のディレクターでさえまだ持っていない人もいる程度の普及率で、福岡市の地下街に電波が届いておらず、携帯電話を所持した当初は電波が届かないことに居心地の悪さと申し訳なさを感じて地下街を避けていた時期もありました。その携帯電話をスマートフォンに切り替えたのが 2008 年の時で、ボタンの無い携帯電話にとまどいつつも、モバイルアプリの可能性に心ときめいたものでした。

そのスマートフォンから SIM カードを抜いたものを 2011 年に生まれた私の娘は 2 歳の時から所持していて、NHK の教育テレビで放送されているある番組を見る際に番組アプリを使ってテレビを楽しむ姿を見ると、私の幼いころとは ICT による環境が大きく変わったことを実感します。

山下先生は巻頭言において、専門性を縦糸・ICT を横糸と表現されていますが、布生地 of 業界では経糸 (たていと) と緯糸 (よこいと) と表記し、経糸と緯糸を織りなす過程の事を経緯 (いきさつ) と表現します。また生地の織り方はいくつか種類があり、経糸と緯糸をどのように織るかによって同じ糸を使用しても仕上がり that 大幅に異なります。ICT を利用した研究は、糸が目まぐるしく変わり、その織り方によっても結果が大きく変わるだけでなく、その経緯が研究に大きな影響を及ぼしているところが魅力の一つなのかもしれません。国際 ICT 利用研究学会が新たな糸となり、会員の皆様がどのような成果を上げていくのか、その経緯をこれから皆様と見ることが出来ることに喜びを感じております。

国際 ICT 利用研究学会 理事

株式会社カンファレンスサービス 代表取締役 次郎丸 沢

国際 ICT 利用研究学会論文誌 第 1 巻 第 1 号

Journal of International ICT Application Research Society Vol.1 No.1

2017 年 6 月 30 日発行

発行者 国際 ICT 利用研究学会 論文誌編集委員会 (委員長 山下 倫範)

表紙デザイン 上山 慶恵

印刷 株式会社カンファレンスサービス

問い合わせ先 office@iicar.org