



Society for Science & Technology

科学からみた人間と生活のあり方

科学・技術研究からのアンソロジー

木村 武史 編著



Union Press

科学からみた人間と生活のあり方

—科学・技術研究からのアンソロジー—

木村 武史 編著



Union Press

目次

はしがき	v
------------	---

第一部 研究者・技術者へのメッセージ

第1章 科学・技術が良き未来を拓く一助となるために	2
第2章 技術と人間	8
第3章 しあわせインタフェースと社会実装	14
第4章 健康長寿と食品	20
第5章 科学と技術はどこまで広がっているのか—真理に。人の心に—	25
第6章 ブタペスト宣言と科学リテラシーの転換	31
第7章 日本人の強さを再認識する	36
第8章 人類の歴史は感染症との闘い—COVID-19 パンデミックのなか で、私たちは如何に生きて行くのか—	42

第二部 人と科学

第9章 測定についての—考察—認知と筋運動機能との関連実験の資 料から—	48
第10章 大衆による官僚制化の心理構造に関する実証的研究	59
第11章 母語対話の話者交替タイミング	78
第12章 竹炭ボードが学習環境に与える影響—快適な学習空間の提供 を目指して—	102
第13章 蛍光マーカーペンを用いた情報整理方法が学習者の視線移動 に与える影響の研究	116
第14章 J-POP の想起に関する実験的検討—楽曲の構造に着目して—	135

第 15 章 高校生の友人関係と SNS 利用に伴うネガティブ経験	149
第 16 章 時間ゲート型 BCI によるアクチュエータ制御と駆動閾値の最適化	164
第 17 章 頭部操作式ポインティングデバイスにおける咬筋部筋電位と咬合力の関係の評価	177

第三部 食と科学

第 18 章 環状テアニンの脳線条体からの脳内神経伝達物質の放出に及ぼす影響について	194
第 19 章 嚥下障害者の誤嚥事故防止へ向けた介護食品のレオロジー特性 ..	203
第 20 章 嗜好飲料として注目されている麦茶の成分と機能	214
第 21 章 味関連データを基にした日本酒の味のマッピングと分類化	225
第 22 章 Study to promote the attractiveness of <i>nori</i> —New recipe development of <i>nori</i> from a college students perspective—	238

第四部 科学と評価

第 23 章 トレオン酸修飾キトサンおよびキシロン酸修飾キトサンの凍結—融解処理によるゲル化特性ならびに生物学的特性の評価	248
第 24 章 In Silico study of the conformational flexibility of point mutated <i>Geobacillus stearothermophilus</i> farnesyl diphosphate synthase	258
第 25 章 LC-MS/MS 法による非蛍光性 AGEs 生成抑制作用評価法の検討	268
第 26 章 簡易な装置にて捕集した大気浮遊物質の分析電子顕微鏡による解析	279
あとがき	291

はしがき

木村 武史

ここ数年、科学と技術が社会を大きく変革する様をまざまざと眼にすることになった。

Covid-19（コロナ禍）パンデミックへの対応で、緊急事態ということもあり、従来のワクチン作成では使われていなかった新しい技術である mRNA（メッセンジャー RNA）を利用したコロナワクチンが製造され、通常のワクチン承認に必要な臨床試験の段階を飛ばして、ワクチン接種が進められた。その結果、多くの人々が救われたと同時に、副反応・副作用も従来には見られない規模で起きた。別の分野では、生成 AI の社会実装が急速に進んでおり、社会の様々な分野に大なり、小なりの影響を及ぼしてきている。大規模言語モデルによる ChatGPT の驚異的な進歩は人々を驚かせるとともに、技術が人間にとって代わるのか、人間の能力を補完する機能として見るのが等々、人間と技術の関係についての議論が沸き起こっている。眼を宇宙に向ければ、ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡で、今までは不可視であった初期宇宙の様子が分かり、従来の宇宙論では説明が十分に出来ないような銀河が捉えられ、新たな宇宙論が模索されている。新しい科学と技術は、我々人間の世界を次の段階へと進めてくれる。

だが、技術の社会応用、社会実装にも様々な課題があり、必ずしも全ての技術が成功裡に社会に根付くわけではない。そして、社会実装に成功する技術の背後には無数の基礎研究と応用技術の試みがあり、それらがあって初めて、偶然か必然か、ある技術の社会への応用、実装が成功する。それが短期的なもの

に終わるか、長期的なものになるかは、別の問題であるが、昨今は短期的にしか評価できない傾向があるのは懸念材料であろう。そして、社会へのインパクトに目が奪われると、技術の応用性の意義が過度に強調されてしまうが、科学と技術研究の基本は、基礎研究にある。基礎研究無くして、応用技術の開発はあり得ない。

基礎研究というと地味に思えるかもしれないが、研究が個々の研究者の創造性・想像力に基づく知的（に興味深く、楽しい）作業であり、学会を通じた同じ研究分野の他の研究者との対話・議論を通じて、自身の研究のレベルを高めている。普段の研究生活では、自身の研究分野の国内外の研究動向を追い、独創的な研究成果に辿り着くために日々努力している。個々の研究者がある程度自由に責任を持って研究を進められるのは、社会から委託された社会的責任を果たすことができると信頼されているからである。

しかし、現在の高度に細分化、発達し、しかも急速に展開していく新しい研究を追うのには尋常ならざる努力が必要な時に、他分野でどのような研究が行われているかまでは目を向ける余裕はあまりない。このような状況への反省から、現在では総合知ということが教育の場面で言われるようになってきているが、専門家である研究者自身はなかなか他分野でどのような研究などが行われているのかについて目を向ける余裕はないのが実情である。

多くの学術雑誌がある特定の分野の専門雑誌であるのに対して、広い分野の研究論文を掲載している『科学・技術研究』は、特有の意義を有している。ここ十数年の研究の動向を振り返り、其々の観点から社会と科学・技術との相互関係を俯瞰的に眺め、自らの研究の位置づけとその意義を再確認するひと時を持つことは、今後の自らの研究の方向性を考える上でも何らかの有益な示唆を得ることができるであろう。

本書は、『科学・技術研究』に掲載された論文から、「研究者・技術者へのメッセージ」、「人と科学」、「食と科学」、「科学と評価」のテーマで分けて、一冊のアンソロジーにまとめたものである。本書が、様々な分野の研究者の一助になることを願う。

第一部 研究者・技術者へのメッセージ

第1章

科学・技術が良き未来を拓く一助となるために

木村 武史

2012年10月8日にiPS細胞の山中伸弥京都大学教授がノーベル医学・生理学賞を受賞したと報じられ、日本中が喜びに沸いた。文系の私にとってもiPS細胞が生命を理解する上において画期的な科学・技術であることは分かる。自然な状態では起こり得ない生命の時間の流れを逆流する技術を人類が手にしたからだ。iPS細胞がもたらす未来の可能性についてはこれから十分に議論されることと思われるが、公表されている情報だけを見ても（深読みし過ぎる必要はないのかもしれないが）、人類が新たな一步を踏み出した、という感じがする。革新的な新しい科学、新しい技術が創造されると一つの新しい時代が切り拓かれたと感じられ、人間社会に何らかの変化を生み出してくれると期待される。新しい知、新しい科学、新しい技術の積み重ねが人類の進歩でもあったからだ。ただし、その影響がいかなるものになるのかについては、実際に実用化され、多面的な評価が可能になってから初めて明らかになる、ということも確かだろう。

ここ数年、筑波大学で生命環境科学系とシステム情報・ロボット工学系の研究者とそれぞれ共同研究を持つ機会があり、自然科学者、工学研究者も人文社会科学系（以下、人社系）の研究者と同じ基礎研究に勤しむ仲間であるということが分かった。一人ひとりの研究者は人間的にも素晴らしく、自らの研究に情熱を傾けている。遺伝子組み換えの野菜など食べたくないと思っていたが、遺伝子組み換えの研究者である渡辺和男教授の話聞けば、その分野において

革新的な技術を開発し、社会に貢献できると真摯に取り組んだ成果だということが分かる。ロボット・スーツ HAL の開発者山海嘉之教授のサイバニクス研究グループでロボット工学の研究者と対話する中で、ロボット工学の技術も人間の知的な探求が生み出した成果であるということが分かった。しかも、ロボット技術を作ろうとしながら人間とは何者なのか、という根源的な問いかけをしているというのは、実に新しい発見であった。

だが、人社系の研究者に与えられている役割は科学・技術の成果を単に賞賛することにあるわけではない。そのようなことは自然科学の学生向けの教科書に書かれている。また、科学史的な研究をする場合は既に歴史となった科学・技術の研究を取り上げることとなり、現在進行形の科学・技術の研究・開発について必ずしも十分な目を向けることはない。科学哲学はというと、これは一つの研究領域を既に形成している。しかしながら、2011年3月に起きた東京電力福島第一原子力発電所の事故以降は、科学・技術を研究対象としない人社系の研究者も現在進行形の科学・技術の研究・開発とその応用についても目を向ける責任が出てきたといえる。人社系の研究者が全てそのようなことをしなければならない、ということではない。専門分野を持つ研究者としてはまず自分の専門分野を、と考えるのは理解できる。しかし、研究者としてはしなくては良いかも知れないが、現代社会に生きる一人の市民としてはやはり何かしらの考察を加えることは必要になってきているのではないだろうか。その際には自らの専門と関連付けて考察をすることも可能であろうし、専門から離れて独自に勉強して自らの考えをまとめることもできる。

他方、同様に、細分化され高度な知識・技術を要求される専門分野で研究・技術開発に勤しむ自然科学研究者・技術系の研究者も一人の研究者として仕事をするだけでなく、社会の中で生活をする一人の市民として考え、考察を加えることも必要になってきているといえるのではないだろうか。実際、そのような社会活動をしている自然科学研究者・工学技術研究者がいることも確かである（研究の第一線から退かれている様子もみられるが）。だが、自然科学系・工学系の研究の在り方を見ると、期間限定のプロジェクト形式の研究開発が主流である。例えば、3年間あるいは5年間という期間限定で成果を出さなけれ

ばならない。限られた時間内で具体的な新しい技術を開発したり、新しい発見をしたりしなければならぬというプレッシャーがあるなかで、どのようにそれ以外の事に時間やエネルギーを使えるというのだ、という反論が聞こえてくる気がする。少し考えてみると、それは職業倫理に関することであり、組織に属する者としての倫理であることが分かる。だが、自然科学者・工学研究者自身が設定している研究の目標、それが実現された時に出来上がる知見や技術等が社会・文化の中でいかなる位置を占めることになるのか、肯定的であれ否定的であれ、そこに如何なる思想的・倫理的な問題が含まれているのかを考察し、それを公表しなくてはならなくなっているのではないだろうか。

ここで考えておく必要がある点がいくつかある。まず、人社系の研究者と科学・技術系の研究者といかなる対話が可能なのだろうか。私の数少ない経験から言えることは、人社系と科学・技術系の間の対話は上手く行く時は大変実り豊かであるが、多くの場合はとても難しい。最近、異分野融合とか分野横断とか言われるが、科学・技術系の研究者が行おうとする「人社系」的思考と人社系の研究者が考える「科学・技術」研究の間に距離がしばしばある。また当然であるが、科学・技術系の研究者が「人社系」的研究に期待することと「人社系」研究者が科学・技術に関して行う研究との間にも相違がよくある。新しい実験をし、新しい技術を生み出そうとしている科学・工学系の研究者は科学史的な詳細な研究は読むことは厭わないであろうが、自らそのようなことをするのに時間を割こうとはしない。また、現在進行形の技術開発や革命的知見はまだ確定していない、あるいは社会的に受容されていないということから人社系研究の対象とはなかなか成りにくいところもあるが、科学・工学系の研究者にとってはそれらに一番関心が引かれるところである。

更に同じ「倫理」や「社会」と言った言葉を用いた場合でも考えていることはしばしば異なる。ある新しい技術を社会に受容する前段階に議論すべき倫理学的問題という位置づけをする場合は、倫理学的考察に科学・技術の補助的ないしは補完的役割を期待しているためと思われるが、人社系的な科学・技術の倫理学的ないしは哲学的考察には批判的な役割と同時にそれ独自の関心に沿った議論が行われる。しばしば、両者は次元が異なり、議論が交わらないことも

ありえる。しかし、どちらの分野の研究者も社会的責任があるのであるから、議論の次元が異なるために議論が上手くできない理由を探求し、新しい議論の枠組みの構築を目指すことが必要である。そのためにはまずお互いを知るという作業が必要になってくるのではないかと思われる。お互いを知るということは自らをよく知るということも含まれる。そのような作業を進めるためには個々の研究者の善意に任せるのではなく、制度上の枠組みも必要となってくるが、その際にはどちらが主導権を握るとか政治的駆け引きをなるべくしないような体制が求められる。残念ながら工学研究者や技術者も人間であるので、科学や技術については自分たちの方がよく知っているから、あるいは技術は社会のために開発するのであるからという思い込みで自らが議論の主導権を握るのを当然と思われる節があるが、自らの専門分野を少しでも越えると語れる内容や知識がかなり薄くなることにはついてはあまり自省することはないかのように見受けられる。反対に人社系の研究者が自然科学あるいは工学の研究について正確にかつ詳細に論ずることはできないことは改めて言うまでもない。

それゆえ両者ともにメタレベルでの考察が必要となってくる。少なくとも両者の間で議論が可能となるような言語を生み出し、共有できるテーマは何かを論ずることから始めることはできるだろう。だが、そのような作業は理想論的には正しいかもしれないが、実際は困難を伴う。人社系と工学・自然科学系を架橋できる人材育成という試みも行われているようであるが、あくまでも補足的な位置づけが与えられているにしか過ぎないという印象がある

さて、科学・技術に関しては単に哲学的な考察だけではなく、政治的・経済的な次元についても目を向けなくてはならない。新しく開発された技術が広く社会に浸透するには、基礎研究、技術開発という次元とは全く異なる製品化、広報、経営等といった領域における才能が求められてくる。それらが欠けていたために実際に応用されていない素晴らしい発見や技術がたくさん眠っているのではないかと思われる。そして、製品化、広報、経営といった段階において技術者の良心が試されるということも起きてくるだろう（通常はあまりないかもしれない）。

しかし、短期的には経済的利益をもたらすと期待される技術であっても、何

らかの事故や予想していない事態が起きた時に被る損害が大きい場合は、予防原則に則って、利益と被害のバランスを慎重に考慮する必要がある。この短期的という時間軸がどのぐらいの時間の幅なのかも考えておく必要はあるだろう。福島第一原発事故の教訓のひとつは、1970年代から40年間ほどの間に広く使用された原発のエネルギーによって可能となった経済上の利益と廃炉処理にかかる時間と費用、放射線に汚染された地域の除染（それが可能ならば）にかかる時間と費用、高レベル放射性汚染物の管理処理にかかる時間と費用（地層処分でも10万年間かかるということは周知されるようになった）等を天秤にかけて社会全体で考えなくてはならないということである。

しかし、同時にむやみに新しい技術が社会に応用される道を閉じるべきでもない。現在のグローバルな競争の時代、新しい技術を応用するスピードが求められているが、その議論の段階で科学者・技術者はどの程度まで参加すべきか、どの程度決定権があるのかについても議論をすることができるだろう。個々の事情に応じて変わってくるが、多くの技術者は良心に従って研究している場合が多いと見受けられる。むしろ、経営上の判断が倫理的に見て問題である場合があり、短期的・長期的な悪影響（健康上の悪影響は言うまでもない）を及ぼしている場合も見受けられる。福島第一原発の事故においては経営者、政治家、官僚の責任が曖昧にされてしまったし、法的にも追求はされていない。むしろ法的に責任を取らなくて良いシステムが作られていたと思われる。おそらく原発事故の甚大さを考えたときには誰も責任が取れないということが分かっていたが故にそのようなシステムを構築したのではないかと思われる。原発事故の後、科学者・技術者の責任について広く議論されるようになってきたが、経営者・政治家等の責任を問わずに科学者・技術者をスケープゴートにすべきではない。むしろ、経営者・政治家はいかなる責任を持つべきなのか、経済のことだけを考えればよいのかという問題を科学者・技術者自身ももっと問いたださなくてはならなくなっている。

その他にもメディアの問題やいかなる基準で技術の価値を判断するかなど多くの問題が関連してくると思われる。科学者・技術者はもはや単に科学や技術のことだけを考えれば良いという時代は終わったのではないだろうか。それは

また、現代の科学・技術の影響力が大きいことの証しでもある。このような中、人社系の研究者の役割は何であろうか。人社系の研究者は過去に造詣が深いだけでなく、世界各地の文化についても良く知っていることが多い。科学・技術を研究対象としていなくても、現在の科学・技術の在り方には色々と考えていることもあると思われる。そのように常日頃考えていることを専門分野を持つ研究者としてではなく、現代社会に生きる一知識人として披露し、共有することは許されるのではないだろうか。

掲載：科学・技術研究, 第1巻2号, pp.73-74 (2012年)

第2章 技術と人間

中迫 勝

1. 技術の発展と人間

技術は人間の力によって編みだされ、人間社会に適応されてきた。技術のほとんどは経済的な、そして政治的な根拠は別として何となく単純に受け入れられ、その詳細を知る由もない。人間社会における技術の変遷をみると、細分化された技術は正体を変えた技術産物として社会に投入され、その技術の長所が強調され、スピードと正確さを争って技術開発に挑戦する人間社会環境を形成したと言っても過言でない。技術の人間への導入は、技術的環境を軸にした技術社会環境を発展させてきた。しかし、人間社会に「光」と「影」のある様相をつくりだしたことも事実である。

現代技術社会の中で技術と人間のあり方を考え、技術が長年の伝統に培われた精神と、そして現代技術をコントロールする科学的精神の重大さを一考することは、現代に生きるわれわれに与えられた価値のある役割であろう。

2. 技術の社会的適応の優先

産業革命以来、産業技術は急速に出現し、発展をつづけて、人々に生活の豊かさをもたらし、そして生き方を変えてきた。とくに、ME（マイクロエレクトロニクス）技術の発展と応用は、技術による機械化・自動化の高度集積をもたらし、産業技術としてロボット職場をつぎつぎと生み出した。それらは技術

の人間化を無視した人間の機械化・自動化への同化を一層加速させてきた。

このようにして、技術革新は社会と経済を一変させ、人間の生活革命を演出してきたと言えよう。技術と人間は相互依存の関係にあるが、技術を支配する人間が自らの創造的で、豊かな命を最大限に活かせるように貢献してきたであろうか。ほとんどの人々は、そのシナリオや華々しい舞台上に喝采を送り、共感、共存してきた。実は、その主役は役者としての人間であり、ごく僅かな一握りの役者である。その大役者のひとりとは人工の「明かり」をあみだし、人類の誕生以来つづいてきた「暗やみ」の活動から解放したエディソン、T.であった。それは1879年の電球の発明である。そして、その僅か半世紀余の1942年にシゲリスト、H.は『文明と病氣』の中で、照明の発展は人間生活のあり方を変貌させ、人間の生涯の中で、目覚めているときを長くし、人類の自然から与えられた個々の人間の生活のリズムを崩壊させ、とくに、睡眠時間が短くなり、不十分になった。そのために、人類の健康に被害をもたらしていると警鐘を鳴らしている。

さらに、技術進歩は人類の弱点を補い、24時間休むことのない「眠らない社会」の建設にいとまなくあらゆる産業に拡大し、昼だけでなく、夜も働く人々を急増させてきた。シゲリストの警鐘から4半世紀後の今日、英国から、一日当たり9時から17時まで働く人に比べて、11時間以上働く人は心疾患のリスクが高くなるというニュースが世界に伝えられた。すこし大袈裟さになるが、その背景には、技術による弊害が人間社会全体に拡大し、人類の存在にかかわる問題として発信されたといえよう。技術の生み出したさまざまな賜物が人間の生活に著しい変貌を要求し、心身の活動の乱れをもたらし、心臓や血管に、また脳神経の働きに悪い影響を与え、心臓疾患や循環器疾患などの起こす基盤がつくられているというのである。われわれ人間の生活に寄与できるリスク軽減は、誰からみても緩やかな条件をリストに付け加える程度で、必ずしも科学的根拠にもとづくのもでもない。したがってリスクから考えて、まず患者の働いていた時間を調べて、人間の状況を知ることになる。言いかえれば、科学の中で重視されねばならないのは「社会科学」であり、その理念である。

3. 技術の異変

この技術社会環境の中で考え、実現されるべき人間の「いま」の問題は何であろうか。どうすれば作業関連性の心疾患を予防をできるか。その有効な社会的基準は何であろうか。また科学的基準はなんであろうか。また、その許容水準はいかにあるべきであろうか。

技術社会環境における人間あるいは人類の悪化の事態は「である」とは言いがたく、「であろう」と言い表されるのが常である。技術環境の人類に与える影響が社会環境に現れるには、ある程度の長さの時間を必要とする。なぜなら、人間の活動に対する異変や異常は極めて希であり、人間が気づいてはじめて異変として捉えられる。しかし、その異変が社会的に認識されて、社会的環境を変えるまでに相当な時間を覚悟しなければならない。それは社会的実証からスタートして、科学的実証に至るまで待たねばならないからである。

技術に付随して生ずる技術の落とし子は生活する人間社会の中で、ときには人類に生じた問題は人類全体で解決されねばならない。技術によって形成された環境に由来する放射線とか、さまざまな複合汚染などでますます悪化する事態をくいとめるためには、人間のいや人類すべての計り知れない知力、体力、経済力が求められる。技術の汚点あるいは欠点は人類の汚点として、将来にわたって人間の無限の労苦を必要とすることを理解しなければならない。このような出来事の因果は、過去の歴史的変化から人間への影響を観ることができ、認識することができ、推察できるであろう。

4. 技術に求められるグローバルな見方

技術と人間は人類の歴史においてひとつのシステムであると考えられてきた。細分化された人間－機械系では人間固有の限界と自由度をややもすれば無視し、人間の及ばない能力をシステムに組み込まれた技術が脚光を帯び、その存在を誇示した状況におかれているといえよう。この問題の本質は技術によって生じた、あるいは生じる人間社会の歪みは技術環境の問題ではなく、人間社会の中に作られる社会にある。つまり、いまある人間の状況は人間を取り巻く

技術の状態と、これらの技術についての人間の知識の状態によって見極められねばならない。このような技術環境が人間社会への影響、人間の生命への影響を与えることを経済と政治を超えて理解する努力が必要である。

技術の科学的理念は人間の欠点と限界を少なくとも正しく理解し、社会的適応を基本にした「社会科学」に基づいた理念を内包していることが最も大切である。とりわけ、人間社会はさまざまな技術を受け入れ、稼働する状況の中でますます高度で複雑な技術環境を創造してきたが、技術に適合する人間社会の組織の確立と組織の条件の構築に無関心であってはならない。

5. 社会的技術環境への警告

技術開発の目的は人間の能力の速度と正確さ、そしてエネルギーをできるだけ凌駕することにある。技術を集積した機器が人間能力からみて効率を格段に向上させ、そして経済的豊かさをもたらすと考えると、その技術環境をつくり、人間の労働に活かされる。人間の状況に発生する悪化の典型的な事例は、長い期間にわたって治癒しがたい心身影響をもたらした「文明病」とみなすことができる。人類が技術の犠牲者になることを見逃してはならない。これまでの最も身近な例をみてみよう。道具や機械は経済的豊かさを求めて、便利さのために使い続け、そのために発症した「職業病」がある。イタリアの医師であったベルナルディーノ・ラマツィーニ（1633-1714）は、彼の名著『働く人の病』の中で道具を用いて働くひとびとの病を記し、道具の利用のあり方によって悪害のあることを、機器のもつ利点が経済的に高い効率を生み出し、便利さ故に全世界に拡がるが、機器のもつ特性が人間の心身に深刻な影響をもたらすには相当な期間が必要であると述べている。技術進歩の光と影について技術の責任は問われるべきである。

技術－人間環境を理解するには科学、ことに社会科学を学ぶことが重要であろう。1960年代から1970年代の人間機械系を軸にした技術環境は経済的欲求を追求し、人間社会にさまざまな弊害を深刻化させ、人間のおかれている状況を一変させた。

1970年以降に、欧州諸国を中心として「労働の人間化」そして「労働の質

的向上」が提唱され、1976年国際労働機関（ILO）は「作業条件・作業環境改善計画」（PIACT）を提起した。その基本理念は技術環境の弊害による人間—技術の環境を改善し、人間の知力と体力を活かし、人間の能力の向上を根本としている。

「技術—人間環境」を理解するには科学、ことに「社会科学」を学ぶことが重要であろう。上述の時期の技術の機械化・自動化の主流は1980年代のコンピュータ技術に支配される社会技術環境の出現である。技術と人間の不整合による人間の健康影響の存在が実験科学的に検証され、医学、人間工学そして心理学の原理原則を重視した技術開発を志向するようになってきた。俗にいう、人にやさしい設計である。このような考え方にも別の注意が必要である。ひとにやさしい技術はできるだけひとに似せたものをつくることではない。国際労働機関の提唱する労働の人間化を発展させ、国際標準化機構（ISO）は人間工学の原則を視野に入れた新しい規則・規格を制定した。人間工学の体系化に先駆的役割を果たしたスイス連邦工科大学のグランジャン・エティエンヌ教授（1914-1991）は、ほとんどの人間工学からの要求を満足した標準仕様というものは人間工学者、経済学者、産業界、労働組合、経営者からなる委員会によって作られてきたと記述している。これらはもっともらしく、適切なようであるが、現実の条件で、厳密に検討されたものはほとんどなく、妥協の産物であると名著の *Fitting the task to the man* に述べている。

正にその通りである。重要なのは、その一般理念であり、「仕事を人間に合わせる」ことである。技術の本質は人間の身体条件と精神条件そして感情条件を満たし、人間の心身機能を補足したり、支援する技術環境の形成にある、といえよう。

6. おわりに

いまや人間は技術の速度と密度に圧迫され、人間自身が自らのリズムで生きることができなくなっている。人間の活動リズムは、技術の刻むリズムによってつくられるものではない。技術にあわせられたリズムは人間の「はたらし」の崩壊につながるといえよう。技術の人間社会への適応と言う命題は、技術の

誕生から絶えずその「はたらき」の実験科学的に検討し、政治や経済の欲望や渴望を超えて社会科学の中で検討し、是非の判断を下す必要がある。科学的実証から得た理念の重要性をますます重視しなければならない。

掲載：科学・技術研究, 第4巻2号, pp. 111-112 (2015年)

第3章

しあわせインタフェースと社会実装

森本 一成

1. 超スマート社会

2016年に閣議決定された第5期科学技術基本計画の第2章には、未来の産業創造と社会変革に向けた新たな価値創出の取組として、①未来に果敢に挑戦する研究開発と人材の強化、②世界に先駆けた「超スマート社会の実現」(Society 5.0)、③競争力向上と基盤技術の戦略的強化が掲げられている。超スマート社会とは、「必要なもの・サービスを、必要な人に、必要な時に、必要なだけ提供し、社会の様々なニーズにきめ細やかに対応でき、あらゆる人が質の高いサービスを受けられ、年齢、性別、地域、言語といった様々な違いを乗り越え、生き生きと快適に暮らすことの出来る社会であり、人々に豊かさをもたらすことが期待される社会」であると定義されている。また、科学技術イノベーション総合戦略2017には、「サイバー空間とフィジカル空間（現実空間）の融合により経済・社会的課題を解決し、人々が質の高い生活を送ることのできる Society 5.0 を世界に先駆けて実現する。」とある。

Society 5.0の実現には、たとえば複数のセンサー群から取得したビッグデータ解析とその分析力が要求され、身体情報の長期間収集のためにはウェアラブル計測機器の小型化、高精度化、そしてヒューマンインタフェース技術などが重要となってくる。超スマート社会ではIoTの発展に伴い、機器の使いやすさやわかりやすさが格段に進み、様々な機器のシームレスな使用環境の構築がされていくと思われる。使いやすさやわかりやすさは我々の社会生活を豊かにす

るインタフェースとして機能することは確かであり、そこに「気持ちを伝える」とか「ここに寄添う」仕掛けを持たせることにより、使いやすさやわかりやすさの機能だけでは成し得ない要素が生まれ、Society 5.0に必要な部分を補うことができると思う。

さて、高齢化が進む現代においては高齢者や認知症患者が急激に増え、医療・介護施設の負担増、高齢者の孤立、生き甲斐の喪失等の様々な問題が生じている。Society 5.0ではこの状況の改善が求められる。高齢者が可能な限り社会との関わりを保ちながら、各自の自立した生活を自宅ですることのできる生活環境の確立の実現である。高齢者や障害者支援に関しては、ユニバーサルデザインやインクルーシブデザインといった、製品設計の当事者も気付いていないニーズを生活者の視点から汲み上げ、様々な技術等を組み合わせるデザインコンセプトを構築する手法が用いられている。自宅を核にして家族やコミュニティとの繋がりを維持し、社会参加やコミュニケーションを支援するための機器の開発が必要と考えられ、高齢者が他者と関わり、見守られ、相互の暖かみやぬくもりを感じながら永く自宅で自立して生活できるライフスタイルの創造と介護者の負担軽減なくして、人に寄り添う Society 5.0の実現は不可能と考える。

2. しあわせインタフェースデザイン

Society 5.0のデザインの基盤となるのは、心に響く、心が満たされるといふ関係構築であり、モノと仕組みのデザインに関する相互影響を通して、希望の社会を構築しようという考えである。2011年の東日本大震災は多くの教育、研究、開発者に「今まで自分たちは何をしてきたのだろう。何と無力なのか」との問いを抱かせ、誰のための何のための教育研究であるのかを問い直す契機になった。機器の使いやすさやわかりやすさは大事であるが、本当にそれがユーザにとって「しあわせ」を実感させるものであろうか。人はささいなことにでも、しあわせを感じることもあるし、必ずしも機能としあわせ感が比例しないことも事実である。人の特性は変容するし、理解できないが納得出来ることはよくある。このため、論理的な説明の難しい感覚的な説明が要求されよう。したがって、たとえば様々な時系列計測データと人の感性との関連性を構築が求められ

よう。

2020年の東京五輪開催は人工環境の劇的変革のチャンスであり、誰もが「しあわせ」を感じられる技術革新のチャンスでもある。しあわせインタフェースデザインの根底に流れていなければならないことは、すべての人には「人としての尊厳」があるということである。支え支えられる関係だけではなく、頼り頼られる関係も重要になるし、ひいては生きていだけでも社会に貢献しているという共通認識が、しあわせインタフェースデザインの核となる。また、しあわせインタフェースデザインには居場所や関係性の構築が重要であり、いかなる場合も決して「排除のための論理」を振り翳してはならない。Society 5.0の目指す質の高い生活の実現には、この考え方が欠落してはならないと思う。

しあわせインタフェースデザインのためには、人の情報処理特性を知ることが重要であるが、特に、人はそれぞれ情報の受け取り方や処理方法が異なり、同じ情報に対して異なる解釈をすることがあるし、場合により傷つくことも誰もが経験しているであろう。人それぞれに情報を解釈する心のクセと表現すると分かりやすいと思うが、そのクセをどのように扱うかが問題である。鈍感力の優位を勧める書籍もあるくらいで、あまりに感度が高いと人は疲れて誤った判断をする。心のクセを把握し感度を落すときとスイッチを入れるときを使い分ける必要があろう。こうした処理をするシステム構築が Society 5.0の実現には求められる。そのためには、これまでノイズとして捨てていたデータに解析の目を向けた脳活動とこころの関係説明が欠かせないだろう。

また、Society 5.0ではスマートテキスタイルのような機能繊維で人、物、街までを包み込むことにより、街全体をウェアラブルにしたユビキタス情報化社会の実現が期待できる。衣服と情報の関連を感性特性にまで拡張し、たとえば、黙って座ればびたりと当たるテキスタイルや、気持ちを伝えるテキスタイルなども夢ではないだろう。ヘルスサイエンスの分野では、すでに商品化が進んでいる日常の体調管理に対する技術的な開発に対する期待は大きい。たとえば、スマートテキスタイルを使って、体調をびたりと診断できる体調管理システムが考えられる。現時点でも複数のセンサーをソファに埋込んで計測する方法のように、利用者に装置を意識させない計測の可能なことが、しあわせイン

タフェースデザインの重要な要素になる。また、疲労や睡眠も健康に関連する非常に大きな課題である。睡眠時の脳の状態をモニターするスマートテキストイルまくらはどうだろうか。脳は無意味な情報が通過するだけで活性化されると言われており、意識の及ばないところで働いている脳の側面を計測することは重要である。そこではノイズも有用なデータになる。うっとり寝ている状態かどうかの判定ができると、不眠に対する対策も進むだろう。また、人体が触れることによる通信技術、いわゆる人体無線網の研究が進んでいる。将来は、握手で相手にこの状態を伝えることの出来る装置が開発されよう。すでに指摘したように、こうした複数のセンサー群から取得したビッグデータの解析力と分析力が Society 5.0 の実現に不可欠である。

3. 社会実装

超スマート社会とそれを実現するための技術としてのしあわせインタフェースについて述べてきたが、技術と社会の連携が未だ未だうまく構成されていないという現実がある。技術は社会に還元されてこそその目的を果たしたと言える。技術の実装について考える。

科学とは真実の探求であり、その科学本来の目的は十分価値のあるものと認めて研究を進めるべきである。一方、技術は科学の応用であり、基本的に技術は社会との関わりを持つ事が必須であろう。ある企業との共同研究の際によく千三つ（ときには千ひとつ）といった自虐的な言葉を聞くことがあった。千三つとは本来、千の品目を出してもヒットするのは三品目くらいという意味で、新商品の開発の難しさを指すらしく、研究開発にも似たような傾向がある。多くの時間と金をかけた研究成果が社会に還元されなければ、それはある種自己満足の研究として非難されても仕方ない。

近年は研究成果を社会に還元することを強く意識するように、社会技術とか社会実装という言葉がよく使われている。研究により得られた新たな知見や技術を公開して終わりではなくて、さらにそれを発展させ製品化し市場に出し、ユーザに便益をもたらすよう、研究成果を社会に還元することが求められているのである。

研究室における実験は実験条件を厳密に統制でき、社会実用化のための現場実験では実験室実験とは異なる様々な条件が加わる。このため、ユーザの応答も多種多様になる。つまり、ノイズも含めた実験データの中から最適解を見つけなければならない。また、社会実装に至るまでの多くの課題や問題に対して、研究者の範囲だけで推し進めるには限界がある。社会実装をより効果的に進めるためには、研究の企画段階から研究グループに産業界、行政自治体、研究助成機関、市民なども巻き込み、研究を推進することが必要である。研究の進捗にあわせてグループで問題解決をすることにより、社会実装の活動を効果的に推し進めることが求められる。できるだけグループ編成を軽くし、短期間で研究成果が得られ、社会実装される事を目指す研究も増えてきた。研究成果を社会に還元するためには、地域住民の生活への影響が考えられる場合は住民への説明を伴うし、自治体の許可を得る必要が出てくるなど、様々な制約が付随してくることを想定しなければならない。このように、多くの異分野の専門家が研究に関わることとなり、従来の研究の進め方とは大きく異なるため、社会実装の難しさはステークホルダーの数だけ膨らむことになる。したがって、それらを統合的にプロデュースできる適材も必要になる。この人選につまずくと成すものも成せない。

確かに従来手法での研究による社会実装は難しい。このため、研究の一部として社会実装を行うには大変な労力を要する。しかし、社会は社会実装を見据えた研究スタイルを求めており、避けて通れない条件である。そうしないと、日の目を見ない研究成果の山が築かれていくだけである。研究者には社会に対する強い責任感を感じて研究することが求められている。

社会実装の技術を生み出すのは人である。その人材を育てるには従来にも増してコミュニケーション力が求められよう。最後に、国際連合児童基金のユニセフ親善大使を務めたオードリー・ヘップバーン(1929～1993)の言葉を紹介する。

魅力的な唇のためには優しい言葉を紡ぎなさい

愛らしい瞳のためには他人のすばらしさを見つけなさい

コミュニケーションの真髄を的確に表現した名言である。これらは、科学技術を社会によりよく関係づけするために人が獲得すべき最良の手段だと思う。Society 5.0 における未来の技術はこころの目、こころの耳、こころの手を対象としたホリスティックな視点によるコミュニケーション環境の構築を可能にすることを期待する。

掲載：科学・技術研究, 第 6 巻 1 号, pp.3-4 (2017 年)

第4章

健康長寿と食品

衛藤 英男

1. はじめに

食べ物には多くの機能性成分が含まれている。しかし、一つの食品だけで体にとって十分な機能性成分の量を含んであるわけではない。それらをうまく摂ることで健康を維持・促進することが可能である。日本では第二次世界大戦直後の栄養失調の時代から現在は飽食の時代と言われている。今では平均寿命が今年男女とも世界で2位（男性：80.98歳、女性：87.14歳）になった。これには医療の進歩などいろんな要因があるが、食による影響も大きいと考える。今や平均寿命の伸びによって、高齢者人口が増加し医療費はうなぎのぼりになっている。私たちにとって、健康に暮らし、不健康時代を短くすれば、健康不安の解消にも医療費の削減にもつながる。毎日食べる物でより楽しく健康になることは、国の政策的にも進められている。

食物にはいままで一般に2つの機能があると考えられてきた。第一の機能は、生命を維持する機能で栄養機能と呼ばれる。これは体にとって必ず必要な栄養素で、三大栄養素の糖質、タンパク質、脂質、ビタミン、ミネラルと水である。第二の機能は、香り、色など美味しさを感じさせる感覚に訴える機能である。いま求められている第三の機能は生命活動に対する高次の調節機能である。具体的には、アレルギーの低減化や免疫能力を高める生命防御機構、高血圧、糖尿病、腫瘍、先天性代謝異常などを阻止し、回復する機能、神経活動や消化作用を調節する機能、過酸化脂質生成を抑制して老化を防御する機能などである。

だが一旦病気になると薬を飲み、酒やたばこを止めるなどの生活習慣を変えて対処する。しかし、食品による健康増進はどのようにしたらよいか、まだ確立はしていない。また、一般消費者の判断基準となる健康に対する食品の情報が過多だったり、誤っていたり、全く反対だったりもする。そこで政府が考えたのは「保健機能食品制度」である。まず、特定保健用食品（トクホ）が定められ、機能性の表示が認められた。最近では機能性表示食品という制度も出てきて、消費者にとって何がどのように効果があり、何を買ったらよいか理解するのが難しいのが現状であろう。これらについて簡単に説明し、健康長寿と食品の今後について考えてみたい。

2. 食品の機能について

第一の機能は生命を維持する機能で、栄養機能と呼ばれるものだ。機能性成分は、糖質、タンパク質、脂質、ビタミンとミネラルである。これらは野菜、穀類、肉類、牛乳・乳製品や卵から摂れるが、普段の食事で十分摂れるのであろうか。なかでも一般的に不足がちになるのはカルシウムと食物繊維である。若い女性がダイエットをすると、特にカルシウム不足となり、年を取ってから骨粗鬆症になるリスクが高くなると言われている。牛乳に多く含まれているカルシウムは、若い人だけでなく骨を健康に保ち、体の機能自体を維持するためにも重要だ。また、食物繊維は腸にとって大切なもので、便秘の解消だけではなく、ビフィズス菌などの善玉菌を多くし、悪玉菌を減らし、腸内の有害金属（カドミウムや水銀など）を排出し腸内環境を改善する。なお、ビタミンがさらに必要となるのはどんな時であろうか。それは風邪をひいたり、生活が乱れた時である。その場合はサプリメントで摂ることができるが、日常生活でサプリメントに頼りすぎて過剰摂取になることによってその弊害が問題となっている。だからこそ、食事の中から上手に摂るには、食品の組み合わせや摂り方が重要になってきている。

人間が生きるために必要な物が満たされると、美味しさ、色や香りを食べ物に求めるようになった。それが第二の機能性成分である。栄養面だけよりも食欲を喚起して、食品自体の魅力を支える成分である。果物や野菜の色、食べ物

の味や香りはともに食欲を高める。オレンジ色、小豆色、モモ色などは食べ物
の名前から由来している。色素にはアントシアニン、フラボノイド、ロイコア
ントシアニン、タンニン、ベタシアニン、ベタキサンチン、クロロフィル、カ
ロテノイドとヘムタンパク質がある。香りは食べ物を口の中に入れた時、味と
同時に感じられる。しかし、風邪をひいたときや鼻をつまんで食べると味も感
じられない。香りも食欲を喚起しているのだ。野菜果物には、キュウリ、ダイ
コン、キャベツ、ネギ、シイタケ、マツタケ、カンキツ類、イチゴ、バナナなど、
それぞれが固有の香りを持っている。肉や魚はアミン系、硫化水素、メルカプ
タン、ピペリジンなどの匂いである。嗜好飲料のお茶、お酒、コーヒーなどの
香りは脳に作用して気分をリラックスしたり、刺激したり生活をより豊かにす
る。このように食物には多くの香りがあるのだ。

しかし、食事が以前のように、栄養面や満足感を満たすものだけでなく、健
康を支えるため、体にとっていかに重要なものか第三の機能性の分野として注
目され研究されている。どのような成分が、どのような機能を持ち、どのよう
な食物に含まれ、どの位摂ったらよいのか知ることは重要である。もちろん、
食べ物は薬とは違う。薬と違って食べて病気を治す力もない。食物に含まれる
量は微量だが、うまく組み合わせ、料理に取り入れることで、将来の病気を予
防することは可能であろう。

3. 保健機能食品制度とは

食べ物を評価するためには、食品に含まれている成分をカロリーと栄養価に
換算することで説明されてきた。そしてその成分ごとに持っている働きを知り、
積極的に活用されてきた。その一方では、食の欧米化に伴い生活習慣病が問題
となり、その発症率や低年齢化がますます進んでいる。私たちは病気になって
初めて病院に行き薬を処方してもらうが、病気ではないけれどもそれに近い境
界の人たちには薬が処方されない。毎日三食の食事に含まれる成分に病気の予
防効果があれば、将来の病気の発生を遅らせることができる。健康食品市場が
拡大しつつあった 1991 年に制度が創設された。

- ・ 特定保健用食品

厚生省の所轄で1993年6月に「特定保健用食品」第一号が誕生した。特定保健用食品は健康づくりに役立つ食品として、その有効性や安全性を国が承認したもので、通称「トクホ」と呼ばれている。やがて厚生労働省から消費者庁に移管された。その目的は健康食品の科学的根拠を国が評価し承認を与えることで、消費者が安心して選べることにある。これらには定められた範囲で成分や効果を表現する「機能性表示」が認められている。審査を申請する際に有効性や安全性を示す実験データを付さなければならぬうえ、申請してから許可がおりるまで最長2年かかった例もある。医薬品申請に準ずるほどの費用と時間がかかることが、この制度を利用する企業にとってハードルになっているのである。皆さんもご存知のペットボトルのお茶や一部の乳酸菌飲料などたくさんある。

- ・ 保健機能食品

数年後、制度が代わり上記の特定保健用食品と栄養を基本的に考えた栄養機能食品と、2016年食品の中に入っている個々の栄養を表示した機能性表示食品が加わり、総称して保健機能食品となった。

- ・ 栄養機能食品

身体の健全な成長、発達、健康の維持に必要な栄養成分（ミネラル、ビタミン等）の補給・補完の目的をしたもので、高齢化や食生活の乱れなどによって通常の食生活を行うことが難しく、一日に必要な栄養成分を摂取できない場合などに栄養成分を補充する食品である。これを販売するには国が定めた規格基準に適合する必要がある、その規格基準に適合すれば国等への許可申請や届け出の必要はなく製造・販売ができる。

- ・ 機能性表示食品

機能性を表示することができる食品は、これまで国が商品別に許可した特定保健用食品（トクホ）と国の規格基準に適合した栄養機能食品に限られていた。そこで個々の食品に含まれている栄養や人間の体に効果のある成分の働きを表示する食品「機能性表示食品」制度が始まった。事業者の責任において科学的根拠に基づいた食品で、販売前に安全性および機能性の根拠に関する

る情報などが消費者庁長官へ届けられたものである。ただし、特定保健用食品とは異なり、消費者庁長官の個別許可を受けたものではない。三ケ日みかんが第一号となり、現在多くの機能性表示食品が出回っている。

4. おわりに

健康長寿であるために、食品がどのようにかかわっているか、体にとっていかに効率よく摂ればよいかさらなる究明が必要である。薬やサプリメントと違い、毎日食事から必要な栄養素を美味しく頂かなければならない。体に良いものだからと鼻をつまんで無理して食べるのは意味がないし、薬のように非常に厳しい安全性が審査され承認されたものではない。しかし、病気になりにくく、予防のために食をどのように摂ったらよいのか、自分に合った食べ物を考えて選択することは必要と思う。食品成分の良さについて世界中の科学者が研究している。これからは消費者は最新の情報を知ること、その情報が正しいのかを考えることが必要だ。ただ、まだまだ食品科学の疫学研究や体の中での代謝や機能についての解明は非常に遅れている。テレビ、ラジオや雑誌などからさまざまな食品の有用性の情報が出て氾濫している。いい加減なものもあるだろう。例えば食品の免疫に関して、有効性を証明するにはメカニズムが複雑でどの部分に影響しているのかを明らかにするのが難しいからであろう。抗がん作用や認知症予防も同じである。薬の専門家や医者には、食品に健康を求めるのはナンセンスと言っている人の声を多く聞くが、いろんな最新情報を知ること、売るほうも食品の情報を正しく示すこと、食品科学者が最新情報を分かりやすく示す必要性を感じている。

実際日本がこのように長寿になったのは、世界中からいろんな食材を求めて、栽培してきたことが影響していることは明らかである。いろんなものを食べている国民の成果だと思う。これからは健康食品の社会的な位置づけ、法体制の整備が重要で、健康維持のための自己管理が分かりやすくなるシステムが必要であろう。

第5章

科学と技術はどこまで広がっているのか —真理に。人の心に—

橋本 文彦

1. 科学で「真理」は解明できるのか

1.1 「科学」とは何か

私たちは「科学」という言葉で、どのようなことを思い浮かべるだろうか。日本人の多くは、物理学などの「自然科学」を思い浮かべるのではないだろうか。しかし、もともとこの言葉の本来の意味は自然科学にとどまらず、社会科学や人文科学も含めたものである。例えばドイツ語の Wissenschaft は、本来の「科学」を意味する単語であるが、日本語に翻訳する場合には、上述のように（誤って）自然科学のみを思い起こさせてしまうので、通常は「学」とか「知恵」と訳される。自然科学を意味するためには、あえて Naturwissenschaft と言わねばならない。

1.2 形式化と一般化、そして予測

それでは、自然科学・社会科学・人文科学の全ての共通する「科学」の特徴は何で、逆にこれらの違いはどこにあるのだろうか？ 科学に共通する特長は「一般化」と「形式化」であり、さらにこれによって、未知の事象⁽¹⁾を予測することである。「一般化」とは、「全ての〇〇は××である」という形で理論を作り上げることである。もともと私たちが観察可能なのは、有限複数の個別事象であるが、それをそのまま記述したものは科学理論とは呼ばれない。複数の事象に共通する特徴（法則）を見つけることで、すでに観察された事象だけで無く、

まだ観察されていない未知の事象に対しても、一定の条件を満たしている場合に、その結果事象を予測できることが科学理論に共通する特徴である。

他方、「形式化」とは、観察された（あるいは観察すべき）事象を記号や数式、あるいは法則や言語、プログラムなどで表現することである。これによって、科学は個別事象から上述の一般化をすることが可能となる。例えば、一定の条件下で「全てのXはYである」と記述することで、条件を満たすXに個別事象の何が入っても表現することが出来る。また、事象の関係を数式で表現したりコンピュータのプログラムとして表現したりすること（＝形式化）で、その変数部分にはすでに観察された特定の事象に対する情報でなく、未知の事象に対しても適応できる形とする（＝一般化）ことができる。ただし、論理的に当然であるが、個別事象をどれほど多く集めたとしても、それが有限である限りは、そこから（無限の一般事象に対する）理論を導き出すことはできない。科学はそれが「科学的」である限り、創造的論理的飛躍⁽²⁾ なしに理論を作ることはできない。

1.3 ポパーの反証可能性

科学理論は、その構築が論理的に行えないというだけでなく、その真偽の検証もまた論理的には行うことができない。ある理論が主張する「すべてのXはYである」という文は、どれほど多くのXがYであるという観察事実を持ってしても、やはりその観察が有限である限り、まだ見ぬXについてそれがYであることを保証することはできず、従ってこの理論が正しい（＝真である）ことを検証することはできない。

このことを指して、K. Popper⁽³⁾ は、科学理論はそれが真であると検証されることは決してないと主張した。彼は、むしろ常に反証される可能性を持っていながら、未だ反証されずに生き残っているものが科学理論であり、それが反証されても、別の理論がより真に近い理論として生き残り、そのようにして理論は真理に向かって進化する、と唱えた。例えば、星占いは予測を提供するが、さまざまにアドホックな説明を加えることでその予測は常的に的中したこととされる。そうではなくて、意味のある予測をなし、その予測が常に外れる可能性（＝

反証可能性)を持ちながらも、いまだ反証されていないものが科学理論であるとされる。

このように、科学を实践する主体が人間である限り、観察と論理だけからは「真なる理論」に到達することはできない。それでも科学者が真なる理論をもとめるならば、科学者はどのように科学を实践していく必要があるのだろうか。

2. 科学と人間

2.1 宗教・文化

宗教が科学に対して強い影響を与えたのは、ガリレオ・ガリレイ裁判までであると考えている研究者も（特に日本には）多いかも知れない。しかし、現在においても宗教はそれぞれの文化・社会での価値観の形成に根強く関与しており、それは科学の方法論に影響を（「悪影響」という意味ではなく）与えている。

例えば、人間を（神が造ったものとして）他の生物と質的に区別するのか、他の生物との量的な差でしかないと考えるのかによって、「クローン人間」についての議論は大きく異なってくる。あるいは、「脳死」や「安楽死」という人の死に関わる問題は、科学的な意味での議論だけでは決着をつけることができないことは周知の通りである。私たちが「生と死」を扱おうとするとき、宗教や文化の影響を避けて通ることはできないのである。

2.2 環境

レイチェル・カーソンが『沈黙の春』で制限のない科学の発展に警鐘をならしたのは半世紀以上も前（1962年）の事である。『沈黙の春』の分析と主張にはその後の研究の中でほぼ否定された論点もあるが、科学による環境破壊について鳴らした警鐘は、現在でもなお、解決されていない。

「環境クズネッツ曲線」をご存じだろうか。横軸に経済の発展、縦軸に汚染物質の排出量をとると、経済が一定程度に発展するまでは汚染物質の排出が増加するが、さらに経済発展が進むと、汚染物質の排出量が減るというものである。日本をはじめ、多くの先進国のデータを確認すると、確かにそのようなグラフになっていることがわかっている。

これは、経済発展に同期して汚染物質をださないための技術が進歩・発達して、またその技術のために費やす資金が生まれるので、汚染物質の排出量は低下する、ということで説明がなされる。多くの科学者が環境クズネッツ曲線を例にとって、科学技術を発達させることの重要性を説いた。

他方、「ポリューション・ハイブズ仮説⁽⁴⁾」によると、クズネッツ曲線は「見かけ」の汚染物質質量を示しているだけであって、(従来経済成長に起因するとされてきた)この汚染の低下分は他国へと輸出されているだけであるとされる。すなわち、先進国では経済発展と国際的な要請のために環境基準が厳しくなり、また人件費が上昇している中で、より環境基準が緩やかで人件費が安い他国に工場を移転することで、本来自国で行う生産を他国で行うことで汚染物質排出もまた他国で行われることとなり、自国の排出量が低下したように見える、というものである。このことが意味するところはもちろん、発展途上国においては自国分以外の汚染物質排出も引き受けることになるために、(工場誘致等による)経済の発展に伴って、汚染物質排出量は急上昇して、かつその後にも(さらに後から来る国に汚染物質を輸出しない限りは)低下しない、ということになる。

科学者は、見かけの相関と因果関係との相違について、十二分な訓練を受けているはずだが、環境クズネッツ曲線の当初の説明(経済成長は科学技術の成長を促し、いったん悪化した環境も結局は科学技術の発達によって改善できるという説明)を素直に受け入れたものも多く存在したのである。

2.3 科学における確率とコミュニケーション

すでに述べたとおり、自然科学・社会科学・人文科学に共通する特徴は「予測すること」である。高度に精緻化された理論であるほど、その予測は決定的で詳細なものとなるが、通常はある一定の確率で統計的に述べられることになる。本紙の読者にはいうまでもないだろうが、以下の四つの文は全て同一の統計分析の結果に対して可能な表現である。

1. A と B との間に因果関係があるとは言えない

2. A と B との間に因果関係が成立することは否定できない
3. B が A の原因であったとは断定できない
4. B が A の原因であった可能性がある

では、A と B との相関係数を示した上で、因果関係と相関関係の違いにも言及して研究者自身が意識し、また他者に伝えれば良いのかというと、そう簡単ではない。多くの人間は、言語表現の違いに対して、経験的にそれぞれの表現に対する「意味」を理解しており、専門の科学者から見ると同一の分析に対する文表現であったとしても、その表現の差異を「意味の差異」と捉える。それどころか、同一の数値に対してもその数値表現が異なると、異なった「意味」に受け取ることが先行研究から知られている⁽⁵⁾。例えば「1%」という表現と「100人に一人」という表現では聞き手の理解が異なる事を科学者は理解せねばならない。あるいは「雨が降るだろう」と「雨がふると思われる」でも聞き手は異なった確率値を理解し、結果として異なった行動をすることになる。科学が「真理」を追求し、それによって未来の予測をするならば、その予測は「意思決定の指針となる予測」でなくてはならない。

1. の表現を伝えられた人と 2. の表現を聞いた人では確実に A に対する意思決定と行動が異なってくるだろう。3. の表現と 4. の表現でも同様である。科学者は、これを「同じ意味である」と「教育・啓蒙」して済ませようとするのではなく、むしろ人間の理解過程を「理解」した上でコミュニケーションする責任があることを自覚しておく必要がある。

科学者は、何をどこまで知ることができるのか。そもそも「真理」は私たち人間（の文化や心）と独立に存在するのか。どうしても有限でしかあり得ない観察と理論的考察によって、その真理を知る、あるいは真理に近づくことはできるのか。また、そこへ至る過程で、科学者は人間の社会や心にどこまで踏み込むことが可能で、また許されるのか。科学者は社会とどのような関係を築けば良いのか。科学者の一つ一つの言動は、その意図の範囲にとどまらず、社会において非常に強い影響を与える。昨今言われているような「科学的不正をしてはいけない」の域にとどまらず、その責任の重さを科学者は常に自問・自省

しながら研究を進めていく必要があるだろう。

注

- (1) 時間的に未来の事象だけでなく、もはや私たちが観察できない過去に起こった事象や、空間的に私たちが到達できない場所での事象を含む。
- (2) 簡単に言えば、単に「論理的飛躍」であるが、理論を構築するためという意味を込めて「創造的」という語を加えた。
- (3) K. Popper (1972). *Objective Knowledge*.
- (4) ポリューション・ヘイブン仮説も、「仮説」という呼び名の通り、それが実証されているという訳ではない。ただ、この「仮説」が理論的に否定されていない以上、クズネッツ曲線が科学技術の発達を支持するばかりではないことを意識する必要があるだろう。
- (5) 例えば、竹村和久 (1994)「個人的意思決定の行動論的分析」では、様々な文による確率的表現とそれに結びつけられた確率値の非常に詳細でしかし堅固な差異について実証的に示している。

掲載：科学・技術研究, 第7巻1号, pp.3-4 (2018年)

第6章

ブタペスト宣言と科学リテラシーの転換

横山 輝雄

1. ブタペスト宣言と科学コミュニケーションの展開

1999年にブタペストでユネスコと国際科学会議（ICSU）の共催で開催された「世界科学会議」で「科学と科学的知識の利用に関する世界宣言」が採択された。これは「ブタペスト宣言」と呼ばれている。日本からも学術会議や政府の代表が参加した。そこでは、科学の意義として「知識のための科学」「平和のための科学」「開発のための科学」となると「社会における科学と社会のための科学」がいわれている。20年目の今年（2019年）は日本をはじめ各国で関連した行事も予定されている。⁽¹⁾

この宣言が画期的だったのは、科学が経済発展や生活水準の向上といった貢献をしながらも、核兵器や公害・環境問題など負の面もあることを自覚し、科学が社会と正面から向き合わなければならないことを確認した点である。

それまで科学者の責任は新しい知識を生み出すことであり、「研究の自由」のもとに社会からの介入や干渉を警戒していた。それに対して宣言では、地球温暖化をはじめ社会の重要課題に科学が積極的にかかわるべきことが強調されている。科学と社会の関係が変化したため、新たな「科学コミュニケーション」の必要性が提起された。

学校における科学教育や、科学報道や科学出版などの科学ジャーナリズムは、いずれも「科学啓蒙」と呼ばれる、上から下への一方通行のものであった。それは科学者がもっている知識を、社会のその他の人々に啓蒙していくプロセス

である。しかし、社会の側の意向に科学がこたえるべきだとすると、それとは違う双方向のコミュニケーションが必要であり、新たな「科学コミュニケーション」が求められるようになった。日本でも2006年からの第三期科学技術基本計画で重要な課題としてとりあげられ、科学コミュニケーター養成講座が開設され、サイエンスカフェが実施されるようになった。⁽²⁾

2. 科学と社会の関係変化

1970年代までは、科学に対する期待と尊敬・信頼が大きく、科学啓蒙で十分だったが、その後二つの方向から状況が変化した。

一つは、国家あるいは政府の側からである。科学に対する期待は大きい、同時に政府も積極的に科学政策に介入し注文をつけるようになった。1995年に「科学技術基本法」が成立し「総合科学技術会議」が設置された。その後「総合科学技術・イノベーション会議」に名称が変更された。それは、科学への「投資」がそれに見合う「イノベーション」を通じた経済成長につながっていない、という批判があったためである。科学予算も「事業仕分け」の対象となった。

科学に「役に立つ」ことを性急に求めることに対しては、ノーベル賞科学者をはじめとして基礎研究の危機を憂慮する発言がなされている。科学は経済成長のための手段にすぎないのかという疑問も呈されている。また、現在のような経済成長は格差を増大させ必ずしも望ましいものではないという批判もあり、科学は何のためのものか、科学をどう進めるべきかについて社会のコンセンサスを確立する必要がある、そのための双方向的な科学コミュニケーションが求められている。

科学と社会の関係変化のもう一つは、市民レベルで科学への不信や嫌悪観が広がったことである。先進国に共通して「科学離れ」が起こった。それは単に学校における「理科離れ」だけでなく、社会全般の科学に対する尊敬や信頼が低下したことである。

3. 科学リテラシー

3.1 信頼の回復をめざした科学リテラシー

人々の科学不信が高まると、そのことは政策決定にも影響を与える。また裁判でも科学上の問題に判決が下されることが多くなってきた。しかし、それらが不正確な知識にもとづいているのではないかとの懸念が表明された。「科学が正しく伝えられていない」という危機感から、「科学リテラシー」が問題となった。市民に必要な科学知識を分かりやすく提供し普及させる試みである。

しかし、科学リテラシーを高める試みがさまざまになされたにもかかわらず、科学への信頼は回復しなかった。イギリスでは狂牛病（BSE）の経験が大きな影響を与えた。こうした過程で、科学知識のあるなしと、科学への信頼・不信には関係がないことが分かった。

人々がどう科学をとらえているかには、科学知識の量だけでなく、社会観・価値観などを含めた多次的なものがかかわっており、科学リテラシーがある人でも反科学主義者がおり、また科学リテラシーがない人でも科学信奉者がいる。正しい科学知識を普及させようとしたそれまでの科学リテラシーとは違った方向への転換が必要なが自覚されるようになった。

3.2 「科学リテラシー」の転換

日本でも、3.11の地震と原発事故のあと、地震予知や原発の安全性の問題で科学への不信がひろがり、その年の『科学技術白書』では科学と社会のコミュニケーションの必要性が語られている。理科教育が理系進学者のための知識教育であることが批判された。

日本の理科教育は確立された科学知識を教えるものであり「正解」がある。ところが、社会で重要視される科学をめぐる問題の多くは、そうではない。科学がかかわる現実の問題では多くの要因がからんでおり、「不定性」をもっている。そうした状況に市民がどう対処するかについて、それまでの科学啓蒙型のものとは別の新しい「科学リテラシー」への転換が求められている。

イギリスではすでに、市民の科学リテラシーのための科学教科書『21世紀の科学』がある。そこでは「科学リテラシー」の目標を次のように設定している。

- われわれは科学リテラシーを備えた人物はつぎのことができると想定する
- 日常生活に対する科学と技術の影響を評価し理解する
- 健康、食生活、エネルギー資源の利用など科学がかかわる事柄について、情報を踏まえた個人的な決定をする
- 科学が関わる問題に関するメディアのレポートを読み理解する
- そのようなレポートに含まれている情報や（しばしばもっと重要なことに）そこには入れられていない情報について批判的に考察を加える
- 科学が関わる論争的問題について他の人々との議論に自信をもって参加する

またPISAテストでも同様である。PISAテストとは、OECD（経済協力開発機構）が行なっている学習到達度国際調査であり、「読解力」「数学的リテラシー」「科学的リテラシー」の3分野について3年ごとに実施されているが、そこでは、次のような問題が出題されている。

あなたは大きな化学肥料工場のそばに住んでいる、と考えてください。近隣住民の間では、ここ数年、慢性呼吸器疾患に苦しむ人が増加しています。住民は、この工場から何か毒物が排出されているのではないかと疑っています。そこで、工場からの健康影響を議論するために住民集会を開いたところ、科学者から次のような発言がありました。・・・

で始まる長文の問題は、一般市民がこのような場合に科学者の発言にどう対処すべきかを問うものである。ここで求められているのは、教科書的知識をどこまで正しく理解しているかではなく、社会の中での科学を自分で考えて意思決定をすることであり、単純な「正解」を求めているわけではない。このような新しい科学リテラシーは、それまでの知識中心のものから大きく転換したものであるが、海外ではこのようなものがすでに実施されている。⁽³⁾

3.3 理系学生のための「科学リテラシー」

新しい「科学リテラシー」は理系学生にも必要である。これは、以前の科学

啓蒙的な「科学リテラシー」の考えからすると奇妙なことである。理系学生は科学知識を豊富にもっており、社会の中では最も「科学リテラシー」が高い部類に入ると考えられていたからである。しかし、社会の中での科学の役割や意義を考える新しい「科学リテラシー」は、理系学生ならおのずから身につけているものではない。それどころか、上から目線的な科学啓蒙的態度は、市民との対話などで思わぬコミュニケーション障害を引き起こす。

それゆえ理系学生にも転換後の新しい「科学リテラシー」が必要である。科学哲学、科学史、科学技術社会論（STS）などをもっと積極的に理系のカリキュラムに組み込む必要がある。日本にはそうした科目はあまりない。

日本の工学部では技術者倫理の科目が開設されるようになったが、それは技術者国際資格の認定で日本にそれが無いことが問題となり、それに対応するために急遽つくられたものであり、「外圧」によるところが大きかった。しかし今後は理系学生全般に対して転換後の新しい「科学リテラシー」教育に自ら積極的にとりこんでいく必要がある。

注

- (1) 『学術の動向』第24巻第1号（通巻274号）2019年、この号は、＜「科学と科学的知識の利用に関する世界宣言（ブタペスト宣言）」から20年を経て＞の特集号であり、宣言後20年の展開と今日的意義が論じられている。
- (2) ジョン・K・ギルバート他・小川義和他監訳『現代の事例から学ぶサイエンスコミュニケーション』慶應義塾大学出版会、2015年、訳者まえがき。
- (3) 本堂毅他『科学の不定性と社会—現代の科学リテラシー』信山社、2017年、『21世紀の科学』およびPISAテストについては、それぞれ125頁、185頁による。

第7章

日本人の強さを再認識する

岡村久和

1. 縦の20人と横の20人

欧米諸国、アフリカやアジアでは古くから狩猟も稲作も行われている。一方で日本での稲作には大きな特長がある。農民の多くが土地を持たず、土地の所有者や占有者から使用権を得て農作物の生産に従事する小作制度は、古代ローマやスペイン支配下の南米など、似たものもあるが日本固有の制度と言える。日本人の美しい強さはここが原点であり、それを再認識していただきたいと考えここに紹介する。

狩猟組織では、森の中に弓と矢を持った狩人が進んでいく。彼らは矢を放ち獲物を捕らえる。その倒れた獲物を捕りに行く役割の者は犬たちと一目散に獲物に向かい、足が丈夫で力の強い者に渡され部落に運ばれる。部落に獲物が届くと、彼らを待ち受けていた男たちが、獲物の皮をはぎ小分けにする。肉は、各家庭に振り分けられ、待っていた主婦たちによりその名前を変え、獲物から食材となる。もし獲物を弓矢で仕留める狩人から家庭の主婦までを20人とすれば、この20人はそれぞれが役割を持ち、縦に並んでいる。これが狩猟民族の縦の20人なのである。

日本の稲作制度が違うのはその組織である。土地は地主等の一握りの人によって保有され、小作人の農民は、その依頼、あるいは命令で米を作っていた。つまり他人の土地で働く米作り専門職人なのである。田植えの時、稲刈りの時、近所が協力する姿を意味する言葉である。小作人は一つ一つの田んぼを一つの

家庭で切り盛りしているが、例えば広大な広さの田植えを少ない家族で一気には行えない。一家4人では田植えを数日で終わらせることができない。5軒の近所が一つの家庭の田んぼに集まり20人横に並び一気に田植えをするのである。この様な協力を「結(ゆい)」と言う。横に並んで田植えをしている20名は完璧に同じ作業を同じスピードで同じ品質で行わなければならない。均一で美しい田植え結果の為だ。作業は隣と全く同じでなければいけない。お互いの作業や技術にも細かく気を使い、作業を高品質で終わらせるのだ。

2. 縦組織と横組織の意思決定

狩猟部族の縦の20名の先頭の狩人は、弓と矢については、エキスパートである。他人ではわからない微妙な矢じりの大きさ、弓のしなり、矢の軸の材質まで理解している。獲物を森から部落まで運ぶ係の者は、走る事、担ぐことのプロフェッショナルであり楽に部落に帰るルートも熟知している。同様に部落で肉を扱う者は、刃物や容器に知恵を持っている。家庭の主婦は肉料理のプロである。

ここでこの縦の狩猟民族の意思決定を考えてみる。狩りの前日、長老や識者の意見を聞き狩場を決定する。つまりゴールの設定である。ゴールの設定は知恵者の指示で決定される。行動の前にゴールが明確に指示されるのだ。さて、あなたがこの部落に来た弓矢のセールスマンだとしよう。あなたの弓矢の価値を理解してくれる狩人だけが実際にその評価と購買意思決定を行える。もしあなたが家庭用包丁のセールスマンであれば、肉を調理する主婦たちに勝るターゲットは存在しない。このように縦の20人の狩猟民族組織では、それぞれがエキスパートであり、それぞれの技術やその為の購買意思決定は各専門家によって行われる。最初にゴールを設定する幹部にはさらに知恵を入れるコンサルタントも必要である。周辺的环境やルート、組織のあり方をガイドする。

3. 横20人の意思決定と高品質な相互チェック

5つの田んぼ、小作人20名分の土地をすべて所有している土地所有者と小

作人 20 名の意思決定は全く別の方法で行われる。田植え、稲刈りの時、小作人 20 人は完璧に同じ作業を行うのである。隣と寸分違わない作業を心がけお互いに道具や作業の品質を徹底的に相互チェックし進めるのだ。一方で庄屋や地主は道具や作業の事はわからないが、全体管理や小作人のバランスなどのマネジメントの重要な役割を持つ。

もしあなたが田植え用の長靴や開墾用の鍬のセールスマンだったとしよう。ターゲットは小作人に見えるかもしれない。道具や技術について誰にも負けないエキスパートであり知識も深く、選択眼力も強いからだ。しかし、一人の作業者は一人で商品を買えない。どんなに良い道具でも他の人と違う道具は、品質不ぞろいや出来上がりムラを起すからだ。隣の人と全く同じでない作業ができないのである。道具を選ぶ力はあるが、田んぼの持ち主では無いため、購買作業はできないのである。

他方、土地の所有者は小作人と違い、資金力、小作人の調整、道具への予算配分に強く、決断権限もある。自分では農作業を行わない為、作業や道具の知識が無く、選択力も弱いのである。そう考えると、横の組織の意思決定はどう行われるのだろうか。横の組織では、土地の所有者は最終的な購買行為の意思決定を行う事ができる。小作人は購買品の品定めをし全員で合意する。ただ購買行為はできず購買品の評価のみができる。横並びで高品質の同じ作業をする為、1つの道具を買う事に全員が同意しなければならないのである。つまり地主である組織の長は最終決定権を持ち、担当者である小作人全員の意見が一致した時初めて購買品の選択意思決定が行われるのである。

4. 縦横組織への営業活動

この組織モデルは言うまでも無く、欧米の企業体と日本の企業体である。欧米型企業への営業活動では、それぞれのエキスパートに商品の説明を行い焦点を定めた営業活動が重要となる。担当が選んだ商品については他の者に口をばさむ余地が無いが、反面その判断の完成度に問題が起きる可能性もある。一方で横社会、日本型小作人組織への営業活動には地道な努力が求められる。すべての担当者がその商品を理解し全員一致でやっと商品を土地の所有者に提案す

る必要がある。日本企業の意味決定に時間がかかる理由だ。ただ、一度商品を使い始めれば他社への変更は考えにくい。

5. 縦の技術集団と横の技術集団

縦の技術集団が新製品やシステムを開発する際には、まず商品のゴール、すなわちコンセプトの決定が何よりも優先される。それが明確になれば技術者の役割が明確になるからである。技術者は自分の担当部位を少人数で開発していく。技術が縦に連鎖して一つの機能を果たす商品が開発される。このモデルの開発組織ではそれぞれのエキスパートが深く研究開発を行っていく為、各機能で尖った開発が行われ、他社に圧倒的優位な商品が世に出ていく。奇抜なデザイン、異常な高馬力、全く新しい機構などである。一方で、横組織での開発の特長は圧倒的な完成度である。昔の中学校男子のほとんどが学生服だった頃、外からは全く同じに見える学生服の一つ一つの生地や襟の高さ、色など細かい相違点が本当に明確に見えていた。これは横に並んで全く同じ作業をする小作人型作業と同じなのである。この技術開発組織では、細かい違いに全員が厳しく目を向け、些細な不具合も容易に発見され、細かい使い勝手や、小さな工夫での商品価値向上も行われるのだ。

こうして生まれた高品質な日本商品は大変多い。少ない種類の商品をチームで開発した日本の商品である。戦後のトランジスタラジオから始まり、ソニーウォークマン、二輪車の経済性を極限まで上げたホンダのスーパーカブにも特定の発明者はいない。チームによる品質のあくなき向上、ほんの小さな違いをみんなで真剣に考える姿勢は、ハイブリッド車、炊飯器や電子レンジなどの白物家電、携帯電話の中にも大量に使われ巨大なマーケットシェアを取っている積層コンデンサー、超小型モーターなどの電子部品も発明者が特定されない高品質な日本の商品開発の成功事例である。日本の製鉄業は鉄を作ると言う同じ作業をし、高品質な自動車用鋼板が生まれた。日本の自動車には、アメリカ車の派手な要素は無く一つの車種が目立つことも少ないが現在そのマーケットシェアは途轍も無く大きい。商社でも同じである。彼らはチームとなって商品企画から輸出輸入に関する「チームでの業務」の完成度を徹底的に高める事で

価値を見出させているのである。貿易会社は他国にも存在するが日本の商社ほど広く連携する業務は請け負わない。これもその価値が世界中に認められビジネス社会で確固たる位置を占めているのだ。

6. 日本人の強さをもう一度認識する

縦の狩猟民族部落では狩人が病気になれば組織は機能しなくなってしまう。森から部落に獲物を届ける者が怪我をすれば、部落全体のシステムが機能しなくなる。一方で、横に並んで一斉に田植えをしている小作農の一人や二人が病気でも、全体に大きな影響は出ない。代わりの助っ人でも作業実施が可能なのである。横の組織は本当に壊れにくく強いのである。日本人は物事を決めない、決める時間がかかる、他人の行動を気にしすぎる、日本人を揶揄する言葉をよく耳にする。海外企業が横組織に農具を売る苦労はわかるが、日本企業はこれで良いのである。この点に自信を持つべきなのである。商品開発、製品機能の安定性、高い完成度、自浄作用、内部コンプライアンスの徹底は日本の大きな強みなのだ。

7. 日本企業組織の危機とスマートシティ

このように日本型横社会は強く、誠実で、商品は高品質で素晴らしい。もっと日本人や企業がこの良さを認識すべきと感じる。日本には日立や三菱など重電から弱電部品まで広く抑える日本の典型的なビジネスモデルがある。しかし、今このビジネスモデルが大きな危機を迎えている。

私の専門分野であるスマートシティビジネスは現在世界で 800 兆円を超えた巨大産業に成長した。しかし、画像認識装置を街に配置しても、カメラ本体価格よりそれを据え付ける柱や土台、基礎工事、設備関連商品の費用の方が圧倒的に大きく、結局土木や建設がその売り上げのほとんどを占める。もし、これが戦後の日本であれば、「全社一丸となって」都市開発に戦いに行ったであろう。しかし、今の日本企業の多くは組織をアメリカ型に機能別縦細分し全体連携での案件受注がしにくくなっている。スマートシティではビジネスサイズが

数百億円になることも珍しくない。ショッピングモールを中心に新しい街を作るには、不動産から電気、水道、セキュリティ、商業店舗、もちろん土木、建設とアリとあらゆる業種の連合体が必要になる。しかし機能別組織では開発以前に提案すらできない。

一方でヨーロッパ⁶各国、中国本土国営企業は、自社グループのみならず他社、関連会社まで巻き込んだ戦後の日本型企业型コンソーシアムを作ってスマートシティ市場に参入してきている。ハイテクソリューションをコングロマリット型で売る韓国企業も猛烈な勢いで市場を席捲している。そこで日本のお家芸である横型「結」社会の復活と、戦後の強い日本の組織文化の再考が今急務であると、私は強く感じている。若い世代の企業人や学生の皆さんには、戦後の日本産業発展におけるその組織の強さを再度見直し、今でも十分に強い日本の組織に強い自信を持って戦ってほしいと強く願っている。欧米に見習う点が多い事も否定できないが、日本の一丸となって戦う姿勢と組織力にもう一度自信を持って欲しいと考えている。

掲載：科学・技術研究, 第8巻2号, pp.81-82 (2019年)

第8章

人類の歴史は感染症との闘い —COVID-19 パンデミックのなかで、 私たちは如何に生きて行くのか—

梅村一之

1. はじめに

地球誕生から46億年、生命誕生は40億年前にも遡り幾多の進化を経て、大凡500万年前の猿人出現から、現生人類（ホモ・サピエンス）の誕生は約20万年前頃の東アフリカといわれている。その後一部は10万年前頃に中東地域へ移動し、さらに世界各地に拡大するのは6万年前頃からである。こうしたなかで有史以前から、私達人類を繰り返し苦しめてきたのが感染症である。そして今、21世紀を迎え2019年12月に中国・武漢で確認された新型コロナウイルス感染症（COVID-19）は、瞬く間に世界に拡がり、世界はまさにパンデミックの中にある。

2. 感染症との闘い

感染症との関わりを探ってゆくと、既に170～180万年前のジャワ原人の骨からは、結核の痕跡が認められ、人類の半数はマラリアによって死亡したのではないかと報告している科学者もいる。古代バビロニアの「ギルガメッシュの叙事詩」（紀元前13-12世紀）には「疫病」が四災厄の一つとして記述されており、古代エジプトのラムセス5世（紀元前1145～1141年在位）のミイラからは天然痘の痕跡が見つかっている。15世紀のコロンブスに代表される大航海時代の新大陸侵出では、大西洋を越えて運び込まれた天然痘ウイルスにより南北アメリカ大陸・カリブ海地域の先住民社会に対して壊滅的な影響を与え、その後のアステカ帝国、インカ帝国の征服・滅亡、植民地化へと繋がってゆく。ペストはラテン語の「流行・破滅」を意味する「ペスティス」から付けられ、人類史上3度の世界的な大流行が記録されている。6世紀に東ローマ帝国（ビザンツ帝国）を苦しめた疫病（ペスト）は、時

の皇帝名から「ユスティニアスの疫病」と呼ばれ、コンスタンティノーブル（現在のイスタンブール）では、一日の死者が1万人にもおよび、最終的に約4割もの住民が亡くなったと記録されている。さらに14世紀、中世ヨーロッパで広がったペストは「黒死病」として恐れられ、マルセイユやマジョルカ島では住民の8割が死亡し、ポルドーではあまりの死者の多さから街に遺体があふれ街そのものを焼き払わざるを得なかったと記録されている。その後もペストは17世紀のロンドン大流行などヨーロッパ地域を中心に続いてゆく。こうしたペストの蔓延は、ヨーロッパの人口を著しく減少させ、放棄せざる得ない集落が多数出現し、街々の崩壊、教会権力の衰退、国家の滅亡など、その後のヨーロッパの社会体制に大きな影響をおよぼすことになる。

現在では、こうしたペストの拡大が、4～5世紀の地球環境の寒冷化と砂漠化による遊牧民移動や十字軍の遠征、チンギス・カンに代表されるモンゴル帝国の西征が大きく関与したと考えられている。尚、13世紀末（鎌倉中期）の日本への元寇（文永の役、弘安の役）が成功しなかったことが、日本がペスト禍から免れた要因の一つかもしれない。1918年から始まる世界的なインフルエンザのパンデミック（スペイン風邪）は、全世界で5億人（世界人口の4分の1）が感染し、5千万人以上もの命を奪い（途上国を含めると1億人を超えているとの推計もある）、日本でも40万人もの死者をだしたといわれている。この数字は当時の第一次世界大戦の死者数を大きく上回る数字になっている。このように感染症は多くの人々の命を奪うだけでなく、時には文明や国家の存亡にも大きな影響をおよぼしてきたことになる。

古代の人々の疫病との闘いは、祈祷や魔除け、そして現代でも行われる隔離が主なものであった。古代エジプトでは、ペストが発生すると、その地域を立入禁止とし全員死亡するのを待ったといわれている。検疫や隔離政策は、ラグザ共和国（現在のクロアチア・ドブロヴニク）で、発症の兆候が見られないか30日間の隔離から始まり、その後ベネチアでは40日間に延ばされて現在の検疫制度（検疫；quarantineはイタリア語のquarantina 40日に由来する）の基になったといわれている。近年ベネチアから数キロ沖のラツザレット・ベッキオ島からは、1,500体を越えるペスト犠牲者の遺体が発見され、当時この島が検疫・隔離施設、そして埋葬地だったのではないかと推定されている（ラツザレットは隔離病棟や療養所を意味する）。ペストが蔓延した地域では恐怖にかられ疑心暗鬼から集団暴走が引き起こされ、ユダヤの人々など異教徒への迫害や虐殺行為にも繋がってしまう。同時にさまざまな対策と治療も試みられ、感染を避けるための嘴型のマスクはよく知られ、病が悪い血によるものと考えた瀉血治療や鞭打ちの行進、さらに魔女の秘薬のようなものまで登場してくる。

こうした感染症など疫病の原因が、細菌やウイルスによるものであることが判明するのは、パスツールやコッホらが登場する 19 世紀後半のことで、ウイルスを電子顕微鏡で捉えることが可能になるのはさらに 1930 年代以降のことである。今では、結核菌がグラム陽性桿菌であることや、ペスト菌が仮性結核菌から派生した亜種であること、天然痘が 2 本鎖 DNA 型ウイルスであったことや、スペイン風邪が H1N1 型のインフルエンザウイルスであったことが解明され、新型コロナウイルスについても感染拡大直後から詳細な構造が報告され、治療薬の開発や迅速なワクチン開発に活かされている。

ワクチンの開発については、イギリスのエドワード・ジェンナーが、古くから酪農地帯で乳搾りなどにより牛痘（牛の天然痘）に感染した人々が天然痘に感染し難く、感染しても軽症だったことにヒントを得て、種痘を報告したのが 18 世紀末（1798 年）で、当時、天然痘を引き起こすウイルスの存在は明らかでなかったが、種痘により死亡者は激減する。1958 年からの WHO による世界天然痘根絶計画による全世界的なサーベイランスと種痘による封じ込め作戦が進められ、1977 年のアフリカ・ソマリアの青年の感染者を最後に 1980 年には天然痘撲滅宣言が発せられる。同時に、ジェンナーの種痘による治療法はワクチン（ラテン語で雌牛の意）の開発に繋がりを、結核予防のための BCG ワクチンなど、現在ではさまざまな感染症の予防と治療に欠かせない医薬品となっている。ワクチン研究はその後も進められ、従来の生ワクチンや不活性化ワクチン、トキソイドワクチンから、今般の新型コロナ感染症では、新たに RNA 型ワクチンが開発使用されている。

同じく感染症との闘いに大きな転換をもたらしたのが、1928 年のアレクサンダー・フレミングによるアオカビからの抗生物質ペニシリンの発見である。この発見はフレミングが医師としてロンドンのセントメアリーズ病院で働いていた際に、化膿や腐敗の原因となるブドウ球菌の培養中、偶然アオカビ（ペニシリニウム；ラテン語でハケの意）が生えてしまったところだけ菌の繁殖が阻害されることに気づいたことから始まる。この出来事をきっかけに、その後さまざまな抗生物質が発見され、感染症など当時治療法がなかった病気や怪我から多くの人々の命を救うことになる。今ではペニシリンの発見はレントゲンの X 線やジェンナーのワクチンの発見などと共に医学史上最も重要な、そして 20 世紀を代表する発見の一つとされている。

ヨーロッパでは「白いペスト」として、日本では「労咳（ろうがい）」と呼ばれた結核は不治の病として知られ、明治・大正期には「国民病」ともいわれていた。当時、日本人の罹患者は 100 万人をこえ、毎年の死亡者は十数万人に達していたが、1943 年米国のワクスマンとシャッツらによるストレプトマイシンの発見により治

療可能となり、日本人の結核による死亡者は激減する。このように、抗生物質の発見は結核をはじめペストやコレラなど、当時治療できなかったさまざまな感染症に対し「魔法の弾丸」とよばれる圧倒的な効果を示し、多くの人々の命を救うことになり、抗生物質は現在の医療現場に欠かせない重要な医薬品となっている。

3. 人獣共通感染症と耐性菌の拡がり

新型コロナウイルス拡大以前、人類の脅威となりかねない感染症として警戒されていたのは、2002年のSARS（重症急性呼吸器症候群）、2012年のMERS（中東呼吸器症候群）（SARS、MERSは何れもコロナウイルス）、1976年以降アフリカ中西部で感染が繰り返されているエボラ出血熱などのウイルス性出血熱感染症、そしてインドネシアやベトナムなどの東南アジアなどから報告されているH5N1型や、中国浙江省周辺から報告されているH7N9型の高病原性新型トリインフルエンザなどの人獣共通感染症（ズーノーシス）であった。

2020年の生物多様性及び生態系サービスに関する政府間科学-政策プラットフォーム（IPBES；イプベス）では、今後人類が遭遇する可能性がある新たな感染症の危険性についても警告しており、そのなかで人獣共通感染症は既に200種以上確認され、ヒトの感染症の6割を占め、さらに毎年増え続けていると報告している。その原因の多くが、無秩序な熱帯雨林をはじめとする環境破壊や野生動物の取引によるものと指摘している。

抗生物質は、医療の現場に欠かせない重要な医薬品となったが、その一方で近年は抗生物質が効きにくい耐性菌、例えばMRSA（メチチリン耐性黄色ブドウ球菌）やVRE（バンコマイシン耐性腸球菌）などの出現が大きな社会問題になっている。2020年のアメリカ疾病管理予防センター（CDC）の報告では、多剤耐性菌（多くの抗生物質が効きにくくなった細菌）による感染者は全米で年間約280万件、死亡者は約3万5千人と報告されている。また2015年のWHOの報告では、ヨーロッパで約9万人以上、世界では約70万人が死亡していると報告され、効果的な対策を進めないと2050年には、年間およそ1千万人（アジア：473万人、アフリカ：415万人、南米：39万2千人、ヨーロッパ：39万人など）が死亡すると予測している。この数字は、がんや糖尿病、交通事故などによる死者数を大幅に上回る恐れがあり「コロナ後の耐性菌パンデミック」として警鐘がなされている。

4. 私たちは如何に生きて行くのか

ジェンナーが種痘ワクチンを報告したのが18世紀末で、当時、天然痘を引き起

このウイルスの存在は明らかではなかったが、種痘により死亡者は激減する。こうして幕を開けた人類と病原体との闘いは、1920年代のペニシリンに始まるさまざまな抗生物質の発見と医薬品の開発により、人類は多くの感染症から解放されると観みられていた。少なくともその成果は1980年5月8日のWHOによる「天然痘根絶宣言」にあらわれている。しかし現実には、エイズやエボラ出血熱、新型コロナウイルス感染症など…種の壁を越えた新たな感染症が21世紀の世界に拡がり人類の脅威となっている。

私たち人類は、豊かさや便利さを求め続けてきた結果、無秩序な開発や過度な化石燃料に依存した消費社会による地球環境の悪化や温暖化問題など、この地球上にさまざまな傷跡を残してしまっている。一方で、こうした新たな感染症や耐性菌、そして温暖化などの気候変動・環境問題を解決する手だてもまた「科学の力」に他ならない。科学技術に過信することなく、ヒトと自然が調和してこそ豊かで持続可能な未来が育まれるのです。新たな感染症の拡がりや耐性菌の出現は「地球から私たち人類への警告」なのかもしれません。人類が互いに争っている違はなく、今私たちは如何に生きるかを問われているのです。

掲載：科学・技術研究, 第11巻1号, pp.3-4 (2022年)

第二部 人と科学

第9章

測定についての一考察

—認知と筋運動機能との関連実験の資料から—

八田 武志

1. はじめに

科学・技術研究の根本は測定である。測定とは、何らかの属性に数値を割り付ける手続きであると定義できよう。当然のことながら、数値だけで科学・技術研究がその内容を深化できるわけではなく、属性に割り付けたその数値を価値基準に照らし合わせる評価というプロセスを加味することで研究は実行でき、進展する。したがって、測定と評価は現代の科学・技術の根幹であると言えることができ、このことには異論が生じる余地は少ないはずである。このような、科学的手続きを用いることが近代以降の自然科学、そしてその影響を受けてのちに人文科学や社会科学にも適用されるようになった。これらの信念が、現代に生きる人間の共通理解・時代精神となっている。

グローバルな観点から見ても科学的手続きを共通言語として様々な科学・技術分野での議論が進んでいくと言えよう。このような考え方を基本的に共有するとしても、人間行動の様々な側面に測定、すなわち数値を割り付ける作業の実際は簡単ではない。とりわけ情動、性格、知能、学力、適性などの構成概念を共通言語で語り合うことには様々な制約が伴う。

「こころ」をあつかう心理学は1879年にライプツヒ大学に実験心理学教室を開設したウイヘルム・ヴントを現代心理学の創始者と見なしている。彼は人間行動を如何にして自然科学的な測定をもって取り扱うかに苦心し、一定の方向性を明らかにしたことが創始者として歴史的に重要な人物として顕彰され

ることにつながっている。

心理学史を繙くと、ヴントの実験心理学の主流は 1910 年代から 50 年間ほどに渡る行動主義心理学の時代を経て、今日の認知心理学へとつながったと指摘できる。認知心理学の研究者として世界中で何十万人という人間が大学や研究所等で生活の糧を得ているが、人間行動を科学的に測定・評価することにまつわる問題がすべて解決済みというわけではない。

そこで、本稿では現時点でも人間行動を科学的に取り扱う上で内包する問題は残されたままであり、未解決ではないのかという疑問を投げかけようと企図した。具体的には、Cretent and Dru (2009) および Dru and Cretenet (2011) の 2 つの論文に刺激されて行った行動実験を基礎に、心理学的測定における尺度構成の問題を取り上げ、測定とは何か、どうあるべきなのかを再考することが目的である。

Cretent and Dru (2009) の実験は実験心理学分野で最も権威があると見なされる、アメリカ心理学会発刊の *Journal of Experimental Psychology* 誌に掲載されており、その影響力は看過できないものがある。ただ、もう一つの Dru and Cretenet (2011) の 2 編を読み比べてみると、使用されているデータは同一のものである可能性が疑え、2 重投稿の疑義が出そうな論文である。しかし、この種の倫理性を議論するのが本稿の主目的ではないので、これ以上は言及しない。

彼等の実験は 2 編とも 5 実験から構成されているが基本的な検討課題は一つであり、筋運動が認知機能に影響を与えることの立証を目指している。そこでは 2 種の手の運動動作と認知課題を同時に遂行させている。たとえば、手のひらを机に押しつける動作や手のひらを引き上げる動作と顔の模式図の表情を評価させるという具合である。このときの顔の模式図表情の評価に 17 件法が用いられている。この実験の背景や仮説の詳細は後述することにして結論だけ記載すると、仮説に見事に合致する結果を 5 つのすべての実験で得ている。

この筋運動が認知機能に与える影響の検討課題は、最近のホットトピックの一つでもあるが、Strack et al. (1988) によれば、筋運動が認知機能に影響するかの問題の端緒は Darwin (1872) に遡るもので、Darwin は人間の情動経験は

表情筋の活動により強めることも弱めることもできるとした。

この古典的問題は、1980年頃の Buck をきっかけに、質問誌法、記憶実験、自律神経系の反応を用いる生理心理学的方法で様々な研究により検討された。有名な Zajonc et al. (1989) の研究は、ドイツ語の ü という口をすぼめて発音する母音を多用したテキストと、そうでないテキストを実験参加者に読ませたものである。ü は口をすぼめて発音するため、しかめ面に似た表情の動きをすることになり、ü を多用したテキストを読む間のほうが参加者は否定的な感情を示した。これは皮膚温を指標にしているため、生理心理学研究に分類できる。

同一のテーマに簡単な実験を用いて質問紙手続きでこの問題に取り組んだ研究に Strack et al. (1988) がある。彼らは、実験対象者に漫画のおもしろさについての評価を2つの条件下で求めている。一つの条件は鉛筆を歯でくわえる条件であり、もう一つの条件は鉛筆を縦にしてその先を加える条件である。前者は笑うときの口角が上がった表情筋を必然的に生じさせる条件であり、後者は不平を言うときの口先と咎める表情筋を生じさせる条件として設定している。結果は、同じ顔の図を見ても鉛筆を横に加えた条件では、漫画をより positive なものと感じたと報告した。鉛筆を縦にくわえた条件では negative な評価へと認知評定は移行したというものである。これらから、筋肉の運動慣性が情動生起時の認知にバイアスを生じさせると解釈した。この認知評価には10件尺度による測定が行われている。

以上の評定尺度を指標とした研究での測定には、Grue and Cretent (2011) では17件法、Strack et al. (1988) では10件法が用いられ、評定幅が広いのが特徴である。一方で、一般的な社会心理学での通常の調査研究では、質問紙での意見や認知の測定は「はい・いいえ」の2件法、「はい・どちらでもない・いいえ」の3件法のような評定幅の狭いものが一般的である。

果たしてどのような尺度構成の測定が適当なのであろうか。本稿は Strack et al. (1988) の実験を追試する形式を採り、尺度構成により異なる結論が導き出されることを検証し、心理学的測定の在り方について考える。

2. 実験

2.1 対象者

実験の対象者となったのは、男子大学生 24 名と女子大学生 21 名の合計 45 名である。年齢は 20 歳から 31 歳までの範囲に入り、視覚をはじめとする感覚能力に特別な困難を持つものは含まれていない。対象者はランダムに鉛筆を横にして歯でくわえる条件群に 15 名（男子 8 名、女子 7 名）、鉛筆を唇で縦にくわえる条件群に 15 名（男子 8 名、女子 7 名）、鉛筆を加えるなどの負荷条件のない統制群に 15 名（男子 8 名、女子 7 名）を配分した。

歯でくわえる群は Strack et al. (1988) に倣ったもので顔面の口角が必然的に上がり、笑う表情にともなう筋運動を誘導するためであり、口でくわえる群は不平で口をすぼめる表情にともなう筋運動を誘導するためである。表情は文化があることは当然であり、「Yes」と言う口角が上がる肯定的言語表現や「No」と言う口角が上がらず唇をとがめる否定的言語表現と同じように、日本人が笑う表情で口角を上げたり、否定的な感情の際に口をすぼめたりするのが一般的であるかは疑問がないわけではないが、本実験の主たる狙いは別にあるので問題とはしないことにする。

2.2 刺激材料と手続き

実験ではパソコン画面上に提示される漫画の顔 43 種の刺激図に対して表情の評価を 7 件法と 17 件法の 2 種のやり方で求めた。顔刺激図は Grue and Cretent (2011) の実験 1 で用いたものを使用した。図 1 はその刺激図の例である。手続きの説明を受けた対象者はパソコンに面して座り、パソコン画面上に 1 つ提示される刺激図にたいして評価を行うのが課題であった。刺激図は 7 秒間提

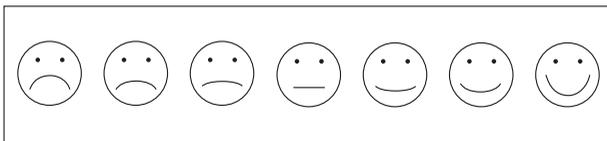


図 1：顔刺激

示され、つづいて回答を促す指示が画面に呈された。

対象者は1ページごとに回答欄が印刷されているブックレットの回答欄に、楽しい表情であるか悲しい表情であるかを両極端とする尺度上の、最も適切と考える個所に○印を記入する課題を行うように求められた。7件法の場合には中央の値を0に左右それぞれに3つの目盛りを記入し、両端に、楽しいまたは悲しいの表記が印刷されていた。したがって、評定値は最大で±3となる。一方の17件法では中央の値を0とし、左右にそれぞれ8つの目盛りを記入し両端に、楽しいまたは悲しいの表記が印刷されていた。したがって、評定値は最大で±8となる。

実験者は対象者の右横の位置に座り、回答が記入されると、次に進んでよいかを確認後、パソコン画面を次の画面へと切り替えることを行った。したがって、対象者ペースで刺激提示が行われたと見なすことができよう。本実験では対象者は同一の刺激図に対し7件法での評価と17件法での評価の両方を行ったが、両者はランダムな順序で提示するように構成されていた。ただし、刺激図の提示順序は被験者間でランダム化はされておらず、対象者は同一の提示順序で合計86回刺激図を見たことになる。

3. 結果

本実験の目的は7件法での測定と17件法での測定結果を比較することである。性別に7件法での評定結果を示したのが表1である。表1の結果を男女と条件を要因とする2要因分散分析で効果測定を検証したところ、性差について

表1：性別にみた3つの実験条件での平均評定値と標準偏差

		男子	女子
歯で横にくわえる条件	<i>M</i>	0.12	0.03
	<i>SD</i>	0.32	0.11
唇で縦にくわえる条件	<i>M</i>	0.22	0.16
	<i>SD</i>	0.22	0.17
統制条件	<i>M</i>	0.32	0.31
	<i>SD</i>	0.11	0.29

は $F(1, 39) = 0.72$ であった。有意確率は 0.40 であり、差異は認められなかった。つまり評定に性差はないということになる。条件の要因については、 $F(2, 39) = 4.19$ であり有意確率は 0.023 と有意となった。つまり、鉛筆のくわえ方の要因により評定値は異なることが明らかとなった。ただし、両要因の交互作用は $F(2, 39) = 0.06$ であり有意ではなかった。

次に 17 件法での評定結果を表 2 に示す。表 2 の結果を男女と条件を要因とする 2 要因分散分析で効果測定を検証した。性差については $F(1, 39) = 3.99$ であり、有意確率は 0.053 であり、差異の存在が示唆されること、つまり評定に性差がある可能性が高いことになる。条件の要因については、 $F(2, 39) = 21.569$ であり有意確率は 0.001 未満の数値なり有意となった。つまり、鉛筆のくわえ方の要因により評定値は顕著に異なることが明らかとなった。両要因の交互作用は $F(2, 39) = 5.01$ であり、有意確率は 0.0012 で有意となった。

表 2：性別にみた 3 つの実験条件での平均評定値と標準偏差

		男子	女子
歯で横にくわえる条件	M	-0.30	-0.96
	SD	0.52	0.22
唇で縦にくわえる条件	M	-0.07	-0.17
	SD	0.24	0.41
統制条件	M	0.16	0.29
	SD	0.31	0.27

この 2 つの分散分析の結果は、統計的に異なる様相を示すことが明らかである。つまり、尺度の幅が異なると違う結論が得られることを示している。異なることをより分かり易く表すための 7 件法と 17 件法の結果を図に示すと図 2 のようになる。

4. 考察

図 2 から分かるように、同じ刺激材料についての感情評価を 2 つの異なる尺度評価法で同一の対象者に実施した結果は同じものではなかった。7 件法での

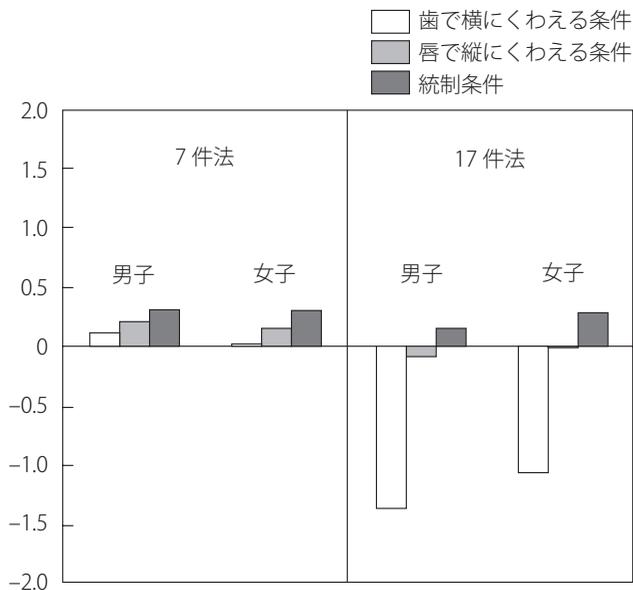


図2：2種の評定尺度での結果のまとめ

結果からは性差は認められないこと、鉛筆を2つの形態でくわえる条件にも違いはないことが明らかとなり、統制条件と実験2条件の間には評定値に違いがあるという結果となった。これに対して、17件法では2つの実験要因の両方が有意な効果を示し、くわえて両者の交互作用も有意となる統計処置の結果であった。通常実験計画法では2要因の計画が最も基本的で2つの要因の間に交互作用が有意に立証できるか否かが重要な問題となる。つまり、ある条件ではそうだが、別の条件ではそうではない、という結論が得られるかどうかを検証するのが実験計画法の中心的な狙いである。

近年3要因や4要因、5要因の分散分析のソフトウェアが統計処理パッケージに加えられている場合があるが、実験計画法の基本的な考え方からは問題が多い。数次の交互作用についてそれが有意となった場合の解釈は不可能と考えられるからであるが、この問題も本稿の目的から外れるのでこれ以上は言及しない。

さて、本稿のような2つの異なる尺度により得られた測定結果が異なる統計

処理結果を生み出した場合に、17 件法が 7 件法よりも測定値の感受性が高い、したがって 17 件法が優れていると結論を出してよいのであろうか。そこには、古典的な極めて重要な問題を内包していると考えられるのではなかろうか。たとえば、Miller の有名な Magical number seven plus minus two を想起すれば、感情評価を 17 段階にも分けて正確に評価可能なのか、測定値に信頼は置けるのか、という疑問が湧くことであろう。

本稿の端緒となった Cretenet and Drue (2009) の実験の具体を紹介してこの種の疑問を考えてみよう。彼等は上肢の運動が認知判断に影響するかを検討する目的で、腕を伸ばす (extension) 動作下と腕を曲げる (flexion) 動作下の 2 つの条件に認知評価判断を 2 重課題として実行させている。Extension 動作は拒否に付随する動作であり、Flexion 動作は受容に付随する動作というのが前提である。つまり、嫌ですと腕を突き出す動作、おいで、おいでと腕を畳む動作であるというわけである。認知課題には Breskin Rigidity Test (Breskin, 1968) を用いている。この検査は視覚的刺激物の見え方の心理的な硬さを測定しようとするパーソナリティ検査項目の一部である。

Drue and Cretenet (2011) では、認知課題に negative、neutral、positive な情動を喚起するとされる写真 (International affective picture system, Lang et al., 2005) を追加しているが、基本的なパラダイムは Cretenet and Drue (2009) と変わらない。両方の論文で、Extension 動作下と Flexion 動作下で 2 重課題として刺激図を見せ、その情動価を対象者に評定させてそれを測定値としている。彼等は運動動作が右手か左手かを変数に加えてラテラルリティ研究として神経心理学的研究としている。右脳が negative 情動機能に関係が強く、左脳は positive 情動機能に関係が深いという 1970 年代後半に一時話題となったことはあるが確実な知見とまでは定まらないままの仮定に基づく実験計画なのである。更にいえば、Extension 動作が拒絶で negative、Flexion 動作が positive という仮定も合理性があるかは疑問がないわけではない。彼等の実験はすべての認知課題で、(右手・左手) × (Flexion・Extension) の見事に交差する交互作用を示す図を得ている。しかし、ここで指摘せねばならないのはすべての認知課題での評価が 17 件法であるという点である。

筆者はこれまでにたくさんの学術論文（実験研究論文が大多数であるが）を眼にしてきたが、寡聞にして 17 件法による評定が行われてきた例を知らない。筆者が本稿で例示したように 17 件法では交互作用がでる結果も 7 件法であれば交互作用効果は認められないことがあるとなれば、Dru と Cretenet による実験結果が必ずしも堅牢で顕著な人間の心理学的行動かは疑わしいということになる。感受性の高い 17 件法を使い、7 件法を使わなかったのはその研究者が優れていると賞賛されるべきなのだろうか。

統計的に有意な結果が得られたことが実験を計画する上で重要な要素であることは言うまでもないが、一般的に認知心理学実験で用いられている 5 件法や 7 件法では有意差が出ないので、感度を良くするために 17 件法を用いて評定を求めるとするのは、恣意的ではないかという指摘を受けても仕方がないのではないのかと考えるのである。

研究者が仮説する主張に沿う結果が検出できる方法を探すというのは、科学的研究を進めるという現代の研究者の使命及び倫理に合致するのだろうか。筆者は現在の認知心理学や社会心理学で採用される測定法が安易すぎる危険を孕んでいるのではないかと心配するのである。この種の安易さを内包する測定を頻繁に使い、堅牢でない結果を社会に喧伝することが続けば、心理学に対する社会からの見方が変わり、信頼できない科学性に乏しい学問領域であると見なされるようになる可能性を危惧する。そのようなことは、1879 年のヴントの実験心理学教室の創設に始まる心理学の現代化（すなわち、自然科学化）のペクトルを台無しにすることにつながるわけである。

このような問題に直面するときその解決法につながる示唆は原点に戻ることであろう。この考え方は心理学だけでなく様々な社会的出来事においても共通することで、歴史に学ぶことが重要なのではないかと考える。心理学で用いる構成概念を科学的に処理する解決法として尺度構成がすでに 1950 年代に欧米だけでなく我が国にも紹介されている。Guilford の大部の著書 *Psychometric Methods* はその代表的なものであろう。我が国では九州大学心理学教室創設 30 周年記念事業としてその訳出が行われており、Guilford の功績を容易に参照しうる。

Guilford の本の初版は 1936 年に出たと記載がある。そして、科学的心理学の始まりである、心理学徒なら誰もが知るウェーバー・フェフィナーの法則で有名な Fechner の著書 *Elemente der Psychophysik* で知覚や思考の実験的研究にもっぱら精神物理学的測定法を用いていた時期に、知覚研究分野の精神物理学的測定法と知能指数や人格研究に用いられるテスト法をつなぐことをしたのが Guilford の著書であると紹介している。つまり、実験的方法と尺度法やテスト法のような統計学的方法の間に緊密な論理的関係を包摂したということであろう。

この Guilford の邦訳の 11 章には評定尺度法がまとめられている。ここでは、評定尺度の形式の紹介や効用と限界の記載がある。たとえば、「負の評定値を用いることはすすめられない」、「数値による評定は、多くのかたよりや誤差に陥りやすいと考えられる」、「強制選択法の理論」などが記されている。つまり、「人間の行う量的判断には多くの信頼を置くように、評定尺度は、強いられているが、そこに入り込む弱点や、その判断に置ける個人的かたよりの多くの要因に対して、常に気を配っていなければならない」としている。現代の科学・技術に関わる者は少なくとも人間行動を科学的手続きで測定することを了解し実行すべきであろう。

現時点で Drue と Cretenet が発表している実験結果を否定できる根拠は筆者にはない。ただ、疑念を呈するだけである。医学の分野で用いられる痛みなどの感度の測定法である VAS (Visual Analogue Scale) では、0 から 10 までの線分に対象者の主観的痛みをマークしてその位置を物差しで測定してその値を測定値にするなどの方法と比べて 17 件法での尺度評価がそんなに問題があるのかと言われるとその反論への解答は持ち合わせてはいない。

したがって、今のところ筆者が言えるのは、何かの研究結果が示されたときに、それがどのような手続きで行われ、そこで用いられている測定には信頼性や妥当性が保証されているのかどうかを疑いつつ接することが望ましいということだけである。

引用文献

- Breskin, S. (1968). Measurement of rigidity, a non verbal test. *Perceptual and Motor Skills*, Vol. 27, pp. 1203-1206.
- Darwin, C. R. (1872). *The expression of emotions on man and animals*. John Murray.
- Cretenet, J. and Dru, V. (2009). Influence of peripheral and motivational clues on rigid-flexible functioning: Perceptua, behavioral, and cognitive aspects. *Journal of Experimental Psychology: General*, Vol. 138, pp. 201-217.
- Dru, V. and Cretenet, H. (2011). Performing lateralized approach and avoidance behaviors: Effects on perceptua, affective and confidence judgement. *Journal of International Neuropsychological Society*, Vol. 17, pp. 289-294.
- Gilford, J. P. (1956). Psychometric methods (秋重義治 (監訳) (1959). 精神物理学的測定法. 培風館).
- Lang, P. J., Bradley, M. M., and Cuthbert, B. N. (2005). *International affective picture system (IAPS): Digitized photographs, instruction manual and affetic rating. Technical Report A-6*. Gainsville: University of Florida.
- Strack, F., Martin, L., and Stepper, S. (1988). Inhibiting and facilitating conditions of the human smile: A nonobtrusive test of the facial feedback hypothesis. *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 54, pp. 768-777.
- Zajonc, R. B., Murphy, S. T., and Inglehart, M. (1989). Feeling and facial efference: Implications of the vacular theory of emotion. *Psychological Review*, Vol. 96, pp. 395-416.

掲載：科学・技術研究, 第1巻1号, pp.25-29 (2012年)

第 10 章

大衆による官僚制化の心理構造に関する実証的研究

松本 和也、羽鳥 剛史、竹村 和久

1. 問題

近年、我が国ではテレビや新聞などのメディアを中心に、官僚や行政に対する様々な批判がなされている。例えば、官僚機構の非効率性や既得権益、さらにはその反民主的な性格などが批判されており（野口, 2011）、そうした官僚批判の風潮が世論一般においても支配的になりつつあるように見受けられる。実際に、官僚や行政に対する批判的な世論を背景として、公共事業の民営化や公共事業費の削減といった所謂「官から民へ」の流れが加速化しつつある。

一方、ドイツの社会学者マックス・ウェーバー（Max Weber, 1864-1920）はその著書『官僚制的支配の本質、諸前提および展開』（1922）において、近代社会に固有の特徴として官僚制の問題を論じている。ウェーバーの官僚制論については次章で改めて述べるが、彼の議論によれば、近代社会において、一切の主観を排除し、計算可能な規則に基づく支配を追求する「官僚制化現象」が、政治・経済・社会のあらゆる領域を覆い尽くすに至ったことが指摘されている。

この様に、ウェーバーの論じる官僚制化は、近代社会に特有の社会現象を表している。それでは、現代日本において、そうした近代化が高度に進められたものと考え、その日本において、なぜ官僚バッシングが起きているのであろうか。本研究では、この問題についてウェーバーの官僚制論と併せて、オルテガの大衆論に依拠しつつ、大衆と官僚制化との関係について実証的に検討し、今日の官僚批判の背景にある社会心理現象を明らかにすることを目的としている。

2. 本研究の理論的背景

2.1 ウェーバーの官僚制論

ウェーバーは官僚制の体系的研究の創始者であると評されており (Merton, 1952)、その考察の対象は行政機関における官僚制にとどまらず、私企業の官僚制的な組織にも及んでいる。つまり、ウェーバーの官僚制論は近代資本主義社会を覆い尽くす「官僚制化現象」を問題としたものと捉えられる (中野, 2012)。ウェーバーは官僚制の明確な定義を示してはいないが、その代わりに官僚制のメルマークとして、①規則による明確な「権限」、②ヒエラルヒー構造、③文書主義、④専門知識の必要性と資格任用制、⑤専門、⑥一般的な規則による規律を挙げている (野口, 2011)。この点について、中野 (2012) はウェーバーが示した官僚制の特徴というものは、①だれかれの区別をせずに奉仕する「没主観性」と、②判断基準を定量化・数値化する「計算可能性」の2点に集約できるものであるとしている。

ウェーバーはこのような官僚制が社会全般を覆い尽くすに至った契機について、その著書『プロテスタンティズムの倫理と資本主義の精神』(1905)において、官僚制を「鉄の檻」というメタファーで表現し、「将来この鉄の檻の中に住むものは誰なのか」と問いかけ、「こうした文化発展の最後に現れる『未人』にとっては、次の言葉が真実となるのではなかろうか。『精神のない専門人、心情のない享楽人。この無のものは、人間性のかつて達したことのない段階にまですでに登りつめた、と自惚れるだろう』(p. 366)」と論じている。ここで用いられている「未人」や「精神のない専門人」、「心情のない享楽人」といった表現はニーチェ (1885) の著書『ツァラトストラかく語りき』に由来するものであり、本稿で着目するオルテガの論考に基づくなら、彼が論ずる「大衆」に他ならない。ウェーバーは官僚制化の行き着く先に、精神の頽廃した大衆の出現を予見しているのである。さらにウェーバーは『官僚制的支配の本質、諸前提および展開』(1922)において、「官僚制組織は、何よりもまず、同質的な小単位体の民主制的自治と対蹠的な、近代的大衆民主主義の不可避的な随伴現象である。その理由の第一として、抽象的な規則に基づく支配行使という、官僚制的組織に特有な原理が挙げられる。けだしこれ [抽象的な規則に基づく支配行使] は、人的

および物的な意味における『権利の平等』を目指す欲求から、したがって、『特権』の忌避と『行きあたりばったりの』処理を原理的に拒否するということから生ずるからである (p. 47)」と論じている。ウェーバーは官僚制と大衆民主主義が不可分なものであることを洞察し、官僚制を支える背景として、所謂「大衆」の存在を看取したのである。⁽¹⁾

2.2 オルテガの大衆論

スペインの哲学者オルテガ・イ・ガセット (Ortega y Gasset, 1883-1955) は、近代社会において大衆なる人間のタイプが出現し、様々な社会問題の本質的原因となっていることを、その著書『大衆の反逆』(1930)の中で批判的に論じている。オルテガによれば、「大衆とは、善い意味でも悪い意味でも、自分自身に特殊な価値を認めようとはせず、自分は『すべての人』と同じであると感じ、そのことに苦痛を覚えるどころか、他の人々と同一であると感ずることに喜びを見出しているすべての人のことである (p. 17)」と定義される。一方、「大衆」に対置する存在として「選ばれた者」とは、「自らに多くを求め、進んで困難と義務を負わんとする人 (p. 17)」とされており、社会は少数者 (選ばれた者) と大衆のダイナミックな統一体であると論じている。

藤井・羽鳥 (2014) は、オルテガの大衆論の特徴として、以下の3点を挙げている。①オルテガの「大衆」は量的な概念ではなく、質的な概念を表している。大衆とはあくまでも人間精神の質的特性を表すものであり、少なくともその定義上は「多数か少数か」という量的特徴には還元できないものなのである。②オルテガの「大衆」の概念は一つの心理的類型を表しており、社会的地位や階層とは関係しない。従って、彼の大衆観は、大衆を負の社会的・政治的階級とする貴族主義的・民主主義的な見方とは異なるものなのである。③オルテガの「大衆」と「選ばれた者」の区分は、その知識や能力の有無とも関係しない。むしろ、彼は専門家傾向に墮する当時の知識人や科学者こそが「大衆人の典型」とであると断じているのである。

オルテガは当時のヨーロッパの状況を「今日では、大衆は、彼らが喫茶店での話題からえた結論を実社会に強制し、それに法の力を与える権力を持ってい

ると信じているのである。わたしは、多数者が今日ほど直接的に支配権をふるうにいたった時代は、歴史上にかつてなかったのではないかと思う (p. 21)」と痛烈に批判し、大衆が何ら特別な資質を持たないにも関わらず、政治や経済、文化、道徳などのあらゆる領域において社会的権力を手に入れつつあるような状況、つまり「言論の府」たる議会を介した間接民主的な「自由主義的デモクラシー」が失われ、大衆の意見や要求が直接的に政治的決定に反映されるような「超デモクラシー (大衆民主主義)」が社会において形成されつつあることに大きな危機感を抱いているのである。さらに、このようにオルテガが当時のヨーロッパ社会から看取した万人が有する大衆性の傾向が高まりつつある「大衆社会化」とも言える状況が、今日の我が国においても進行していることが指摘されている (藤井・羽鳥, 2014; 西部, 1987)。

2.3 大衆社会と官僚制化

ウェーバーによれば、大衆社会化と官僚制化が並行して進行してきたことは、歴史的な事実であった。大衆は当初、名望家から権力を奪取し、官僚制により身分を平準化してきたが、名望家支配の破壊を完了すると、更なる身分の平準化を目指し、官僚制を次なる攻撃目標とするのである。この点を踏まえるなら、今日の我が国における官僚批判とは、官僚制化の徹底のために、官僚制自体を攻撃の対象としている状況を表すものと言える。こうした官僚批判に関わる一見矛盾した社会現象は、真淵 (2006) の論ずる「政治的官僚」と「吏員型官僚」の区分別を用いるとより明瞭に理解することが出来る。すなわち、真淵 (2006) によれば、「政治的官僚」とは「行政を政治の一部と考え、政治の中に積極的に入り、様々な利害調整の過程を経て公益を実現しようと活発に活動する」ような官僚像であり、我が国において 70 年代に優勢を誇った。一方、「吏員型官僚」とは「行政の政治的中立性を額面通りに受け止め、政治によって与えられた政策を忠実に遂行する」ような官僚像であり、80 年代以降に台頭し始めたものと考えられている。中野 (2012) において指摘されている通り、この「吏員型官僚」こそが、ウェーバーの論ずる官僚像と合致するものと考えられる。中野 (2012) はこのような真淵の分類に則り、オルテガの論ずる「大衆」が、

政治に積極的に介入するような「政治的官僚」を嫌う一方、政治に関与しようとしなない「吏員型官僚」を支持し、ウェーバーの論ずる官僚制を貫徹しようとする状況を「官僚の反逆」として分析している。この論考に基づくなら、今日の官僚批判は政治的官僚に向けられたものであり、大衆はそうした批判によって、吏員型官僚による官僚制化を推し進めているものと読み解くことができる。本研究では、以上の点を踏まえ、「大衆社会」と「官僚制」の関係を実証的に調査するため、以下の仮説を措定した。

仮説：オルテガの論ずる「大衆」は、ウェーバーの論ずる「官僚制化」を追求する傾向にある。

さらに、このような仮説から、下記の経験的な作業仮説を導いた。

作業仮説：大衆性尺度（羽鳥他, 2008）は、「官僚制化」を表現する形式性追求傾向尺度（渡辺他, 2010）や官僚制化への肯定的態度尺度と高い正の関連性を示す。

3. 方法

3.1 実験対象

インターネット調査サービス「楽天リサーチ」の400名のモニターを対象にアンケート調査を実施した。調査対象者は、性別・年齢構成が日本全体の性別・年齢構成に等しくなるように選定した（男性199名、女性201名、年齢平均46.69歳、年齢標準偏差16.22歳）。また、調査対象者の居住地の都市規模が偏ることを防ぐため、大都市（東京23区と政令指定都市）と小都市（その他の市）という分類を行った上、それぞれに在住の方200名ずつを抽出することとした。

3.2 質問項目

3.2.1 大衆性尺度

大衆性指標を量るための質問項目として、羽鳥・小松・藤井（2008）で作成された大衆性尺度を用いた。表1に示すように、本尺度は「傲慢性」と「自己

閉塞性」の2因子19項目から構成されている。ここで、傲慢性とは「ものの道理や背後関係はさておき、とにかく自分自身には様々な能力が携わっており、自分の望み通りに物事が進むであろうと盲信する傾向」を表し、自己閉塞性とは「自分自身の外部環境からの閉塞性」を表している。各項目について「とてもそう思う」から「全くそう思わない」の7件法で回答を要請した。そして、

表1：大衆性尺度の質問項目

No.	質問項目
傲慢性	
1	自分の意見が誤っていることなどない、と思う
2	私は、どんな時でも勝ち続けるのではないかと何となく思う
3	自分個人の「好み」が社会に反映されるべきだと思う
4	どんな時も自分を信じて、他人の言葉などに耳を貸すべきではない、と思う
5	「ものの道理」には、あまり興味がない
6	物事の背景にあることには、あまり興味がない
7	世の中の問題は、技術ですべて解決できると思う
8	自分のことを、自分以外のものに委ねることは一切許されないことだと思う
9	自分を拘束するのは自分だけだと思う
10	道徳や倫理などというものから、自由に生きていきたいと思う
11	人は人、自分は自分、だと思う
12	日本が将来なくなる可能性は、皆無ではないと思う*
自己閉塞性	
13	伝統的な事柄に対して敬意と配慮を持っている*
14	日々の日常生活は、感謝すべき対象で満たされている*
15	世の中は驚きに満ちていると感じる*
16	我々には、伝統を受け継ぎ、改良を加え、伝承していく義務があると思う*
17	自分自身への要求が多い方だ*
18	自分は進んで義務や困難を負う方だ*
19	もしも奉仕すべき対象がなくなれば、生きている意味がなくなるのではないかと思う*

注：*：逆転項目。

逆転項目の得点を反転した後、「傲慢性」尺度及び「自己閉塞性」尺度をそれぞれ対応する項目の加算平均から構成した。なお、各尺度の信頼性係数を算出したところ、「傲慢性」が $\alpha = .781$ 、「自己閉塞性」が $\alpha = .715$ となり、十分な信頼性が確認された。

3.2.2 形式性追求傾向尺度

官僚制化指標を量るための質問項目として、渡辺他（2010）で作成された形式性追求傾向尺度を用いた。本尺度は「マニュアル志向」「決定重視」「型への安心」「責任回避」の4因子20項目から構成されており、上述した吏員型官僚と整合的な態度指標を表す項目と考えられる。各項目について「とてもあてはまる」から「まったくあてはまらない」の5件法で回答を要請した。なお、各尺度の信頼性係数を算出したところ、十分な信頼性が確認されなかったため、本研究における本尺度の構成については、改めて検討することとした。

3.2.3 政治の官僚制化に関わる態度

先述した真淵（2006）による官僚の分類を参考に、吏員型官僚を支持する意識を量るための質問項目として、「官僚は与えられた仕事を決められた手順に則り、確実に遂行することに専念すべきだと思う」という設問を設けた。また、政治的官僚を支持する意識を量るための質問項目として、「官僚は政治家や利益集団と利害調整を図りながら公益に資する政策を見出すべきだと思う」という設問を設けた。さらに、政治への直接関与の要求傾向を量るための質問項目として、羽鳥他（2008）によって作成された行政への直接的関与に対する要求尺度から、「政府・行政は決して世論に逆らってはならないと思う」という設問を用いた。以上の3項目に対して、それぞれ「とてもそう思う」から「全くそう思わない」の7件法で回答を要請した。以下では、それぞれの尺度を「吏員型官僚支持意識」、「政治的官僚支持意識」、「世論専制の要求」と称する。

3.2.4 社会の官僚制化に関わる態度

ウェーバーの官僚制論を現代社会に応用したものとして、ジョージ・リッツァ

(1993) のマクドナルド化論が挙げられる。リッツァによれば、マクドナルド化とは「効率性」「予測可能性」「計算可能性」「支配」の4つを特徴とする現象である。本研究ではリッツァの著書『マクドナルド化する社会』を参考に、マクドナルド化に対する意識を量るための質問項目として、①「これからの時代、企業は一切の無駄を省き、効率よく業務をこなさなければならないと思う」、②「これからの時代、企業は国や地域に関わりなく、すべてのお客さんに一律の財・サービスを提供すべきだと思う」、③「企業は明確な数値指標に基づいて、顧客サービスを徹底的に管理すべきだと思う」、④「企業は従業員の行動をマニュアルにより、厳正に規律づけるべきだと思う」という設問を設けた。これらの各項目について「とてもそう思う」から「全くそう思わない」の7件法で回答を要請した。以下では、それぞれの尺度を①「マクドナルド化（効率性）追求傾向」、②「マクドナルド化（予測可能性）追求傾向」、③「マクドナルド化（計算可能性）追求傾向」、④「マクドナルド化（支配）追求傾向」と称する。

4. 結果

4.1 形式性追求傾向尺度の構成

官僚制化指標を量る心理尺度を構成するため、渡辺他（2010）で用いられた20の質問項目について因子分析（主因子法）を実施した。その結果を表2に示す。固有値は第1因子から順に、5.396、1.732、1.627、1.078…となり、第3因子までの値が比較的大きなものとなったため、本研究においては3因子解が妥当であると判断した。その上で、いずれの因子に対しても因子負荷量が.30に満たない項目を除き、それぞれ対応する項目の加算平均から各尺度を構成した。なお、各尺度の命名は既存尺度を参考とし、第1因子を「マニュアル志向」、第2因子を「型への安心」、第3因子を「決定重視」と称することとした。これらの尺度について信頼性係数を算出したところ、マニュアル志向尺度が $\alpha = .823$ 、型への安心尺度が $\alpha = .713$ 、決定重視尺度が $\alpha = .711$ と概ね良好な数値となった。

表 2：形式性追求傾向尺度の因子分析結果

No.	項目	回転プロマックス解		
		1	2	3
マニュアル志向 ($\alpha = .823$)				
2	マニュアルがないととても不安になる	.813	-.045	-.064
4	難問を解決するときは、自分で考えるよりも、まず、専門書やマニュアルを参照する	.695	.034	-.013
1	ものごとを決めるとき、先生や上司の指示があると安心する	.652	-.170	.094
3	仕事は、マニュアルや手引書どおりに進めることが重要だ	.645	.014	.092
5	悩んだときは、とにかくマニュアルに忠実に従っておけば間違いないと思う	.625	.216	-.036
型への安心 ($\alpha = .713$)				
15	工業規格 (JIS) や国際規格を取得していない商品は、価値の低いものだと思う	-.098	.646	-.129
18	不都合があると感じた場合でも、きまりに反していなければそのままにしておく	.043	.618	-.082
19	迷ったときには、有名なメーカーやブランドの商品を買っておけばよいと思う	.103	.517	-.074
16	個人経営の店の商品よりは、チェーン店やスーパーのパッケージの商品の方が安心できる	.135	.497	-.021
14	業績目標やノルマが決まっていないと、何となく落ち着かない	.047	.450	.029
17	他人から非難されても、自分が規則をきちんと守っていれば問題ないと思う	-.161	.432	.317
13	話し合いの進行と直接関係のない意見は、言わないようにいつも気をつけている	-.122	.361	.161
20	与えられた指示に従ってうまくいかない場合、それは指示をした人の責任だと思う	-.026	.306	.099
決定重視 ($\alpha = .711$)				
9	手紙や書類をつくる時、体裁や様式に抜けがないかどうかを常に気にする	.033	-.165	.671
8	ルールは、厳密に守っていくことでこそ意味をもたらすと思う	.059	.029	.650
10	書類などの文章表現にミスがあると、耐えられない	-.036	-.099	.542
11	グループ内の話し合いでトラブルが生じたときは、グループで決まっている規則にしたがって解決することを重視する	.030	.149	.479
12	一度決めた打ち合わせの内容があとで変わると腹が立つ	.010	.147	.382
7	仕事をするとき、業績目標は誰もが順守しなければいけないものだと思う	.165	.102	.353
	因子間相関	1	2	3
		1	-	.544
		2	-	.440
		3	-	-
	因子負荷量の二乗和	3.671	3.312	2.964

4.2 大衆性尺度と形式性追求傾向尺度との関連性

4.2.1 相関分析

本研究で措定した仮説を検証するため、大衆性尺度と小役人尺度との間の相関分析を行った。その結果を表3に示す。この表に示すように、傲慢性と型への安心との相関係数は.299 ($p = .000$)、自己閉塞性と型への安心との相関係数は.166 ($p = .001$)となり、有意な正の相関が確認された。一方、自己閉塞性と決定重視との相関係数は-.155 ($p = .002$)となり、有意な負の相関が確認された。

表3：大衆性尺度と形式性追求傾向尺度との相関分析結果

	傲慢性	自己閉塞性
マニュアル志向	.048	.037
型への安心	.299 **	.166 **
決定重視	.063	-.155 **

注：* $p < .05$, ** $p < .01$ 。

4.2.2 大衆群と公衆群間の比較

次に、大衆性尺度得点によって被験者を「大衆群」および「公衆群」に分類し、両群の間で形式性追求尺度得点の平均値についてt検定を行い、群間の差異を比較した。ここで、藤井・羽鳥(2014)に基づいて、大衆性尺度の傲慢性得点が被験者の上位3分の1に相当し、かつ自己閉塞性得点が被験者の上位3分の1に相当する被験者群を「大衆群」とし、逆に傲慢性得点が被験者の下位3分の1に相当し、かつ自己閉塞性得点が被験者の下位3分の1に相当する被験者群を「公衆群」とした。その分析の結果を図1に示す。この図に示すように、マニュアル志向の平均値は、大衆群で3.093、公衆群で2.846となり、有意な傾向差が認められた ($t = 1.869$, $df = 108.000$, $p = .064$)。また、型への安心の平均値は、大衆群で3.056、公衆群で2.522となり、有意差が確認された ($t = 6.154$, $df = 99.765$, $p = .000$)。なお、相関分析において自己閉塞性と有意な負の相関を示した決定重視については、大衆群と公衆群の間で有意な差異は確認

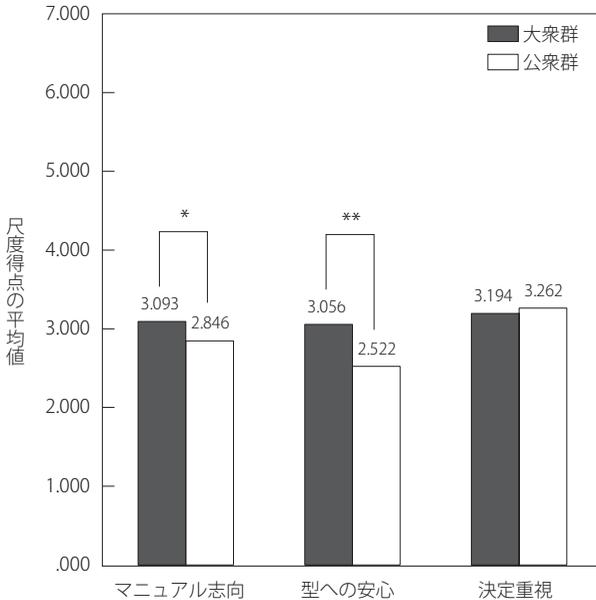


図1：形式性追求傾向人尺度の平均値の群間比較結果
注：* $p < .10$, ** $p < .05$ 。

されなかった ($t = -.655, df = 99.205, p = .514$)。

4.3 大衆性尺度・形式性追求傾向尺度と政治・社会の官僚制化に関わる態度との関連性

4.3.1 相関分析

次に、大衆性尺度及び形式性追求傾向尺度と政治・社会の官僚制化に関わる態度項目を用いた相関分析を行った。その結果を表4に示す。この表に示すように、傲慢性と吏員型官僚支持意識との相関係数は.107 ($p = .032$)となり、有意な正の相関が確認された。自己閉塞性と政治的官僚支持意識との相関係数は-.187 ($p = .000$)となり、有意な負の相関が確認された。また、傲慢性は世論専制の要求意識及びマクドナルド化（予測可能性）追求傾向、マクドナルド化（支配）追求傾向と正の相関を示した一方、自己閉塞性は世論専制の要求及びマクドナルド化（計算可能性）追求傾向と有意な負の相関を示した。さらに、

表 4：大衆性尺度・形式性追求傾向尺度と政治・社会の官僚制化に関わる態度項目との相関分析結果

	傲慢性	自己 閉塞性	マニユア ル志向	型への 安心	決定重視
吏員型官僚支持意識	.107 *	-.011	.118 *	.156 **	.262 **
政治的官僚支持意識	-.039	-.187 **	.017	-.108 *	.143 **
世論専制の要求	.210 **	-.134 **	.102 *	.079	.122 *
マクドナルド化（効率性）追 求傾向	.096	-.013	.055	.175 **	.116 *
マクドナルド化（予測可能性） 追求傾向	.141 **	-.094	.073	.139 **	.093
マクドナルド化（計算可能性） 追求傾向	.059	-.167 **	.131 **	.160 **	.216 **
マクドナルド化（支配）追 求傾向	.177 **	.067	.297 **	.328 **	.210 **

注：* $p < .05$, ** $p < .01$ 。

形式性追求傾向尺度と政治の官僚制化に関わる態度との関連については、吏員型官僚支持意識、政治的官僚支持意識、世論専制要求のそれぞれについて、小役人尺度を構成する3項目の内、少なくともいずれかとの間で有意な関連性が認められた。同様に、形式性追求傾向尺度と社会の官僚制化に関わる態度との関連についても、4つのマクドナルド化追求傾向のそれぞれについて、形式性追求傾向尺度の3項目の少なくともいずれかとの間で有意な関連性が認められた。

4.3.2 共分散構造分析

以上の結果より、大衆性尺度と形式性追求傾向尺度との間に正の相関関係が示された。また、形式性追求傾向尺度と政治・社会の官僚制化に関わる態度との間に概して有意な正の相関関係が確認された。このことから、人々の大衆性の高まりは、人々の形式性追求傾向を高めることを通じて、政治・社会における官僚制化に関わる態度を強めるという間接的な影響を持ち得る可能性が考えられる。そこで本研究では、以上の関係を検証するため、大衆性尺度及び形式性追求傾向尺度と政治・社会の官僚制化に関わる態度項目を用いた共分散構造

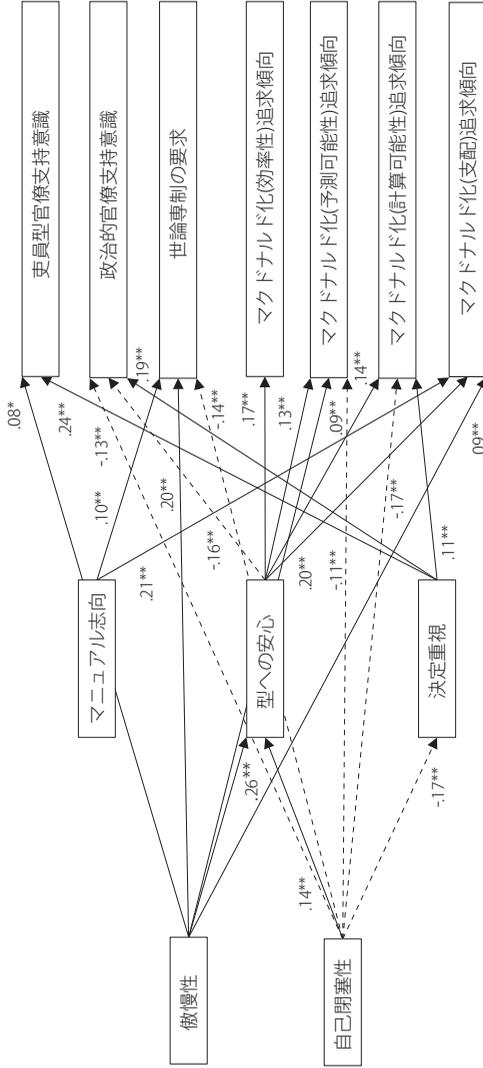


図 2：大衆性尺度・形式性追求傾向尺度と政治・社会の官僚制化に関わる態度項目を用いた共分散構造分析結果

注：図中の数値は標準化係数、実線矢印は正のパスを、破線矢印は負のパスを示す。パス図が複雑になるため、誤差項、相関や対応項目の誤差共分散は省略した。（* $p < .10$, ** $p < .05$ ）

分析を行った。その結果得られたモデルを図2に示す。本モデルの適合度指標は、 $\chi^2 = 22.29$ 、 $df = 28$ 、 $GFI = .99$ 、 $CFI = 1.00$ 、 $AGFI = .97$ 、 $RMSEA = .00$ となり、良好な値となった。この図に示すように、各尺度間においては概ね相関分析と同様の関係性が示された。すなわち、傲慢性から型への安心及び吏員型官僚支持意識、世論専制の要求、マクドナルド化（予測可能性）追求傾向、マクドナルド化（支配）追求傾向へ有意な正の関連性が確認され、自己閉塞性から型への安心へ有意な正の関連性が、決定重視及び政治的官僚支持意識、世論専制の要求、マクドナルド化（予測可能性）追求傾向、マクドナルド化（計算可能性）へ有意な負の関連性が確認された。そして、形式性追求傾向尺度から政治・社会の官僚制化に関わる態度に向けて総じて有意な正の関連性が確認された。

5. 考察

本研究の目的は、オルテガの論ずる「大衆」とウェーバーの論ずる「官僚制」の概念を用い、今日の我が国における官僚批判の構造について実証的に検討することであった。そのため、大衆性指標として大衆性尺度を、官僚制化指標として形式性追求傾向尺度、政治・社会の官僚制化に関わる態度指標を用い、「オルテガの論ずる『大衆』は、ウェーバーの論ずる『官僚制化』を追求する傾向にある」という本研究の作業仮説を検討した。

大衆性尺度と形式性追求傾向尺度間の相関分析を実施した結果、傲慢性及び自己閉塞性と型への安心との間に有意な正の関連性が確認された。また、大衆群と公衆群間で小役人尺度を比較した結果、大衆性の低い個人に比べ、大衆性の高い個人の方がマニュアル志向及び型への安心の平均値は有意に高いことが確認された。ここで、傲慢性は、表1の項目からも示されるように、物事の道理やその背後関係への無関心さを表しており、そうした傲慢性の高い個人においては、マニュアルや型に安易に追従する傾向が高い可能性があると考えられる。一方、自己閉塞性は、自らの義務や責任を回避しようとする傾向を表しており、そうした自己閉塞性の高い個人が、マニュアルや型に依存する可能性は十分に考えられるところである。以上の結果は、本研究の大衆性尺度と官僚制化に関する尺度との関連についての仮説を支持し、本研究の作業仮説を支持し

たと言える。

なお、相関分析において、自己閉塞性と決定重視との間に有意な負の関連性が確認された。こうした結果が得られた理由については必ずしも定かではないが、上述した通り、自己閉塞性は外部環境における責務を放棄する傾向を表しており、そのため、そうした自己閉塞性の高い個人は、外部環境における決定に自らが関与することを忌避する傾向にあった可能性が考えられるところである。また、ウェーバーの論ずる官僚制が「没主観性」と「計算可能性」を特徴とするものであったことを踏まえれば、形式性追求傾向尺度のマニュアル志向及び型への安心はウェーバーの論ずる官僚制を色濃く反映するものと考えられる一方、決定重視についてはウェーバーの論ずる官僚制と必ずしも合致するものと言うことはできない。そのため、ウェーバーの官僚制論から考えてみても、本研究の結果は理論的に解釈可能なものであると言える。

次に、大衆性尺度と政治の官僚制化に関わる態度との関連性として、傲慢性と吏員型官僚支持意識との間に有意な正の関連性が、自己閉塞性と政治的官僚支持意識との間に有意な負の関連性が確認された。この結果から、大衆はその傲慢性から吏員型官僚を支持し、その自己閉塞性から政治的官僚を批判する傾向を有する可能性が示されたものと考えられる。ここで、傲慢性が高い個人は、自分の意見を社会においてそのまま貫徹しようとする傾向が強く、この点を踏まえると、そうした個人が与えられた命令に従順に従う吏員型官僚を求める可能性はあり得るものと考えられる。一方、自己閉塞性が高い個人は、政治からも自己を閉ざす傾向にあると考えられ、そのためそうした個人が政治に積極的に関与し、様々な利害調整を行う政治的官僚に否定的な態度を採る可能性は十分に考えられるところである。併せて、大衆はその傲慢性から世論専制を要求する態度を有する可能性も示された。この結果は、羽鳥他（2008）で得られた結果と整合するものであり、大衆はその傲慢性から行政よりも世論を優位におくべきであるという形でトクヴィル（1987）やミル（1861）が論じた「多数者の専制」を求める傾向にあることを示唆するものと考えられる。

また、大衆性尺度と社会の官僚制化に関わる態度の関連性として、特に傲慢性とマクドナルド化（予測可能性）追求傾向及びマクドナルド化（支配）追求

傾向との間に正の相関が示された。ここで、傲慢性の定義を改めて述べると「ものの道理や背後関係はさておき、とにかく自分自身には様々な能力が携わっており、自分の望み通りに物事が進むであろうと盲信する傾向」とされており、従って、そうした傲慢性の高い個人が自分の予測可能な形で社会が支配されることを望む可能性は十分にあり得るものと考えられる。

以上の大衆性尺度と政治・社会の官僚制化に関わる態度との関連性についても、本研究の作業仮説を支持するものと言える。

さらに、形式性追求傾向尺度と政治・社会の官僚制化に関わる態度との間についても有意な関連性が確認されたことから、人々における大衆性の高まりによって、形式性追求傾向も高まり、そのことを通じて、政治・社会の官僚制化を支持する態度が形成される可能性が考えられる。そこで、人々の大衆化が政治・社会の官僚制化に関わる態度に影響を及ぼす過程について、共分散構造分析を用いて検討したところ、以上の因果関係の存在を支持する結果が確認された。すなわち、人々の有する大衆性が高まれば、人々の形式性追求傾向も高まり、政治・社会の官僚制化を支持する態度が形成される傾向にある可能性が示されたものと考えられる。

なお、本研究においては、大衆性及び官僚制と調査対象者の個人属性等との関連性は詳細に検討できていない。そのため、調査対象者の個人属性、例えばメディアへの接触頻度や幼少期の生活環境等を追加した上、さらなる関連性の検証を行うことが課題として挙げられる。また、本研究においては、大衆性と官僚制に対する意識や態度との関連性を検討したが、今後は官僚制化を要求する実際の行動等との関連性を検討することも重要な課題であると考えられる。

5.1 本研究の含意

本稿では最後に、以上の結果が示唆する点について項脱する。

冒頭で述べた通り、近年、官僚に対する批判的な風潮が高まりを見せる中で、現実に「官から民へ」という流れが様々な形で進行している。本研究の重要な知見は、こうした官僚批判の根底に人々の大衆化の問題が胚胎している可能性を実証的に示した点にある。そして、そうした大衆による官僚批判とは、次の

ような実相を呈しているものと考えられる。すなわち——、大衆は、自らは決められたマニュアルや型に安住する小役人のように振る舞う一方で、官僚が自己の裁量により公益に資する政策を見出すことをあろう事か否定し、むしろ予め定められた規則や手順によって自分達の意のままに業務を遂行させることを望んでおり、さらにマクドナルドの経営スタイルの様に、社会全般を計算可能で予測可能なルールによって支配することを追及する——このような大衆による官僚制の実相が本研究の結果より暗示されているのである。しかし、「大衆」とはその操作的な定義によりそもそも自己の利益を追求する存在である以上、こうした大衆による官僚制化を通じて良き社会統治が実現するかどうかは疑問の余地があり、大衆による官僚制化には弊害の可能性が十分考えられる。

このような官僚制化の弊害を防ぐ上では、人々の大衆化を抑制することが根本的な対策となり得る可能性がある。ここで、大衆性を構成する自己閉塞性は、幼少期の家庭内でのコミュニケーション不足や、地域との連帯の希薄さによって形成され得るものであることが指摘されている（藤井他, 2007）。また、傲慢性については、自己閉塞性の高い個人において、時間を経るにつれて形成されていくという可能性が指摘されているところである（小松, 2009）。そして、藤井・羽鳥（2014）はこれらの知見を総合的に判断すれば、大衆性を形成する根源的な要因は自己閉塞性にあるとし、家庭やコミュニティからの遊離というのが人々の大衆化の契機として考えられるとしている。この点を踏まえると、家庭や地域等の共同体の紐帯を強化し、人々の間で共同体意識を醸成することが、大衆性の抑制、引いては官僚制化の抑制を図る上で重要であるかもしれない。そのため、今日の我が国で衰退しつつあることが指摘される、共同体・コミュニティの再建を促すような地域活性化事業や人々とのコミュニケーションを中心とした教育施策（c.f., 藤井, 2003）の実施の検討が期待されるところである。

注

- (1) ウェーバー（1922）が官僚制について体系的に論じて以降、官僚制の問題に関わる様々な研究が蓄積された。その中でも、効率性や合理性を追求する官僚制機構が却って非効率性や非合理性に陥る問題が「官僚制の逆機能」とし

て議論されてきた。例えば、Merton (1949) は、そうした官僚制の逆機能として、目的を達成するための手段にすぎない規則を絶対視するあまり、規則の遵守それ自体が目的になってしまう現象を「目標の移転」と呼び、官僚制の非合理的な側面を指摘している。実際に、TVA を対象とした Selznik (1949) や石膏工場を対象とした Gouldner (1954) の研究をはじめ、現実の組織を対象とした官僚制の逆機能に関する実証的な研究も行われている。さらに、官僚に対する批判的世論の高まりを受けて、そうした官僚批判の原因について様々な議論もなされてきた。例えば、Pharr (2002) は 1990 年台半ばからの日本における官僚批判の高まりの原因として、当時の官僚の汚職とその無能さが絡んだスキャンダルが社会問題となったことを挙げている。一方、野口 (2011) はハーバーマス (1979) の議論を引用し、バブル崩壊以後の所謂「失われた 10 年」で明らかとなった日本の官僚主導体制のパフォーマンスの悪さによって「正当性の危機」が露見したことが官僚批判の高まりの原因であると分析している。以上のように、これまで官僚制の問題や官僚批判の原因について数多くの研究がなされてきた。しかし、本稿で取り上げる大衆社会の観点から、官僚制の問題や官僚批判の原因について実証的に検討した試みはなされていない。

引用文献

- 藤井聡 (2003). 社会的ジレンマの処方箋—都市・交通・環境問題の心理学—. ナカニシヤ出版.
- 藤井聡・羽鳥剛史・小松佳弘 (2007). オルテガ「大衆の反逆」論についての実証的検討. 日本社会心理学会第 48 回大会論文集, 120-121.
- 藤井聡・羽鳥剛史 (2014). 大衆社会の処方箋. 北樹出版.
- Gouldner, A. W. (1954). *Patterns of industrial bureaucracy*. Free Press.
- ユルゲン・ハーバーマス (1973). 晩期資本主義における正統化の諸問題. (細谷貞雄訳 (1979). 岩波書店).
- 羽鳥剛史・小松佳弘・藤井聡 (2008). 政府に対する大衆の反逆—公共事業合意形成に及ぼす大衆性の否定的影響についての実証的研究—. 土木計画学研究, Vol. 25, No.1, 37-48.
- 小松佳弘 (2009). 個人の大衆性と弁証法的議論の失敗に関する実証的研究. 東京

工業大学平成 20 年度大学院修士論文.

- 真淵勝 (2006). 官僚制の変容—委縮する官僚—. (村松岐夫・久米郁夫編. 日本政治変動の 30 年—政治家・官僚・団体調査に見る構造変容—. 東洋経済新報社)
- Merton, R. K. (1949). *Social theory and social structure: Toward the codification of theory and research*. Free Press.
- Merton, R. K. (1952). *Reader in bureaucracy*. Free Press.
- ミル, J. S. (1861). 代議士統治論. (水田洋訳 (1997). 岩波文庫).
- 中野剛志 (2012). 官僚の反逆. 幻冬舎新書.
- フリードリヒ・ヴィルヘルム・ニーチェ (1885). ツアラトストラかく語りき. (竹山道雄訳 (1953). 新潮文庫).
- 西部邁 (1987). 大衆の病理—袋小路にたちすくむ戦後日本—. NHK ブックス.
- 野口雅弘 (2011). 官僚批判の論理と心理—デモクラシーの友と敵—. 中公新書.
- オルテガ・イ・ガセト (1930). 大衆の反逆. (神吉敬三訳 (1995). ちくま学芸文庫).
- Pharr, S. J. (1997). Public trust and democracy in Japan. In Nye, J. S., Zelikow, P. D., King, D. C. (eds.). *Why people don't trust government*. Harvard University Press.
- リッツァ, G. (1993). マクドナルド化する社会. (正岡寛司訳 (1999). 早稲田大学出版).
- Selznick, P. (1949). *TVA and grass roots*. University of California Press.
- ド・トクヴィル, A. (1835). アメリカの民主政治. (井伊玄太郎訳 (1987). 講談社).
- 渡辺成・高橋尚也・井出野尚・大久保重孝・玉利祐樹・羽鳥剛史・竹村和久 (2010). あいまい事態における形式性追求傾向が組織内での違反に対する意識と社会的判断に与える影響. 日本心理学会第 51 回大会論文集, 762-763.
- ウェーバー, M. (1905). プロテスタンティズムの倫理と資本主義の精神. (大塚久雄訳 (1989). 岩波書店).
- ウェーバー, M. (1922). 官僚制. (阿閉吉男・脇圭平訳 (1987). 青木書店).

掲載：科学・技術研究, 第 4 巻 2 号, pp. 165–172 (2015 年)

第 11 章

母語対話の話者交替タイミング

市川 薫、大橋 浩輝、仲 真紀子、菊池 英明、
堀内 靖雄、黒岩 眞吾

1. はじめに

最近 AI 応用として、音声対話システムが注目されているが、高齢者や障害者にとっての使いやすさは十分ではない（市川, 2014）。そこで本論文では、心的負担（芳賀, 2001）が軽いと考えられる母語の例を取り上げ、対話の構造の一端を探る。

「母語」の定義は、社会学の領域では「言語共同体と相互作用の関係にある言語のことである」とされており、母語を「言語」として体系的に検討した代表的なものには、フンボルトとその考え方を発展させたヴァイスゲルバー（Weisgeber, 1950）等がある。

「言語」には「思考を表現する機能」と「コミュニケーションの機能」があり（Boysson-Bardies, 2008）、後者は音声信号という物理的媒体を用いなければならない。音声対話は物理的実体があって実現される。「実時間」処理には、負担の増加する言語記号レベルへの変換と処理を行う以外に、その処理のより軽いプロソディなどの物理的側面が重要な役割を果たしていると考えるのは極めて自然な発想であろう（市川, 2011）。

本稿では、母語対話の話者交替のタイミングに注目した。まず先行研究や我々がこれまで示してきた実験結果に基づいて母語と非母語の比較を行い、話者交替における両者の違いを比較する。さらに先行研究結果を参考に、定型発達児の年中園児（5 歳児）及び年長園児（6 歳児）と成人の対話の比較を行い、母

話者の話者交替機能獲得プロセスの検討結果を報告する。母語話者間の実時間話者交替のプロセスモデルも提案する。

2. 先行研究

2.1 母語獲得

脳科学の進展に伴い、脳の観測がある程度可能になり、直接乳幼児の言語活動の脳観測の試みや (Kuhl, 2004)、動物の様々な能力の発達と脳の活動の関係の観測結果を参考にした検討も進められている (ヘンシュ, 2011)。

(1) 音韻の獲得

乳幼児の言語獲得に関する研究は数多くあり、様々な観察結果をまとめた多くの成書が国内外で多数発行されてきた (今井, 2013; Tomasello, 2003; Foster-Cohen, 1999; Boysson-Bardies, 1996、など)。発声器官の発育は生後 18 ヶ月ころまでは急速に進みその後半分に落ちることも報告されている (Vorperian et al., 2005)。声道も乳の飲みやすい形状から発声可能な形状に変化する。この間、発声が困難ではあるが言語能力は発達していることは、ベビーサインなどにより要求を表現できることから推察されている (Acredolo et al., 2010)。1 歳程度で初語が出現する。2 歳前後には語彙爆発がみられる。3 歳前後では、従属節を含む複文があらわれ、5 歳ころには母語の統語的な特性はほぼ獲得される。このころには語順や助詞、動詞活用など基本的統語構造の特性も確立している。

(2) プロソディの獲得

ヒトの胎児は受胎後 30 週頃には聴覚が発達し、低周波音を通す羊水を通して韻律情報を聞きとり、母音や子音よりも早い時期 (受胎後 33 ~ 37 週) に韻律情報に敏感になる (DeCasper et al., 1994)。人工内耳の装着時期が生後 18 ヶ月以降になると、抑揚などの表現能力の獲得が低下することが経験的事実として言われている (加我, 2016; 加我東大名誉教授私信)。生後 18 ヶ月頃までが「プロソディ機能獲得の臨界期」と思われる (ヘンシュ, 2011)。またキンカンチョウの歌の学習等から類推すると、「プロソディ機

能獲得の臨界期」は「母語のテンプレート」を獲得する時期と考えられる。このテンプレートに基づいて、母語としてのセグメンテーション (Jusczyk et al., 1999) や、母語の語彙や文法の獲得が進む。プロソディのひとつである基本周波数 f_0 により文理解が容易になることや (市川, 1994)、文の構造が良く推定できること、文型や発話終了を予告していることなどが報告されている (小松他, 1988; 北原他, 1987; 大須賀他, 2006; 盧, 2006)。これらの現象や (1) で述べた発生器官の発育状況が、いずれも生後 18 ヶ月頃までが重要なことを示しており、この間に発声器官も母語向きに適応してきている可能性を示唆していると思われる。

2.2 話者交替

(1) 母語の重複現象

話し手の入れ替わり (話者交替) では、発話の重なり (重複発話) は極く自然で、多数観察されている。重複率は対話内容に影響される指標であり、先行研究でもまちまちであり (10 ~ 60 %)、本研究の目的には必ずしも適切な指標にはならないと思われる。母語対話における重複が始まるタイミングは、10 種類の言語を分析した先行研究によれば、先行発話の終了前の 200 ~ 300 ms 以上前では生じない (Stivers et al., 2009)。対話内容の影響はタイミング分布の遅れ方向に現れる。

(2) 重複発話現象の機能

重複発話には、対話を円滑にする機能が存在しているものと考えられる (市川, 2011)。モダリティの異なる対話言語である手話でも重複現象が多く見られる。重複区間は旧情報の再表出となっている事が多い (斎藤他, 2009)。旧情報の再表出によって (3) に述べる TRP 区間を用意していると考えられるならば、この点からも「TRP 制約」は円滑な対話言語の本質的構造と看做せよう。重複する後続話者にとっては、先行話者の発話の中に、発話の終了を予測可能とする情報 (予告情報) が含まれていると、先行発話を最後まで聞く必要が小さくなる。先行話者にとっては、発話が終了しないうちに後続話者が発話権を引き取るため、重複が始まった段階で、理解されたと

受け止めるだけでなく、継続して発話を新たに計画する必要がないことが明確になる。また、重複が生じている先行発話と後続発話には何らかの内容的な繋がりが深いと自然に判断できるため、文脈を予期する負担も少なくなる。

(3) 話者移行適格場 (TRP)

母語対話において重複発話が生じる先行発話の区間は、話者移行適格場 (Transition-Relevance Place, 以下 TRP) などと呼ばれる (Sacks et al., 1974)。Stivers et al. (2009) に示されている重複区間は母語話者の対話からのデータであり、概ね TRP であると見做せよう。榎本は、日本語対話音声の文末に現れる助詞や助動詞の区間 (文末表現などと呼ばれる) などを TRP と考え、TRP より早く生じる重複は母語話者にとっては不自然と感じることを認知実験で示した (榎本, 2009)。以下、母語において重複が TRP より早く生じない抑止現象を「TRP 制約」と呼ぶことにする。

(4) 話者交替の予告情報

重複発話を可能にするためには、先行話者音声に何らかの予告情報が存在し、入力が終了する前に後続話者は発話終了を予測する必要がある。そのために「統語論的リソース」、「語用論的リソース」「イントネーション (プロソディ) 的リソース」などの予告情報が存在すると考えられてきた (Ford et al., 1996)。

(5) 乳幼児の話者交替

先行研究では 3.6 歳児までの幼児-母親の 2 組の会話における話者交替時の重複発話を分析している (Kajikawa et al., 2004)。文末の「ね」を TRP の文末表現とみなすと、母親が子供の発話の「ね」に重複する割合が 3 歳を過ぎると増加しているが (同論文 図 2)、子供からの重複率には変化が見られない (同論文 図 3)。言い換えれば、3 歳半ころまでには母語対話における自然な重複発話の制御に必要な情報 (予告と TRP) を先行発話では発信することはできているが、制御能力 (TRP 制約に従う) は獲得できていないことを示唆している。4 歳児では自然な対話が見られるという先行研究があるが (Briton et al., 1989)、話者交替のタイミングの視点から分析した

報告は見出されなかった。

3. 本研究の視点

3.1 母語対話の実時間性

本研究では「TRP 制約」機能に絞って検討を行うこととする。心的負担軽減を実現していなければ、長時間の実時間対話は実現できないであろう。しかしながら、「対話の実時間性」に関連して「心的負担」を論じたものは、ほとんど見当たらない。

言語構造の形成において、主体と環境の相互作用が果たす動機づけを認知言語学では「身体性」と呼んでおり、認知言語学の世界観を形成する一つの重要な概念となっている（児玉, 2009）。この概念に基づけば「対話伝達プロセスの実時間性や心的負担」もまさにその内部環境であるが、いわゆる言語そのものの現象ではないため、視野に入ってこなかったものと思われる。

実時間対話では、概略、相手の音声を知覚し、脳に伝送、音像を再現し認識、心的辞書にアクセス、理解し、応答内容を計画し、相手の発話とのタイミングを図って応答する。これらの各処理が其々心的負荷となり、その結果が心的負担（芳賀, 2001）の要因となると考えられる。しかしながらこれらを全て計測することは現状では困難である。

本研究では、アフォーダンス現象の心的負担が軽いことに注目し、「TRP 制約」も同様のメカニズムによるものと仮定する。その上で、非母語話者の話者交替には「TRP 制約」が機能していないことと、母語話者が機能を獲得する時期を、母語（日本語）幼児の話者交替現象から検討する。

3.2 重複タイミングの観測法

一般に各種のデータの分布は中心から外れるに従い頻度は小さくなり、いわば欠測データ状態（高井, 2016）であり、誤差が大きくなる。「TRP 制約」の現れる重複開始時点も分布の裾位置であり、データ量は同様である。そこで本研究では、頻度の高い部分の情報から外挿することを考え、重複時間の分布に累積分布を用い、ノンパラメトリックな分布を想定するカーネル密度推定で推定

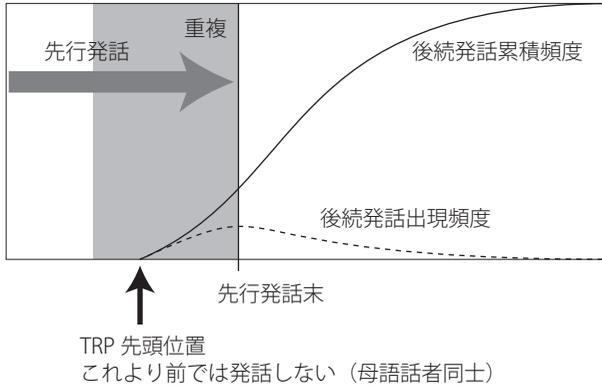


図 1：TRP 制約分析結果の表示と見方

することとした（図 1）。話者交替のタイミング分布は対話内容に大きく影響されるが、パラメトリックな分布である保証はないからである。

4. 実時間対話とプロソディ

4.1 基本周波数 f_0 パターンの推定

藤崎の F_0 モデルは、声帯筋の生理的振る舞いと声帯の発振現象をモデル化したもので、 f_0 のパターンを良く近似することが知られている（Fujisaki, 2004）。

$$\ln F_0(t) = \ln F_b + \sum_{i=1}^l A_{pi} G_{pi}(t - T_{0i}) + \sum_{i=1}^l A_{aj} \{G_{aj}(t - T_{1j}) - G_{aj}(t - T_{2j})\} \quad (1)$$

$$G_{pi}(t) = \begin{cases} \alpha_i^2 t e^{-\alpha_i t} & : t \geq 0 \\ 0 & : t < 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$G_{aj}(t) = \begin{cases} \min[1 - (1 - \beta_j t) e^{-\beta_j t}, \gamma] & : t \geq 0 \\ 0 & : t < 0 \end{cases} \quad (3)$$

ここで $F_0(t)$ は時刻 t における f_0 の値、(1) 式内の G_p, G_a はフレーズ制御機構、アクセント制御機構の関数であり、(2) 式、(3) 式によって記述される。 F_b は基本周波数の基底値であり、話者ごとのベースとなる f_0 値を示す。 A_p はフレーズ指令（インパルス）の大きさ、 A_a はアクセント指令（ステップ）の大きさであり、 T_{0i} は i 番目のフレーズ指令の生起時点、 T_{1j} は j 番目のアクセント指令の始点、 T_{2j} は j 番目のアクセント指令の終点である。

また、 α はフレーズ成分の減衰の速さを、 β はアクセントの上昇下降の早さを決定するパラメータである。フレーズ制御機構の α とアクセント制御機構の β が設定され、其々に T と A が入力されれば、その後の f_0 の動作（パターン）は決まる。言い換えれば、パラメータ α 、 β 、 T 、 A の組み合わせは「予告」情報となって、 f_0 パターンに畳み込まれている。聞き手の立場から見ると、 f_0 パターン自体に「予告」情報が内蔵されていることになる。

遺伝的アルゴリズムを用いた AbS 法で、実測データから F_0 モデルの多数のパラメータを同時推定した（※パラメータ解析のための手段であって、人が AbS を知覚認知に使っていることを意味するものではない）(Oohashi et al., 2010)。

4.2 プロソディ情報による予告

(1) f_0 の予告情報の存在

日本語において、上記のモデルのパラメータに対し変数選択による判別分析を行った結果、先行発話の f_0 に概ね 70 % 程度の精度で話者交替か継続かの予告情報が存在していることが判明した (Oohashi et al., 2010)。

(2) 統合的プロソディ情報による予告の認知

またプロソディの持つ話者交替予告は認知可能であることも実験的に検討した (千田他, 2009)。対話音声の話者交替における先行発話の f_0 を 4.1 の手法で抽出、音源波形を三角波で表現、元波形のパワーを与え再合成した統合的プロソディ (f_0 、パワー、リズムの組み合わせを再現) のみを聴取、話者交替が行われるか否かを判断させた。プロソディのみを日常聴くことではないので訓練が必要であるが、訓練の進んだ被験者では 80 % 以上の精度で判別が出来ていた。ただしこの実験では先行発話を最後まで聞いての判

定であり、実時間判断ではないため、重複発話が始まる時刻までに予測認知可能かは保証されていない。

5. 非母語話者の話者交替

非母語（第二言語）の実時間対話の研究は、これまでのところ、あまり行われていない。そこで言語構造が大きく異なる日本語と英語に関して、言語獲得の臨界期以降に学習によって非母語を習得し、その能力が非常に高い非母語話者と、母語話者の実時間対話の話者交替を分析し比較した。

収録は、相互に遮音された防音室で、2チャンネルで対話者毎に収録した。被験者は、互いの音声を、ヘッドセットマイクを通して聞くことができる。「ラッチング」は重複に含めた。あいづちは重複発話に含めていない。分析した話者交替数を表1に示す。

表1：話者交替数

母語	後続話者	先行話者		計
		母語	非母語	
日本語	母語	47	71	118
	非母語	138	86	224
英語	母語	50	104	154
	非母語	114	89	203

5.1 日本語対話（大川他, 2012）

(1) 被験者

- ・ 中国人留学生（修士女子学生2名）による日本語対話
 - Ⅰ 言語獲得期以降に日本語を学習、
 - Ⅱ 実用日本語検定中上級聴力試験 385 および 420 点、
 - Ⅲ ① 日本語学習歴がほぼ同程度。
 - ② 日常母国語（本研究では中国語）で対話（同一研究室に所属しており、日本語での二人の対話は本収録が初経験である）。
- ・ 日本語母語話者は学部女子学生2名。

(2) 対話内容

非母語話者同士、母語話者同士、および非母語話者と母語話者それぞれの組合せで、地図課題対話（堀内他, 1999）と自由対話した。ともに 10 分程度である。

(3) 重複タイミング

先行研究（榎本, 2009）を参考に文末表現を TRP と看做し、その先頭位置を基準に話者交替タイミングを計測した。日本語母語話者である日本人においても、先行話者が留学生の場合、TRP 先頭位置よりも前のタイミングで重複が観察された（図 2 参照）。

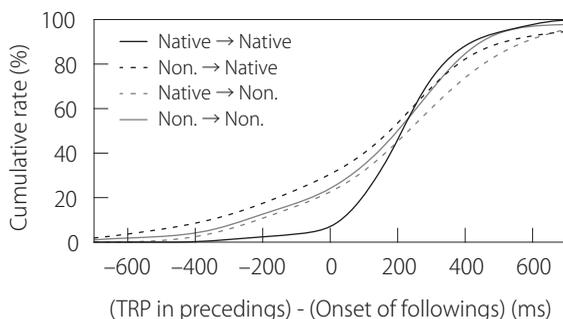


図 2：非母語話者交替重複タイミング／日本語対話

注：実線は母語話者同士の対話、横軸 0 点は TRP 開始点。
出典：大川他（2012）。

(4) 重複率

非母語話者の方が予想に反して重複率は高かった（図 3）。

5.2 英語対話（滝沢他, 2013）

(1) 被験者

- 日本人（4 名）による英語対話
 - I 言語獲得期以降に英語を学習、
 - II TOEIC 得点 940 点以上、
- 日本人英語学習者には、高度な英語コミュニケーション能力を持ち

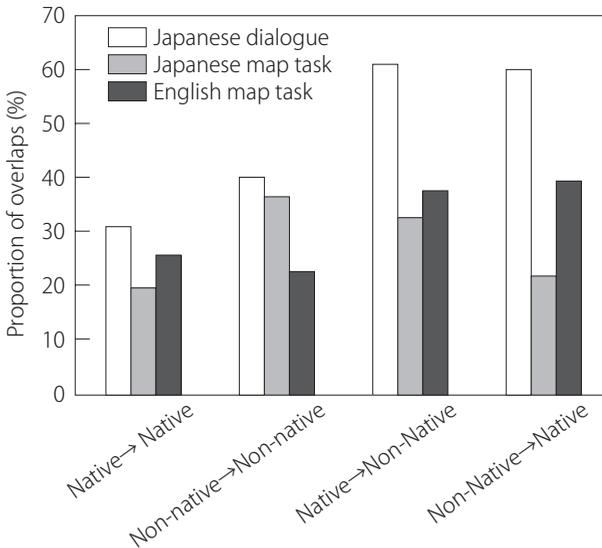


図3：重複率

出典：大川他, 2012; 滝沢他, 2013。

発話に苦手意識はないが、英語対話経験が異なる被験者を選んだ。TOEIC 得点は全員 940 点以上であり、リスニング力に関しては 4 名ともほぼ満点に近い力を持つ。また年齢差、男女差の対話の違いが出ないように全員 20 代男性に統一した。A1、A2 は帰国子女ではなく、大学 3 年時に 1 年間海外留学経験がある被験者、B1、B2 は中学入学前に海外で英語を学んだ帰国子女である。英語対話経験としては B2、B1、A2、A1 の順で高い。

- 英語母語話者は 20 代米国人男性 2 名。

(2)対話内容

地図課題対話のみを収録した。

(3)重複タイミング

日本語とは言語構造が異なるため、先行研究 (Stivers et al., 2009) から英語母語話者同士間での重複開始 (約 300 ms 前) を TRP 始点と看做した。

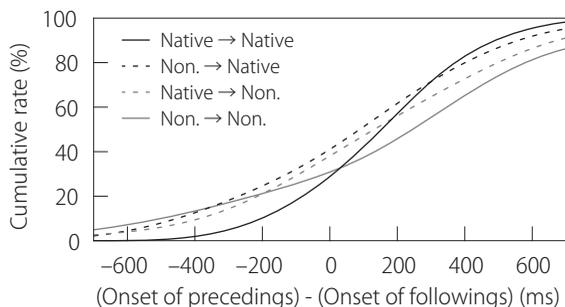


図4：非母語話者交替重複タイミング／英語対話

注：横軸 0 点は発話末、TRP 開始点は概ね 300 ms 前。実線は母語話者同士の対話。
出典：滝沢他, 2013。

非母語話者の重複タイミングは母語話者同士の場合よりも早く生じる場合が観測され（図4）、大川の結果と同様の結果となった。

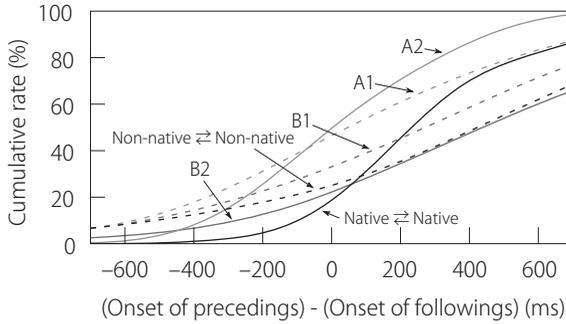
(4) 重複率

日本語対話の場合と同様、非母語話者が関与する対話の方が重複率は高い傾向にある（図3）。

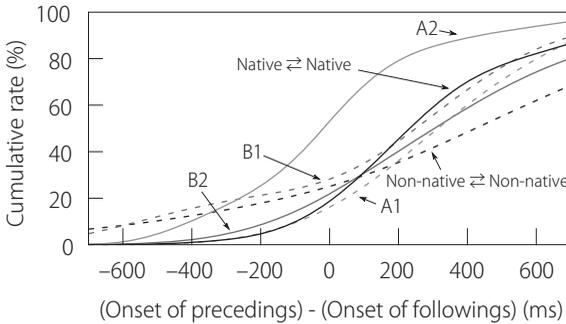
5.3 非母語の特徴

(1) 非母語（英語）使用経験の影響

後続発話の開始時点を観察すると、図2、図4に示すように、日英ともに母語話者同士の対話では「TRP 制約」が守られているが、非母語話者同士はもちろんのこと、非母語話者—母語話者の対話では、母語話者の後続発話でも「TRP 制約」が無視されていた。非母語話者は「TRP 制約」に必要な予告情報発信機能の学習ができていないことを示唆している。英語対話経験としては B2、B1、A2、A1 の順で高い。経験の程度により話者交替タイミング分布の様子が異なっているのが判る（図5）。英語非母語話者の日本人学習者は、高いレベルの英語習熟度を持ち、英語対話経験の長いほど英語母語話者の分布に近くなっているが、一見流暢に話をしているように思えても（同図（b））、話者交替のタイミング分布が母語話者とは異なっている。（a）を見ると「TRP 制約」は機能していないことが判る。経験の長



(a) Native → Non-native



(b) Non-native → Native

図5：英語経歴と話者交替タイミング

注：黒実線は英語母語話者同士の対話。

出典：滝沢他, 2013。

い被験者の傾斜が母語話者に類似しているのは、発話内容の理解力の高さを示しているものであって、話者交替タイミングの獲得が進んでいることを意味していないといえよう。「TRP 制約」学習の困難さを示している。

(2) 重複率

個人差やタスク内容の影響を受けやすい指標である。また、今回非母語話者と母語話者との対話において重複率が高いのは、「TRP 制約」による発話抑止が機能していない事を示しているためとも考えられる。日本語自由対話では、2名の留学生は東日本大震災経験を話したいという思いから、早

く発言したいという気持ちが強かった。また英語対話における日本人非母語話者は、母語と非母語の比較という実験目的を意識し、英語力を示したいという気持ちが発話頭のフィラーの高い頻度に現れていたと英語母語話者は感想を述べていた。

5.4 話者交替の予告情報

話者交替の予告情報（リソース）としては、これまで「統語論的リソース」、「語用論的リソース」と「イントネーション的リソース」があるとされてきたが（Ford et al., 1996）、本実験被験者である非母語話者は十分言語的能力は学習しており、前2者を発信しているにもかかわらず、母語話者はそれを予告リソースとして受け取っていないことが推測される。

この事実は、「統語論的リソース」と「語用論的リソース」は直接には予告として機能しておらず、実はその裏に不可欠に存在している「イントネーション的リソース」（本報告にいう「プロソディの予告情報」）が機能していることを強く示唆している（4.2 参照）。

6. 幼稚園児の話者交替

先行研究結果の全体的傾向も参考に、5～6歳ころには「TRP 制約」機能が獲得されると仮定し、幼稚園年中児（概ね5歳児）および年長児（概ね6歳児）の対話に注目し、分析をおこなった。収録時期（年度末）から、ほぼ年中園児は5歳児、年長児は6歳児と看做することができる。

6.1 方法

実時間対話において、先行話者が「TRP 制約」を確立・獲得していると考えられる母語話者（大人）の発話に対する後続話者の5歳児及び6歳程度の児童の重複発話を分析する。相手の大人の重複現象との比較から、母語としての対話能力を獲得しているかを検討する。先述の英語母語話者の場合と同様に、成人母語話者同士の重複区間はTRPと仮定して、発話末を基準として分析を行った。

6.2 使用コーパス

実験に使用したコーパスは、千葉大地図課題コーパスにならって収集した、母一子、大人他者一子、母一母、子一子の対話コーパスである(仮称 Maptask-kids) (仲, 2001)。子供向きに買い物地図課題を考案した地図(カラー)が作製されている。

5歳児(年中園児)と6歳児(年長園児)について、それぞれその母親のペア8組を2組ずつ組み合わせ4カルテット、園児は男女同数、カルテットは同性児の組み合わせとなっている。其々女兒4名、男児4名、大人8名で、母一

表 2：被験者数

年中児(5歳児)	女兒	4
	男児	4
	大人	8
年長児(6歳児)	女兒	4
	男児	4
	大人	8

表 3：対話の組み合わせ

関係	先行話者	後続話者
子 ab は同性、同年齢 aA は親子 bB は親子	親 A	子 a
	子 a	親 A
	同性児非親 B	子 a
	子 a	同性児非親 B
	親 B	子 b
	子 b	親 B
	同性児非親 A	子 b
	子 b	同性児非親 A

表 4：話者交替数(後続話者)

	女兒	男児	大人
5歳児	260	292	690
6歳児	270	317	782

子、大人他者（同性児親）一子の組み合わせの計 32 対（5、6 歳児各 16 対）が分析対象である（表 2、表 3、表 4）。

6.3 分析

(1) 年中児（5 歳児）

先に報告した年長園児及び成人の話者交替タイミングの分布を図 6 に示す。

(2) 年長児（6 歳児）

年長園児（6 歳児）の話者交替タイミング分析した結果を図 7 に示す。年長園児と成人、年長園児の男女差はほとんど見られない。

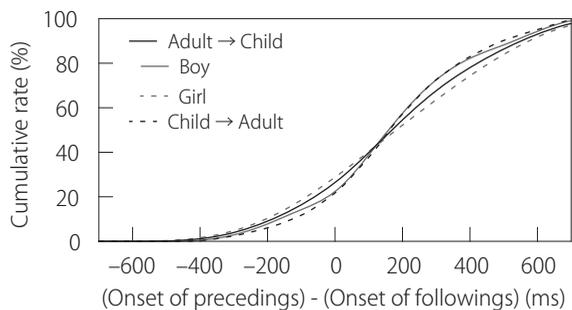


図 6：5 歳児話者交替タイミングの累加分布
注：横軸 0 点は発話末。TRP 開始点は概ね 300 ms 前。

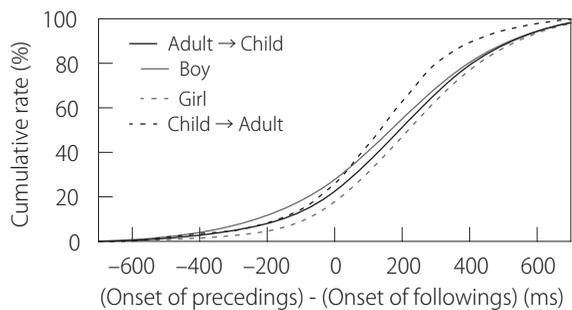


図 7：6 歳児話者交替タイミングの累加分布
注：横軸 0 点は発話末。TRP 開始点は概ね 300 ms 前。

7. TRP 制約獲得プロセス

成人と男女、5 および 6 歳児に分布の違いは認められなかった。また、5・6 歳児と大川や滝沢の非言語話者の分布とは明らかに異なり、母語話者の分布と類似している（図 2、図 4）。5 歳児では TRP 制約を概ね獲得しているいえよう。

今回分析を行った 6 歳児の分布を見ると、重複区間が 300 ms を超え、400 ms を超える場合が存在していた。特定男児と非親の組み合わせ対話にその傾向がみられた。大人の重複が長い例では、いずれも特定 6 歳男児の発話末が長い。言い換えれば TRP 区間が長い発話に対してであり（例えば「…買って欲しいんだー」の「なー」が非常に長い）、「TRP 制約」としては機能している。一般に対話を好むといわれている女兒と比較し、対話になれていない男児に大人が自然に合わせていると考えられる (Foster-Cohen, 1999)。

女兒は表現も豊かになっている。手話対話の重複傾向と類似の現象である旧情報の再表現もみられ、そこに共話的に重複する例があり、「TRP 制約」が機能していないと看做す必要はないと思われる。並列表現への重複の例があるが（「…チューリップとかヒマワリみたいな」の「ヒマワリみたいな」に「ああわかった」と重複）、プロソディの分析や他の例を含め検討が必要であろう。

以上の結果と先行研究を合わせてみると、母語話者の話者交替における「TRP 制約」の獲得プロセスは以下のように推察される（表 5）

胎児期から始まり、生後 18 ヶ月ころを臨界期として、プロソディ機能を含む母語のテンプレートが獲得される。このプロソディには母語の語彙構造（音韻リズムなど）や文体（語彙のセグメンテーション情報やイントネーションな

表 5：TRP 制約の獲得プロセス

	子供	大人の対応
胎児期～生後 18 ヶ月	母語プロソディの獲得 話者交替予告の機能	母親語
3 歳	TRP 向き語彙獲得開始 TRP 制約情報の発信	
4 歳	TRP 制約の学習 予告 -TRP 対応付進行	TRP の制約で応答
5～6 歳	TRP 制約の獲得	

ども)、セグメンテーション予告機能や「話者交替予告機能」などが含まれる。

それに基づき3歳ころにはTRPに用いられる「語彙」などの獲得が徐々に進行してゆく。しかし3歳代ではプロソディの持つ話者交替の予告情報とTRPとなる領域は未だ関連付けられてはいない。そのため成人の発話に対しての「TRP制約」は未だ機能しない。一方成人は、3歳児発話には話者交替予告情報とTRPの双方が存在している場合には、3歳児の発話に対して「TRP制約」は機能する。その後も成人との対話を通して語彙能力が進み、4歳代にはTRP制約が形成され、5～6歳では獲得が完了しているといえよう。

この間に、物理信号であるプロソディからの予告情報とカテゴリーレベルとしてのTRPが対として一種の条件反射的に形成される。そのために脳の処理は最小限に限定され、ベテランの職人や技を究めたスポーツ選手のように、意識に上ることなく、「TRP制約」が機能するようになると考えられる。

非母語話者との対話において、母語話者に「TRP制約」が機能しないのは、非母語話者は生後18ヶ月を臨界期とするプロソディ獲得の時期を失っており、プロソディの予告機能（イントネーション的リソース）の獲得が困難なためと考えられる。

8. TRP制約プロセスモデルの提案

8.1 TRP制約と実時間性

「TRP制約」のプロセスモデルについて考察する。自動的プロセスは、実時間処理に有利な構造でもあり、意識に上ることなく処理されることを意味する。ここではアフォーダンス理論が参考になる。「複数種の物体」に関する視覚情報から「共通の行為を想起する」理論（生態心理学的概念）であるが、最近の脳研究に、この本来のアフォーダンス理論とはやや異なるが、経験を通して特定の道具の視覚情報から複数種の利用法を想起させる（「入力」対「想起」が、「複数種」対「1機能」（アフォーダンス）と「1」対「複数」の違い）脳部位を見出した報告（Schubotz et al., 2014）がある。これは、我々の課題である、聴覚情報の「予告情報」が「複数種類の脳内の情報」（TRP候補）を引き出したり、「脳内の状態」を設定する処理にまさに対応している。さらに、脳の基本構造は聴

覚情報や言語情報に対しても視覚情報と同じであるという報告もあり（寺島, 2015）、「TRP 制約」を脳の機能として存在を想定することは自然であろう。

なお、想起される（誘発される）情報は「信号レベル」でも「記号レベル」良いと思われるが、実時間処理を考え、本課題では入力情報は「物理的信号レベル」を想定する。アフォーダンス理論では、入力情報と誘発される情報の関係はあらかじめ学習されているものとされており、学習入力は能動的に行われることが必要と考えられているが、後述する様に（8.2. (2) 参照）、この点も矛盾はない。

8.2 モデルに求められる機能

以上の結果や母語対話の実態、言語獲得の先行研究などを参考に、プロセスモデルが満たすべき条件を以下に示す。

(1) 母語話者の対話行動に関する条件

第1に挙げるべき条件は実時間性である。入力処理対象は、5.4に示唆されているように、基本的には物理音声信号レベルのプロソディ情報をベースにしていると考えられる。言語記号レベルに変換し言語的論理処理を行うことは、変換処理量や変換遅れの増加が避けられないと考えるのが合理的である。第2の点は、実時間性を実現する構造として、ベテランの職人が意識することなく仕事を進めるように、いわば条件反射的処理となっていることを想定する。第3の条件は、「TRP」を受け取ると応答発話抑止状態を自動的に解除する機能を持つことである。第4の条件としては、非母語話者の行動が説明出来るという点である。この点では、獲得プロセスからも説明できることが必要である。一方、5番目の条件として、「TRP 制約」により応答発話がTRP 開始まで抑止されているにも関わらず、抑止状態でも「あいづち」が許されなければならない点である。

(2) 獲得プロセスに関する条件

第1に、周囲の大人、たとえば母親との相互の能動的対話の存在が学習段階で不可欠であるという、広く経験的に報告されている点を満たすことで

ある。乳幼児が母親などに声をかけた時の大人の反応から、教師無の状況で対話のタイミングを獲得してゆくことになる。第2に非母語話者にとっては獲得が困難なことが説明できることが挙げられる。

8.3 TRP 制約のプロセスモデル

以上の条件を満たすプロセスモデルを提案する（図8）（市川他, 2015）。モデルにおける母語話者の聴き手は、「予告情報」を知覚認知すると「TRP」が誘発される。聴き手は「応答発話抑止」の状態にあるが、先行発話のTRPを知覚認知すると同時に解除され、応答発話が可能になる。抑止状態で行われる発話は「あいづち」と解釈される。

一方「非」母語先行話者は「予告情報」を発信できないため、後続話者が母語話者の場合でも「TRP 制約」は効かない。また母語話者が先行話者で「TRP 予告」情報を発信しても、「非」母語話者には「TRP 制約」は機能しない。何れも応答は意識して行うことが必用となり、心的負担は大きいことになる

次に獲得プロセスの面から見てみる。「TRP」は主に言語情報であるが、言葉を獲得するためには、TV や DVD を受動的に見せられていても言語の獲得は

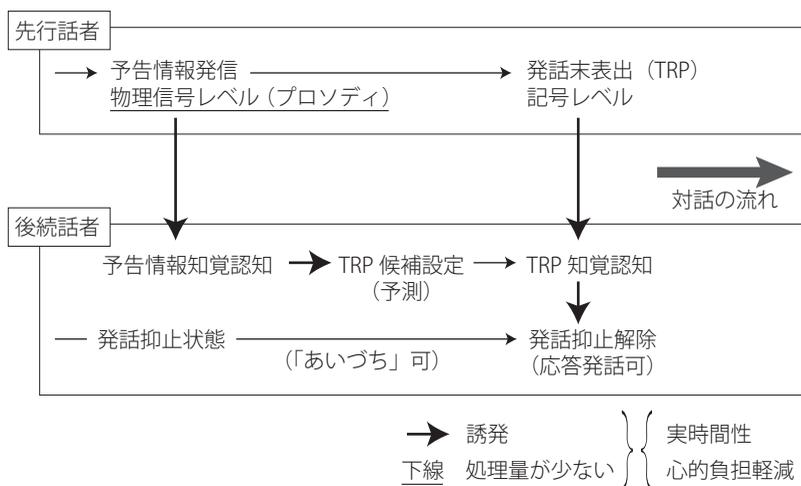


図8：TRP 制約のメカニズム

進まず、母親などとの対話が必要と言われている。母親の授乳行動を観察した Kaye and Wells (1980) によれば、赤ん坊が吸啜を休止すると母親は軽い軽い揺さぶり (jiggling) を与え、その結果吸啜が開始される。休止－jiggling－休止－jigglingの期間は生後2日から2週間の間により短く安定的になり、彼らは、こういった行動が会話のTRPの基礎となると推察している。養育者とのやりとりにおける基盤があり、18ヶ月までの期間に母親に話しかける能動的発話が母親の反応を引き起こすことによって、乳幼児は自己の発話と他者の反応が関係づけられ、学習が進むものと考えられる。これはアフォーダンス獲得条件と一致する。またこれらの獲得プロセスは、「非」母語話者環境における乳幼児にとっては、18ヶ月を超えると満たすことの難しい条件である。

両親が異なる2母語の場合の獲得については様々な見方やモデルがありうるが、アフォーダンスが多数存在しうるように、胎児期から乳幼児期までの前提条件が揃っている場合は、TRP制約も複数言語に対して並行して存在することは十分ありえよう。

9. おわりに

本研究により、母語対話における話者交替構造の概要が明らかになったと考える。乳幼児期での獲得が、その基盤にある。一方、同時に使いやすい対話システムの技術開発への展開には、厳しいことも示唆している。「TRP制約」は母語の対話言語の本質的特性と考えるならば、さらに多くの音声言語や手話などでも確認することが望ましい。

残された課題例について以下に触れておきたい。

- ・ 話者交替予告情報の精査

非母語話者対話実験結果は、従来言われてきた「統語論的リソース」と「語用論的リソース」は直接には機能せず、その裏に一体化して存在している「イントネーション（プロソディ）的リソース」が機能していることが強く示唆された。 f_0 には必ずしも予告情報は見いだされなかったという報告もあるが、4.2にて述べた f_0 のみの予測成績と統合的プロソディのより高い認知成績の

差は、条件は異なるものの、統合的プロソディの予告機能を示している。手話等では f_0 は存在しない。身体動作（例えば手指動作の跳度情報や視線など）に予告の存在する可能性が高い。そこで先行発話の「予告」及び「TRP 区間」に対して聞き手の脳に反応が現れるかを、脳計測手法を用いて調べることなどが考えられる。

- ・ 予告情報獲得メカニズムの検討

母語話者が 18 か月までに話者交替の予告情報を含むプロソディをどのように獲得しているのかという問題である。生後 3 カ月頃に短期間見られるという「代わりばんこ」現象（Boysson-Bardies, 2008）なども重要な役割を果たしている可能性が高い。また母子の接触（抱っこなど一触覚）を通したマルチモダリティ効果も重要であろう。

- ・ 非母語話者の学習手法

非母語話者の処理メカニズムの違いを質的に超えることはかなり困難のように思われる（5.3 (1) 参照）。「TRP 制約」を可能とする非母語学習法の開発は、困難さが予測される課題である。

- ・ あいづちのモデル

「あいづち」は話者交替とは従来見做されていない。話者交替とは異なる文構造や呼吸による間などを反映したリズムなどのプロソディを入力とする機能が獲得され、誘発されている可能性がある。「割り込み発話」は、「応答の発話計画」の「意図の強さ」（意識のレベル）が「抑止の強さ」（無意識のレベル）を上回るような力関係のメカニズムの存在が考えられる。

- ・ 実時間対話における心的負担の計測法

心的負担という視点は、対話構造の探索を目的とする本研究の動機であった。対話進行において刻々変化する実時間対話における対話者の心的負担を計測する手法自体は今後の課題である。

- ・ データ数の問題

以上に示してきた各実験は、個々にはやや事例数が少ないが、其々独立に行われ、先行研究とも矛盾は無く、相互に結果を支持している。少数データへの一方法論と考える。個々の実験に厳密に量的視点を問うことは、きわめて困

難な領域である。例えば一人一人の被験者の誕生以来の言語生活の環境を一定の条件で揃えること自体が困難な上に、個人情報保護という視点からも困難になっている。まして手話を対象にしようとする、手話を母語と客観的にみなせる人数は少なく、方言性も高く、困難である。なお現在、匿名加工情報の利用拡大として個人情報保護法の改定が検討されており、その実現を期待したい。

- ・ 自閉症などの障害要因の解明への手がかり探索へ
円滑な対話を可能としている構造は、対面対話が苦手な自閉症などの発達障害者の課題解明の一端に資することにもつながるであろう。

引用文献

- Acredolo, L., Goodwyn, S. (2009). *Baby signs: How to talk with your baby before your baby can talk*. McGraw Hill. (リンダ・アクレドロ、スーザン・グッドウィン、吉中みちる・まさくに (訳) (2010). 最新 ベビーサイン).
- Boysson-Bardies, Benebictte de (1996). *Comment la palole vient aux enfants*, Edition Odile Jacob. (B. ド・ボワソン・バルディ、加藤晴久・増茂和男 (訳) (2008). 赤ちゃんはコトバをどのように習得するか—誕生から2歳まで—. 藤原書店).
- Briton, B. and M. Fujiki (1989). Conversational management with language-impaired children pragmatic assessment and intervention, aspen +.
- 千田みのり・大橋浩輝・大須賀智子・堀内靖雄・菊池英明・市川薫 (2009). 話者交替に対するプロソディ情報を利用した聞き手による予測認知の検討. *SLUD*, pp. 57-62.
- Decasper, A. j., Lecanuet, J. P., Busnel, M. C., and Granier-Deferre, C. (1994). Fetal reactions to recurrent maternal speech. *Infant Behavior and Development*, Vol. 17, pp. 159-164.
- 榎本美香 (2009). 日本語における聞き手の話者移行的確場の認知メカニズム, ひつじ研究叢書 (言語編) 69, ひつじ書房.
- Ford, C. E., Schegloff, E. A., and Thompson, S. A. (1996). Interactionl units in conversations: Syntactroc, intonational, and pragmatic resources for the management of turns. In E. Ochs and E. A. S. S. A. Thmpson (Eds), *Interaction and grammar*, pp. 134-184, Cambridge University Press.
- Foster-Cohen, S. H. (1999). *An introduction to child language development*. (今井邦彦 (訳) (2001). 子供は言語をどうかとくするか. 岩波書店).

- Fujisaki, H. (2004). Prosody, information, and modeling with emphasis on total features of speech, *Proceedings of Speech Prosody 2004*, pp. 1-10.
- 芳賀滋 (2001). メンタルワークロードの理論と測定. 日本出版サービス.
- ヘンシュ貴雄 (2011). CREST 平成 22 年研究終了報告書.
- 堀内靖雄・中野有紀子・小磯花絵・石崎雅人・鈴木浩之・岡田美智男・仲真紀子・土屋俊・市川熹 (1999). 日本語地図課題対話コーパスの設計と特徴. 人工知能学会誌, Vol. 14, No. 2, pp. 261-272.
- 市川熹 (1994). 日本語ガーデンパス文の聴・読理解比較. 日本音響学会春季講演論文集, 1-Q-17.
- 市川熹 (2011). 対話のことばの科学—プロソディが支えるコミュニケーション—. 早稲田大学学術叢書 18, 早稲田大学出版.
- 市川熹 (2014). 対話音声とプロセス学. 森本一成・神田和幸編著, 総合プロセス学の諸相, ユニオンプレス, pp. 55-66.
- 市川熹・川端良子・菊池英明・堀内靖雄・黒岩真吾 (2015). 母語 (日本語) における話者交替タイミングの獲得. 人工知能学会 言語・音声理解と対話処理研究会 (第 73 回), SIG-SLUD-B403-3, pp. 14-20.
- 今井むつみ (2013). ことばの発達の謎を解く. ちくまプリマー新書 191.
- Jusczyk, P. W. and Houston, D. M. (1999). The beginnings of word segmentation in English-learning infants. *Cognitive Psychology*, Vol. 39, pp. 159-207.
- 加我君孝 (2016). 人工内耳について. 全国盲ろう者協会, コミュニカ, No. 52, pp. 34-40.
- Kajikawa, S., Amano, S., Kondo, T. (2004). Speech overlap in Japanese mother-child conversations. *Journal of Child Language*, Vol. 31, pp. 215-230.
- Kaye, K. and Wells, A. J. (1980). Mothers' jiggling and the burst-pause pattern in neonatal feeding. *Infant Behavior and Development*, Vol. 3, No. 1, pp. 29-46.
- 北原義典・武田昌一・市川熹・東倉洋一 (1987). 音声言語認知における韻律の役割. 電子情報通信学会論文誌 D, J70-D, 11, pp. 2095-2101.
- 児玉一宏・野澤元, 山梨正明 (編) (2009). 言語習得と用法基盤モデル. 認知言語学のフロンティア 6, 研究社.
- 小松昭男・大平栄二・市川熹 (1988). 韻律情報を利用した構文推定およびワードスポットによる会話音声理解方式. 電子情報通信学会論文誌, J71-D, 7, pp. 1218-1228.
- Kuhl, P. K. (2004). Early language acquisition: Cracking the speech code. *Nature Reviews Neuroscience*, Vol. 5, pp. 831-843.
- 仲真紀子 (2001). 科研特定領域 (A) 平成 12 年成果報告書, pp. 7-14.

- Oohashi, H., Ohsuga, T., Horiuchi, Y., Kikuchi, H., and Ichikawa, A. (2010). Prosody, supporting real-time conversation. *Speech Prosody*, pp. 2-7.
- 大川万里子・大橋浩輝・市川熹 (2012). 非母語話者の音声対話における話者交替, *SLUD*, pp. 1-6.
- 大須賀智子・堀内靖雄・西田昌史・市川熹 (2006). 音声対話での話者交替／継続の予測における韻律情報の有効性. *人工知能学会論文誌*, Vol. 21, pp. 1-8.
- 盧嘉 (2006). 脳のトップダウン処理に注目したイントネーション研究—中・日対照—. *一般言語学論叢*, 9, 筑波大学一般言語学研究会, pp. 59-79.
- Sacks, H., Schegloff, E. A., and Jefferson, G. (1974). A simplest systematics for the organization of turn-taking for conversation. *Language*, Vol. 50, pp. 696-735. (西阪 (訳) (2010). 会話分析基本論集—順番交替と修復の組織—. 社会思想社.
- 斎藤涼子・堀内靖雄・黒岩真吾 (2009). 話者交替規則に基づく日本手話のオーバーラップ現象の分析. 第35回日本手話学会大会, pp. 25-28.
- Schubotz, R. I., Wurm, M. F., Wittmann, M. K., von Cramon, D., Y. (2014). Objects tell us what action we can expect, fMRI. *Frontiers in Psychology*, Vol. 5, p. 63.
- Stivers, T., Enfield, N. J., Brown, P., Englert, C., Hayashi, M., Heinemann, T., Hoymann, G., Rossano, F., de Ruiter, J. P., Yoon, K. E., and Levinson, S. C. (2009). Universals and cultural variation in turn-taking in conversation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 106, pp. 10587-10592.
- 高井啓二・星野崇宏・野間久史 (2016). 欠測データの統計科学、調査観察データ解析の実際 1. 岩波書店.
- 滝沢恵子・菊池英明・大橋浩輝・市川熹・堀内靖雄・黒岩真吾 (2013). 日本人学習者の英語対話における流暢性に関する研究. *音講論*, 1-Q-49c.
- 寺島裕貴 (2015). 脳における音と画像のスパース表現. *情処研究会報告*, 2015-MUS-107, No. 9, pp. 1-3.
- Tomasello, M. (2003). 辻他 (訳): 心とことばをつくる, 慶応義塾大学出版会 (2008).
- Vorperian, H. K., Kent, R. D., Lindstrom, M. J., Kalina, C. M., Gentry, L. R., and Yandell, B. (2005). Development of vocal tract length duaring early childhood: A magnetic resonanceimaging study, *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 117, No. 1, pp. 338-350.
- Weisgerber, L. (1950). *Das menscheitsgesterz der sprache*. (福田幸夫 (訳) (1994). 母語の言語学. 三元社.

第12章

竹炭ボードが学習環境に与える影響

—快適な学習空間の提供を目指して—

西村 浩樹、桑原 教彰

1. 緒言

現在、日本において、大小様々な学習塾が存在し、多くの小学生・中学生・高校生達が、日々、自身の学力レベルの向上と志望する中学・高校・大学へ進学するために通塾をしている。指導形態には、集団で行う「クラス指導」、近年の主流であるマンツーマンや生徒：講師が1：2、1：3などの「個別指導」、また、最近では、インターネットの普及により、インターネット回線を使用した「Web 配信授業」など様々な形態が存在する。さらに、タブレット端末やスマートフォンなどを使用したアプリケーションでの学習も普及してきており、学習者は様々な学習形態から自分に合った学習スタイルを選択できる環境となっている。近年の学習塾の役割として、学習指導をする以外に学習環境を提供するというのも学習塾の役割の1つになってきている。これは、自宅では学習しにくい環境が存在することが上げられる。例えば、兄弟や姉妹がいるために騒がしく集中出来ない。テレビを見てしまう。寝てしまう。携帯電話を触ってしまう。など、自由であるが故に勉強に集中しにくいという環境ができてしまっているというのが、主な理由である。そのため、学習塾の教室を、授業や学習指導をするためだけの空間ではなく、いつでも入退室できる学習空間である自習室として活用を希望する学習者が増えてきている。よって、自習室や自習スペースを完備している塾が増えてきている。そこで、本研究は、学習者にとってよりよい学習環境を検討するため、様々な特性を持つ竹炭を含有した壁

面素材によって囲まれた環境で学習することが、学習意欲や成績の推移、印象にどのような影響をあたえるか評価を行った。これまでには、竹炭を含有した壁面素材や異なる素材を用いた壁面を有する学習環境での評価の研究が行われている（磯田他, 2013）。また、単純繰り返し作業の効率に与える影響も研究されている（Nishimura et al., 2014）。

竹炭は、長い間、身近で加工がしやすい素材として、様々な用途として使用されてきた。その特性は、調湿効果・消臭効果・電磁波遮断効果などがあることで知られ、活用されている（安部他, 2004）。最近では、空気清浄効果を持つことから日本に2000万人以上いると言われている花粉症を患っている人への花粉症対策として、竹炭マスクや竹炭敷きパッドなどの商品も開発されている。また、携帯電話やコンピューター、タブレット、テレビなど日常生活の中で使われている電子機器から発生する電磁波を遮断するシールドとしての役割も果たしている。さらに、近年、住環境への活用は特に注目を集めている。その背景として、建材に使用されている接着剤や塗料に含まれる化学物質（ホルムアルデヒドなど）が、室内の空気を汚染し、居住者の健康によくない影響を与えるシックハウス症候群（化学物質過敏症）などを除去する働きを持つことがあげられる（広瀬他, 2003）。このように様々な場面で活用され、役立てられている竹炭は、室内環境を整える材料として注目されている。

2. 実験方法

2.1 異なる壁面素材による評価

2.1.1 評価方法

評価は大阪府東大阪市内の学習室の自習室で行った。被験者は、自習室内で普段通り自習をし、自習終了時にSD法22項目に対して5段階の評価を行わせ、学習時の印象について評価を実施した。表1に評価項目を示す。評価時の語句の選定において服部ら（1995）および加藤ら（2004）の研究論文を参考にした。

2.1.2 壁面素材

自習室内に一角にパーティションを図1のように学習者を囲むように設

表 1：評価項目

暗いー明るい	人工的なー自然な
落ち着きのないー落ち着きのある	きびしいーやさしい
集中できないー集中できる	平静なー刺激的な
不調和なー調和のとれた	機械的なー人間的な
昔風なー近代的な	香りのわるいー香りのよい
こわれそうなーじょうぶな	親みにくいー親しみやすい
冷たいー温かい	疲れるー元気が出る
年寄りじみたー若々しい	下品なー上品な
緊張感のあるー緊張感のない	美しくないー美しい
田舎的なー都会的な	不安なー安心な
苦しいー楽しい	閉鎖的なー開放的な



図 1：黒（竹炭あり）を設置した自習室

置し、パーティションに 4 種類の壁面素材を貼り、それぞれにおいて評価を行った。壁面素材として、竹炭と紙繊維からなる竹炭成型パネル、黒色不織布 (SR1-12、株式会社ゴークラ社製)、白色不織布 (SR1-1、株式会社ゴークラ社製) を準備した。表 2 に壁面素材の呼称を示す。

表 2：壁面素材の呼称

呼称	設置内容
黒（竹炭あり）	竹炭ボード
黒（竹炭なし）	黒色不織布
白（竹炭あり）	竹炭ボードを白色不織布で覆う
白（竹炭なし）	白色不織布

2.1.3 被験者

被験者は、学習塾に通う小学 5 年生から中学 3 年生の生徒のべ 162 人とした。平均年齢は 12.84 歳（SD 1.36 歳）であった。

2.1.4 分析方法

4 種類の壁面素材の SD 法により得られた評定データの分析には、評定表のデータをすべて込みにして因子分析を行い、データを主因子法で因子を抽出し、プロマックス回転により因子負荷量を求めた。因子分析の結果、Kaiser-Meyer-Olkin の測度が 0.752 を示した。よって、因子分析の妥当性が示された。また、スクリープロット法を用い、因子数の決定をした。評価尺度の選定には回転後の因子負荷量の絶対値が 0.40 以上で、かつ複数の因子にまたがって 0.20 以上の負荷を示さないことを基準とした。

2.2 自習時間と成績向上の関連調査

2.2.1 調査方法

調査は大阪府東大阪市内の学習塾の自習室で行った。自習室内に、天井を除く四方を竹炭ボードで囲まれた自習室と、一般的な通常壁紙で囲まれた自習室を設置した。図 2 に竹炭ボード自習室を示す。また、図 3 に壁紙の自習室を示す。どちらの自習室も学習者は自由に使用することができ、入室する際に入室時間を、退室時には退室時間を所定の記入用紙に記載させ、滞在時間を記録した。調査期間は、2014 年 4 月から 7 月までとし、成績の推移について、学習塾内で実施される 2014 年 4 月実施の模擬テストの偏差値と 7 月に実施の模擬



図 2：竹炭ボードの自習室



図 3：一般壁紙の自習室

表 3：評価項目

評価項目	
明るい	－ 暗い
落ち着ける	－ 落ち着けない
広い	－ 狭い
安心な	－ 不安な
集中できない	－ 集中できる
目の覚める	－ 眠くなる
さわがしい	－ 静かな
勉強しにくい	－ 勉強しやすい
くさい	－ においの良い
リラックスできる	－ リラックスできない

テストの偏差値の推移を確認した。また、竹炭ボードの自習室で自習をした学習者に対して、学習時の印象を 10 個の感性ワードにより SD 法 5 段階評価で実施した。評価項目を表 3 に示す。

2.2.2 被験者

学習塾に通塾する小学 6 年生から中学 3 年生までの 19 名（男子 11 名、女子 9 名）とした。対象となる学習者は、竹炭ボードの自習室を使用し、4 月度模擬テストと 7 月模擬テストの両方を受験した生徒を対象とした。

3. 結果

3.1 異なる壁面素材による評価

3.1.1 SD プロフィール

図4にSDプロフィールを示す。「きびしいーやさしい」「美しいー美しくない」「不安なー安心な」において、白（竹炭あり）が高い値を示した。また、「暗いー明るい」において、壁面素材の色により、評価が大きく変化した。

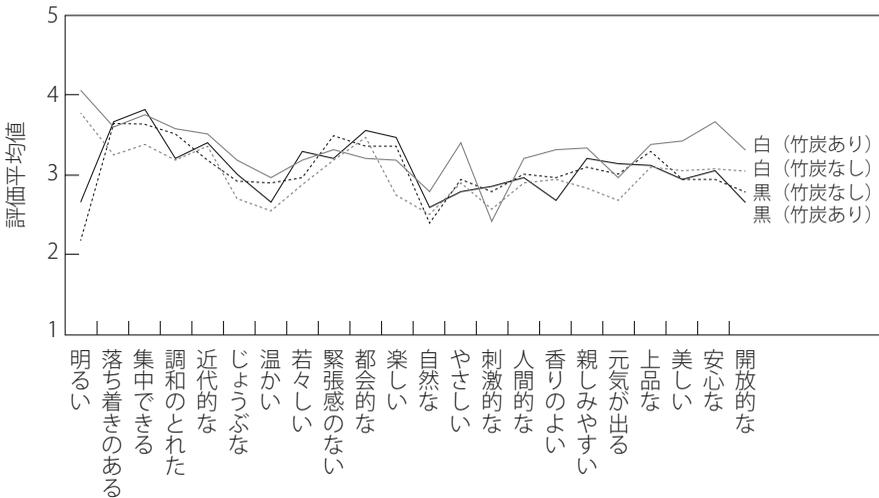


図4：SDプロフィール

3.1.2 因子分析結果

表4に因子負荷量表および因子間相関を示す。3つの因子を抽出し、第1因子を「居心地」、第2因子を「物新しさ」、3因子を「安堵感」とした。

3.1.3 下位尺度間の関連

因子分析の結果を踏まえ、各因子に高い負荷量を示した項目を下位尺度とした。表5に各因子の下位尺度間相関および平均値、SD、 α 係数を示す。Cronbachの α 係数は第1因子が $\alpha = 0.809$ 、第2因子が $\alpha = 0.750$ 、第3因子

表 4：因子負荷量表および因子間相関

	I	II	III
きびしいーやさしい	.85	-.10	-.04
閉鎖的なー開放的な	.73	.11	-.01
不安なー安心な	.67	.11	.15
人工的なー自然な	.63	-.19	.02
暗いー明るい	.57	.16	-.10
機械的なー人間的な	.48	-.12	.01
昔風なー近代的な	0.4	.99	.01
田舎的なー都会的な	-.12	.62	.06
集中できないー集中できる	-.04	.13	.87
落ち着きのないーおちつきのある	.04	-.11	.78
因子間相関	I	II	III
	I	—	.20
	II	—	.29
	III		—

が $\alpha = 0.782$ で、内的な整合性があると判断された。

次に各因子に高い負荷量を示した項目の合計得点を下位尺度得点とした。表 5 より、「居心地」得点は（平均 3.08、SD 0.79）、「物新しさ」得点は（平均 3.37、SD 0.88）、「安堵感」得点は（平均 3.61、SD 1.02）であった。「居心地」と「安堵感」($r = .33$, $p < .001$)、「物新しさ」と「安堵感」($r = .24$, $p < .01$) は互いに有意な正の相関を示した。しかし、「居心地」と「物新しさ」は相関がなかった。 r 値は、 $-1 \leq r \leq 1$ の範囲で、1 (-1) に近ければ近いほど正 (負) の相関関係があることを表し、 p 値は、 r 値が偶然出る確率を表すため、 p 値は低い

表 5：各因子の下位尺度間相関および平均値、SD、 α 係数

	居心地	物新しさ	安堵感	M	SD	α
居心地	—	.13	.33***	3.08	0.79	0.81
物新しさ		—	.24**	3.37	0.88	0.75
安堵感			—	3.61	1.02	0.78

注：*** $p < 0.01$, ** $p < 0.1$ 。

ほど偶然出る値ではないことを表す。

3.1.4 各因子間における因子得点布置図

各因子における壁面素材の印象評価の把握と比較を行うため、因子分析から得られた因子得点について布置図を作成した。図5、図6に因子得点布置図を示す。図5の横軸は「居心地」、縦軸は「物新しさ」を表している。図6の横軸は因子1「居心地」を表し、縦軸は「安堵感」を表している。図5、図6とも、竹炭なしにおいては色に関わらず第3象限に位置した。また、黒（竹炭あり）

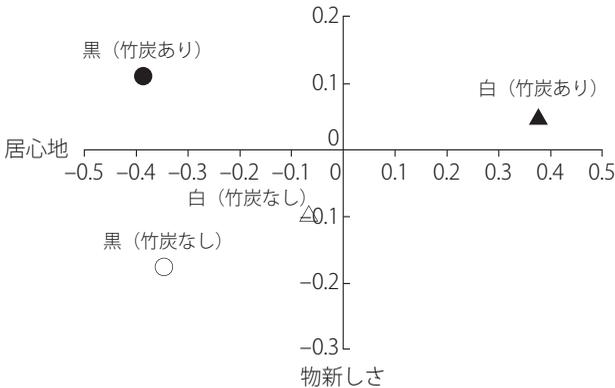


図5：居心地ともの新しさにおける因子得点布置図

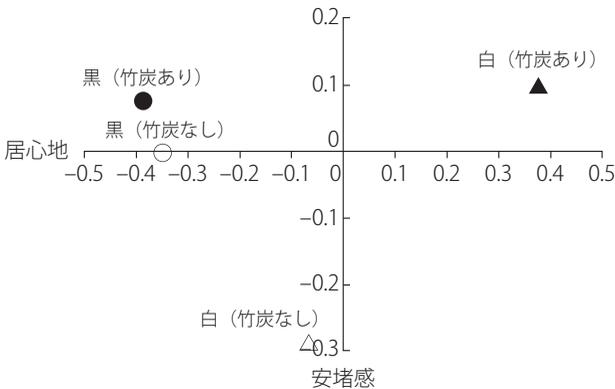


図6：居心地と安堵感における因子得点布置図

は第一象限に、白（竹炭あり）は第二象限に位置した。

3.2 自習時間と成績向上の関連調査

3.2.1 自習時間と偏差値の関連性

竹炭ボードの自習室での学習時間（分）と4月全国模擬テストから7月全国模擬テストでの1科目あたりの偏差値の伸びを図7に示す。相関関係は約0.52であり、正の相関を示した。対象となる小学生4名における科目ごとの偏差値の伸びの平均を図8に示す。算数4.75、国語6.25、理科5.25、社会8.75の偏

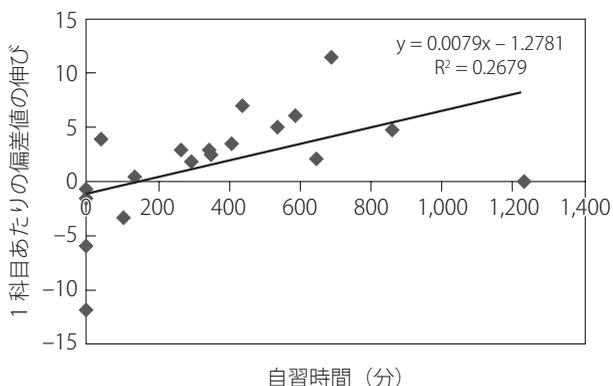


図7：自習時間と偏差値向上の関連性

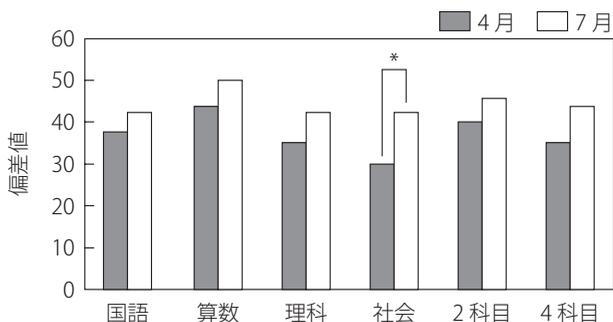


図8：竹炭ボード使用での偏差値の推移（小学生）

注：* $p < 0.05$ 。

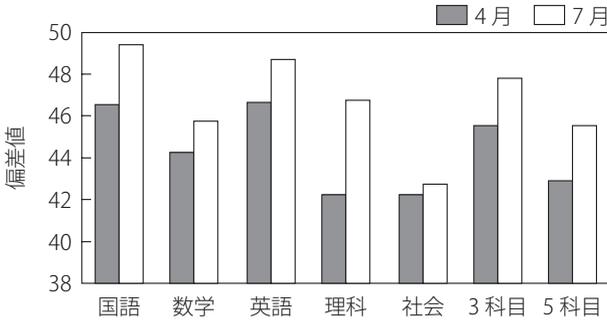


図9：竹炭ボード使用での偏差値の推移（中学生）

差値の伸びが確認され、全科目で偏差値が上がる結果となったが、統計的な有意差 ($p < 0.05$) が確認できたのは、社会のみであった。2科目とは国語と算数の総合、4科目とは全ての科目の総合での成績を示す。また、対象となる中学生11名における科目ごとの偏差値の平均の伸びを図9に示す。国語2.9、数学1.5、英語2.0、理科4.5、社会0.5の偏差値の伸びが確認され、中学生においても全科目で偏差値があがる結果となった。しかし統計的な有意差は全ての科目で確認できなかった。3科目とは国語、数学、英語の総合、5科目とは全科目の総合での成績である。

次に、通常壁紙の自習室を使用した生徒と、そもそも自習室を使用しなかつ

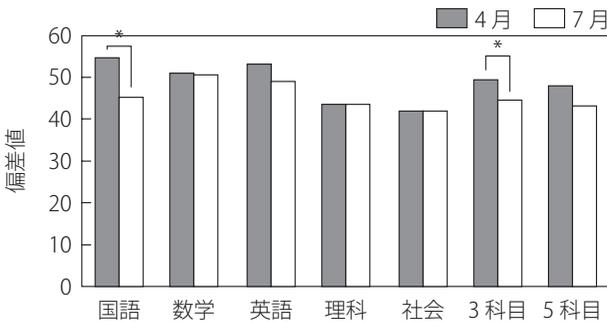


図10：竹炭ボード使用無しでの偏差値の推移（中学生）

注：* $p < 0.05$ 。

た生徒の成績の推移を図 10 に示す。中学生 2 名が通常壁紙の自習室を利用し、4 名がそもそも自習室を使用しなかった。この 6 名の生徒の科目ごとの偏差値の平均の伸びは、国語 -6.25、数学 -0.5、英語 -5 と、これら科目で偏差値が下がる結果となった。3 科目の総合の成績、5 科目の総合の成績についても偏差値が下がる結果となった。特に国語と 3 科目の総合成績については、統計的な有意差 ($p < 0.05$) が確認された。

そこで、中学生について、4 月の偏差値から 7 月の偏差値についてその向上、あるいは下降を、前述の竹炭ボード自習室を使用しようとした生徒とそうでない生徒それぞれ、平均を比較した結果を図 11 に示す。全ての教科、総合の成績で竹炭ボード自習室を使用した生徒の成績の向上が見られ、また国語、3 科目の総合 ($p < 0.01$) と英語、5 科目の総合 ($p < 0.05$) で統計的な有意差が確認された。

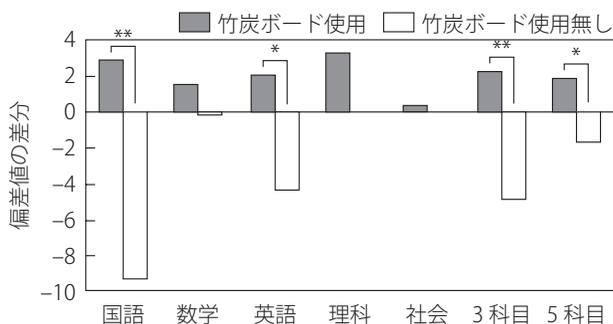


図 11：竹炭ボード使用の有無での偏差値の推移の比較（中学生）

注：** $p < 0.01$, * $p < 0.05$ 。

3.2.2 SD 法による印象評価

図 12 に SD 法により印象評価の結果を示す。各感性ワードの +2 ~ -2 の 5 段階評価の平均値をグラフにしたものである。まず、自習室使用者 33 名中 31 人が竹炭ボードでの学習を好む結果となった。各感性ワードの中で、竹炭ボードでの学習において最も高い値を示したのが、「落ち着けるー落ち着けない」

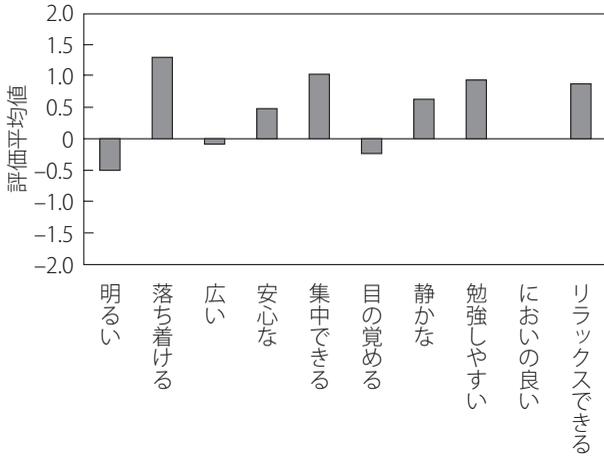


図 12：SD 法による印象評価の結果

において、「落ち着ける」が高い値を示し、次に、「勉強しやすいー勉強しにくい」において、勉強しやすいが高い値を示した。また、「リラックスできるーリラックスできない」「集中できるー集中できない」においても、リラックスできる、集中できるにおいて高い値を示し、落ち着いて集中出来る学習環境である傾向があることが示された。

図 13 に、竹炭ボード自習室と一般的な壁紙で囲まれた自習室における生徒

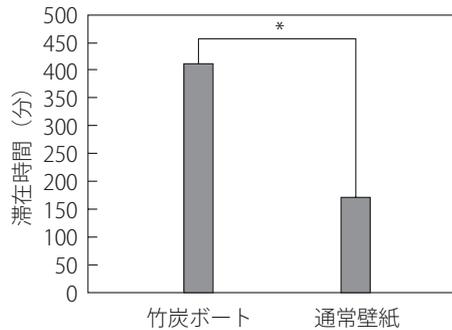


図 13：各自習室における滞在時間

注：* $p < 0.05$ 。

の学習滞在時間（分）を示す。竹炭ボード自習室で学習した生徒の平均学習滞在時間は411分、通常壁紙の自習室で学習した生徒の平均滞在時間は171分となり、竹炭ボード自習室の学習滞在時間が通常壁紙の自習室と比較して、2倍以上長くなることが確認された。

4. 結言

本研究では、竹炭を含有した壁材を用いた自習室での学習が、学習者にどのような印象を与えるのか、壁面素材を様々に変化させ、印象評価を行った。白・黒×通常壁紙・竹炭ボードでの4種類での比較では、居心地、安堵感という観点で、白色の竹炭ボードが最も優れた評価を得た。竹炭の有無に関わらず、白の方が黒よりも居心地においては評価が高い。これは図2で示したように、白の壁面の一部だけを竹炭ボードで覆ったため、そのコントラストで居心地の悪さを感じた可能性がある。

また、竹炭ボードの自習室での学習が、学習時間及び成績にどのような影響があるか確認した。まず竹炭ボード自習室での自習時間と成績の向上の度合いについて調査、分析した結果、長時間の自習を行うものが、成績がより向上するという結果を得た。次に竹炭ボードの自習室で学習した生徒とそうでない生徒の、2回の模擬テストの成績を比較した。結果として、竹炭で囲まれた自習室での学習時間は長くなり、また成績（偏差値）も上がるということが確認された。また、印象評価では、竹炭の学習スペースでは、落ち着くことができ、また、集中できて、勉強しやすい学習環境であると感じており、学習者は好んで利用していることがわかった。これまでに、竹炭が住環境に与える影響についての研究（Takao et al., 2014）では、竹炭ボードとクロス地で囲まれたブースにおける快適性について、クロス地に比べ竹炭ボードの方が、心拍データから計算された副交感神経の活動が高く、継続的にリラックスできる環境であることが示唆されている。これは、竹炭の持つ調湿効果が生理的にストレスを軽減し、学習時間を長くできたことが成績向上の要因ではないかと考えられる。

今後は、なぜ竹炭での学習スペースが、快適であると感じるのかさらに脳波や脳血流の変化、また心拍の変動、また竹炭の香りが与える影響などの分析を

含めた研究を進めていき、さらに、学習時間の短い学習者に、いかに快適に、集中して、長時間学習できる環境を提供することができるのか室内における学習環境の改善と研究に取り組みたいと考えている。

引用文献

- 安部郁夫・長谷川貴洋・澁谷康彦・岩崎訓（2004）. 竹炭の細孔構造特性. 炭素, Vol. 215, pp. 241-245.
- 服部芳明・橋田紘洋・高橋正記・藤田晋輔（1995）. 校舎構造および内装仕上げ材料と教室イメージ—最近の木造学校校舎の教室環境に関する研究（VI）—. 鹿児島大学農学部学術報告, Vol. 45, pp. 77-88.
- 広瀬恢・川村直之・清水紀男（2003）. ホルムアルデヒド、VOCs を指標とした竹炭ボードの性能試験結果—実大実験室を用いた長期評価—. 室内環境学会誌, Vol. 6, No. 2, pp. 206-209.
- 磯田翔平・高井由佳・後藤彰彦・西村浩樹・鷹尾憲一・来田宣幸・桑原教彰・濱田泰以（2013）. 異なる素材を用いた壁面を有する学習環境の主観的評価. 第8回日本感性工学会春季大会, Vol. 8, No. 6-3.
- 加藤雪枝・橋本令子・雨宮勇（2004）. 室内空間に対する心理的及び生理的反応. 日本色彩学会誌, Vol. 28, No. 1, pp. 16-25.
- Nishimura, H., Takai, Y., Goto, A., Endo, A., and Kuwahara, N. (2014). Effect of wall material of a room on performance in long monotonous work. *Springer Lecture Note on Computer Science*, Vol. 8529, pp. 282-291.
- Takao, K., Kuwahara, and N., Kida, N. (2014). Evaluation of bamboo charcoal effect to comfort based on physiological data, In Vincent G. Duffy (Ed.) *Advances in human factors and ergonomics in healthcare*. CRC Press.

掲載：科学・技術研究, 第6巻1号, pp. 41-46 (2017年)

第13章

蛍光マーカーペンを用いた情報整理方法が 学習者の視線移動に与える影響の研究

西村 浩樹、桑原 教彰

1. 緒言

現在、世界では科学的根拠に基づいた教育（エビデンス・ベースド）が注目されている。米国では、教育政策を決定する際、ランダム化比較実験と呼ばれる社会実験を行い教育政策の効果を測定することが主流になっており、教育政策実践の意志決定を行う重要な要素になっている。日本においては、世界と比較して、教育政策と科学的調査や科学的根拠の繋がりを求める動きは弱い。近年、教育や医療分野でエビデンス・ベーストによる政策や取り組みが注目されつつある。教育における学習においても、学習者が学習する際の学習過程や認知過程を研究対象とする学習科学や認知科学など科学的根拠に基づいた学習方法や学習システムが注目され、学力向上に貢献できるのではないかと期待されている。

現在、学習者（主に学生）の学力を図る方法として、主にペーパーテストでの得点により判断される場合が大半である。学習者にとって、ペーパーテストで高得点を取ることは学習する上で大きな目的の一つであると言える。そのペーパーテストの出題形式は、空所補充、記述式、選択式など様々であるが、どのような出題形式であっても、解答を導くキーワードを見つけ出し、認知することは必要不可欠である。そこで、学習者が、問題材料を与えられた時のキーワードを見つけ出す情報処理過程と認知過程に注目した。キーワードを検索し、正確に認知し、正答を導くことができる指導者や学習者の情報整理方法がどの

ようになっているか視線の動きに着目した。また、キーワード検索時に視線の動きを誘導するため、蛍光マーカーペンでの色の刺激がどのような効果を及ぼすのか検討を試みた。

人間の情報処理課程を単純化したモデルを提唱した Card et al. (1983) による Model Human Processor は、知覚システム、認知システム、運動システムの3つのシステムで構成されている。人間は、情報処理過程で、知覚システムである目や耳で情報を入力し、その情報をもとに認知プロセッサが文字を認識する。その後、長期記憶とのマッチングを行い、反応決定内容が運動プロセッサによって手や口に伝達され、解答用紙に記入もしくは、口頭で解答をする。学習者は、この作業を繰り返し、問題を解いていく。また、Kahneman (2014) によれば、情報処理過程で人間が物事を判断する際、ファスト（システム1）とスロー（システム2）と言われる2つの思考システムが存在するとしている。ファスト（システム1）は、直感的・感情的な価値判断による思考で、無意識的・自動的に物事を判断し、学習経験を検索照合して、物事の判断を行う。瞬時的に確かな情報同士を結合し、問題解決のネットワークを構築するが、短絡的思考になると言われ、様々な錯覚や間違いを引き起こしやすいと言える。対して、スローは、情報を深く認知することで秩序だった判断をする思考と言える。

つまり、学習者が問題材料を目でとらえた時の認知過程の知覚システムにおいて、様々な情報の中からキーワードに蛍光マーカーペンで文字に着色し、目立たせること（以下:マーキング）で、視覚から入ってくる情報が制限され、キーワードを認知しやすくなることにより、解答までの認知負荷が軽減されることが予想される。また、キーワードへのマーキングは、直感的・無意識的で、間違いを引き起こしやすい判断を、情報を深く認知させることで正答へ導くことができるのではないかと考える。これまでに視線の測定や、学習環境や学習方略など様々な研究が行われている。蛍光マーカーペンによるマーキングの効果に関して、視覚にとって好ましい色や記憶に及ぼす影響として、ピンク、グリーンの色の比較、方法として文字を塗る、下線を引く比較が行われ、ピンクで文字を塗るがマーキングの効果が最も大きいとされた（鈴木他, 2002）。また、マーキングの有無が学習効果に与える影響についての研究（西村・桑原, 2014;

2015)、さらに、マーキングが視線の動きと問題解決に与える影響が研究されている(西村他, 2015; 2016)。しかしながら、マーキングによる学習効果が期待されることは示されたが、その理由は未だ解明されていない。

そこで本研究では、蛍光マーカーペンを用いた情報整理方法が、学習者に与える効果を明らかにするため、視線の動きに着目し、マーキングの有無による視線移動の傾向の違いを検証した。またその結果を受けて、日常的な学びの場で視線データを計測し、その結果を生徒にフィードバックすることができる評価システムの開発を行った。

2. 実験方法

2.1 視線計測装置を使用した計測実験

2.1.1 実験時使用問題

被験者が解く問題材料として英語の三単現のSと時制の問題を用意した。問題パターンとして、マーキングなし10問(2種類)、マーキングあり10問(1種類)の合計3種類とし、マーキングなし、あり、なしの順に実施した。問題に対する慣れを考慮し、それぞれに3単元のSと時制の問題が5問ずつ含まれ

Ken	① helps ② helped ③ will help ④ help	his mother last Sunday.
-----	--	-------------------------

マーキングなし

We (ア watch イ watches)	TV every day.
------------------------	---------------

She	① practices ② will practice ③ practiced ④ practice	the piano every day.
-----	---	----------------------

マーキングあり

図1：出題問題例

ている。出題問題例を図1に示す。

2.1.2 実験装置

視線計測装置として、ナックイメージテクノロジー(株)のEMR-9を使用した。帽子型になっており、ヘッドユニットを図2に示す。2つの小型カメラを両眼の下方に設置し、瞳孔角膜反射法により赤外線を使用することで目の動きを検出している。サンプリングレートは60Hzであり、両眼の視差補正後の視点の座標データを得ることができる。また、実験時に頭部が動かないように、被験者の頭部を頭部固定装置(顎台)で固定した。図3に示す。



図2：視線計測装置／EMR-9



図3：頭部固定装置と実験の様子

2.1.3 実験環境

実験は、東大阪市の学習塾の教室内で行われた。問題は、プロジェクタによってホワイトボードに映し出した。被験者は、ホワイトボードから約 130 cm の位置に着座し、頭部固定装置に顎をのせ、固定し実験を実施にした。

2.1.4 被験者

被験者は、本実験で使用する 3 単元の S と時制の内容を既習している学習塾に通塾する中学 1 年生から 3 年生とした。男子 11 名、女子 9 名の合計 20 名とし、裸眼・矯正で正常な視力である者とした。

2.1.5 実験方法

被験者は、ホワイトボードから約 130 cm の距離の位置に着座し、頭部固定装置の顎台で頭部が動かないように固定した。次に、ヘッドユニットを頭部に装着し、キャリブレーションを行い、正常にキャリブレーションが終了すれば問題を解く準備に入ることとした。問題回答に入る前に、できるだけ早く口頭で解答すること、頭部をできるだけ動かさないようにすることを指示した。その後、ホワイトボードに問題が映し出され、被験者が口頭で答えた解答を確認し、記録した。問題は、マーキングなし 10 問、マーキングあり 10 問、マーキ

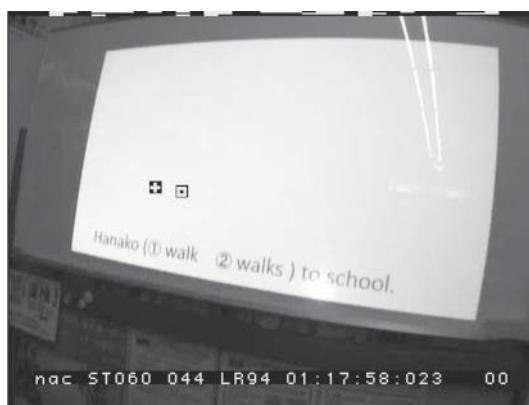


図 4：映像のスナップショット

ングなし 10 問の順に合計 30 問で実施した。映し出された問題を図 4 に示す。図中にある「□」は右眼の視点、「+」は左眼の視点を示している。

2.1.6 分析方法

EMR-9 で計測した視線データの入ったエクセルファイルの問題ごとに分割したファイルを作成した。このファイルと EMR-9 で録画した映像を元に分析を行った。まず、問題の英文を主語、動詞、時間、その他の構成要素に分割した。分割例を図 5 に示す。録画した映像のスナップショットの画像と、記録された視線データからヒートマップを作成し、構成要素の範囲を目測で決定した。それぞれの構成要素の範囲内にある視線フレーズ数から「注視フレーム数」を、異



図 5：問題分の分割例

主語	動詞	時間	その他	問題文の外
19	179	149	142	93
主語の領域 (84, 249) - (95, 280)				
動詞の領域 (100, 229) - (182, 317)				
その他の領域 (274, 295) - (481, 298)				
その他の領域 (197, 255) - (281, 298)				
視線移動の回数 59				

図 6：分析例

なる構成要素への視線の移動を「視線移動回数」をして分析を行った。分析例を図6に示す。

2.2 視線計測装置を用いた評価システムの開発

2.2.1 評価システム開発の目的

2.1の計測実験では、EMR-9を使用し、計測を行ったが、キャリブレーションに約10分の時間がかかること、また、実際に被験者30人の内、10人のキャリブレーションがうまくいかなかったことから、簡易に視線の動きを評価するシステムの開発を検討することにした。我々は2.1の視線計測実験の結果から、成績上位群は下位群よりも視線移動回数とキーワードへの注視フレーム数が少なくなる傾向があったことから、自分の視線データの傾向を生徒にフィードバックすることで成績下位群の学力が向上する可能性があると考えた。そこで、装着や計測の際のストレスを軽減した注視フレーム数や視線移動回数を評価するシステムを開発し、日常的に生徒が自分の視線データの傾向に気付ける環境を提供することを目的とした。

2.2.2 トビーテクノロジー社製視線計測装置の採用

視線計測装置として図7に示すものを採用することとした。これは、トビー



図7：トビーテクノロジー社製視線計測装置

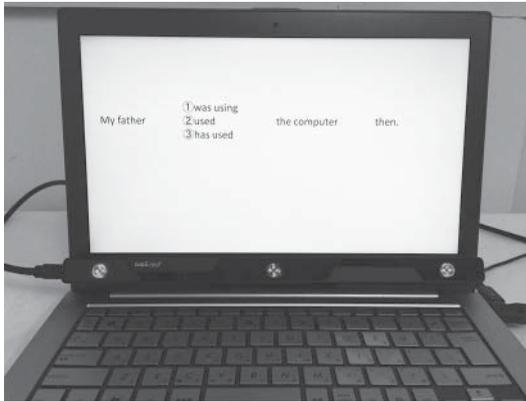


図 8：視線計測装置の設置例



図 9：キャリブレーションの精度の確認

テクノロジーが開発したアイトラッキングシステムである。近赤外線の光源を使用しており、光学センサーで角膜上に反射点を作り、画像センサーで被験者の角膜上の瞳孔点と反射点を記録し、そのパターンから特徴を捉える方式で視線の動きを測定している。EMR-9 との、大きな違いは、装置の装着を被験者ではなく、パソコンに装着して使用することができる点である。装着状態を図 8 に示す。使用方法は、装置を USB で本体に接続した後、キャリブレーションを開始し、被験者が目の状態が「裸眼・眼鏡・コンタクト」のいずれであるかを選択。次に視線入力する目を「右眼・左眼・両眼」から選択をする。その後、被験者の着座位置が適切かどうかを確認し、パソコンのモニターに映るピンク

のマーカーを凝視し、キャリブレーションが適切に行われたか確認を行う。キャリブレーションの確認画面を図9に示す。

2.2.3 評価システムの概要

本実験の評価システムは、まず事前に実験時に表示する問題のスクリーンショットを保存しておき、視線計測を開始するが、視点データの座標が必要となるため、座標データを得るプログラムを作成した。サンプリングレートは約16 Hzとし、自動的に画面サイズを読み取り、視点のX座標及びY座標、時間経過を抽出する。全問題の視線計測終了後、視線の座標データより、視線集計部が提示された問題文のスクリーンショット上に視線データをヒートマップ表示させる。その後、主語・動詞・時間・その他の構成要素の範囲を決定し、視線移動回数と注視フレーム数を確認する。システムの構成を図10に示す。視線集計部の使い方を図11に示す。「問題読み込み」と「視線読み込み」をクリックし、問題画像と視線データを読み込み、問題のスクリーンショットを表示さ

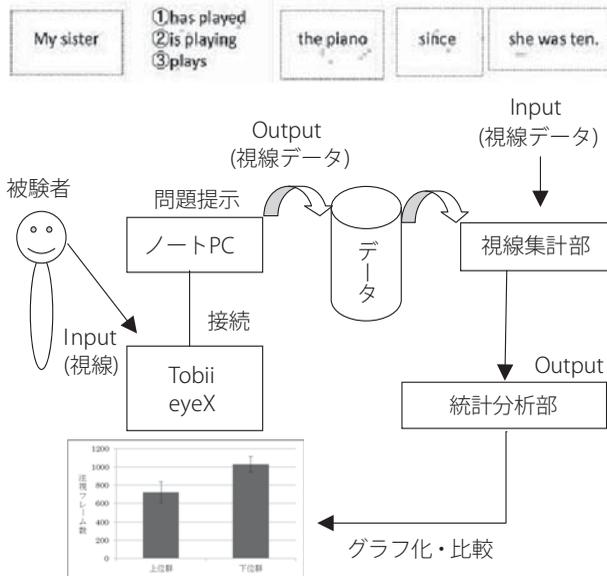


図10：評価システム構成図

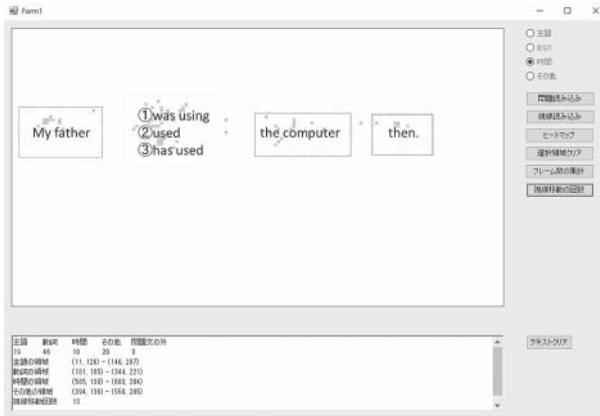


図 11：視線集計部の利用例

せる。表示画面に視線データのヒートマップが表示される。次に、主語、動詞などの問題文の構成要素を選択し、マウスのドラッグ＆ドロップでその領域を選択する。その後、「フレームの集計」と「視線移動回数」を押すことで、構成要素ごとの注視フレーム、構成要素の範囲、視線移動の回数が出力される。この注視フレーム数と視線の移動回数から、成績上位群と下位群の視線移動の違いや、マーキングの学習による効果を確認することができる。

2.2.4 実験環境

東大阪市の学習塾の教室内で実験を行った。教室内の一角に周りからの情報が視界に入らないように、四隅を白い壁及びパーティションで囲んだ。問題は、視線計測装置を設置したノートパソコン（13.3 インチ、900×1,600）に問題を表示した。操作を行うためのモニター（26 インチ）は、被験者の後方に設置した。実験環境の様子を図 12 に示す。

2.2.5 被験者

被験者は、中学 3 年生お男子 10 人、女子 9 人の計 19 人とした。なお、被験者は全員、裸眼または矯正で正常な視力であった。

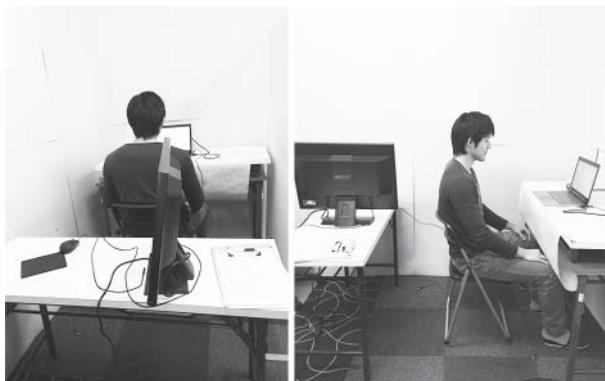


図 12：実験環境の様子

2.2.6 実験方法

被験者が着席した後、キャリブレーションを開始した。キャリブレーション終了後、口頭でできるだけ早く解答をすることを意識するよう指示した。問題は一通ずつ表示され、練習問題を1問解いた後に視線計測を開始した。今回はマーキング無しの条件で視線データを収集した。

2.2.7 分析方法

本実験では、上位群と下位群に分けて分析を行った。中学生の学校の定期テストにおける英語の平均点が80点以上の上位5名を上位群、60点以下の5名を下位群とし、注視フレーム数と視線の移動回数を確認した。

3. 結果

3.1 視線計測装置を使用した計測実験

3.1.1 実験結果

実験で行った問題のうち、最初のマーキングなし10問をA、次のマーキングあり10問をB、最後のマーキングなし10問をCとする。また、本実験の正答率の上位3名を上位群、下位3名を下位群とする。図13に示すように、三単現においては上位群ではBの場合に回答に関係のある主語の部分への注視フ

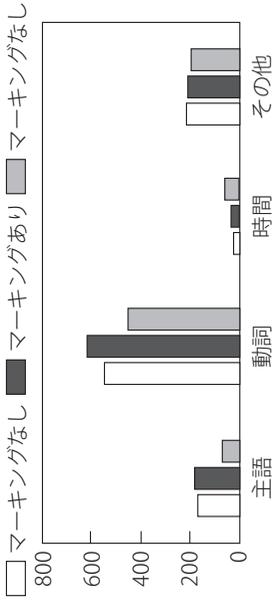


図 14：注視フレーム数-下位群 (三単現)

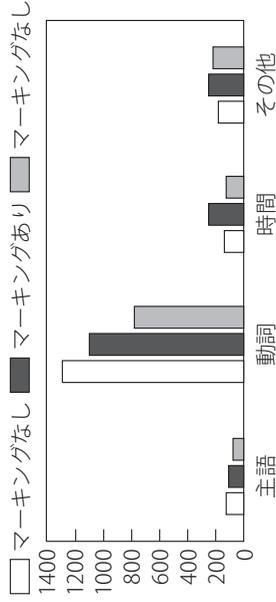


図 16：注視フレーム数-下位群 (時制)

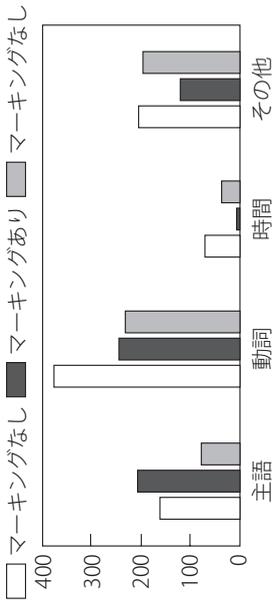


図 13：注視フレーム数-上位群 (三単現)

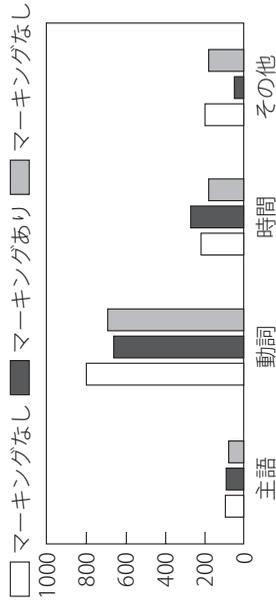


図 15：注視フレーム数-上位群 (時制)

フレーム数が増加し、一方で選択肢を選ぶ動詞部分へのそれが減少する傾向が得られた。また回答に関係ない時間、その他の部分への注視フレーム数も減少した。一方で図 14 に示すように、下位者についてはそのような傾向はみられなかった。図 15 に示すように、時制については、上位者では回答に係る時間の注視フレーム数が増加し、他は減少する傾向がみられた。図 16 に示すように、下位者は回答に関連する時間の注視フレーム数は増加する傾向にあった。一方、選択肢を選ぶ動詞部分は減少する傾向にあった。主語、その他の部分についてはあまり変化がみられなかった。

次に、視線移動回数の A、B、C の問題について、上位群と下位群の比較を行った。三単現を図 17、時制を図 18 に示す。下位群に比べ、上位群の視線移動回数はそれぞれの問題において少なくなっており、上位群は無駄な視線移動を行わずに素早く選択肢から回答を導いていると考えられる。しかし上位者 3 名、下位者 3 名での比較であるため、統計的な有意差は得られなかった。

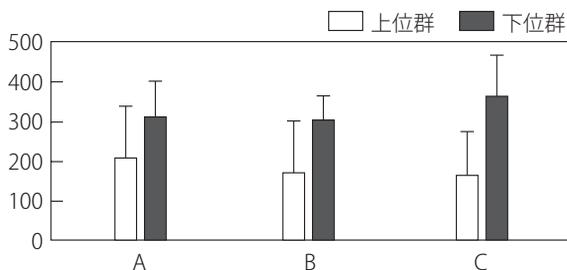


図 17：視線移動回数－上位群と下位群の比較（三単現）

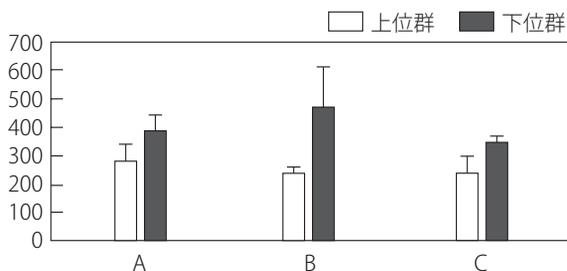


図 18：視線移動回数－上位群と下位群の比較（時制）

3.1.2 考察と課題

図 13 から図 16 の結果から、マーキングの存在（B の場合）は上位者にとっては回答の手掛かりになっている一方、下位者にとってはそうっていない可能性が示唆された。また B の後にマーキング無しの問題を解いた C のケースでは、上位者、下位者とも A の場合と同様な傾向がみられることから、一度マーキングを意識付けしてもそれだけではその効果は続かない可能性が示唆された。また、回答の選択肢が表示されている動詞部分の注視フレーム数を確認すると、A,B,C の全ての場合において、上位群が下位群よりも注視フレーム数が少ない傾向がある。図 17、図 18 における視線移動回数の比較においても、A、B、C の全ての場合で、上位群が下位群よりも少ない結果となっている。これはマーキング箇所の視線停留時間が増加し、動詞である選択肢の視線停留、及び視線の移動回数が減少したという結果（鈴木他, 2002）と符合する。

この傾向が一般的に当てはまることなのか、統計的有意差が得られるのか、より多くの被験者からデータを収集する必要がある。しかしこのために、EMR-9 におけるキャリブレーションに時間がかかる、また回答中に顎台で顔を固定されるストレスを与えることの 2 点を解決することが求められた。

3.2 視線計測装置を用いた評価システムの開発

3.2.1 実験結果

前述の目的で新たに開発した視線集計ソフトで視線の座標を集計し、上位群 5 名と下位群 4 名の構成要素ごとの注視フレーム数を集計した結果を図 19 に示す。また、上位群と下位群の視線移動回数を図 20、回答までの時間の比較を図 21 に示す。各構成要素の注視フレーム数の上位群と下位群の平均の差を t 検定で分析したところ、主語では統計的有意差が認められなかったが、動詞、時間の部分については $p < 0.01$ 、その他の部分については $p < 0.05$ の水準で有意差が確認された。また視線移動回数については、 $p < 0.01$ の水準で平均値に有意差が確認された。回答時間については上位群と下位群の平均の差に $p < 0.01$ の水準で有意差が認められた。

つぎに、正答率と注視フレーム数の関係、正答率と視線の移動回数に関する

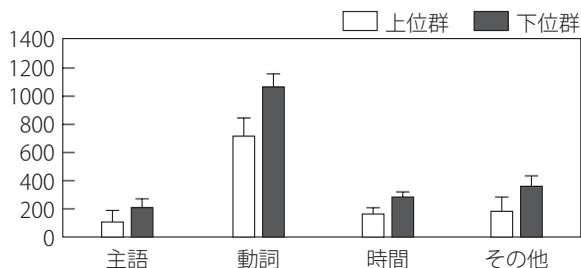


図 19：構成要素ごとの注視フレーム数の比較（上位群と下位群）

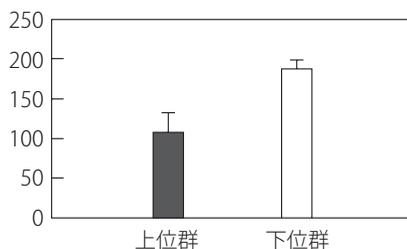


図 20：視線移動回数の比較（上位群と下位群）

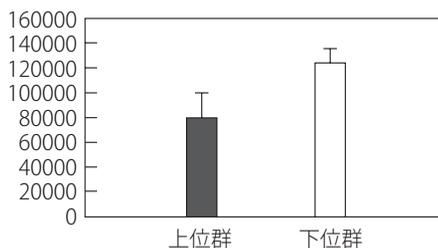


図 21：回答時間（フレーム数）の比較（上位群と下位群）

グラフを図 22、図 23 に示す。注視フレーム数における相関係数は、約 -0.715 であり、強い負の相関が確認された。また、視線の移動回数の相関係数においても約 -0.877 の強い負の相関が確認された。

本実験では、視線データを得るためにトビーテクノロジー社の視線計測装置を用い、このために視線データを評価するソフトウェアを開発した。EMR-9

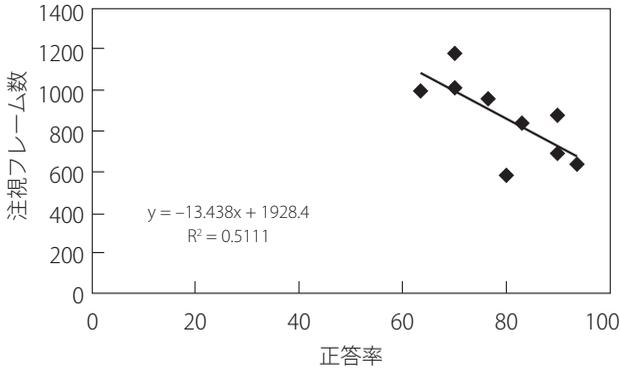


図 22：正答率と動詞の注視フレーム数

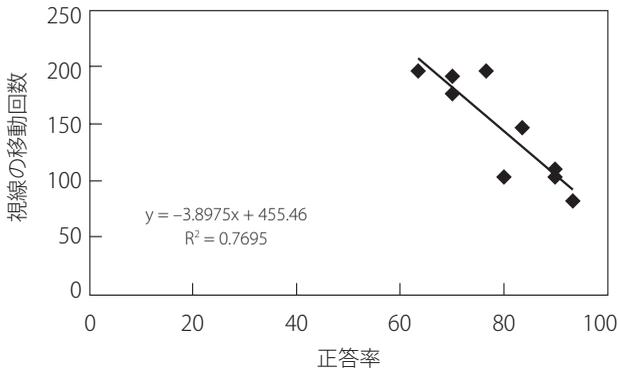


図 23：正答率と視線の移動回数

を使用した実験と比較して本評価システムでの視線測定は、プロジェクタや頭部固定装置などを準備する必要がなく、容易に日常的に問題回答中の生徒の視線データの傾向を評価することが可能となった。また、キャリブレーションはEMR-9では、10分弱要することもあったが、この評価システムでは3分以内にはほぼ終了することができ、短時間で多くの被験者データを得ることが可能になった。

3.2.2 考察と課題

本実験の分析では、成績上位群は下位群と比較して主語を除く構成要素の注視フレーム数と視線の移動回数が有意に少なくなるという結果となった。これは、藤吉他（2015）による英語習熟度が低いほど解答中に文書や問題をじっくり読んでおり、また答えを探索するため多くの文書を読んでいるという結果と一致するため信頼できる結果であると考えられる。一方、EMR-9の使用時と比較して、準備や時間、被験者の負担を大幅に減少させることはできたが、データ処理に一部操作が必要で、生徒自身が自分でそれを操作して視線データの集計結果を確認することは現状、困難である。今後、問題回答、視線計測から結果の提示までの一連の流れを自動化し、生徒が日常の学びの中で自分の視線データの傾向を知り、改善させるツールとして活用できるようにしたいと考えている。

4. 結言

本研究ではまず、マーキングの有無が視線移動に与える影響について EMR-9 を使用して計測した。マーキングの有無が視線移動に与える影響については、成績上位者については問題文のキーワードにマーキングがあれば、それ以外の部分への注視が少なくなり、回答時の視線移動回数も減る傾向が得られた。さらに解答の選択肢である動詞の注視時間が短くなるため、正答を導き出すための時間が減少する傾向がみられた。これはマーキングにより意識が自然にキーワードに向くため認知負荷、特に情報探索の負担が軽減されるためではないかと考える。しかし成績下位者はマーキングが上手く活用できていない、すなわちマーキングされたキーワードに必ずしも視線が集中していない可能性も示唆された。さらに一旦マーキングでキーワードへの意識付けを行っても、その効果はすぐに失われることも示唆された。

しかし我々は先行する研究（Nishimura and Kuwahara, 2015）で、生徒自身が蛍光ペンによるキーワードへのマーキングを繰り返し訓練することで国語による登場人物・場所・時間などのキーワードの記憶力や算数における計算力が向上することを示している。このため我々は、蛍光ペンによるマーキングは単

に情報探索の負荷を軽減するだけでなく、日々の訓練によるキーワードへの無意識の意識付けの効果も無視できないと考えている。そこで現在、e-ラーニング用のマーキング訓練コンテンツを作成しており、訓練により得られる学習者の視線データなどの変化を中、長期的に観察している (Nishimura and Kuwahara, 2017)。

このためには日常的な学びの場で使用できる評価システムが必要である。このためトビーテクノロジー社の視線計測装置を用い、得られたデータを評価するシステムを開発した。実験の結果、成績上位群と下位群の視線データの特徴について予想される結果が得られた。また、実験時の準備、キャリブレーションの時間、被験者への負担など、大幅に軽減する事ができた。今後は評価システムを生徒自身が使用できるように、視線計測から結果表示までの自動化を実現し、日常的な学びの場でこのシステムを使用して学力向上の一助になるようにしたいと考えている。

引用文献

- Card, S. K., Mora, T. P., and Newell, A. (1983). *The psychology of human-computer interaction*. Taylor & Francis.
- 藤好宏樹・吉村和代・Kunze Kai (2015). 英文問題解答時の視点情報を用いた英語能力推定法. 電子情報通信学会技術研究報告, 信学技報, Vol. 115, No. 22, pp. 49-54.
- Kahneman, D. (2014). *Thinking fast and slow*. ハヤカワ・ノンフィクション文庫.
- 西村浩樹・桑原教彰 (2014). 蛍光ペンによるマーキングの有無が及ぼす学習効果に関する一考察. 日本人間工学会中国四国支部大会予稿集.
- Nishimura, H. and Kuwahara, N. (2017). A study on the effect of learning strategy using a highlighter pen on gaze movement. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, Vol. 8, No. 5, pp. 76-83.
- Nishimura, H. and Kuwahara, N. (2015). A study on learning effects of marking with highlighter pen. *Springer Lecture Note on Computer Science*, Vol. 9184, pp. 357-367.
- 西村浩樹・芝田和正・稲塚有紀・桑原教彰 (2015). 蛍光ペンを用いた情報整理方法による視線動向の変化と学習効果に与える影響. 日本人間工学会関西支部大会

講演論文集, pp. 65-68.

Nishimura, H., Shibata, K., Inazuka, Y., and Kuwahara, N. (2016). A study of eye movement analysis for investigating learning efficiency by using a highlighter pen. *Springer Lecture Note on Computer Science*, Vol. 9745, pp. 576-585.

鈴木・木村・堀江・大内 (2002). 蛍光色によるマーキングの効果. 日本人間工学会大会講演集, Vol. 38, pp. 500-501.

掲載：科学・技術研究, 第6巻1号, pp. 59-66 (2017年)

第 14 章

J-POP の想起に関する実験的検討

— 楽曲の構造に着目して —

小槻 智彩

1. 緒言

音楽は主要な娯楽のひとつであり、他の産業の商品と組み合わせて広告に活用されるとともに（生駒, 2015）、医療実践にも応用されている。たとえば、音楽療法では高齢者の記憶想起を促す方法として歌謡曲や童謡・唱歌、民謡など対象者がよく知っている歌の歌唱が有効であるとされ（篠田・高橋, 2000）、高齢期においては肯定的な回想が精神的健康を向上させる可能性が指摘され（野村, 2009）、過去を回想したときの「懐かしい」という感情が高齢者の認知機能を向上させることが報告されている（養命酒製造, 2017）。どのようなときに「懐かしさ」を感じるかについて、「場所」「音楽」「映画・ドラマ」「料理」の4つの選択肢から回答を求めた読者アンケートでは794票中483票が「音楽（青春時代によく聴いた曲がかかった時）」に集まっていることから（養命酒製造, 2017）、身近な音楽が精神的健康の向上に貢献する可能性が考えられる。また、近赤外線分光法（NIRS）を用いた脳科学研究では音楽聴取によるストレス緩和効果も示されている（佐藤他, 2017）。現代の日本においては健康長寿が次世代ヘルスケアの課題となっており、高齢期の身体的健康だけでなく精神的健康も含めて生活の質（QOL）を高めることが求められている。このような課題において、身近な音楽は精神的健康の向上の点から有用であると考えられる。現代の日本において身近な音楽としては、日常的に触れる機会の多いポップ・ミュージック（J-POP）があげられる。前述の議論をふまえると、J-POP は我々

の精神的健康の向上、そして QOL の向上に貢献すると考えられるが、歌そのものがどのように記憶され、思い出されるかについての基礎的研究は非常に少ない。

音楽の記憶は、音楽の構造に基づいた適切な分節によって記憶したほうが無理な分節によって記憶するよりもよく再生されるとされている (Deutsch, 1980)。西洋音楽では通常、楽音 (note)、小節 (bar)、小楽節 (subsection)、大楽節 (section)、楽章 (movement)、そして楽曲全体と構成されており、演奏家の楽曲の記憶はこうした階層構造に基づいた体制化がなされていると言われる (Chaffin et al., 2002)。また日本の童謡や唱歌の記憶では、五七調の五や七に相当する 4~8 音節の「ユニット」と、このユニットが 1 個以上まとまった「フレーズ」が記憶の単位であると示唆されている (村上・米澤, 2002)。歌は冒頭がよく記憶され (Rubin, 1977; 村上・米澤, 2002; Peretz et al., 2004; 齊藤他, 2009)、歌を思い出すときには思い出した箇所がそのあとに続く箇所の手がかりとなるという連鎖的な検索が行われることが指摘されている (Rubin, 1977)。そのため、歌っている途中で続きがわからなくなった場合にはもう一度歌いだしに戻って歌いなおさなければならないが、歌いだしに戻らずに別の箇所から再開することや、歌いだしは思い出せないが途中のある箇所だけは歌えることもある。そのようなときに思い出されやすい箇所 (すなわちアクセスポイント) は歌の構造を反映すると考えられる。J-POP では「A メロ」「B メロ」「サビ」と呼ばれる 3 つの部分からなっていることが多い (大角, 2000)。A メロは歌の滑り出しおよびメッセージ全体の前提を提示する部分であり、B メロではその後のサビで歌い上げられる情緒の準備を行い A メロとサビを接続する。そして、サビは歌の中心となる (長野, 2013)。J-POP を思い出すときには、このような特徴的な構造がアクセスポイントに反映されると考えられる。

また、歌には意味のある歌詞があるため、歌を想起するときには意味による連想や意味的な文脈などが想起の手がかりとなることも予想される。しかし、このような意味は体験による個人差が伴うため統制が難しく、多数の語句からなる歌詞の意味を扱うことは現段階では技術的に困難である。したがって本研究では、歌のタイトルと歌詞で一致する語句の統制のみを行うこととし、音楽

の記憶と音楽の構造との関わりが指摘されていること、また歌の構造は技術的に扱いやすいことをふまえて、歌の構造に着目した検討を行う。

本研究では現代の日本において日常的に触れる機会が多い歌でありながらその記憶について焦点をあてられることのなかった J-POP を扱い、その構造的特徴に着目した検討を行う。先述した西洋音楽および日本の童謡・唱歌の構造をふまえると、J-POP における A メロやサビはフレーズの上位にまとめられ、西洋音楽の大楽節にあたると思われる（図 1）。大楽節である A メロ、B メロ、サビがひとつのまとまりとして繰り返されると 1 番、2 番といったように番号が振られていく。本研究ではこのような J-POP の構造的特徴に着目して歌がどのように思い出されるのかについて実験的に検討する。

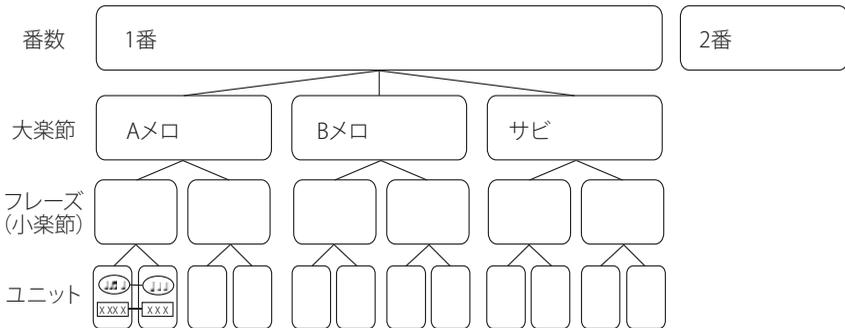


図 1：歌の構造

2. 実験 1

実験 1 では J-POP のタイトルを手がかりとして歌詞とメロディを一緒に再生する歌唱再生実験を行う。覚えている歌を思い出して歌うという行為は日常的な記憶行動でありながらも歌の記憶研究における研究手法として用いられることは少なかった。しかし、歌詞の筆記再生（例えば Rubin, 1977; 村上・米澤, 2002）や歌の再認（例えば Peretz et al., 2004; 齊藤他, 2009）だけでは、歌がどのように記憶され思い出されるのかということを調べるには不十分である。そこで本実験では日常場面に近い歌唱再生課題を行うこととする。歌を思い出

すときには最初から最後まで正しく再生できないことも多く、たとえば A メロのあとに続く B メロを再生せずにサビを再生してしまうこともある。再認課題では実験参加者の反応の仕方が制限されているが、再生課題では実験参加者が“どのような” 誤りをしたかというエラーに関するデータを豊富に集めることが可能である。歌の再生がその構造を反映するのであれば、エラーにも歌の構造的特徴が反映され、エラーの規則性が確認できると考えられる。エラーの分析を行うことで、これまでほとんど研究が行われていない J-POP の記憶について今後検討すべき課題が示唆されると考えられる。

本稿では J-POP に特徴的な構造である大楽節に着目し、ある大楽節の再生が終わったあとの次の再生がどのように続けられるかについて分析を行う。具体的には、大楽節の再生が終わったあと次の正しい大楽節が再生されるか、あるいは別の大楽節が再生されるかを調べ、別の大楽節が再生されたときには大楽節のどの箇所から再生が続けられたかについて分析する。

2.1 刺激材料

実験参加者がよく知る歌として、実験参加者が小学生から高校生までの時期であった 2004 ～ 2013 年に音楽の教科書（教育芸術社、教育出版、音楽友之社、東京書籍）に掲載された歌および同じ期間のオリコンチャート上位曲（オリコン・エンタテインメント, 2005 ～ 2009; オリコン・リサーチ, 2010 ～ 2014）を対象曲とした。このうち番数が複数あり、A メロやサビといった構造を持つ歌を材料とした。ここではタイトルを手がかりとするが、タイトルと歌詞の記憶はともに言語要素であることによる結合の強さが指摘されている (Peynircioğlu et al., 2008)。したがってタイトルが手がかりとなった場合はタイトルと歌詞の共有箇所が再生されやすくなると考えられる。そこでタイトルと歌詞の結合の強さが歌の再生に及ぼす影響を統制するために、タイトルと歌詞の共有箇所が異なる歌を選定し、①「野に咲く花のように（タイトルと 1 番 A メロ冒頭の歌詞共有）」、②「千の風になって（タイトルとサビの歌詞共有）」、③「ハナミズキ（タイトルと 1 番 A メロ冒頭・サビ以外の歌詞共有）」、④「翼をください（タイトルに含まれる単語と歌詞共有）」、⑤「旅立ちの日に（タイトルと歌詞の共

表 1：実験に用いた各歌の構造

	1 番	2 番	3 番	
①野に咲く花のように	ABS	ABS	—	—
②千の風になって	AS	AS	AS	S'
③ハナミズキ	ABS	ABS	ABS	S'
④翼をください	AA'S	AA'S	—	—
⑤旅立ちの日に	ABS	ABS	—	CC'

注：A=Aメロ、B=Bメロ、C=Cメロ、S=サビ、A'・S'・C'は各大楽節の繰り返し。

有なし)」の5曲を用いた。5曲の歌の構造を表1に示す。また、以後では1番Aメロ冒頭を「歌冒頭」と表記する。

2.2 実験方法

歌唱を含む実験であることを告知した上で実験参加者を募集し、日本語を母語とする女子大学生28名（平均年齢20.3歳）が実験に参加した。実験は個別に行い、実験参加者は呈示されたタイトルを手がかりに歌を想起し、想起した箇所から再生を開始した。実験参加者が歌のすべてを再生、あるいはそれ以上思い出せないと判断した時点で再生が終了された。歌の再生は歌詞またはメロディのみの再生になってもよく、メロディだけの歌唱の場合には「ラララ」やハミングで歌唱した。また、思い出した箇所を思い出したように歌唱するように教示された。テンポの指定は行われなかった。練習試行後に本試行を行い、実験参加者に了承を得てICレコーダーで録音した。

2.3 分析方法

2.3.1 分析対象

各歌の歌詞とメロディがともにある箇所を分析対象とした。5曲の歌それぞれについて28人の実験参加者が行った全140歌唱（以下、各々の歌唱を「ケース」と呼ぶ）のうち、タイトル呈示後30秒以内に再生が開始されたケースを分析対象とする。タイトルから再生が行われなかったケースは30ケースであ

り、30秒を超過して再生された8ケース、本実験の練習や他の歌の歌唱中など課題となる歌の歌唱前にその歌を想起したことが報告された5ケース、課題とは異なる歌を再生した1ケースは対象から除外した。分析対象となったケースは96ケースであった。

2.3.2 歌詞とメロディの判定

歌詞またはメロディが正しく再生されたかについて、歌詞およびメロディそれぞれの一音ずつに対して以下の基準により判定した。判定者はピアノの演奏経験を20年以上もつ実験者であり、メロディは実験参加者の声をピアノ音で確かめながら判定を行った。メロディの判定は、Sloboda and Parker (1985)を参考にピッチとリズムの要素にわけて行った。

歌詞 名詞や動詞、形容詞などの内容語だけではなく助詞、助動詞の機能語も判定の対象とした。「ゆく」を「いく」と再生した場合は正しい再生とした。

メロディ ピッチとリズムについて判定を行い、どちらも正しく再生されているものを正しい再生とした。ピッチについては相対音程も正しいとした。リズムについては休符の直前の音の長さは問わないものとし、楽譜上の長さとも異なってもよいとした。これは多くの場合、再生中の息継ぎと関わるためである。同様の理由で、楽譜上で4分音符よりも長い音については4分音符の長さを超える部分の判定は行わなかった。

2.3.3 再生された大楽節の判定

本実験では再生された大楽節の終わりに着目して分析を行うため、どの大楽節が再生されたのかを同定する必要がある。各ケースにおいて再生された大楽節の判定を行った。判定は「1番Aメロ」など番数と大楽節によって行った。大楽節ごとに、一緒に再生された歌詞とメロディがどの大楽節のものであるかを判定し、歌詞とメロディのうち一方の要素しか再生されていない場合は、再生された要素で判定した。大楽節を構成する小節がすべて再生されているかどうかは問わず、大楽節内に部分的な誤りや再生されない箇所があった場合には正しく再生された歌詞およびメロディに基づいて判定を行った。複数の番数や

大楽節が混在して再生された場合は、再生された小節数の過半数を占めて再生された番数または大楽節として扱った。過半数と判定できないものは判定不能とした。

2.3.4 大楽節の終わりに続く再生の判定

ある大楽節の再生が終わったあとに、どのように再生が続けられたかについて判定した。判定は、(a) 次の正しい大楽節が続けられる、または (b) 別の大楽節が続けられる、のどちらかとし、(b) をエラーとした。さらに (b) のときには別の大楽節がどのように続けられたかについて調べた。(a) (b) の例を図2に示す。(a) では1番Aメロの再生が終わったあとに次の正しい1番Bメロが再生され、1番Bメロの再生が終わったあとにも正しい1番サビが続けられている。(b) では1番Bメロの再生が終わったあとに別の2番Aメロが続いており、このような場合をエラーとした。2.3.3. で判定不能となった大楽節は分析対象外とし、判定不能の大楽節のあとに続けて再生された大楽節も分析から除外した。

2.4 結果と考察

ケース単位で再生開始から終了まですべての大楽節でエラーがなかったものは96ケース中43ケース、エラーがあったものは52ケース、再生されたすべての大楽節が判定不能であったものが1ケースであった。エラーが複数回生じ



(a) 正しい大楽節の再生が続けられる



(b) 別の大楽節の再生が続けられる (エラー)

図2：大楽節の終わりに続く再生の判定

注：数字は歌の番数、A=Aメロ、B=Bメロ、S=サビを表す。

ているケースもあり、エラーがあった 52 ケースで生じたエラーの合計は 65 個であった。

65 個のエラーについて、大楽節の終わりに続いて再生された箇所（図 2 (b) では 1 番 B メロの再生が終わったあと 2 番 A メロのどの箇所から再生されたか）を分類した。分類結果を表 2 に示す。歌冒頭と歌冒頭以外の大楽節冒頭をあわせると、全体の 80 % で大楽節の冒頭が続けて再生されていた。大楽節の途中に再生が続くことは全体の 20 % に満たなかった。ここではある大楽節が再生されたあとに正しい大楽節とは異なる大楽節が再生される場合をエラーとしたが、その境界で常に実験参加者の再生の詰まりや中断がみられたわけではない。“再生をやりなおす”という意図的な検索がなかったにも関わらず、このような場合には大楽節の冒頭が続けて再生されやすかったことから、大楽節の冒頭が歌の再生におけるアクセスポイントとして機能していると考えられる。

表 2：別の大楽節を再生したときの続き方

大楽節冒頭		大楽節途中	異歌	計
歌冒頭	歌冒頭以外			
13	39	12	1	65
(20.0 %)	(60.0 %)	(18.5 %)	(1.5 %)	(100.0 %)

3. 実験 2

実験 2 では実験 1 の結果をふまえて、J-POP の記憶再生において大楽節の冒頭がアクセスポイントとして機能しているという仮説について、統制された実験によって検証する。ここではメロディを手がかりとした歌詞の筆記再生実験を行う。歌の想起は連鎖的な検索に基づいて行われるため (Rubin, 1977)、実験 1 では実験参加者自身が再生した箇所を手がかりとして続きの歌を再生していたと考えられる。そこで実験 2 では歌の一部を手がかりとして呈示し、続きの再生を求める。歌詞よりもメロディのほうが既知判断の決定が優位であり (齊藤他, 2009)、歌を再生するときにはメロディに基づいて歌詞が想起されることから (Rubin, 1977; 村上・米澤, 2002)、メロディを手がかりとした歌詞の再生

実験を行い、大楽節の冒頭と大楽節を構成する下位の単位であるフレーズの冒頭の再生を比べる。大楽節冒頭が記憶のアクセスポイントとして機能するのであれば、大楽節冒頭の歌詞はフレーズ冒頭の歌詞よりも再生されやすいと予想される。一方、フレーズ冒頭も大楽節冒頭と同等にアクセスポイントとして機能するのであれば、大楽節冒頭の歌詞とフレーズ冒頭の歌詞の再生成績に差はないと予想される。

手がかりとして呈示する箇所は大楽節の最後およびフレーズの最後とする。大楽節条件では大楽節の最後のメロディを呈示し、その後続く次の大楽節冒頭の歌詞の再生を求める。フレーズ条件では大楽節の途中のフレーズ最後のメロディを呈示し、その後続くフレーズ冒頭の歌詞の再生を求める(図3)。なお、大楽節はフレーズから構成されるものであるため、大楽節の終わりはフレーズの終わりでもある。本研究において「フレーズの終わり」と呼ぶものは、大楽節の途中にあるフレーズの終わりとする。同様に「フレーズ冒頭」も大楽節冒頭ではなく大楽節の途中にあるフレーズの冒頭である。

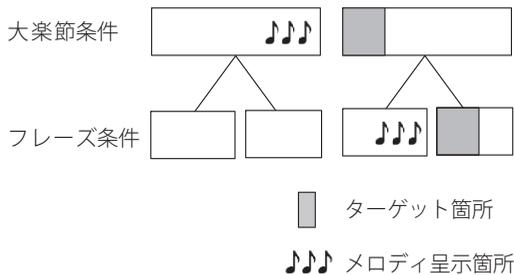


図3：大楽節条件とフレーズ条件の刺激メロディ箇所とターゲット箇所

3.1 刺激作成

実験1と同じJ-POP5曲を材料とし、大楽節終わりおよびフレーズ終わりの2小節のメロディを音声刺激とした。刺激メロディと同じメロディが歌の他の箇所にある場合と、刺激メロディに続くメロディが複数ある場合はその刺激メロディを除外した。さらに大楽節終わりとフレーズ終わりの刺激メロディの個

数が等しくなるように調整した。実験に用いる刺激数は大楽節終わり 7 個、フレーズ終わり 7 個の計 14 個であった。刺激メロディ 14 個の呈示順序はランダムとした。

呈示する刺激メロディに休符が多く含まれると音数が少なくなりメロディの認知が難しくなると予想される。5 曲の歌はすべて 4 分の 4 拍子であったため、大楽節やフレーズの最後が休符となっている場合は休符を除いた 8 拍分を基本とした上で刺激メロディが自然なまとまりとなるように呈示箇所の範囲を調節した。課題に用いない歌を材料として練習試行のための音声刺激を作成した。

刺激メロディは、楽譜・音楽作成ソフト MuseScore1.3 を用いてキーボード(ピアノ)の音色による単音で作成した。音声刺激の呈示法に関しては、時間を圧縮して一定の呈示時間にする方法と、自然なテンポで長短の呈示時間にする方法がある(齊藤他, 2009)。本実験では各歌固有のテンポやメロディを重視して自然なテンポで音声刺激を作成した。刺激メロディの長さの平均は 5.68s ($SD = 1.83$)、音韻数平均は 9.57 ($SD = 2.29$) であった。

3.2 実験方法

日本語を母語とする女子大学生 22 名を実験参加者として普通教室で集団実験を行った。音声刺激はステレオスピーカーを通して、実験参加者にとって十分な音量で呈示した。実験参加者は個別に配布された回答用紙に回答を記入した。回答用紙は 1 ページにつき 1 試行の回答欄が掲載されていた。各試行の実施方法は、次の (a) (b) の順に行った。(a) 合図音のあとに刺激メロディを呈示し、その直後 15 秒間に刺激メロディのあとに続く歌詞をできるだけ想起して記入することを求めた。想起する歌詞は 1 番のものとし、1 番がわからない場合は他の番数でもよいとした。(b) 歌詞の回答後、想起した歌詞が 1 番以外のものであったかどうかの回答を求めた。また歌詞の想起のしやすさを 5 段階 (1:非常に想起しにくい~5:非常に想起しやすい) で評定するように求めた。刺激メロディを初めて聴いた場合は 1 を回答するように教示した。

3.3 分析方法

大楽節またはフレーズの最初の1小節を分析に用い、再生された歌詞のうち1小節分の歌詞が正しく再生されたかについて判定を行った。判定は助詞も含めて1音単位で行い1小節の歌詞がすべて正しく再生されていれば「正再生」とした。漢字の誤表記は問わないものとした。1番以外の歌詞再生を報告した場合は、他の番数の歌詞を参照して判定を行い、正しく再生されていれば「正再生」とした。各条件におけるターゲット歌詞の最初の1小節の正答率を実験参加者ごとに算出した。

3.4 結果と考察

大楽節冒頭とフレーズ冒頭の歌詞の正答率を図4に示す。正答率についてt検定を行った結果、大楽節冒頭の正答率はフレーズ冒頭よりも有意に高かった ($t(21) = 4.23, p < .001$)。また、正しい歌詞が再生されたときの想起のしやすさについて大楽節冒頭とフレーズ冒頭で比較した。実験参加者ごとに算出した評定平均値についてt検定を行った結果、大楽節冒頭の歌詞はフレーズ冒頭よりも有意に想起されやすかった ($t(21) = 2.92, p < .05$)。

J-POPの大楽節冒頭の歌詞はフレーズ冒頭よりも再生成績がよく、想起も容易であったことから、J-POPではフレーズから構成される大楽節という大きな単位の冒頭がアクセスポイントととして機能しているという仮説が支持され

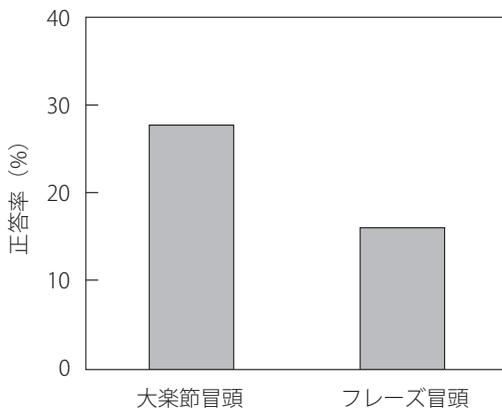


図4：各条件の歌詞の正答率

た。

4. 結言

本研究の目的は我々にとって身近な音楽である J-POP がどのように思い出されるのかをその構造的特徴に着目して検討することであった。まず実験 1 では歌唱再生実験を行い、大楽節の終わりで生じたエラーに焦点をあて、そのあとに続く箇所について検討した。その結果、J-POP を思い出して歌うときには大楽節冒頭がアクセスポイントとして機能していることが示唆された。実験 2 では大楽節冒頭がアクセスポイントとして機能しているという仮説を検証することを目的とし、大楽節終わりとは大楽節途中のフレーズ終わりのメロディを手がかりとし、その後続く次の大楽節冒頭またはフレーズ冒頭の歌詞を再生する実験を行った。その結果、大楽節冒頭の歌詞はフレーズ冒頭の歌詞よりも再生されやすく、仮説は支持された。

大楽節冒頭には歌冒頭である 1 番 A メロの冒頭も含まれる。歌冒頭の再生がよいことはこれまでも報告されており、本研究の結果と一致するものである。しかし先行研究において、歌冒頭とその直後の箇所 (Peretz et al., 2004) や歌冒頭と歌の中央の箇所 (齊藤他, 2009) など歌の一部のみを扱った研究では歌の構造には着目されておらず、歌全体を扱った Rubin (1977) でも歌唱時に息継ぎを行う箇所として歌の切れ目のみが着目され、歌の階層構造については検討されなかった。村上・米澤 (2002) ではユニットとフレーズが記憶におけるまとまりの単位とされたが、ここで題材とされた歌は大楽節をもたない日本の童謡・歌唱であった。このように J-POP における A メロやサビといった大楽節は特徴的な構造でありながら、歌の記憶との関連は検討されてこなかったが、本研究では J-POP の構造に着目した検討を行うことで歌冒頭以外の大楽節も歌の記憶再生に機能するという重要な示唆が得られた。

最後に今後の課題を 2 点あげる。ひとつめは刺激材料の統制である。本研究では実験参加者がよく知っている J-POP として教科書に掲載されている歌およびオリコンチャート上位曲から選定したが、個人間で歌に対する親密度や記憶箇所が異なる可能性は十分に考えられる。今日の J-POP は多様であり、日常場

面で記憶される歌の統制は容易ではないが科学的検証を行う上では重要な課題である。

ふたつめは歌唱再生実験における分析方法である。J-POPの歌唱再生では歌詞やメロディの部分的な誤りや再生されない箇所など多岐にわたるエラーがみられた。研究目的に応じた適切な分析方法の検証が必要である。たとえば本研究では再生された大楽節間の境界に着目して分析を行ったが、エラーの検討箇所として大楽節の終わりが妥当であったかについては今後検討すべきである。また再生された大楽節の判定では、再生された小節の過半数を占めて再生された大楽節や番数として扱った。しかし大楽節内の部分的な誤りは考慮していないため、歌の再生箇所に対する判定基準についても今後検討する必要がある。

引用文献

- Chaffin, R., Imreh, G., and Crawford, M. (2002). *Practicing perfection: Memory and piano performance*. Lawrence Erlbaum Associates.
- Deutsch, D. (1980). The processing of structured and unstructured tonal sequences. *Perception and Psychophysics*, Vol. 28, No. 5, 381-389.
- 生駒忍 (2015). 産業音楽心理学. 星野悦子 (編). 音楽心理学入門. 誠信書房.
- 村上晴美・米澤好史 (2002). 日本人の歌の記憶一質問紙を用いたタイトルからの再生一. *認知科学*, Vol. 9, No. 2, 230-243.
- 長野俊樹 (2013). J-POP バンド “スピッツ” の旋律構成に関する研究. 福岡教育大学紀要, 第五分冊, 芸術・保健体育・家政科編 (62), 1-8.
- 野村信威 (2009). 地域在住高齢者に対する個人回想法の自尊感情への効果の検討. *心理学研究*, Vol. 80, No. 1, 42-47.
- オリコン・エンタテインメント (2005～2009). オリコン年鑑 2004～2008. オリコン・エンタテインメント.
- オリコン・リサーチ (2010～2014). ORICON エンタメ・マーケット白書 2009～2013. オリコン・リサーチ.
- 大角欣也 (2000). 宇多田ヒカルの《Automatic》—楽曲分析を通して見るその恋愛政治学—. 村田 公一 (編). 宇多田ヒカル “Automatic” の学際—総合—研究—90年代売れ筋日本語ポップスの総決算—, JASPM ワーキング・ペーパー・シリーズ, No. 8, 6-15. 日本ポピュラー音楽学会.
- Peretz, I., Radeau, M., and Arguin, M. (2004). Two-way interactions between music

- and language: Evidence from priming recognition of tune and lyrics in familiar songs. *Memory and Cognition*, Vol. 32, No. 1, 142-152.
- Peynircioğlu, Z. F., Rabinovitz, B. E., and Thompson, J. L. W. (2008). Memory and metamemory for songs: The relative effectiveness of titles, lyrics, and melodies as cues for each other. *Psychology of Music*, Vol. 36, No. 1, 47-61.
- Rubin, D. C. (1977). Very long-term memory for prose and verse. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, Vol. 16, No. 5, 611-621.
- 佐藤苑子・渡部誠二・柳本憲作・穴戸道明 (2017). ストレス緩和のための聴覚・嗅覚刺激が前頭前皮質に及ぼす影響. *科学・技術研究*, Vol. 6, No. 1, 25-30.
- 齊藤陽子・佐久間尚子・石井賢二・水澤英洋 (2009). 歌の認知における詞とメロディの役割—歌の認知はなぜ速いのか?—. *心理学研究*, Vol. 80, No. 5, 405-413.
- 篠田知璋・高橋多喜子 (2000). 高齢者のための実践音楽療法. 中央法規出版.
- Sloboda, J. A. and Parker, D. H. H. (1985). Immediate recall of melodies. In P. Howell, I. Cross, and R. West (Eds.), *Musical structure and cognition*. Academic Press.
- 養命酒製造 (2017). 月刊元気通信 2017年3月号. <https://www.yomeishu.co.jp/genkigenki/feature/170227/>. (閲覧日: 2018年6月16日)

掲載: 科学・技術研究, 第7巻1号, pp.55-60 (2018年)

第 15 章

高校生の友人関係と SNS 利用に伴うネガティブ経験

中山 満子

1. はじめに

スマートフォン（以下、スマホ）の爆発的普及に伴い、いつでもどこでもインターネットにアクセスできるようになった。スマホの特徴は多重的な機能と利便性にあり、使い道は個人・世代によって大きく異なるが、10代、20代の若者のスマホからのインターネット利用時間はここ数年間でも増加傾向にあり、特に10代ではSNS（Social Networking Service）利用時間が長いことが報告されている（総務省, 2017）。また若年層を対象にして内閣府（2017）が行った調査によれば、中学生のスマホ利用率が60%弱であるのに対して、高校生では95%をこえ、高校生にとってスマホは必須のコミュニケーションツールとなっている。この内閣府の調査では、高校生のインターネット利用者のうちほぼ9割がインターネットで「コミュニケーション」していると回答している。「コミュニケーション」には、ソーシャルメディア、メッセージング、メールが含まれており、総務省の調査とあわせてみると、高校生がスマホを介して行うコミュニケーションの多くがSNS上で行われると考えられる。

SNSの定義は明確に定まっているわけではないが、本論文では河井（2012）に従い、「既存の社会的つながりの維持や新たな社会的つながりの構築を支えるためのオンラインサービス」と広く捉えることとする。今日の日本では、LINE、Twitter、Instagram、Facebookなどがこれに該当する。1990年代後半から2000年代初頭には、携帯電話（フィーチャーホン）が若者に浸透し、そ

の使用が友人関係に影響を及ぼすという議論が行われた。携帯メールと SNS には様々な相違点があるが、ここでは二つの点に注目し、SNS の特徴がネガティブ経験に通じることを論じる。一点目は、メールに比べて SNS の方が“新たなつながり”を生む可能性が高いということ、二点目は SNS には多様な“可視化”の機能が組み込まれているということである。

新たなつながりの生成については、橋渡し型社会関係資本の醸成（宮田, 2005）などポジティブな側面も指摘されるが、中尾（2017）が高校生のインタビューデータから報告しているように、見ず知らずの人からのコメントや友達申請、あるいは商業的な勧誘などに不安や苛立ちを感じるなどのネガティブな影響もあると考えられる。また、新たなつながりを生み出せなかった者にとっては、そのこと自体がネガティブ経験になりうる。これは、二点目の可視化機能とも連動している。すなわち SNS では、誰と誰がつながっているのかといったつながりの様相、SNS でのつながり（友人数）の多寡、あるいは新規につながりが生まれているかといったことも見えてしまい、そのことが社会的比較やネガティブ感情を生じさせるのである。このようなつながりの可視化に加えて、やりとりが一覧表示され履歴が残ることによるコミュニケーション自体の可視化、さらには「いいね！」の数に象徴されるような他者からの評価の可視化も SNS の特徴である。テキストだけでなく写真や動画を投稿、共有できることもコミュニケーションの可視化、評価の可視化を補強している。そして、このような多様な SNS の特徴が、若者の間でいわゆる「SNS 疲れ」（加藤, 2013; 二宮他, 2016; 中尾, 2017）や「SNS ストレス」（岡本, 2017）といわれるネガティブ経験を生み出していると考えられる。

このように、SNS 自体の特徴や、そこに組み込まれた機能が SNS 利用に伴うネガティブ経験の要因となるが、若者がもつ友人関係の特徴もまた、それらの要因になると考えられる。青年期における友人関係については、これまでに多くの研究が行われてきている。大学生を対象とした研究が多いが、いくつかの研究では大学生と高校生の違いが指摘されている。例えば、落合・佐藤（1996）では、高校生の友人関係には明らかな特徴が見出されていないが、大学生になると選択的で深いつきあい方が増えることを示している。また高坂（2010）は、

大学生になると他者から異質視されることへの不安が相対的に減少することを示している。一方、榎本（1999）は、高校生（特に女子）が排他的な一定単位の仲間集団を形成し、友人関係が閉鎖的であると述べている。

また現代青年の友人関係の特徴として、しばしば希薄化の傾向が指摘されてきた。希薄化とは、友人と深くつきあうことを避け、表面的で快適な関係を築こうとする傾向である。一方で、現代の若者の姿を見ると、携帯やスマホなどのメディアを手放せず、常に友人とつながっていたいという緊密化の様相もみられる。この点については、多くの研究が、今日の若者が相手に気をつかいながら、深入りすることなく、お互いに心地よい関係を志向するということを指摘している。岡田（1995; 2005; 2007; 2011）は一連の研究で、大学生と高校生を含む現代青年の友人関係について、自己閉鎖、傷つけられることの回避、傷つけることの回避、快活的関係という4つの傾向を測り、類型化している。すなわち、自他が傷つくことを避けつつ円滑な関係を志向する群、友人関係から回避し自分にこもる傾向を有する群、そして内面的友人関係を志向する群の3群を見出し、前の二つを現代青年に特有の友人関係とした。

これらの議論を踏まえると、若者の中でも高校生は、大学生ほど友人関係が選択的ではなく、異質視されることへの不安や閉鎖的な仲間関係から外れることへの不安を抱えており、その中で互いに気をつかいながら快適な関係を築こうとする特徴を有すると考えられる。そして、そのような関係のあり方と「つながりの維持・構築を支える」道具である SNS 利用の間には密接な関係があると予想される。そこで本研究では、若者の中でも特に高校生を対象として、友人関係と SNS 利用について検討する。

現代的な友人関係とメールや SNS の利用については、これまでにいくつかの研究がなされてきている。赤坂・坂元（2008）は携帯電話の使用と友人関係の関係を調べ、高校生では虚構の一体感や情緒的依存が高いほど、友人との密着性（嫌われないように相手にあわせてつきあう傾向）が高まるという結果を得ている。これは、メールを介して本心を隠して取り繕うようなやり取りを行い、それがないと情緒的な欠乏を感じ、嫌われないように相手にあわせて、いつも一緒にいるという現代的な高校生の姿を示していると解釈された。また時

岡他（2017）は、岡田（2007；2011）の研究を踏まえて高校生の友人関係とLINEへの認知の関係を検討している。そして傷つけられることの回避が、LINEによるつながり感といったポジティブな側面にも、即時返信へのとらわれ、既読無視への不安などのネガティブな側面にも影響していることを示した。時岡らは、友人関係のとり方からLINEへの認知の方向での影響を検討しているが、議論においては、LINE認知の因子ごとに、友人関係のどの因子からの影響があるかという観点の分析にとどまっており、どのような友人関係のとり方がLINE利用や利用によるトラブルや心理的負担につながるのかといった考察はあまりなされていない。

さらにSNSが新たなつながりを生む装置であることから、SNS利用によるネガティブ経験には、携帯メールで体験されたような既存の友人関係におけるトラブルにとどまらず、より幅広い問題やリスクが含まれている点にも着目する必要がある。前述の中尾（2017）では、見知らぬ者の接近や商業的勧誘などの高校生のネガティブ経験が語られており、大学生はSNSが自他に及ぼす影響や危険度について認識して利用しているのに対して、高校生はそのような認識が希薄である可能性が指摘されている。そこで本研究では、SNS利用から生じる多様なネガティブ経験を検討の対象とする。

以上から本研究の目的は、高校生の友人関係を岡田にならって類型化し、そのうえでSNS利用に伴うネガティブ感情やネガティブ経験との関連を検討することである。

2. 調査方法

2.1 対象者と実施方法

近畿圏の公立A高等学校の1年生を対象に、授業時間内において集団で調査を実施した。本論文で報告するデータは、高校生のSNS利用と友人関係について調べるために、平成29年11月中旬と約1か月後の12月中旬に、個人を対応づけて2回にわたって行った調査データの一部である。調査は、SNS利用実態や利用動機、友人関係、ソーシャルサポートなど多岐にわたる項目からなっていたが、ここでは、1時点目で尋ねたSNS利用状況と友人関係のあり方、お

よび2時点目で尋ねた直近1か月間のSNS利用時間とSNS利用に伴うネガティブ経験について分析する。調査にあたっては、授業時間中に教科担当教諭が調査の目的、2回の調査を対応づけるために出席番号を記入すること、回答は任意であることを教示し、一斉に実施し、その場で回収した。

1時点目225名（男子65名、女子160名）、2時点目227名（男子65名、女子162名）のデータを得た。本論文では、1時点目と2時点目のデータの対応がついた者のうち、回答に不備がある者、および9割以上の設問に同じ回答をしている者を除き、175名（男子41名、女子134名）を分析対象とした。なおA高等学校は、全体に男子よりも女子の生徒数の多い高校であり、このために本データにおいても女子の割合が高くなった。

2.2 質問項目

2.2.1 友人関係のあり方

友人関係尺度（岡田, 2007）を用いた。自己閉鎖（例：本当の気持ちは話さない）、傷つけられることの回避（例：友だちからどう見られているか気にする）、傷つけることの回避（例：相手に自分の意見を押しつけないよう気をつける）、快活的関係（例：冗談を言って相手を笑わせる）を想定した42項目に「全くあてはまらない(1)」～「よくあてはまる(5)」の5件法での回答を求めた。

2.2.2 SNS利用に伴うネガティブ経験

SNS利用に伴うネガティブ経験の測定には、SNS利用に関連した広範囲なネガティブ感情やネガティブ経験を対象としているSNSストレス尺度（岡本, 2017）を用いた。閲覧強迫（例：定期的に見ていないと大事な情報を見落とすのではないかと不安になる）、情報拡散不安（例：一度投稿すると、情報がどこまで広がるかわからず不安である）、友だち申請の拒絶（例：面識のない人から友だち申請されると、いやな気持ちになる）、社会的比較（例：楽しそうな投稿を見ると嫉妬してしまう）、過剰なつながり（例：常にSNSで人とつながっている気がして疲れる）、SNSと現実のギャップ（例：実際に会ったときとSNSでの態度のギャップに戸惑うことがある）、背伸び（例：何か良いこと

を投稿しなければと、無理に背伸びをしてしまう) の7因子を想定した26項目に、「全くあてはまらない(1)」～「よくあてはまる(5)」の5件法で回答を求めた。なお岡本は、「SNSを利用しているときに、嫌だ、不愉快だ、煩わしいと感じること」について予備研究で収集して尺度を作成し、これにより「SNSストレス」を測定するとしている。しかし、この尺度で測る概念とストレス理論との関係は明確にされていないため、本研究では「ストレス」という用語は使用せず、種々のネガティブ感情の生起も含めてネガティブ経験（以下、SNSネガティブ経験）と呼ぶことにする。

2.2.3 SNS利用状況

SNS利用については、1時点目にLINEトーク機能（以下、LINEと表記）、Twitter、Instagramの利用の有無、2時点目に、直近1か月間のSNS利用時間を尋ねた。利用時間は一日の平均利用時間を平日・休日別に記入することを求めた。

3. 結果

分析は、SPSS24.0を用いて行った。友人関係についての研究では性差がみられるという知見も多いが、本研究では人数に偏りがあり男子のデータが少ないことから、一括して分析することとする。

3.1 友人関係

友人関係尺度については、岡田（2007）の結果にあわせて検討した。該当する項目を選定し、Cronbachの α 係数によって信頼性を確認して信頼性を下げる項目を除外したうえで、素点の加算平均を得点とした。最終的に採用した項目は、自己閉鎖16項目（ $\alpha = .746$ ）、傷つけられることの回避7項目（ $\alpha = .803$ ）、傷つけることの回避8項目（ $\alpha = .833$ ）、快活的関係6項目（ $\alpha = .860$ ）であった。項目一覧は付録に示す。

次に各下位尺度得点をもとにクラスター分析(Ward法)を行った。その結果、解釈可能な3クラスターを得た。得点を標準化したうえで、クラスターごとの

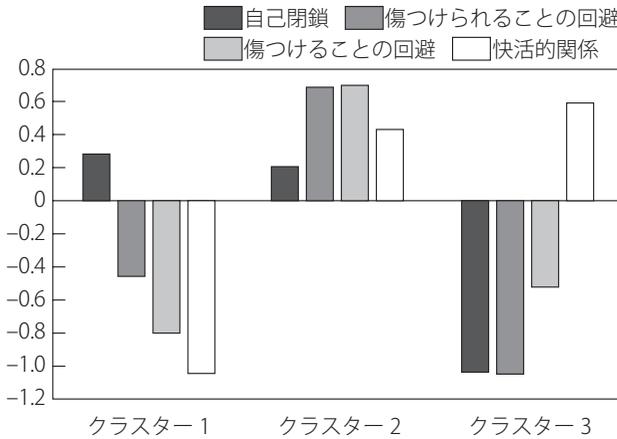


図 1：友人関係の種類

平均値を求めたものを図 1 に示す。これらは、おおむね岡田（2007; 2011）が示す 3 クラスターに対応しているため、これにならって議論していく。

クラスター 1 は、自己閉鎖のみが正の得点であり、他のクラスターよりも高く、また快活的関係は最低で標準得点は負の値をとっている。岡田（2011）でも類似のクラスターが得られており、関係回避群と命名されているので、本論文でもこれにならい関係回避群とする。岡田（2007）によれば、このような友人関係を回避し、自分にこもる傾向は、現代的な友人関係のひとつの型であると言われる。

クラスター 2 は、すべての得点が正であるが特に傷つけられることの回避、傷つけることの回避得点が高い。また快活的関係得点も比較的高い。自他ともに傷つけられることを回避しながら、円滑な関係を築こうとする群で、岡田（2011）において、気づかい・群れ群と命名された現代青年に特有な友人関係と考えられる。

クラスター 3 は快活的関係のみが正であり、自己閉鎖、傷つけられることの回避ともに低い。岡田（2007）によれば、この群は内面的な友人関係を志向する従来型の青年観に一致する特徴を有する。岡田（2011）にならい内面関係群と命名する。

3.2 SNS 利用

SNS利用状況としては、175名中LINEは167名(95.4%)、Twitterは142名(81.1%)、Instagramは96名(54.9%)が利用していた。いずれのSNSも利用していない2名を以降の分析から除外した。この2名は、上記の友人関係のタイプでは、1名が気づかい・群れ群、1名が内面関係群であった。

LINE、Twitter、Instagramそれぞれの直近1か月でのSNS利用時間(平日と休日の一日あたりの利用時間の平均)を求めた。LINEが1.9時間($SD = 2.4$)、Twitterは2.3時間($SD = 2.5$)、Instagramが1.1時間($SD = 2.1$)であった。利用時間については自由記述での回答を求めたが、いずれのSNSでも最大値は1日あたり15時間と回答されており、やや回答の精度に疑念がある上に欠損値も見られたが、ここでは参考までに分析に加える。

3.3 SNS ネガティブ経験

SNS ネガティブ経験は、岡本(2017)の研究2に示されたSNSストレス尺度に基づいて得点化した。閲覧強迫5項目($\alpha = .824$)、情報拡散不安5項目($\alpha = .880$)、友だち申請の拒絶3項目($\alpha = .826$)、社会的比較3項目($\alpha = .835$)、過剰なつながり3項目($\alpha = .787$)、SNSと現実とのギャップ4項目($\alpha = .863$)、背伸び3項目($\alpha = .853$)であった。

3.4 友人関係のタイプと SNS 利用

友人関係のタイプ別のSNSネガティブ経験およびLINE利用時間の平均値を表1に示す。友人関係とSNSネガティブ経験の関連を検討するために、3つのクラスターを独立変数、SNSネガティブ経験を従属変数とする一要因分散分析を行った。その結果、閲覧強迫、情報拡散不安、および社会的比較においてクラスターの効果が有意であり、いずれも気づかい・群れ群が内面関係群に比べてSNSネガティブ経験の値が高いことが示された。また、SNSネガティブ経験の総得点においても、気づかい・群れ群が高いことが示され、傷つけられること、傷つけることを回避し、円滑な友人関係を志向する高校生が、SNS利用に伴うネガティブ経験が多い傾向があることが明らかになった。

表 1：友人関係の類型と SNS ネガティブ経験、LINE 利用時間

	1. 関係回避群 (n = 55)	2. 気づかい・群れ群 (n = 86)	3. 内面関係群 (n = 32)	F	
SNS ネガティブ経験					
総得点	57.71	63.43	54.38	3.17 *	3 < 2
閲覧強迫	2.04	2.26	1.88	3.43 *	3 < 2
情報拡散不安	2.20	2.54	2.06	4.00 *	3 < 2
友だち申請	2.16	2.22	2.00	n.s.	
社会的比較	1.92	2.16	1.73	3.21 *	3 < 2
過剰なつながり	2.07	2.16	1.83	n.s.	
ギャップ	2.15	2.41	2.34	n.s.	
背伸び	1.79	1.85	1.52	n.s.	
LINE 利用時間	1.69	1.72	2.91	3.50 *	1, 2 < 3

注：「ギャップ」は「SNS と現実のギャップ」、* $p < .05$ 。

表 2：友人関係の類型と SNS 利用パターン（人数）

	関係回避群	気づかい・群れ群	内面関係群	計
LINE のみ	12	12	1	25
LINE と Twitter	16	28	6	50
全部利用	22	41	24	87
計	50	81	31	162

また、利用率の高い LINE の利用時間を比較したところ、内面関係群で他の群よりも利用時間が長いことが示された。

次に友人関係の類型によって、SNS の利用パターンが異なるかどうかを検討するために、LINE、Twitter、Instagram 利用の有無で利用者を分類した。その結果、3 つともすべて利用している者（以下、全部利用）が 87 名、LINE と Twitter 利用 50 名、LINE のみ利用 25 名、Twitter のみ利用 2 名、Instagram のみ利用 2 名、LINE と Instagram 利用が 5 名、Twitter と Instagram 利用が 3 名であった。そこで、ここでは人数の多かった LINE のみ利用、LINE と Twitter 利用、全部利用の 3 群（計 162 名）をとりあげ、利用の有無と友人関係の類型をクロス集計

した（表2）。内面関係群でLINEのみ利用している者は1名であり、期待度数が5以下となったが、参考までに χ^2 検定を行った結果を示す。検定の結果、 $\chi^2(4) = 11.37, p < .05$ となり、友人関係の類型とSNS利用パターンの間には連関があることが示された。調整済み残差を求めて残差分析を行ったところ、内面関係群では、LINEのみ利用が少なく全部利用が多いこと、また関係回避群ではLINEのみ利用が多いことが示された。

4. 考察

本研究では、SNS利用によって生起するネガティブ経験・ネガティブ感情と高校生の友人関係との関連について検討した。調査の結果、友人関係は先行研究で示された類型と類似した3群（関係回避群、気づかい・群れ群、内面関係群）が得られた。SNSネガティブ経験との関連では、気づかい・群れ群で全般的にネガティブ経験が多く、内面関係群に比べて、閲覧強迫、情報拡散不安、社会的比較が有意に高いことが示された。また、長時間、多様なSNSを利用する傾向があるのは内面関係群であること、関係回避群ではLINEのみを利用する割合が高いことも示された。

友人関係のとり方と心理的適応の諸側面との関連は、既に研究されている（岡田, 2007; 2011 など）。本調査では、適応や自尊感情については尋ねていないが、先行研究を参照しながら、友人関係のとり方と青年の心のあり方、およびSNS利用とそれに伴うネガティブ経験について考察する（以下、友人関係と心理的適応についての議論は、他の引用がない限りすべて岡田(2007; 2011)による）。

SNS利用との関係で、もっとも特徴的であったのは気づかい・群れ群であった。自他が傷つくことを避けようとするこの群は、自己愛傾向が強いことが示されている。また自己愛傾向が強い若者は他者との比較を通じて自己肯定感を得ようとする、また友人から肯定的評価を得たいと望む傾向があると言われる（小塩, 2004）。この議論を踏まえると、この群でSNSネガティブ経験が多いことが説明できる。本研究では気づかい・群れ群では、SNSネガティブ経験の中でも閲覧強迫の得点が高いことが示された。閲覧強迫とは、「定期的に見ていないと大事な情報を見落とすのではないかと不安になる」「友だちから

のコメントに返信しないと、他のことに集中できない」などの項目からなる。見落として困る情報とは、おそらく友人関係にまつわる情報であり、コメントへの返信圧力は、かつて携帯メールで見られたものと類似している。この群は、SNSを常にチェックして友人に関する情報を得て、それに適切に対応することで、自他を傷つけることを避け、友人と良好な関係を維持していると考えられる。また情報拡散不安とは、「一度投稿すると、情報がどこまで広がるかわからず不安である」「一度投稿すると、完全には消すことが出来ないので不安である」などの項目からなり、SNS利用の中でも特に自分の投稿の影響に対する不安の高さを示している。これはすなわち、自分の投稿への他者の評価に対する不安や他者を傷つけてしまう可能性への不安が反映されていると考えられる。さらに社会的比較からくる嫉妬やいらだちは、前述の小塩（2004）の議論にもあるように、この群の特徴とも言える。

次に内面関係群は、いわゆる従来型の友人関係であり、全体的に適応的な特徴が見られるとされる。「自己閉鎖」「傷つけられることの回避」が低く、友人に対する警戒感が低く、友人から受容されていると考えており、結果として自尊感情が高い傾向があるといわれる。本研究では、この群の青年たちが、Instagramを含む複数のSNSを組み合わせて利用しており、LINEの利用時間も長く、その一方で、SNSネガティブ経験は全般的に少ないことを見出した。すなわち、友人関係が良好で適応的である場合には、SNS利用の多寡は必ずしもネガティブ経験に結びつかないことが示された。

最後に関係回避群は3クラスター中、自己閉鎖得点は最も高く、快活的関係が唯一負の値である。友人と本音で話すことをせず、希薄な関係にとどまろうとする一群と考えられる。このような関係をもつ青年は、自尊感情が低く、それは「傷つけることの回避」が他の群に比べて低い、すなわち他者の傷つけることを回避する配慮をしないために他者からの受容が得られず、そのことによって結果的に自尊感情が損なわれていると考えられている。本研究においても、関係回避群における「傷つけることの回避」は3群でもっとも低く、先行研究と同様の心理的特徴を有していると推測される。SNSネガティブ経験については、内面関係群と有意差がなく、特に高いという結果は得られていない。

利用に関しては、LINEのみを利用する者の割合が高く、LINEの平均利用時間も長くないことから、あまりアクティブに利用していないのではないかと推察される。この群は友人との親密な関係自体を回避する傾向があることから、友人関係の構築・維持のツールとしてのSNS利用は低調であり、結果としてネガティブ経験もあまり生起しない、もしくは負担を感じてまで利用しようとはしないのではないかと考えられる。

5. 結言

本研究では、高校生の友人関係のとり方がSNSネガティブ経験につながることを、友人関係についての先行研究を踏まえつつ論議した。友人と心を打ち明けてつきあう関係においてはSNS利用がネガティブ経験につながらないこと、傷つけあうことを回避しようとする傾向が強い場合に、SNSネガティブ経験が増大することが示唆された。高校生などの若年青年層においてはSNS利用の多寡のみに着目するのではなく、友人関係のとり方や心理的適応に注意すべきであると考えられる。

最後に本研究の限界と課題について述べる。データ収集は一つの高校でのみ行われたものであるため、一般化するためにはより多くの高校で調査することが必要である。男女の比率が偏っており、性差の検討ができなかったことも課題である。また、SNSネガティブ経験の指標として用いたSNSストレス尺度は大学生を対象とした研究で作成されたものであり、高校生にとって問題となるネガティブ経験やネガティブ感情をとらえきれているとは言いがたい。たとえば今日の喫緊の課題ともいえる「ネットいじめ」につながるようなネガティブ経験が十分に検討されているとは言えない。一方で、SNS利用によるネガティブ経験が問題となるのは、大学生や成人よりも、対人関係の範囲が限定的な中高生であると思われる。従って中高生を主たる対象と位置づけたうえでSNSネガティブ経験を測定する尺度を再考する必要があると考える。さらに、本研究では自己愛や自尊感情などは直接測定せず、先行研究に基づいての議論にとどまった。今後は、SNS利用実態をより詳細にとらえ、友人関係がSNSネガティブ経験に及ぼす影響だけでなく、SNS利用やSNSネガティブ経験が友人関係お

よび心理的適応に及ぼす影響についても検討する必要がある。

引用文献

- 赤坂瑠以・坂元章（2008）. 携帯電話の使用が友人関係に及ぼす影響—パネル調査による因果関係の推定：パネル調査による因果関係の推定一. パーソナリティ研究, Vol. 16, pp. 363-377.
- 榎本淳子（1999）. 青年期における友人との活動と友人に対する感情の発達的变化. 教育心理学研究, Vol. 47, pp. 180-190.
- 加藤千枝（2013）. 「SNS 疲れ」に繋がるネガティブ経験の実態—高校生 15 名への面接結果に基づいて—. 社会情報学, Vol. 2, pp. 31-43.
- 河井大介（2012）. SNS 依存者の生活習慣的影響と利用機能の分析—2010 年 A 社 SNS 調査結果より—. 社会情報学研究, Vol. 16, pp. 157-170.
- 高坂康雅（2010）. 青年期の友人関係における被異質視不安と異質拒否傾向—青年期における変化と友人関係満足度との関連—. 教育心理学研究, Vol. 58, pp. 338-347.
- 内閣府（2017）. 青少年のインターネット利用環境実態調査. http://www8.cao.go.jp/youth/youth-harm/chousa/net-jittai_list.html.
- 中尾陽子（2017）. 「SNS 疲れ」につながるネガティブ経験の実態—大学生への面接結果および高校生の実態との比較検討から—. 人間関係研究（南山大学人間関係研究センター紀要）, Vol. 16, pp. 53-68.
- 二宮麗・黒木ゆうか・中山満子（2016）. SNS 利用に伴うネガティブ経験と SNS 疲れの検討—インタビューと質問紙調査による検討—. 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 115, No. 418, pp. 73-78.
- 宮田加久子（2005）. きずなをつなぐメディア—ネット時代の社会関係資本—. NTT 出版.
- 落合良行・佐藤有耕（1996）. 青年期における友達とのつきあい方の発達的变化. 教育心理学研究, Vol. 44, pp. 55-65.
- 岡田努（1995）. 現代大学生の友人関係と自己像・友人像に関する考察. 教育心理学研究, Vol. 43, pp. 354-363.
- 岡田努（2005）. 現代青年の友人関係・ライフイベントと自己の発達に関する研究. 金沢大学文学部論集行動科学・哲学篇, Vol. 25, pp. 15-32.
- 岡田努（2007）. 大学生における友人関係の類型と、適応及び自己の諸側面の発達の関連について. パーソナリティ研究, Vol. 15, 135-148.

- 岡田努 (2011). 現代青年の友人関係と自尊感情の関連について. パーソナリティ研究, Vol. 20, pp. 11-20.
- 岡本卓也 (2017). SNS ストレス尺度の作成と SNS 利用動機の違いによる SNS ストレス. 信州大学人文科学論集, Vol. 4, pp. 113-131.
- 小塩真司 (2004). 自己愛の青年心理学. ナカニシヤ出版.
- 総務省 (2017). 平成 29 年度版情報通信白書. <http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h29/pdf/index.html>. (閲覧日: 2024 年 12 月 24 日)
- 時岡良太・佐藤映・児玉夏枝・田附紘平・竹中悠香・松波美里・岩井有香・木村大樹・鈴木優佳・橋本真友里・岩城晶子・神代末人・桑原知子 (2017). 高校生の LINE でのやりとりに対する認知に現代青年の友人関係特徴が及ぼす影響. パーソナリティ研究, Vol. 26, pp. 76-88.

掲載: 科学・技術研究, 第 7 巻 2 号, pp. 127-132 (2018 年)

付録

表 3：友人関係尺度項目

自己閉鎖
自分の心を打ち明けて話す *
悩み事を相談する *
本当の気持ちは話さない
お互いのプライバシーに立ち入らない
落ち込んだ時話を聞いてもらう *
相手の言うことに口をはさまない
あたりさわりのない会話ですませる
友だちにグチを言わないようにする
浅いつきあいにとどめる
友だちの内面に土足で踏み込まないようにする
自分が落ち込んだ姿を友だちに見せない
必要に応じて友だちを頼りにする *
自分の内面に踏み込まれないように気をつける
まじめな話題になると冗談でごまかす
相手に甘えすぎない
相手の世界に口出ししない

傷つけられることの回避
友だちからどう見られているか気にする
友だちから「つまらない人」と思われぬよう気をつける
友だちからバカにされないように気をつける
仲間の前で恥をかかないように気をつける
友だちから傷つけられないようにふるまう
友だちをがっかりさせぬよう気をつける
友だちと意見が対立しないよう気をつける

傷つけることの回避
友だちを傷つけないようにする
相手に自分の意見を押しつけないよう気をつける
友だちに心配かけないように気をつける
友だちから無神経な人間だと思われぬよう気をつける
相手の気持ちに気をつかう
お互いの約束をやぶらない
相手にやさしくするよう心がける
友だちの心の支えになろうとする

快活的關係
冗談を言って相手を笑わせる
ウケるようなことをする
楽しい雰囲気になるようふるまう
友だちの前ではしゃぐ
面白い話をする
友だちと一緒に騒ぐ

第 16 章

時間ゲート型 BCI によるアクチュエータ制御と 駆動閾値の最適化

齋藤 夕綺、小野寺 良二、穴戸 道明

1. 緒言

近年、少子高齢化の進行にともない、要介護者の増加および介護施設の不足が深刻化している。2007 年から 2017 年の 10 年間に於いて、介護認定者数は 1.41 倍に増加しており、介護施設においても 1.12 倍の増加が確認されたが、急速な需要に対して供給量が追いついていない(厚生労働省, 2017)。その結果、介護従事者の負担が増加し、介護の質が低下している。これらの背景から、要介護者の自立支援と介護負担の軽減を図り、要介護者の生活の質 (Quality Of Life: QOL) を向上させることは重要な課題であるといえる。その対応策のひとつとして、電動車いすや電動介護用ベッドなどの介護福祉機器の使用が挙げられる。これまでも要介護者の自立支援を促進する実用的で利便性の高い機器展開がなされてきた(井上他, 2012; 中沢, 2016; 長谷川, 2008)。それらの機器開発のひとつとして、Brain-Computer Interface (BCI) が挙げられる。BCI とは、生体信号である脳波を入力信号として外部機器の随意的制御を行う実用的インタフェースであり、ヒトの意思や動作や言語を媒介せずに、ダイレクトに機器制御を行うことが可能である(木村・山崎, 2010)。したがって、脊髄損傷などによる重篤な四肢麻痺患者や進行性神経疾患など完全に運動危機が失った場合でも、周囲とコミュニケーションを取ることができる。一方で、微弱な信号である脳波は複雑な機器制御に応用する際に不安定であり、BCI 制御における要求動作にはある程度の経験が求められるといった課題が阻害要因となり、社会

に還元される速度は鈍い（雑賀他, 2009）。これらの要因を解決し、BCIの普及促進を図ることは、健常者のみならず肢体不自由者のQOL向上に資すると考えられる。また、システムの単純化を図り、シリアル動作に特化することで、介護福祉分野におけるニッチ市場への技術還元の加速化を狙える。

そこで、著者らは、複雑な動作をとみなわない冗長性設計が許容される分野で、単数のアクチュエータのシリアル動作に特化したBCIシステムを構築した。その後、システムの応答性改善に向けたアプローチとして、モータ制御手法および駆動閾値の検討を行ってきた。一方で、従来のシステムでは使用者の意図が機器に反映されるまでにタイムラグが発生してしまうという課題が挙げられた。そこで、既往研究では、新しいモータ制御手法としてサンプリング脳波信号の処理においてゲート時間と定義した新しい評価区画の考え方を導入した新システムを構築した。その結果、応答精度の改善と誤作動低減効果が確認された（齋藤他, 2020）。

本研究の目的は、動作制御の応答性の向上に結びつくモータ制御システムを検証するために駆動閾値を40、50、60、70に設定し、それらの課題成功率および誤作動率からBCIシステムの動作信頼性を評価することであった。

2. 実験装置

2.1 BCIシステム概要

図1にBCIシステムの概略図を示す。システムは、簡易脳波計（MindWave Mobile, NeuroSky）、マイクロコンピュータ（Arduino Uno R3、

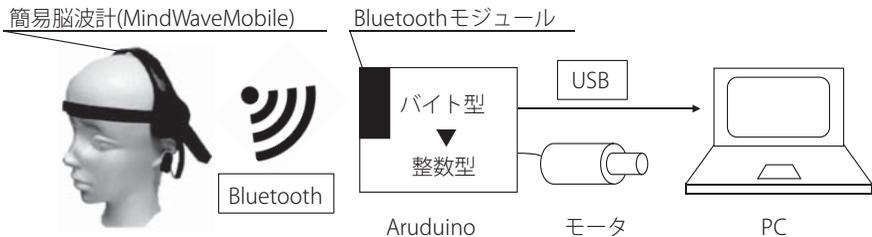


図1：BCIシステムの概略図

Arduino)、Bluetooth モジュール (BlueSMiRF, Sparkfun)、モータ (RE-260, MABUSHIMOTOR)、PC より構成される。本システムでは、社会還元の応用展開が図りやすく、小型かつ軽量である理由からアクチュエータ部には DC モータを採用した。

簡易脳波計の脳波のサンプリングタイムは 512 Hz であり、eSense メータ (attention : 集中、meditation : 弛緩) を取得する。計測データはバイト型から整数型に変換し、PC に記録された。データ送信は、簡易脳波計とマイクロコンピュータ間では Bluetooth による無線通信、マイクロコンピュータと PC は USB ケーブルによる有線通信でデータ送信を行った。なお、本システムでは attention が meditation を上回り、attention が閾値を超えた場合にモータが駆動する設定とした (富樫・穴戸, 2019)。また、眼球運動や瞬目によるノイズの混入を防ぐために PC 画面中央に注視点を表示した。

2.2 脳波計測概要

図 2 に国際 10-20 法に基づく電極配置図と計測部位を示す。本研究では、複雑な動作をともしない冗長性設計が許容される分野への応用を目的としているために、臨床レベルで求められる計測精度は必要としない。したがって、低

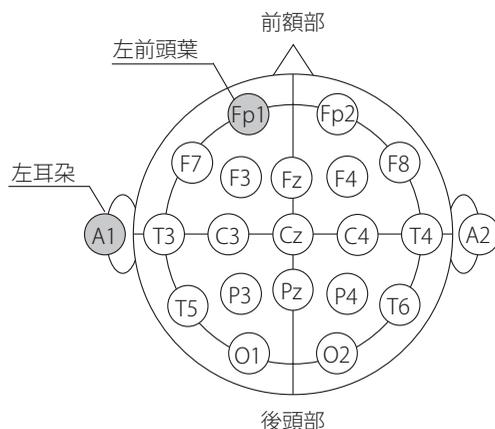


図 2 : 国際 10-20 法に基づく電極配置図と計測部位

拘束および低コストである点に着目し、簡易脳波計を選定した。簡易脳波計による脳波の電極は、国際 10-20 法により左前額部 (Fp1) と、耳朶 (A1) に貼付した。また、簡易脳波計では FFT 解析による各周波数帯域の抽出 (δ 波、 θ 波、 α 波、 β 波、 γ 波) と、NeuroSky 社独自の eSense アルゴリズムによる eSense メータ (attention: 集中、meditation: 弛緩) の取得が可能であり、これらの信頼性は担保されている (NeuroSky, 2009)。attention と meditation は、0 ~ 100 の範囲で算出され、0 近傍値は低集中・低リラックス、100 近傍値は高集中・高リラックス状態を表す。本システムではこの attention・meditation のデータをモータ駆動・停止を制御する入力信号として利用した。

3. 実験方法

3.1 実験条件

被験者は健常な男子学生 5 名 (平均年齢 21.0 歳) とし、事前に実験の趣旨と方法について説明し、十分な理解を得た。なお、各被験者において現在の体調・睡眠時間・カフェイン飲料の摂取等のアンケートを行い、問題がないことを確認したうえで実験を実施した。実験は、外部からの影響を最小限に抑えること、電磁的ノイズに強いことから、 $2.7 \times 2.6 \times 2.0$ m のシールドルーム内にて実施した。また、室内環境の不快感による eSense メータの変化を防ぐために、温湿度計によって室内温度を $24 \sim 26$ °C、湿度を 55 ~ 70 % に維持した (Wolkoff, 2018)。室内には、呈示画面モニタを設置するための机と被験者の椅子を準備した。

3.2 モータ制御手法

図 3 にモータ制御手法を示す。脳波集中状態 (Concentration: 以下 C という) または弛緩状態 (Relaxation: 以下 R という) を 1 sec 単位で自動的に判定された。一定の時間において同一のサンプリング信号が継続するゲート時間を 3 sec と設定し、モータ制御はゲート時間中に C が連続すればモータが駆動し、R が連続すればモータは停止した (齋藤他, 2020)。この手法は従来のシステムで課題であった時間の遅れを軽減し、操作性の向上が期待される。

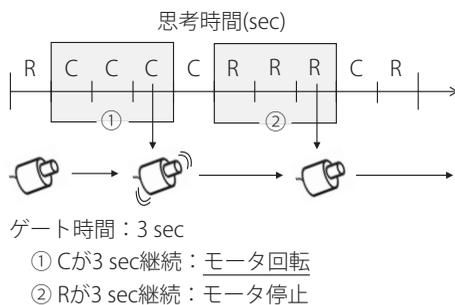


図 3：モータ制御手法

3.3 実験課題

図 4 に実験のタイムチャートを示す。実験は、閉眼安静区間（Rest）とモータ制御区間（Task）で構成される。Task 区間を 60 sec、その前後の Rest 区間を 30 sec とし、全実験時間を 120 sec とした。Rest 区間は、興奮状態の脳波を安静状態にすることが目的である。Task 区間において、Relax を瞬目や体動を許容する区間、Rotation はモータの駆動想起によりモータ駆動を試みる区間と定義する。なお、Relax および Rotation はそれぞれ 10 sec とした。閾値は 40、50、60、70 と設定し、各被験者は各閾値において 3 回ずつ実験を実施した。

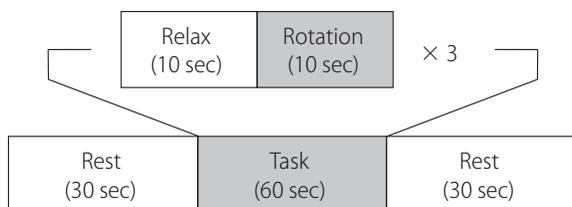


図 4：実験のタイムチャート

3.4 評価方法

本実験では、各閾値における課題成功率および誤作動率を評価する。課題成功率はモータ駆動を試みる Rotation 区間のみの評価指標であり、誤作動率は実

験時間全体の評価指標である。また、これらの評価指標の有意性を検証するために、有意水準 5% とした Friedman の検定を行った。Friedman の検定はノンパラメトリック検定であり、対応のある 3 群以上のデータに有効であるとされる。その後、有意差を認めた条件に対して対応のある t 検定を行った。t 検定は、両側検定であり、有意水準は 5% とした。課題成功率は、Rotation 時間を R_1 、実際のモータ駆動時間を X_i とし、Rotation 区間の課題成功率を式 (1) より算出した。

$$\text{課題成功率 (\%)} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \frac{X_i}{R_1} \times 100 \quad (1)$$

誤作動率は、全実験時間 T_S に対する総誤動作時間の割合より算出した。全実験時間を通して、誤動作が起きた時間をタイマーで計測し、その累積時間を総誤動作時間 T_M と定義する。その後、誤作動率を式 (2) より算出した。

$$\text{誤作動率 (\%)} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \frac{T_M}{T_S} \times 100 \quad (2)$$

3.5 倫理的配慮

本実験は、機器の使用によって人体への影響がないことを確認している。そのため、被験者への影響はない。また連結不可能匿名化したデータのみを用いているため、個人情報の保護は十分になされている。さらに実験への参加・中止は、本人の意思に委ねられており、実験参加者の心理的苦痛をもたらさないものと想定される。以上のことから、本実験は、倫理審査を必要とする実験ではないと判断して実施した。

4. 実験結果および考察

4.1 課題成功率

図 5 に各閾値における課題成功率、図 6 に各閾値における課題成功率分布を示す。課題成功率は、閾値 40、50 において 68% 以上と高値であったが、閾

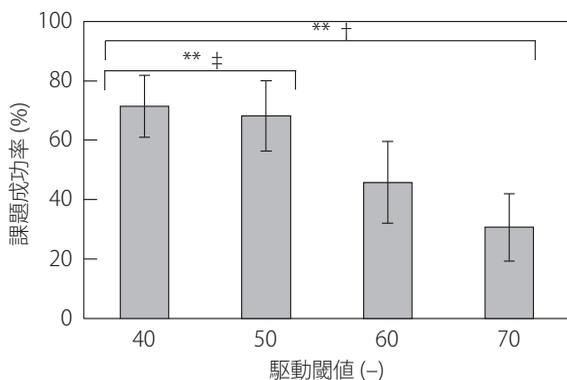


図 5：各閾値における課題成功率

注：Mean ± S.D., †：Friedman の検定、‡：対応のある t 検定、**： $p < .05$ 。

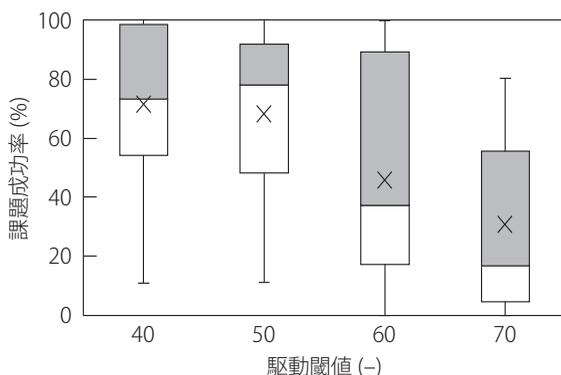


図 6：各閾値における課題成功率分布

値 60 では 45 %、閾値 70 では 30 % と低値であった。また、従来のシステムと比較すると閾値 40、50 においてはおよそ 10 % 向上しており、応答精度の向上が確認された。また、課題成功率分布より四分位範囲を比較すると、閾値 40 では 54 ~ 98 %、閾値 50 では 48 ~ 91 % と高値に集中しており、四分位範囲が小さいことから個人差は小さいことがわかる。閾値 60 では 17 ~ 89 % と個人差が最も大きく、最小値は 0 % であった。閾値 70 では 4 ~ 55 % に収束し、閾値 60 と比較すると個人差は小さいが、最小値は 0 % を示し、ほかの 3 つの

閾値と比較すると非常に低値に集中している。課題成功率において、Friedmanの検定を行った結果、 p 値は 0.013 ($p < 0.05$) となり、有意差が認められた。その後、対応のある t 検定を行った結果、閾値 40、50 において有意差が認められた ($p < 0.05$)。この結果から、閾値 40、50 における課題成功率が有意に向上し、随意的にモータ制御が可能であると判断できる。その要因は、閾値を低値に設定することで全被験者において閾値以上の attention を容易に維持することができたためである。その結果、Rotation 区間において素早いモータ駆動を可能とし、個人差は小さく、課題成功率は高値を示した。閾値 60、70 では閾値が高値であるため、閾値を超える attention を維持する難易度が上がり、モータを駆動することができない被験者が多く確認された。その結果、課題成功率は低値を示したと考えられる。

4.2 誤作動率

図7に各閾値における誤作動率を示す。誤作動率は、各閾値において 21 ~ 31 % を示した。また、誤作動率において、Friedmanの検定を行った結果、 p 値は 0.09 ($p > 0.05$) となり、有意差は認められなかった。誤作動は、モータが停止している状態が適切である Rest や Relax 区間内でのモータ駆動による誤作動（駆動誤作動）と、モータが駆動している状態が適切である Rotation 区間

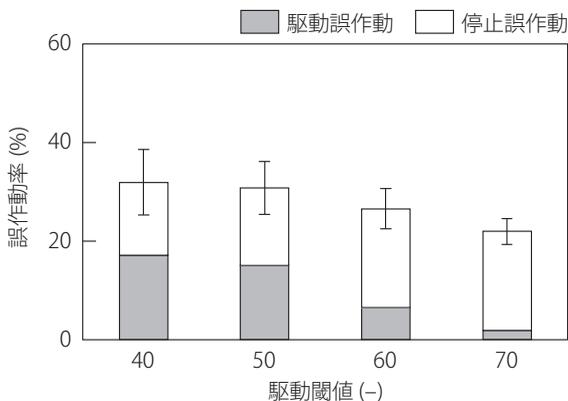


図7：各閾値における誤作動率

内でのモータの停止による誤作動（停止誤作動）の2つに分類される。誤作動率がほぼ一定であることから、誤作動の種類は異なるが総誤作動時間に差はないことがわかる。課題成功率が高値である閾値 40、50 と閾値 60、70 の総誤作動時間に差がない要因として、駆動誤作動の有無が挙げられる。閾値 40、50 では閾値が低値であることにより容易にモータ駆動を行うことができる。そのため、Rotation 区間において高値となった attention が、Relax 区間や Task 区間後の Rest 区間において減少し、モータが停止するまでに時間を要し、駆動誤作動が発生している。しかし、従来のシステムと比較すると、新しいモータ制御手法を導入したことで適切なモータの駆動・停止の切り替えができており、切り替えまでに要する時間は短縮している。一方で、閾値 60、70 では実験時間全体においてモータ駆動を一度も成功することができない場合もあり、モータの停止状態が続くことが多く確認された。そのため、停止誤作動は全体の 75% 以上を占めており、駆動誤作動は低値を示している。また、閾値 60、70 でモータ駆動を成功した被験者は、attention を高値に維持し続けることによって脳が極度の集中状態になってしまう。その結果、Task 区間の間モータが駆動し続けてしまうことや、Task 区間から Rest 区間に移行した後も脳波が安静状態に変化せず、モータ停止までに時間を要した。BCI 技術のようなヒューマンインタフェースの場合、安全性を担保するうえで機器が危機的状況に陥った際は瞬時に停止することが前提条件である。また、介護現場への導入に向けて、使用者の意図に従った機器の制御および作動についても重要な点である。したがって、モータの駆動・停止において安定した制御が可能であった閾値 40、50 が最適な閾値であるといえる。

4.3 各閾値における attention と meditation の推移

図 8 に各閾値における attention と meditation の推移を示す。被験者 5 名の中でも最も動作指示に従った eSense メータであった被験者 C を選定した。最も動作指示に従った eSense メータとは、閉眼安静区間である Rest 区間では、脳波状態の安静を目的としているために attention は低値、meditation は高値を示す。反対に、モータ制御区間である Task 区間では思念の集中を行うため

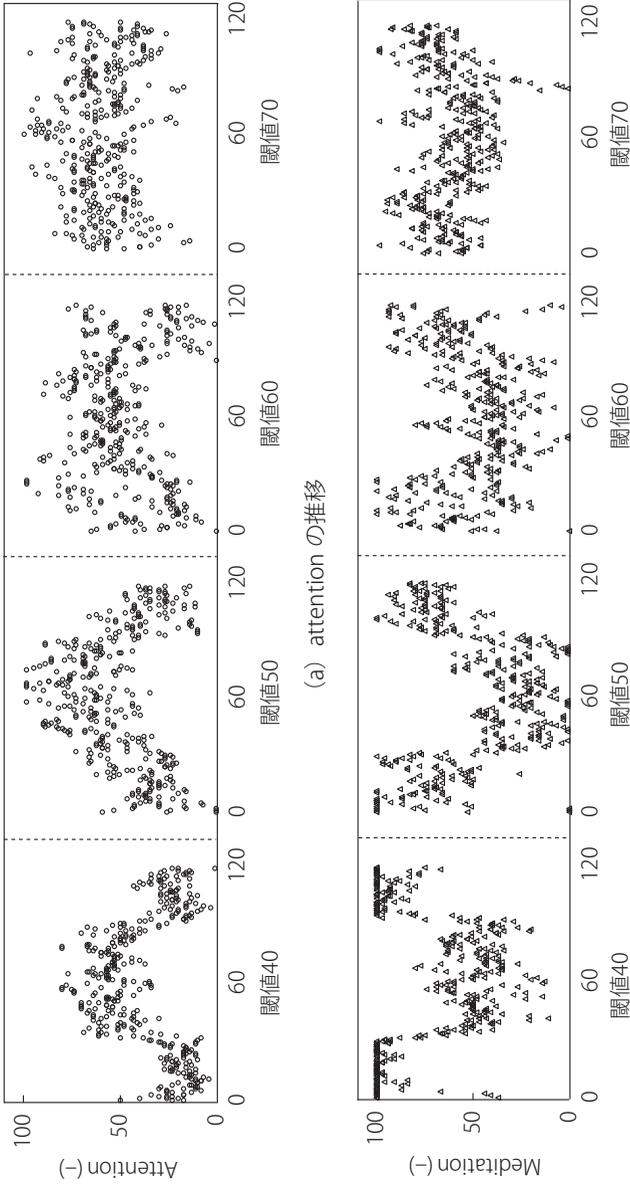


図8：各閾値におけるattentionとmeditationの推移

に attention は高値、meditation は低値を示す。すなわち、実験時間全体において attention では「凸型」、meditation では「凹型」に変化する形が最も適切であるといえる。

閾値 40、50 においては、Rest 区間である 0～30 sec および 90～120 sec での attention は 0～50 と低値を示し、meditation は 50～100 と高値を示した。一方で、Task 区間である 30～90 sec での attention は 40～100 に収束し、meditation は 0～70 に収束した。推移の形に着目すると attention では「凸型」、meditation では「凹型」を表しており適切な切り替えが行われていることがわかる。とくに、Task 区間終了後において瞬時に eSense メータの切り替えが行われ、脳波が短時間で安静状態に変化し、モータの停止が確認されている。

閾値 60、70 においては、閾値 40、50 と比較して attention と meditation の両方において混在しており、非常に不安定な推移となっている。とくに、閾値 70 においては全実験時間を通して attention と meditation とともに 40～100 に収束しているため、モータの駆動条件 (attention > meditation) を満たすことができず、停止誤作動につながった。また、Task 区間終了後においても脳波状態は安静状態に変化せず、attention は 40 以上を示した。これは、閾値を高値に設定することでモータ駆動における難易度が高くなるため、被験者はより集中状態を高めることが要求される。一度集中状態を極度に高めた被験者は脳波を安静状態にすることが困難になり、実験を通して attention は高値に集中したと考えられる。また、attention が高値に集中することで疲労感を感じることが予想されるため、閾値の設定において短時間で脳波が安静状態に変化することが可能であるという点は非常に重要であるといえる。

これらの結果から、閾値を低値に設定することで、集中と弛緩状態の適切な切り替えを可能とし、操作性の向上効果および疲労感の減少効果が見込まれる。

5. 結言

本研究の目的は、動作制御の応答性の向上に結びつくモータ制御システムを検証するために閾値 40、50、60、70 に設定し、それらの課題成功率および誤作動率から BCI システムの動作信頼性を評価することであった。得られた結果

の要約を以下に示す。

- Friedman の検定では、各閾値の課題成功率において有意差が認められ、誤作動率については有意差が認められなかった。
- 閾値 40、50 の課題成功率は、 t 検定より有意差が認められ、随意的にモータ制御ができたことが確認された。
- 誤作動率はほぼ一定であるが、閾値の増加にしたがって停止誤作動の占める割合が増加した。
- 閾値 40、50 において attention は「凸型」、meditation は「凹型」に変化し、脳波の集中・弛緩状態において適切な切り替えを可能とした。
- BCI の普及促進を図るうえで安全性の担保および使用者の意図に従った機器制御は必須であるため、モータの駆動・停止において安定した制御が可能であった閾値 40、50 が最適な閾値であるといえる。

引用文献

- 井上剛伸・塚田敦史・酒井美園・坂上勝彦・諏訪基（2012）. 重度障害者の自律移動支援機器の開発に関する研究—個別対象によるオーファン・プロダクツの開発—。バイオメカニズム, Vol. 21, pp.65-77.
- 木村達洋・山崎清之（2010）. 最近の Brain-Computer-Interface (BCI) 研究の動向。東海大学紀要開発工学部, Vol. 20, pp. 7-12.
- 厚生労働省（2017）. 平成 29 年 介護保険事業状報告書。 <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/file-download?statInfId=000031859812&fileKind=2>.（閲覧日：2021 年 11 月 27 日）
- 雑賀広記・三浦直樹・王碩玉（2009）. 黙読を用いた Brain-Computer Interface の開発。バイオメディカル・ファジィ・システム学会誌, Vol. 11, No. 1, pp. 61-66.
- 齋藤夕綺・小野寺良二・穴戸道明（2020）. BCI システムを用いたモータの非接触制御における最適なゲート時間の検討。日本福祉工学会第 24 回学術講演会講演論文集, pp. 27-28.
- 富樫亮太・穴戸道明（2018）. BCI を用いた随意的モータ制御における駆動閾値の比較検討。生体医工学, Vol. 56, pp. 5-6.
- 富樫亮太・穴戸道明（2019）. モータの非接触制御における誤作動率の評価検討。

平成 31 年東北地区若手研究者研究発表会, pp. 69-70.

中沢信明 (2016). 福祉ロボットとヒューマンインタフェース. エレクトロニクス実装学会誌, Vol. 19, No. 6, pp. 389-393.

NeuroSky (2009). NeuroSky's eSense Meters and Detection of Mental State.

長谷川良平 (2008). ブレインーマシンインタフェースの現状と将来. 電子情報通信学会誌, Vol. 91, No. 12, pp. 1066-1075.

Wolkoff, P. (2018). Indoor air humidity, air quality, and health: An overview. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, Vol. 221, No. 3, pp. 376-390.

掲載：科学・技術研究, 第 11 巻 1 号, pp. 17-22 (2022 年)

第 17 章

頭部操作式ポインティングデバイスにおける 咬筋部筋電位と咬合力の関係の評価

石川 佳歩、松橋 将太、小野寺 良二、穴戸 道明

1. 緒言

昨今、日本ではさらなる少子高齢化の進展が予想されることから、持続可能な社会の構築には、高齢者に対して提供する介護福祉サービスの質的転換は喫緊の課題である。厚生労働省（2021）の調査によると、2011年から2021年の10年間に於いて、介護認定者数は約1.3倍に増加しており、居宅サービスや施設サービスなどの介護サービスの受給者数も約1.4倍に増加した。しかし、2035年における介護人材にかかる需給ギャップは68万人と予想されており（経済産業省, 2016）、急速な需要に対して供給量が追いついていない。この問題の対策として、介護福祉機器の積極的な活用による要介護者の自立支援の促進、生活の質の向上および介護支援者の負担軽減は必要不可欠である。こうした社会的背景を受け、著者らは福祉機器として頭部操作式ポインティングデバイス（Face-input Pointing Device: FPD）を開発した（阿部他, 2017）。FPDは、頭部姿勢角および咬筋部筋電位の2種類の生体信号を入力信号とし、機器制御の出力信号に変換する。よって、頸部より上の動作（頭部揺動、咬合動作）のみで機器制御が可能である。FPDは現在までの研究においてマウスカーソルの操作に利用されており、ポインティング性能の代表的な評価指標であるThroughputにより、遠隔用マウスポインタと同程度の実用的な性能を具備することが確認されている（阿部他, 2017）。Throughputとは、一定時間に処理される仕事量であり、フィッツの法則に基づいた評価指標である。また、FPD

は電動車椅子の操作への応用も進められており（小林他, 2021）、簡便な信号入力装置のひとつとして幅広く、かつ高い応用の可能性が示唆されている。しかし、これまでは若年層のみを対象とした実験を行っており、年齢による FPD の動作信頼性は不確かである。とくに、入力信号として利用している咬筋部筋電位の振幅値は咬合力との相関が示唆されている（野本・富田, 1975）。そのため、咬合力が低下している利用者は FPD の動作に影響を与える可能性がある。とりわけ、筋肉の衰えている高齢者においては咬筋部筋電位の低下による誤動作が予想される。FPD は高齢者や肢体不自由者などを使用対象として想定している。そのため、FPD の実用化において幅広い年齢層を対象とした適応対象の調査を行い、年齢による動作信頼性を解明することは必要条件である。そして、利用者の年齢によらない安全性および安定した使用性を担保する必要がある。

本研究では、年齢層別による FPD の動作信頼性を評価した。とくに、10～50 代を対象に咬合能力の測定、咬筋部筋電位の測定、FPD の操作試験を実施し、筋電位振幅と咬合力の関係および操作試験のタスク成功率より加齢の影響を分析した。

2. システムと装置

2.1 システム構成

図 1 に FPD の外観を示す。FPD の総重量は 138 g である。電極は、使用時の接触ノイズを抑えるため、バネを使用して咬筋部への密着性を向上させた。また、頭部形状の個人差を考慮し、電極部をスライドさせる調節機構を搭載した。図 2 に FPD のシステム構成を示す。FPD は 3 軸加速度センサ・3 軸ジャイロセンサを搭載した傾斜センサ（MPU-6050, InvenSense）、マイクロコンピュータ（Arduino Pro Mini, Arduino）、非侵襲・乾式電極型の筋電計で構成される。頭部の傾きは、傾斜センサによって取得される。また、咬合で生じる筋電位は、咬筋部に設置した電極によって検出される。

2.2 筋電計回路

筋電位の増幅は、生体増幅アンプとして広く使用される高精度計装アンプ

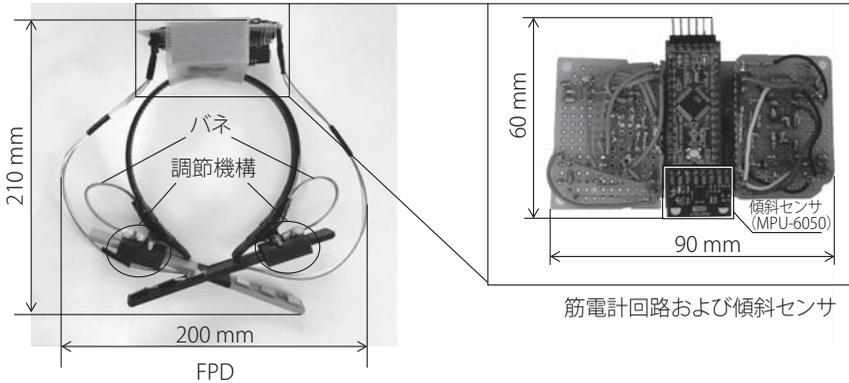


図 1：FPD の外観

IC (LT1167, Linear Technology) を使用した。ノイズフィルタは、随意収縮中の表面筋電位の周波数帯域に合わせ、5 Hz 一次 CR ハイパスフィルタ、1 kHz 一次 RC ローパスフィルタを搭載した。また、実生活での使用を想定し、商用交流ノイズを除去する 50 Hz バンドエリミネーションフィルタを搭載した。なお、筋電位をマイクロコンピュータで読み込むために、筋電位の出力を 0～5 V に収める必要があるため、直流オフセットによって電圧を調整した。電極の配置は、図 2 に示すように先端部から GND、IN⁻、IN⁺ とした。電極の素材には、接触インピーダンスを低減させるため 1 辺が 10 mm の正方形銀板を使用し、クロストークを低減するために各電極間の距離は 10 mm とした。筋電計装置の重量は 47 g である。

2.3 筋電位処理と咬合判定の方法

主な筋電位の処理方法として、絶対値変換、RMS (Root Mean Square) 処理、平均振幅、積分値などが挙げられる。FPD では、処理速度を考慮し、筋電位処理に絶対値変換と平均振幅を利用した。咬筋は咬合時にはたらく筋肉であり、咬筋より発生する筋電位は咬合時に大きくなる。よって、咬筋部筋電位の変化より咬合の有無を判定した。はじめに、マイクロコンピュータに入力された咬筋部筋電位を絶対値変換により振幅値に変換する。筋電位のサンプリングレ-

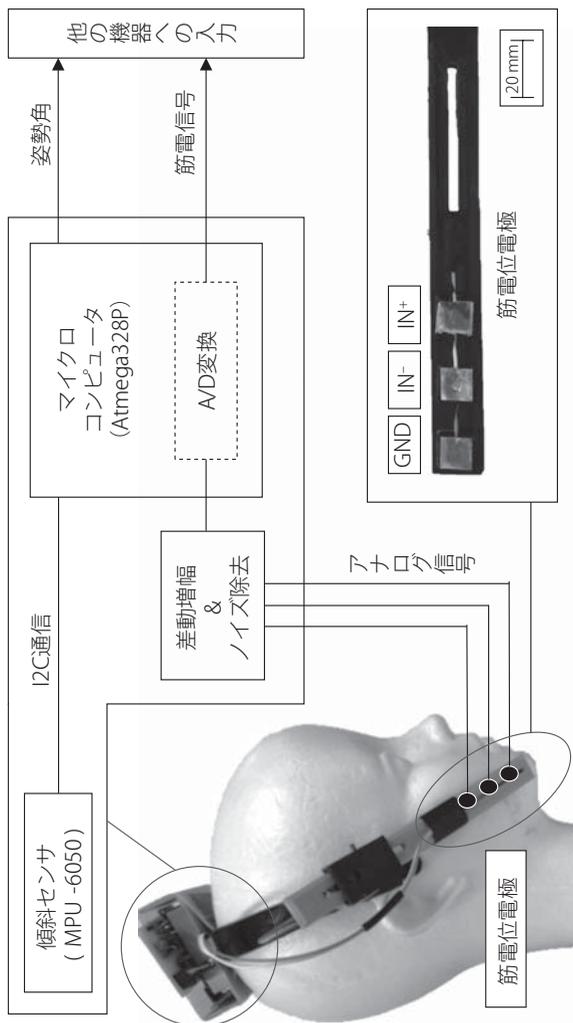


図 2：FPD のシステム構成

トは 2 kHz とし、A/D 変換のビットレートは 10 bit とした。次に、二段の単純移動平均によって波形の平滑化を行う。式 (1) に単純移動平均の式を示す。

$$SMA_M = \frac{P_M + P_{M-1} + P_{M-2} + \dots + P_{M-n}}{n} \quad (1)$$

ここで、 $P_M, P_{M-1}, P_{M-2}, \dots$ は直近 n 個のデータであり、FPD では一段目の n を 80 個、二段目の n を 40 個に設定した。この単純移動平均により、口の開閉時のノイズによる影響を抑制している。この処理後に閾値判定によって、ある一定以上の値であるときに「咬合」、その値未満の場合は「咬合無し」と判定する。既往研究により、食事中は人間の最大咬合力の 30 % 程度の咬合力が使用されることが明らかにされている (永田他, 2007)。よって、本実験では、最大咬合時の筋電波形における最大振幅値の約 30 % を閾値とした。

3. 実験方法

3.1 実験条件

被験者は 10 ~ 30 代: 15 名 (平均年齢 30 ± 7.8 歳)、40 ~ 50 代: 14 名 (平均年齢 48 ± 6.4 歳)、合計 29 名の健常男性を対象とした。実験の所要時間は約 9 ~ 11 分 (咬合能力測定: 3 分、FPD の装着: 1 ~ 3 分、筋電位測定: 2 分、操作試験: 3 分) である。図 3 に実験時の姿勢を示す。実験は椅座位姿勢で行い、被験者は背もたれを利用していった。椅子は高さを調節可能であるため、PC 画面が見えやすい高さに椅子を調整した。

3.2 咬合能力測定

咬合力の測定では、被験者に咬合力測定システム用フィルム (デンタルプレスケール II, ジーシー) を 1 回 3 秒間、最大咬合圧で持続的に咬合させた。そして、スキャナ (GT-X830, EPSON) を用いて感圧部をスキャンし、解析ソフト (バイトフォースアナライザ, ジーシー) を用いて咬合力、咬合接触面積、咬合圧を数値化した。咬合力の単位は日本歯科医学会 (2022) が定義している咬合力低下の基準を参考にニュートン (単位記号: N) とした。測定は同一被験者に

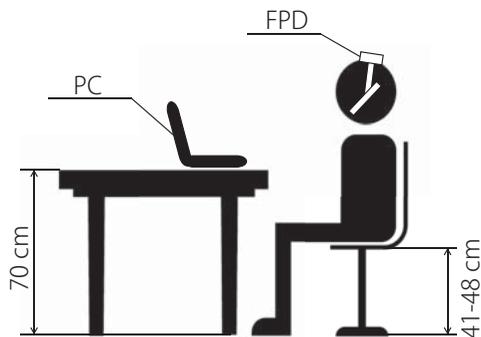


図3：実験時の姿勢

対して2回ずつ行い、平均の最大咬合力を実験値とした。なお、咬合力は咬合時に歯の咬合面に加わる力、咬合接触面積は咬合時に歯と歯が接触している表面積、咬合圧は歯の単位面積あたりの咬合力である。

3.3 筋電位測定

図4に電極の装着位置を示す。筋電位は、咬筋より導出した。測定にはFPDに搭載の筋電計を使用した。FPDを一般的な力チューシャを装着するように頭部に装着し、電極を咬筋部に固定した。なお、FPDの装着により被験者の身体が拘束されることはない。測定は咬合力の測定と同様に、被験者に3秒間、最大咬合圧で持続的に咬合させた。なお、単位時間あたりの積分値より左右咬筋の平均値を求め、実験値とした。また、咬合力と咬筋部筋電位の関係を有意水

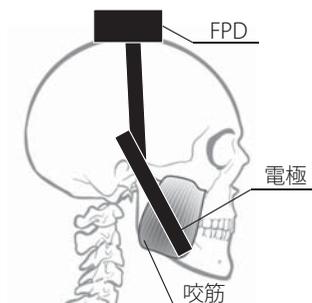


図4：電極の装着位置

準 5 % のスピアマンの相関分析を用いて評価した。

3.4 操作試験

図 5 に実験環境を示す。本実験では、FPD の動作信頼性評価を実施した。FPD からの制御信号は、シリアル通信にて PC (IdeaPad S340-15API, Lenovo, CPU: 2.3 GHz) に送信される。なお、PC ディスプレイは、解像度 1920×1080 pixels、サイズは 15.6 inch とした。被験者には、このディスプレイに表示される動作指示（作動・停止）に従い、FPD の操作によって入力状態を一致させるタスクを与えた。なお、ディスプレイ上部には動作指示が表示され、下部には現在の入力状態が表示される。そして、動作指示は実験管理者のキーボード入力によって任意に変更可能である。

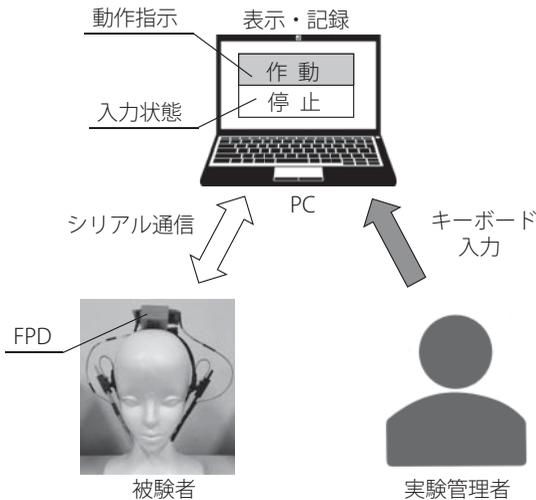


図 5：実験環境

図 6 にタスク試行の流れを示す。実験管理者の操作により動作指示が切り替わると、被験者は動作指示を目視により確認し、咬合動作によって現在の入力状態を一致させる。本実験ではタスクの試行回数を 20 回とした。また、状態一致に要する時間が 3 sec 以内であること、および次の動作指示まで入力状態

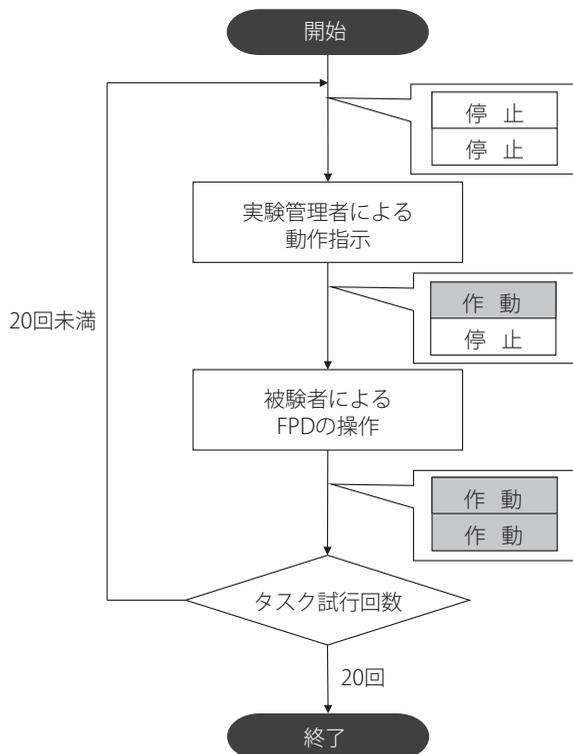


図 6：タスク試行の流れ

が安定であることをタスクの成功と定義した。被験者は FPD の電極を咬筋部に固定して装着し、椅座位姿勢で実験を行った。なお、各操作試験の前に、被験者にタスクおよび FPD の操作方法を説明し、咬合によって随意的に入力状態を変更できることを確認している。この際に、被験者が操作に不便を感じる場合は閾値を調整した。動作信頼性はタスク成功率により評価した。タスク成功率は、タスクの総試行回数 N と成功数 S によって算出した。式 (2) にタスク成功率の導出式を示す。

$$Success\ rate = \frac{S}{N} \times 100 \quad (2)$$

また、有意水準 5% のマン・ホイットニーの U 検定を用いて各年齢層におけるタスク成功率の有意差を確認した。

3.5 倫理的配慮

本実験は、計測機器の使用によって人体への影響がないことを確認している。また、連結不可能匿名化したデータのみを用いているため、個人情報の保護は十分になされている。さらに実験への参加・中止は、本人の意思に委ねられており、実験参加者の心理的および身体的苦痛をもたらさないものと想定される。被験者には、予め実験の趣旨、目的や方法およびデータは統計として情報を扱うために個人が特定されることが無い点について口頭および書面にて説明し、十分な理解を得た。なお、本研究は学内倫理委員会に諮り、非該当であることを確認した。

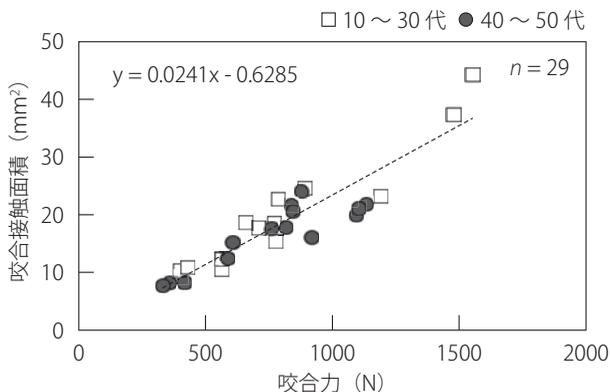
4. 実験結果

4.1 咬合能力の測定結果

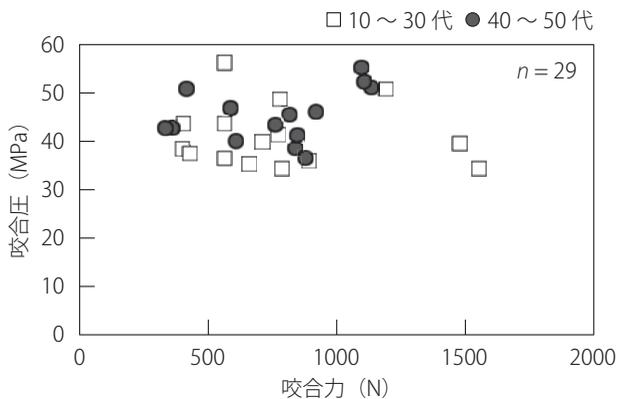
図 7 に咬合能力の測定結果を示す。図 7 (a) の咬合力と咬合接触面積の関係によると、咬合力の大きい被験者ほど咬合接触面積が大きく、咬合力が小さい被験者ほど咬合接触面積が小さい傾向にある。よって、咬合力に比例して咬合接触面積も拡大することが確認された。また、スピアマンの相関分析の結果、スピアマンの順位相関係数が 0.915 となり、有意な相関が示唆された ($p < 0.05$)。図 7 (b) の咬合力と咬合圧の関係によると、咬合力の大小に関わらず、咬合圧は 30 ~ 60 MPa で推移している。また、田口 (1983) の研究では、咬合圧は咬合力と正の相関を示した。しかし、本研究ではスピアマンの相関分析の結果、 p 値は 0.841 となり、有意な相関は確認されなかった ($p < 0.05$)。

4.2 咬合力と咬筋部筋電位の関係

図 8 に咬合力と咬筋部筋電位の関係を示す。日本歯科医学会 (2022) では、咬合力の測定において 350 N 未満の咬合力であった場合を咬合力の低下と定義している。なお、この場合の実験条件は、咬合力測定システム用フィルム (デ



(a) 咬合力と咬合接触面積の関係



(b) 咬合力と咬合圧の関係

図 7：咬合能力の測定結果

ンタルプレスケールII、ジーシー) を解析ソフト (バイトフォースアナライザ、ジーシー) の圧力フィルタ機能を用いて分析を行うことである。本研究では同様の条件で実験を行い、55歳の被験者1名が331.05 Nと咬合力低下に該当したが、96.6%の被験者は咬合力の低下に該当しなかった。しかし、10～30代の若年層でも咬合力が400 N程度とやや低い被験者が確認された。また、スピアマンの相関分析の結果、 p 値は0.743となり有意な相関は確認されなかった ($p < 0.05$)。なお、一般的に食事では最大で200 N程度の咬合力が使われる (高

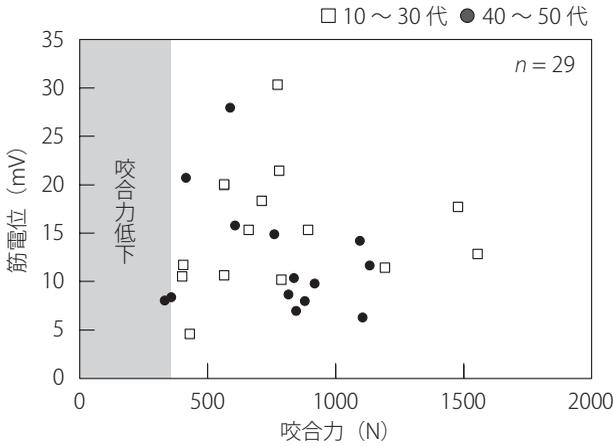


図 8：咬合力と咬筋部筋電位の関係

橋・中沢, 1989)。この値は、人間の最大咬合力の 30 % 程度である (永田他, 2007)。加えて、既往研究によると平均年齢 20 歳代の男性の咬合力は 600 ～ 900 N 程度である (笹原他, 2006; 笹生他, 2000; 中村他, 2016)。

4.3 操作試験

図 9 に年齢層別のタスク成功率を示す。タスク成功率は 10～30 代で 98.0 %、40～50 代で 94.6 % と高値を示した。しかし、標準偏差を比較すると 10～30 代が 3.06、40～50 代が 13.02 となり、40～50 代のばらつきが大きい結果となっ

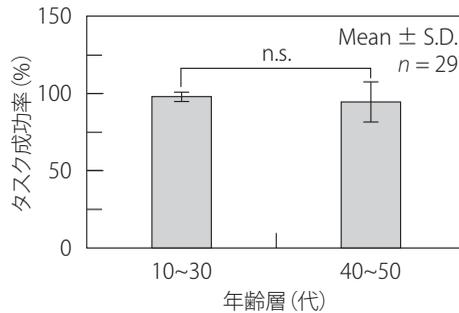


図 9：年齢層別のタスク成功率

た。また、マン・ホイットニーの U 検定の結果、 p 値は 0.885 となり各年齢層の間に有意な差は確認されなかった。

5. 考察

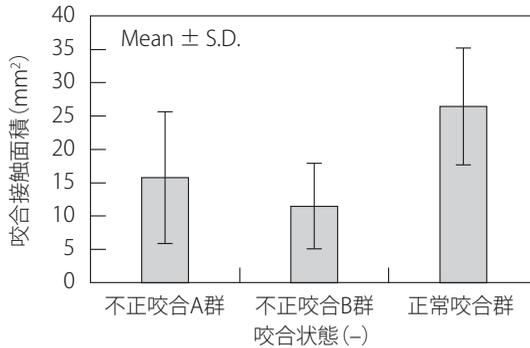
咬合力測定の結果、咬合力が 400 N 程度とやや低い被験者が確認された。この要因として、不正咬合が挙げられる。咬合力 (F) は咬合圧 (P) と咬合接触面積 (A) を用いて式 (3) より求められる。

$$F = P \times A \quad (3)$$

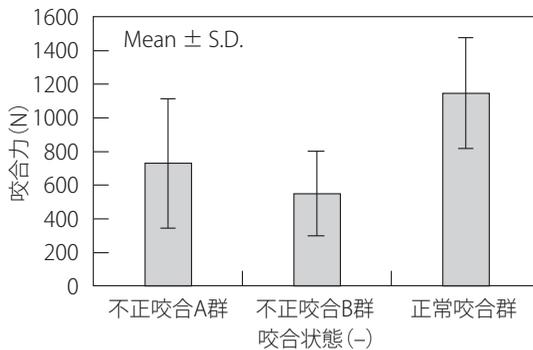
図 7 (b) より、咬合力の大きさに関わらず、咬合圧は 30 ~ 60 MPa で推移していることが確認されているため、筋力の低下による咬合力の低下ではないと推察される。

図 10 に咬合状態別の平均咬合力および咬合接触面積を示す。図 10 における不正咬合 A 群は食べにくい食品がない不正咬合群、不正咬合 B 群は食べにくい食品がある不正咬合群を示す (宮谷他, 2010)。図 10 (a) の咬合状態別の咬合接触面積より、不正咬合者は正常咬合者と比較して咬合接触面積が小さいことが確認できる。また、図 10 (b) の咬合状態別の平均咬合力より、不正咬合者は咬合力も同様に小さい傾向にあることが確認できる。本研究においても、図 7 (a) より、咬合力の小さい被験者は咬合接触面積も小さいことが確認されているため、400 N 程度の咬合力を示した被験者は不正咬合が要因で咬合接触面積が低値であったと推察される。よって、高い咬合力を出力できなかったと考えられる。しかし、本実験では歯科医による客観的な不正咬合の診断はされていないため、不正咬合が FPD の操作に与える影響を今後調査する必要がある。

既往研究において咬合力と咬筋部筋電位の間に関連が示唆 (野本・富田, 1975) された一方で、本研究では有意な相関は確認されなかった (図 8)。これは、筋電計の精度が影響したと推察される。本研究で使用した自作の筋電計は、「咬合」、「咬合無し」の 2 つを判定可能であれば良いため、電極の密着度や皮脂によるノイズの影響を受けやすく、高い精度を有していない。したがって、咬合



(a) 咬合状態別の咬合接触面積



(b) 咬合状態別の平均咬合

図 10：咬合状態別の平均咬合力および咬合接触面積

出典：宮谷真理子・阿部友里子・茂木悦子・野村真弓・河野みち代・柳沢幸江・石井武展・末石研二（2010）. 不正咬合者における食べにくい食品の有無と咬合力評価. 歯科学報, Vol. 110, No. 6, 775-783.

力と咬筋部筋電位の間に関係がみられず、ばらつきが生じたと示唆される。とくに、20 mV 以下の筋電位を示したデータについては、咬合力の増加にともない筋電位も増加しており、関係があるように見える。よって、20 mV 以上の高い筋電位を示した被験者のデータは、ノイズを含んでしまっていると推察される。したがって、筋電計の精度が本実験の結果に影響を与えた可能性がある。そのため、個人差が FPD の動作信頼性に与える影響を正確に評価するうえで今後は、筋電計の改善が必要である。

図 11 に年齢群別の咬合力を示す。既往研究では、70～90歳で歯数の減少にとともに急激に咬合力が低下することが明らかにされている（池邊, 2016）。とくに、80代以降の平均咬合力は男女共に350 N以下であり（池邊, 2016）、一般的に80歳以降に咬合力低下に該当する可能性が高いと推察される。よって、10～50代は咬合力低下に該当する可能性は低いと考えられる。また、操作試験の結果においても、各年齢層のタスク成功率が90%以上と高値であるため、10～50代はFPDの適応対象として妥当といえる。一方、咬合力低下に該当した被験者のタスク成功率は85%と、他の被験者と比較してわずかに低い。よって、咬合力低下に該当する被験者を対象とした場合、タスク成功率の低下が予想される。現在、FPDは筋電位測定におけるノイズ対策として下記のノイズフィルタを筋電計回路に搭載している。

- ・ 5 Hz 一次 CR ハイパスフィルタ
- ・ 1 kHz 一次 RC ローパスフィルタ
- ・ 50 Hz バンドエリミネーションフィルタ

上述のノイズフィルタに加え、信号処理として単純移動平均化を行い、波形

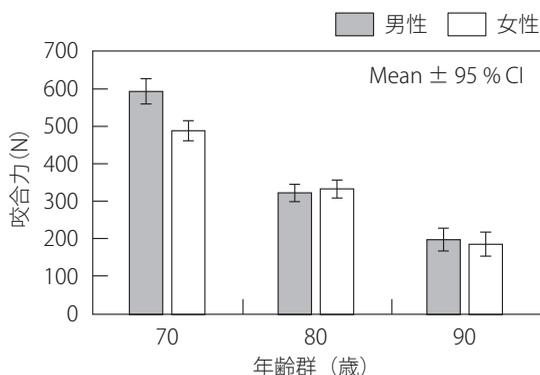


図 11：年齢群別の咬合力

出典：池邊一典（2016）. 高齢者の口腔機能が、栄養摂取に与える影響. 日本静脈経腸栄養学会雑誌, Vol. 31, No. 2, 681-686.

を平滑化することでノイズを除去している。しかし、著しい咬合力の低下が予想される 70～90 歳を対象とした場合、筋電位の低下により筋電信号とノイズとの判別が困難になり、FPD の動作に影響を及ぼす可能性がある。したがって、咬合力の低下による FPD の誤動作への対策として、今後は回路の耐ノイズ化や信号処理による筋電計のさらなるノイズ対策が必要である。

6. 結言

本研究では、年齢層別による FPD の動作信頼性を評価した。とくに、10～50 代を対象に咬合能力の測定、咬筋部筋電位の測定、FPD の操作試験を実施し、筋電位振幅と咬合力の関係および操作試験のタスク成功率より加齢の影響を分析した。得られた結果の要約を以下に示す。

- ・ 96.6 % の被験者が咬合力低下に該当せず、操作試験におけるタスク成功率も 90 % 以上と高いため、10～50 代は FPD の適対象として妥当といえる。
- ・ 咬合力と咬筋部筋電位の間に相関がみられず、ばらつきが生じたが、これは使用した自作の筋電計の精度が影響している。
- ・ 咬合力低下にともなう FPD の誤動作への対策として、筋電計回路の耐ノイズ化や信号処理によるノイズの除去が必要である。

引用文献

阿部尚熙・松橋将太・小野寺良二・宍戸道明 (2017). 咬筋部筋電位および頭部姿勢を利用したポインティングデバイスの性能評価. 科学・技術研究, Vol. 6, No. 1, pp. 35-40.

池邊一典 (2016). 高齢者の口腔機能が、栄養摂取に与える影響. 日本静脈経腸栄養学会雑誌, Vol. 31, No. 2, pp. 681-686.

経済産業省 (2016). 将来の介護需要に即した介護サービス提供に関する研究会報告書.

厚生労働省 (2021). 令和 3 年度 介護保険事業状況報告書 (年報) のポイント.

小林勇登・日下部太星・松橋将太・小野寺良二・宍戸道明 (2021). 利用者の温冷感による咬筋部筋電位計測の動作信頼性. 産業応用工学会論文誌, Vol. 9, No. 1,

pp. 46-52.

笹原妃佐子・貞森紳丞・津賀一弘・河村誠（2006）. 感圧シート（デンタルプレスケール）を用いた若年者における顎関節症に関する疫学的研究. 口腔衛生学会雑誌, Vol. 56, No. 2, pp. 148-155.

笹生宗賢・新田浩・坂東薫・野口和行・石川烈（2000）. 咀嚼機能と咬合との関係について—第一報健康な歯周組織を持つ有歯顎者における検討—. 日本咀嚼学会雑誌, Vol. 10, No. 1, pp. 29-34.

高橋淳子・中沢文子(1989). 咀嚼パターンによる食品テクスチャーの評価(第3報). 日本家政学会誌, Vol. 40, No. 6, pp. 489-495.

田口章太（1983）. 歯周炎患者および健常者の咬合圧, 咬合接触面積, 咬合力に関する研究. 日本歯周病学会会誌, Vol. 25, No. 1, pp. 98-116.

永田雄己・井上美香・蓮舎寛樹・長屋和也・神原敏之（2007）. 咀嚼能力および咬合力と顎顔面形態との関連について. 歯科医学, Vol. 70, No. 3/4, pp. 193-203.

中村太志・守下昌輝・村岡宏祐・花谷智哉・臼井通彦・中島啓介（2016）. 顔貌形態による咬合力の推測. 日本歯周病学会会誌, Vol. 58, No. 1, pp. 33-40.

日本歯科医学会（2022）. 口腔機能低下症に関する基本的な考え方.

野本種邦・富田汪助(1975). 咬合力と咀嚼筋筋電図との関係(第1報)—棘波数計測・電位累積装置による研究バイオメカニクスよりみた整形外科—. 日本補綴歯科学会雑誌, Vol. 19, No. 4, pp. 641-646.

宮谷真理子・阿部友里子・茂木悦子・野村真弓・河野みち代・柳沢幸江・石井武展・末石研二（2010）. 不正咬合者における食べにくい食品の有無と咬合力評価. 歯科学報, Vol. 110, No. 6, pp. 775-783.

掲載：科学・技術研究, 第13巻1号, pp. 23–29 (2024年)

第三部 食と科学

第 18 章

環状テアニンの脳線条体からの 脳内神経伝達物質の放出に及ぼす影響について

寺島 健彦、山崎 美咲、吉田 真夕、陽東 藍、
渡辺 裕美、九島 祥弘、衛藤 英男、横越 英彦

1. はじめに

これまで各種栄養素、食品成分、栄養条件、ある種の病的状態、また、ストレス負荷時などに、比較的容易に脳内の物質代謝や脳内神経伝達物質が変化し、また、ある種の行動も影響を受けることを明らかにしてきた (Yokogoshi and Terashima, 2000; Yokogoshi et al., 1998)。特に、緑茶に関しては、緑茶特有のアミノ酸であり旨味成分と考えられているテアニン (γ -グルタミルメチルアミド) が、脳内の神経伝達物質であるドーパミン放出を上昇させ、血圧降下作用や脳神経細胞保護作用に加え、動物実験での記憶・学習能の向上や (Yokogoshi et al., 1998; 横越他, 2005; Yamada et al., 2009)、ヒトボランティア試験では脳波の内、 α 波の放出を促進し、お茶を摂取したときのリラクゼーションに関わっていることを明らかにしてきた (Juneja et al., 1999)。緑茶にはカテキン、カフェイン、テアニン、ビタミン、ミネラル、食物繊維など、われわれの健康維持に関わる多くの有効成分が含まれており、それらの機能性成分を効率よく抽出することは、緑茶の保健機能を高めるために有効である。近年開発されてきた新しい食品加工技術である連続式亜臨界水抽出法を用いて (衛藤, 2016)、緑茶成分を抽出したところ、アミノ酸については一部環状化したアミノ酸が抽出され、テアニンについては環状化した環状テアニン (サイクリックテアニン) が得られる。テアニンは、緑茶の旨味成分であるので味覚センサーを用いてサイクリックテアニンを比較した結果では、テアニンよりも旨味・苦味・収斂性の高いこ

とが示された (Miyashita et al., 2014)。また、高血圧の予防と関係するアンジオテンシン変換酵素 (ACE) の阻害活性もテアニンよりも強いことが報告されている (宮下他, 2015)。そこで、脳神経系への影響を調べるために、まず、脳内神経伝達物質代謝について検討した。

2. 実験方法

2.1 試料

亜臨界水抽出は、通常の熱水抽出に比べて高温、高圧、短時間で有用成分を高濃度に抽出できる。水は、374.2 °C・22.1 MPa 以上の高温・高圧状態では、液体とも気体とも言えない超臨界状態となる。これを超臨界水と呼び、それよりやや低温・低圧で液体状態にある水を「亜臨界水」と呼んでいる (図 1) (衛藤, 2016)。この状態では、優れた成分抽出作用と強い加水分解作用があり、テアニンから環状テアニンを生成することができる。今回研究に用いる環状テアニンは、テアニンを亜臨界水抽出することにより生じた、エチル基のついた無色・油状の物質である (図 2)。

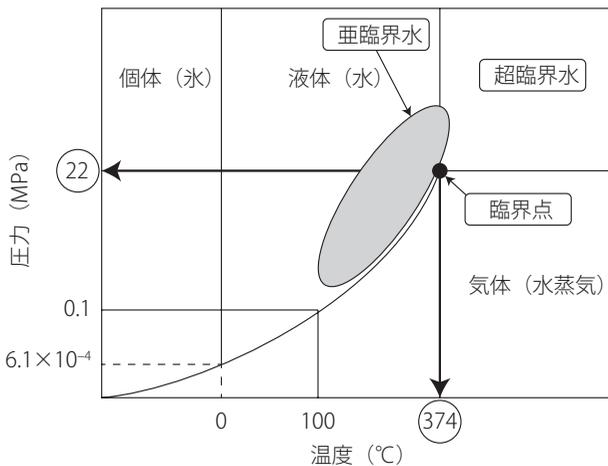


図 1：水の状態図

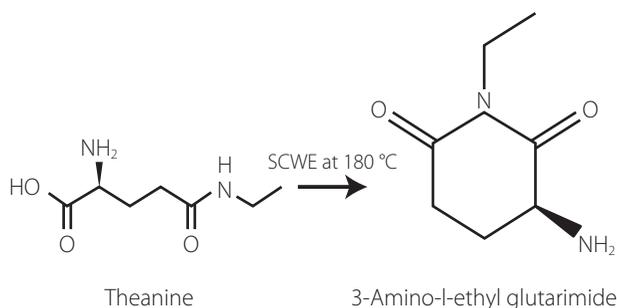


図 2：環状テアニンの構造式

2.2 実験 1：環状テアニンは吸収されるか

経口投与された環状テアニンが腸管から吸収されるか、また、血液脳関門を介して脳に取り込まれるかを調べた。なぜなら、これまでの研究でテアニンは腸管から吸収され、血流に乗り、脳に取り込まれ、また、脳内神経伝達物質に影響を及ぼし、特に、脳線条体からのドーパミン放出に影響を及ぼすことを明らかにしている (Yamada et al., 2009)。そこで、Wistar 系雄ラット (9 匹、平均体重 200 g) に環状テアニン (140 mg/1.5 ml/rat、生理食塩水で溶解) を経口投与し、0、1、3 時間後にそれぞれ 3 匹ずつ断頭屠殺し、血液から血清を得た。また、速やかに脳を摘出した後、大脳皮質、線条体、海馬を分画し測定まで -80°C で冷凍保存した。血清については、蒸留水で 100 倍に希釈し、MeOH を等量混和した後、 4°C 、15,000 g、15 分間遠心分離した。得られた上清中の環状テアニン量を、LC/MS/MS (UPLC: Inert Sustain AQ-C18 column, MS: LTQ Orbitrap) を用いて定量した。脳の分画については、環状テアニンが何らかの影響を与えているかを調べるため、神経伝達物質であるモノアミン量を、高速液体クロマトグラフィー法で分析した。カラムは EICOMPAK SC-50DS ($3.0\text{ mm} \times 150\text{ mm}$; エイコム製)、流速 0.5 mL/min 、カラム温度 32°C 、電化検出器は CoulochemIII (esa 社)、Analytical Cell として Model 5010 (450 mV) で分析した。移動相は 0.1 M 酢酸-クエン酸緩衝液 ($\text{pH}3.5$) 85%、メタノール 15%、EDTA 5 mg/ml 、SOS 200 mg/L の組成を用い分析した。

2.3 実験 2：脳線条体からのドーパミン放出に及ぼす環状テアニンの影響

テアニンは脳線条体からのドーパミン放出を促進し、また、動物実験では各種の記憶・学習能を改善し（寺島他, 2000）、ヒト試験では睡眠改善効果などを示すので（小関他, 2004）、環状テアニンにも同様の効果があるのかを比較検討した。用いた手法は、脳切片浸漬法であり、脳の切片を作成し、作成した脳切片を緩衝液（クレブスバッファー）に入れ、サンプルとしてテアニン、環状テアニンを加えることで脳から放出される神経伝達物質を測定する方法である（図 3）（福本他, 2006）。

放出された脳内神経伝達物質の濃度によって評価が可能で、今回は実験 1 同様、高速液体クロマトグラフィーにより脳線条体からのドーパミン放出量を測定した。Wistar 系雄ラット（15 匹、平均体重 212 g）を用い、断頭により屠殺後、すばやく脳線条体を分画し、ティッシュチョッパー（ML-100; メイワフォーシス）上にセットし、0.4 mm 厚にスライスした。切片を緩衝液（36 °C、混合気体（O₂-95 %, CO₂-5 % で飽和））に入れ、細い毛筆で各エッペンチューブに分配した。緩衝液（1,000 ml）の組成は、NaCl: 121.0 mM、MgCl₂: 1.2 mM、CaCl₂: 1.3 mM、NaHCO₃: 25 mM、NaH₂PO₄: 1.0 mM、グルコース: 10.0 mM、KCl: 13.5 mM、Nomifensine: 10 μM、Imipramine: 50 μM、L-チロシン: 50 μM、L-トリプトファン: 10 μM である。脳線条体切片の入ったエッペンチューブ（400 μL）に、テアニン（0.2 M、2.0 M）、または、環状テアニン（0.2 M、2.0 M）を 100

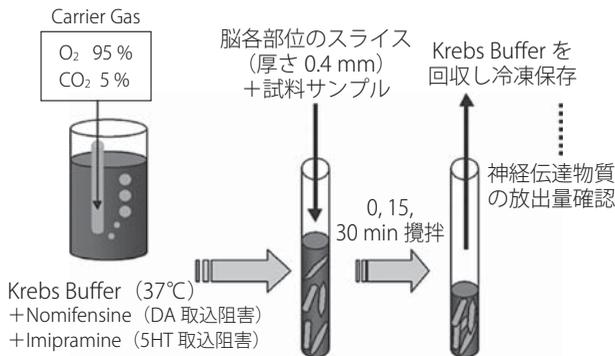


図 3：脳切片浸漬法の概要

μL 投与（チューブ内濃度は、4 μmol 及び 40 μmol）し、36 °Cの恒温にて0分、15分及び30分間放置後、上澄み液を採取し測定用試料とした。また、各チューブで用いた脳線条体の重量を測定し、ドーパミン放出量の補正に用いた。

3. 結果及び考察

3.1 実験 1：環状テアニンは腸管から吸収され、脳内物質に影響を与えるか

環状テアニンを投与したラットの血清を調べた結果、各ラットの血清において表1に示したような検出パターンが見られた。このことから環状テアニンはテアニンと同様に、腸管から吸収されると考えられた。そこで吸収された環状テアニンが、脳内物質に影響を及ぼすかを検討した。図4に、脳線条体のカテコールアミン量を示した。

表1：環状テアニン投与後の各ラット血清中环状テアニンの検出パターン

投与後	0 時間	1 時間	3 時間
	ND	0.203 mg/ml	0.053 mg/ml
	ND	0.107 mg/ml	0.051 mg/ml
	ND	0.119 mg/ml	0.061 mg/ml

ドーパミンは3,4-ジヒドロキシフェニル酢酸（DOPAC）を経て、ホモバニリン酸（HVA）に代謝される。線条体でのドーパミン・DOPACは、環状テアニン投与後1時間までは増加する傾向が見られ、ホモバニリン酸には大きな変動は観察されなかった。このことから、環状テアニンの投与は、ドーパミン代謝に何らかの影響のあることが示された。一方、図5には、大脳皮質、脳線条体、海馬におけるセロトニン（5HT）濃度を示した。いずれの部位においてもセロトニン濃度は、環状テアニン投与1時間後に高値を示した。以上の結果、環状テアニンの投与により、脳内神経伝達物質（ドーパミン、セロトニン）が何らかの影響を受けていることが示唆された。このことは、環状テアニンがテアニンと同様に、血液脳関門を介して脳内に取り込まれる可能性を示唆すると思われる。

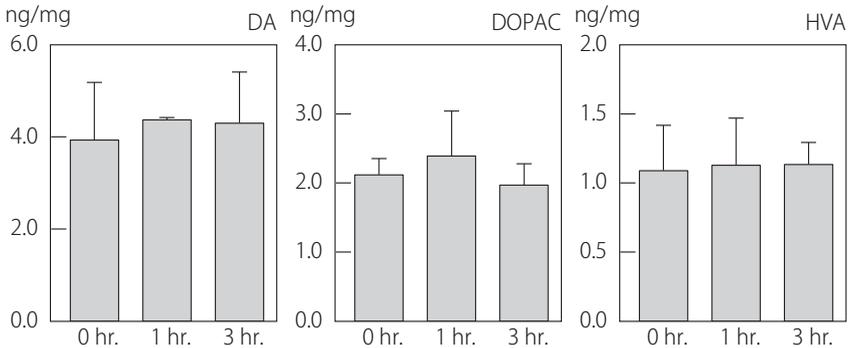


図 4：環状テアニン投与後の脳線条体のカテコールアミン含量

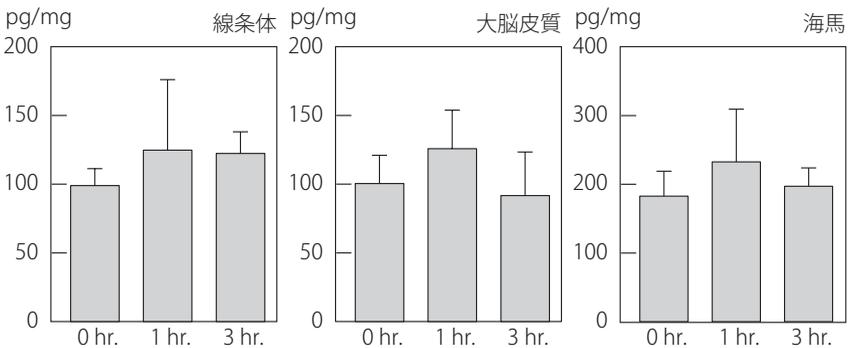


図 5：環状テアニン投与後の脳線条体、大脳皮質、海馬のセロトニン含量

3.2 実験 2：環状テアニンは脳線条体からのドーパミン放出を促進するか

これまでの研究結果から、テアニンはドーパミン作動性神経の幾つかの受容体を介して、ドーパミン放出を促進することを報告してきた (Yamada et al., 2005)。今回、環状テアニンにも同様の作用があるかを脳切片浸漬法で調べた。クレブス緩衝液 (脳脊髄液) 中に脳線条体切片を入れたエッペンチューブに、濃度を変えたテアニン及び環状テアニンを加え、0、15、30 分後の緩衝液を回収し、そこに放出されたドーパミン量を高速液体クロマトグラフィーで分析した。どのサンプルも 15 分、30 分と時間経過にともない、ドーパミン量が増え

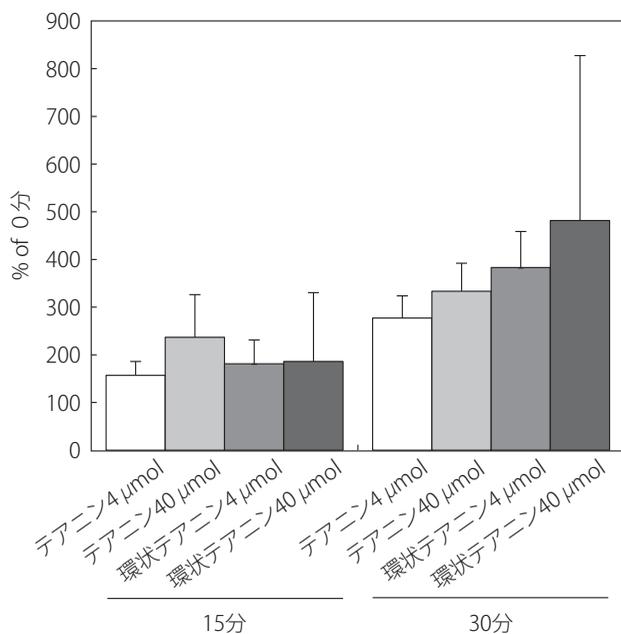


図6：脳切片浸漬法を用いたテアニン、環状テアニン投与後の脳線条体からのドーパミン放出量の変化

ていたため、0分の時の値を100%として、15、30分後の値の増加量を比較した(図6)。

テアニンについては、15、30分後とも、4 μmolより40 μmolの方がドーパミン放出量の多いことが確認できた。環状テアニンについても、15分よりも30分後の方が多くのドーパミン量が観察され、その量は4 μmolに比べ40 μmol投与の方がより多かった。しかし投与15分後の濃度による顕著な差異は見られなかった。テアニンと環状テアニンとの影響の違いとしては、15分後では顕著な違いは見られなかったが、30分後は環状テアニンの投与によるドーパミン放出作用の大きいことが観察され、その作用は濃度依存的であった。

4. まとめ

緑茶中には、ビタミン、ミネラル、食物繊維の他に、中枢神経系にも影響

を及ぼすカフェイン、カテキン、テアニンなど、多くの生理活性を有する成分が含まれている。その中で、これまで、緑茶の旨味成分とも言われているテアニンが、動物実験では脳内神経伝達物質を変動させ、また、幾つかの記憶・学習試験での改善が観察された（寺島他, 2000; Yokogoshi and Terashima, 2000; Yokogoshi et al., 1998）。また、ヒトボランティア試験では脳波のうちのアルファ波の放出頻度を高める作用のあることを明らかにした（Juneja et al., 1999）。緑茶は多くの効能を有することから、効率よく有効成分を抽出することが出来ないかと考え亜臨界水抽出を試したところ、一部のアミノ酸の環状化が観察され、テアニンについても環状テアニンが抽出された。呈味試験の結果では、テアニンよりも環状テアニンの方が後味などの優れていることが報告されている（Miyashita et al., 2014）。そこで、今回、環状テアニンの生体への吸収性と脳神経伝達物質に及ぼす作用についてテアニンと比較試験を行った。その結果、環状テアニンを投与することで血中へ移行することが明らかとなり、脳内神経伝達物質量が変化することが観察された。また脳切片浸漬法を用いた実験では、環状テアニン投与 30 分後における脳線条体からのドーパミン放出作用は、テアニンに比べ環状テアニンの方が強いことが示された。環状テアニンは味の面からだけでなく、高血圧予防と関係するアンジオテンシン変換酵素（ACE）阻害作用も強いことから、その生理機能が期待される。今後は、環状テアニンの機能性としてドーパミン放出作用の機構、また、脳機能としての記憶・学習能力や睡眠への影響、そして、食品成分としての有効性や応用性への検証が必要とされる。

引用文献

- 衛藤英男（2016）. 新しい食品加工技術である連続式亜臨界水抽出法はどのような食品に応用できるか. 科学・技術研究, Vol. 5, No. 1, pp. 5-8.
- 福本 修一・澤崎 絵美・寺島 健彦・横越英彦（2006）. 柑橘モノテルペン類摂取がストレス負荷時の脳内カテコールアミン代謝に及ぼす影響. *Aroma Research*, Vol. 7, No. 2, pp. 158-163.
- Juneja, L. R., Chu, D-C., Okubo, T., Nagato, Y., and Yokogoshi, H. (1999). L-theanine, — a unique amino acid of green tea and its relaxation effect in human. *Trends in*

- Food Science & Technology*, Vol. 10, pp. 199-204.
- Miyashita, T., Okamura, T., Iijima, Y., Suzuki, H., Shibata, D., Takaya, Y., Tanaka, H., and Etoh, H. (2014). (S)-3-Amino-1-ethylglutarimide from green tea (*Camellia sinensis*). *Studies in Science and Technology*, Vol. 3, No. 1, pp. 45-48.
- 宮下知也・横田正・木戸康嗣・岡村拓哉・飯島陽子・鈴木英之・柴田大輔・衛藤英男 (2015). 亜臨界水抽出による緑茶の高品質化. *科学・技術研究*, Vol. 4, No. 1, pp. 95-100.
- 小関 誠・レカ ラジュ・ジュネジャ・白川 修一郎 (2004). アクチグラフを用いた L-テアニンの睡眠改善効果の検討. *日本生理人類学会誌*, Vol. 9, No. 4, pp. 143-150.
- 寺島健彦・横越英彦 (2000). 緑茶成分 (テアニン) の行動科学的解析. *必須アミノ酸研究*, No. pp. 158, 27-37.
- Yamada, T., Terashima, T., Okubo, T., Juneja, L. R., and Yokogoshi, H. (2005). Effects of theanine, γ -glutamylethylamide, on neurotransmitter release and its relationship with glutamic acid neurotransmission. *Nutritional Neuroscience*, Vol. 8, No. 4, pp. 219-222.
- Yamada, T., Terashima, T., Kawano, S., Furuno, R., Okubo, T., Juneja, L. R., and Yokogoshi, H. (2009). Theanine, γ -glutamylethylamide, a unique amino acid in tea leaves, modulates neurotransmitter concentrations in the brain striatum interstitium in conscious rats. *Amino Acids*, Vol. 36, No. 1, pp. 21-27.
- Yokogoshi, H., Kobayashi, M., Mochizuki, M., and Terashima, T. (1998). Effect of theanine, γ -glutamylethylamide, on brain monoamines and striatal dopamine release in conscious rats. *Neurochemical Research*, Vol. 23, pp. 667-673.
- Yokogoshi, H. and Terashima, T. (2000). Effect of theanine, γ -glutamylethylamide, on brain monoamines, striatal dopamine release and some kinds of behavior in rats. *Nutrition*, Vol. 16, pp. 776-781.
- 横越英彦・山田貴史・寺島健彦 (2005). 茶の機能 (10) お茶と脳機能—病気予防からリラックスまで—. *食品と容器*, Vol. 46, No. 9, pp. 494-501.

掲載：科学・技術研究, 第6巻2号, pp. 107-110 (2017年)

第 19 章

嚥下障害者の誤嚥事故防止へ向けた 介護食品のレオロジー特性

遠藤 彩華、西田 統尊、遠田 明広、小野寺 良二、穴戸 道明

1. 緒言

近年、少子高齢化の進行にともない肺炎患者が増加している。とりわけ、2011年には肺炎による死亡者数が脳血管疾患による死亡者数を上回り、肺炎が日本人の三大死因のひとつとなった（厚生労働省, 2011）。この肺炎死亡者の約9割以上が65歳以上の高齢者であり、その7割以上は誤嚥性肺炎であるといわれている（藤谷他, 2010; 大類, 2013）。誤嚥性肺炎患者の多くが高齢者である要因のひとつとして、加齢にともなう嚥下機能および咀嚼機能の低下が挙げられる。これにより、食物を唾液と混ぜ合わせ食塊を形成する機能が低下し、誤嚥しやすくなるといわれている（大越, 2007）。そのため、嚥下困難者の食事中における液状食品の誤嚥防止には、個々に合わせた粘性抵抗を液状食品へ付与することが効果的である。また、液状食品へ粘性抵抗を付与する手段のひとつとして、増粘剤を液状食品へ添加することが挙げられる。

粘性抵抗の指標として、厚生労働省は平成21年4月から旧「高齢者用食品」に含まれた「そしゃく・えん下困難者用食品」を廃止し、新たに「えん下困難者用食品許可基準」を策定した（厚生労働省, 2019）。また、他の粘性抵抗の指標として、日本摂食・嚥下リハビリテーション学会嚥下調整分類2013（とろみ）（藤谷他, 2013）や、ユニバーサルデザインフード（以下、UDF）の規定（日本食品協議会, 2010）がある。しかし、高齢者施設や病院において液状食品に付与する粘性抵抗の程度は給食を管理する栄養士や管理栄養士の主観に委ねら

れており、これらの指標を参照にしていない現状にある。高齢者施設や病院に勤める職員 164 名を対象とし、増粘剤の添加量の目安・基準の有無について調査したところ、人によって基準が異なると回答した施設は 46 %、基準がないと回答した施設は 15 % であった（出戸他, 2008）。そのため、液状食品に付与する粘性抵抗の程度は作り手によってばらつきが生じると報告されている（山縣他, 2017; 江川他, 2007）。また、医療や介護現場では大量に作成した食事の分配に時間がかかるため、適切な粘性を付与した介護食の提供には、増粘剤を添加した液状食品の有する粘性の経時的変化について把握する必要がある。しかし、市販の増粘剤は製品によって物性が異なるといわれている一方で、その経時的な変化を示した基準や指標は未だ提唱されていない。こういった課題を改善することは嚥下困難者の生活の質の向上のために極めて重要な課題である。

本研究では、増粘剤を添加した飲料水の有する粘性の時間依存特性および温度依存特性により、粘稠液状食品の物性を評価した。また、増粘剤の特徴分析により物性表を作成し、その有用性を検討した。

2. 増粘剤を添加した飲料水の粘度測定

2.1 粘度測定

粘度の測定には、単一円筒形回転式粘度計 (LV DV1M、英弘精機株式会社、以下 回転式粘度計) を用いた。測定条件は、厚生労働省による旧特別用途食品・高齢者用食品の許可基準に基づき、回転数を 12 rpm、測定時間を 2 分とした。

2.2 時間依存特性評価

表 1 に実験に使用した増粘剤および飲料水を示す。UDF に登録されている増粘剤 3 種を溶質とし、飲料水 3 種を溶媒とした。UDF に登録されている増粘剤は、“硬さ”に基づき、 200 N/m^2 以下 (フレンチドレッシング状、以下 FD)、 $200 \sim 400 \text{ N/m}^2$ (とんかつソース状、以下 TS)、 $400 \sim 700 \text{ N/m}^2$ (ケチャップ状、以下 KT)、 700 N/m^2 以上 (マヨネーズ状) と定義されており、この指標を基準とした添加量が記載されている。表 2 に各社が定めている 100 ml あたりにおける増粘剤の目安添加量を示す。この添加量を参考にし、各増粘剤をそれ

表 1：実験に使用した増粘剤および飲料水

溶質	原材料名
トロミアップ HP (以下、増粘剤 A)	増粘多糖類、デキストリン、CMC、グルコン酸 Na、塩化 Mg
つるりんこ Quickly (以下、増粘剤 B)	キサンタンガム、デキストリン、クエン酸三 Na、乳酸 Ca
とろみエール (以下、増粘剤 C)	増粘多糖類、デキストリン、クエン酸 Na、乳酸 Ca

溶媒	主成分 (100 ml あたり)
軟水 (以下、水)	エネルギー：0 kcal、タンパク質：0 g、脂質：0 g、炭水化物：0 g、 食塩相当量：0.001 ~ 0.003 g
緑茶 (以下、茶)	エネルギー：0 kcal、タンパク質：0 g、脂質：0 g、炭水化物：0 g、 食塩相当量：0.02 g
オレンジジュース (以下、果汁飲料)	エネルギー：45 kcal、タンパク質：0.7 g、脂質：0 g、炭水化物 ：10.5 g、食塩相当量：0 g

注：増粘剤 A = 日清オイリオグループ株式会社、増粘剤 B = 株式会社クリニコ、増粘剤 C = アサヒグループ食品株式会社、水 = サントリー食品インターナショナル株式会社、茶 = 日本コカ・コーラ株式会社、果汁飲料 = ゴールドパック株式会社。

ぞれ飲料水に添加した。その後、攪拌機 (AK-16-P12 TL-256、株式会社大創産業) により 15 秒間攪拌し、5 分間、1 時間、6 時間、12 時間、24 時間放置した計 135 種類の溶液を試料とした。なお、各試料の温度は 20 ± 2 °C とし、各試料に対する粘度を回転式粘度計により 10 回測定した。

2.3 温度依存特性評価

表 1 に示す増粘剤 3 種を溶質とし、水を溶媒とした。攪拌した試料を 5 分間静止させた後、湯煎により試料の温度を 10 ~ 60 °C の間で 10 °C 刻みに調整した。なお、溶解手順および測定方法は時間依存特性評価と同様である。

2.4 統計処理

粘性の経時的変化における分析には、対応のある *t* 検定により行った。なお、有意水準は 5 % とした。得られた結果から比例関係を確認するため、ピアソンの積率相関係数により相関関係の強さを求めた。

2.5 増粘剤の特徴分析

本分析では、時間依存特性評価および温度依存特性評価から得られた結果を用いた。とりわけ、時間経過による粘度の変化率および温度上昇による粘度の変化率によって各増粘剤を評価した。なお、溶媒が2種類以上ある時間依存特性評価では各増粘剤における粘度の変化率を、溶媒が1種類の温度依存特性評価では各添加量における粘度の変化率を求めた。(1)式より、各添加量における粘度の変化率 R_i を導出した。ここで、 V_{max} は得られた粘度の最大値、 V_{min} は得られた粘度の最小値とした。また、(2)式を用いて各添加量における変化率 R_i の平均値により、各増粘剤の変化率 R_{sum} を導出した。

$$R_i = \frac{V_{max} - V_{min}}{V_{min}} \times 100 (\%) \quad (1)$$

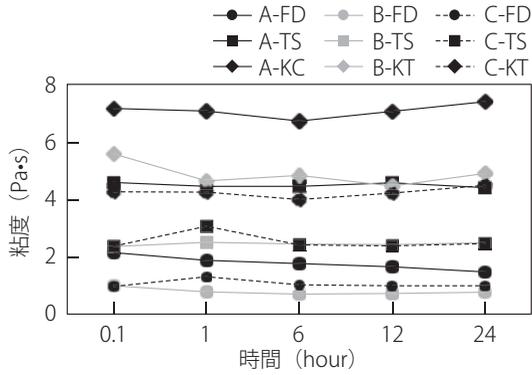
$$R_{sum} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 R_i (\%) \quad (2)$$

3. 結果および考察

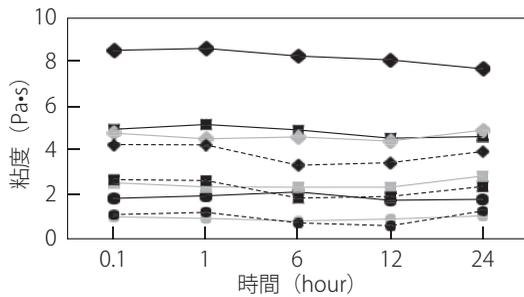
3.1 時間依存特性評価

図1に各増粘剤を添加した飲料水の経時的な粘性の変化を示す。(a)は水、(b)は茶、(c)は果汁飲料を溶媒としたときの経時的な粘性の変化を示す。各増粘剤の添加量が増加するにつれ、粘度が上昇した。しかし、各増粘剤の種類により、3段階の濃度における粘度にばらつきがみられた。この要因のひとつとして、増粘剤は製造者側の観点に比重を置いて製造されているため、本実験で使用した増粘剤の主成分であるキサンタンガムやデキストリンなどの配合量の違いが挙げられる。

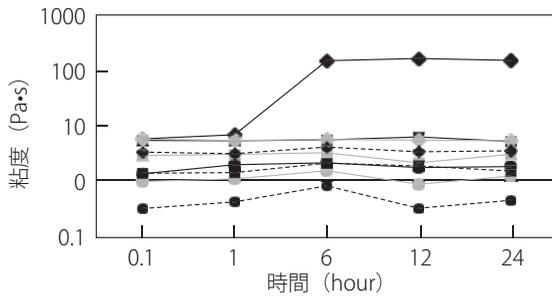
図2に各飲料水における相関関係を示す。(a)は水と茶、(b)は水と果汁飲料、(c)は茶と果汁飲料の相関関係を示す。時間経過による粘性の変化において、水と茶は強い正の相関を示した ($r = 0.997$)。その一方で、水と果汁飲料および茶と果汁飲料は正の相関を示した ($r = 0.51$ 、 $r = 0.45$)。このことから、水と茶は類似した時間依存特性を有するため、茶に含まれるカテキンやミネラルなどは増粘剤の溶解に影響を与えないといえる。その一方で、増粘剤Aを溶解した果



(a) 水

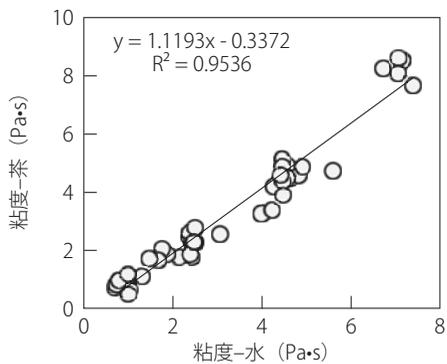


(b) 茶

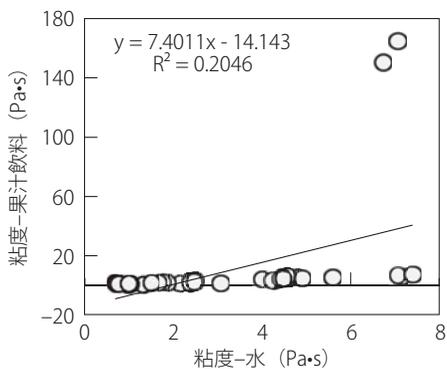


(c) 果汁飲料

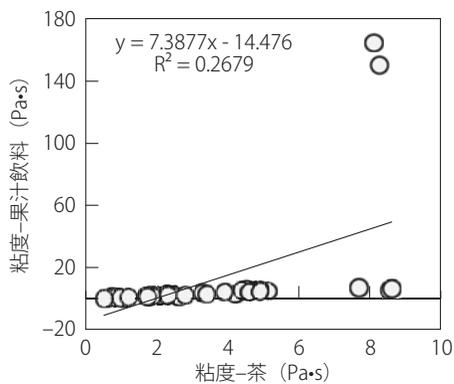
図 1：各増粘剤を添加した飲料水の経時的な粘性の変化



(a) 水と茶



(b) 水と果汁飲料



(c) 茶と果汁飲料

図2：各飲料水における相関関係

汁飲料は時間経過により粘度が増加した。これは、果汁飲料に含まれる酸の影響により増粘剤の溶解に時間を要したためだと示唆される。

対応のある t 検定の結果、短時間放置した試料（5 分間）と長時間放置した試料（1 時間以上）の間で有意差が認められた。以上の結果より、増粘剤を添加した飲料水は時間に依存する傾向があるため、適切な粘性を付与した介護食の提供には、粘性を付与し提供するまでの時間を考慮する必要がある。

3.2 温度依存特性評価

図 3 に各増粘剤を添加した水の温度上昇にともなう粘性の変化を示す。試料の温度上昇にともない、粘度は減少した。この要因のひとつとして、試料の温度上昇により、試料内の分子運動が活発化したことが挙げられる。

図 4 に各増粘剤の相関関係を示す。(a) は増粘剤 A と B、(b) は増粘剤 A と C、(c) は増粘剤 B と C の相関関係を示す。温度上昇による粘性の変化において、各増粘剤は強い正の相関を示した（増粘剤 A と B： $r = 0.987$ 、増粘剤 A と C： $r = 0.825$ 、増粘剤 B と C： $r = 0.824$ ）。とりわけ、増粘剤 A および B と比較すると、増粘剤 C は温度上昇にともない粘性が低下しやすい傾向にあった。また、増粘剤 C における KT 状に着目すると、粘度の最大値と最小値の差は約 $6.8 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ であった。これは、日本食品協議会において定められているとろみの自主基準から逸

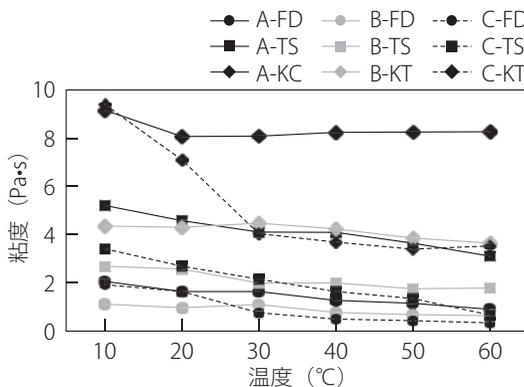
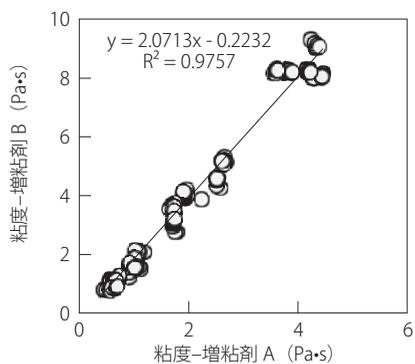
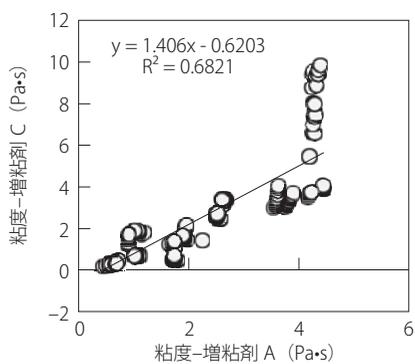


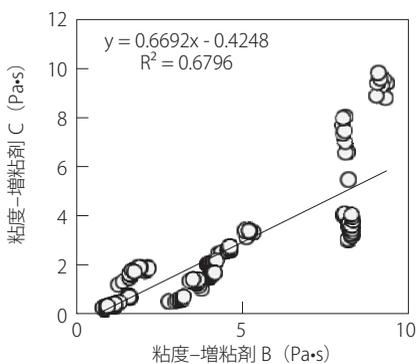
図 3：各増粘剤を添加した水の温度上昇にともなう粘性の変化



(a) 増粘剤 A および B



(b) 増粘剤 A および C



(c) 増粘剤 B および C

図 4：各増粘剤の相関関係

脱した値といえる。よって、適切な粘性を付与した介護食の提供には、液状食品の温度を考慮し増粘剤の添加量を調整する必要がある。

3.3 増粘剤の特徴分析

図5に各実験による粘度の変化率を示す。(a)は時間経過による各増粘剤の変化率、(b)は温度変化による各添加量の変化率を示している。時間依存特性評価において、果汁飲料を溶媒としたとき、増粘剤AおよびCの変化率と比較すると増粘剤Bにおける変化率は低い値を示した(A:979%、B:51%、C:88%)。また、水および茶を溶媒としたとき、各増粘剤AおよびBの変化率は50%以下であった。このことから、増粘剤Bは時間経過による粘性への影響を受けにくいといえる。その一方、温度依存特性において、増粘剤の添加量が増加するにつれて変化率は小さくなった。しかし、変化率の最大値に着目すると、増粘剤AおよびBと比較し増粘剤Cは高い値を示した(A:179%、B:168%、C:910%)。

表3に使用した増粘剤の物性表を示す。各増粘剤を溶質、水を溶媒とし、溶解後5分間静止させた溶液の粘度を10回測定し、その平均を基準値とした。なお、溶液の温度は $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ とした。基準値と比較し、各実験結果における最大の変化率が30%未満の試料をA、30%以上50%未満をB、50%以上80%未満をC、80%以上をDとして評価した。時間経過または温度上昇といった外的要因において、増粘剤の種類により粘性の変化が異なることが明らかとなった。市販されている増粘剤は、増粘を目的として多糖類を二種類以上配合した

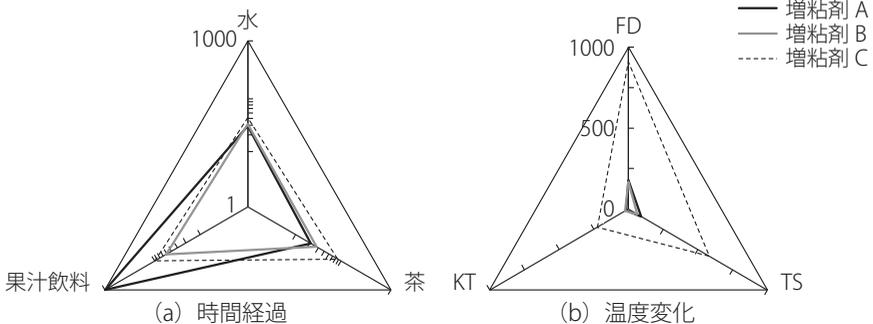


図5：各実験による粘度の変化率

表 3：使用した増粘剤の物性表

基準値			
	増粘剤 A	増粘剤 B	増粘剤 C
FD (Pa·s)	2.135	0.081	0.959
TS (Pa·s)	4.579	2.357	2.365
KT (Pa·s)	7.152	5.579	4.260
水の時間依存特性			
FD (-)	B	A	B
TS (-)	A	A	B
KT (-)	A	A	A
茶の時間依存特性			
FD (-)	A	A	D
TS (-)	A	A	B
KT (-)	A	A	B
果汁飲料の時間依存特性			
FD (-)	C	D	D
TS (-)	B	B	C
KT (-)	D	A	B
水の温度依存特性			
FD (-)	D	B	D
TS (-)	C	B	D
KT (-)	B	B	D

場合、略称として増粘多糖類と成分表記することができる。そのため、成分表記から増粘剤の特徴を推察することは困難である。このことから、異なる複数の増粘剤からなる物性比較表の作成は、市販の増粘剤の特徴について共通認識を図ることが可能となり、作り手に依存しない粘性抵抗の付与が期待される。

4. 結言

本研究では、増粘剤を添加した飲料水の時間依存特性および温度依存特性により、増粘剤の物性を評価した。

- ・ 増粘剤の添加量の増加にともなう粘度上昇が確認された。
- ・ 増粘剤を添加した水の有する粘性は、温度に依存する傾向があった。
- ・ 水と茶は強い正の相関を示したため、類似した時間依存特性を有する。
- ・ 短時間放置した試料と長時間放置した試料の間において、対応のある t 検定により有意差が認められた。
- ・ 増粘剤を添加した飲料水は時間および温度に依存する傾向があるため、介護食の提供には粘性を付与してから提供するまでの時間を考慮する必要がある。

引用文献

- 江川広子・別府茂・山村千絵・黒瀬雅之・八木稔・山田好秋（2007）. 介護食の提供実態調査, Vol. 17, No. 1, pp. 16-26.
- 大越ひろ（2007）. 嚥下障害者のための食事—高齢者を対象とした食事の安全性とテクスチャーの面から—, 日本食生活学会, Vol. 17, No. 4, pp. 10-18.
- 大類孝（2013）. 超高齢社会における誤嚥性肺炎の現状, 日本老年医学会雑誌, Vol. 50, No. 4, pp. 458-460.
- 厚生労働省（2011）. 平成 28 年人口動態統計（確定数）の概況, https://www.mhlw.go.jp/toukei/saiin/hw/jinkou/kakutei11/dl/10_h6.pdf.（閲覧日：2020 年 2 月 15 日）
- 厚生労働省（2019）. 令和元年 特別用途食品表示許可基準並びに特別用途食品の取り扱い及び指導要領, https://www.caa.go.jp/policies/policy/food_labeling/health_promotion/pdf/food_labeling_cms206_190924_01.pdf.（閲覧日：2020 年 2 月 19 日）
- 出戸綾子・江頭文江・栢下淳（2008）. 病院・施設における市販トロミ調整食品の使用状況, 県立広島大学人間文学部紀要, Vol. 3, pp. 33-42.
- 日本食品協議会（2010）. とろみ調整食品の「とろみの目安」の設定にあたって, 缶詰時報, Vol. 89, No. 4, pp. 34-36.
- 藤谷順子・宇山理紗・大越ひろ・栢下淳・小城明子・高橋浩二・前田広士・藤島一郎・植田耕一郎（2013）. 日本摂食嚥下リハビリテーション学会嚥下調整食分類 2013, 日本摂食嚥下リハビリテーション学会, Vol. 17, No. 3, pp. 255-267.
- 山縣誉志江・與儀沙織・栢下淳（2017）. 官能評価による学会分類 2013（とろみ）の粘度範囲の妥当性, 日本摂食嚥下リハビリテーション学会, Vol. 21, No. 3, pp. 129-135.

第 20 章

嗜好飲料として注目されている麦茶の成分と機能

横田 正、服部 哲也、衛藤 英男

1. はじめに

夏の清涼飲料水として以前より飲まれていた麦茶は、ここ数年再び注目され販売数も伸びている。その要因の一つに、麦茶の抗酸化作用、抗炎症作用、胃粘膜保護作用、糖尿病副作用の改善などの機能が明らかになったことがあげられる。また、一日の始まりの心地よい香りに関連した働きをする成分も分かってきた。そこで、著者らの研究を中心に、麦茶の歴史、製法、成分および機能性についてまとめた。

2. 麦茶の歴史

大麦は、「古事記」に稲、粟、きび、豆とともに5大穀物の一つとして記されている大事な食材である。この大麦が日本に伝来したのは稲作が始まる前の縄文時代末期とされており、土器にこげとしてついた大麦に水を入れて飲んだことが麦茶の起源と言われている。

平安初期の「和妙類聚称（わみょうるいじゅしょう）」に「米麦を乾かし、これを炒って粉にし、湯水に転じて服すとあり、これを「みずのこ」、畿内では「はったい」と言う。」とある。豊臣秀吉が京都の北野天満宮で開催した大茶会で、「お茶のないものは「こがし（はったい粉）」を持って集まれ。」と呼びかけている。庶民の間では「麦こがし」をお茶代わりに飲んでいたことがう

かがわれる。

毎年6月1日は「麦茶の日」である。衣替えの時期で、1986年に全国麦茶工業協同組合が定めたものである。また、初夏を麦秋と呼ぶ理由は5～6月に刈り入れた直後の新麦が香ばしく、美味しく、秋の稲刈りのあとに作付けされたものが初夏に収穫されることから言われる。

3. 麦茶の分類と製法

3.1 麦茶用の大麦について

麦茶の原料は大麦で、六条大麦が主に用いられる。大麦は、小麦に含まれているグルテンがほとんど含まれていないため、製パンや製麺などの加工食品には適していない。食物繊維が小麦より多く、その他リノール酸、リノレン酸、 γ -トコフェロール、 α -トコトリエノール、フィチン、リグナン、カルシウム、鉄分、ビタミンB₁、ニコチン酸などを含む。大麦には結実する穂の数によって小花が六条に並んでつく六条大麦と二条に並んでつく二条大麦（主にビールの原料）に分けられ、さらに皮麦とはだか麦に分類される。またアミロース含量により、うるち種ともち種とがある。

愛知県岡崎市では、穂や茎が紫色をしたむらさき麦（品種：大公館）が栽培されており、このむらさき麦を用いた麦茶が製造、販売されている。また、もち麦（品種：ダイシモチ種）を使用したもち麦麦茶が滋賀県近江八幡市（大地の芽工房）で販売されている。もち種は β -グルカンが多く注目されている。そのため、 β -グルカンの含有の多いもち麦種の品種改良が盛んに行われている。

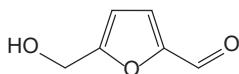
3.2 麦茶の製法

3.2.1 焙煎による方法

精選された大麦を焙煎機に入れ、2、3回熱風と砂炒りで麦の中心まで煎り上げて完成する。通常は200℃から280℃で4分ほど焙煎する。

3.2.2 亜臨界水抽出法による方法

上記に示したように、麦茶は大麦を焙煎して製造されるが、食品の新技术である亜臨界水抽出法を用いることで大麦から直接麦茶様エキスを製造できる。筆者らは、大麦粉末（60 g）を水（200 ml）に入れ、150 °Cから280 °Cまで、3から5MPaの圧力で亜臨界水抽出を行った。その結果、205 °C、5MPaの条件でアミノ酸が多く、また糖から誘導された抗酸化活性を有する5-ヒドロキシメチル-2-フルアルデヒド（HMP）が多く含まれた麦茶様エキスを得た（Kulkarni et al., 2008）。



5-ヒドロキシメチル-2-フルアルデヒド（HMP）

図1：麦茶様エキに含まれる糖由来の機能性成分

この麦茶様エキスの2つの安全性試験について、ラットを用いた急性経口毒性試験と細菌を用いた復帰突然変異試験を（財）食品農医薬品安全性評価センターで行った結果いずれも陰性であった。ラットを用いた急性経口毒性試験では死亡例はなく異常も観察されず、体重も標準的で解剖の結果も器官および組織に異常は認められなかった。細菌を用いた復帰突然変異試験では、陰性対照群の2倍を超える復帰変異コロニー数の増加は認められず、試験菌株に対する生育阻害作用も観測されなかった。コロニー計数時、析出等の変化についても観測されず、陽性対照物質は、復帰突然変異を顕著に誘発した。

4. 麦茶の香気成分および機能性

4.1 麦茶の香気成分

Wang et al. (1968; 1969; 1970) および Shimizu et al. (1970) によって麦茶の香気成分の研究が数多くなされている。また、最近になり、Tatsu et al. (2020) によってはだか麦と通常の麦茶の香気成分の分析が行われた。得られた香気成分の中で、麦茶の強いスモーク臭を示した化合物は2-メトキシフェノールとイソオイゲノールであった。また、重要な香りは2-アセチルピラジン、

2-アセチル-1-ピロリン、3-メチルブタナールであった。

4.1.1 麦茶香気の人間に対する効果

麦茶の香りが若者に対してどのような効果を示すかを調べた（杉浦他, 2008）。焙煎度の異なる3種、深煎り、中煎り、浅煎りを被験者の鼻先に呈示した。その結果、深煎りの麦茶に対して被験者全員に副交感神経活動が低下し、交感神経活動が上昇した。また、呈示直後から30秒以上左後頭部を中心にして α/β 比率の高い領域が観察され、第II象限が多くなった。このことから、深煎りは呈示後しばらく「快適感」が持続し、覚醒度を低下することなく鎮静寛を惹起していた。

4.2 麦茶の機能性

江戸時代の本「本朝食鑑（ほんちょうしょっかん）」に、大麦の効用として、「胸を寛げ、気分をおだやかにし、血を涼にし、つかえを消し、食を進める」と記している。麦粉は、「当今、生麦を香ばしく炒り、ふるいにかけて粉末にし、夏月、冷水を飲むとき、これを加えて練って服用している。砂糖を和してたべることもある」と記している。こうすることで、「生水を飲んでも害がなく、暑気を消して胃にも良い」と見解を述べている。

麦茶の成分と機能に関する研究は、古くからおこなわれている（梶本, 2000）。麦茶は抗酸化作用を有していることを見出し、抗酸化物質としてカテ

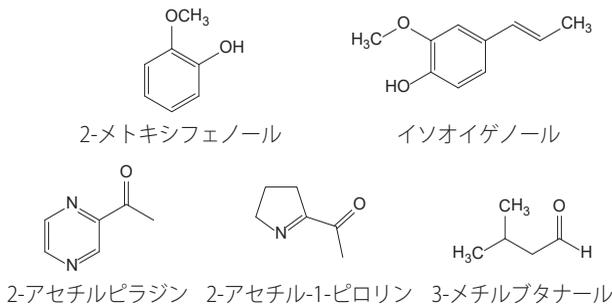


図2 麦茶の重要な香気成分

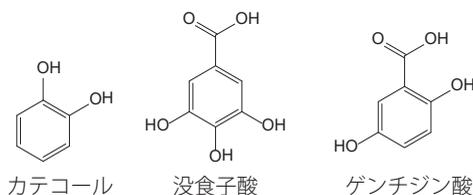


図3：麦茶に含まれる抗酸化物質

コール、没食子酸およびゲンチジン酸を得ている。また、麦茶には血糖値や脂質の低減、消化の改善などが期待されている。朝の軽い苦みと香りはリフレッシュ効果を表し、一日の初めの前向きな気持ちにさせる。

4.2.1 麦茶から抗酸化物質の単離

筆者らは、麦茶から10種のフェノール化合物、3,4-ジヒドロベンズアルデヒド (1)、*p*-クマル酸 (2)、ケルセチン (3)、イソアメリカノールA (4)、*p*-ヒドロキシベンズアルデヒド (5)、*p*-ヒドロキシアセトフェノン (6)、5,7-ジヒドロキシクロモン (7)、ナリンゲニン (8)、*p*-ヒドロキシ安息香酸 (9) および3-ヒドロキシ-4-メトキシ安息香酸 (10) を同定した (Etoh et al.,

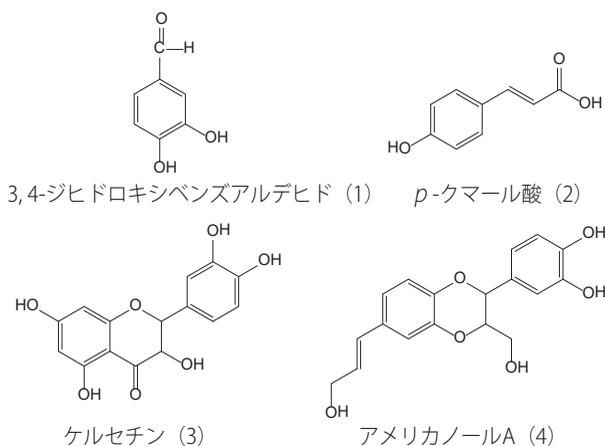


図4：麦茶に含まれる抗酸化物質

表 1：麦茶に含まれるフェノール化合物と抗酸化活性

化合物	濃度 (μM)		
	100.00	200.00	300.00
1	45.4 \pm 1.7	83.9 \pm 1.1	94.0 \pm 1.6
2	30.0 \pm 4.0	50.8 \pm 1.9	69.0 \pm 0.7
3	67.0 \pm 15.9	94.3 \pm 4.8	99.7 \pm 0.2
4	54.5 \pm 2.4	75.3 \pm 2.3	84.9 \pm 5.5
5	3.7 \pm 8.2	5.2 \pm 10.7	6.0 \pm 10.0
6	-1.9 \pm 1.5	-2.3 \pm 2.8	-0.1 \pm 1.7
7	5.4 \pm 5.0	10.3 \pm 4.4	13.7 \pm 4.4
8	6.2 \pm 3.6	10.8 \pm 2.6	12.2 \pm 2.2
9	6.2 \pm 7.7	4.1 \pm 13.0	7.1 \pm 5.4
10	7.2 \pm 4.9	9.3 \pm 1.4	12.1 \pm 2.7

注：3回の平均値 (%)。

2004)。これらの化合物のペルオキシナイトライトを用いた抗酸化活性を調べた結果、1, 2, 3 および 4 に強い活性を認められた (Niwa et al., 2001; 2002) (表 1)。

4.2.2 麦茶のその他の機能性

麦茶の機能性として①糖尿病関連酵素および糖吸収に及ぼす影響②肝機能改善に及ぼす影響③活性化マクロファージからの一酸化窒素産生に及ぼす影響④チロシナーゼに及ぼす影響⑤エタノール誘発ラット急性胃粘膜損傷に及ぼす影響を調べた。その結果、①、③および⑤に効果が認められた。

4.2.2.1 糖尿病関連酵素および糖吸収に及ぼす影響

ショ糖負荷ラットにおける糖吸収や α -グルコシダーゼに対する影響を調べた結果、顕著な阻害効果は示さなかったが、糖尿病合併症に関与するアルドース還元酵素に対して顕著な阻害効果が見られた (表 2)。これは、糖尿病性 3 大合併症の一つである神経障害の原因のソルビトールの産生を抑制するアルドース還元酵素を抑制したものと考えられた。

表 2：ラットレンズ由来アルドース還元酵素に対する麦茶様エキスの阻害効果

麦茶濃度 ($\mu\text{g/ml}$)	1	3	10	30	100
阻害 (%)	-6.0	-4.7	9.8	34.4	65.6

4.2.2.2 活性化マクロファージからの一酸化窒素産生に及ぼす影響

マウス腹腔マクロファージを菌体由来毒素であるリポ多糖で刺激したときの過剰な一酸化窒素産生に対する麦茶エキスの影響を検討したところ、一酸化窒素産生抑制活性が認められた (表 3)。

表 3：リポ多糖刺激による活性化マクロファージからの一酸化窒素産生に及ぼす作用 (in vitro)

麦茶濃度 ($\mu\text{g/ml}$)	10	30	100	300
阻害 (%)	-3.4 ± 3.1	-8.4 ± 5.3	$23.2 \pm 2.5^*$	$95.7 \pm 1.2^*$

注：N = 4, mean \pm SEM, * $p < 0.01$ 。

4.2.2.3 エタノール誘発ラット急性胃粘膜損傷に及ぼす影響

エタノール誘発ラット急性胃粘膜損傷に及ぼす影響を調べたところ、損傷 (色が濃く変色した箇所) のある Normal に対して、麦茶エキスのサンプルは色が薄くなり損傷を抑制したことが認められた (図 5)。

5. むらさき麦茶の機能性と嗜好

むらさき麦 (大公館) の紫色の主成分はアントシアニン (シアニジン-3-グルコシド) であり、多くの機能が注目されている (横田, 2012)。そこで、市販されている通常の麦茶とこのむらさき麦の浅煎り、深煎り麦茶の機能性、嗜好性について比較した (横田, 2013)。その結果、DPPH 消去活性は、市販の麦茶よりむらさき麦茶の方が高かった。また、嗜好性については、むらさき麦茶の深煎りが最も高かった。また、大麦と同様にむらさき麦も亜臨界水で処理し、その抽出物について麦茶の専門家による試飲、審査の結果、以下のよう

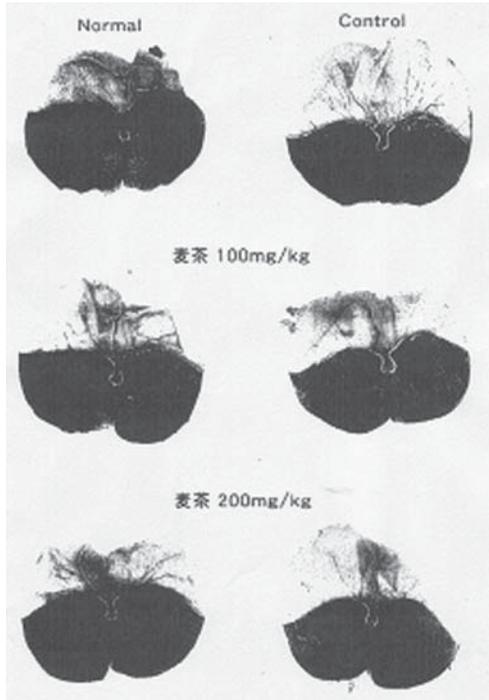


図 5：エタノール誘発急性胃粘膜損傷に与える麦茶エキスの影響

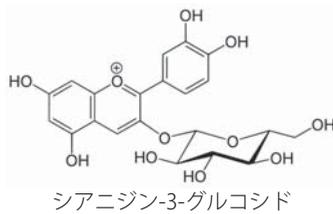


図 6：むらさき麦に含まれる色素成分

な評価を得た。

- ・ 味はまろやか（ソフト）で癖もなく、甘さもあって飲みやすい
- ・ 昔懐かしい麦焦がしのような味があり、麦芽糖のような味がして美味しい
- ・ 香り（匂い）は「麦の香」がほのかにして、良い匂いといえる

大麦のエキスと比べて大差はないが、味を主体にまろやかであるとのことである。先のむらさき麦の麦茶でも、市販品よりもまろやかであるとの意見もあり、むらさき麦の麦茶は通常の麦茶より味、香りがソフトに仕上がるものと考えられ、新たな飲料としての開発に期待ができる。

6. 実験

6.1 ラットを用いた急性経口毒性試験

6週齢のラット雌5匹を用いて、5000 mg/kgの単回経口投与毒性試験を7日間行った。

6.2 細菌を用いた復帰突然変異試験

ネズミチフス菌 *Salmonella typhimurium* TA100 および TA98, 大腸菌 *Escherichia coli* WP2uvrA を用いて復帰突然変異試験を行った。

6.3 麦茶香気の人間に対する効果試験

被験者は男子大学生4名（21から22歳）、治療中の病気はなく服薬もしていない。実験時間帯は午前9時から12時。25±1℃、湿度45%の室内で行った。脳波と心電図電極を装着後、10分の安静状態を保ち、5分間の安静後、5分間のにおい呈示、その後再び5分間安静にした。麦茶は焙煎度の異なる3種、深煎り、中煎り、浅煎りを用いた。それぞれ7gをペーパーミルで細かく粉碎してペーパーカップに入れ、被験者の鼻先に呈示した。脳波は、 α 波と β 波を分離し α/β に着目し吉田法（吉田, 2008）による快適度評価を行った。また、心電図は心拍周期変動解析による自律神経活動の解析を行った。

7. まとめ

麦茶は古くから飲まれてきたものであるが、長い間機能性が低く水と変わらないと言われてきた。しかし、多くの研究によって様々な機能性が明らかになり、それに関連した成分も解明されてきた。また、朝飲むことでリラックス効果が得られることもわかり、それには麦茶の香り成分が関連していることも明らかになってきた。また、通常の大麦の麦茶だけではなく、アントシアニンを含んだむらさき麦の麦茶や、 β -グルカンを多く含んだもち麦の麦茶、亜臨界水抽出による麦茶エキスなども開発された。日本に古くから飲用されている麦茶には無限の可能性がある。さらなる開発、機能性に期待したい。

引用文献

- Etoh, H., Murakami, K., Yogoh, T., Ishikawa, H., Fukuyama, Y., and Tanaka, H. (2004). Anti-oxidative compounds in barley tea. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, Vol. 68, pp. 2616-2618.
- 梶本五郎 (2000). 麦茶の化学成分. 日本食品科学工学会誌, Vol. 47, pp. 9-16.
- Kulkarni, A., Yokota, T., Suzuki, A., and Etoh, H. (2008). Subcritical water extraction of barley to produce a functional drink. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, Vol. 72, No. 1, pp. 236-239.
- Niwa, T., Doi, U., Kato, Y., and Osawa, T. (2001). Antioxidative properties of phenolic antioxidants isolated from corn steep liquor. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 49, pp. 177-182.
- Niwa, T., Murakami, K., Ohtake, T., Etoh, H., Shimizu, A., Shimizu, Y., Kato, Y., and Tanaka, H. (2002). Peroxynitrite scavenging activities of aromatic compounds isolated from konnyaku, *Amorphophallus konjac* K. Koch. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, Vol. 66, pp. 1386-1388.
- Shimizu, Y., Matsuto, S., Mizunuma, Y., and Okada, I. (1970). Studies on the flavors of roast barley (mugi-cha). *Agricultural and Biological Chemistry*, Vol. 34, pp. 437-441.
- Shimizu, Y., Matsuto, S., Mizunuma, Y., and Okada, I. (1970). Studies on the flavors of roast barley (mugi-cha). *Agricultural and Biological Chemistry*, Vol. 34, pp. 845-853
- Shimizu, Y., Matsuto, S., Mizunuma, Y., and Okada, I. (1970). Studies on the flavors of roast barley (mugi-cha). *Eiyo to Shokuryo*, Vol. 23, pp. 276-280.

- Shimizu, Y., Matsuto, S., Mizunuma, Y., and Okada, I. (1970). Studies on the flavors of roast barley (mugi-cha). *Eiyo to Shokuryo*, Vol. 23, pp. 281-285.
- 杉浦敏文・沖田善光・鈴木紳弐・衛藤英男 (2008). 吉田法による麦茶のにおいの効果の基礎的検討. *Aroma Research*, Vol. 9, pp. 69-72.
- Tatsu, S., Matsuo, Y., Nakahara, K., Hofmann, T., and Steinhaus, M. (2020). Key odorants in Japanese roasted barley tea (mugi-cha)-differences between roasted barley tea prepared from naked barley and roasted barley tea prepared from hulled barley. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Vol. 68, pp. 2728-2737.
- Wang, P. S. and Sakurai, Y. (1968). Studies on flavor components of roasted barley. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, Vol. 15, pp. 514-518.
- Wang, P. S., Kato, H., and Fujimaki, M. (1968). Studies on flavor components of roasted barley. *Agricultural and Biological Chemistry*, Vol. 32, pp. 501-506.
- Wang, P. S., Kato, H., and Fujimaki, M. (1969). Studies on flavor components of roasted barley. *Agricultural and Biological Chemistry*, Vol. 33, pp. 1775-1781.
- Wang, P. S., Kato, H., and Fujimaki, M. (1970). Studies on flavor components of roasted barley. *Agricultural and Biological Chemistry*, Vol. 34, pp. 561-567.
- 横田正 (2012). むらさき麦の色素および抗酸化性に関する研究. 愛知学泉大学・短期大学紀要, Vol. 47, pp. 1-6.
- 横田正 (2013). むらさき麦を用いた麦茶の抗酸化性および嗜好性に関する研究. 愛知学泉大学・短期大学紀要, Vol. 48, pp. 15-19.
- 吉田倫幸 (2002). 脳波の周期リズムによる快適度評価モデル. *Japanese Psychological Review*, Vol. 45, No. 1, pp. 38-56.

掲載：科学・技術研究, 第10巻1号, pp. 53-56 (2021年)

第 21 章

味関連データを基にした 日本酒の味のマッピングと分類化

野田 博行

1. 緒言

日本酒の味の評価は、日本酒鑑評会をはじめとして官能検査で最終判断が下されている（茨城県醸造試験所, 1965; 鈴木他, 1978）。また、佐藤らは、人工酒と合成酒を用い、官能評価と酸度（辛さと濃淡）、還元糖濃度（甘さ）の関係を明らかにし、濃淳辛口、淡麗辛口、濃淳甘口、淡麗甘口の四つのタイプに分類した（佐藤他, 1974）。しかし、市販酒では、狭い範囲に集中して必ずしも適用できるわけではないと述べている。

一方これまで、多くの研究者が化学成分による日本酒の評価を試みている。たとえば、岩野ら（1981）は、日本酒の一般的な指標であるアルコール度、日本酒度（比重）、酸度およびアミノ酸度にダイアセチル、ピルビン酸、酢酸等と官能検査の関係を主成分分析とクラスター分析により検討している。その結果、ピルビン酸により類別化されたものの、日本酒の品質との関係は認められないことを報告している。また、池見ら（1981）は、秋田県産の日本酒 18 点のタイプ別の成分比較を行っている。その結果、特に有機酸の組成が日本酒のタイプにより異なることを報告している。さらに、小川ら（2010）は、日本酒のタイプ別と成分との関係を検討している。その結果、微量アルコール成分やアミノ酸組成、フルフラールが本醸造や吟醸などの日本酒のタイプにより特徴があることを明らかにしている。

近年、味覚センサーを用いた食品の味の評価手法（池崎他, 2011; 都甲,

2000)が開発され、日本酒の味の評価への応用も検討されている。熊谷ら(2001)は、195点の日本酒を味覚センサーで分析し、小川ら(2010)と同様に日本酒のタイプにより特徴があることを示した。また、官能評価値や化学分析値と味覚値の重相関分析から、アルコール度や酸度、官能評価値が概ね予測できることを明らかにしている。都甲(2016)は、甘味や旨味、塩味、旨味コクを指標とした日本酒の味覚マップを示し、日本酒の銘柄により特徴があることを明らかにしている。柳澤ら(2019)は、57点の日本酒を味覚センサーで分析し、酸味と苦味雑味を軸に、マッピングを試みている。しかし、味の分類には至っていない。これまでに報告されたいずれの方法も日本酒の明確な味分類には至っていない。

そこで、本研究では、国内の日本酒100点を用いて、糖度(Brix値)および味覚センサーで測定した味覚値をクラスター分析により分析した結果、指標としてBrix値、酸味値、旨味コク値を用いることにより、日本酒の味分類が可能ではないかとの知見が得られたので、以下に詳細を報告する。

2. 実験方法

2.1 味覚の評価

試料として、国内の酒蔵から入手した、一部古酒を含む2019年から2021年製造の各種日本酒(本醸造、純米、吟醸、純米吟醸、大吟醸、純米大吟醸)100点を用いた。味覚は、日本酒を希釈せずそのまま測定した。味覚値は、インテリジェントセンサーテクノロジー(株)製味覚センサー(SA-402B)を用い、酸味と塩味、旨味、苦味雑味、渋味刺激の5先味と旨味コクと苦味、渋味の3後味を最大10検体測定した。複数回の測定における誤差を低減するため、各測定において必ず同一試料を測定することにより規格化した。Brix値と酸度は、ATAGO製PAL-BX/ACID121型糖酸度計を用いて測定した。

3. 結果と考察

3.1 日本酒の味覚データ

図1に、国内の酒蔵から入手した日本酒100サンプルを味覚センサーで測定した味覚データを示す。サンプル間のばらつきが大きかった項目は、塩味と酸味、旨味コクであった。

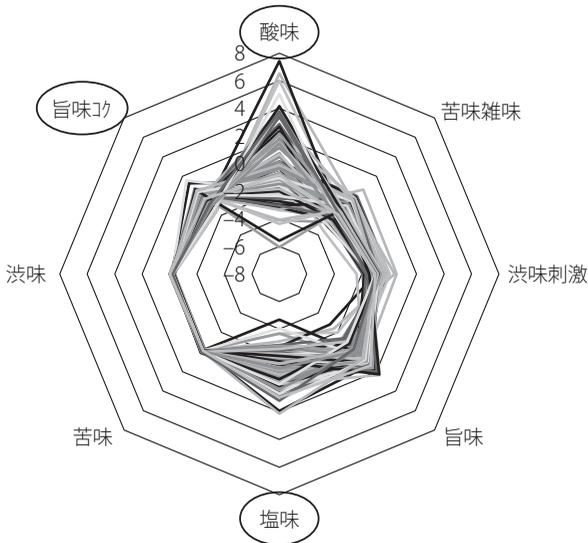


図1：日本酒100点の味覚チャート

3.2 Brix 値と日本酒度の関係

図2に、日本酒のBrix値と日本酒度の関係を示す。日本酒のBrix値は日本酒度に対し、負の相関を示した ($R^2 = 0.439$)。日本酒度は日本酒の甘口、辛口の指標であることから、Brix値(糖質やアミノ酸等の可溶性固形物の量)も甘辛の指標となると思われる。ただ、高い日本酒度領域で回帰直線から外れる傾向を示した。

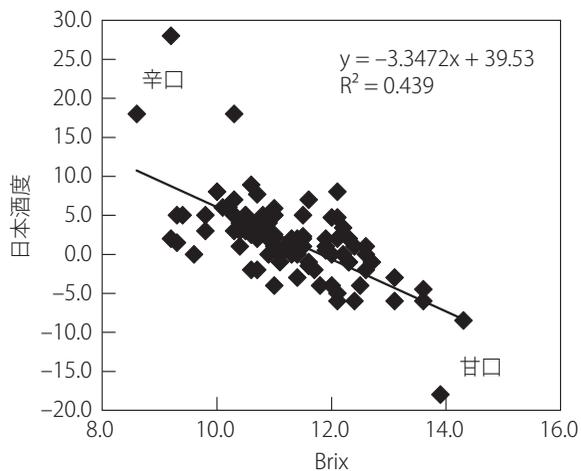


図 2：日本酒の Brix 値と日本酒度の関係

3.3 Brix 値とアルコール度の関係

図 3 に、日本酒の Brix 値とアルコール度の関係を示す。日本酒の Brix 値はアルコール度に対し、弱い正の相関を示した ($R^2 = 0.209$)。この結果は、アルコール度が高い日本酒ほど Brix 値が高い傾向を示すが、必ずしも、アルコール

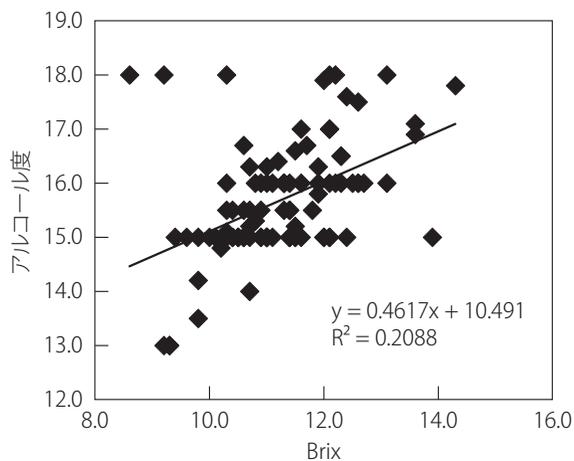


図 3：日本酒の Brix 値とアルコール度の関係

度が高くても Brix 値が高くない事例も見られた。これは、Brix と関係する糖分が、アルコール度と必ずしも相関しないためと考えられる。事実、アルコール度は Brix と高い正の相関を示している（増田他, 2015）。

3.4 Brix 値と日本酒度、アルコール度の関係

図 2 と図 3 の結果を基に、Brix 値と日本酒度、アルコール度の関係を重回帰分析により解析した。表 1 と図 4 に、結果を示す。表 1 から、以下の回帰式が得られた。

$$\text{Brix 値} = -1.548 [\text{日本酒度}] + 0.6007 [\text{アルコール度}] + 2.1103 \quad (1)$$

回帰式の重相関係数は 0.8830、決定係数は 0.7797 と高い相関を示した。説明変数の数による修正済み重相関係数は 0.8803、修正済み決定係数は 0.7749 と無修正とほぼ同等の数値を示した。回帰式は、0.1 % 以下の棄却率で有意であった。したがって、Brix 値は、日本酒度とアルコール度によりほぼ説明できることが明らかとなった（予測精度 77.49 %）。つまり、Brix 値は日本酒度（比重）をアルコール度で補正した値ということになる。日本酒度は主に糖分に反比例することから、Brix 値は日本酒の甘口、辛口の指標となると考えられる。そこ

表 1：Brix 値と日本酒度およびアルコール度の重回帰分析により得られた各種数値

項目	数値	P 値
相関係数	0.8830	
決定係数	0.7797	
修正済み相関係数	0.8803	
修正済み決定係数	0.7749	
回帰式の優位性		< 0.001
偏回帰係数（日本酒度）	-0.1548	< 0.001
偏回帰係数（アルコール度）	0.6007	< 0.001
定数	2.1103	< 0.010

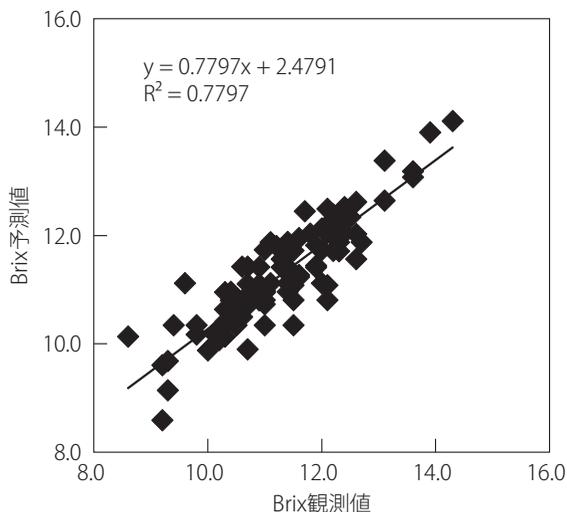


図 4 : Brix 値の観測値と予測値の関係

で、日本酒度 0 を基準にプラスを辛口、マイナスを甘口とすると、アルコール度 16 % の場合、Brix 値は 11.7 となる。11.7 より大きければ甘口、小さければ辛口と定義した。

3.5 アミノ酸度と旨味コク値の関係

図 5 に、アミノ酸度の対数と旨味コク値の関係を示す。旨味コク値は、アミノ酸度の対数に対し、弱い相関を示した ($R^2 = 0.167$)。ここで、アミノ酸度の対数としたのは、味覚値が対数軸の 1 と 10 の間を 12.6 分割して線型表示しているためである (池崎, 2012)。旨味はごくみとよばれ、濃厚な味を示す (西谷, 1999; 佐々木, 2007) ことから、旨味コク値はコハク酸やアミノ酸を含む旨味成分 (日本酒の濃淡) の指標になると考えられる。

3.6 酸度と酸味値の関係

図 6 に、酸度の対数と酸味値の関係を示す。酸度と酸味値には相関はみられなかった。果物の事例では、果物の種類により、酸味値と酸度の関係に違いが

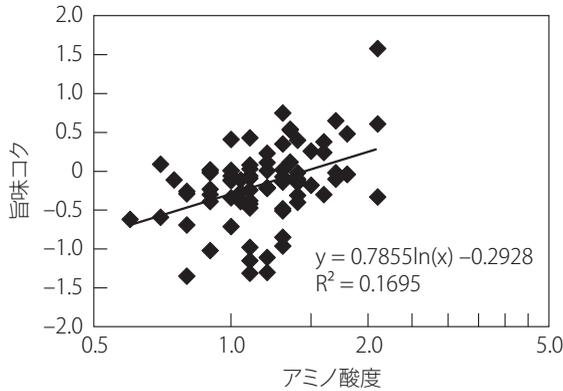


図 5：アミノ酸度と旨味コク値の関係

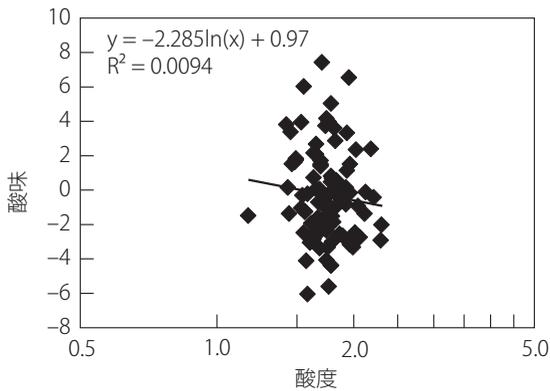


図 6：酸度と酸味値の関係

あることが明らかになっている（野田, 2021）。したがって、日本酒に含まれる乳酸やリンゴ酸、クエン酸など酸の種類の違いや酸味の違い（浅野, 2007; 島津他, 2009）、糖度や旨味成分等様々な味成分と酸の相互作用が影響しているためと考えられる（浜島, 1976; 1977; 1981）。以上のことから、酸味値の方が辛さの指標として適していると考えられる。

3.7 日本酒度と酸度の関係

佐藤らは、酸度が0.6～2.8 ml、還元糖濃度が0～8 g/100 mlの範囲にある人工酒や合成酒を用いて分類し、市販の日本酒では中心部に集中していることを示している（佐藤他, 1974）。本研究で用いた試料でも、図7に示すとおり、酸度が1～2に集中している。佐藤らの分類を適用すると、濃淳辛口が極端に多く、淡麗辛口、濃淳甘口、淡麗甘口が少ない分布となった。したがって、この方法では、必ずしも味の分類が出来ているとはいえないと考えられる。

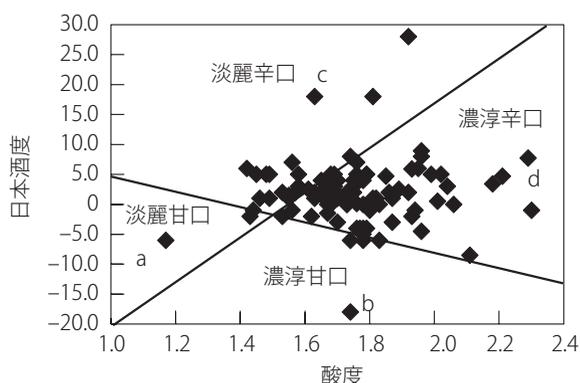


図7：日本酒度と酸度による日本酒の味分類

3.8 日本酒の味覚マップ

以上の結果から、日本酒の味を表現する指標として、Brix値（甘さ、辛さ）、酸味値（辛さ）、旨味コク値（旨味やコク）を用いることが妥当と考えられる。図8に、これらの指標を用いて日本酒をクラスター分析により8分類した結果を示す。表2に、クラスターごとの酸味値、旨味コク値およびBrix値の平均値と味分類を示す。

上述のBrix値による甘辛の定義から、クラスター2と3は甘口、これ以外は辛口と判定した。また、濃淡は、酸味値を+4から-2（酸味が強いとプラス）、旨味コク値を+3から-1（旨味が強いとマイナス）で総合評価した。図7の濃淳甘口（b）、淡麗甘口（a）に該当する日本酒も同じ味に分類されたことから、

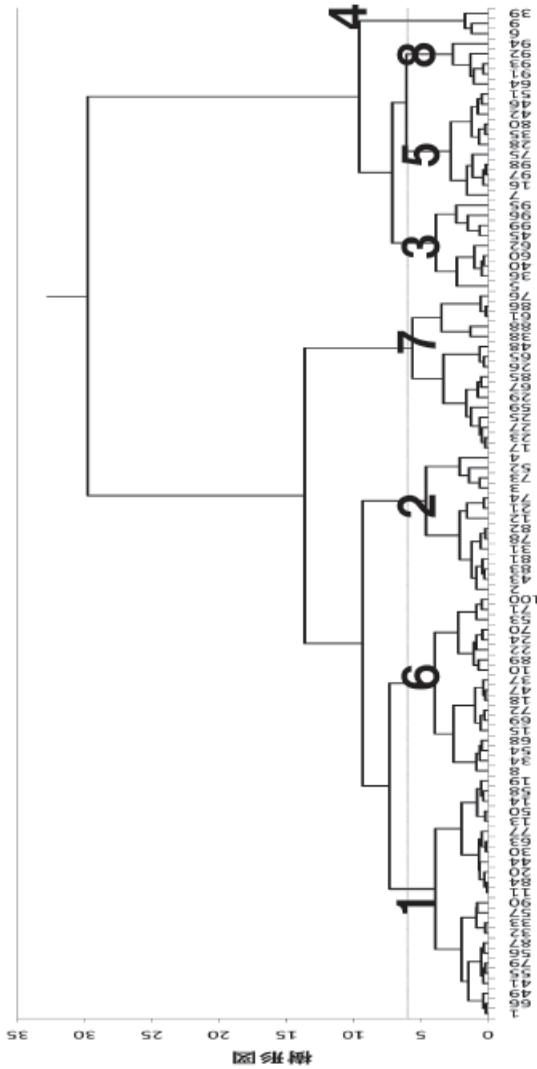


図8：日本酒のクラスター分析結果

表 2：クラスターごとの数値と味判定

クラスター	数	酸味平均値	旨味コク平均値	Brix 平均値	味分類
1	24	-0.0094	-0.153 (+)	11.292 (辛口)	+ 淡麗辛口
2	14	-1.869 (-)	0.396 (-)	12.593 (甘口)	2- 淡麗甘口
3	9	3.291 (++)	-0.560 (++)	12.533 (甘口)	4+ 濃淳甘口
4	3	6.667 (++++)	-1.260 (+++)	10.900 (辛口)	7+ 淡麗辛口(酸)
5	11	1.671 (+)	-0.572 (++)	11.218 (辛口)	3+ 淡麗辛口
6	18	-1.554 (-)	-0.089	10.600 (辛口)	- 濃淳辛口
7	16	-3.626 (--)	0.249 (-)	10.638 (辛口)	3- 濃淳辛口
8	5	3.388 (++)	-1.036 (+++)	9.720 (辛口)	5+ 淡麗辛口

注：酸味；0～2, +; 2～4, ++; 4～6, +++; 6～, ++++; 0～-2, -; -2～-4, -- 旨味コク；0～0.5, -; -0.5～0, +; -1～-0.5, ++; ~-1, +++ Brix; 11.7 未満辛口、11.7 以上甘口。

甘口でプラスの場合は濃淳甘口、マイナスの場合は淡麗甘口と分類した。同様に、図 7 の分類で淡麗辛口 (c) と分類されたものが、クラスター 8 に、濃淳辛口 (d) と分類されたものがクラスター 7 に該当することから、辛口でプラスの場合は淡麗辛口、マイナスの場合は濃淳辛口と分類した。

図 9 に、旨味コク値を球の大きさで表し、Brix 値 11.7 を境界線とした、Brix 値と酸味の関係、図 10 に、酸味値を球の大きさで表し、Brix 値 11.7 を境界線とした、Brix 値と旨味コク値の関係を示す。いずれも、概ね、Brix 値 11.7 を境に、甘口と辛口に分かれた。また、酸味が強く、Brix が高いグループが濃淳甘口、酸味が弱く、Brix が高いグループが淡麗甘口、酸味が強く、Brix が低く、旨味コクが弱い (小さい球) グループが淡麗辛口、酸味が弱く、Brix が低く、旨味コクが強い (大きい球) グループが濃淳辛口となった。クラスター 4 は、淡麗辛口に分類されるが、酸味が強い淡麗辛口 (酸) として区別した。図 7 と比べ、淡麗辛口と濃淳辛口が入れ替わった分布となった。甘口と辛口ともに、淡麗と濃淳の境界に重なりがあり、やや判別しにくい領域が存在した。しかし、Brix 値と旨味コク値のグラフでは、濃淳辛口と淡麗甘口 (酸味の球が小さい)、淡麗辛口と濃淳甘口 (酸味の球が大きい) で、淡麗と濃淳の境界が判別可能となった。したがって、Brix 値と酸味値、旨味コク値を指標とすることにより、日本酒の味を概ね 4 つの味に分類でき、酸度と日本酒度による分類より味の違いを

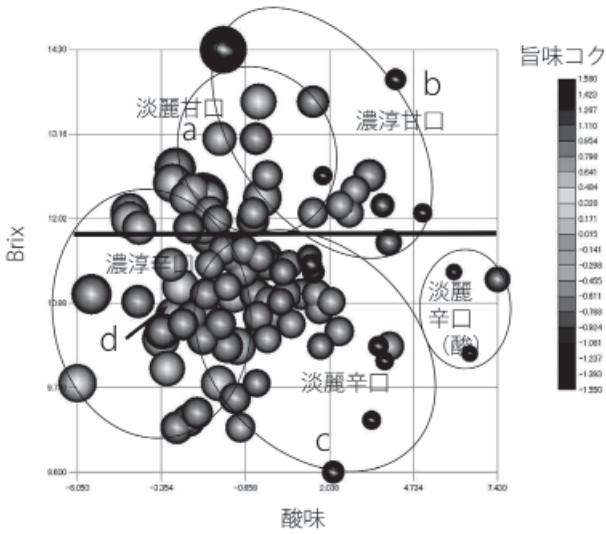


図 9 : Brix 値と酸味値による日本酒の味分類

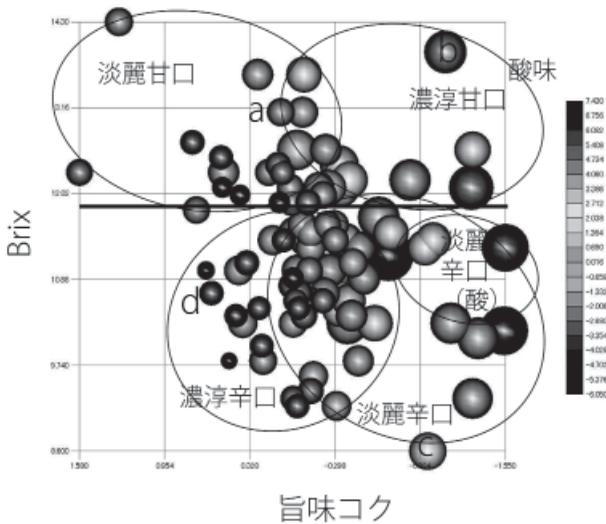


図 10 : Brix 値と旨味コク値による日本酒の分類

見える化できる可能性が示唆された。

4. 結言

日本酒の味を糖度（Brix 値）計と酸度計、味覚センサーを用いて調べた。その結果、日本酒の味の指標として、Brix 値（甘辛）、酸味値（辛さ）および旨味コク値（旨味）が適していると考えられた。

この3つの指標を用い、クラスター分析により8つに分類できた。8つのクラスターをそれぞれの数値から、Brix 値による甘辛の定義により、クラスター2と3は甘口、これ以外は辛口と判定した。また、濃淡は、酸味値を+4から-2（酸味が強いとプラス）、旨味コク値を+3から-1（旨味が強いとマイナス）で総合評価した。酸度と日本酒度による味分類を基に、辛口でプラスの場合は淡麗辛口、マイナスの場合は濃淳辛口、甘口でプラスの場合は濃淳甘口、マイナスの場合は淡麗甘口と判定できた。

以上のことから、味の指標として、Brix 値、酸味値および旨味コク値を用いることにより、日本酒の味を概ね4つの味に分類できることが分かった

引用文献

- 浜島教子（1976）．味の相互作用（第2報）塩から味と酸味の関係．家政学雑誌，Vol. 27, No. 4, pp. 255-261.
- 浜島教子（1977）．味の相互作用（第4報）甘味と酸味の関係．家政学雑誌，Vol. 28, No. 4, pp. 282-286.
- 浜島教子（1981）．味の相互作用（第6報）酸味と苦味の関係．家政学雑誌，Vol. 32, No. 3, pp. 241-245.
- 茨城県醸造試験所（1965）．きき酒における甘辛と日本酒度．日本醸造協会誌，Vol. 60, No. 11, pp. 80-81.
- 池見元宏・斎藤久一・小泉武夫・野白喜久雄（1981）．タイプ別清酒の成分比較について（第1報）．日本醸造協会誌，Vol. 76, No. 12, pp. 831-834.
- 池崎秀和・内藤悦伸・小林義和・東久保理江子・谷口晃・都甲潔（2000）．脂質膜の電荷密度と疎水性親水性の調整による味覚センサーの選択性向上．信学技報，No. 8, pp. 19-24.
- 岩野君夫・水野昭博・岩田博・高原康生・木崎康造・佐野英二・辻邦二・戸塚昭・

- 川島宏 (1981). ソフトタイプ清酒の特徴と類別化. 日本醸造協会誌, Vol. 76, No. 11, pp. 773-777.
- 熊谷昌則・進藤昌・渡辺誠衛 (2001). 秋田県総合食品研究所報告, No. 3, 44-48.
- 増田達也・小田卓治・野田衛 (2015). 旋光度と屈折率の同時測定による清酒もろみの発酵工程管理. *Bunseki Kagaku*, Vol. 64, No. 7, 527-531.
- 西谷尚道 (1990). 日本酒の表示制度の発足と技術の展望. 日本醸造協会誌, Vol. 85, No. 7, pp. 450-459.
- 野田博行 (2021). 人工知能を用いた五感・認知機能の可視化とメカニズム解明, 第2章『味覚』解析への人工知能の活用とモデリング, 第3節. 農産物画像のAI解析によるおいしさの見える化. 技術情報協会, pp. 86-93.
- 小川治雄・中島友和・吉原伸敏・大橋ゆか子 (2010). 日本酒の成分分析. 東京学芸大学紀要 (自然科学系), Vol. 62, No. 9, pp. 23-31.
- 佐々木定 (2007). これからの日本酒を思う—新酒税法・鑑評会・紙パック酒への提言—. 日本醸造協会誌, Vol. 102, No. 10, pp. 720-725.
- 佐藤信・川島宏・丸山良光 (1974). 清酒の味覚に関する研究 (第3報). 日本醸造協会誌, Vol. 69, No. 11, pp. 774-777.
- 鈴木昭紀・新里修一・佐藤俊一・佐野英二・斎藤泰夫・池田瑛・梅田紀彦・宮野信之・大塚謙一 (1978). 辛口酒に関する研究 (第1報). 日本醸造協会誌, Vol. 73, No. 1, pp. 51-55.
- 都甲潔 (2016). 味とにおいを数値化するセンサの開発. 日本醸造協会誌, Vol. 111, No. 2, pp. 86-94.
- 柳澤昌臣・渡部貴志・石田一成 (2019). 味覚センサーを用いた日本酒の酒質評価系の構築. 群馬県立産業技術センター研究報告, pp. 40-44.

掲載：科学・技術研究, 第11巻1号, pp. 23-28 (2022年)

第 22 章

Study to promote the attractiveness of *nori* —New recipe development of *nori* from a college student’s perspective—

Tetsuya Hattori, Tadashi Yokota, Hiroshi Ishii, and Hiroshi Saito

1. Introduction

Nori is a foodstuff with a variety of attractions; historically, in terms of fishery resources, and also nutritionally. Although its value has been recognized and it has been consumed in Japanese food culture, with the changing of an era, interest in *nori* has been waning in recent years, as exemplified by the term '*nori-banare*' (less-interested in *nori*). Mikawa Bay in the Mikawa region of Aichi Prefecture, where a university is located, is a *nori* cultivation area and has played a major role in Aichi's fisheries industry (Inokawa, 2016). However, the current status of *nori* production from Mikawa Bay is in decline due to factors such as port development (Inokawa, 2016), rising seawater temperatures (Japan Meteorological Agency, 2023; Notoya, 2002: 2-35), and a lack of successors (Inokawa, 2016). *Nori* is characterized by its nutrients, which include high folate levels (Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, 2020). The Ministry of Health, Labour and Welfare's informational website, e-Health Net, introduces folic acid in "Insufficient intake of folic acid in early pregnancy increases the risk of developing Neural Tube Defect" (Ministry of Health, Labour and Welfare, 2021), the Ministry of Health, Labour and Welfare issued information for women of childbearing potential to reduce the risk in 2000. On the other hand, although the use of highly absorbable mono-glutamate

folate supplements is recommended, it is reported that only 37 % of women are taking these supplements systematically before determining pregnancy (Sato et al., 2014). Therefore, it is recommended to be aware of folate intake daily from the age when pregnancy becomes possible and before pregnancy is confirmed. This study aims to promote the attractiveness of *nori* as a food ingredient to educate young people about folate intake as a way to utilize *nori* with high folate content. A previous study has confirmed that more than 80.0 % of college students like *nori* (Hattori et al., 2019). ‘*Onigiri*’ (rice ball) is a food that represents the image of *nori*, but 28.6 % answered that they do not use *nori* for their *onigiri*. There were also several responses that viewed *nori* as a ‘topping’ or ‘supporting role’ (Hattori et al., 2019). These answers suggested the health benefits of *nori* were not a reason to eat it (Hattori et al., 2023). The goal of this study was to make university students, who will be future consumers, aware of *nori* and encourage them to eat it and to create ‘recipes in which *nori* plays a leading role’ for the young generation to eat. The students at the nutritionist training facility who participated in the project hoped that consumers’ health awareness would be improved through the use and increased consumption of *nori*, which in turn would lead to the revitalization of the aquaculture region of *nori*.

2. Methods

2.1 Target

Sixty-three students who took the “Special Seminar” course in 2023 among the second-year students in the Department of Food and Nutrition at A College were enrolled for the project. Twelve students who created the recipes gave a presentation of their recipes, after which the participating students were asked to vote by secret ballot for the recipe they would like to try.

2.2 Project summary

To increase awareness and consumption of *nori* from Mikawa Bay and to revitalize the local *nori* cultivation area, this study started an industry-academia collaboration project with Toda Rihei Shoten, a local *nori* wholesaler. As part of this project, this year's efforts included the creation of *nori* recipes based on young people's consumption awareness.

3. Activities

3.1 Understanding consumer awareness

Based on the results of past surveys, the students were asked to understand what young people their age felt about *nori*, and keywords were extracted from the information that might interest them in *nori*. As a result, the students noticed that although *onigiri* and *sushi* are the most common occasions for using *nori*, it is often used as a 'tool' to prevent rice grains from sticking to fingers or to prevent ingredients from falling out of the rice, and that *nori* is not eaten with the flavor of *nori* in mind. The students realized that *nori* is often used as a topping on other occasions as well; therefore, they proposed the need for recipes "to taste *nori* and to let *nori* take center stage" and recipes that suggest new ways to use *nori*.

3.2 Lecture by Rihei Toda, Mikawa *nori* wholesaler

As a preliminary step to creating the *nori* recipes, Mr. Kuniyoshi Toda of Rihei Toda Shoten, who handles *nori* in Mikawa Bay, was invited to give a lecture to the students about "Production (cultivation) of *nori*," "Types of *nori*," "Difference of *nori*," "Nutrients of *nori*," "Mikawa *nori*," and "Nori at the Rihei Toda Shoten" to familiarize them with *nori* produced in Mikawa Bay (Figure 1). The students had the opportunity to compare three different grades of *nori* and see the differences and characteristics.



Figure 1: Lecture by Mr. Toda from Rihei Toda Shoten, Mikawa *nori* wholesaler

3.3 Recipe creation

Consumers' perceptions of *nori* include 'tools' and 'toppings,' but to encourage new perspectives and interest, the theme was set as "Let's think of a menu with *nori* as the main ingredient!" Students were asked to write down the menu name, recipe, and selling points of the menu and to submit a photograph of the prototype recipe.

3.4 Recipe presentation

Presentations were given on twelve recipes submitted by the students (Figure 2). Mr. Kuniyoshi Toda of Rihei Toda Shoten was invited to participate in the presentation. The students who created the recipes had 5 minutes to introduce

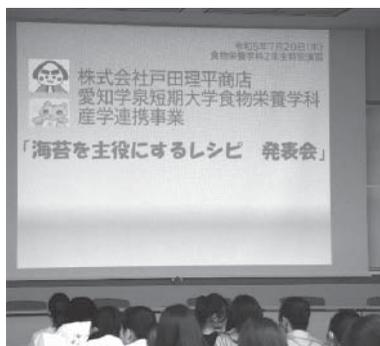


Figure 2: Photograph for 'recipes in which *nori* plays a leading role'

their recipes. Subsequently, after answering questions from the audience and Mr. Toda, the ideas for the recipe were shared by everyone. The recipes presented were: (1) *guru-gurunori tsukune*, (2) pizza-style potato galette with *nori* and *shirasu*, (3) *nori chikuwa tempura*, (4) *nori* salt butter *imomochi*, (5) *kabocha nori* galette, (6) *nori roll* with melted cheese, (7) *nori* and pork roll with yam and carrot, (8) baklava with *nori* in between, (9) *nori mochi* cheese hot sandwich, (10) *nori-nori* nugget, (11) chicken breast rolled in *nori tempura*, and (12) Japanese-style pancake with *nori* and *shirasu* (Figure 3).

After the presentations, Mr. Kuniyoshi Toda gave comments and picked "*guru-gurunori tsukune*" for the Rihei Toda Award. Mr. Toda appreciated the point in which the recipe was created from the perspective of making it together with children.

When participating students were asked to name one *nori* recipe they wanted to try, the top three were: (8) baklava with *nori* in between (20.6 %), (11) chicken breast rolled in *nori tempura* (20.6 %), and (10) *nori-nori* nugget (19.0 %) (see Table 1).

Baklava is a baked pastry eaten in Turkey and Central Asia. It is baked in layers with nuts and other ingredients in between the layers, and a thick syrup is poured over the top. The students who made the recipe included *nori* in be-

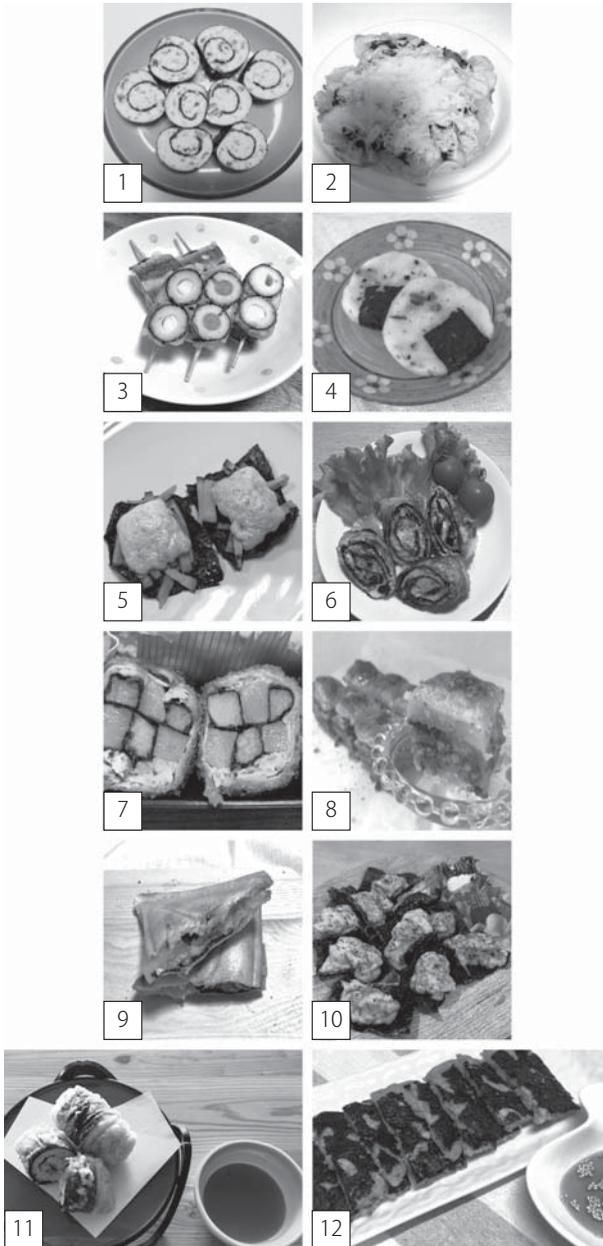


Figure 3: Recipe photographs for presentation

Table 1: Voting results *nori* recipe students

Ranking	Recipe Name	Number of votes (<i>n</i> = 63)	Percentage of votes (%)
1	(8) Baklava with <i>nori</i> in between	13	20.6
1	(11) Chicken breast rolled in <i>nori tempura</i>	13	20.6
3	(10) <i>Nori-nori</i> nugget	12	19.0
4	(2) Pizza-style potato galette with <i>nori</i> and <i>shirasu</i>	6	9.5
5	(12) Japanese-style pancake with <i>nori</i> and <i>shirasu</i>	4	6.3
6	(1) <i>Guru-guru nori tsukune</i>	3	4.8
6	(3) <i>Nori chikuwa tempura</i>	3	4.8
6	(4) <i>Nori</i> salt butter <i>imomochi</i> (sweet-potato rice cake)	3	4.8
6	(6) <i>Nori</i> roll with melted cheese	3	4.8
10	(9) <i>Nori mochi</i> cheese hot sandwich	2	3.2
11	(7) <i>Nori</i> and pork roll with yam and carrot	1	1.6
12	(4) <i>Kabocha nori</i> galette	0	0.0
	Total	63	100.0

tween the dough, and the appeal of this recipe was to enjoy the matching of the buttery dough and the flavor of the seashore.

The baklava was one of the top votes and the combination of *nori* and dessert was different from the past image of *nori*, and from the students' point of view, it was not a matter of discomfort but rather an object of interest. The high rankings for chicken breast rolled in *nori tempura* and *nori-nori* nuggets also suggest the interest of *nori*. It showed that not only use in Japanese food, but also a combination with non-Japanese food and a combination with fried food with the presence of *nori* is also of interest. The survey determined the need-to-know what young people are interested in and to think of ways to combine their interests with *nori* when considering the appeal of *nori* to young people.

3.5 Lecture on the appeal of *nori*

A faculty member of the Department of Food and Nutrition gave a lecture on a variety of attractions of *nori*, including historical, fishery resources, and nutritional attractions, to deepen understanding of *nori*. The lecture explained that *nori* has been documented in various records as a traditional Japanese food and that it plays a role as a fishery resource in the Mikawa region and Japan's sea-surface aquaculture industry. In addition, the lecture focused on folate as a nutritional attractant, explaining the attractiveness of *nori* as a high-folate-containing food, along with the timing of folate intake and the importance of habitual intake. Furthermore, the current state of *nori* in Mikawa Bay and the results of a survey on *nori* consumption awareness were introduced, and the lecture explained and concluded the importance of communicating the appeal of *nori* to young people who will be future consumers.

4. Summary

As part of an industry-academia collaboration project, this team of researchers has been working with Toda Rihei Shoten to promote the attractiveness of *nori*. The creation of *nori* recipes from the student's point of view has led to new ideas and combinations of ingredients that suggest new ways of eating *nori* that depart from *onigiri* and *gohan* (steamed rice) combinations that have become synonymous with the image of *nori*. It is questionable how novel a recipe based on an internet search could have been in this project. However, the students' ideas and innovations allowed them to learn about *nori*, and it is certain that the students' own learning was enhanced. It is hoped that the recipes created by the students at the nutritionist training facility will be shared with consumers and the local community to encourage young people to become interested in *nori*, promote the consumption of *nori* and *nori* produced in Mikawa Bay, and revitalize the local community.

Reference

- Hattori, T. and Saito, H. (2019). Survey on states of use and preferences of *nori* products at young age. *Aichi Gakusen University Review*, Vol. 2, No. 1, pp. 177-181.
- Hattori T., Ishii H., Suzuki Y., Yokota T., and Saito H. (2023) Survey research on consumption awareness of nori and recognition of its health benefits among university students and cooks studying food in the Mikawa region of Aichi Prefecture, Japan. *Tokai Journal of Public Health*, Vol. 11, No. 1, pp. 71-77.
- Inokawa, N. (2016). The history of fisheries in Aichi: The development of nori (*Porphyra* spp.) cultivation. *Bulletin of the Aichi Fisheries Research Institute*, Vol. 21, pp. 22-42.
- Japan Meteorological Agency (2023). Long-term trends in sea surface temperature change (Retrieved October 31, 2023 from https://www.data.jma.go.jp/kaiyou/data/shindan/a_1/japan_warm/japan_warm.html).
- Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (2020). Standard tables of food composition in Japan 2020 (Retrieved October 31, 2023 from https://www.mext.go.jp/a_menu/syokuhinseibun/mext_01110.html).
- Ministry of Health, Labour and Welfare (2021). e-Health Net folic acid and supplements (Retrieved October 31, 2023 from <https://www.e-healthnet.mhlw.go.jp/information/food/e-05-002.html>).
- Notoya, M. (2002). The creature known as laver. Seizando Shoten Publishing.
- Sato, Y., Nakanishi, T., Chiba, T., and Umegaki, K. (2014). Attitudes of pregnant Japanese women and folic acid intake for the prevention of neural tube defects: A nationwide Internet survey. *Japanese Journal of Public Health*, Vol. 61, No. 7, pp. 321-332.

掲載：科学・技術研究, 第12巻2号, pp.175-178 (2023年)

第四部 科学と評価

第 23 章

トレオン酸修飾キトサンおよびキシロン酸修飾キトサンの凍結-融解処理によるゲル化特性ならびに生物学的特性の評価

武井 孝行、中原 秀樹、川上 幸衛、吉田 昌弘

1. はじめに

キトサンは、カニやエビの甲羅などから抽出されるキチン (β -1, 4-ポリ-N-アセチル-D-グルコサミン) を脱アセチル化することにより得られるアミノ多糖である。この天然高分子はヒト生体に対して極めて毒性が低く、優れた生体適合性ならびに生体吸収性を示す (Ono et al., 2000; Ma et al., 2010)。また、高い抗菌性や抗腫瘍活性も有している (Murakami et al., 2010)。このような特徴から、キトサンは医療用材料として広く使用されている。

生体内に埋植するような医療用途にキトサンを応用する場合、固体状で使用するよりもヒドロゲル状にしたものを使用する方が都合が良い場合がある。これは、一般的にヒドロゲルが柔軟性に優れており、生体組織との摩擦や圧迫による炎症反応が起こりにくいためである。キトサンからなるヒドロゲルを調製する場合、グルタルアルデヒドなどの生体に対する毒性が高い化学架橋剤が広く使用されている (Nikonorov et al., 2010; Lozinsky et al., 1982; Chen et al., 2005)。また、キトサンは結晶性が極めて高く、水に溶解させるためには分子中のアミノ基のプロトン化が必須であることから、溶解できる溶媒は酸性溶媒に限られる。従って、その高分子水溶液から得られるキトサンゲルは酸性を示す (Lozinsky et al., 1982; Berger et al., 2004)。このように化学架橋剤を含み、かつ酸性を示すゲルは医療用途には適さない。

筆者らはこれまでに、アルドン酸の一種であるグルコン酸を修飾したキトサ

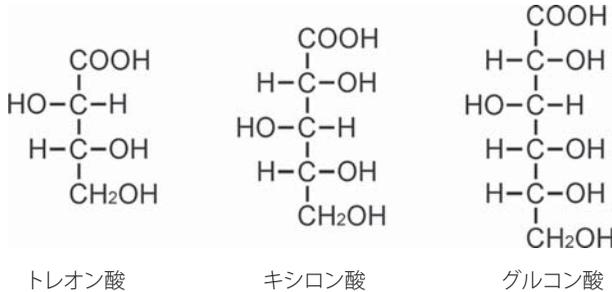


図1：トレオン酸、キシロン酸およびグルコン酸の構造
注：全てD体で表記。

ン（CG）が中性水溶液に溶解し、かつ、その高分子水溶液が凍結－融解処理によりゲル化することを見出している。このキトサンクライオゲル（クライオゲルとは、高分子水溶液の凍結－融解処理により得られるゲルの意）は中性を示し、化学架橋剤を含まないため、医療用ゲルとして適している。また、そのキトサンゲルが創傷被覆材として優れていることも実証している（Takei et al., 2012; 2013）。筆者らの前報ではアルドン酸としてグルコン酸（図1）のみを使用しており、その他のアルドン酸を修飾したキトサンが同様の特性を有するか不明であった。そこで本報では、アルドン酸としてトレオン酸とキシロン酸（図1）を選択し、それらを修飾したキトサンが、CGと同様の特性を有するか検証した。

2. 実験

2.1 アルドン酸修飾キトサンの作製

キトサン LL（脱アセチル化度 80 %、焼津水産化学工業株式会社）を 25 mM MES（2-morpholinoethanesulfonic acid）緩衝液（pH4.0）に 0.25 %（w/v）となるように溶解した。続いて、その溶液にアルドン酸塩（トレオン酸カルシウムまたはキシロン酸カルシウム）、1-エチル-3-(3-ジメチルアミノプロピル) カルボジイミド塩酸塩（EDC）および N- ヒドロキシコハク酸イミド（NHS）を溶解し、室温で 24 時間攪拌を続けた。水酸化ナトリウム水溶液を加えること

表 1：キトサン誘導体調製時におけるキトサン中のグルコサミン単位に対するアルドン酸塩、EDC および NHS の仕込みモル比、ならびにアルドン酸の導入率

略称	グルコサミン 単位	トレオン酸 カルシウム	キシロン酸 カルシウム	グルコン酸 ナトリウム	EDC	NHS	アルドン酸 導入率 (%) ^a
CT	1	2	-		2	1	25
CX	1	-	2		1	0.5	15
CG	1	-	-	2	2	1	19

注：^aアルドン酸導入率=アルドン酸が導入されたグルコサミン単位数 × 100 / 修飾処理前の全グルコサミン単位数。

でその混合水溶液の pH を 8.0 に調整後、10 倍量のエタノールを加えてキトサン誘導体を析出させた。析出したキトサン誘導体を回収し、それを透析膜（分画分子量 3000 Da）に入れ、蒸留水中で約 1 週間透析を行った。透析後の溶液の pH を 8.0 に調整し、10 倍量のエタノールを加え、再度キトサン誘導体を析出させた後、析出物を凍結乾燥した。キトサン誘導体の調製条件ならびに得られた誘導体の略称を表 1 に示す。トレオン酸およびキシロン酸の導入率は、電導度滴定により求めた（de Alvarenga et al., 2010）。

2.2 キトサン誘導体の溶解特性評価

50 mM MES 緩衝液 50 ml にキトサン誘導体を 0.5 g 溶解した（pH 4.0）。続いて、水酸化ナトリウム水溶液を少しずつ添加し、水溶液の pH を約 0.5 きざみで上昇させた。各 pH における溶液の濁度（600 nm）を測定した。

2.3 キトサン誘導体水溶液の凍結 - 融解処理

キトサン誘導体を希塩酸に 1 %（w/v）濃度で溶解した。続いて、水酸化ナトリウム水溶液を徐々に加えることで溶液の pH を 7.0 に調整した。その溶液を -30 °C で 24 時間凍結した後、室温で 2 時間静置することで融解した。

2.4 キトサン誘導体の細胞毒性評価

マウス線維芽細胞（L929、理研セルバンク）を懸濁した 10 %（v/v）ウシ胎

児血清 (FBS) 添加ダルベッコ改変イーグル培地 (DMEM、 1.0×10^4 cells/ml) を 96 ウェルプレート の各ウェルに 0.1 ml ずつ加え、 37°C および 5 % CO_2 条件下で 24 時間静置した。続いて、キトサン誘導体を溶解した 10 % (v/v) FBS 添加 DMEM (pH 7.4) 0.1 ml をウェルに加え、さらに 24 時間静置培養を行った。ウェルから溶液を取り除き、新鮮培地でウェルを洗浄した後、10 % WST-8 (同仁化学) 添加培地を加え、培養 4 時間後にその培地の 450 nm における吸光度を測定することで細胞生存率を算出した。なお、キトサン誘導体を含まない培地で処理した細胞の生存率を 100 % とした。

2.5 キトサンクライオゲルの酵素的加水分解特性評価

5 mg/ml ウマ心筋由来リゾチームを溶解させた、カルシウムイオンおよびマグネシウムイオンを含まないリン酸緩衝生理食塩水 (PBS (-)、pH 7.4) に、キトサンクライオゲル (4 ml) を投入し、 37°C および 150 rpm で振とうしながら経時的にゲルの状態を観察した。

2.6 キトサンクライオゲルの細胞接着性評価

キトサン誘導体を希塩酸に 1 % (w/v) 濃度で溶解した。続いて、水酸化ナトリウム水溶液を徐々に加えることで溶液の pH を 7.0 に調整した後、48 ウェルプレート の各ウェルにその溶液を加え、 -30°C で 24 時間凍結した。その後、室温で融解することでウェルをキトサンクライオゲルで覆った。10 % (v/v) FBS 添加 DMEM でゲルを洗浄した後、L929 細胞を 8.0×10^4 cells/well の細胞密度で播種した。細胞播種後 24 時間目に細胞を観察した。

3. 結果と考察

アルドン酸の導入率がそれぞれ 25 % および 15 % である CT および CX を用いて以下の検討を行った (表 1)。なお、前報の CG のアルドン酸 (グルコン酸) 導入率は 19 % である (Takei et al., 2012)。

3.1 キトサン誘導体の溶解特性評価

酸性水溶液中では、キトサン分子中のアミノ基のプロトン化が進み、それにより結晶構造が崩れるため、キトサンは酸性水溶液に溶解する。そこから pH を徐々に上げていくと、アミノ基の脱プロトン化が進み、再度結晶化が起こる。脱アセチル化度や分子量にも大きく依存するが、一般にキトサンは pH 6.5 を過ぎたあたりから急激に結晶化が進み析出する（図 2）。一方、CG と同様に、CT および CX ともにその析出が抑えられた（図 2）。これは、キトサン誘導体分子中のアルドン酸部位がキトサンの結晶化を立体的に阻害しているためであると考えられる。

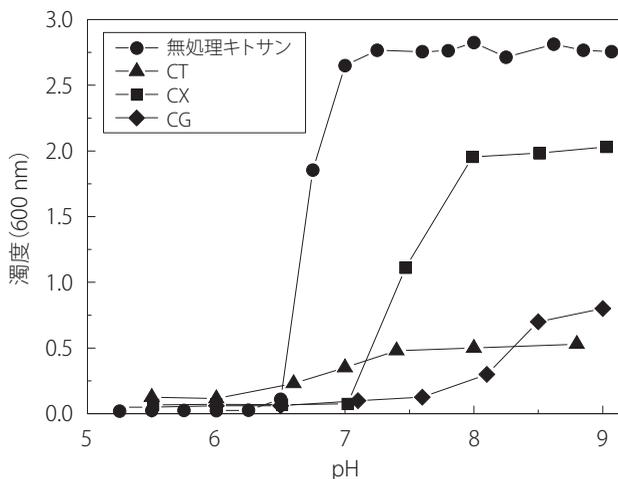


図 2：水溶液の pH とキトサン誘導体の溶解性の関係

3.2 キトサン誘導体水溶液の凍結 - 融解処理

CG と同様に、凍結 - 融解処理によりゲル化するポリビニルアルコール（PVA）（Yokoyama et al., 1986; Kawanishi et al., 1987）を参考に、CG のゲル化メカニズムを以下に考察する。PVA 水溶液を冷却し、その温度が 0 °C 以下になると、氷結晶が生成しそれが徐々に成長する。氷結晶内部には溶質は組み込まれない

ため、氷結晶の成長とともにその周囲の液体状態の水中の PVA 濃度が上昇し、最終的には飽和溶解度を超え、氷結晶の間隙に PVA 固体が析出する。結晶性の高い PVA は、析出とともに容易に結晶化（高分子の物理的架橋点）するため、凍結物内部に多孔質状の強固な固体高分子骨格が生成する。この凍結物を室温で放置すると、氷結晶は融解し液体の水が生成するが、その水に PVA 固体高分子骨格はほとんど溶解しない（固体 PVA を水に溶解させるためには、PVA の結晶構造を壊すために水溶液を高温にする必要があり、室温程度ではほとんど水に溶解しない）ことから、融解物はゲル状になる。以上より、凍結 - 融解処理により高分子ゲルを調製するためには、凍結物の融解の際に生じる水に固体高分子骨格が溶解しないことが必要である。CG の場合、酸性水溶液に CG を溶解し、その溶液を中性にした後に、凍結 - 融解している (Takei et al., 2012)。

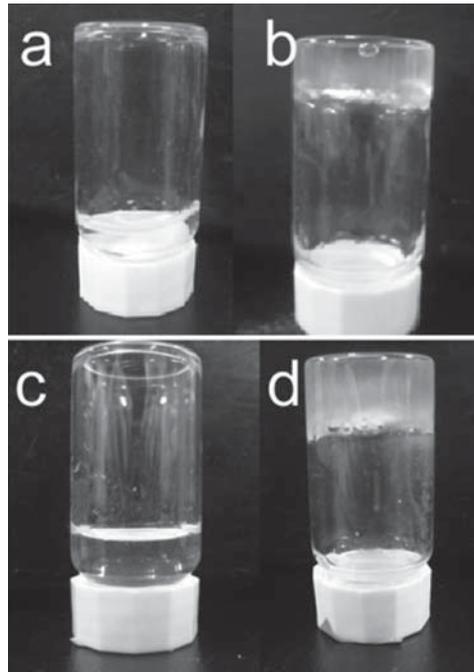


図 3:凍結 - 融解処理前 (a, c) および処理後 (b, d) の CT 水溶液 (a, b) および CX 水溶液 (c, d)

その凍結物の融解の際に生じる水も中性である。一方、CG 固体は、酸性水溶液には溶解するが、中性水溶液に直接溶解することはない (Takei et al., 2012)。従って、凍結物内に生成した CG 固体高分子骨格が融解の際に生じる水に溶解しないことから、CG 水溶液の凍結 - 融解処理によりクライオゲルを調製できると考える。

今回調製した CT および CX のいずれとも、その高分子水溶液は凍結 - 融解処理によりゲル化した (図 3)。CG と同様の機構によりゲル化したと考える。これより、修飾するアルドン酸の炭素原子数が減少 (分子量が減少) しても、キトサンクライオゲルの調製が可能であることが明らかとなった。以降の検討では、CT のみを使用した。

3.3 CT の生物学的特性評価

CT の細胞毒性を調査したところ、0.25 % (w/v) 濃度においてもほとんど毒性がなかった (図 4)。また、CT のクライオゲルはヒト生体内にも存在するリゾチームにより分解された。つまり、このゲルは生体吸収性を有していた (図

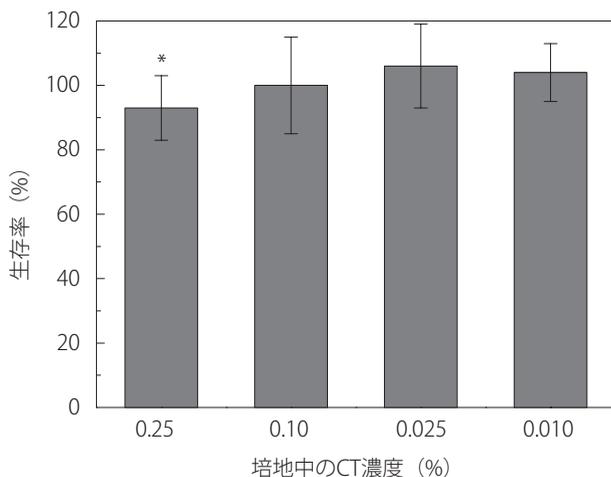


図 4 : CT の細胞毒性
注 : * $p = 0.19$ vs CT 濃度 0.01 %。

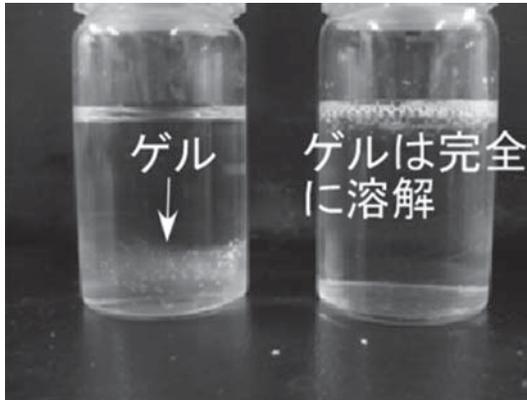


図5：リゾチーム不含 PBS (-) および含有 PBS (-) 内で 5 時間振盪した後の CT クライオゲルの様子

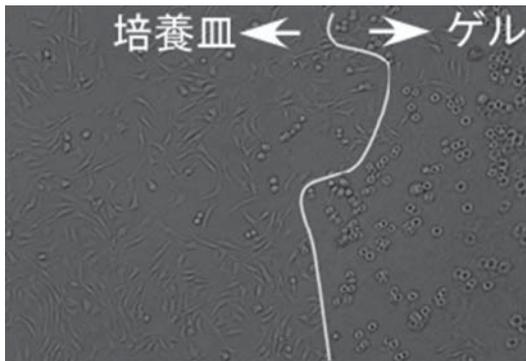


図6：CT クライオゲルで底面の一部を覆った培養皿に L929 細胞を播種し、24 時間後の細胞の形態（ゲル上には細胞はほとんど接着していない。）

5)。さらに、そのゲルの細胞接着性は非常に低かった（図6）。これらの特性は、CG とほぼ同じであり、キトサンに修飾するアルドン酸の分子量による影響は見られなかった。従って、CT も CG と同様に、創傷被覆材などのバイオメディカル分野での利用が可能であると考えられる。

4. まとめ

トレオン酸またはキシロン酸を修飾したキトサンは、未処理のキトサンに比べ、中性水溶液への溶解性が向上した。また、トレオン酸修飾キトサンは細胞毒性が極めて低く、そのクライオゲルはリゾチームにより分解することができ、細胞接着性は低かった。

引用文献

- Berger, J., Reist, M., Mayer, J. M., Felt, O., Peppas, N. A. and Gurny, R. (2004). Structure and interactions in covalently and ionically crosslinked chitosan hydrogels for biomedical applications. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, Vol. 57, pp. 19-34.
- Chen, H. M., Wei, O. Y., Bisi, L. Y., Martoni, C. and Prakash, S. (2005). Reaction of chitosan with genipin and its fluorogenic attributes for potential microcapsule membrane characterization. *Journal of Biomedical Materials Research Part A*, Vol. 75, pp. 917-927.
- de Alvarenga, E. S., de Oliveira, C. P. and Bellato, C. R. (2010). An approach to understanding the deacetylation degree of chitosan. *Carbohydrate Polymers*, Vol. 80, pp. 1155-1160.
- Kawanishi, K., Komatsu, M. and Inoue, T. (1987). Thermodynamic consideration of the sol-gel transition in polymer-solutions. *Polymer*, Vol. 28, pp. 980-984.
- Lozinsky, V. I., Vainerman, E. S. and Rogozhin, S.V. (1982). Study of cryostructurization of polymer systems .2. the influence of freezing of a reacting mass on the properties of products in the preparation of covalently cross-linked gels. *Colloid and Polymer Science*, Vol. 260, pp. 776-780.
- Ma, G., Qian, B., Yang, J., Hu, C. and Nie, J. (2010). Synthesis and properties of photo-sensitive chitosan derivatives. *International Journal of Biological Macromolecules*, Vol. 46, pp. 558-561.
- Murakami, K., Aoki, H., Nakamura, S., Nakamura, S., Takikawa, M., Hanzawa, M., Kishimoto, S., Hattori, H., Tanaka, Y., Kiyosawa, T., Sato, Y. and Ishihara, M. (2010). Hydrogel blends of chitin/chitosan, fucoidan and alginate as healing-impaired wound dressings. *Biomaterials*, Vol. 31, pp. 83-90.
- Nikonorov, V. V., Ivanov, R. V., Kil'deeva, N. R., Bulatnikova, L. N. and Lozinskii, V. I. (2010).

- Synthesis and characteristics of cryogels of chitosan crosslinked by glutaric aldehyde. *Polymer Science Series A*, Vol. 52, pp. 828-834.
- Ono, K., Saito, Y., Yura, H., Ishikawa, K., Kurita, A., Akaike, T. and Ishihara, M. (2000). Photocrosslinkable chitosan as a biological adhesive. *Journal of Biomedical Materials Research*, Vol. 49, pp. 289-295.
- Takei, T., Nakahara, H., Tanaka, S., Nishimata H., Yoshida, M., Kawakami, K. (2013). Effect of chitosan-gluconic acid conjugate/poly(vinyl alcohol) cryogels as wound dressing on partial-thickness wounds in diabetic rats. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, Vol. 24, pp. 2479-2487.
- Takei, T., Nakahara, H., Ijima, H. and Kawakami, K. (2012). Synthesis of a chitosan derivative soluble at neutral pH and gellable by freeze-thawing, and its application in wound care. *Acta Biomaterialia*, Vol. 8, pp. 686-693.
- Yokoyama, F., Masada, I., Shimamura, K., Ikawa, T. and Monobe, K. (1986). Morphology and structure of highly elastic polyvinyl-alcohol hydrogel prepared by repeated freezing-and-melting. *Colloid and Polymer Science*, Vol. 264, pp. 595-601.

掲載：科学・技術研究, 第2巻2号, pp. 123-126 (2013年)

第 24 章

In Silico study of the conformational flexibility of point mutated *Geobacillus stearothermophilus* farnesyl diphosphate synthase

Petrus Yesaya Samori, Yasutaka Yoshida, Norimasa Ohya,
Bunpei Hatano, Satoshi Murakami, and Tatsuro Kijima

1. Introduction

Prenyltransferases are a family of enzymes that catalyze condensation reaction between isopentenyl diphosphate (IPP) and allylic diphosphates, which is the fundamental reaction of the isoprenoid pathway. These enzymes can be classified based on the stereochemistry of their double bonds and the chain length of the final product (Ito et al., 1987; Ogura and Koyama, 1998).

Farnesyl diphosphate synthase (FPPS; EC 2.5.1.10) belongs to the group of short-chain prenyltransferases and serves as the central enzyme in the isoprenoid chain elongation pathway. It catalyzes the consecutive condensation of two molecules of IPP (C5) with dimethylallyl diphosphate (DMAPP, C5) to give geranyl diphosphate (GPP, C10) and then (2*E*, 6*E*)-farnesyl diphosphate (FPP, C15) as the final product. FPPS is the most studied enzyme among *E*-prenyltransferases because of its important role (Poulter, 2006), thermostable FPPSs especially have attracted much attention.

Koyama et al. (1993) have successfully carried out gene cloning, efficient overproduction in *Escherichia coli* cells and purification of GsFPPS. By comparing the amino acid sequences of many *E*-prenyltransferases, they suggested that prenyltransferase family share seven conserved regions, two of which are characteristic aspartate-rich motifs DDXXD. Ohnuma et al. (1996) have found

that tyr81, which is located at the fifth position before the FARM, is responsible for the regulation of the product chain length. Substitution of this tyrosine caused the mutated GsFPPS to catalyze the synthesis of geranylgeranyl diphosphate (GGPP, C20) or even longer prenyl diphosphates. The replacement of the amino acid having a hydrophilic side chain alter the substrate specificities of prenyltransferase (Maki et al., 2002). Based on these findings, we expected that these variants would also change their activities toward natural FPPS substrates. Thus, in this study, we examined three variants in which tyr81 was replaced with aspartic acid (Y81D), with arginine (Y81R), and with serine (Y81S). Here, we describe the change of activity of the variants when GPP was used as the initial substrate. We also examined the conformational flexibilities using a fluorescence analysis method and *in silico* approaches, to investigate the effect of single amino acid substitution on the affinity/activity of GsFPPS.

2. Materials and methods

2.1 Enzyme and chemicals

Alkaline phosphatase, with a specific activity of 10 DEA unit/mg and GPP ammonium salt was purchased from Sigma-Aldrich Co. [$1\text{-}^{14}\text{C}$] IPP was purchased from Amersham Corp. Succinimide was from Tokyo Chemical Industry Co. All other chemicals and solvents used were purchased from commercial suppliers.

2.2 Purification of wild-type and mutated GsFPPSs

Purification of wild-type GsFPPS, Y81D, Y81R, and Y81S were carried out according to the previously reported method (Ohnuma et al., 1996), with some modifications. *E. coli* cells harboring expression plasmids of wild-type or mutated GsFPPS genes were cultured overnight at 37 °C in a LB medium containing 100 μg ampicillin/ml. The bacterial cells were transferred to 100 volumes of the same fresh medium and were again grown at 37 °C to an OD_{600} of approximately 0.6. Protein expression was then induced with 0.1 mM IPTG, and cells were in-

cubated overnight. The cultured cells were harvested and disrupted by sonication in 10 mM Tris/HCl buffer (pH 8.0). The homogenate was heated at 55 °C for 1 h, fractionated with 35–60 % ammonium sulfate solution, and purified using a TOYOPEARL DEAE-650M anion exchange chromatography column (Tosoh Corporation, Japan). Purity of the protein fractions was analyzed by SDS–PAGE. The three mutated enzymes showed chromatographic properties similar to those of the wild-type. Protein concentration was determined using a Bradford Assay Kit (Takara, Japan) with BSA used as the standard.

2.3 Measurement of enzymatic activities of wild-type and mutated GsFPPSs

Enzymatic activities were measured by determination of the amount of [^{14}C] IPP incorporated into 1-butanol-extractable hydrolysates derived from the enzymatic products. The assay mixture contained, in a final volume of 1 ml, 50 mM Tris/HCl buffer (pH 8.5), 5 mM MgCl_2 , 50 mM NH_4Cl , 50 mM 2-mercaptoethanol, 50 μM GPP, 25 μM [^{14}C] IPP (specific activity 37 GBq mol^{-1}) and 1.6 μM wild-type or mutated GsFPPS. After incubation at 55 °C for 2 h, the reaction mixture was treated with alkaline phosphatase, extracted with 1-butanol and the radioactivity of the butanol extract was measured using an LSC-5100 liquid scintillation counter (Aloka, Japan).

2.4 Fluorescence quenching measurement

Fluorescence steady-state measurements were performed using an F-2000 spectrofluorometer (Hitachi, Japan). The cuvette contained 5 mM Tris/HCl buffer, 3.8 μM wild-type or mutated GsFPPS, and various concentrations of succinimide (0–0.07 M), in a total volume of 1 ml. All samples were incubated with continuous shaking at 25 °C for 10 min before measurement. Samples were excited at 280 nm (excitation of tyrosine residues) and the emission spectra recorded from 300 nm to 400 nm. Quenching data in this study were analyzed by

the Stern-Volmer equation as follows:

$$\frac{F_0}{F} = 1 + K_{sv} [Q] \quad (1)$$

Where F_0 and F are the fluorescence intensities in the absence and presence of quencher, $[Q]$ is the quencher concentration, and K_{sv} is the collisional quenching constant (Stern-Volmer constant).

2.5 Missing loops modeling, point mutation modeling, and coarse-grained MD simulation

The crystal structure of GsFPPS was previously determined at 2.31 Å (PDB ID: 5AYP) (Samori et al., 2017). The missing loop region between residues 224 and 256 in 5AYP was inserted as an unstructured loop of 33-residues length using MODELLER v9.18 (Fiser et al., 2000). The best model according to the MODELLER energy function and Ramachandran plot statistic was then used to construct the 3D models of point-mutated enzymes Y81D, Y81R, and Y81S. Structural flexibilities of GsFPPS and the variants were assessed by the coarse-grained MD simulation implemented in the CABS-flex server ([http://biocomp.chem.uw.edu.pl/CABS flex/](http://biocomp.chem.uw.edu.pl/CABS%20flex/)) (Jamroz et al., 2013).

3. Results and discussion

3.1 Activity-flexibility relationship

The 3D structure of GsFPPS shows that it has eight tyrosine residues, with five of the residues located at the surface of the enzyme. The remaining three, including tyr81, are located inside the pocket or buried inside the protein (Figure 3). Quenching experiments were conducted to monitor the accessibility of these tyrosine residues, which can be used as an indicator of the conformational flexibility. Succinimide was used because it was reported to be a useful quencher for proteins which contain tyrosine and no tryptophan (Eftink and

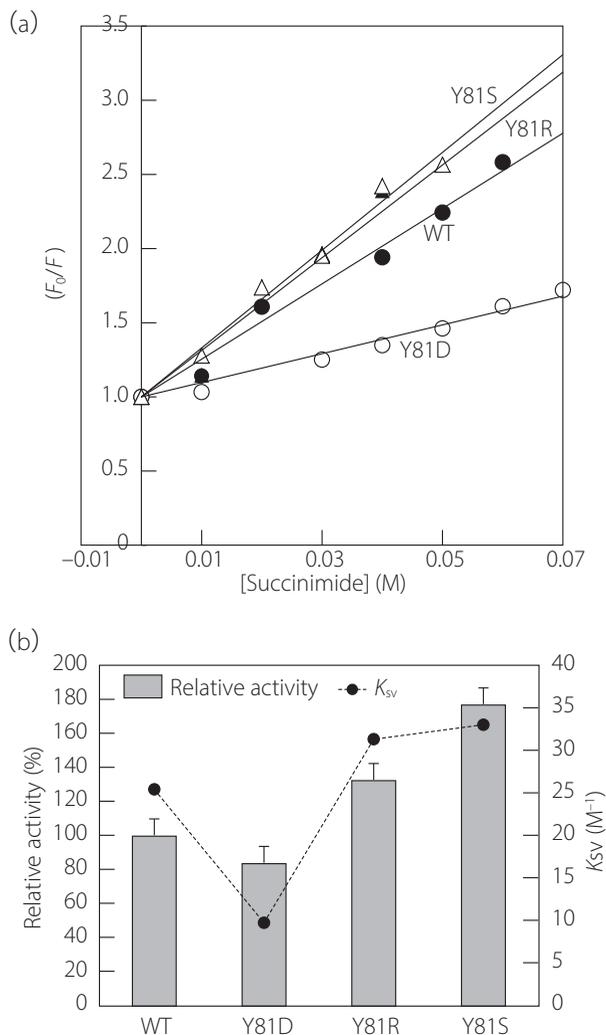


Figure 1: Conformational flexibilities and enzymatic activities of wild-type and mutated GsFPPSs

Notes: A. Stern-Volmer plots (Eq. 1) of succinimide quenching of tyrosine fluorescence for wild-type GsFPPS (●), Y81D (○), Y81R (▲) and Y81S (△). Linear regression lines were calculated for each enzyme. For wild-type GsFPPS: $y = 25.4x + 1$ ($r = 0.98$). For Y81D: $y = 9.7x + 1$ ($r = 0.98$). For Y81R: $y = 31.3x + 1$ ($r = 0.93$). For Y81S: $y = 33.0x + 1$ ($r = 0.99$). B. Enzymatic activities of GsFPPS and the variants when GPP was used as the substrate. Activity of the wild-type (WT) was set to 100%. K_{sv} values were also plotted to show the relation between activity and flexibility.

Ghiron, 1984). In this study, the quenching process of wild-type GsFPPS and the variants were analyzed using a simple collisional quenching model, which is expressed by the Stern-Volmer relation (Eq. 1) (Figure 1 (a)). We obtained K_{SV} values of 25.4 M^{-1} , 9.7 M^{-1} , 31.3 M^{-1} , and 33.0 M^{-1} for the wild-type, Y81D, Y81R, and Y81S, respectively. This result indicates that replacement of tyr81 with arginine and serine increased the flexibility of GsFPPS structure, while replacement with aspartic acid caused the opposite effect. We also measured the relative activities of GsFPPS and the variants toward GPP. Activities of Y81R and Y81S enhanced by 1.3-fold and 1.7-fold, respectively, compared to the wild-type. On the other hand, activity of Y81D was reduced by 1.2-fold. The relative activities and the K_{SV} values showed a good relationship (Figure 1 (b)), where the activity of the enzyme increased with increasing conformational flexibility.

3.2 Dynamics of the active site gatekeeper

Coarse-grained MD simulations were performed on wild-type GsFPPS, Y81D, Y81R, and Y81S on the CABS-flex server to simulate the near-native dynamics of these enzymes. Mean-square-fluctuations of calculated trajectories are shown in Figure 2. All the three variants possess similar fluctuation characteristics with the wild-type, except for three regions (indicated with bold black-dashed lines in Figure 2). These regions are the three loops that located on the top of the active site (Figure 3). Comparison of fluctuations of the three regions reveals that Y81S has the highest flexibility, followed by Y81R, wild-type GsFPPS and Y81D with the lowest flexibility (Figure 2 and 4). Flexibility of these regions, especially the loop between residues 229 and 256, may be crucial for the reaction, based on the molecular mechanism of the FPPS reaction (Hosfield et al., 2004, Kavanagh et al., 2006). In order to catalyze a condensation reaction, FPPS must undergo an open-to-closed conformational change induced by allylic substrate binding. In this step, the loop (residues 229-256) may act as an active site gatekeeper. Increasing in flexibility of this loop makes it easier for the enzyme to

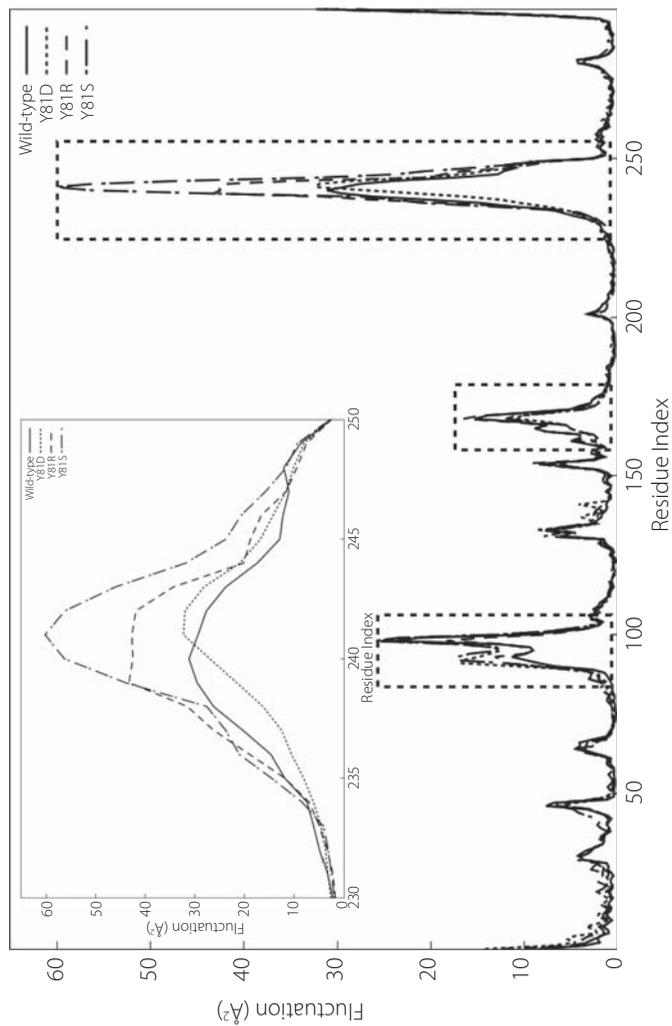


Figure 2: Fluctuation profiles of wild-type GsFPPS and the variants

Notes: Three loop regions that are located on the top of the active site are indicated by bold black-dashed lines. Fluctuations of the active site gatekeepers are shown in the inset.

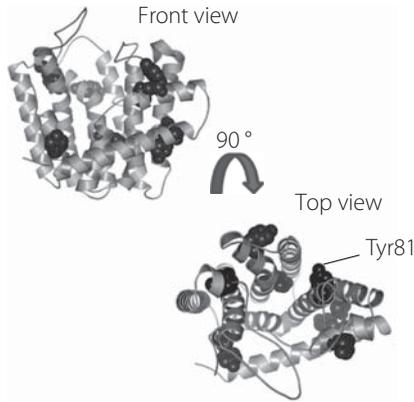


Figure 3: 3D structure of wild-type GsFPPS

Notes: Five tyrosine residues located at the surface of the enzyme, and three tyrosine residues located inside the pocket are shown as spheres. Three important loop regions are shown as wire.

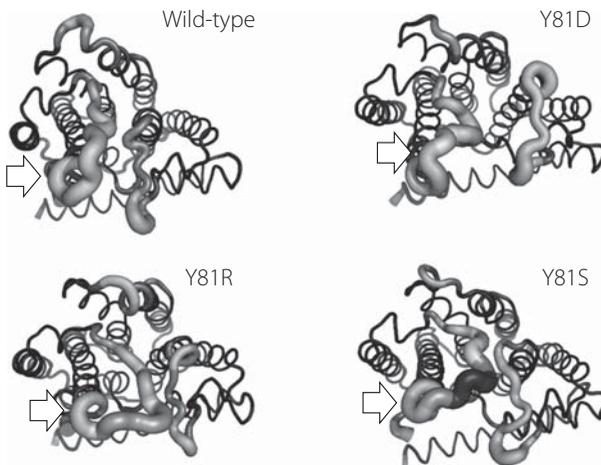


Figure 4: Fluctuation profiles of wild-type GsFPPS and the variants visualized as 3D structures

Notes: Fluctuation values are shown as thickness of tubes. A big tubes indicate that the large fluctuations. Active site gatekeepers of each enzyme are marked with arrows.

undergo the conformational change. Based on this fact, one can assume that tyr81 is responsible not only for the regulation of the product chain length, but also the dynamics of the gatekeeper (conformational flexibility).

4. Conclusion

Two variants in this work, Y81R and Y81S, showed some improvements in flexibilities and activities toward GPP, which revealed that conformational flexibility is important for the reaction. This fact is also supported by the simulation results. Each enzyme which belongs to the short-chain prenyltransferase group has a bulky amino acid (like phenylalanine or tyrosine) at the fourth or fifth position before the FARM, thus, we believe that our results also provide useful information for protein engineering involving this enzyme group.

References

- Eftink, M. R. and Ghiron, C. A. (1984). Indole fluorescence quenching studies on proteins and model systems: Use of the inefficient quencher succinimide. *Biochemistry*, Vol. 23, No. 17, 3891-3899.
- Fiser, A., Do, R. K. G., and Sali, A. (2000). Modeling of loops in protein structures. *Protein Science*, Vol. 9, No. 9, 1753-1773.
- Hosfield, D. J., Zhang, Y., Dougan, D. R., Broun, A., Tari, L. W., Swanson, R. V., and Finn, J. (2004). Structural basis for bisphosphonate-mediated inhibition of isoprenoid biosynthesis. *Journal of Biological Chemistry*, Vol. 279, No. 10, 8526-8529.
- Ito, M., Kobayashi, M., Koyama, T., and Ogura, K. (1987). Stereochemical analysis of prenyltransferase reactions leading to (*Z*)- and (*E*)-polyprenyl chains. *Biochemistry*, Vol. 26, No. 15, 4745-4750.
- Jamroz, M., Orozco, M., Kolinski, A., and Kmiecik, S. (2013). Consistent view of protein fluctuations from all-atom molecular dynamics and coarse-grained dynamics with knowledge-based force-field. *Journal of Chemical Theory and Computation*, Vol. 9, No. 1, 119-125.
- Kavanagh, K. L., Guo, K., Dunford, J. E., Wu, X., Knapp, S., Ebetino, F. H., Rogers, M. J., Russell, R. G. G., and Oppermann, U. (2006). The molecular mechanism of nitro-

- gen-containing bisphosphonates as antiosteoporosis drugs. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 103, No. 20, 7829-7834.
- Koyama, K., Obata, S., Osabe, M., Takeshita, A., Yokoyama, K., Uchida, M., Nishino, T., and Ogura, K. (1993). Thermostable farnesyl diphosphate synthase of *Bacillus stearothermophilus*: molecular cloning, sequence determination, overproduction, and purification. *The Journal of Biochemistry (Tokyo)*, Vol. 113, No. 5, 355-365.
- Maki, Y., Komabayashi, M., Gotoh, Y., Ohya, N., Hemmi, H., Hirooka, K., Nishino, T., and Koyama, T. (2002). Dramatic changes in the substrate specificities of prenyltransferase by a single amino acid substitution. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, Vol. 19-20, 431-436.
- Ogura, K. and Koyama, T. (1998). Enzymatic aspects of isoprenoid chain elongation. *Chemical Reviews*, Vol. 98, No.4, 1263-1276.
- Ohnuma, S., Narita, K., Nakazawa, T., Ishida, C., Takeuchi, Y., Ohto, C., and Nishino, T. (1996). A role of the amino acid residue located on the fifth position before the first aspartate-rich motif of farnesyl diphosphate synthase on determination of the final product. *Journal of Biological Chemistry*, Vol. 271, No.48, 30748-30754.
- Poulter, C. D. (2006). Farnesyl diphosphate synthase. A paradigm for understanding structure and function relationships in E-polyprenyl diphosphate synthases. *Phytochemistry Reviews*, Vol. 5, No. 1, 17-26.
- Samori, P. Y., Makabe, K., Ohya, N., Hatano, B., Murakami, S., and Kijima, T. (2017). Role of *cys73* in the thermostability of farnesyl diphosphate synthase from *Geobacillus stearothermophilus*. *3 Biotech*, Vol. 7, 236.

第 25 章

LC-MS/MS 法による 非蛍光性 AGEs 生成抑制作用評価法の検討

瀬戸山 央

1. はじめに

糖化は、食品や生体中のアミノ酸やタンパク質と還元糖の非酵素的反応のことである。生体内ではグルコースが反応の起点となり、反応中間体である種々のジカルボニル化合物を経てタンパク質最終糖化産物（AGEs: Advanced glycation endproducts）が生成する（竹内他, 2007）。近年、糖化が皮膚老化、腎障害、動脈硬化、骨粗鬆症などの加齢性疾患に関与していることが明らかとなっており、糖化による加齢性疾患の予防を目的とした抗糖化作用を有する機能性食品が多く開発されている（米井, 2010）。

AGEs は様々な糖化産物の総称であり、これらのうち蛍光性を有している AGEs のことを蛍光性 AGEs という。機能性食品の抗糖化作用は、主に *in vitro* における蛍光性 AGEs 生成抑制作用を測定し評価している（Hori et al., 2012）。蛍光性 AGEs 生成抑制作用測定は、タンパク質として牛血清アルブミン、還元糖としてグルコースを用いる簡便で安価に実施できる抗糖化作用評価方法である。一方、生体内で生成される AGEs のうち蛍光性をもつ AGEs はペントシジン、クロスリンなど数種類のみであり、蛍光性を持たない非蛍光性 AGEs が多数存在することが明らかとなっている（今泉・山岸, 2004）。これまでに存在が明らかにされている非蛍光性 AGEs としては、カルボキシメチルリジン（CML）、カルボキシメチルアルギニン（CMA）、カルボキシエチルリジン（CEL）、ピラリンなどがある（八木他, 2018）。本研究では、これら非蛍光性 AGEs のうち CML

およびCMAに着目した。CMLはヒトの皮膚や血中にも存在することが明らかとなっており、糖尿病や酸化ストレス亢進時に生成するため糖化ストレスマーカーの1つとなっている (Odani et al., 2001; Kawabata et al., 2011)。またCMAは生体タンパク質の中でコラーゲン中に特異的に存在することが明らかとなっている (Iijima et al., 2000)。

従来、CMLやCMAの測定は主にELISA法によって行われている (藤原, 2010; Nagai et al., 2014)。しかし、ELISA法は高価な抗体を用いるため、機能的食品開発において多検体の素材に対する非蛍光性AGEs生成抑制作用 (CML生成抑制作用およびCMA生成抑制作用) スクリーニングには向いていない。そこで本研究では、高価な抗体を用いずに機器分析によって非蛍光性AGEs生成抑制作用評価を行う方法の確立を目的とし、LC-MS/MSを用いた評価方法の検討を行ったので報告する。

2. 実験方法

2.1 試薬

アセトニトリル (LC/MS用)、ギ酸 (LC/MS用) は富士フィルム和光純薬株式会社製を、プロテアーゼ (PronaseE, *Streptomyces griseus* 由来) はSigma-Aldrich社製を用いた。非蛍光性AGEs標準物質としたCMLおよびCMA、Collagen Type I (Bovine Skin 由来) は株式会社ニッピ社製を用いた。その他の試薬は富士フィルム和光純薬株式会社製を用いた。

2.2 LC-MS/MS装置および測定条件

LC-MS/MSは、Waters社製ACQUITY UPLC H-ClassおよびXevo TQDを用い、カラムにWaters社製ACQUITY UPLC BEH Amide Column (100×2.1 mm i.d., 1.7 μm)を用いて分離を行った。移動相はA液を0.1%ギ酸含有超純水、B液をアセトニトリルとしてグラジエント溶出を行い、流速は0.5 ml/minとした。グラジエントは、移動相A液:B液 = 30:70 (0 min) → 50:50 (0.2 min) → 75:25 (3.0 min) → 75:25 (4.0 min) → 30:70 (5.0 min) → 30:70 (7.0 min)とした。試料注入量は2 μl、カラム温度は40℃とした。MS/MS測定の

表 1 : LC-MS/MS 測定条件

Ionization	ESI – Positive
Corn voltage	15 V (CML), 35 V (CMA)
Collision energy	20 V (CML), 25 V (CMA)
MRM* m/z	205.2 → 84.32 (CML)
	233.4 → 70.32 (CMA)

Note: * MRM; Multiple Reaction Monitoring.

条件は表 1 に示す通りとした。標準試料は、CML、CMA をそれぞれ 0.1 % ギ酸含有超純水に溶解したものとした。

2.3 LC-MS/MS 法による CML 生成抑制作用評価

試料溶液として既知抗糖化化合物である塩酸アミノグアニジンを純水に溶解したものを用いた。100 mM リン酸緩衝液 (pH7.4) 0.5 ml、純水 0.1 ml、40 mg/ml 牛血清アルブミン溶液 0.2 ml、2 M グルコース溶液 0.1 ml に試料溶液を 0.1 ml 加え、十分攪拌後に 60 °C、40 時間インキュベーションし糖化反応を行ったものを反応液 A とした。コントロールとして、試料溶液の代わりに純水を添加したものを同様にインキュベーションし反応液 B とした。ブランクとして、試料溶液およびグルコース溶液の代わりに純水を添加したものを同様にインキュベーションし反応液 C とした。

Iijima et al. (2007) の方法を一部改変し、糖化反応を行った反応液 A、B および C 各 0.1 ml に 100 mM リン酸緩衝液 (pH7.4) 0.1ml、2 mg/ml プロテアーゼ溶液 (100 mM リン酸緩衝液 (pH7.4) 溶解) 0.2 ml を加え攪拌後、37 °C、24 時間インキュベーションしタンパク質を酵素分解した。その後、セントリカット超ミニ (分画分子量 1 万、倉敷紡績株式会社製) に 0.35 ml を添加し 5000 rpm、60 分間の遠心分離 (MRX-152、トミー精工株式会社製) を行い、ろ液に含まれる CML 量を LC-MS/MS にて分析した。

CML 生成抑制作用評価は、下式を用いてコントロールに対する CML 生成抑制率を算出した。

$$\text{CML 生成抑制率 (\%)} = \{(B - A) / (B - C)\} \times 100$$

2.4 LC-MS/MS 法による CMA 生成抑制作用評価

試料溶液として塩酸アミノグアニジンを純水に溶解したものをを用いた。100 mM リン酸緩衝液 (pH 7.4) 0.1 ml、純水 0.02 ml、3 mg/ml Collagen type I 溶液 1.0 ml、2 M グルコース溶液 0.04 ml に試料溶液を 0.02 ml 加え、充分攪拌後に 60 °C、72 時間インキュベーションし糖化反応を行ったものを反応液 A とした。コントロールとして、試料溶液の代わりに純水を添加したものを同様にインキュベーションし反応液 B とした。ブランクとして、試料溶液およびグルコース溶液の代わりに純水を添加したものを同様にインキュベーションし反応液 C とした。

Iijima et al. (2007) の方法を一部改変し、糖化反応を行った反応液 A、B および C 各 0.1 ml に 100 mM リン酸緩衝液 (pH 7.4) 0.1 ml、2 mg/ml プロテアーゼ溶液 (100 mM リン酸緩衝液 (pH 7.4) 溶解) 0.2 ml を加え攪拌後、37 °C、24 時間インキュベーションしタンパク質を酵素分解した。その後、セントリカット超ミニ (分画分子量 1 万、倉敷紡績株式会社製) に 0.35 ml を添加し 5000 rpm、60 分間の遠心分離 (MRX-152、トミー精工株式会社製) を行い、ろ液に含まれる CMA 量を LC-MS/MS にて分析した。CMA 生成抑制作用評価は、下式を用いてコントロールに対する CMA 生成抑制率を算出した。

$$\text{CMA 生成抑制率 (\%)} = \{(B - A) / (B - C)\} \times 100$$

2.5 ELISA 法による CML、CMA 生成抑制作用評価

試料溶液として塩酸アミノグアニジンを純水に溶解したものをを用いた。ELISA キットは、コスモバイオ株式会社製のコラーゲン AGEs 抗糖化アッセイキット (CML 特異的, グリオキサール) およびコラーゲン AGEs 抗糖化アッセイキット (CMA 特異的, グリオキサール) を用い、添付のマニュアルに従って測定を行った。吸光度測定は吸光マイクロプレートリーダー (サーモフィッシュャーサイエンティフィック株式会社、Multiskan Sky) を用いて行った。

2.6 統計処理

すべての測定は3回行い、平均値±標準偏差として表示した。統計ソフトは、4Steps エクセル統計第3版（オーエムエス出版, 2011）付属エクセルアドインソフト Statcel3 を用いた。

3. 結果および考察

3.1 LC-MS/MS による非蛍光性 AGEs (CML、CMA) の分析

標準試料とした CML、CMA を LC-MS/MS にて分析し、作成した検量線を図 1 に示した。CML は 7 ~ 350 ppb で、CMA は 1.6 ~ 200 ppb の範囲で直線性の良好な検量線を得ることができた。

3.2 LC-MS/MS 法および ELISA 法による CML 生成抑制作用評価

LC-MS/MS 法および ELISA 法による塩酸アミノグアニジンの CML 生成抑制作用評価を行った結果を図 2 に示す。塩酸アミノグアニジンは、終濃度 0.2、0.4、0.8、2、4、10 mM となるように調製して測定を行った。その結果、LC-MS/MS 法および ELISA 法のどちらにおいても CML 生成抑制率は試料濃度に比例して高まることが示された。一方、ELISA 法と LC-MS/MS 法では、同一試料濃度において CML 生成抑制率に差がみられた。この要因として、糖化反応に用いている糖およびタンパク質の種類の違いが考えられる。

LC-MS/MS 法ではグルコースを糖として、牛血清アルブミンをタンパク質として用いているが、ELISA 法ではグリオキサールを糖として、コラーゲンをタンパク質として用いている。グリオキサールはグルコースの酸化反応などで生成し、グルコースよりも高い反応性を示すことが報告されている (Nagai et al., 2002)。そのためグリオキサールを用いている ELISA 法は、LC-MS/MS 法よりも短時間で CML の生成が進行していると考えられる。また CML は、タンパク質を構成しているアミノ酸のうちリジンがカルボキシメチル化したものである。今回 ELISA 法で用いたコラーゲンおよび LC-MS/MS 法で用いた牛血清アルブミン中のリジン基は、その数やタンパク質中での配置がそれぞれ異なっていることから、カルボキシメチル化の程度も異なることが考えられる。これらが

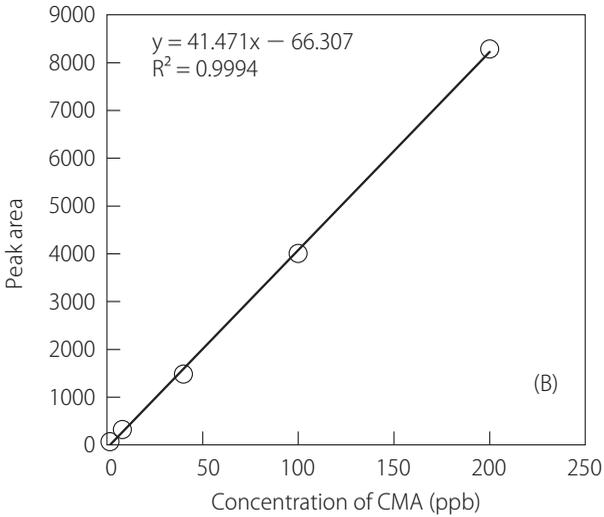
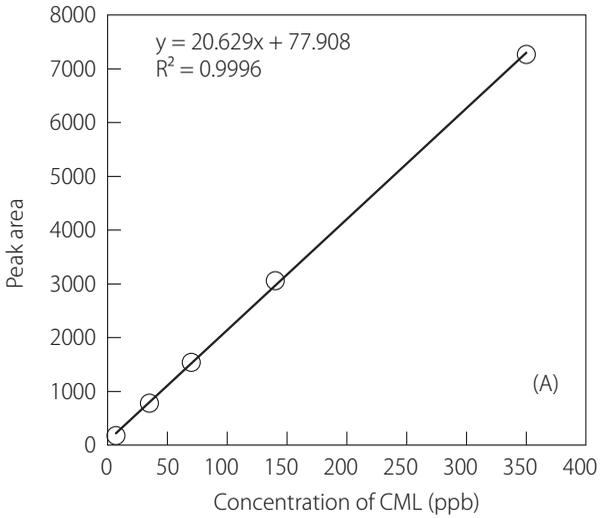


図 1 : CML の検量線 (A)、CMA の検量線 (B)

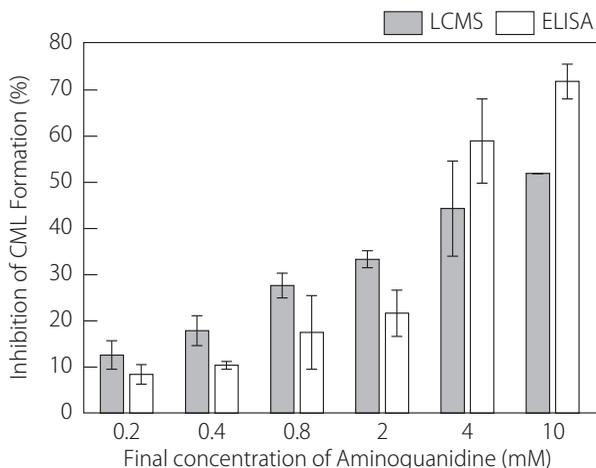


図2：LC-MS/MS 法および ELISA 法による CML 生成抑制作用評価

同一試料濃度における CML 生成抑制率の差につながっていると推察できる。

塩酸アミノグアニジンの CML 生成抑制作用評価について、LC-MS/MS 法および ELISA 法の結果を相関図にしたものを図3に示す。 R^2 値は 0.898 となり、LC-MS/MS 法および ELISA 法の結果には強い相関関係が認められた。このことから LC-MS/MS 法による CML 生成抑制作用測定は、ELISA 法と同等の結果を得ることができると考えられる。

3.3 LC-MS/MS 法および ELISA 法による CMA 生成抑制作用評価

LC-MS/MS 法および ELISA 法による塩酸アミノグアニジンの CMA 生成抑制作用評価を行った結果を図4に示す。塩酸アミノグアニジンは、終濃度 0.4、0.8、2、4 mM となるように調製して測定を行った。その結果、LC-MS/MS 法および ELISA 法のどちらにおいても CMA 生成抑制率は試料濃度に比例して高まることが示され、2 mM において抑制率はほぼ 100 % となった。一方、ELISA 法と LC-MS/MS 法では、0.4、0.8 mM において CMA 生成抑制率に差がみられた。この要因として、糖化反応に用いている糖の種類および糖化反応温度・時間の違いが考えられる。

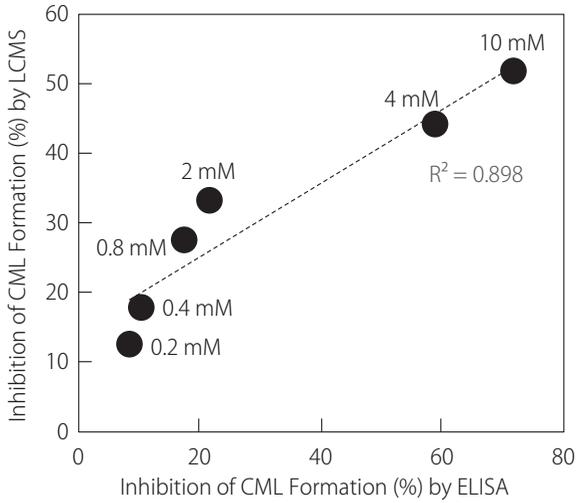


図3：CML生成抑制作用評価におけるLC-MS/MS法およびELISA法の関係

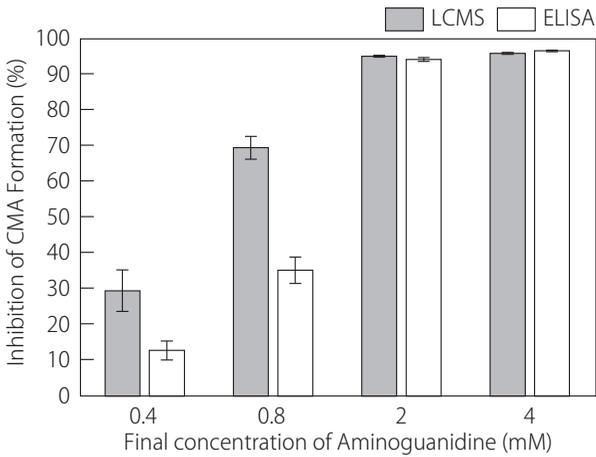


図4：LC-MS/MS法およびELISA法によるCMA生成抑制作用評価

LC-MS/MS 法ではグルコースを糖として用いているが、ELISA 法ではグリオキサールを糖として用いている。グリオキサールはグルコースよりも高い反応性を示すため、CML と同様にグリオキサールを用いている ELISA 法は、LC-MS/MS 法よりも短時間で CMA の生成が進行していると考えられる。また LC-MS/MS 法での糖化反応温度・時間は、60 °C・72 時間であるが、ELISA 法では 37 °C・7 日間と異なっている。Hori et al. (2012) は AGEs 生成が温度と時間により影響を受けることを報告している。そのため、今回の LC-MS/MS 法と ELISA 法においても AGEs 生成に違いが生じたと考えられる。これらが同一試料濃度における CMA 生成抑制率の差につながっていると推察できる。

塩酸アミノグアニジンの CMA 生成抑制作用評価について、LC-MS/MS 法および ELISA 法の結果を相関図にしたものを図 5 に示す。R² 値は 0.893 となり、LC-MS/MS 法および ELISA 法の結果には強い相関関係が認められた。このことから LC-MS/MS 法による CMA 生成抑制作用測定は、ELISA 法と同等の結果を得ることができると考えられる。

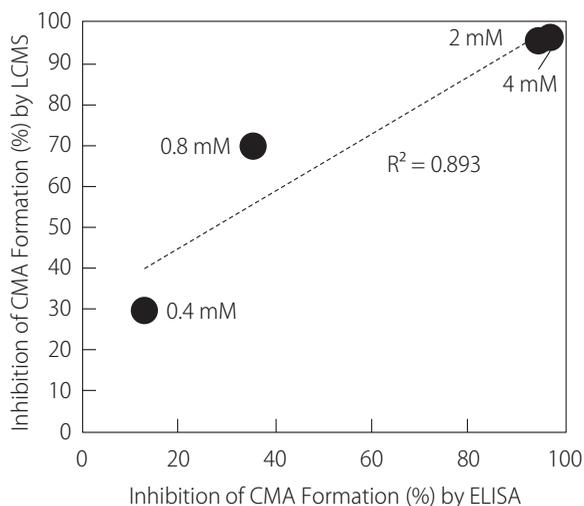


図 5：CMA 生成抑制作用評価における LC-MS/MS 法および ELISA 法の関係

4. まとめ

非蛍光性 AGEs のうち CML、CMA に着目し、LC-MS/MS を用いた CML、CMA 生成抑制作用評価方法について検討を行った。その結果、塩酸アミノグアニジンに対して、従来法である ELISA 法と同等の結果が得られることを確認した。一方、ELISA 法と LC-MS/MS 法では同一試料濃度における CML 生成抑制率および CMA 生成抑制率の値に差が認められた。これは両法で用いている糖とタンパク質の種類が異なることや、糖化反応温度・時間が異なることによるものと考えられた。そのため今後、糖とタンパク質の種類や糖化反応温度・時間を一致させ両法の比較検討を更に行っていく必要があると考える。また本研究では、既知抗糖化化合物である塩酸アミノグアニジンのみを用いて検討を行ったが、今後、今回検討を行った LC-MS/MS を用いた非蛍光性 AGEs 生成抑制作用評価方法を機能的食品の評価に用いるためには、機能的食品や食品成分でのさらなる検討をしていく必要がある。LC-MS/MS を用いた AGEs の分析については、Sivan et al. (2006) や大塚他 (2018) により食品中に含まれる AGEs の分析方法について報告がある。一方、本研究で検討を行ったような AGEs 生成抑制作用評価に対して LC-MS/MS を用いてはならず、LC-MS/MS を用いた非蛍光性 AGEs 生成抑制作用評価方法はこれまでにない新たな方法であると考えられる。

引用文献

- Hori, M., Yagi, M., Nomoto, K., Shimode, A., Ogura, M., and Yonei, Y. (2012). Inhibition of advanced glycation end product formation by herbal teas and its relation to anti-skin aging. *Anti-Aging Medicine*, Vol. 9, No. 6, pp. 135-148.
- Hori, M., Yagi, M., Nomoto, K., Ichijo, R., Shimode, A., Kitano, T., and Yonei, Y. (2012). Experimental models for advanced glycation end product formation using albumin, collagen, elastin, keratin and proteoglycan. *Anti-Aging Medicine*, Vol. 9, No. 5, pp. 125-134.
- 藤原章雄 (2010). 皮膚の老化予防を目的としたコラーゲンの AGE 化阻害物質の探索. *コスメトロジー研究報告*, Vol. 18, pp. 27-32.
- Iijima, K., Murata, M., Takahara, H., Irie, S., and Fujimoto, D. (2000). Identification of N ω -carboxymethylarginine as a novel acid-labile advanced glycation end product

- in collagen. *Biochemical Journal*, Vol. 347, Pt. 1, pp. 23-27.
- Iijima, K., Fujimoto, D., and Irie, S. (2007). Amount of N ω -(Carboxymethyl) arginine generated in collagen and bovine serum albumin during glycation reactions is significantly different. *Connective Tissue Research*, Vol. 48, No. 5, pp. 271-276.
- 今泉勉・山岸昌一 (2004). AGEs 研究の最前線 糖化蛋白関連疾患研究の現状. メディカルレビュー社.
- Kawabata, K., Yoshikawa, H., Saruwatari, K., Akazawa, Y., Inoue, T., Sayo, T., Uchida, N., and Sugiyama Y. (2011). The presence of N(ϵ)-(Carboxymethyl) lysine in the human epidermis. *Biochimica et Biophysica Acta*, Vol. 1814, No. 10, pp. 1246-1252.
- Nagai, R., Unno, Y., Hayashi, M., Masuda, S., Hayase, F., Kinae, N., and Horiuchi, S. (2002). Peroxynitrite induces formation of N ϵ -(carboxymethyl) lysine by the cleavage of amadori product and generation of glucosone and glyoxal from glucose. *Diabetes*, Vol. 51, No. 9, pp. 2833-2839.
- Nagai, R., Shirakawa, J., Ohno, R., Moroishi, N., and Nagai, M. (2014). Inhibition of AGEs formation by natural products. *Amino Acids*, Vol. 46, pp. 261-266.
- Odani, H., Iijima, K., Nakata, M., Miyata, S., Kusunoki, H., Yasuda, Y., Hiki, Y., Irie, S., Maeda, K., and Fujimoto, D. (2001). Identification of N(ϵ)-carboxymethylarginine, a new advanced glycation endproduct in serum proteins of diabetic patients: Possibility of a new marker of aging and diabetes. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, Vol. 285, No. 5, pp. 1232-1236.
- 大塚讓・上田悦子・能見祐理 (2018). AGEs の精密分析と食品科学, 医学への応用. 化学と生物, Vol. 56, No. 4, pp. 242-243.
- Silván, J. M., van de Lagemaat, J., Olano, A., and Del Castillo, M. D. (2006). Analysis and biological properties of amino acid derivatives formed by Maillard reaction in foods. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, Vol. 41, No. 5, pp. 1543-1551.
- 竹内正義・佐藤隆・瀧野純一・小林由佳・古野理美・山岸昌一 (2007). AGEs (終末糖化産物) にはどのようなものがあるか—毒性終末糖化産物仮説—. 生体の科学, Vol. 58, No. 6, pp. 502-511.
- 八木雅之・高部稚子・石崎香・米井嘉一 (2018). 糖化ストレスと抗糖化作用の評価. オレオサイエンス, Vol. 18, No. 2, pp. 67-73.
- 米井嘉一 (2010). 糖化・による疾患と抗糖化食品・素材. シーエムシー出版.

第 26 章

簡易な装置にて捕集した大気浮遊物質の 分析電子顕微鏡による解析

塩見 正樹、金子 博文、中山 享

1. はじめに

大気汚染の原因ともなる大気中を浮遊している粒子のうち、粒径 $10\ \mu\text{m}$ 以下のものを浮遊粒子状物質 (Suspended particulate matter: SPM)、粒径 $2.5\ \mu\text{m}$ 以下のものを微小粒子状物質 (Particulate matter: PM_{2.5}) という。黄砂、ばい塵、PM_{2.5} およびスギなどの花粉の総量については、環境省や都道府県が管理する自動化された観測システムが普及している。例えば、新居浜高専が位置している愛媛県新居浜市では 2 ヶ所に測定局が設置されている。愛媛県立衛生環境研究所によって愛媛県内の大気汚染状況を把握するため、各大気汚染測定局にて PM_{2.5} も含む大気汚染物質を常時測定している。大気汚染物質、特に PM_{2.5} 濃度の長期間に渡る観測などについては多く報告されている (門田他, 2005; 塚田他, 2006; 上野他, 2011)。一方、大気汚染物質の元素分析などについての報告 (竹内他, 2007) は多くない。大気浮遊物質の解析には、微粒子の観察・元素分析を目的とした元素分析機能を持った電子顕微鏡 (分析電子顕微鏡)、無機・有機炭素成分分析を目的としたカーボンアナライザー、無機元素成分分析を目的とした蛍光 X 線分析装置、イオン成分分析を目的としたイオンクロマトグラフィーなどが用いられている。新居浜高専専攻科では講義実習の授業中にエネルギー分散型 X 線分析装置付きの走査型電子顕微鏡 (分析電子顕微鏡) を用いた微小領域の元素分析を行っており、その対象物質として大気浮遊物質を取り入れることを検討している。また、大気浮遊物質の解析結果を継続的に地域へ

情報公開していくことを計画している。そこで、本研究では世界各国の環境基準規格に準じた市販されている大気浮遊物質捕集装置は高価であるため、精密ろ過膜および吸引ポンプなどで構成した簡易的な大気浮遊物質捕集装置を考案し、捕集した大気浮遊物質について分析電子顕微鏡による形態観察および元素分析を行った。

2. 実験

2.1 捕集装置

捕集装置の器具には、アズワン株式会社の吸引ポンプ（オイルフリータイプ、コンパクトエアステーションCAS-1）、真空ホース（外径9 mm、長さ2 m）、吸引ろ過漏斗（マグネチックフィルターファンネル、300 mLタイプ）および吸引ろ過瓶（2,000 mLタイプ）を用いた。図1に示す外観写真のように、吸引ポンプ、真空ホース、吸引ろ過瓶および吸引ろ過漏斗の順に接続構成し、大気浮遊物質捕集装置を製作した。また、吸引ろ過漏斗に装着して大気浮遊物質を捕集するろ過膜には、アズワン株式会社のポリテトラフルオロエチレン（PTFE）製精密ろ過膜（孔径0.65 μm 、直径47 mm、メンブレンフィルターDAWP04700）およびガラス繊維ろ紙（粒子保持能0.7 μm 、直径47 mm、グレー



図1：考案した大気浮遊物質捕集装置

ド GF/F) を用いた。

2.2 試薬

火山灰標本としてケニス株式会社の実習用火山灰／阿蘇山、宮崎県新燃岳、鹿児島県桜島の3種類を用いた。

2.3 評価方法

図1に示す本研究で考案した大気浮遊物質捕集装置を用いて、新居浜高専の敷地内一定箇所にて4時間連続運転して大気浮遊物質の捕集作業を行った。捕集作業後のPTFE製精密ろ過膜の中央部を切断し10×10 mm角の分析電子顕微鏡観察用試料片を取り出し、試料台に導電性両面カーボンテープにて固定した。試料片表面に導電性を持たせるために、イオンスプッター装置（日本電子株式会社 JEC-1600）にて白金コーティングを行った。形態観察は、走査型電子顕微鏡（Scanning electron microscope、SEM、日本電子株式会社 JSM-6510LA）にて、元素分析はSEMに取り付けられているエネルギー分散型X線分析装置（Energy dispersive X-ray spectroscopy、EDS、日本電子株式会社 JED-2300）にて行った。測定条件は、観察時および元素分析時共に加速電圧15 kV、照射電流1.0 nAとした。

3. 結果

3.1 捕集された微粒子数の計測

紙織ろ紙の一般的な孔径が1～7 μmでありPM2.5の捕集は難しいと考えられるため、孔径0.65 μmのPTFE製精密ろ過膜を用いて2017年3月22日と2017年5月12日の2日間各4時間捕集作業を実施した。2017年3月22日の捕集作業後のPTFE製精密ろ過膜のSEM観察画像として、倍率100倍の画像（画角が1.28 mm×0.95 mm）と倍率500倍の画像（画角：255 μm×190 μm）を図2に示す。

SEM観察画像から2017年3月22日実施と2017年5月12日実施の微粒子数を計測したものを表1にまとめた。倍率100倍では観察限界を5 μmとし、

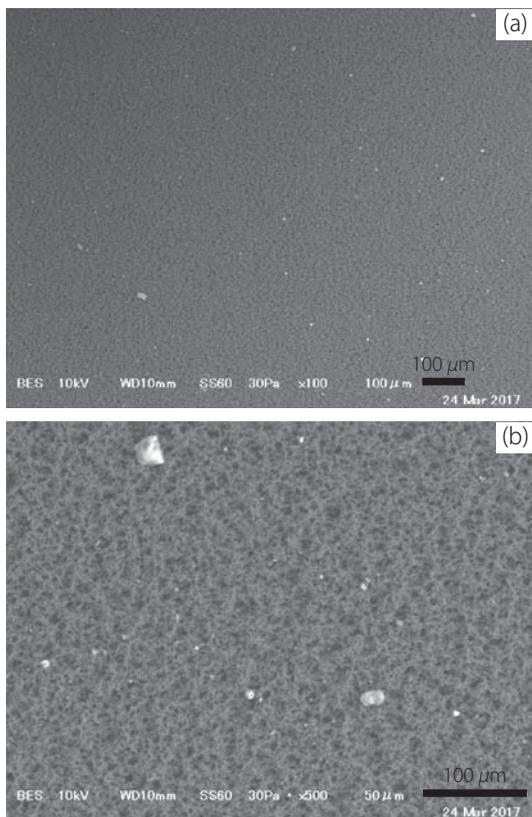


図2：4時間捕集作業後の PTFE 製精密ろ過膜表面の倍率 100 倍 (a) および倍率 500 倍 (b) での SEM 観察画像

表 1：4 時間捕集した微粒子数

測定倍率	倍率 500 倍		倍率 100 倍	
	1～5 μm	5 μm 以上	5～10 μm	10 μm 以上
3月22日	16 個	2 個	17 個	3 個
5月12日	80 個	3 個	13 個	13 個

5～10 μm と 10 μm 以上を別々に、また倍率 500 倍では観察限界を 1 μm とし、1～5 μm と 5 μm 以上を別々に計測した。新居浜高専に最も近い大気汚染測定局は西側に 500 m 離れた新居浜市久保田町 1- 甲 605 に位置しており、その大気汚染測定局で計測された 2017 年 3 月 22 日の 1 日平均濃度は PM2.5 値 13 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 、2017 年 5 月 12 日の 1 日平均濃度は PM2.5 値 28 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ であった。これらの値は、表 1 に示す 2017 年 3 月 22 日の 1～5 μm 微粒子数よりも 2017 年 5 月 12 日の 1～5 μm 微粒子数が数倍多い傾向と一致した。

3.2 捕集された微粒子の元素分析

微粒子の元素分析を行う前に、比較試料として捕集作業前の PTFE 製精密ろ過膜表面およびガラス繊維ろ紙表面の元素分析を行った結果を図 3 に示す。EDS スペクトルは SEM 観察画像全体の面分析で行ったものである。図 3 (a) からわかるように PTFE 製精密ろ過膜では C 成分と O 成分のみが検出され、ZAF 補正法による元素の簡易定量分析 (窯業協会, 1987) の結果から元素の質量 % は C / 45.8 と O / 54.2 であった。PM2.5 の捕集が可能な精密ろ過膜としてガラス繊維ろ紙もよく用いられているが、図 3 (b) からわかるように C 成分と O 成分以外に Na、Al、Si、K、Ca、Zn、Ba 成分も検出されることから、捕集した微粒子の元素分析には注意が必要である。本研究では、PTFE 製精密ろ過膜を用いて捕集した微粒子のみについて検討を行った。

図 4 に本研究で考案した大気浮遊物質捕集装置にて捕集された 4 種類の微粒子の SEM 観察画像および EDS スペクトルをまとめた。図 4 (a) は、1 μm 以下の微粒子からなる 20 μm 程度の塊が観察されている。その塊の中央付近を点分析した元素の質量 % は C / 18.8、O / 44.6、Mg / 1.5、Al / 7.3、Si / 14.8、Cl / 2.3、K / 2.2、Ca / 3.4、Fe / 5.2 であり、Si、Al および Fe を主成分とする砂と推測できる。C 成分と O 成分の質量 % の一部は、PTFE 製精密ろ過膜の影響があると考えられる。図 4 (b) の微粒子は 4 μm 程度の立方体であり、その中央付近を点分析した元素の質量 % は C / 32.7、O / 11.9、Na / 23.4、Cl / 32.0 であった。新居浜高専の北側 1 km には瀬戸内海があり、海水由来の NaCl と推測できる。図 4 (c) の微粒子は 4 μm 程度で、破碎物のよう

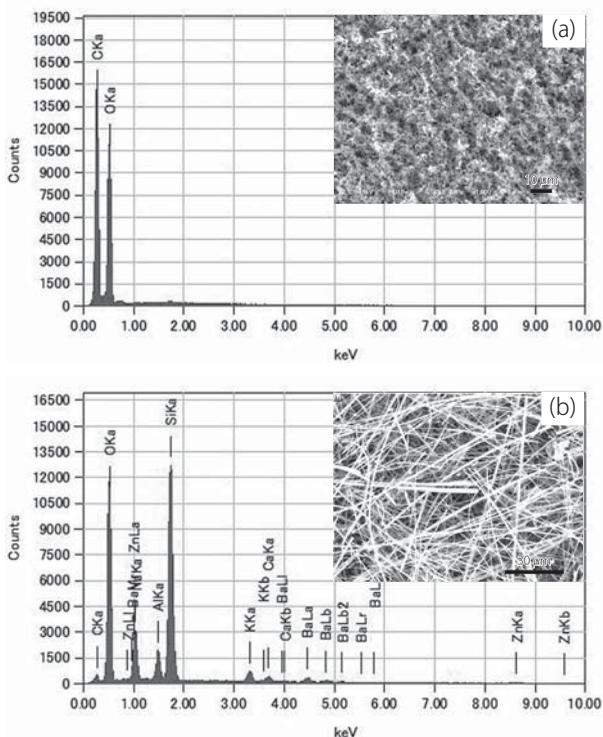


図 3：PTFE 製精密ろ過膜表面 (a) およびガラス繊維ろ紙表面 (b) の SEM 観察画像および EDS スペクトル

である。その中央付近を点分析した元素の質量 % は C / 17.2、O / 38.8、Mg / 0.6、Si / 1.4、S / 2.5、Cl / 0.5、Ca / 2.3、Fe / 24.6、Zn / 2.6、Sn / 1.8、Ba / 7.9 であり、Zn、Sn および Ba などの重金属を含む Fe を主成分とする破碎微粒子であることから金属加工粉と推測できる。近隣地域には愛媛県東予地域の主力産業の金属・化学工業を支える金属加工企業が多く存在しており、そこが発生源となっている可能性が考えられる。図 4 (d) の微粒子は球状で、その大きさは $0.1 \sim 2 \mu\text{m}$ 程度と幅広い。凝集している中央付近を点分析した元素の質量 % は C / 13.4、O / 35.7、Mn / 50.7 であり、酸化マンガンと考えられる。酸化マンガンは乾電池やリチウムイオン電池の電極材料、フェライ

ト、有機溶剤製造の酸化剤およびガラスの着色などとしての使用が知られている。その中で、球状のものはリチウムイオン電池の正極材料 LiMn_2O_4 があり（菅野他, 2009）、その大きさは $1\ \mu\text{m}$ 付近が多い。Li は EDS 分析できる元素ではないため、図 4 (d) の球状微粒子は LiMn_2O_4 の可能性も考えられるが、近隣地域で LiMn_2O_4 を製造している企業はなく、発生源は今のところ不明である。

3.3 火山灰と推測される微粒子の元素分析および発生源の特定

2016 年 10 月 8 日未明に発生した阿蘇山の噴火では新居浜市でも降灰が観測され、自動車などへの付着が目視できた。2016 年 10 月 9 日に、本研究で考案した大気浮遊物質捕集装置にて捕集した微粒子の SEM 観察画像および EDS スペクトルを図 5 に示す。検出元素には Na、Mg、Al、Si、K、Ca、Fe の他に S 成分も含まれることから、阿蘇山の噴火に由来する火山灰の可能性が考えられる。阿蘇火山灰の火山ガラス化学組成 wt% は、 $\text{SiO}_2 / 70.9$ 、 $\text{TiO}_2 / 0.5$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3 / 15.7$ 、 $\text{FeO} / 1.9$ 、 $\text{MnO} / 0.1$ 、 $\text{MgO} / 0.5$ 、 $\text{CaO} / 1.6$ 、 $\text{Na}_2\text{O} / 5.6$ 、 $\text{K}_2\text{O} / 4.3$ と報告されているが（長橋他, 2014）、図 5 の EDS スペクトルでは Ti と Mn が検出されていない。

図 5 の 2016 年 10 月 9 日に捕集した微粒子を、前日 10 月 8 日の阿蘇山の噴火に由来する火山灰であると特定する目的で、市販されている火山灰標本のう

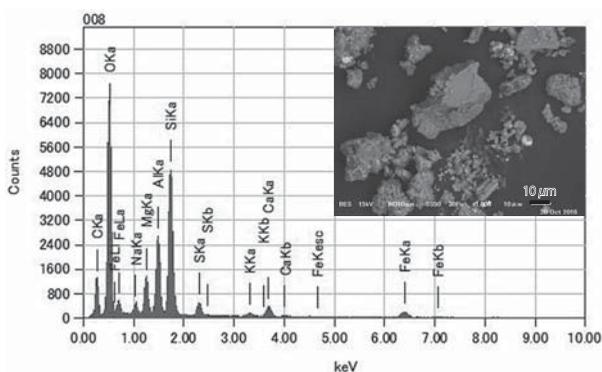


図 5：2016 年 10 月 9 日に捕集された前日の阿蘇山噴火に伴う降灰と推測される微粒子の SEM 観察画像および EDS スペクトル

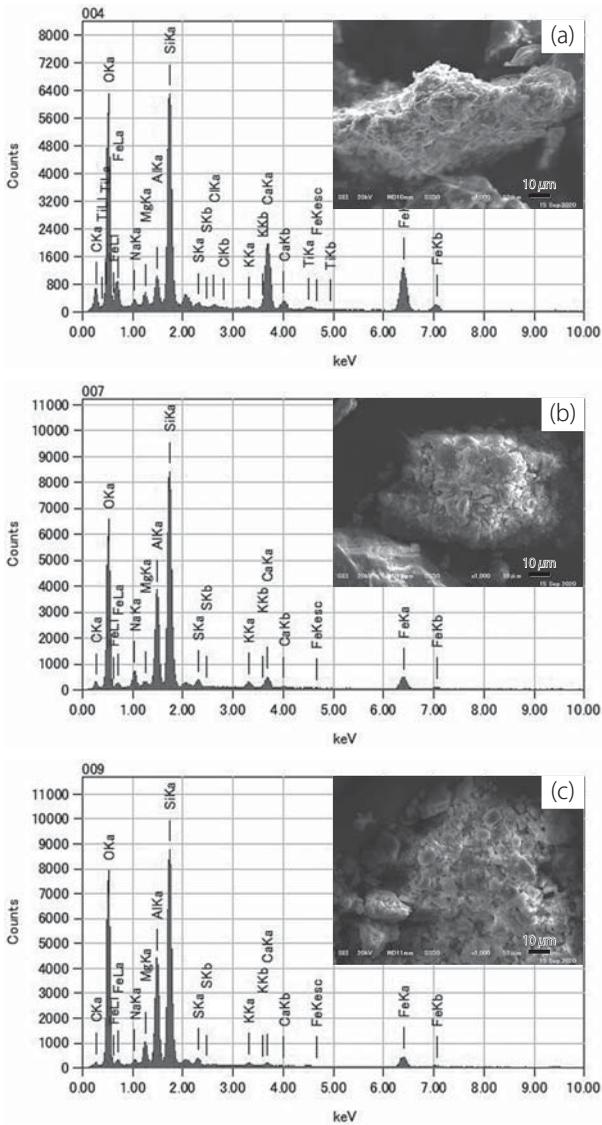


図6：阿蘇山 (a)、新燃岳 (b) および桜島 (c) の火山灰標本のSEM 観察画像およびEDS スペクトル

表 2：元素の簡易定量分析結果

元素	質量 %			
	2016 年 10 月 9 日 捕集微粒子	市販の火山灰標本		
		阿蘇山	新燃岳	桜島
C	18.1	9.4	6.9	4.5
O	46.4	49.7	48.9	52.0
Na	1.3	0.9	2.6	0.8
Mg	3.5	1.1	0.5	2.5
Al	7.2	2.2	9.8	11.0
Si	14.2	15.0	22.6	22.8
S	1.7	0.4	1.0	1.0
Cl	—	0.2	—	—
K	0.6	0.2	0.8	0.4
Ca	2.3	7.1	1.6	0.3
Ti	—	0.4	—	—
Fe	4.7	13.3	5.4	4.8

ち現在活動中の阿蘇山、新燃岳および桜島の火山灰を入手して、同様に SEM 観察および EDS 分析を行った。SEM 観察画像および EDS スペクトルを図 6 に、そして図 5 および図 6 に示す EDS 分析から得られた ZAF 補正法による元素の簡易定量分析結果を表 2 にまとめた。図 6 の EDS スペクトル中で元素帰属されていない 2.05 eV 付近のピークは、SEM-EDS 試料に導電性を持たせるための白金コートの PtKm 線である。阿蘇山、新燃岳および桜島の火山灰標本の明確な違いは認められないが、2016 年 10 月 9 日捕集した微粒子に検出される元素およびそれぞれの元素の質量 % が阿蘇山の火山灰標本と比較的よく一致しており、このことから阿蘇山に由来するものと考えた。

本研究で考案した大気浮遊物質捕集装置を用い PTFE 製精密ろ過膜上に捕集した大気浮遊物質からは砂などの微粒子は観測されたが、花粉症の原因となるスギなどの花粉類がほとんど観測されなかった。この解決策としては、PTFE 製精密ろ過膜の代わりにガラス繊維ろ紙を用いると多くに花粉が捕集できることがわかった。今後は、大気浮遊物質捕集装置の改良を進め、未知の部分が多

い地域、季節および天候によって大気浮遊物質にどのような差違（成分、濃度および粒度分布など）があるかについての調査も進めていく計画である。また、本研究の一部は地域向けの新居浜高専・研究シーズ発表会の場で公開したが、引き続き大気浮遊物質の解析結果を地域へ情報公開していく。

4. まとめ

市販の吸引ポンプ、吸引ろ過瓶、吸引ろ過漏斗および PTFE 製精密ろ過膜などで構成した簡易的な大気浮遊物質捕集装置を考案し、捕集した微粒子の形態観察および元素分析を分析電子顕微鏡により行った。

- PTFE 製精密ろ過膜上に、大気浮遊物質のうち $1\ \mu\text{m}$ 以上の微粒子を捕集できることを示した。また、捕集された $1\sim 5\ \mu\text{m}$ 微粒子の個数推移は、最も近隣の大気汚染測定局で計測された 1 日平均 PM2.5 濃度推移と同じ傾向であった。
- EDS 分析より PTFE 製精密ろ過膜表面から検出される元素は C と O のみであり、捕集された微粒子の EDS 分析への影響が少ないことを示した。捕集された微粒子は、検出される元素およびその質量 % から砂、海水由来の NaCl および金属加工企業が発生源の金属加工粉などと推測が可能であることを示した。
- 2016 年 10 月 8 日の阿蘇山噴火の翌日に捕集された微粒子は、EDS 分析より火山灰標本に検出される元素およびその質量 % から阿蘇山噴火の降灰によるものと推測が可能であることを示した。

引用文献

- 門田実・石井学・植木昭博・中桐基晴・前田泉（2005）．環境中の大気汚染物質に関する研究（粒子状物質による大気汚染）第 2 報—浮遊粒子状物質（SPM）秤量精度の検討—．岡山県環境保健センター年報, Vol. 29, pp. 19-26.
- 長橋良隆・片岡香子（2014）．テフラ学（第 5 回）—火山ガラスの主成分元素組成とテフラ層の対比—．第四紀研究, Vol. 53, No. 5, pp. 265-270.

- 菅野裕士・丸山剛・獨古薫・金村聖志 (2009). 球状 LiMn_2O_4 を用いた焼結式多孔性電極の電気化学特性の評価. 電気化学および工業物理化学, Vol. 77, No. 4, pp. 309-314.
- 竹内淨・井上俊明 (2007). 電子プローブマイクロアナライザーを用いるテープ紙上の浮遊粒子状物質の元素分析. 分析化学, Vol. 56, No. 10, pp. 885-889.
- 塚田進・山川雅弘・西山亨 (2006). 浮遊粒子状物質の大気汚染について (1) 一県下の微小粒子 (PM2.5) 濃度一. 三重保環研年報, Vol. 8, pp. 67-73.
- 上野広行・秋山薫・石井康一郎・三好猛雄・横田久司・名古屋俊士 (2011). 東京都における夏季の PM2.5 及び水溶性有機炭素とオキシダント濃度との関係. 大気環境学会誌, Vol. 46, No. 2, pp. 124-130.
- 窯業協会編集委員会講座小委員会 (1987). セラミックスのキャラクターゼーション技術—5.2 分析電子顕微鏡 (AEM) —. 社団法人窯業協会, pp. 177-188.

掲載：科学・技術研究, 第9巻2号, pp. 127-131 (2020年)

あとがき

橋本文彦

多くのジャーナル論文は、その発表時点で各分野がすでに共有している知見に付加すべき新規の発見・解釈・提言であり、その論文以降はその知見によって従来の科学的知見の全体を修正し、当該論文の知見は科学理論全体の一部に組み込まれて、あらためて新たな地平から次の新規の発見・解釈・提言を批判的に加えられるべき対象となることでいったんの使命を果たす。

また、ある程度の長い歴史の中で、それ以降の科学のエポックメイキングとなった論文に改めて着目し、その科学史的意義を検討するための対象となることもある。

本書は上記の間を埋めるべく、科学理論の全体が本書中の各論文によっていまだ修正の真っ只中であるところに、あらためて関連分野ごとにまとめて配置されることで、それぞれ異なる時点で公表された諸論文の知見を相互に見比べ、また次にそれらのまとまりとしての分野を横断して見比べることで、異なる専門分野間のつながりを読者に問うものである。

本書に収録された論文は、第一部から第四部として分野ごとに配置されているが、元の掲載誌『科学・技術研究』が「研究領域を超え」「交流と意見交換の場」となって「新しい価値創造」を目指している通り、どの論文も自らの領域に閉じることなく、常に「科学の全体」「技術の全体」を志向して、他分野との対話を強く希望しているものである。

ジャーナル本誌によって、いったんは時間的・分野的に断片化され、それぞ

れの使命を果たした論文たちは、本書においてあらためてその有機的な連関を見せる。

生成 AI の例を出すまでもなく、基礎研究の発展に導かれる科学、制作と計測・評価の飛躍的な進歩に導かれる技術は、ダイナミックに変化している社会に対して、あるものはすぐに強い影響を与え、あるものはその影響の全貌をはっきりとは見せない。

近年、科学技術の成果と社会を結びつけるための「ソーシャルインパクト」とその評価の必要性が国内外で言われている。科学的発見そのものや技術の成果そのものだけでなく、それが社会に及ぼすインパクトを示そうとするものであるが、ここで有用なのが、「ナラティブ」による科学の「語り」である。

ナラティブは、先人が積み重ねてきた従来の科学の様々な変遷やその目指してきたところの意味付けに加えて、新たな知見の位置づけと未来に向けて意味するところを物語るのに良い道具であろう。新たな知見が与える今後の社会への影響だけでなく、むしろはるか以前からその研究を行うことになった研究者の動機や目的の中での位置づけを科学者が市民と共有しながら語ることは間違いなく重要である。

他方で、各論文に対して語られるナラティブにはその先行研究と当該の成果を「過大視」してしまう懸念がある。

精緻な天動説から錬金術、フロギストン、エーテル、獲得形質遺伝、数学の完全性証明、言語と対象の必然的關係、など多くの先人の努力にもかかわらず、それらが否定されるほどの研究は、個々の成果自体のナラティブをも覆し、全体像となってあらたな物語を生んできた。

そうであれば、すでに本書の各論文を一通り読了し、個別のナラティブを讀込まれた読者におかれては、あらためて掲載されている論文の全体像を通して、あらたに紡がれるナラティブを自ら読み取って欲しい。

そこには、まだまだ常に修正され続ける科学理論の全体像の未来に向けたより創造的な物語がある。

科学からみた人間と生活のあり方
—科学・技術研究からのアンソロジー—

2025年3月3日 初版発行

編者 木村 武史

発行者 池田 宏史

発行所 ユニオンプレス／株式会社ユニオンサービス
542-0062 大阪市中央区上本町西5丁目1番6号
電話 06 6763-5431 ファックス 06 6763-5463
E-mail info@union-services.com
振替口座 00900-0-33598

印刷・製本 デザインインターナショナル

ISBN 978-4-909848-25-3

© Society for Science and Technology 2025

Printed in Japan

定価は、裏表紙に明示してあります。乱丁・落丁はお取り
替えいたします。

本書の一部または全部について、弊社から文書による許諾
を得ずに、複写複製、転載することは法律で認められた場
合を除き、著作権及び出版権の侵害となります。

ISBN978-4-909848-25-3
C3040 ¥2500E

発行 ユニオンプレス／株式会社ユニオンサービス
定価 本体2,500円＋税

Cover design
Design International

科学・技術研究会からのご案内

現在、科学技術の発展はすさまじく、各国で競争しあうように研究開発がなされています。しかし、科学技術の発展は長所ばかりが着目され、大きな事故が起こらない限り、欠点にはあまり関心をもたれることがありません。科学技術の発展には、それに付随的に関係する環境についても考える必要があります。これからのバランスのとれた科学技術の発展のために、総合的な発展を促進する学術研究体制を早急に整備する必要があります。

そのようなことから、私たちは学術ジャーナル『科学・技術研究』(Studies in Science and Technology)を創刊いたしました。本誌は研究領域を越え、研究者や技術者の交流と意見交換の場とし、科学を基本として技術を発展させ、技術によって新しい価値創造と夢が生まれることを目指しています。工学・理学・農学の他、科学哲学など各分野の研究者・技術者が研究交流や情報交換を行うことは大きな意味を持っており、本誌を通じて東西文化の相互理解への役割を担うことができると考えています。

本誌では、物理学、工学、化学、物質化学、環境科学、生物工学、農芸化学、生化学、海洋生物科学、生産経営学、科学哲学などの領域の論文を掲載しています。また掲載の区分は、総論、原著、短報、主張、技術報告、資料などで構成され、年2号(6月・12月)の発行を行っています。科学・技術研究会では、皆様からの論文投稿をお待ちしております。