

経済学の新しいパラダイムをめざして

—人間性を取り込むための三提案— *

岡部光明

慶應義塾大学名誉教授

okabe@kvp.biglobe.ne.jp

キーワード：主流派経済学、人間性、総合政策学、NPO、実践哲学

はじめに

経済学は、その分析手法の厳密さを大きな特徴とする社会科学である。とくに主流派経済学では、人間は予算制約の下で自己の効用最大化を図るという視点（利己主義）から人間と社会を理解する立場を一貫して採用しており、経済学研究者の大半はこうした姿勢を変えようとしな

しかし、そうした分析方法に依る場合、人間にみられる非合理的あるいは利他的な行動をはじめ、コミュニティ、非営利組織、絆、社会関係資本、幸福の追求といった重要な事象を見落とししてしまう。本来の社会科学としては、これらの現象を積極的に取り入れる必要がある。

本稿は、こうした問題意識に立つ筆者の近著『人間性と経済学—社会科学の新しいパラダイムをめざして—』（岡部 2016a）の中核的議論を紹介することを意図している。

1. 主流派経済学の光と影、あるべき方向

近年、主流派経済学（新古典派経済学）は多面的に発展してきている。その特徴として、(a)精緻化・体系化、(b)新しい手法や概念の導入による分析対象の拡大、(c)隣接学問領域との連携進展、の3つを指摘できる。

このうち、(a)と(b)の背景には、人間行動に関する強い前提とそれによって可能となる方法論がある。すなわち人間は利己主義、合理主義に基づいた行動をするという前提、そしてそれを基にした「方法論としての個人主義」(methodological individualism)である。

さらに、その場合には自然科学的な分析方法が適用できるので、主流派経済学では最大化(maximization)、均衡(equilibrium)、効率性(efficiency)という三つの概念が重視されることになる。

こうした分析方法は応用可能性が高く、各種社会現象をこの視点から切り込むことを可能にしている。すなわち、こうした分析視点は、商品やサービスの市場分析にとどまらず、人間の多くの活動領域（家族、差別、宗教、法律、政治など）にも適用する動きが活発化している。これは主流派経済学の「強さ」ということができ、この傾向は「経済学帝国主義」(economic imperialism)と称されること

がある。

主流派経済学の「影」とそれへの対応方向

以上のような主流派経済学の強さあるいは光に対し、そこには影の部分もある。すなわち、人間の行動についての前提の狭隘さ、そして人間社会の分析に自然科学的手法を適用することへの疑問、である。また、経済政策論においても効率性をことさら重視する歪みが生じている。

こうした問題を解決するには、現在の前提を超えて経済学により人間的要素を盛り込む必要がある。すなわち(1)理論面において人間の非合理的行動や利他的行動も考慮すること、(2)利己的動機からは位置づけることが困難であるものの現実に存在する諸現象（コミュニティ、非営利組織など）を積極的に分析対象とすること、(3)人間は社会的存在であるという視点（倫理の意義の再認識など）を重視すること（Sachs 2013）、(4)他の学問領域（心理学、文化人類学、生物学等）との学際的研究を一層活発化させること、などが必要となる。

以下では、人間社会の問題とその解決をよりの確に行ううえで筆者がとくに強調したい点、すなわち

(1) 多分野活用的接近(issue-driven approach)の必要性、(2)従来の二部門(市場と政府)モデルによる社会理解を三部門(市場・政府・NPO)モデルに切り替える必要性、(3)個人の幸福実現と社会発展を統合する思想(実践哲学)の可能性と必要性、の3点を述べる。

2. 経済学の改革(1)：総合政策学的接近の重視

社会問題は、どのような場合でも、人間の行動動機が多様性を認識するとともに、人間相互の様々なつながりを基礎として考察する必要がある。このため、それは単一学問領域の論理を基礎に据える

(discipline-driven)接近ではなく、多分野活用的(issue-driven)接近が本質的に必要である。ところが近年、学問領域が細分化・専門化しているため、経済学における人間行動の単純な前提にみられるように、社会問題の本質的・多面的な理解を妨げる傾向がでてきている。

こうした弊害に対処するべく生まれたのが総合政策学である。それは基本的に多分野活用的接近を

重視する現代的な社会科学といえる。この総合政策学において「総合」という場合、そこには四つのことがらが含まれる。すなわち(1)複数学問領域の総合的活用、(2)政策実施過程の時系列的な全体把握、(3)政策過程における関与主体の全体的な把握、(4)政策の実効性に関連するガバナンスの重視、である。



(出所) 岡部 (2016a : 図表 5-2)。

図1 総合政策学：各種学問領域のモジュール集合

各種学問領域のモジュール的活用

総合政策学は、上記(1)のとおり複数学問領域の総合活用が最大のポイントの一つである。それは、近年展開されつつある「モジュール」という概念を利用すれば、諸科学のモジュール的集合だと理解できる。

モジュール (module, modularity) とは、大規模システムの一構成要素 (部品)、あるいは幾つかの論理をまとめた複合部品 (高度の機能を持つ部品) のことである。モジュールは、次の二つを重要な性質として持つ。すなわち (1) 各モジュールの内部の構造は相互間で独立している一方、機能的には共同して一つの大きな働きをすること、(2) モジュール間のインターフェイス (接続装置) は一定の共通様式として固定されていること、である。

これは、おもちゃの「レゴ」ブロックの例に即して直感的に理解できる (図1)。すなわち、単一ブロック (モジュール) の色、形状、サイズはバラバラなものでよい。しかし、どのようなブロックの場合でも、そのインターフェイスは他のブロックと接続可能な事前に設定された形状のものにしておく。このように部品を設計しておけば、最終作品 (アーキテクチャ) は、そのサイズ、複雑さ、色どりなど多様なものを自由に作り出すことができる。

ここで重要なのは、モジュール間のインターフェイスを事前に設定しておくこと、そして最終作品の姿 (大きな研究テーマ) を事前に大きなイメージとして設定しておくことである。例えば、人間の行動動機は何か、人間の幸福とは何か、といったことを共通のインターフェイスとして各研究者がモジュ

ールとして作る一方、研究者全体で作り出す最終作品のイメージも共有することによって、各種学問領域から出てくる成果を組み立てるかたちで大きな作品を作り出すこと (学際的解明) ができる。

3. 経済学の改革(2)：三部門モデルへの切り替え

主流派経済学では、基本的には二部門 (市場と政府) モデルによって社会が理解されていた。しかし、より実り多いのは社会を三部門 (市場・政府・NPO) モデルによって理解することである。

なぜなら、人間は単に利己主義的動機によって行動するだけでなく、心理学等の知見によれば利他主義的な行動動機も同時に備えており、現にそうした動機に基づく社会事象 (各種コミュニティ、非営利組織：NPO) が幅広くみられるからである。

NPOの4条件

非営利組織 (NPO) は、一般に営利組織 (株式会社などの民間営利企業) 以外の全ての組織を指すが、より厳密には4つの性格を併せ持つ組織だとされる。すなわち (1) 自己統治組織であること、(2) 非営利かつ非利潤分配の方針が採られていること、(3) 制度的に政府から分離された組織であること、(4) 活動への参加が非強制的であること、である。

NPOの対象領域、形態

こうしたNPOは、多種多様な領域で活動している。すなわち、健康 (病院、介護施設、献血)、教育 (初等中等、大学)、文化・スポーツ・芸術 (博物館等)、各種社会サービス (福祉団体等)、環境保護 (リサイクル)、研究 (政策提言)、法律 (人権保護)、財団、政治 (政党)、宗教などである (OECD 2003)。

またその組織形態も、(1) 起業家精神が比較的高い形態 (ソーシャル・ビジネス、社団法人、協同組合等)、(2) 社会的目的の達成を比較的重視する形態 (支援組織、助成財団、政党等) など、多様である。

NPOの存在理由：理論的整理

NPOが存在する理由は、理論的に二つの説明が可能である。第一は、準公共財の供給主体としてのNPOである (表1を参照)。

第二は、市場取引における情報の非対称性を軽減する主体としてのNPOである。すなわち、財やサービスが市場で取引される場合、情報の非対称性に起因する問題 (取引費用の増大、信頼性の欠如などいわゆる市場の失敗という問題) が比較的大きいため、それを補正する制度としてNPOを位置づけることができる。例えば、献血事業を通常の市場取引で行うと、血液を買う企業と最終的な利用者 (輸血を受ける者) の双方にとって情報の非対称性に基づく上記のような本質的な問題が回避できない。このため、営利企業による市場取引に任せるには限界があり、非営利組織が行う方がより適切になる。

表1 財の種類と供給主体の適否

	私的財	準公共財	公共財
市場	◎	△	×*2
非営利組織/ 非営利部門	△	◎	×*3
政府/公共部門	×*1	△	◎

◎:最も適する。△:他の部門と競合する。×:不適当。

(注) *1 政府の失敗があるため不適当。

*2 市場の失敗があるため不適当。

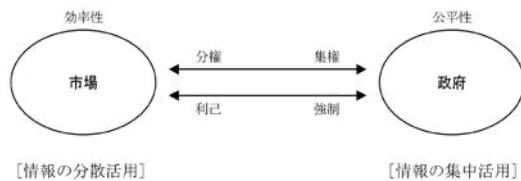
*3 自発部門の失敗(規模不足)があるため不適当。

(出所) 岡部 (2016a : 図表 10-4)。

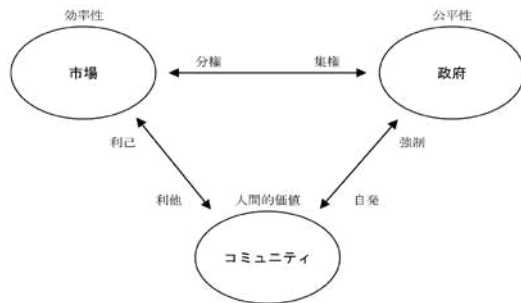
二部門モデルから三部門モデルへ

このような主体 (NPO) ないし部門を明示的に導入すると、社会システムは図2のような新しいモデルで理解できる。

(1) 経済学における従来の視野



(2) 今後望まれる視野



(注) 岡部 (2016a : 図表 4-3)。

図2 従来の視野と今後望まれる視野

このように社会を三部門モデルで捉えることは、現実にそれらが存在することを考慮する意味を持つだけでなく、理論的な根拠もある。すなわち、社会問題を解決するための公共政策に関しては、政策目標と政策手段の関係について二つの重要な原理 (ティンバーゲンの原理とマンデルの定理) が知られており、この二つを援用して理論的に説明可能である。

すなわち (1) ある一つの政策手段 (主体) が仮

に複数個のどの政策目標に対しても最も効果的である (絶対優位) としても、それだけで (複数個ある) 全ての目標を達成することは不可能であり (ティンバーゲンの原理)、他の政策手段 (主体) を追加的に導入する必要がある、(2) その場合には目標達成にとって比較優位の原則に基づいて政策手段を割り当てる (目標達成に最も適した実施主体が関わる) べきである (マンデルの定理)、ことが導ける。

つまり、社会問題の解決において、政府を一つの独立主体とみなした場合、NPO という中間の主体がこれに加わることは、独立した政策主体が一つ増えることを意味する。このため、市場でもなく政府でもない独立した主体であり、かつ現場情報をより多く保有する主体である第三の主体 (NPO) が加われば、政策目標をより確実に達成できることになる。

さらに、それが社会全体にとってより望ましい結果 (パレート改善) をもたらすことも厳密に示すことができる。岡部 (2016a) 脱稿時点では未だ判明していなかったが、その後の研究によって理論的にそれを証明できた。岡部 (2016b) 第4章を参照。

4. 経済学の改革 (3) : 個人の幸福追求と社会改革の一体化

経済学あるいは社会科学の究極的な目的は、より幸せな人間社会を構築することにある。そう考えると、個人の幸福追求が社会の改革ならびに発展につながる思想ないし方策の追求が大きな意味を持つ。ここでは、そうした性格を持つ一つの斬新かつ普遍性を持つ思想 (その実践方法を含む一つの実践哲学) を紹介したい。

個人の幸福実現と社会発展を統合する実践哲学

ここで紹介するのは、高橋 (2011 ほか一連の著作) が説く「個人の幸福実現と社会発展を統合する実践哲学」である。

その考え方は端的に次のように理解できる。すなわち (1) 人間は生きるため誰でも事態対応の定型パターン (快か苦かの二分法) で物事を受け止める習慣を身につけている、(2) しかし鍛錬すればその現実気づくとともに「中道」ないし「中庸」の振る舞いができるようになる、(3) そうすれば個人として自由ですがすがしい生活ができるようになる

(幸せになる)、(4) こうした自己変革は各自の仕事や働きを介して社会の変革につながる、という思想である (図3を参照)。またその鍛錬をするための各種手段 (ワークシートや、セミナー等) が提供されている。

この実践哲学は幾つか大きな特徴を持つ。すなわち (1) 先端性 (人間の潜在能力解放という視点を基礎)、(2) 現代性 (個人の考え方と行動を基礎)、

(3) 合理性 (原因と結果の法則を基礎)、(4) 実践性 (思想の実践手段も提供)、そして (5) 社会

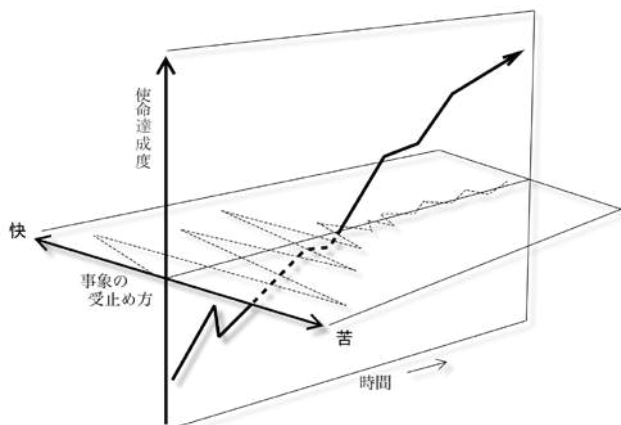
変革力（個人の行動変化が周囲・職場・地域・社会の変革を導いた非常に多くの実証結果の存在）、である。

思想的にみた普遍性、科学との共鳴

この実践哲学は、思想史の観点からみると、釈迦（ブッダ）が説いた仏教（正確には原始仏教）の特徴である（1）個人主義的（一人ひとりに責任がある）、（2）自由主義的（ドグマがない）、（3）合理的（因果論で構成されている）、（4）理想主義的（よりよい方向に向う手段がある）、という点で共通している。また人間の行動における中道（ブッダの場合）あるいは中庸（アリストテレスの場合）の振る舞いを追求する点で、ブッダやアリストテレスの発想に深く繋がっている。

さらに、フロイトおよびユングと並んで現代のパーソナリティ理論や心理療法を確立したアドラー（1984）の説く心理学の主張とも、実体的に呼応する面を非常に多く含んでいる。

古来の思想史ならびに現代科学と共鳴するのは、興味深くまた驚くべきことといえる。逆に言えば、この実践哲学は普遍性と堅固な論理的基礎を併せ持ち、今後大きな可能性を秘めているといえよう。



（出所）岡部（2016a：図表 13-11）。

図3 実践哲学を修得し実践する効果（イメージ）

5. 結論

経済学の祖とされるアダム・スミスについては、現在「利己主義に基づく自由放任主義の教祖」とでもいう理解が支配的であるが、それは大きく歪んだ捉え方である。なぜなら、スミスの著作『道徳感情論』を読めば分かるとおり、彼はフェア・プレーの重要性を強調しているほか、道徳、幸福など人間の多面性を重視する思想家であった（堂目 2008）からである。

本稿は、現代の主流派経済学をスミス流の幅広い人間観に立脚した学問に引き戻そうという意図を

持った一つの試論であり、概略以下のことを主張した。

（1）社会科学をより人間的なものにするには経済学の論理を基礎に据える（discipline-driven）接近ではなく多分野活用的（issue-driven）接近が重要である。

（2）社会を適切に理解するには従来の二部門（市場と政府）モデルでなく三部門（市場・政府・NPO）モデルに依るべきである。

（3）個人の幸福追求と社会改革を一体化する実践哲学に大きな可能性がある。

以上

*本稿は、近刊書籍（岡部 2016a）の概要を紹介するために執筆した論文（岡部 2016b）をさらに簡略化したものである。なお、後者はディスカッション・ペーパーとして近々ウェブ掲載される予定である。

引用文献

アドラー、アルフレート（1984）『人生の意味の心理学』高尾利数訳、春秋社。（原書：Alfred Adler, *What Life Should Mean to You*, Little, Brown, and Company, 1931.）

岡部光明（2016a）『人間性と経済学—社会科学の新しいパラダイムをめざして—』日本評論社、2016年12月刊行予定。

岡部光明（2016b）『経済学の新しいパラダイムをめざして—人間性を取り込むための三提案—』慶應義塾大学湘南藤沢学会ディスカッション・ペーパー（近刊予定）。

高橋佳子（2011）『魂の発見—時代の限界を突破する力—』三宝出版。

堂目卓生（2008）『アダム・スミス—「道徳感情論」と「国富論」の世界—』中公新書。

OECD（2003）*The Non-profit Sector in a Changing Economy*, Paris: OECD.

Sachs, Jeffrey D. (2013) “Restoring Virtue Ethics in the Quest for Happiness,” in Helliwell, John F., Richard Layard, and Jeffrey Sachs (eds.) *The World Happiness Report 2013*, New York: UN Sustainable Development Solutions Network, pp.80-97.

協力の構築に必要とされる罰する者の役割に関する研究

○大平哲史^{*1*2}

^{*1} 慶應義塾大学環境情報学部非常勤講師

^{*2} 青山学院大学附置情報メディアセンター助教

^{*1}tetsushi@sfc.keio.ac.jp, ^{*2}odaira@aim.aoyama.ac.jp

キーワード：協力の構築、罰する者の役割、空間囚人のジレンマゲーム

1 はじめに

非血縁関係下の協力の構築における、罰する者の必要性に疑問を呈する研究が多い。

例として、囚人のジレンマゲームでは、Dreber et al. (2008)がピア懲罰の導入によって、プール懲罰と同じく、プレイヤー全体の利得が減少することを示しており、さらに囚人のジレンマゲームの多人数版である公共財ゲームでは、Rand and Nowak (2011)が、罰は自然選択を通じて協力を促進せず、裏切り者による協力者に対する報復という非社会的な行為を助長するため、罰はプレイヤー自身を守るための自己中心的な手段に過ぎないと述べている。さらに、Nowak (2006)は、罰は協力の進化（協力者数の増加）に必要な機構ではなく、間接互惠性や群選択、ネットワーク互惠性（相互依存関係）といった、他の機構によって達成された協力の程度を促進するものであると示している。

こうした疑問を解消するため、著者は最近の研究 (Ohdaira, 2016)で、各プレイヤーが相手と自分の利得の差が大きいほど、その利得の差に応じた確率で、一定の割合で自分の利得を犠牲にし、その犠牲と同等の罰を裏切り者の相手に与えるという、新しい罰の概念を提案した。犠牲と罰の値は、自分の利得に比例しているため、自分の利得が高いほど、裏切り者の相手に強力な罰を与えることができる。

確率的罰を考慮した研究は既に存在するが、Ohdaira (2016)のように、相手を罰する確率が、相手と自分の利得の差に応じて動的に変化するという点を考慮した研究は存在しない。具体的に、著者が Ohdaira (2016)で提案した罰と他の確率的罰との違いについて述べると、まず Chen et al. (2014)は、裏切り者を罰する責任を分配するための分かりやすい方法として、確率的罰を考慮しているが、各プレイヤー間でその確率に差はなく、動的に変化しない。決まった数のプレイヤーの分類とその分類に特定の確率を考慮した Chen et al. (2015)や、Perc and Szolnoki (2015)による確率を導入した不均一な罰に関する研究も、同じく固定された確率について扱っている。Szolnoki and Perc (2013)は、相手と自分の利得の差ではなく、グループ内での自分以外の条件的、非条件的な罰する者の数に応じた確率について考慮している。

Ohdaira (2016)は、提案した新しい罰の導入が、

その機構によって自己中心的な行動を抑制し、協力が進化するやすくとされる、限られたプレイヤーが極めて多数の結びつきを持つ Scale-free と呼ばれるトポロジーのプレイヤー同士の相互依存関係だけではなく、さまざまなトポロジーのプレイヤー同士の相互依存関係において協力の進化を促進し、平均利得の向上にも寄与することを示している。

一方で、その結果は新しい罰の概念における中心的な制御パラメータである罰の係数、すなわち自分の利得の犠牲と、相手に与える罰の程度が一定という限られた場合のものであり、罰の係数を変化させたときも、新しい罰の導入によって協力の進化が促進され、プレイヤー全体の平均利得も増加するのか、またプレイヤー同士の相互依存関係の密度の違いにより、協力の進化とプレイヤー全体の平均利得の増加に最適な罰の係数に違いはあるのか、といった点が未解決である。

そのため、本研究はこうした未解決となっている問題について調べ、その結果を社会における相互依存関係へと一般化した場合、どのような示唆が得られるのかという点について述べていく。

2 モデル

本研究のモデルは、Nowak と May による、プレイヤー同士の相互依存関係を基盤とする空間囚人のジレンマゲーム (Nowak, 1992)に基づいており、各プレイヤーは裏切りか協力の2種類の戦略を持ち、相互依存関係のあるすべての相手プレイヤーと対戦を行って合計の利得を得る。すなわち、全プレイヤー数を N とし、対戦する2つのプレイヤーを i および j ($i \neq j$, $1 \leq i, j \leq N$)、それらが持つ戦略を $s(i)$ および $s(j)$ 、利得を $P(i)$ および $P(j)$ とすれば、 $P(i)$ は (式1) の利得行列 A を用いて (式2) で表せる。ここで、 $s(i)$ と $s(j)$ は単位ベクトルを用いて (1 0) または (0 1) で表せる。前者の場合はプレイヤー i の戦略が協力、すなわち協力者であることを、逆に後者の場合は裏切り、すなわち裏切り者であることを意味する。 $O(i)$ は、プレイヤー i と相互依存関係のあるプレイヤーの集合を示す。

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ b & 0 \end{pmatrix} \quad (1 < b \leq 2) \quad (1)$$

$$P(i) = \sum_{j \in O(i)} s(j) A s(j)^T \quad (2)$$

$$(i \neq j, 1 \leq i, j \leq N)$$

本研究におけるすべてのプレイヤー数 N と利得行列 A におけるパラメータ b 、初期状態における協力者数と裏切り者数の比率は、Ohdaira (2016) に従っている。すなわち、 $N=1000$ 、 $b=1.5$ であり、比率はほぼ一対一となっている。また、全 20 回のシミュレーションに関して、裏切り者と協力者の分布は、毎回ランダムに変化する。相互依存関係の空間構造についても、Ohdaira (2016) に従っており、 N のプレイヤーからなる周期境界条件の 1 次元格子であり、Watts and Strogatz (1998) に準じている。格子の各頂点がプレイヤーを表し、プレイヤー i は $k(i)$ の他プレイヤーと相互依存関係を持つ。 $k(i)$ の平均値 $\langle k \rangle = (1/N) \sum_{1 \leq i \leq N} k(i)$ である。本研究では、Ohdaira (2016) で扱った、 $\langle k \rangle = 4, 8$ のレギュラー (Watts and Strogatz, 1998)、ランダム (Watts and Strogatz, 1998)、そして Barabási-Albert モデル (Barabási and Albert, 1999) と呼ばれる Scale-free の 3 種類の相互依存関係のトポロジーのうち、純粋に罰の係数の変化による影響を測定できる、レギュラーなトポロジーについて扱う。裏切り者と協力者の分布と異なり、全 20 回のシミュレーションに関して、相互依存関係のトポロジーは変化しない。なお、各トポロジーの詳細な構築方法は、Ohdaira (2016) の Methods に記されている。図 1 は $\langle k \rangle = 4$ のレギュラーなトポロジーの場合を示しており、トポロジーを分かりやすくするために、 $N=12$ としている。

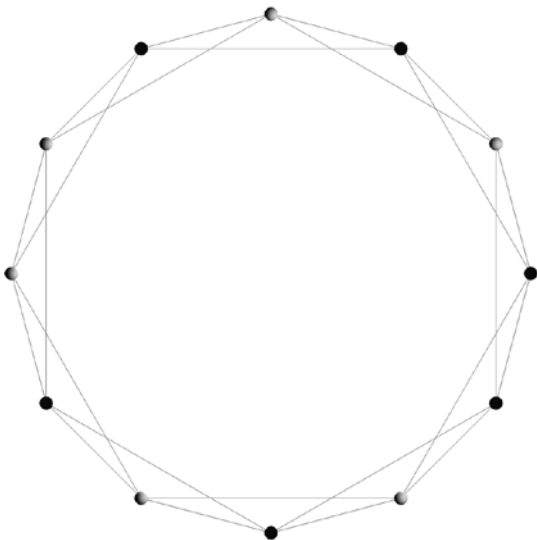


図 1: プレイヤー同士の相互依存関係がレギュラーなトポロジーである場合の初期状態。周期境界条件の 1 次元格子 ($\langle k \rangle = 4$) である。トポロジーを分かりやすくするため $N=12$ としており、裏切り者 (グレー) 数と協力者 (黒) 数の比率はほぼ一対一である。

る。

著者が、Ohdaira (2016) で提案した新しい罰の概念は、次のように定式化できる。プレイヤー i が、相互依存関係のある他プレイヤー $j \in O(i)$ 、 $s(j) = (0 \ 1)$ (裏切り) に罰を与える確率は、プレイヤー i, j の利得の差に依存する。相互依存関係のある他プレイヤー $j \in O(i)$ の中で、 $P(j) > P(i)$ かつ $s(j) = (0 \ 1)$ を満たすプレイヤー j の総数を $n(i)$ 、罰の係数を r ($0 \leq r \leq 1$) とし、次の 2 つの不等式、 $P(i) (1 - rn(i)) > 0$ 、 $P(i) < P(j) \leq 2P(i)$ が成り立つとき、プレイヤー i はプレイヤー j に $rP(i)$ の犠牲と引き換えに、同等の罰を (式 3) で表される確率 $q_i(j)$ で与える。もし、 $P(i) (1 - rn(i)) > 0$ かつ $P(j) > 2P(i)$ であれば、 $q_i(j) = 1$ である。罰を与え、また罰を与えられた後のプレイヤー i, j の利得 $P'(i)$ 、 $P'(j)$ は、次の (式 4) で表される。プレイヤー i が罰を与えること、そして罰を与えられたことによる利得の減少は独立して計算され、結果的に $P'(i) < 0$ となれば、 $P'(i) = 0$ となる。そのため、 $P'(i)$ 、 $P'(j)$ が負の値になることはない。また、 $r=0, 1$ のときは、罰は機能しない。

$$q_i(j) = \frac{P(j) - P(i)}{P(i)}, P(i) > 0 \quad (3)$$

$$P'(i) = P(i) - rP(i) \quad (4)$$

$$P'(j) = P(j) - rP(i)$$

すべてのプレイヤーの利得を計算した後、以下の (式 5) に示す通り、プレイヤー i は相互依存関係のある他プレイヤー $j_{\max} \in i \cup O(i)$ の戦略を、次の世代における対戦の戦略とする。プレイヤー j_{\max} が複数存在する場合、プレイヤー i は、それらが持つ戦略からランダムに次の世代における対戦の戦略を選択する。すべてのプレイヤーの戦略は同時に更新され、各回のシミュレーションは 300 世代に到達するまで続く。

$$s(i)' = s(j_{\max}) \quad j_{\max} \in i \cup O(i) \quad (5)$$

$$P(j_{\max})' = \max(P' \in i \cup O(i))$$

3 結果

以下の結果を示す各図は、 $\langle k \rangle = 4, 8$ の順番で、罰の係数 $r=0.2, 0.4, 0.6, 0.8$ の各場合について、協力者数とプレイヤー全体の平均利得が、世代とともにどのように変化するかを示す。なお、 $\langle k \rangle = 4, 8$ のいずれについても、プレイヤー同士の相互依存関係がレギュラーなトポロジーである場合、罰を導入しないと、 $\langle k \rangle = 4$ の場合は協力者数とプレイヤー全体の平均利得の増加速度が著しく遅くなり、 $\langle k \rangle = 8$

の場合は協力者数とプレイヤー全体の平均利得が全く増加しないことが分かっている (Ohdaira, 2016)。

まず、 $\langle k \rangle = 4$ の場合の結果について、図 2 は r の値別に世代ごとの協力者数を、図 3 は r の値別に世代ごとのプレイヤー全体の平均利得をそれぞれ示している。すべての r の値に関して、最終的な協力者数とプレイヤー全体の平均利得の増加が見られ、新しい罰の導入によって、協力の進化が促進されることが分かる。

図 2 より、 $r=0.2$ のときが最も協力者数の増加速度が遅く、 $r=0.4$ になると協力者数の増加速度はかなり速くなるが、一方で $r=0.6$ では $r=0.2, 0.4$ の中間の増加速度となり、 $r=0.8$ で最大の増加速度となることが分かる。図 3 に示す、プレイヤー全体の平均利得の増加速度も協力者数の増加速度と傾向が類似しており、 $r=0.2$ のときが最も遅く、 $r=0.4$ になるとかなり速くなる一方、 $r=0.6$ では $r=0.2, 0.4$ の中間となり、 $r=0.8$ で最大となる。そして、 $r=0.2$ のときは過剰な罰の増加により、一時的にプレイヤー全体の平均利得の減少が生じている。

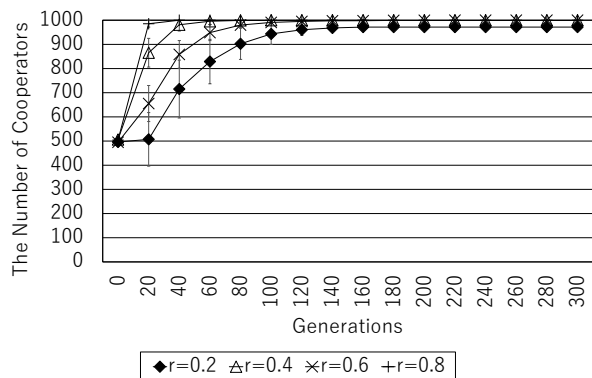


図 2 : $\langle k \rangle = 4$ の場合に関する罰の係数 r の値別の世代ごとの協力者数

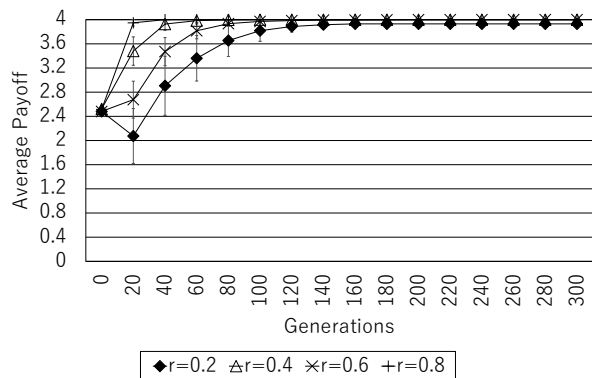


図 3 : $\langle k \rangle = 4$ の場合に関する罰の係数 r の値別の世代ごとのプレイヤー全体の平均利得

次に、 $\langle k \rangle = 8$ の場合の結果について、図 4 は r の値別に世代ごとの協力者数を、図 5 は r の値別に世代ごとのプレイヤー全体の平均利得をそれぞれ示

している。 $\langle k \rangle = 4$ の場合と同じく、すべての r の値に関して、最終的な協力者数とプレイヤー全体の平均利得の増加が見られ、新しい罰の導入によって協力の進化が促進されることが分かる。

しかし、その結果を詳しく見ると、 $\langle k \rangle = 4$ の場合とは逆に、図 4 に示す通り、 $r=0.2$ のときが最も協力者数の増加速度が速く、 $r=0.4$ になるとやや減少し、 $r=0.6, 0.8$ に関しては、 $r=0.8$ の方がわずかに速いものの、その差は小さくなく、しかも一時的に大きく協力者数が減少している。一方で、プレイヤー全体の平均利得と協力者数、それぞれの増加速度の傾向が類似する点については、 $\langle k \rangle = 4$ の場合と同じである。すなわち図 5 に示す通り、 $r=0.2$ のときが最も速く、 $r=0.4$ になるとやや減少し、 $r=0.6, 0.8$ に関しては、 $r=0.8$ の方がわずかに速いものの、その差は小さくなく、一時的な協力者数の大きな減少に伴い、プレイヤー全体の平均利得も一時的に大きく減少している。

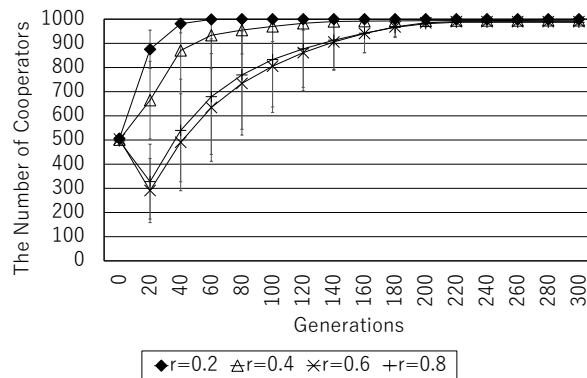


図 4 : $\langle k \rangle = 8$ の場合に関する罰の係数 r の値別の世代ごとの協力者数

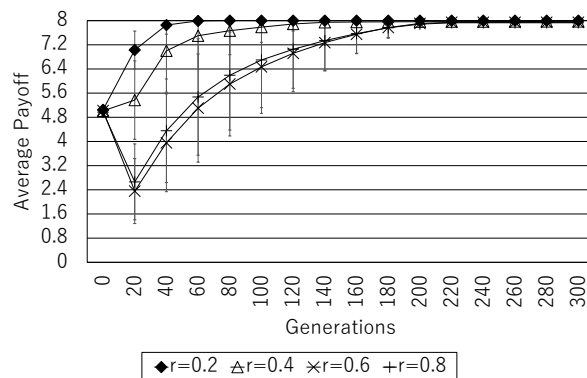


図 5 : $\langle k \rangle = 8$ の場合に関する罰の係数 r の値別の世代ごとのプレイヤー全体の平均利得

以上の結果から、 $\langle k \rangle = 4$ の場合は基本的に r の値が増加すると協力者数の増加速度、プレイヤー全体の平均利得の増加速度共に速くなるが、 $r=0.4, 0.6$ の間で逆転があり、必ずしも r の値の増加に伴って協力者数とプレイヤー全体の平均利得の増加速度が速くなるわけではないことが分かる。そして

$\langle k \rangle = 8$ の場合は、 $\langle k \rangle = 4$ の場合とは対照的に、 r の値が増加するほど、協力者数とプレイヤー全体の平均利得の増加速度が遅くなるのが分かる。次節では、こうした現象が生じた理由について考察する。

4 考察

罰の係数 r の値が増加すると、不等式 $1 - rn(i) > 0$ が成立するためには、 $n(i)$ の値が減少しなければならないため、自分の周囲に高利得の裏切り者が多数存在する、いわゆる搾取されているプレイヤー i は、そうした裏切り者を罰することができなくなる。すなわち、 r の値の増加に伴い、罰を与えることができるプレイヤー i の数は減少する。特に $r \geq 0.5$ となると、 $n(i) = 1$ となるため、各プレイヤーの罰がターゲットとなる裏切り者の利得を効果的に減少させないと、協力者数が増加しにくくなる。

$\langle k \rangle = 4$ の場合、プレイヤー同士の相互依存関係が疎であるため、概ね r の増加に伴い協力者数とプレイヤー全体の平均利得の増加速度が速くなるが、 $r = 0.6$ において落ち込みが見られるのは、 $n(i) = 1$ である状況では、より強力な罰が必要となるためである。一方で $\langle k \rangle = 8$ の場合、 r の増加に伴い、協力者数とプレイヤー全体の平均利得の増加速度が遅くなる。 $\langle k \rangle = 8$ というプレイヤー同士の相互依存関係が密な状態では、 $n(i) = 1$ となる $r \geq 0.5$ の領域において、協力者数とプレイヤー全体の平均利得の増加速度は大きく減少する。

以上のことから、 $\langle k \rangle$ の値が小さいときは、協力者数とプレイヤー全体の平均利得の増加には、すべてのプレイヤーが裏切り者を罰する必要はなく、限られた数のプレイヤーが、自らの利得を大きく犠牲にして、搾取されている協力者を守るように、強力な罰を裏切り者に与えればよいことが分かる。一方で $\langle k \rangle$ の値が大きいときは、協力者数とプレイヤー全体の平均利得の増加には、 $\langle k \rangle$ の値が小さいときよりは、裏切り者を罰する犠牲は少なく済む一方、より多くのプレイヤーが裏切り者を罰する責任を共有する必要があることが分かる。

5 おわりに

本研究は、Ohdaira (2016) が提案した新しい罰の概念における中心的な制御パラメータである罰の係数、すなわち自分の利得の犠牲と、相手に与える罰の程度を変化させたときも、新しい罰の導入によって協力の進化が促進され、プレイヤー全体の平均利得も増加すること、またプレイヤー同士の相互依存関係の密度の違いにより、協力の進化に最適な罰の係数に違いがあることを示した。

そして、その結果を社会における相互依存関係へと一般化した場合、人々の相互依存関係が疎な場合、限られた数の人達が自らの利得を大きく犠牲にして、搾取されている人達を守るように、裏切り者に対して強力な罰を与えればよいこと、逆に密な場合

は、疎な場合と比較してより多くの人達が、自らの利得を相対的に小さく犠牲にして、裏切り者を罰する責任を共有する必要があることが示唆される。これは、既存の協力の進化に関する知見に重大な貢献をもたらすものである。

今後の研究では、各プレイヤーが自分の好むプレイヤーとのみ相互依存関係を維持し、好まないプレイヤーとの相互依存関係を破棄する機構について検討していく予定である。

参考文献

- Barabási, A. L. and Albert, R. (1999) Emergence of scaling in random networks. *Science*, 286(5439), 509–512.
- Chen, X., Szolnoki, A. and Perc, M. (2014) Probabilistic sharing solves the problem of costly punishment. *New J. Phys.*, 16, 083016.
- Chen, X., Szolnoki, A. and Perc, M. (2015) Competition and cooperation among different punishing strategies in the spatial public goods game. *Phys. Rev. E*, 92(1), 012819.
- Dreber, A., Rand, D. G., Fudenberg, D. and Nowak, M. A. (2008) Winners don't punish. *Nature*, 452(7185), 348–351.
- Nowak, M. A. and May, R. M. (1992) Evolutionary games and spatial chaos. *Nature*, 359(6398), 826–829.
- Nowak, M. A. (2006) Five rules for the evolution of cooperation. *Science*, 314(5805), 1560–1563.
- Ohdaira, T. (2016) Evolution of cooperation by the introduction of the probabilistic peer-punishment based on the difference of payoff. *Sci. Rep. (Nature Publishing Group)*, 6, 25413.
- Perc, M. and Szolnoki, A. (2015) A double-edged sword: Benefits and pitfalls of heterogeneous punishment in evolutionary inspection games. *Sci. Rep. (Nature Publishing Group)*, 5, 11027.
- Rand, D. G. and Nowak, M. A. (2011) The evolution of antisocial punishment in optional public goods games. *Nature Communications*, 2, 434.
- Szolnoki, A. and Perc, M. (2013) Effectiveness of conditional punishment for the evolution of public cooperation. *J. Theor. Biol.*, 325, 34–41.
- Watts, D. J. and Strogatz, S. H. (1998) Collective dynamics of 'small-world' networks. *Nature*, 393(6684), 440–442.

18歳選挙権における主権者教育の現状と課題 —どのようにして「社会的意思決定」を学ぶのか—

○西野偉彦

慶應義塾大学 SFC 研究所 上席所員、NPO 法人 Rights 副代表理事
takehiko.nishino@gmail.com

キーワード：18歳選挙権、主権者教育、意思決定、投票行動

1. はじめに

本研究は、2015年6月に選挙権年齢が「満20歳以上」から「満18歳以上」に引き下げられた改正公職選挙法の成立に伴い、2016年7月の参議院議員選挙から、国政選挙としては初めて「18歳選挙権」が適用されたことを受けて、若年層の政治リテラシーや社会参画意識等を育むために導入された「主権者教育」について、筆者が新たに考案した授業プログラム「社会的意思決定学習」の実施を通じて、その現状と課題について考察するものである。

2. 日本における18歳選挙権の導入

2.1 参議院選挙での18歳・19歳投票率

2016年7月、第24回参議院議員通常選挙が実施された。今回の参議院選挙では、国政選挙では初めて、選挙権年齢が従来の「満20歳以上」から「満18歳以上」に引き下がる、いわゆる「18歳選挙権」が導入された。これまで選挙権を有していなかった18歳・19歳の約240万人が、「新有権者」として投票に行くことになった。ただ、総務省によると、2014年12月に実施された第47回衆議院議員総選挙での投票率は、全体でも52.66%という戦後最低の水準まで下がったが、特に20歳代は32.58%となっており、約7割が棄権している。選挙権を拡大しても、18歳・19歳が投票に行かないのではないかと懸念も指摘されていた。

こうした背景から、18歳選挙権の導入によって、18歳・19歳の投票率が注視されたが、総務省によると、18歳の投票率は51.28%、19歳の投票率は42.30%、18歳・19歳を合わせた10代の投票率は46.78%という結果となった。総務省は2016年10月現在、18歳・19歳の投票率については全数調査を終えているが、20代以降の投票率については抽出調査の段階のため、一概に比較することはできない。ただ、10代の投票率は20代・30代それぞれの投票率を上回ったと予測され、その理由を挙げるとすれば2つの点が考えられる。

一つ目は、18歳選挙権が導入された初めて国政選挙であるため、社会的な注目度が高く、連日報道等で取り上げられ、18歳・19歳が投票行動を意識する頻度が高まった可能性である。実際、筆者自身も、15年間にわたり18歳選挙権の実現を推進し、国会での参考人招致等にも協力してきた NPO 法人

Rights の副代表理事等の立場で、若者の政治参加を広げるための研究・実践を展開しており、今回の参議院選挙前の約1カ月間には、18歳選挙権に関してテレビ・新聞・雑誌等の報道各社から30以上の取材を受けた。まさに社会的に「18歳選挙権ブーム」の様相を呈しており、結果としてその風潮が、当事者である18歳・19歳の投票行動の動機付けに寄与したのではないかと考えられる。

もう一つの理由は、主権者教育の導入である。明るい選挙推進協会の調査によると、第46回衆議院総選挙において、年代別の「政治関心度」では、「非常に関心をもっている」と「多少は関心をもっている」を合わせると、全体は83.1%に上るのに対し、20歳代は53.8%と30ポイントも低い。棄権理由については、20歳代では「選挙にあまり関心がなかったから」(23.2%)、「政党の政策や候補者の人物像など違いがよくわからなかったから」(21.3%)が主な理由として挙げられている。こうしたことから、10代が初めて国政選挙に参加する今回の参議院選挙に向け、政治関心度を高め、社会参画意識を育む「主権者教育」の充実が求められていた。

2.2 戦後日本における政治教育と主権者教育

主権者教育という言葉は、2011年度に総務省が設置した「常時啓発事業のあり方等研究会」の最終報告書のなかで、「国や社会の問題を自分の問題として捉え、自ら考え、自ら判断し、行動していく主権者像」として、初めて定義された。同報告書では、若し有権者の投票率が低いのは、有権者になる前の学校教育においては、政治や選挙の仕組みは教えても、政治的・社会的に対立する問題を取り上げ、政治的な課題に関心を持つように促したり、判断力を養成するような教育がほとんど行われていないことが挙げられ、若者の選挙離れは学校教育と深く関わる問題であり、「政治的リテラシーの向上」が主権者教育に求められているとした。同報告書によると、「政治的リテラシー」は、政治的判断力や批判力のことを指し、「政治的・社会的に対立している問題について判断をし、意思決定をしていく資質」が必要とされている。

日本では、改正教育基本法に「政治教育」として、「第14条（政治教育）1項：良識ある公民として必要な政治的教養は、教育上尊重されなければならない

ない。2項：法律に定める学校は、特定の政党を支持し、又はこれに反対するための政治教育その他政治的活動をしてはならない。」と規定されている。杉浦（2012）は、「教育基本法が制定された時『政治的教養の尊重』や政治教育は、民主主義の発展の理想をめざすという意味を持っていた。そのためには、学校において様々な現実の政治問題をテーマとして取りあげることが不可欠になる。」からこそ、学校現場での現実の政治問題を扱う際に「政治的中立性の確保」が要請されたと述べている。

しかし、実際の初等ならびに中等教育において政治教育は、国や地方の行政に関する知識や制度理解が中心の授業内容となっており、「国や社会の問題を自分の問題として捉え、自ら考え、自ら判断し、行動していく」という内容が授業で徹底されてきたとは言い難い。その背景としては、「戦後、イデオロギー対立が深まる中で、教育の政治的中立が過度に強調され、政治教育の条文の第2項の方に重点が置かれてしまい」本来は「政治教育を促進するための中立性が、教育を非政治化するための中立性へと転化してしまった」ことが起因している。

しかし、2015年6月の公職選挙法改正により、18歳選挙権が導入されることになり、こうした状況は一変した。2015年2月には、安倍晋三首相が「政府として、まず学校教育と選挙管理委員会、地域が連携し、あらゆる機会を通じて主権者教育を進めていく」と述べる等、主権者教育導入に向けた準備が始まった。文部科学省と総務省は、主権者教育を推進するための高校生向け副教材である「私たちが拓く日本の未来～有権者として求められる力を身に付けるために」の作成を担い、2015年9月に公表された。この副教材は生徒配布用と教師用の二つが作成され、主権者教育を行う際のモデルになっている。具体的には、選挙制度や公職選挙法等の説明、「模擬投票」等の実践的な授業事例が紹介されている。加えて、主権者教育の実施に際しては、政治的中立性を確保することが求められているとともに、教員については、学校教育に対する国民の信頼を確保するため公正中立な立場が求められ、法令に基づく制限等が記載されている。

このように、選挙権年齢の引き下げを契機に、戦後の学校教育において敬遠されてきた政治教育を「主権者教育」として実施することになる等、政治と教育をめぐる“教育改革”が全国的に行われた。その結果、2016年7月の参議院選挙の18歳・19歳の投票率が20代・30代の投票率よりも高水準となった背景には、この主権者教育が投票行動に寄与した可能性があるということだ。他方、上記の「副教材」を使う教員向けの「指導資料」には「教員の個人的な主義主張を避けて中立かつ公正な立場で指導するよう留意しなければならない」と明記されており、与党からは「政治的中立性を逸脱した教員に罰則を科す」等が盛り込まれた提言も出されている。

政治教育を充実させる方針は、戦後の政治教育の歴史を考えると、まさに「180度の転換」と言えるが、より厳格に政治的中立性に配慮するよう求められていることで、学校現場からは「罰則が科されるなら自粛ムードが広がる。どこまで許され、許されないのかが分からないことが、これを助長させる」などの懸念が上がっている。同時に、副教材の内容が約100頁もあることにより、「授業時間の確保」も問題視されている。実際に、主権者教育の副教材を教える時間の確保に関する高校の教員を対象にした調査によると、「時間を確保できない」が59%に上るなど、運用上の課題も浮上している。

このように、副教材による「政治的中立性」と「授業時間」の課題が顕在化することで、今回の参議院選挙にあたり主権者教育を実施しなかった学校も潜在的に相当存在していると見られ、「18歳選挙権ブーム」がひと段落したなかで、主権者教育を継続的に実施していくために、副教材の課題を克服する新たな主権者教育プログラムが求められている。

3. 新型プログラム「社会的意思決定学習」の考案

3.1 「社会的意思決定学習」の概要と特徴

授業時間や政治的中立性の確保に苦慮する日本の学校現場の事情も踏まえて、筆者が考案したのが「社会的意思決定学習」という主権者教育の新型プログラムである（以下、本プログラムと呼称）。本プログラムは、改正公職選挙法の成立に伴い、選挙権を有することになる若い世代を対象に、学校生活等の身近な社会における「正解がない課題」をテーマに、生徒が「当事者」として、課題解決のための複数の選択肢の妥当性について議論することを通じて、「相異なる利益の創造的調停」の役割を担う「政治（社会の意思決定）」に参加する意義を理解・実感することを目指すものである。

また、従来の「模擬投票」が単なる“人気投票”に陥りがちであるという指摘があることを踏まえ、投票前にグループ討論（ディベート）やミニ立会演説等を行うことで、課題解決に際して自分とは異なる多様な意見が存在していることを認識・受容することを学ぶと同時に、議論と思考に裏付けされた論理的判断力に基づいた「模擬投票」を体験することで、投票行動に移る前のプロセスの重要性を認識し、実際の社会参画に繋げていくことを目的とする。

（1）本プログラムの流れ

- ① 「事前アンケート」を実施・回収（授業開始）。
- ② 「オリジナルワークブック」を配布し、「18歳選挙権」について解説。
- ③ 討論テーマの発表：生徒にとって身近な学校生活等での課題を提示。

Ex. 「生徒会の全体予算から、部活動（クラブ）の予算をどのような基準で配分すれば良いでしょうか。次の3つの選択肢のうち“多くの生徒が納得できると考えるもの”を選び、投

票して下さい。」

- (A) 活動実績：表彰回数が多いほど配分も増やす
 - (B) 部員の数：部員が多いほど配分も増やす
 - (C) 一律同額：活動実績や部員の数に関係なく、全ての部活動の予算を同額にする
- ④ 模擬投票（1回目）：思考・討論・演説を経ずに投票。
 - ⑤ グループ討論：座席順等で、生徒を3人1グループに分け、(A)～(C)の選択肢を自動的に振り分ける。その後、生徒は「自分が担当する選択肢が他の2つの選択肢よりも多くの生徒が納得できると考える理由」を考え、グループ内で発表。その後、自分が担当する以外の2つの選択肢に対する反論を考え、再びグループ内で発表。
 - ⑥ ミニ立会演説：(A)～(C)の選択肢を担当する生徒のうち、それぞれ代表者を選んで（立候補もしくは指名）全員の前に出てきてもらい、「自分が担当する選択肢が他の2つの選択肢よりも多くの生徒が納得できると考える理由」について簡潔に発表。
 - ⑦ 模擬投票（2回目）：思考・討論・演説を経て投票。
 - ⑧ 「第4の選択肢」づくり：生徒が自分なりに(A)～(C)以外の選択肢を考案し記入し発表。
 - ⑨ 「社会的意思決定学習」の目的について解説。
 - ⑩ 「事後アンケート」を実施・回収（授業終了）。

(2) 本プログラムのテーマ

本プログラムはなぜ「生徒会予算の分配」を扱っているのか。それは、「負担と有限資源の分配」を想定しているからだ。現在、日本は1,000兆円以上の「借金」を抱えている一方、少子高齢化によって年金などの社会保障費が増大している。財政を保つていくためには、消費税を増税するなどの「負担」や限られた「財源（資源）」の分配について、国民が納得できる「基準」を決めることが必要である。その基準が「政策」であり、国民が納得できる政策を決めるのが「選挙」である。つまり、選挙に行くことは、「分配」のための「社会の意思決定に参加する」ことだ。現代日本が「右肩上がりの経済成長の時代」を終え、厳しい財政状況やエネルギー問題、消費税増税など、「限られた資源や負担の分配の時代」を迎えていることを踏まえると、「どのようにすれば、社会において、できるだけ多くの人が納得できる意思決定を行えるのか」という点を考えることは、立法府や行政府のみならず、有権者にとっても重要である。そこで、本プログラムでは、「未来の有権者」である高校生が、身近な社会における同様の問題（ex.「生徒会予算の配分のやり方」「校庭（体育館）の使い方」「掃除当番の決め方」等）について考えることで、当事者として「社会の意思決定に参加すること」のフレームワークを学ぶことができるようにした。

(3) 本プログラムと主権者教育副教材の課題

本プログラムの特色は、①政治的中立性に留意する必要がない、②1コマもしくは2コマ程度の授業時間で実施できる、という2点である。①は、前述のとおり、文部科学省等による「主権者教育副教材」で、実践的な事例の大半が政治的テーマを取り扱うため、教員の政治的中立性が厳しく問われているという点である。本プログラムでは現実の政治的テーマ設定ではなく、生徒にとってより身近な課題を中心に扱うため、政治的中立性が確約されていると考えられる。そのため、教員だけで実施することが可能であり、主権者教育に関する学校側の負担を軽減することができる。②は当該「副教材」が約100頁にも上ることで、「授業時間の確保」が問題視されている点である。筆者が考案した本プログラムは1コマ、あるいは2コマでの実施が可能であるため、多くの授業時間を割く必要がなく、さらに生徒にとって身近なテーマ設定をしたことで、事前学習にかかる労力を省くことができる。

3.2 「社会的意思決定学習」の実施と効果

本プログラムは、2015年11月に、東京都内の2つの高等学校（駒込、國學院久我山）の協力を得て、高校2年生計201名に対して実施した。授業前後で「政治的関心度」「政治的距離感」「政治参加意欲」「政治的有効性感覚」の4点の変化を見るためのアンケート調査を行った結果、それぞれ効果が表れた。

(1) 政治的関心度について

本プログラムは、前述の通り、「生徒会予算を各部活に分配する際に、どのような基準で分配すれば最も多くの生徒を納得させることができるのか。」という討論テーマを設けているため、「模擬投票」のような現実の政治的テーマを取り上げるプログラムとは異なり、生徒にとって授業内容が政治的関心度と直接結びつかないのではないかと、という懸念があった。しかし、「政治に関心があるか？」という問いについては、事前は「非常にある（11%）」と「ややある（46%）」が計57%だったが、事後は「非常にある（25%）」と「ややある（57%）」が計82%に上昇した。この変容の理由について、生徒がアンケートに書いた感想では、「部活の予算が実際の社会でも問題になっていることに驚いた。この問題は軽いものではなく、じっくり考えるべきものだ。」「日常は社会と結びついていることに気付いた。政治もそうだと思う。だから投票には考えをもって積極的に行こうと思った。」等の声が聞かれた。

(2) 政治的距離感について

「政治を身近に感じているか？」という問いに対し、事前では「非常に感じている（4%）」「やや感じる（30%）」が計34%に留まっており、7割近くの生徒が「政治との距離感」を遠く感じていることがわかった。それが、本プログラム実施後は、「非常に感じている（17%）」「やや感じる（56%）」が計

73%となり、実施前に比べて倍以上に増加した。実際に生徒からも「政治をより身近に感じた。議論によって人の意見が変わることを直接感じる事ができた。」等の意見が聞かれており、「政治が身近な学校生活にも存在していることに気が付いた」という意見がアンケートに多数記入されていた。

(3) 政治参加意欲について

ここで言う「参加」とは、投票行動によるもの、すなわち有権者として政治に参加することであり、アンケート項目でも「例：投票」と記した。結果として、本プログラム実施前では、「政治に参加したいと思うか」という質問に対して、「非常に思う(27%)」、「やや思う(34%)」が計61%だったが、本プログラム実施後は「非常に思う(33%)」、「やや思う(46%)」が計79%に上昇し、約8割の生徒が有権者として政治に参加したいと思うようになったといえる。アンケートにも「当初は投票してみたいという興味のみだったが、きちんと参加したいという意欲が高まった。」といった声が多かった。

(4) 政治的有効性感覚について

政治的有効性感覚とは、「個人の政治的行為が政治過程に影響を与えるという、または与える可能性がある、という感情」であり、日本の若者の政治的有効性感覚は低い水準にあると指摘されている。本プログラムにおいては、「自分の意見が政治に反映されると思うか」というアンケート項目について、プログラム実施前には「非常に思う(5%)」「やや思う(19%)」が計25%で、やはり政治的有効性感覚は低いと見られた。しかし、プログラム実施後には「非常に思う(8%)」「やや思う(44%)」が計52%と過半数に達し、生徒にとって政治的有効性感覚を持たせることに一定の効果が表れたといえる。政治的有効性感覚が上昇した要因としては、本プログラムにおける模擬投票の結果が1回目(序盤)と2回目(終盤)で変わり、グループ討論やミニ立会演説等を経て、票が動くことを目の当たりにした点が考えられる。実際に、アンケートには「投票数が変わっているのを見て、自分の意見が反映されていることを痛感した。」という声が多く聞かれ、本プログラムは政治的有効性感覚の向上に一定の効果を表したといえる。

3.3 「社会的意識決定学習」の展開と課題

本プログラムは、駒込、國學院久我山の両高等学校での実施を受けて、両校の教員から主権者教育の授業としての質や効果等について高い評価をいただいた。他方、「今回のような生徒目線のテーマをどう国政へとリンクさせるか、明確にしておかなければならないと感じた。」等、身近なテーマが実社会の政治とどう関わっているのか、「政治との接続」についてはもう少し説明が必要だという指摘も聞かれた。

こうした課題を踏まえ、本プログラムは改良を加

え、2016年度は新たに作新学院高等学校(栃木県)や富士見中学高等学校(東京都)、また公立学校としては初実施となった栃木県立小山高等学校など、複数の学校で展開している。本プログラムに対する高校(教員と生徒)の共感と理解は、着実に広がりつつあることを実感している。

4. おわりに

筆者は、2016年5月より神奈川県教育委員会の依頼を受け、新たに設置された「小・中学校における政治的教養を育む教育」検討会議で座長を務めている。この会議では県内の小・中学校における政治的教養を育む教育に関する指導資料作成を担っている。本研究はあくまでも高校生を対象にしたものであるが、今後は「社会的意識決定学習」の取り組みも参考にしつつ、小学校から発達段階に応じて取り組むことができる主権者教育のあり方について、全国に先駆けたモデルを構築したいと考えている。

参考文献

- 小玉重夫(2007)「(政治教育)第14条」浪本勝年・三上昭彦編『「改正」教育基本法を考える―逐条解説』,北樹出版,91.
- 中谷美穂(2011)「投票参加の現状と課題―若者の投票率はなぜ低いのか」,明治学院大学法学部政治学科編『初めての政治学―ポリティカルリテラシーを育てる』,風行社,226-227.
- 明るい選挙推進協会(2013)「第46回衆議院議員総選挙全国意識調査 調査結果の概要」,22,39.
- 杉浦正和(2012)「日本の戦後政治教育とシティズンシップ教育、模擬選挙～社会参加・協働の意識と能力を育てるカリキュラム・生徒活動の研究Ⅲ～」,学校法人芝浦工業大学『高校・中学教育研究報告書(2012年度版)』,75.
- 日本学術会議 政治学委員会 政治学委員会政治過程分科会(2014)「提言 各種選挙における投票率低下への対応策」,8.
- 西野偉彦(2015)「18歳選挙権に伴う主権者教育に関する研究～ドイツの事例を参考に～」,公益財団法人昭和池田記念財団,第34回昭和池田賞受賞作品集,17-31.
- 文部科学省,総務省(2015)「私たちが拓く日本の未来―有権者として求められる力を身に付けるために」(教師用指導資料),74.
- 西野偉彦(2016)「高校生の政治的リテラシーの習得可能性」,慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科.
- 北海道新聞 2015年2月17日付朝刊.
- 毎日新聞 2015年7月31日付朝刊.
- 総務省ホームページ <http://www.soumu.go.jp/>
最終アクセス 2016年10月25日.

禁煙外来における継続受診未達成要因の構造分析 —潜在クラス分析による継続受診回数予測システムの開発に向けて—

○内川一明* 渡辺美智子**

*慶應義塾大学大学院健康マネジメント研究科後期博士課程

**慶應義塾大学大学院健康マネジメント研究科教授

*uchikawa@sfc.keio.ac.jp,

キーワード：禁煙、潜在クラス分析、予測医療

1 緒言

近年、健康への意識の高まりから喫煙率は下がりつつある。世界保健機関(WHO)もたばこ規制に関する世界保健機関枠組条約の中で「たばこによる害の広がりが公衆の健康に深刻な影響を及ぼす世界的な問題である」と指摘している¹⁾。日本でも喫煙に関する健康被害に目が向けられるようになり、1990年代後半から禁煙外来を扱う病院が増加し、2014年には15,407施設で禁煙治療を行っている²⁾。このように禁煙に向かっている現状ではあるが、禁煙を主目的とした禁煙外来では治療を中断してしまう患者が多く、禁煙外来における継続受診の未達成者は依然として存在する³⁾。

2 研究方法

2.1 本研究の目的

本研究の目的は禁煙外来受診者の継続受診における以下の3点である。

1. 禁煙外来における継続受診未達成者の現状を明らかにする。
2. 患者の特徴に基づいて潜在的なクラスに分け、継続受診を中止する患者の特徴を明らかにする。
3. 継続受診回数予測システムの開発可能性を検討する。

本研究における継続受診とは患者が日本循環器学会等のまとめた禁煙治療のための標準手順書に示された禁煙プログラムを基に行う治療を受けること指す。禁煙外来での保険適応が6回目以降の受診では受けられない事、5回以上の受診でその後の再喫煙率が低下することからも、禁煙外来では5回の受診を前提としている⁴⁾。そこで本研究では禁煙外来への5回以上の受診を継続受診達成としている。

2.2 調査方法

本研究に使用したデータは東京都に所在するA病院を対象に収集した。病床数は780床であり、第3次救急指定病院に指定されている。

当該病院での禁煙外来における診察は予約制で行われており、調査期間中に禁煙外来を担当した医師は人数の増減はあるものの例年5名であり、主に

呼吸器科と総合内科に属している。

2.3 データの収集

研究デザインは過去起点コホート研究とし、対象母集団は都内A病院の禁煙外来受診者とした。調査対象の選択基準は2008年4月1日から2014年3月31日の期間にA病院禁煙外来の初診を受診した者である。

調査対象者の総数は468件であった。その中から欠損データ(81件)、医師の同意のもと禁煙治療を中断した患者データ(13件)を除外した374件を分析対象とする。

なお、倫理的配慮として患者の個人情報の管理に関する妥当性について、2014年8月25日に独立行政法人国立病院機構東京医療センター倫理委員会の審査および承認を得ている。

本研究に用いたデータは電子カルテをはじめとする院内情報システムから取得した。院内情報システムとは電子カルテ等、院内の情報を集約したシステムである。データの収集方法としては初めに院内情報システムより「ニコチン依存症管理料(初回)」をキーワードとして調査対象期間内での受診日と患者IDを抽出する。次に患者IDを基に各患者の電子カルテを閲覧することで年齢、性別、受診回数、既往歴、受診動機のデータを抽出する。さらに電子カルテ内の問診記録表より身長、体重、TDS、FTND、BI、のデータを抽出した。データの収集方法を図1に示す。

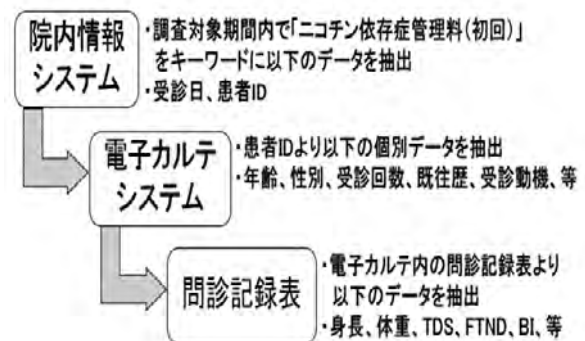


図1：データの収集方法

本研究において取得したデータの一覧を表 1 に示す。取得したデータ項目は先行研究および禁煙外来担当医とのインタビューをもとに選定した。

表 1：取得データ一覧

	データ項目	データ内容
院内情報システム	受診日	禁煙外来での初診を行った日
	患者ID	患者の識別ID
電子カルテ情報	性別	男・女
	初診年齢	禁煙外来初診時での患者の年齢
	同居家族の有無	独居、同居などを把握
	他科併診	禁煙外来受診時に他診療科を併せて受診しているか
	保険適応回数	保険適応での禁煙外来(初診)の受診回数
	担当医性別	担当医の性別(男性のみ・女性のみ・男女複数)
	担当医との性差	患者と担当医との性差
	周囲喫煙者	患者周囲の喫煙環境を把握
	禁煙経験	禁煙経験を把握
	体重増加	初診時体重と最終受診時体重との差
	受診動機	禁煙外来を受診した動機
	継続受診	継続受診の達成状況
問診記録表	身長・体重	身長・体重データよりBMIを算出
	TDS	タバコの依存度を測る
	FTND	ニコチンの依存度を測る
	BI	喫煙頻度と喫煙歴を把握
	初回呼気CO濃度	初診時の呼気CO濃度
	自信	禁煙を成功させる自信

3 分析方法

本研究では抽出したデータを基に潜在クラス分析を行っている。分析に使用した統計ソフトはEXCEL アドイン潜在クラス分析 Ver. 1.0 (株式会社エスミ) である。

また、潜在クラス分析におけるクラス数の決定には赤池情報量規準 AIC(Akaike's Information Criterion)の数値を用いた。これはモデルのあてはまりの良さを示し、数値が小さい程あてはまりが良いとされる。

潜在クラス分析の手順として、初めに AIC を基にクラス数を決定する。なお、本研究では継続受診未達成の要因を把握するという観点から継続受診達成のみを集約した 1 クラスをあらかじめ設定している。

次に決定したクラス数より出力された応答確率から各クラスの特徴を把握する。さらに応答確率から特化係数を算出し、継続受診未達成の各クラス及び継続受診達成クラスとの比較検討を行う。

4 結果

4.1 基礎集計

禁煙外来受診者のうち 5 回以上禁煙外来を受診した患者は 263 人であり、受診者全体の割合でみると

70.3%であった。つまり、対象者の 29.7%が何らかの理由により継続受診を達成していないことになる。未達成状況を確認すると初診のみで受診を断念した患者は 27 人 (7.2%) 存在した。2 回目の受診まで来院した患者は 29 人 (7.8%)。3 回目の受診まで来院した患者は 31 人 (8.3%)。4 回目の受診まで来院した患者は 24 人 (6.4%) であった。

本研究の調査期間中に禁煙外来担当医として診察にあたった医師は 14 名であった。人数の増減はあるものの例年 5 名の医師が診察にあっている。担当医ごとの継続受診状況を表 2 に示す。

表 2：担当医別の継続受診状況

担当医 (重複)	A	B	C	D	E	F	G
達成	81	45	15	2	65	5	3
	73.0%	67.2%	75.0%	100.0%	77.4%	62.5%	60.0%
未達成	30	22	5	0	19	3	2
	27.0%	32.8%	25.0%	0.0%	22.6%	37.5%	40.0%
担当医 (重複)	H	I	J	K	L	M	N
達成	28	23	5	8	1	5	8
	60.8%	74.1%	62.5%	61.5%	100.0%	71.4%	88.9%
未達成	18	8	3	5	0	2	1
	39.2%	25.9%	37.5%	38.5%	0.0%	28.6%	11.1%

ひとりの患者を複数名の医師で診察していた場合はそれぞれの達成状況に振り分けられたため、受診者数の総計は取得データ件数を上回っている。また、担当した患者人数が極端に少ない医師も存在している。

本研究の調査対象期間中に 10 名以上の患者を診察した医師に限定すると達成率が最も高い者で 77.4%であり、達成率の最も低い者で 60.8%であった。この場合 39.2%の受診者が継続受診未達成ということになる。ただし全国調査の平均は達成率 35.5%、未達成率 64.5%ということ考慮しなければならない。

4.2 クラス数の決定とクラスサイズ

クラス数は AIC の数値より 4 クラスとした。このクラスの AIC の値は最も低い 12329 を示しており、また本研究の主目的である継続受診未達成要因を探る上で考察可能と考えるクラス数を有していることから 4 クラスを採用する。なお、4 クラスのうち、クラス 1 は継続受診「達成」のみで構成されている。これは禁煙外来継続受診達成のみをまとめたクラスを作成することで未達成要因との比較を容易にするためである。クラス数決定の際に用いた AIC の値を図 2 に示す。

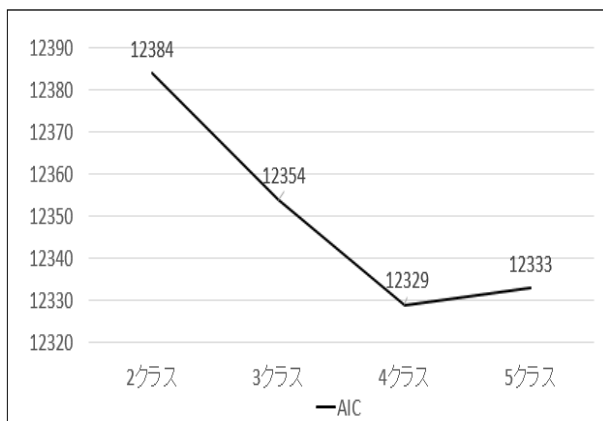


図 2：クラス数の比較

4 クラスにおける各クラスサイズを図 3 に示す。最もサイズの大きいクラスは達成のみをまとめたクラス 1 の 70.3%であり、この値は基礎集計で示した全体における継続受診達成者の割合と一致している。次いで順に 11.1%、9.4%、9.1%である。未達成のみの分類である 3 つのクラスサイズ大きな違いは見られなかった。

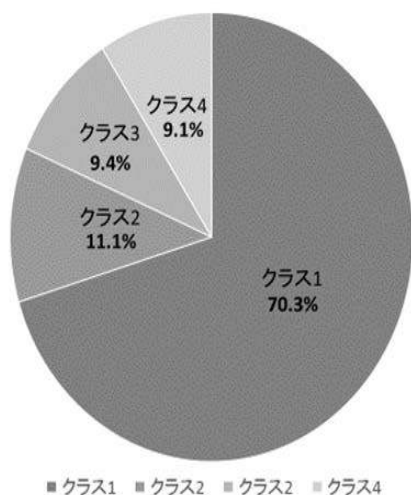


図 3：クラスサイズ

5 考察

5.1 応答確率

応答確率とは各クラスにおける各項目の構成割合を示すものである。なお、本研究では「性別」と「初診年齢」の 2 項目がその他の項目とクラス選択に影響を及ぼすと考え、これら 2 項目を共変量として分析を行っている。

共変量として分析した「性別」ではクラス 1、クラス 2、クラス 3 では男性の方が多く、クラス 4 では男女比がほぼ同数であることが明らかとなった。「初診年齢」はクラス 1 では 50 代と 60 代が構成の半数以上を占めている。クラス 2 では 40 代が構成の 43.2%を占め、クラス 3 では 70 代と 80 代の割合が多く、クラス 4 では 20 代・30 代が構成の多くを

占めていることがわかる (表 3)。このようにすべての調査項目の応答確率を示した。

表 3：応答確率

	クラス1	クラス2	クラス3	クラス4
クラスサイズ	70.3%	11.1%	9.4%	9.1%
性別				
男性	64.1%	75.2%	57.8%	49.7%
女性	35.9%	24.8%	42.2%	50.4%
初診年齢				
20代・30代	15.3%	15.1%	0.4%	64.0%
40代	14.9%	43.2%	12.7%	28.8%
50代	24.8%	25.2%	28.6%	4.7%
60代	29.4%	10.5%	16.9%	2.3%
70代・80代	15.7%	6.0%	41.4%	0.2%

5.2 特化係数

応答確率を基にどのような要因を持つ患者がどのように分布しているのかを知るために特化係数を算出した。特化係数とは各項目の構成比を全体の構成比と比較した係数である。特化係数が 1 の場合は全体と項目の構成比が同じということになり、1 より大きければその項目の比重が全体を上回っていることになる。

5.3 クラスの特徴

応答確率、特化係数によって明らかとなった各クラスの特徴を示す。

クラス 1 は継続受診達成者をまとめたクラスである。このクラス内では男性の割合が多く、初診時の年齢は 50 代・60 代が多く見られた。家族と同居している割合が高く、禁煙外来以外にも他科を併せて受診している傾向が見られた。体重増加の構成は増加が見られた者の割合が高かった。

クラス 2 は 40 代が多く、禁煙外来のみを受診している傾向が見られた。保険適応回数の多さから過去に禁煙外来を受診したことのある者の存在が明らかとなっている。BMI は他クラスと比較して高値傾向であり、FTND、BI も同様に高値傾向であった。禁煙の自信を示す数値は 20 以上 40 未満とやや低い値を示す者が多く、継続受診状況を見ると受診を 3 回目、4 回目といった終盤で中止している傾向が見られた。

クラス 3 は 70 代・80 代といった高齢者が多く、また独居者も多い。クラス 2 と同様に過去に禁煙外来を受診したことのある者がおり、TDS、FTND、BI は低い値を示す傾向にあった。禁煙経験のない者が多く、受診動機には入院・手術予定や医師からの提案を理由に挙げる傾向が見られた。継続受診状況では受診を 2 回目、3 回目といった中盤で中止している傾向が見られた。

クラス 4 は 20 代・30 代といった年齢層が多く、担当医が男性と女性、複数になる場合があった。患

者と担当医との性差も初診は同性であったが 2 回目の受診は異性だったといったような複合が見られた。TDS は高値傾向にあるが BI は低値傾向にあった。これは初診時年齢が他クラスと比べて若いため、喫煙年数を算出式に持つ BI が低い値になったと考えられる。周囲喫煙者がおり、喫煙環境が周囲に存在している。受診動機では心身の不調等を理由とする傾向が見られた。継続受診状況では受診を序盤で中止する傾向が見られた。

5.4 各クラスの名前付け

応答確率と特化係数によって各クラスの特徴の検討がなされた。これらの内容をまとめて各クラスに適した名前付けを行う。

クラス 1 は本研究における継続受診の達成者のみをまとめたクラスである。よってクラス 1 を「達成クラス」と名付ける。クラス 2 では継続受診回数 4 回での脱落が目立っていた。そこでクラス 2 を「終盤脱落クラス」と名付ける。同様にクラス 3 では 2 回目での脱落が目立つ。よってクラス 3 を「中盤脱落クラス」と名付ける。最後にクラス 4 では 1 回目の受診で脱落する患者が目立っている。そこでクラス 4 を「序盤クラス」と名付けた。

また、本研究の調査対象患者がどのクラスに属しているのかを帰属情報より抽出した。帰属確率 60% 以上のクラスに患者を分類すると表 4 のようになる。帰属確率が 60% に満たない患者は帰属クラス不明として分類した。本研究では調査対象者の 98.1% をいずれかのクラスに分類することができたといえる。

表 4：クラス別帰属件数

クラス1	クラス2	クラス3	クラス4	不明	合計
達成クラス	終盤脱落クラス	中盤脱落クラス	序盤脱落クラス		
263件	38件	34件	32件	7件	374件

6 結論

本研究によって禁煙外来受診者を 4 クラスに類型化することができた。また継続受診の脱落時期によって特徴は異なることが示唆された。本研究の結果を基に禁煙外来新規受診者の継続受診回数予測システムの開発が実現すれば予測医療を用いたより細やかな医療従事者によるサポートが可能であると考えられる。

謝辞

本研究にご協力いただいた皆様に深く感謝申し上げます。本研究の遂行にあたり、国立病院機構東京医療センター臨床疫学研究室長、尾藤誠司氏にご指導いただいた。

参考文献

- 1) 外務省「たばこの規制に関する世界保健機関枠組条約」
- 2) 日本禁煙学会「禁煙治療の保険適応施設の増加推移」
- 3) 厚生労働省「ニコチン依存症管理料算定保険医療機関における禁煙成功率の実態調査報告書」診療報酬改定結果検証に係る特別調査（平成 21 年度調査）。
- 4) 日本循環器学会、他(2014)「禁煙治療のための標準手順書」第 6 版。
- 5) 内田満男(2008)「職域における禁煙成功者と失敗者の習慣の差異に関する調査」『日本禁煙学会』第 3 巻第 3 号,43-47.
- 6) 谷口千枝、他(2011)「禁煙治療終了前 4 週間の禁煙継続に関連する要因」『日本禁煙学会』第 6 巻第 3 号.
- 7) 平田明子、他(2009)「バレニクリン（チャンピックス®）の使用経験について」『日本禁煙学会』第 4 巻第 2 号.
- 8) 堀江弘子、他(2010)「禁煙治療における患者背景と治療成績との関連性に関する調査研究」『医薬品情報学』Vol. 11. No3, 37-45.

SFC の路線バスの利用需要と輸送キャパシティの解明 —郊外型キャンパスの1モデルとしてとらえる”バス列”問題—

○司隆* 佐藤雅明** 伊藤昌毅*** 村井純****

*慶應義塾大学 環境情報学部 **慶應義塾大学政策・メディア研究科 特任准教授

東京大学 生産技術研究所 *慶應義塾大学 環境情報学部

*tantan@sfc.wide.ad.jp, **saikawa@sfc.wide.ad.jp, ***mito@iis.u-tokyo.ac.jp, ****jun@sfc.wide.ad.jp

キーワード：混雑、交通、需要調査、交通需要

1 動機

慶應義塾大学湘南藤沢キャンパス(以下 SFC)は、最寄り駅の湘南台駅から3.7kmほど離れた場所にある郊外型のキャンパスである。駅からの徒歩での通学は難しく、交通手段として路線バスや自転車を利用する生徒が多い。要する時間は、交通状況にもよるが通常は路線バスで10~15分で程である。SFCには学生が約4800人、教員が約150人在籍している。才学敷地内には慶應義塾大学湘南藤沢中・高等部(以下 SFC 中高)があり、約1200人の生徒と教員が在籍している。SFC 中高の生徒は許可制で自転車通学ができるが、自転車通学の生徒は皆無に等しい。通学で使用される交通手段は路線バスがほとんどである。そのため、特に SFC 中高生の授業開始前の8:00頃は路線バスの積み残しが約300人になることもある。この様子を図1に示す。



図1 湘南台駅での待ち行列の風景

本研究では、SFCへ行く路線バス、神奈川中央交通湘南台23系統にどれほどの輸送容量があり、どのように平準化すれば全員が遅刻しないかの解明を目指した。そのため、バス停の付近で利用者の総数と搭乗者数を実地で測り、各バスに何人乗車して、何人の積み残しがあるかを明らかにした。

2 先行研究

神奈川中央交通(2013)[1]によると、湘南台駅は、平成11年の横浜市営地下鉄線・相鉄いずみ野線の延伸以来、利用者数が5万人(平成10年)から10万人(平成14年)へと倍増した。特に朝の8

時台のピーク時には、バス停に並ぶ人が250人近くに達し、満員運行を行っても、約180人もの人がバス停に残るといった状況であった。その一方、駅前のバスロータリーでは、収容台数が少ないことから慢性的に交通渋滞が発生しており、必要数のバスがロータリーに入れないといった事象が頻発していた。また、交通不便地域等からの自家用車による送迎で、駅周辺道路に深刻な渋滞がおこっていたことが調査されている。その結果として、「湘南台駅西口~慶応大学」間(約4.2km)には、ノンステップ連節バス『ツインライナー』4両導入され、更に公共車両優先システム『PTPS』を整備して輸送力の強化、速達性・定時性の強化を図った。

また杉山(2007)[2]はバスの混雑の解消のために、時刻表ダイヤの見直しの検討をおこなった結果、見直しについては困難であると結論づけている。そこから得られた知見は

- ①混雑時間をピンポイントで特定するのは困難であること
- ②それに伴い最も混雑する時間を予測しツインライナーを配置すること、無駄のないダイヤ改正が困難であること
- ③バス利用者が詰めないケースも見られ、特にツインライナーでは乗車率が低いこと

を挙げた。

2.1 時刻表 web アプリの変遷

現在存在が確認できている時刻表などのアプリケーションは以下の3つである。

1、2006年「Come Kamo」[2]

主な機能としてネットワークカメラで撮影したバス停の静止画像、現在から1時間後までのバス出発時間が瞬時に把握出来る時計、大まかな混雑状況が分かる時刻表を用意している。2016年10月22日現在ネットワークカメラ以外のものが運用されている。

2、2011年1月18日「sfcbus.com」[3]

主な機能として、位置情報を取得して現在地に一番近いバス停からの時刻表を自動的に切り替えて表示、駅に向かうバスでは、主要な路線への乗換案内を表示、バス1本ごとの混雑指数を推測して表示というサービスが有志で企画されていて運用されていた。現在は運用されていない。

3、2012年5月19日「bustimer」[4]

主な機能として、時刻表表示、GPSを使った出発地自動判別にも対応、運行スケジュールの変更にもワンクリックで対応（更新）することが挙げられる。

これらの機能をまとめると表1のようになる。

表1 今までの時刻表webアプリの機能

	1	2	3
現在も動作	○	△	○
次のバスが分かる	○	○	○
バス内の混雑状況予測	×	○	×
スマホファースト	×	○	○
現在地に近い時刻表表示	×	○	○
湘南台駅での乗換案内	×	○	×
バス外の待ち行列の予測	×	△	×

※2005年の改定以来バス会社が大幅なダイヤ改正をしていないため、正常に作動するものが多い。

3 調査手法

SFCで行われた「インターネット」という火曜日3限の授業でSFCの学生234人に対し登下校の交通手段についてアンケートを実施した。

また4月から6月の間、毎週火曜日の8:30頃から、1限へ向かう大学生が通う時間帯に、バス停付近でバスに乗り込む人数、積み残しの人数と行列の長さを、積み残しがなくなるまでカウントした。

4 結果

4.1 アンケート調査の結果

2016年5月29日(火)の3限の授業「インターネット」でアンケートを実施した。質問紙形式で特にSFCの最寄り駅からSFCに移動すること、SFCにどのくらいとどまっているかということについて調査を行った。このアンケートはSFCの学生234人から回答があり、構成比は、男性64%、女性36%でSFCの男女比にほぼ一致するが、学年は1年生75%、2年生19%、3年生5%、4年生1%となっており、1年生に偏っている傾向があることに留意していただきたい。

このアンケートから、以下のことが判明した、

- ① SFCの生徒の通学時間は平均1時間21分で、

首都圏の大学の平均通学時間より長い。SFCの通学時間の平均と首都圏の大学の平均通学時間の比較を図2に示す。

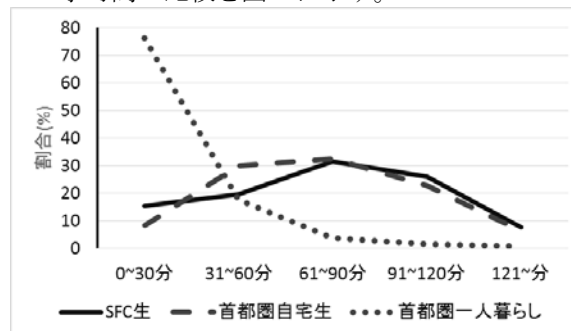


図2 SFC生の通学時間

独立行政法人 日本学生支援機構「平成24年度学生生活調査」[5]によると、首都圏の大学の平均通学は自宅から1時間7分、一人暮らしだと16分となっている。郊外キャンパスやバスでの移動があるため31~60分でキャンパスまで行くことのできる学生が少ないことが分かる。

- ② 晴天では72%、雨天では80%の学生が湘南台駅からSFCへの移動にバスを利用する。この傾向を図3に示す。

経由駅	地下鉄		相鉄	小田急	他	駅利用なし・無回答	
	辻堂	他	10%	28%	39%		2%
	湘南台 77%					17%	
晴天	辻堂	他	バス			自転車	他
	6%	2%	70%+2%			5%	2%
雨天	辻堂	他	バス			自転車	他
	6%	2%	75%+5%			2%	2%

図3 SFC生の最寄り駅からの移動方法

図3からは辻堂駅からの利用が少ないことも読み取れる。湘南台からでも辻堂からでもSFCに向かえる人を辻堂に回す策を考えるとという案もある。

- ③ 雨天の場合自転車ユーザーはバスに乗ってくる事が予想される。自転車のユーザーを増やすことによってバスの混雑状況を改善するという案もあるが、図2から自転車を使うという案は雨の時も利用してもらえない案までを考えないと根本的な混雑解消には結びつかないだろう。
- ④ 学年が上がるとSFCに通う日数が減っていく。この傾向を図4に示す。SFCの履修制度により、研究プロジェクトを除いて、半期20単位までしか卒業要件にかかわる履

修申告ができない。ようになっている。図4より初学期は決められた必修修単位を履修することが多いため、1年生は週に5日学校に来ることが多いが、2年生になると週3~4日になる人が増えてくる。

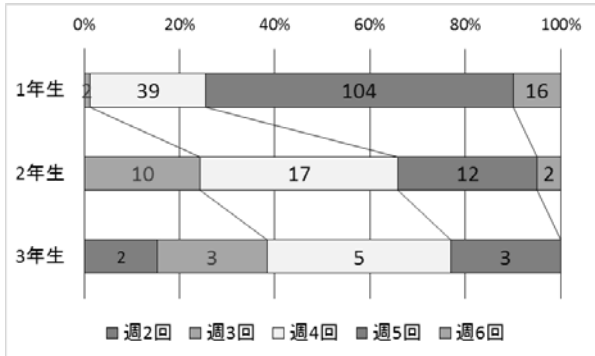


図4 週何日 SFCに通っているか

4.2 実地調査の結果

実地調査では 7:50 頃から 8:24 までのバスには SFC 中高生約 800 人が利用するため大学生が乗る余地はほとんどない。そのためバスで通学する大学生は 8:28 以降のバスに乗らざるを得なくなるということが分かっている。

図5に並んでいる人数と行列の長さの関係を示す。並んでいる人数と行列の長さの関係は比例して、平均して 10m に約 16 人の人間が並んでいる。大学生はほとんど 1 列で並ぶため、行列の長さで待ち行列にいる人数の値が正の相関関係にある。各地点での値の平均の決定係数(R²値)は 0.995 と極めて高い値となっている。

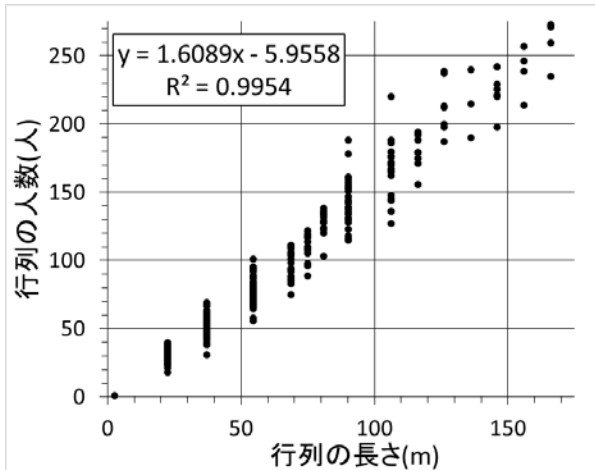


図5 並んでいる人数と行列の長さの関係

次に満員の乗車人数を数えた。連節バスの満員乗車人数の平均は 91.5 人、定員は 127 人である。その他のバスの満員乗車人数は平均 54.4 人、定員は型番の差はあるが約 77 人であることが分かった。ここでは積み残しがあるにもかかわらず発車したバスのことを満

員と呼ぶことにする。つまりバスが空いている状態で発車してしまってもバスに並ぶ待ち行列が 10 人前後できていればそのバスは満員と捉える。

連節バスは図6より満員乗車人数平均 91.5 人最大値が 122 人で、最小値が 70 人となっている。杉山が指摘した通り、連節バスは定員から比較すると、定員の半分くらいであっても満員だと判断されてしまうこともあることが分かった。

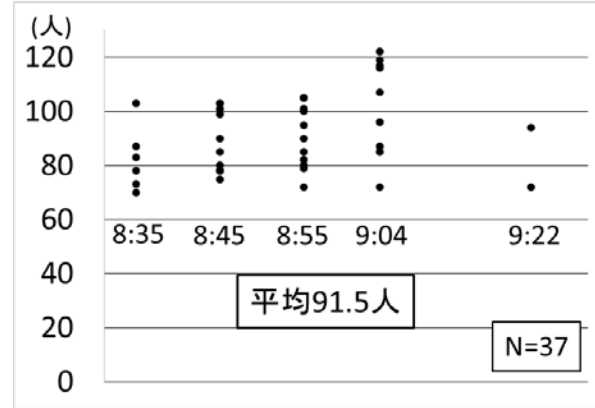


図6 接続バスの満員の乗車人数

その他のバスは車番や、ノンステップバス否かなどの差で最大乗車人数に差はあるが、ここでは一律に考える。図7に路線バスの満員時の乗車人数を示す。図7から、最大値が 71 人、最小値が 39 人、全体の平均値が 54.7 人という結果が見て取れる。特に混雑する 9:08、10:50 の平均値は 58.9、59.4 人となった。授業が始まる 20 分ほど前に最も混雑していることが分かる。

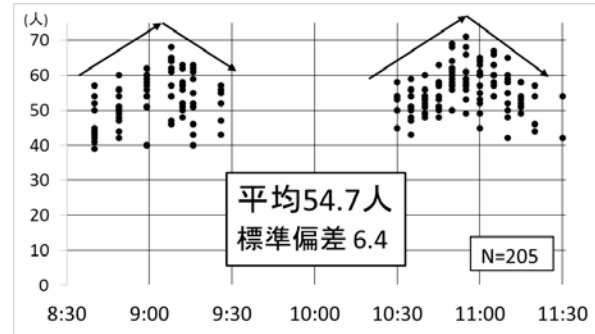


図7 路線バスの満員時の乗車人数

5 考察

路線バスの満員時の乗車人数を加算することによって、一定の時間の範囲における輸送人数を算出することが可能となる。表2は1限に向かうためのバスの輸送容量を表している。平均輸送人数とは満員のバスの平均値である。最大輸送人数とはそれぞれの時間に発車した満員のバスの最大値を足しあげたものである。大学生が通える 8:28 から1限に間に合う境目の時刻である 9:08 までをそれぞれ足しあげてみると理論上平均で 632 人、最大で 748 人輸送できることが分かった。

表 2 1 限履修時の輸送容量

	バスの時刻表	平均輸送人数	最大輸送人数
1	8:28	54	68
2	8:35	139	171
3	8:40	185	228
4	8:45	274	331
5	8:49	325	391
6	8:55	416	496
7	8:59	470	558
8	9:04	573	680
9	9:08	632	748
10	9:12	687	811
11	9:16	740	874
12	9:22	823	968
13	9:26	875	1025

表 3 では大学の授業調査よりその時限での各授業の履修者の合計を算出し、バス通学する大学生の割合を掛けた値を示している。つまり 1 限に間に合いたいと考えている人数である。この値と最大輸送人数を比較すると月~木曜日の 1 限は通学者数のほうが多く、履修者全員が 1 限行く場合、間に合わない人が必ず出てくるという結果となった。

表 3 各時限履修者のバス通学の人数

時限		月	火	水	木	金
1 限	春前半	880	880	872	1011	657
1 限	春後半	869	667	798	687	683

6 結論

SFC は、現在のところ湘南台駅からのバス輸送で遅刻者が出て仕方がないキャンパスと言える。大学生の授業受講に対する意欲に応えるためにも、なんらかの早急な改善策が必要であると考えられる。具体的には、湘南台から SFC に行くまでの方法を変えて輸送容量を増やす、あるいは湘南台から SFC に行くまでの人員を減らすなどが考えられる。

輸送容量を増やすためには鉄道を通す、マイカーのユーザーを増やすなどが考えられる。鉄道は交通政策審議会(2016)[6]でいずみ野線の延伸(湘南台から倉見)という題目で湘南台から慶応大学 SFC 周辺までの区間の計画が載ることになった。マイカーを利用し、マイカーを増やすことで乗り合いサービスも可能となってくるだろう。

人員を減らすには入学者数を減らす、1 限の履修者を減らす、衛星授業を取り入れる等が挙げられる。また湘南台駅付近以外からのユーザーを増やすことで混雑の分散が容易になると考えられる。

7 今後の研究の流れ

本研究では SFC へ行く路線バスにどれほどの輸

送容量があり、どのように平準化すれば全員が遅刻しないかの解明を目指し、実地での調査をおこない、実データの分析を行った。これにより、混雑時間のピンポイントでの予測は、ある一定の範囲において可能であることが分かった。今後はこの結果をもとに学生の移動モデルを作り、より混まない方向や手法への経路誘導を実現したいと考えている。

8 参考文献

[1] 神奈川県中央交通 (2013) 連節バス「ツインライナー」の導入について

<http://www.mlit.go.jp/common/001020738.pdf>

[2] 杉山 公一郎(2007) 「バス通学の快適化を目的とした Web ページの基盤作成」

<http://jre.sfc.keio.ac.jp/final/sugiyama.pdf>

[3] 「sfcbus.com」(2011) <http://sfcbus.com/>

[4] 「SFC バスタイマー」(2012)

<http://hack.sfc.keioac.jp/bustimer/>

[5] 「日本学生支援機構」(2012)

http://www.jasso.go.jp/about/statistics/gakusei_chosa/2012.html

[6] 交通政策審議会(2016)「鉄道ネットワークのプロジェクトの検討結果」

<https://www.mlit.go.jp/common/001138590.pdf>

縮退化社会における 住民の自発的な空間利用についての考察と その展開可能性について

江原満怜

慶應義塾大学総合政策学部3年

s13150me@sfc.keio.ac.jp

キーワード：地域、空間、デザイン

1 はじめに

本研究の目的は、少子・高齢化など複雑化する社会問題によって縮退化している日本の社会を前提に、住民が主体的に企画、設計、運営する小さな公共空間を参与観察し、現地の人々へのインタビューや写真等の記録を通して、市民自らが創出しえる「小さくとも十全に機能し、維持可能な場のデザイン」の要素を明らかにした。また、どの条件下における空間にも応用することができる汎用性を持たせた空間の設計指針を思索するためのツールの作成も行った。

2 背景

2.1 少子・高齢化

成熟社会への移行期間にある今日の日本では、様々な社会問題が顕在化しているが、「少子高齢化」と「都市部の人口一極集中化」は昨今における議論の中核であると言えよう。

例えば、2012年に公開された総務省の情報通信白書によると、総人口に置ける高齢者の割合は、2010年（平成22年）の23.0%から、2013年（平成25年）には25.1%で4人に1人を上回り、更に50年後の2060年（平成72年）には39.9%に達すると言われている。つまり2.5人に1人が65歳以上となることが見込まれているということだ。少子・高齢化の進行は、国内の生産・労働活動の中核を担う生産年齢人口の減少も同時に進行することを意味する。つまり、財を消費したり、生産する人口が減少することで、日本経済全体の停滞、縮小が進行するということである。経済が停滞すれば、地方の税収減少に始まり、日本全体の税収も減少する。税収を含めた歳入で賄われている市民に対す

る行政サービスにとって、税収の減少はその維持と充実を脅かす非常に深刻な問題であり、ひいては市民の暮らしに大きな影響を与えることとなる。もはや国家レベルであれ、地方自治体レベルであれ、行政だけに「公共のデザイン」を求めることは非現実的になりつつあり、市民によるコミュニティデザインは必然であるともいえる。

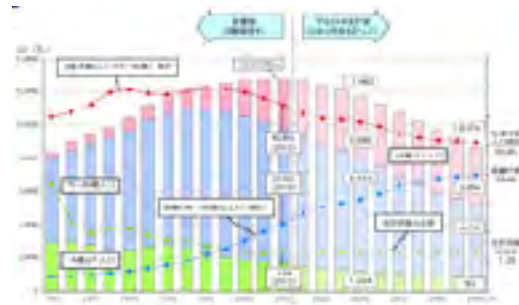


表1：日本の人口推移

2.2 ドーナツ・スプロール化

第二次世界大戦後、東北地方から首都圏へと流入した「金の卵」のように、都市部の企業は不足する労働者を地方の人材に依存せざるをえなかった。その結果、都市部における労働人口の一極集中が戦後の日本において加速した。彼らの多くが、居住地を東京都郊外へと求めた結果、都市のドーナツ化や、郊外のスプロール化現象を引き起こした。市街地が無秩序に拡大、発展したことによって引き起こされたとされる様々な問題の一例として、行政サービスは質・量ともに市民のニーズに応えることができなくなりつつある、ということは念頭に置きたい。

2.3 社会的紐帯の衰退

以上の大きく分けた二つの社会問題を軸に、人口の減少やそれに伴う歳入の減額により、行政が提供する公共サービスがこれまで以上に機能不全に陥るという未来の到来が想定されるとすれば、今後は市民自らが行政に頼ることなく「小さくとも十全に機能し、維持可能な場のデザイン」を行なって行く必要があるのではないだろうか。

ここでいう「公共サービス」や「場」とは、一般的な公園や公民館に代表されるような、市民の社会的なネットワークを形成することのできるサービスや空間のことを指している。

3 手法

イルポ・コスネキンらが『Design Research Through Practice; From the Lab, Field, and the Showroom』において提唱した「構成的デザインリサーチ」(Constructive Design Research)を用いることで、人間工学、文化人類学、自然科学、心理学などの領域を自由に横断しながら問題の本質を多角的に捉えたい。

コスネキンはその著書の中で、構成的デザインリサーチは、実験(Lab)／フィールドワーク(Field)／展示空間(showroom)の3つの要素に分類しているが、本研究は其中でも特に「フィールドワーク」における構成的デザインリサーチに特化した手法としてのフィールドワークを行った。

具体的に行ったこととしてまずはインタビューがあげられる。手法としては大きく分けて半構造／構造化／非構造化インタビューがあるが、本研究では、質問事項を決めた上でそこに固執することなく、著者とインタビューイ(ここでは空間を作る人と使う人の双方)の対話の中で柔軟に話を展開することで新しい気づきを得る、半構造化インタビューの手法に則ったインタビューを行なった。具体的な記録、あるいは調査の方法としては、『THIS IS SERVICE DESIGN THINKING. Basics - Tools - Cases—領域横断的アプローチによるビジネスモデルの設計』において紹介されているデザインリサーチの手法の中で、サービスサファリとアーティファクト分析の二つを主に用いた。

— サービスサファリ

リサーチャー自らが現場へ赴き、人々がどのように空間を使っているのか、身をもって経験しながら観察を行う。実際に現場で感じたことをフィールドノートに記録する。

— アーティファクト分析

カメラによって、事実の詳細な記録を行う。サービスサファリを終えたのち、現場で撮影した写真を振り返りながらその写真から読み取れる状況について要素を洗い出し、それらをKJ法を用いながら分析／構造化する。

図1：フィールドノートのフォーマット

KANAZAWA | FIELDNOTE | FORMAT

【店舗名(工房名) :]

>基礎情報

日時：
住所：
メンバー：
体験概要：
所要時間：
価格：

>観察したこと

!第三者が関心でも状況が把握できるように
!形容詞をなるべく使わない記述にする

(以下に記述)

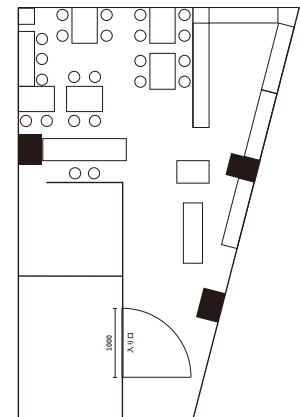
>フィールドで持ってきたパンフレット等

!概要程度、箇条書きで構いません
!いただけるものは頂きたいです

(以下に記述)

図2：図面

Jen's Grocery & Snacks
701-60802 13:00-18:30
Design/Museum Laboratory
Micro Social Agent
Hamamatsu Fieldwork



4 成果

日本各地に、既に点在している、住民が主体的に企画、設計、運営されてきた空間の代表例として、個人経営の小さなお店群をあげることができ。本研究では、2014年夏から2016年11月現在ま

で沖縄県、香川県、大阪府、石川県、静岡県の5箇所、計102の店舗に赴きリサーチを行なった。これら小さな店舗の集合体ー沖縄の共同売店・香川のセルフうどん店・大阪なんば味園のテナント・金沢の伝統技術の体験工房・浜松の移民とクリエイター同士のコミュニティは、どれをとってもただの「店」ではない。当事者たちは意識的に、あるいは無意識に、彼らなりのコミュニティデザインを実践している。店と客による互いの資本交換をするという単純な経済的機能のみならず、自治、福祉、社交など広義の社会的機能も帯びた複合的空間であり、どの店にも地域や趣味コミュニティの存在を見出すことができるということだ。例えば、共同売店では併設された会議室で飲み会をする市民がおり、セルフうどん店の軒先では全く関係のない農家の野菜が販売され、味園のバーでは店主と常連客によって年に3回ボーリング大会が開催されている、などだ。これらの一見すると見逃してしまいそうな市民主体による活動とそれを取り巻く環境を分析することから、行政に頼ることなく「小さくとも十全に機能し、維持可能な場のデザイン」のヒントを得ることができた。

分析によって明らかになった「店主に近接したチャットスペース」「空間の可変性」等の53の要素を、KJ法を用いて「思想」「人」「アクティビティ」「空間要素」「空間機能」「ツール」の6つに分類した。このように構造化された53の要素は、市民が社会的な紐帯として対話を促す空間を設計する場において応用できるようにエレメントカードにすることによって、市民間の議論を促す可能性があるツールを開発した。

図3：エレメントカード



図3：エレメントカード



図3：エレメントカード



図3：エレメントカード

表	<p>01 客のわがままに寄り添う</p> <p>「客のわがままに寄り添う」は、顧客の要望や嗜好に合わせた商品やサービスを提供する店舗の事例を示している。</p>	<p>12 ユーザーが属したいと思うオーナー</p> <p>「ユーザーが属したいと思うオーナー」は、店主やスタッフの個性や魅力が店舗の魅力を高める事例を示している。</p>	<p>20 ユーザーのおみやげを贈る</p> <p>「ユーザーのおみやげを贈る」は、顧客への感謝や礼儀を示すことで、顧客との関係を強化する事例を示している。</p>
裏	<p>事例「SERVITO」</p>	<p>大塚 大塚つま子</p>	<p>香川 山内うどん</p>
表	<p>27 オーナーベースに近接したチャットスペース</p> <p>「オーナーベースに近接したチャットスペース」は、店主と顧客が直接コミュニケーションできる空間を設ける事例を示している。</p>	<p>39 外部に広みでる</p> <p>「外部に広みでる」は、店舗の内外を繋ぐことで、顧客の滞在時間を延ばす事例を示している。</p>	<p>47 手作りPOP</p> <p>「手作りPOP」は、店主の個性やメッセージを伝えることで、店舗の魅力を高める事例を示している。</p>
裏	<p>沖縄 南風民芸館</p>	<p>香川県立中央図書館</p>	<p>おつまみ</p>

5 今後の展望

本研究は、現段階までにフィールドワークによって得た知見を分析することで、一般市民による主体的な空間の使い方についての議論を促すためのツールを開発することができた。しかし、非意図的に行われてきた工夫を基に作成したエレメンツカードを一般市民と実践的に用いて、意図的に空間を設計するという実践的な応用ができておらず、一般市民の創造的な空間設計を補助するためのメディアとして、カードのあり方や、メディアそのものの形態としてカードを最適解と見なすか否か、検討が十分にできていない。よって、今後はこのツールを更新していくための一歩として、実践的にカードを使用する場の選定と実施をすることが必須であると考えます。

6 参考文献

- 饗庭伸 (2015) 『都市をたたむー人口減少時代をデザインする都市計画』花伝社
- アトリエ・ワン (2014) 『コモナリティーズ』LIXIL出版
- アンリ・ルフェーブル (2011) 『都市への権利』森本和夫訳、ちくま学芸文庫
- 宇都正哲 (2013) 『人口減少下のインフラ整備』東京大学出版会
- 小田切徳美 (2013) 『農山村再生の実践——理論から実践まで』岩波書店
- 加藤和彦 (1997) 『集団就職の時代』青木書店
- ジョン・アーリ (1995) 『観光のまなざし——現代社会におけるレジャーと旅行』りぶらりあ選書
- 総務省 (2012) 「情報通信白書 (平成24年度版)」2012年1月発表 総務省ホームページ (<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h24/html/nc112120.html>)
- マーク・スティックドーン (2013) 『THIS IS SERVICE DESIGN THINKING. Basics - Tools - Casesー領域横断的アプローチによるビジネスモデルの設計』ビー・エヌ・エヌ新社
- 山本 理頭 (2013) 『地域社会圏主義』LIXIL出版
- レイ・オルデンバーグ (2013) 『サードプレイス——コミュニティの核になる「とびきり居心地よい場所」』忠平美幸訳、みすず書房

Breeding season prey items of young Northern Goshawks *Accipiter gentilis* in central Tokyo

○Haruka Mizumura*

*Faculty of Environment and Information Studies, Keio University SFC

Key words: *Accipiter gentilis*, breeding season, central Tokyo, prey items

1. Abstract

In 2015 and 2016, I investigated prey items delivered to young Goshawk during breeding season at an urban park and Meiji shrine. In the urban park, direct observation was made for one pair of goshawk from mid-May to mid-August 2015. In the shrine, I collected pluckings and pellets around a nest from 24 May to 5 July and 5 June to 5 July 2016, respectively. Prey items mainly White-cheeked Starlings *Spodiopsar cineraceus*, Feral Pigeons *Columba livia* and mammals.

2. Introduction

The Northern Goshawk *Accipiter gentilis* has been at risk of extinction in Japan. By 1993, it was designated as nationally endangered species of wild fauna and flora (Ministry of the Environment 2016). However, the species population and distribution have recently expanded (Kawakami & Higuchi 2003), including in urban areas (Horie & Endo 2013). Even in the special wards of Tokyo, representing the metropolises of Japan, the goshawk population has increased (Kawachi 2012).

It is known that by the late 20th century in Europe, abundance and distribution of Northern Goshawks had increased compared to the past century (Rutz et al. 2006). Moreover, during the last 30 years, the species has colonized urban environments throughout Europe (Rutz et al. 2006). One of the factors of urban colonization in Hamburg was the increase in avian prey abundance (Rutz 2008). This species was much more flexible in its choice of nesting and foraging habitat (Rutz et al. 2006). Thus, existence of available prey species and diet adaptation is one of the substantial characteristics of urban colonized goshawk. To understand its urban colonization, diet information is important. However, urban breeding goshawk diet has not been reported in Japan.

Fortunately, I had a good opportunity to study prey items delivered to nestlings by a pair of goshawks at an urban park (surveyed in 2015) and Meiji shrine (surveyed in 2016) in central Tokyo. Here, I reported the results obtained through direct observation, pellet

collecting and Plucking scanning.

3. Study sites and methods

3.1 Study sites

The study areas are located in an urban park in Nerima Ward (35° 44' N, 139° 39' E) and Meiji shrine (35°67'N, 139°69'E) in Shibuya Ward, in the special wards of Tokyo (Fig. 1). The details of the urban park nest site was not disclosed based from the request of the local cooperators and to protect the goshawk nesting from many photographers and birdwatchers.

Nerima ward has a land area of 48.08 km², total human population of 727,252, population density of 15,126 persons/km² (Tokyo Statistics Division Bureau of General Affairs 2016). On the other hand, Shibuya ward has a total population of 217,456 persons, land area of 15.11 km² and population density of 14,392 persons/km² (Tokyo Statistics Division Bureau of General Affairs 2016).

The urban park has a land area of 60.8 ha, including 7.6 ha amenity grassland and 23.7 ha of continuous plant coverage. Japanese False Oak *Lithocarpus edulis* and Chinese Hackberry *Celtis sinensis* are the dominant species in the vegetation (Tokyo Metropolitan Park Association 2016). The park is isolated from other large parks and vegetated areas by urban land use. In a 1-km radius around the goshawk nest, land use composition comprises 80.6% urban (residential and industrial), 12.9% forest (deciduous broad-leaved secondary forest, vegetated parks, and cemeteries), 5.0% amenity grassland, 1.3% farmland, and 0.2% water bodies. This land use composition was calculated using vegetation maps (Biodiversity Center of Japan 2016) at a scale of 1:25,000, using ArcGIS Version 10.2.2 (ESRI 2014).

Meiji shrine has a total land area of 70 ha, mainly covered by evergreen broad-leaved forests and dominated by Camphor Laurel *Cinnamomum camphora* and Japanese Chinquapin *Castanopsis cuspidata*. Majority of the forests are restricted to citizens. The nest was located on a Sawara cypress

Chamaecyparis pisifera. Residential and commercial buildings, as well as tower buildings and the Yoyogi park (54.1 ha land area) surrounded the shrine. The land use composition consists of a 1 km radius around the Goshawk nest, 64.9% urban land use (residential and industrial area), 32.8% forests (evergreen broad-leaved forest, deciduous broad-leaved tree secondary forest, vegetated parks and cemeteries), 1.6% grassland (lawns), 0.4% water body and 0.3% farmland.

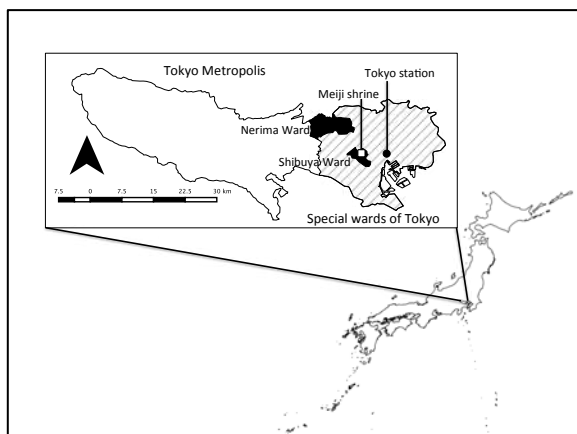


Fig. 1. Map showing the location of the study sites. The area of diagonal lines corresponds to the 23 special wards of Tokyo Metropolis, and the black-shaded area is Nerima Ward and Shibuya Ward. The white square is Meiji shrine.

3.2 Prey item analysis

In the urban park, Prey item delivery was observed daily from hatching to dispersal within May 13, 2015, to August 14, 2015 (except for May 14 and 15) at an approximate distance of 60 m from the nest tree during the daytime (from 0500 to 1800). Prey items were photographed whenever possible.

In the Meiji shrine, pellet collecting under the nest and plucking scanning around the nest were conducted from approximately 7 days after hatching to 7 days after fledging. Pellet collecting and plucking scanning were conducted from 5 June to 5 July and 24 May to 5 July, respectively. Plucking scanning and pellet collecting were conducted once a day, three to four times a week. Both site pairs reproduced successfully and three young ultimately fledged, respectively.

Pellets were analyzed based on Sabo & Laybourne (1994). Hot water and gentle soap (liquid dawn) used to wash and recover the feathers and bones. In Meiji shrine, for each method (pellet collecting and plucking scanning) and when pooling prey items based on both methods, items were identified

assuming the minimum possible number of individuals per collection event (Marchesi et al. 2002).

I identified each prey species when possible. When I was unable to identify an item to species, I used any diagnostic part to categorize the item into a more general category (e.g. genus or family). Several unknown bird species used as prey items were classified as either small birds or minimum-sized birds, which comprised of birds similar in size to the White-cheeked Starling *Spodiopsar cineraceus* and Eurasian Tree Sparrow *Passer montanus*, respectively. Small bird biomass values were expressed in terms of White-cheeked Starling biomass and minimum-sized bird biomass values in terms of Eurasian Tree Sparrow biomass. Biomass values for birds of identifiable species, Brown Rat *Rattus norvegicus* and Small Japanese Mole *Mogera imaizumii* were determined according to reports by Enomoto (1941), the National Institute for Environmental Studies (2012), and the Forestry and Forest Products Research Institute (2007), respectively. Small-sized mammals biomass values were expressed in terms of Brown Rat biomass. The biomass of Eastern Spot-billed Duck *Anas zonorhyncha* nestlings was estimated based on predation photographs, and the biomass of adult White-cheeked Starlings, which were approximately equivalent in size. I was unable to identify the Rose-ringed Parakeet *Psittacula krameri manillensis* biomass information, hence I used Azure-winged Magpie *Cyanopica cyanus* biomass. Both species are similar in size. In central Tokyo, *Corvus* species is approximately identified like Large-billed Crow *Corvus macrorhynchos*. I used its biomass for *Corvus* sp. biomass. The taxonomy and nomenclature used were based on the Check-list of Japanese Birds 7th Revised Edition (The Ornithological Society of Japan 2012).

4. Result

According to the observations, 300 items of seven prey species were collected in the urban park (Table 1.). Prey consisted of birds (88.3% of the total number of prey items), mammals (two species; 4%), and unknown species (7.7%). The diet was dominated by White-cheeked Starlings and pigeons (mainly Feral Pigeon), which together accounted for 81% of the 7 total prey items.

In the shrine, I collected 32 pellets and 32 pluckings and totally 111 items of seven prey species were identified (Table 1.). Many of the prey items were Feral Pigeons *Columba livia* (18.9% in number and

32.6% in biomass), mammals (23.4% in number and 29.4% in biomass) and White-cheeked Starlings (29.7% in number and 18.3% in biomass) (Fig. 2).

Table 1. Prey item numbers and biomass for breeding Northern Goshawks *Accipiter gentilis* in central Tokyo, from May 13 to August 14 2015 (Urban park) and May 25 to 5 July 2016 (Meiji shrine). The total number of each prey species is listed (N) and the percentage contribution to the goshawk diet is given for each (total percentage does not add up to 100% due to rounding). % Mass contributions to total biomass were calculated using the masses for each prey species (masses based on previous studies and our own observations). Pooled shows added the pellets and pluckings number (Calculated by pooling pellets and prey remains and assuming the smallest possible number of individuals per prey species per collection event.).

Prey Category	Urban park		Pellets		Meiji shrine		Pooled	
	Observations				Pluckings			
	N (%)	% Mass	N (%)	% Mass	N (%)	% Mass	N (%)	% Mass
Birds:	265 (88.3)	95.0	69 (73.4)	65.1	28 (87.5)	90.3	84 (75.7)	69.8
White-cheeked Starling	150 (50.0)	33.1	25 (26.6)	17.8	15 (46.9)	23.9	33 (29.7)	18.1
Columbidae	93 (31.0)	57.2	17 (18.1)	33.9	6 (18.8)	26.7	21 (18.9)	32.2
Eurasian Tree Sparrow	0 (0.0)		19 (20.2)	3.6	3 (9.4)	1.3	20 (18.0)	2.9
Corvidae	0 (0.0)		1 (1.1)	5.5	3 (9.4)	37.1	3 (2.7)	12.8
Brown-eared Bulbul	5 (1.7)	1.1	6 (6.4)	4.3	0 (0.0)		6 (5.4)	3.3
Rose-ringed Parakeet	0 (0.0)		0 (0.0)		1 (3.1)	1.3	1 (0.9)	0.5
Eastern Spot-billed Duck	2 (0.7)	0.4	0 (0.0)		0 (0.0)		0 (0.0)	
Small-sized birds	14 (4.7)	3.1	0 (0.0)		0 (0.0)		0 (0.0)	
Minimum-sized birds	1 (0.3)	0.1	0 (0.0)		0 (0.0)		0 (0.0)	
Unknown birds	0 (0.0)		1 (1.1)		0 (0.0)		0 (0.0)	
Mammals:	12 (4.0)	5.0	24 (25.5)	34.9	4 (12.5)	9.7	27 (23.4)	30.2
Rattus sp.	10 (3.3)	4.5	0 (0.0)		3 (9.4)	9.7	3 (9.4)	3.4
Mogera sp.	2 (0.7)	0.5	0 (0.0)		0 (0.0)		0 (0.0)	
Small-sized mammals	0 (0.0)		24 (25.5)	34.9	0 (0.0)		24 (25.5)	26.8
Unknown mammals	0 (0.0)		0 (0.0)		1 (3.1)		0 (0.0)	
Unknown	23 (7.7)		1 (1.1)		0 (0.0)		1 (0.9)	
Total	300		94		32		111	

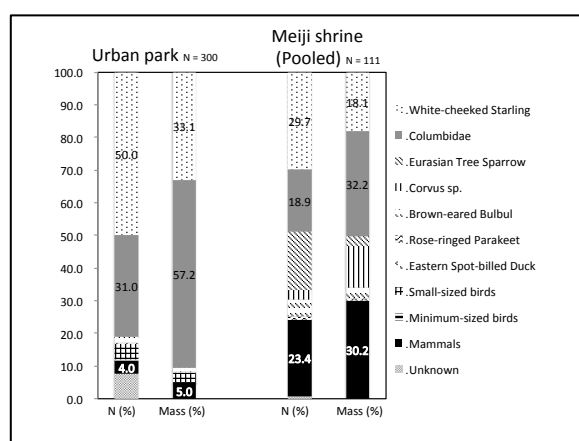


Fig. 2. Prey item composition (%) and biomass (%) of urban park breeding pair and Meiji shrine pair (pooled pellets and pluckings). Each number shows the major prey item category percentages, respectively (total percentage does not add up to 100% due to rounding).

5. Discussion

In both nests, White-cheeked Starlings and Feral Pigeons dominated the diets of the nestling and fledgling goshawks. These species are common in urban areas of Tokyo. Feral Pigeons mainly inhabit

open paved areas, while White-cheeked Starlings use grassland for foraging. Both species form flocks. Goshawks tend to hunt along forest edges and in open habitats (Kenward 1982). Therefore, Northern Goshawks may forage selectively for species that use open habitats and are found in high density at our study site.

However, the two sites had different diet composition. In the urban park, White-cheeked Starlings and pigeons dominated the diet. While in the Meiji shrine, goshawk fed more on other species. Remarkably, Meiji shrine goshawk hunts many mammal species. There is also an environmental difference between the urban park and Meiji shrine. The urban park is surrounded mainly by residential area, while the Meiji shrine is surrounded by commercial area. In addition, it is known that goshawk is flexible in its choice of foraging habitat and opportunistic predator (Rutz et al. 2006; Horie & Ozaki 2008). Thus, each goshawk has adapted to its nest site habitat and hunt more easily to get there.

The goshawks in both sites hunt more amounts of typical Synanthrope species such as Feral pigeon, *Rattus* species and Tree sparrow. Goshawk increasing in urban area may relate to those prey

items population dynamics. Indeed, goshawk changes its prey items with the prey population fluctuation (Linden & Wikman 1983). To demonstrate the goshawk's urban colonization, further researches on the correlation between goshawk urban colonization and prey items population changing in urban area are needed.

6. Acknowledgements

I sincerely thank the staff of the Meiji shrine for the permission to enter and survey the nest in the precinct. I also sincerely thank local birdwatchers in Nerima Ward for supporting the observation. I thank Lisette Robles for improving the English manuscript. Financial support was provided by the Promotion of Education fund by the Keio University.

7. References

- Biodiversity Center of Japan (2016) *Dai 6 kai dai 7 kai shizenkankyo hozen kisochousa shokuseijyouho teikyou homepage* (The Sixth and Seventh National Surveys on the Natural Environment). (online) <http://gis.biodic.go.jp/webgis/sc-002.html#webgis/533955> (accessed on April 4, 2016).
- Enomoto, Y. (1941) *Yachobinran gekan* (Handbook of wild birds. volume 2). Wild Bird Society of Japan, Osaka Branch, Osaka (in Japanese).
- ESRI (2014) ArcGIS Desktop: Release 10.2.2. Environmental Systems Research Institute, Redlands CA.
- Forestry and Forest Products Research Institute (2007) *Shinrin seibutsu Azumamogura* (Forest organism, Small Japanese Mole). (online) <https://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/seibut/bcg/bcg00007.html> (accessed on April 10, 2016).
- Horie, R. & Endo, K. (2013) Distribution and habitat utilization changes of Northern Goshawk In: Higuchi H (ed) *Raptor Research in Japan : Conservation and Ecology*. 53-69. University of Tokyo Press, Tokyo. (in Japanese).
- Horie, R. & Ozaki, K. (2008) *Otaka no esadoubutsu to saisyokukankyo* (Diet and foraging habitat of Northern Goshawk). In: Ozaki K & Endo K (eds) *Ecology and conservation of Northern Goshawk: Toward its population conservation*. 26-32. Japan Forest Technology Association, Tokyo (in Japanese).
- Kawachi, H. (2012) Current status of Northern Goshawk in central Tokyo. Tokyo Goshawk Club : Goshawk, 42, 6-7, (in Japanese).
- Kawakami, K., Higuchi, H. (2003) Population Trend Estimation of Three Threatened Bird Species in Japanese Rural Forests: the Japanese Night Heron *Gorsachius goisagi*, Goshawk *Accipiter gentilis* and Grey-faced Buzzard *Butastur indicus*. *J. Yamashina Inst. Ornithol.*, 35, 19-29.
- Kenward, R. E. (1982) Goshawk hunting behaviour, and range size as a function of food and habitat availability. *J. Anim. Ecol.*, 51, 69-80.
- Linden, H. & Wikman, M. (1983) Goshawk predation on Tetraonids: availability of prey and diet of the predator in the breeding season. *J. Anim. Ecol.*, 52, 953-968.
- Marchesi, L., Pedrini, P. & Sergio, F. (2002) Biases associated with diet study methods in the Eurasian eagle-owl. *J. Raptor Res.*, 36 (1), 11-16.
- Ministry of the Environment (2016) List of National Endangered Species of Wild Fauna and Flora. (online) Available at <http://www.env.go.jp/nature/kisho/domestic/list.html> (accessed on 10 April 2016).
- National Institute for Environmental Studies (2012) *Shinnyuseibutsu database: Dobunzumi* (Invasive species of Japan: *Rattus norvegicus*). (online) <https://www.nies.go.jp/biodiversity/invasive/DB/detail/10110.html> (accessed on April 18, 2016).
- Rutz, C., Bijlsma, R. G., Marquiss, M. & Kenward, R. E. (2006) Population limitation in the northern goshawk in Europe: a review with case studies. *Studies in Avian Biology*, 31, 158-197.
- Rutz, C. (2008) The establishment of an urban bird population. *J. Anim. Ecol.*, 77 (5), 1008-1019.
- Sabo, B. A. & Laybourne, R. C. (1994) Preparation of avian material recovered from pellets and as prey remains. *J. Raptor Res.*, 28 (3), 192-193.
- The Ornithological Society of Japan (2012) *Check-list of Japanese birds. 7th revised ed.* Ornithological Society of Japan, Sanda.
- Tokyo Metropolitan Park Association (2016) *Koen ni iko! Kono koen ni tsuite* (Lets go to the park!). Tokyo Metropolitan Park Association, Tokyo. (online) <https://www.tokyo-park.or.jp/park/format/about023.html> (accessed on July 14, 2016).
- Tokyo Statistics Division Bureau of General Affairs (2016) Population of Tokyo Metropolis (Estimation). (online) Available at <http://www.toukei.metro.tokyo.jp/jsuikai/js-index.htm> (accessed on 10 April 2016).

少数民族のためのデジタルファブ리케이션 —タイ難民キャンプにおける ものづくりを通じた伝統継承支援の設計—

物井愛子

慶應義塾大学総合政策学部 4年
s12864am@sfc.keio.ac.jp

キーワード：デジタルファブ리케이션、インクルーシブデザイン、発展途上国、難民、伝統技術

1 概要

本研究は文化人類学の視座からの難民研究とエスノグラフィを基盤に、得られた知見をデザイン実践という形で問題解決手法を提案する横断的取り組みである。難民を代表とするディアスポラと呼称される転地経験から民族意識への強い回帰を持つ人々と共に、織物伝統の継承を設計する。

2 研究背景

2.1 ミャンマー難民のタイ定着

本節ではミャンマーカレン族の民族誌を主軸に、多くの難民を輩出している側面からカレン族と接合されるタイにおける難民制度や難民キャンプの全容を整理していく。難民の地位に関する条約（1951年）と難民の地位に関する議定書（1967年）の両者を合わせた難民条約内では難民を「人種、宗教、国籍もしくは特定の社会的集団の構成員であることまたは政治的意見を理由に迫害を受ける恐れがあるという恐怖を有する」ため国を追われる事となった人と指定している。UNHCRが定める難民関連統計値には難民以外に国内避難民（Internally Displaced Persons:IDP）、無国籍者（stateless persons）の項目が含まれている[UNHCR, 2015]。交差する定義を統一するため本論では一貫して非自発的に生活する場所を追われ、支援を求める人々を広義の意味での「難民」と呼称することにする。タイ国内に難民キャンプが初めて設置されたのは1984年のことだった。現在ではタイとミャンマー国境のタイ側に存在する10つの難民キャンプに計10万6213人が暮らし、その数は毎年更新されている。難民キャンプ内の住居は番地で管理され、学校、病院、協会などの生活機関が機能する非常に自治的な村落として在る。長期化する難民キャンプ生活では第2世代が誕生し、帰還を前提とした一時的避難所としての

難民キャンプから定着所として役割の変化が見受けられた。衣食住が保障されたその先のより人間らしさを取り戻す生活への回帰が次点課題とされている。難民の様に身一つで母国から逃れて来た人々でも「彼らの多くが自分たちのアイデンティティの前提として、「故郷」に特別な執着を持っており、またそのことに自覚的でもある。「故郷」は世代を超えた記憶として代々語り継がれるが、時にまだ見ぬ想像上の、理想化された土地となっていることもある。」[Ang, 2004]とされる様に難民キャンプの様な外部干渉の無い空間にて生まれた子供でも民族帰属意識を持つとされる。この様な議論はタイの小さな難民キャンプの事例として語られるものではなく、グローバル化する世界の中でトランスナショナルやトランスカルチャーへの理解が高まり研究が勃興している事と接続出来る。

2.2 第三世界とものづくり

本節では先進国の民衆へのものづくりに代表される様な「売る」ためのデザインではなく、第三世界に代表される人々の暮らしから発生した生き生きとしたものづくりの魅力について説いていく。1960年代に植民地主義から第三世界の文化人類学が勃興し「未開社会」の社会、人々、文化への理解が求められ始めた。「未開思考の根源には秩序づけの要求が存在」し、我々が理解出来ない思考を背景にした社会や文化に対しても「共通性という角度から接近すればわれわれにとって異質と思われる思考形態を理解することがより容易になる」とし[Lévi-Strauss, 1964:13]構造を用いて解釈することを可能とした。この理論体系が反映された活動形態は「ブリコラージュ」とされ、ありあわせの材料と道具を用いて即興的に自分の手で物を創作行為[Lévi-Strauss, 1964]として呼称した。この様なものづ

くりは一過性の概念ではなくどの時代においても共通して行われている。同じアナロジー下にあるものとして『生きのびるためのデザイン』や「Design For The Other 90%」[Smith, 2007]内でのデザイン活動が参照出来る。途上国の人々が自分達の状況に最適な資源や道具を用いるという基本姿勢は変わらずとも、能力や技術を外部化する事によってより品質向上が見られた。web2.0、Internet of Things、デジタルファブ리케이션によって情報や素材に簡単にアクセス出来る環境が整備された事[Abel, 2011]によって物理的障壁が下がったことが要因とされる。東洋と西洋に区分される西洋至上主義[Said, 1986]の議論が2度目の局面を迎えたのは、概念でなく抜本的な変化の後に上下関係が取り払われデザイナーと素人が同時に参入することが可能となり皆がデザイナーとなりえる時代になった。デザイナーの母数が多くなることは持続可能性とも接続され、2015年の「持続可能な開発サミット」にて採択された「持続可能な開発のための2030アジェンダ」内の「持続可能な開発目標(SDGs)」に提言された「持続可能な消費と生産のパターンを確保する」のマニフェストと接続出来る。トップダウン型の社会から市民が協力し合い問題を解決しながら自分の手で社会をつくっていくこと[Manzini, 2015]が未来への持続可能性に繋がるとされる。

2.3 商業としてのサステナブルファッション

本節では消費財として機能するファッション産業への環境、人権問題への懸念から取りだされるサステナブルファッションの在り方において商業的側面から検討していく。モードを更新する消費装置の代名詞とされるファッションはここ150年ほどで開発された産業構造である。19世紀後半にシャルル・フレドリック・ウォルトがオートクチュールと呼称される注文服のシステムを普及させ、より効率的な生産と消費を可能とするプレタポルテへと変化を遂げた[成実 2007]。パサージュに代表される消費空間も相まってモノの価値として付随するコード(記号)は、衣服にとってのモード(流行)やブランドであり、すぐさま更新されるモード[Baudrillard, 1995]と共にファッション産業が発展していった。急速に巨大化した背景には環境や人権を犠牲にしてきた側面もあり、限りある資源の使用方法を含めた持続可能な産業構造を再検討する必要が出てきた。地球温暖化の原因に人間活動が関わっ

ている事は科学的にも明らか[気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第5次評価報告書(AR5)2013-2014]であり、対策を講じなければ未来資産は減少する一方である。社会におけるファッションの持続可能性において注目が集まる中、2004年にH&Mは商品の一部にオーガニックコットンを採用し、2005年ルイヴィトンは環境宣言を通じて商品輸送に空輸からエネルギー消費の少ない船便へと変更することを発表し大手ファッションブランドが変革を牽引していると言える。一般的な衣服は「設計—製造—流通—販売—使用—廃棄」の過程を辿るとされ[Gwilt, 2014]何かしらの過程において手段を講じる事で持続可能な産業構造を再検討することが可能となる。影響の大きなプレイヤーとしてデザイナーも廃棄のサイクルまで見通したデザイン設計の責任が問われている。デザイナーへの指針として米環境保護庁はDSE(design for environment)、DSR(design for recycle)、DSD(design for disassembly)を掲げることによって概念の流布に加えて一定の基準を設けている。

3 デザインリサーチ

3.1 手法論

本研究の手法は「Design Research Through Practice: From the Lab, Field and the Showroom」[Koskinen, 2011]の中で提唱される「構成的デザインリサーチ」(Constructive Design Research)に依拠している。構成的デザインリサーチは実験(Lab)、フィールドワーク(Field)、展示(Showroom)の3つに分類され、その中でもフィールドワークにおける構成的デザインリサーチは文化人類学のエスノグラフィの手法を基盤に真正な文化の解釈を行い、得られた知見をものづくりへと展開させる手法を取っている。これに加えて高齢者や障がい者などのこれまでデザインプロセスから排除されてきた人々を設計に巻き込む「インクルーシブデザイン」を用い、あくまでも人間中心設計を念頭に置くデザインリサーチに取り組んだ。

3.1 タイ タムヒン難民キャンプ

2014年9月にタイ、カンチャナブリ県タムヒン難民キャンプにフィールドリサーチを行った。1950年代に設立された本難民キャンプには現在8000人が居住しており住人の99%がミャンマー難民の大多数を占めるカレン族である。難民キャンプ内の運

営状況を明らかにしつつ、文化継承の実体把握、女性のキャリア開発を目的に調査を行った。(図 1)(図 2)



図 1：難民キャンプ内住居



図 2：住居内に飾られたカレン民族衣装を纏った家族写真を

3.4 高田馬場 リトルヤンゴン

2015年7月に高田馬場のリトルヤンゴンと呼ばれる在日ミャンマー人のコミュニティへフィールドリサーチを行った。元難民認定者であるミャンマー人男性に普段利用する店舗や知り合いの店舗を案内してもらった。本調査目的は難民における定住プロセスと在日コミュニティの実体調査である。(図 3)



図 3：高田馬場の雑居ビルにはミャンマー語のテナントが数多く入居している

また紙面制限の関係で割愛するが上記以外にも2016年5月に FabLab Ghana に滞在し現地の人々と実践的なプロジェクトを行った青木翔平さんへのインタビュー、2016年6月鶴見自主夜間中学「つるみえんぴつの会」への移民の子供に対する教育補助制度としての夜間中学の実体調査や、2016年6月ミャンマー マンダレー地方域マンナントウ村における伝統織物技術の調査、2015年7月の高田馬場のリトルヤンゴンへ元難民認定者であるミャンマー人男性に案内してもらうことで在日コミュニティの実体調査など行っている。

3.1 明らかになったこと

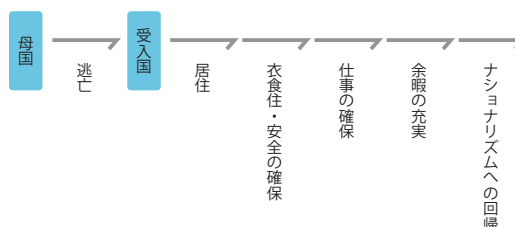


図 4：受入国での定着過程

複数のフィールドリサーチを通じて母国から難民もしくは移民として移り住んだ人々が現地社会や文化に順応していく過程を見ることが出来た。最短で5年、最長で30年を掛けて一時的な居住地から定住地として適応しながら生活を営む姿が観察された。(図 4)

4 実践

4.1 プロダクションライン

フィールドリサーチでの知見を総称するとディアスポラと称される物理的には離散していても強い民族帰属意識を持ち、ときには定着地にホームを構築する人々[Clifford, 1994]がデザインの対象として立ち上がってきた。複雑な状況を背景に曖昧になるナショナリズム[Anderson, 1983]を喚起させる装置や、受け継ぐことが出来ない伝統を記録する手段をデザイン実践として提案出来るであろう。また難民キャンプの様な特殊空間を1つのデザイン制約条件と設定しアプロプリエート・テクノロジー(適正技術)の要件[Smith, 2009]で限られた資源や材料を用いたものづくりを行う事も成果物を提示

するフィールドによっては必要とされる。よって成果物にタイ周辺国の民族独自に発展する織物文化に着目し、織り技術を伝承できる機械を製作することにする。社会背景で記述したサステナブルファッションの風潮やフィールドワークにおいて製造の全行程を一村内で行う事例から半永久的に循環する衣服の生産ラインを設計することにする。(図5)

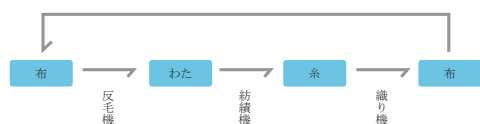


図5：成果物のプロダクションライン

4.2 紡績機プロトタイプ

成果物が利用される状況を想定した上で、ものづくりの照準を定めるために以下の制約を設けた。

- 釘、ねじ、接着剤を使わない
- 特別な道具、材料を使わない
- 現地で手に入る資源をなるべく使う
- 低価格で作る
- 組み立て、利用に特別な知識、力を必要としない
- 片付けが簡単に行える

その上で世界中どこでもアクセス出来る資源としてPVC (Polyvinyl chloride) を利用した。PVCは鋼鉄にプラスチックを接着被覆したパイプで、任意の長さに裁断出来、それらを用途に合わせたジョイントパーツによって接合させ用途に合わせた形態を作ることが出来る。(図6)



図6：廃棄自転車とPVCを用いた紡績機

5 展望

実践の項目においては現在進行中であり紡績機と同様に現地でアクセス出来る素材と技術の範囲内で反毛機と織り機を製作し、糸から服までの衣服生産プロセスを循環する手法の確立を検討している。

6 参考文献

- エドワード・W. サイド (1993)『オリエンタリズム〈上〉』, 平凡社
 久保 忠行 (2014)『難民の人類学—タイ・ビルマ国境のカレンニー難民の移動と定住』, 清水弘文堂書房
 クロード・レヴィ=ストロース(1767)『野生の思考』, みすず書房
 クリフォード・J.(2002)「ディアスポラ」『ルーツ：20世紀後期の旅と翻訳』, 月曜社
 ジャン・ボードリヤール(1995)『消費社会の神話と構造』, 紀伊國屋書店
 テッサ モーリス・スズキ、アス・アクソイ、デニス・アルトマン(2004)『グローバリゼーションの文化政治 (グローバリゼーション・スタディーズ)』, 平凡社
 ベネディクト・アンダーソン(1997)『想像の共同体—ナショナリズムの起源と流行』, NTT出版
 成実 弘至(2007)『20世紀ファッションの文化史—時代をつくった10人』, 河出書房新社
 水野 大二郎 (2014)「学際的領域としての実践的デザインリサーチ デザインの、デザインによる、デザインを通じた研究とは」『Keio SFC journal』, 慶應義塾大学湘南藤沢学会
 Alison Gwilt(2014)A Practical Guide to Sustainable Fashion.Fairchild Books.
 Bas van Abel, Lucas Evers, Roel Klaassen, Troxler Peter (2014)Open Design: Why
 Cynthia E. Smith(2007)Design For The Other 90%.ND Marginalized.
 Design Cannot Remain Exclusive.BIS Publishers
 Koskinen,I. et al. (2011) Design Research through Practice:Lab, Field, Showroom, Morgan Kaufmannl.
 Manzini, Ezio(2015)Design, When Everybody Designs.The MIT Press.
 UNHCR(2015)Global Trends reports.

タイにおける HIV/AIDS 対策において当事者の主体性を重視した成功モデルの検証 —MSM による性教育を中心に—

○長澤貴子* (指導教員 藤屋リカ**)

*慶應義塾大学 看護医療学部 4年 (2017年3月卒業予定)

**慶應義塾大学 看護医療学部

*i14503tn@sfc.keio.ac.jp, **rfujiya@sfc.keio.ac.jp

キーワード: HIV/AIDS、包括的プライマリヘルスケア、主体性、MSM、well-being

1 はじめに

1.1 SDGs における国際保健分野の目標

2015年に終了した国連ミレニアム開発目標(MDGs)では、国際保健分野において目標が達成された側面もある一方で課題も明らかになった。つまり、個別課題を数値目標で達成する手法と、うつ病や自殺、事故、慢性疾患などが具体的目標に反映されなかったことである。

このような反省をふまえ、次の2030年に向けて持続可能な開発目標(SDGs)では、途上国と先進国という枠組みを超えて、誰一人として置き去りにせず個人健康問題が解決され、すべての人々が幸福に生活できるようにという願いが込められている。これを反映して、SDGsの目標3に保健分野の目標として、「Ensure healthy lives and promote well-being for all at all ages(あらゆる年齢のすべての人々の健康的な生活を確保し、福利を促進する)」が掲げられている。

このwell-beingは「福祉」や「福利」とも訳されるが、人々が幸福に暮らせるように、「しあわせ」や「ゆたかさ」を意味する言葉であり、すべての人々が最低限の幸福を享受する権利をもち、社会的援助を提供するという理念を示すものである。このwell-beingが目標に掲げられた意味は、まさに一人ひとりの人間の健康と幸福を世界共通課題として追求していくという強い決意が含まれている。

国際保健における今後の課題としては、それまでの数値だけで目標を達成するやり方ではなく、保健問題の当事者である「一人の人間」を常に中心に置き、疾病中心ではなく、トータルに一人の人間の幸福を追求していくことである。そのためには、保健問題に直面する人間の主体的な行動を支えることができるように、住民、コミュニティ自らが保健と「つながる」ことができ、包括的プライマリヘルスケアの取り組みの担い手となれるように保健システムを再構築していく必要がある。

1.2 包括的プライマリヘルスケアとは

包括的プライマリヘルスケアとは、すべての人にとって健康を、基本的な人権として認め、その達成

過程において、住民の主体的な参加や自己決定権を保障する理念であり、方法・アプローチでもあるといえる。ただ疾病をコントロールするだけでなく、人間を社会的存在と捉えた健康を目指すことであり、結果よりもプロセスを重視する考え方である。

住民やコミュニティを主体としたボトムアップ型アプローチを採用し、地域の伝統や知恵などの強みやアセットを活かし、住民主体の自律的な活動と社会的弱者をエンパワーするという長所をもつ一方で、理想的すぎる、達成を評価しにくいといった短所も指摘されている。

2008年のWHOの世界保健報告では、「いまこそプライマリヘルスケア Now more than ever」というタイトルで、プライマリヘルスケアの理念が再評価された。1978年に、国際保健政策の要としてアルマ・アタ宣言で採択された「すべての人々に健康を Health For All」を実現するためには、個人とそれを含む市民社会が重要なアクターであり、住民参加が主体となる包括的プライマリヘルスケアの重要性が再認識されるのは当然のことといえる。

1.3 タイにおける HIV/AIDS の現状

2014年のデータでは、1年間に HIV に新たに感染した人は7,816人、AIDS 関連死は20,492人、そして HIV 陽性者は全体で445,504人である。抗レトロウイルス薬による治療が導入されてからは、AIDS で死亡する人は大幅に減少し、2005年～2013年の間に56%もAIDS 関連死を防ぐことができたという報告もある。

しかし、若年層やMSM(Men who have Sex with Men)などハイリスク集団と呼ばれる人々の感染率は依然として高く、予防政策が浸透していない。新たに感染する成人の90%は無防備な性交渉によるものとされており、また、新たに感染する人のうち、41%はMSMや男性セックスワーカー、トランスジェンダーであると報告されている。これは、彼らが複数のパートナーと性交渉をしたり、ハイリスクな性行動やコンドームを使用しないことなどが要因として挙げられる。

また、タイでは若年層の妊娠も大きな問題となっ

ている。15歳～19歳の妊娠はアジアで最も高く、2012年には、20歳以下の平均355人が毎日出産した計算になり最年少は12歳であった。2000年～2012年に若年層の出産が2倍に増加した5県を対象に、400人の若年リーダーを育成するキャンペーンがタイ王室直轄のNGOであるCCF (Community Children Foundation) によって現在行われている。CCFの活動は、問題解決にあたって、当事者である若者自身が主要なアクターとなり、その活動を教員、家庭、コミュニティがサポートすることを特徴としている。

2 研究目的

タイにおけるHIV/AIDS政策において、当事者であるMSMと若年層が主体的に活動する様子を参与観察することで、国際保健が課題として挙げる「誰一人として置き去りにせず」に健康問題を一人ひとりの問題として捉え、当事者が主体となる意義と、すべての人々にとってのwell-beingとは何かを包括的プライマリヘルスケアの観点から明らかにする。

3 研究対象と方法

研究期間：2016年9月18日～28日

研究場所：タイ王国ウボンラーチャターニー県
ケマラート郡

研修受け入れ団体と活動内容：

Health And Share Foundation (以下、HSF)

この団体は、地域に生活する人々の健康を守るために、地域にある資源を最大限活用しながら、地域住民の参加を主体とする社会支援活動を行っている。

主な活動内容は、①HIV陽性者のリーダー育成と、家庭訪問を含めたHIV陽性者の支援全般をサポート②MSM (Men who have Sex with Men) のHIV予防のためのセルフグループ育成と活動支援③問題を抱える子どもと家族を支援するために、Community Action Groupの活動の立ち上げをサポート④若者への性教育活動である。

なおこの団体は、2016年3月に、「特定非営利活動法人シェア＝国際保健協力市民の会 (本部・東京)」より活動を引き継いだ。シェアは、タイ東北部で26年前に住民参加を主体とする下痢予防活動を開始し、その後、HIV陽性当事者と共にケアと予防啓発活動を行ってきた。

研究方法：

HSFの事務所に9日間滞在し、毎日活動に同行し参与観察とインタビュー調査を行った。今回の研究目的と照らし合わせ、対象となる事例の参与観察を以下のMSM (Men who have Sex with Men) の活動に絞った。

①近隣の3校から選抜された65人の児童生徒 (小学5年～中学3年) に対する性教育の合宿 (2泊3日) に参加。生徒たちは合宿後に各学校やコミュニティでリーダーとして性教育活動を行うことになっている。

日時：9月23日～25日 6時～21時

場所：Baansuan Khunta Golf & Resort Hotel

主催者：CCF (Community Children Foundation) の職員3名、HSF4名 (MSM2名を含む)

参加者：近隣3校の65人の児童生徒 (小学5年～中学3年まで男女同数)、教師6名

②HSF事務局長にインタビュー調査

4 結果

4.1 MSMを含む指導者側の伝えなかったこと

事務局長へのインタビューから、若年層への性教育については、政府は予防より治療に重点を置いた資金配分をしているが、HIVに新たに感染する人が若年者にも多いことからこの層への対策が必要であることがわかった。若年層は、Sexの話やコンドーム使用に対して否定的な態度が見られ、性交渉においても相手に断ることができずにいる。また、妊娠した場合にもその後の人生に影響を与えることをよく理解していないなどの脆弱性があることから早期の性教育は有益であるとのことであった。

具体的にグループワークすることで、参加者の意見を聞きながら自分の考えを深めたり、また性に関して正しい知識を得ることで、自分の体を守り健康に生活できることの重要性を理解してもらうように工夫されたプログラムで構成されていた。

例えば、模造紙に1本の線を引き、その上に10代から80代までの区分に分け、生物学的な発達段階と学習によって変えることのできる行動とに分けて、そのライン上にプロットしていく作業があった。この作業を通して、発達段階の中で10代が最も身体的な変化がみられるだけではなく、性的行動に対しても興味関心が出てくることを理解してもらうことを目的としていた。

また、男女の体の模式図に特徴を書き込むゲームや、ティーンエイジの好きなことや問題点、性行為について思うことなどをグループ毎に模造紙に書くワークや、コンドームの使い方の実践もあり、女性用コンドームについても具体的な装着方法を紹介していた。男女に分かれて体の違いについて学ぶワークでは、「なぜ陰毛が生えるのか」、「なぜ勃起するのか」、「1回でも性交渉すると妊娠するのか」など疑問も多く挙がり、生徒たちが性について疑問に思ったことを率直に質問し、その疑問を解消することで性について正確な知識を得ることの重要性を強調していた。

4.2 生徒が性教育を通して学んだこと

初めは緊張していた生徒たちであったが、早朝 6 時から夜 9 時までずっと一緒にレクリエーションなどを通して団結を図ることで次第に打ち解け合っていた。グループごとにティーンエイジの問題点や性行為について思うことをまとめたり、体についての講義を通して次第に学ぶことへの意欲を示した。最終日には、今後、学校やコミュニティでリーダーとして活動するための実施計画書を立案するにあたり、模造紙に目的や対象者、期間、場所、方法、予算まで具体的に計画を作成した。

生徒たちは、この一連のグループワークを通して次第に自信を深めていった。また MSM がファシリテーターを務めたことで、最初は戸惑いながら好奇の目で見ていた生徒たちも MSM たちと一緒に活動を共にするうちに、偏見や好奇の対象としではなく一人の人間として接することができた。その結果、最後の解散式ではお互いを労いながら抱き合い、別れを惜しんでいた。

生徒たちは、自分たちの年代が最も性に対して脆弱であることを学び、早期妊娠や HIV 感染を含む性感染症を予防する重要性を学習したことで、予防することで自分たちが健康に生活することができ、それが他者にも良い影響を与えることを理解することができた。

そして、2泊3日の集中的な合宿を通して自信を深め、リーダーとして他者へ伝える役割を担う責任感をもつことができた。最終日には合宿に対する評価を行ったが、大変満足であったとする生徒がほとんどであった。

4.3 性教育において重視されていたこと

ウボンラーチャターニー県では若年層の妊娠が大きな問題となっていることから早い段階で性教育を行うことで知識を習得し、自分たちの健康を守ることの大切さを教えることを重要視している。

また、MSM の人たちをファシリテーターとして採用することで、生徒たちが偏見を持たずに、そして性について楽しく記憶に残るようなプログラム構成に重点を置いていた。MSM の人たちは、感受性が強く脆弱な面も持ち合わせているが、ストレートに感情を表現し、言葉もストレートに使うために、医療者や教員とは異なるインパクトがあると事務局長も話していた。また、彼らが活動を通して自分に自信が持て self-esteem が高まった人もいたそうである。

そして、生徒たちがチームワークで活動を円滑に行えるようにレクリエーションに多くの時間をとることで、気分転換と団結力を高めていた。最終日には、モーラムという腰を激しく動かすダンスで盛り上がり、楽しい時間を皆で共有することができた。そして、リーダーとして学校やコミュニティで性教育活動を行うことが求められているために、具体的

な実現性のある計画を立案することが求められるだけでなく、活動の予算が主催の団体から拠出されるために、より詳細な案を計画することが求められ、生徒たちは厳しいながらもしっかり協力し合いながら取り組んでいた。

5 考察

5.1 MSM が性教育を行う意義について

生徒たちは2泊3日の長時間集中的に性教育について講義を受けることができたのは、MSM の人たちがエンターテインメントの要素を取り入れて楽しい雰囲気づくりをしながら進行していったからである。事務局長の話にもあったように、彼らは感情をストレートに表現し、言葉も直接的表現が多いことから教師や医療者が教育するよりも明確なメッセージを生徒たちに伝えることができる。

また机上の学習に留まらず、65人で合宿生活をしながら学んだという事実が楽しい思い出として記憶に残るという利点もある。また、生徒たちは最初はMSMの人たちを好奇の目で見ていたような印象を得たが、次第に打ち解け合い最後には別れを惜しむまでになっていた。このことは、MSM という HIV/AIDS 対策ではハイリスク集団としてひとくくりにされている人たちにも、それぞれ個性があり、一人の人間として見ることもできたということであり、感受性豊かな若年層の体験としてとても有益であると考えられる。生徒たちはこの後、それぞれの学校やコミュニティで性教育を実際に行うリーダーとなるために、ここでMSMと一緒に生活した経験は偏見というキーワードが彼らの中から消えることが期待される。生徒たちが偏見をもたずにMSMのことを語ることで、それを聞いた周囲への波及効果も期待される。

またMSMにとっても自分たちが主体的に教育活動を行うことで、HIV感染や早期妊娠を予防する保健活動に参加しているという自信につながる。また教えるためには自分たちも正しい知識を学ばなければならない、そのように習得された知識は他のMSMにも伝わり波及効果が生まれ、性感染症につながるハイリスクな行動の予防にもつながる。

もともと、MSMは当事者同士のグループ活動が盛んでもあり、コミュニティをベースにした自助活動が米国やペルー、中国など世界中で成功している例も多い。しかし、MSMが生徒に対して性教育を行う例は検索したかぎり論文では見つからなかった。このように、若年層とMSMという保健政策においてターゲットとなる集団が共に対象者としてではなく、自らがリーダーとなって性感染症や早期妊娠予防のための行動変容を促す活動を行うことは、包括的プライマリヘルスケアの観点からも当事者の主体性が発揮され、それが人々の健康を向上させる Well-being につながると考えられる。

5.2 若年層への教育

若年層は、性に関する知識不足と精神的脆弱性から自分の健康を守る方法を知らず、また人生に影響を与えることをよく理解していないなどの脆弱性があることから早期からの性教育は重要であると考えられる。身体的・精神的発達以前にも増して早発になっていることから、生徒たちが自分たちの体について素朴で素直な疑問を解消する場が必要である。家庭や学校で話しにくいことも、第三者が介入することで率直に思いを打ち明けられることもできる。実際、生徒たちは体の仕組みやコンドームの使い方について熱心に学んでいたことから、身体的発達のスピードに性教育が追いつく必要性があることが十分に理解できる。この年代は学校という集団生活で過ごすことが多いため、一度に多くの生徒に教育することで波及効果が期待できるという利点もある。

また、グループに分かれ参加者同士で考えることにより、相手の意見を聞き、間違った知識をもっていたことに気づくこともでき、お互いに学び合える場となる。また、グループワークが円滑に行えるように、気楽に意見が言えるような雰囲気作りや集中力が持続できるように、合間に体を動かすゲームなどレクリエーションを取り入れることで記憶に定着しやすい。

日本の場合、文部科学白書によると、学校における性に関する指導を進めるに当たっては、児童生徒の発達段階に沿った時期と内容で実施すること、保護者や地域の理解を得ながら進めること、個々の教員がそれぞれの判断で進めるのではなく、学校全体で共通理解を得て実施することなど留意する必要があると記載されている。しかし、学校によりばらつきがある。この背景には、HIVの感染経路は性行為による感染が最も多く、感染予防の重要性を伝えるために、性行為やコンドームの説明を避けるわけにはいかないという理由がある。しかし、「生徒の発達段階に沿った時期や内容」という表現があいまいであることから、中・高校生には早すぎる、性行動を助長する危険性があるという意見があったりして、性やHIV/AIDS教育が教育現場で積極的に行われていない現状がある。

国により状況が異なるので一概にどちらが良い悪いと決めることはできないが、早期の段階から学校や家庭以外でも性教育を提供できる場は必要なのではないかと考えられる。この場合にNGOの役割は大きい。タイでは学校の性・HIV/AIDS教育のカリキュラム作りのプロセスに、NGOも参加できたことから、現場をよく知っているNGOの声も反映された。それ以降、教科書にもHIV/AIDSのことを詳しく掲載できるようになったり、授業も参加型で行われるようになったりと、大きく授業内容にも変化が起きたという。

以上、MSMが性教育を行う意義と若年層への教

育について考察を行ったが、包括的プライマリヘルスケアの観点から考察すると以下のことが言える。

5.3 Well-beingの視点と包括的プライマリヘルスケア

若年層への性教育は、未来の財産である若者が自分たちの健康に関心を持ち他者への影響も考慮しながら予防知識を習得する点でwell-beingの担保になる。well-beingを促進するためにMSMたちが教育することの意味について考えたとき、生徒たちが楽しく学ぶという視点も重要である。持ち前のサービス精神で人々を楽しませてくれるMSMが性教育を行う意義は、生徒たちが少数派の人々に偏見を抱かなくなるばかりではなく、楽しい時間を共有することで記憶として定着することを容易にすることである。生徒だけではなく同じ時間を共有したMSMや教員にとってもwell-beingが満たされていたと考えられる。WHOによって開発されたwell-beingを測定する尺度の5つの質問項目のなかには、「明るく、楽しい気分で過ごした」「日常生活の中に、興味のあることがたくさんあった」など、まさに性教育で体験したことと合致する内容がある。

well-beingを享受し、自分たちの健康を守りながら生活をより豊かなものにするために、主体的に人々が楽しく学ぶ場が増えることは、「一人の人間」を常に中心に置き、疾病中心ではなく、トータルに一人の人間の幸福を追求していくことにもなり、包括的プライマリヘルスケアの精神につながるものであると考えられる。

6 おわりに

以上のように、HIV/AIDS対策においてターゲットとなるはずの若年層とMSMの両者自らが、主体的に自分たちの健康問題について取り組むことで、良い相乗効果が生まれることがわかった。また楽しく記憶に残る性教育を通してwell-beingが促進され、一人ひとりの健康を考えるうえでも保健政策にwell-beingの視点が重要な要素であることが示唆された。これをタイの一地域における一成功事例として終わらせるのではなく、タイの中で、また、日本を含めた他の国々にも、その地域に受け入れられる形で広げていくことが、今後必要とされているだろう。

統合医療における治未病 —温泉施設での実証実験—

○佐藤大* (指導教員 渡辺賢治**)

*SFC 研究所所員

**慶應義塾大学 環境情報学部

*yutaka.s@keio.jp, **watanabekenji@keio.jp

キーワード：未病、ヘルスケア、癒し

1 はじめに

日本の世代別人口は老年人口が多く年少人口が少ない釣鐘型となっており、今後逆ピラミッド型へ。高齢者を支える現役世代への負荷が大きくなるなか、五大疾患のうち精神疾患の患者数が第1位。メンタルヘルスへの対応が急務となっている。

2 実験

2.1 概要

メンタルヘルスケアとして日本人が昔から馴染みのある温泉と温泉施設が行っているプログラムについて前後において未病を治す影響があるか検証を行った。

2.2 プログラム内容

<温泉入浴>

- 内容：施設内にある内湯と露天風呂においての入浴。浴槽温度は38~42℃の温泉である。(泉質：単純硫黄泉(硫化水素型) アルカリ性 低張性 低温泉)
- 測定者数：109名(22~88歳 平均56.43歳) (男性35名；女性74名)
- 測定項目：体重、血圧、ストレスチェック(唾液(アミラーゼ))、脈拍、酸化還元値
- 測定項目別測定者数
 - ・体重：109名
 - ・血圧：109名
 - ・ストレスチェック：109名
 - ・脈拍：99名(22~88歳 平均56.12歳)(男性30名；女性69名)
 - ・酸化還元値：68名(22~88歳 平均55.97歳)(男性23名；女性45名)

<ストレッチ>

- 内容：家庭でも簡単にできるストレッチを腰や背中を集中的にケアするプログラムを実施。ストレッチ法としてマーメイドストレッチやキャット&カウ、針の糸通しなどのプログラムを実施。プロ講師による45分のコース
- 測定者数：108名(23~87歳 平均51.33歳)(男性22名；女性86名)
- 測定項目：体重、血圧、ストレスチェック、脈拍

➤ 測定項目別測定者数

- ・体重：108名
- ・血圧：108名
- ・ストレスチェック：108名
- ・脈拍：88名(23~87歳 平均51.52歳)(男性17名；女性71名)

<ハーブセラピー>

- 内容：ハーブの入浴剤を作るプログラム。ベースの塩か重曹かを選択し、色入れるハーブ、香りを選択。ハーブはミント、ベルガモット、ラベンダー、ゼラニウム、ドライガレンデュラから選択。プロ講師による45分のコース
- 測定者数：102名(22~85歳 平均51歳)(男性22名；女性80名)
- 測定項目：体重、血圧、ストレスチェック、脈拍、酸化還元値
- 測定項目別測定者数
 - ・体重：102名
 - ・血圧：102名
 - ・ストレスチェック：102名
 - ・脈拍：65名(22~85歳 平均50.88歳)(男性17名；女性48名)
 - ・酸化還元値：70名(22~76歳 平均51.07歳)(男性15名；女性55名)

<スポーツマッサージとアロマケア>

- 内容：日頃疲れている足の太ももを中心にアロマオイルを塗りセルフマッサージする方法を学ぶ。ラベンダーのアロマを使用。プロ講師1人に対し2人1組となりお互いにマッサージを行う。プロ講師による45分のコース
- 測定者数：104名(24~81歳 平均53.23歳)(男性31名；女性73名)
- 測定項目：体重、血圧、ストレスチェック、脈拍、酸化還元値
- 測定項目別測定者数
 - ・体重：104名
 - ・血圧：104名
 - ・ストレスチェック：104名
 - ・脈拍：32名(24~81歳 平均52.88歳)(男性9名；女性23名)
 - ・酸化還元値：84名(24~81歳 平均52.96歳)(男

性 24 名；女性 60 名)

<ピラティス>

- 内容：ヨガのリラクゼーション効果に加え体幹を鍛える動きもミックス。shoulder bridgeやroll up、rolling take a ballなどのプログラムを行う。呼吸法はラテラル胸式呼吸。プロ講師による45分のコース
- 測定者数：16名(28～64歳 平均43.94歳)(男性5名；女性11名)
- 測定項目：体重、血圧、ストレスチェック
- 測定項目別測定者数
 - ・体重：16名
 - ・血圧：16名
 - ・ストレスチェック：16名

2.3 測定項目及び機器

測定項目は以下(表 2)の機器を使用し測定した。

表 2：測定機器

測定項目	機器名
ストレスチェック (アミラーゼ濃度)	NIPRO 唾液アミラーゼモニター
血圧・脈拍	テルモ 血圧計 ES-P2000BR
体重	タニタ RD-901-BK
酸化還元値	リブアンドラブ 酸化還元確認計アラ！元氣 LL001

2.3 統計学的分析

統計学的分析は実施前後の各項目を対応のある t 検定を用い 5%未満を有意とした。

2.4 結果

結果は以下の(表 1)ようになった。

表 1：結果一覧

◎：t<0.01, ○：t<0.05, △：t<0.1, ×：0.1<t, -：測定せず

	温泉	ストレッチ	ハーブセラピー	スポーツマッサージとアロマケア	ピラティス
体重	○	○	△	○	×
収縮期血圧	◎	×	◎	◎	×
拡張期血圧	◎	×	◎	○	○
ストレスチェック	◎	◎	◎	◎	△
脈拍	○	△	◎	○	-
酸化還元値	◎	-	◎	◎	-

温泉(図 1)ハーブセラピー(図 2)スポーツマッサージ(図 3)は特に多くの項目において有意差が生じた。

一方でストレッチ(図 4)やピラティス(図 5)は有意差が生じない項目もあった。

3 考察

温泉に入浴することにより温泉内の含有成分の科学、薬理作用及び入浴による物理作用や温熱効果¹⁾が体へ影響を与えたと考える。一方で月田は血圧が低下することにより脈拍数は増加するとしていたが、本研究では脈拍数も減少していたことから、露天風呂近くにある森林の効果²⁾によるマイナス空気イオンなどの影響を受けたと考えられる。

ハーブセラピーではプログラム内容から匂いにより、大脳辺縁系に刺激を与え副交感神経系の活動が活発になった。その結果としてコルチゾールが低下³⁾したことで血圧及び脈拍、ストレスが低下したと考えられる。

スポーツマッサージとアロマケアではハーブセラピーと同様匂いにおける影響のほかに、マッサージによりエンドルフィンが放出され、サブスタンス P の放出が減少した影響があると考えられる。

ストレッチでは安静にしているより効果的という結果⁴⁾もあることから筋肉や血管を伸縮することにより精神的にも肉体的にも影響を与えたと考えられる。

ピラティスでは慣れない動きもあるためか、短期間での結果は出ず、長期的には体重が減少するという結果⁵⁾もあるため継続的な検証が必要である。

4 まとめ

温泉によりストレスが減少し未病を治すことは実証された。

しかし温泉以上にアロマによる効果及び活用のしやすさを考えると、今後

アロマによるメンタルヘルスケアの可能性も検討していく必要があることが明らかになった。

5 図

*p<0.05 **p<0.01

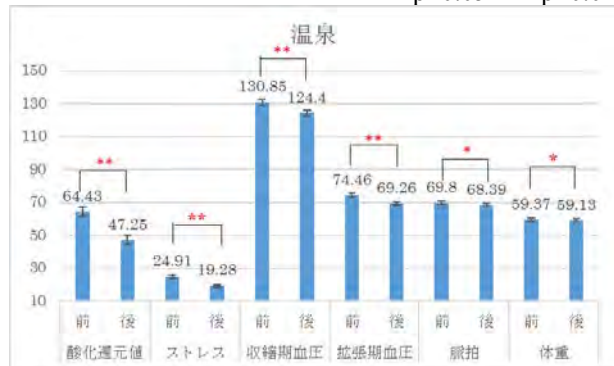


図 1：温泉入浴前後における項目毎の平均値比較



図 2：ハーブセラピー前後における項目毎の平均値比較



図3：スポーツマッサージとアロマケア前後における項目毎の平均値比較

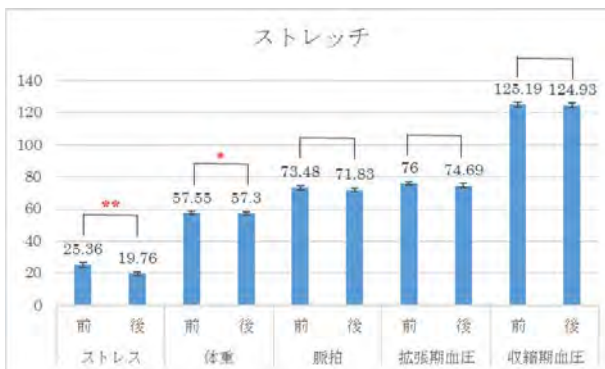


図4：ストレッチ前後における項目毎の平均値比較

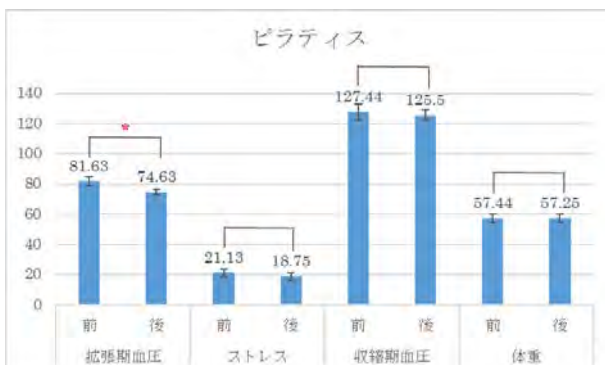


図5：ピラティス前後における項目毎の平均値比較

引用文献

- 1) 大塚吉則 2003 「温泉を科学する」 80～85 項
- 2) 阿岸祐幸 2009 「温泉と健康」 岩波書店 39～56 項
- 3) Amr E. Edris “Pharmaceutical and therapeutic potentials of essential oils and their individual volatile constituents”, a review, *Phytotherapy Research*, 21: 308-23,2007.
- 4) 平野紗希 池田望 2013 「ストレッチが対象者のストレスと精神作業成績に与える影響」
- 5) 加藤芳司 石田英二 2011 「医療法第 42 条疾病予防健康増進施設におけるトレーニング効果についての検討」

過労死防止のための労働法と 企業に求められるメンタルヘルス

○押尾聖人* (指導教員 新保史生**)

*慶應義塾大学 総合政策学部 4年 (2017年3月卒業予定)

**慶應義塾大学 総合政策学部

*s13216ko@sfc.keio.ac.jp, **shimpo@sfc.keio.ac.jp

キーワード：過労死 労働災害 メンタルヘルス 労働法

1 研究の目的

“過労死”という社会問題に対して、その解決の一助をはかる活動である。ただ単に、企業に対して労働時間の削減や改善を主張するものではなく、現行の法律や制度の分析を踏まえ、総合的な側面から過労死の防止を考える。特に過労死の問題に近い研究分野である労働法（法学的側面）と、メンタルヘルス（精神医療的側面）の両面から解決への手法を考え、複合的な問題分析を図る。最終的には、今後期待される政策論を述べるだけでなく、現場で行える手法まで提言することを目的とする。

2 序論

「過労死」という言葉が社会に浸透していったのは、1990年頃である。1990年後半から、業務上の過労やストレスが原因となって脳疾患、心臓疾患、精神障害を発症し悲劇的な死に至る、いわゆる「過労死」・「過労自殺」（以下、過労死と過労自殺を複合したものを過労死等と記載する）が職場に広がり、21世紀に入っても深刻な社会問題・人権問題となっている。そもそも長く間「過労死」という言葉の定義付けがなされておらず、「過労死」という言葉が何を指すのか不明瞭であった。しかし2010年に労働基準法施行規則別表第1の2の例示疾病に脳・心臓疾患を追加されたのを機に、2014年11月1日に施行された過労死防止対策推進法により、明確に定義がなされた。近年でも、過労死等の事案は発生しており、日本海庄や事件やJR西日本事件は長時間労働による労働者の過労死事件として記憶に新しいだろう。また、過労死はKAROSHIの語で国際的にも通用しており、世界共通の問題であることは言うまでもない。日本における過労死者数の指標でもある厚生労働省の「過労死等の労災補償状況」では、脳・心臓疾患では96件、精神疾患93件となっている（共に平成27年度）。労働法学においては、過労死が生じた際の救済策として、労働災害補償制度による労災保険の給付と、使用者を相手取る民事損害賠償請求の2つが併存する。本稿では、過労死に対する法的救済の一つである民事損害賠償請求の根拠となる安全配慮義務の具体的内容について検

討を行い、過労死の防止という観点から近年の取り組みを考察し、今後、使用者側に求められる安全配慮は何なのかを考察する。

3 労働法学における過労死の民事責任

過労死の民事責任を使用者に求める場合の法的構成には、使用者の安全配慮義務違反（労働契約法5条、以下労契法）を理由とする債務不履行による損害賠償（民法415条）と、不法行為による損害賠償請求（民法715条）がある。使用者が負うべき安全配慮義務には、適正労働条件措置義務、健康管理義務、適正労働配置義務、看護・治療義務などがある。しかし、安全配慮義務違反の具体的内容を特定したからといって、損害賠償請求が認められるわけではない。認められるには、過労死・過労自殺における因果関係と帰責性の存在が必要となる。つまり、使用者の民事責任が肯定されるには、使用者の安全配慮義務違反と労働者の死亡や疾病との間に相当因果関係があることが必要であるとされている。

3.1 電通事件最高裁判決

平成3年に広告代理店（以下、Y）に努める当時24歳の男性労働者（以下、A）が自殺する事件が起こった。Aは、素直な性格で責任感が強く、完璧主義的な傾向にあった。Aは長時間労働を続けるうちに、うつ病と思われる症状を患い、異常な言動を繰り返していたが、上司らはAが休息を与えるなどの措置は取らなかった。Aの自殺後、遺族らがAは異常な長時間労働によりうつ病を患い、その結果自殺に追い込まれたとして、Yらに2億2200万円の損害賠償を請求したのが本事案である。最高裁判決では「使用者は、その雇用する労働者に従事させる業務を定めてこれを管理するに際し、業務の遂行に伴う疲労や心理的負荷等が過度に蓄積して労働者の心身の健康を損なうことがないように注意する義務を負う」と判示している。また「企業等に雇用される労働者の性格が多様のものである…（中略）…ところ、ある業務に従事する労働者の個性の多様さとして通常想定される範囲を外れるものでない限り、その性格及びこれに基づく業務遂行の態様等が業

務の過重負担に起因して当該労働者に生じた損害の発生又は角台に寄与したとしても、そのような事態は使用者として予想」すべきであるとも示している。

3.2 因果関係の有無

電通事件では、因果関係について、最高裁は、精神医学的知見も踏まえて、過重労働から自殺、うつ病、うつ病から自殺という因果関係の連鎖を認めた。過労自殺の場合、一般的に自殺には本人の意思が介在する故に、当然に過重労働と自殺との因果関係が肯定されるわけではない。自殺者に心因性の精神障害を引き起こすに足りだけの業務上の過重な負担があったか否かが問われることとなる。一方で、脳・心臓疾患による過労死の場合、業務上の過重な負担があったか否かは労災認定基準に基づいて判断するのが一般的である。厚生労働省では、脳・心臓疾患の発症前1ヶ月間に100時間又は2～6ヶ月間平均で月80時間を超える時間外労働がある場合発症との関連性が強いとしており、裁判でも同様であると想定される。つまり、過労死は、過重労働→脳・心臓疾患による死亡というものであるのに対し、過労自殺は、過重労働などの心理的負荷→うつ病等→自殺という流れであり、自殺が精神障害によって正常の認識、行為選択能力が著しく阻害された状態でされたと認められる必要がある。

3.3 予見可能性・帰責事由

因果関係と共に、使用者に安全配慮義務違反が認められるためには、使用者の故意・過失が必要である。特に、被災労働者がそのような事態に陥るかを想定できたか（予見可能性）は使用者の故意・過失を認める上で重要な観点となる。過労死の事案においては、予見可能性が争点となっているのは少なく、因果関係を認めた裁判例は当然に予見可能性があることを前提としている。しかし、過労自殺の場合は、精神障害は労働者の内面の健康問題であり、その状態把握は外見からは必ずしも認知が容易ではないことから、使用者として配慮措置を講ずることが可能であったか問われる。例えば、電通事件では、Aが異常な言動を繰り返していたにも関わらず、上司が何ら対策を講じなかった点から予見可能性があるとされ安全配慮義務違反が認められている。また同時に、健康を損なう原因となった労働実態、あるいは健康を損なっている状態について使用者が認識していたか認識可能であれば、予見可能性はあると示している。他の裁判例（山田製作所事件や日本赤十字社事件）を踏まえると、長時間労働等の過重な業務によるうつ病自殺の場合は健康状態の悪化のおそれの認識可能性、長時間労働等の実態の認識または認識可能性があれば、労働者の自殺に対する肯定的予見可能性を示している。過労死等の事案ではないが、オタフクソース事件では「事業者には、

労働環境を改善し、あるいは労働者が労働時間、勤務状況等を把握して労働者にとって長時間労働又は過酷な労働とならないように配慮するのみにならず、労働者が労働に従事することによって受けるであろう心理面又は精神面への影響にも十分配慮し、それらに対して適切な措置を講ずべき義務を負っている」と判示している。この事案では、会社側が被災者の変調を疑い、同僚や家族に対しても然るべき対応をするべきであったとし、また心身の負担を軽減するための具体的措置を講じる時間もなく、健康状態の悪化の予見可能性を否定し得る要素が多いにもかかわらず、安全配慮義務が認められた。一方で、日赤益田赤十字病院事件など、使用者等に予見可能性がないとして、安全配慮義務違反又は過失を否定する裁判例も少なくない。このように予見可能性については、各裁判例で分かれているが事案によって異なると見るのが相当である。過労自殺においては、長時間労働などの強い心理的負荷を与える業務上の出来事があった場合には、使用者等において、それを認識していたか認識し得たときはうつ病等の精神障害を発症し得ることは当然に予想でき、自殺に至ることも通常あり得ることであり、過重な業務等に対する認識可能生があれば足り得ると解することができる。

3.4 過失相殺

民法(418条及び722条2項)では、使用者が安全配慮義務違反した場合において、労働者にも過失があつて事故や傷病発生に至ったときは過失相殺が行われることを規定している。過労死の事案において、過失相殺が適用される事例は、①労働者の基礎疾患を有する場合、②労働者の健康管理が不十分であった場合、③労働者の業務遂行に問題があった場合、④業務以外の事情があった場合に類型化できる。一方で過労自殺においては、本人の性格が問題となるケースが多い。例えば、上記電通事件の控訴審判決では、被災者の真面目で責任感が強く、几帳面で完璧主義等のうつ病親和性ないし病前性格及び親が被災労働者の勤務状況、生活状況を改善するための具体的な措置を採っていない等の理由に民法722条2項を類推適用して3割の過失相殺を認めた。しかし、最高裁判決では「…性格及びこれに基づく業務遂行の態様等を、心因的要因としてしんしゃくすることはできない」と判示し、過失相殺を認めた原審を破棄した。過労自殺事案における過失相殺については、本人の性格的素因や脆弱性で勘案しているが、うつ病についていえば、罹患しやすい性格傾向は真面目で責任感が強い人と言われておりこのことが過失相殺の理由とされたとしたら理不尽である。また、家族が適切な対応をしなかったことを過失相殺の対象とすることについても、被災者の異常な言動が見受けられるにも関わらず、家族が無関心を貫いた、さらなる精神的負荷を与えたなどの余

程の過失が認められる問題があったことを前提とすべきである。

4 近年の行政の取り組み

過労死等で問題視されているのが労働者の「過重な業務」であるが厚生労働省はこれを抑制するために、いくつかの対策を講じてきた。2002年に行政指導通達を發布して以来、種々の検討会報告書や労働政策審議会建議を経て、2006年に發布された行政指導通達において、2015年12月より労働安全衛生の改正法と同時にストレスチェック制度が実施される事となった。また2014年11月1日には、過労死等防止対策推進法が施行された。過労死防止対策推進法では、国・地方公共団体は過労死等を防止する責務を負うとしたうえで、その防止対策は国、地方公共団体、事業主その他の関係者の密接な連携の下に行われなければならないとして過労死問題における責任の所在を明確化した。さらにこれまで不十分であった過労死について本格的な調査・研究を行っていくこととした点も本法律の意義である。その成果として、2016年、厚生労働省は「平成28年度版過労死等防止対策白書」を公表した。国が掲げている平成32年までに「週労働時間60時間以上の雇用者の割合を5%以下」、「年次有給休暇取得率を70%以上」、平成29年までに「メンタルヘルス対策に取り組んでいる事業場の割合を80%以上」とする目標とまでは、まだ時間がかかるかもしれないが、より国の理念を民間企業にまで浸透していく施策を推進していけば、不可能な数字ではないだろう。

5 労働者のメンタルヘルス

過労死等を未然に防ぐ施策として、今後求められるものは何なのか。近年注目を浴びているのが労働者の精神的健康、所謂「メンタルヘルス(mental health)」の保護に関するものである。一般に、「メンタルヘルス」という言葉は、「心の健康」や「精神衛生」と訳されるが、メンタルヘルス不調者の職場における増加に伴い、メンタルヘルス対策の強化が重要な課題となった。現代社会においては、雇用形態の複雑化により、業務を一面的に捉えることができず様々な形でのストレスが蔓延している。過労死等に至る可能性のある精神障害を労働者が発症しない為に、職場においてメンタルヘルス対策を講じる事が必要である事は自明であろう。2015年12月1日より労働安全衛生法の改正とともに常時50人異常の事業場において、ストレスチェック制度の導入が義務付けられた。ストレスチェック制度とは、定期的に労働者のストレス状況を検査する事を事業主に義務付け、その結果を労働者に通知する事により、労働者のメンタル不調の危険性を低減させると共に、検査結果を集团的に分析し、職場環境の向上に資するという取り組みである。ストレスチェック制度の課題として、情報の取り扱いが挙げられる。

ストレスチェックの内容には家庭事情などに大きく影響を受けることから、情報の中でもプライバシー性が高い。ここで問題となるのが健康(メンタルヘルス)情報の保護の必要と安全配慮義務履行のための周知の必要との衝突である。メンタルヘルス不調者が安全に労務に就けるよう、使用者は安全配慮を講ずる必要があるが、情報のプライバシー性が高いため、容易に周知を行えない可能性が出てくる。周知が行われなければ、他の労働者が当該労働者への不満が募ることも考えられる。使用者側は当該労働者の安全配慮を講じながら、情報の秘匿という両翼を担うことになるだろう。

5.1 企業に求められるメンタルヘルス

ストレスチェック制度の導入により、労働者はいつでも自身のストレス度を測ることができる一方で、必ずしも使用者側に結果を申告する義務はない。故に、かえって、ストレスチェックの結果により自身の労働条件や環境に不利益を被るおそれを危惧し、使用者側に情報を秘匿する恐れがある。その場合、使用者側は安全配慮の施策を講ずることが出来ず、最悪の場合さらなる被害が及ぶ可能性もあるだろう。メンタルヘルスの問題は、労働者の個別性にある。個別性ゆえに、一律的な対策でメンタル不調の発生を抑止する事は不可能であると考えられる。メンタルヘルス不調に陥った際に講ずるべき施策は労働者個人で変わるであろう。しかし、その前提として、労働者がメンタルヘルス不調を訴えられる仕組み、環境が必要とされる。労働者の状況を正確に把握して職場環境改善につなげるためには、労働者が自らの心理的な負荷の状況を実施者に打ち明けられる環境を整える必要がある。

6 結語

以上のように、本稿では労働法学における過労死に対する法的救済と民事損害賠償請求の根拠となる安全配慮義務の具体的内容を検討した。その上で、今後、過労死防止のための企業に求められるメンタルヘルスと現在の行政の取り組みを紹介した。現状として、労働基準法32条で一定の縛りはあるといえど、労働法では労働者の過労死・過労自殺を事前に防ぐ仕組みとして未だ不完全である。一方で使用者としても労働者が過労死すれば、民事上の損害賠償をしなければならないだけでなく、世間への風評被害やイメージダウンへと繋がりがかねない。故に、事前に過労死予防の観点から勧められているメンタルヘルスは今後より重要度が増していくであろう。メンタルヘルスの問題は労働者の個別性にある。個別性ゆえに、一律的な対策でメンタル不調の発生を抑止する事は不可能であると考えられる。しかし、予防策として企業が後手に回っている状態では、真の予防とは言えない。本研究では、過労死防止策の一環として、うつとストレスの相関を調べる心理分

析を行った。紙面の関係上、詳細なデータや概要は当日に控えさせていただきたい。いずれにしても、過労死防止の観点での取り組みはまだ始まったばかりである。我が国の進歩において、先人達の長時間における業務での発展があったことは否定できない。しかし、その働き方が見直されたいまこそ、改めて、働く上で命の大切さを再認識すべきでなかろうか。

7 おわりに

本研究「過労死防止のための労働法と企業に求められるメンタルヘルス」を実施するにあたって様々な方にご支援いただいた。心理分析にご協力いただいた被験者の方々をはじめ、指導教員である新保史生先生や法学部内藤恵教授、総合政策学部非常勤講師の猿渡めぐみ先生には多大なる感謝を申し上げる。また、本大会の主催者である湘南藤沢学会から研究助成基金をいただいたことにより、更なる研究の実現と今回の発表の機会をいただけたことに深く御礼を申し上げたい。

参考文献・引用

【書籍・論文・統計資料等】

- 春田吉備彦「過労自殺と使用者の損害賠償責任-電通事件」『労働判例百選(第8版)』(2009、有斐閣)112頁
- 水島郁子「過労死」ジュリスト増刊『労働法の争点』(2014 有斐閣)135頁以下
- 玉木一成「ストレスチェック制度における労働者の不利益取扱い防止について-労働者側からみたストレスチェック制度の留意点と課題-」労働法学研究会報 2627号(2016) 8頁以下
- 佐久間大輔「労災・過労死の裁判」(2010 日本評論社)198頁以下
- 土田道夫「労働契約法」(2008、有斐閣)470頁以下
- 上田達子「ストレス関連疾患の法的救済-補償と賠償の課題-」日本労働法学会誌 109号 36頁
- 大島眞一・戸取謙治「いわゆる過労死の及び過労自殺における使用者の損害賠償責任(上)」判タ 1348号 37頁以下
- 大島眞一・戸取謙治「いわゆる過労死の及び過労自殺における使用者の損害賠償責任(下)」判タ 1349号 38頁以下
- 川人博「自殺事案の予見可能性をめぐって-中原医師過労死事件・東京高裁判決を中心に」労旬 1695号 46頁以下
- 鈴木俊晴「ストレスチェック制度の意義と問題点」季労 250号 23頁以下
- 岩城穰「過労死防止法の意義と課題」季労 246号 43頁以下
- 森岡孝二「過労死――〇版から四半世紀のいまこそ過労死防止基本法の制定を」労旬 1803号 7頁

- 高田耕太郎「過労自殺における労働者の法的救済」慶應義塾大学法律学研究第50号 279頁以下
- OECD 編著、岡部史信/田中香織 訳 「メンタルヘルスと仕事：誤解と真実 労働市場は心の病気にどう向き合うべきか」(2013 明石書店)
- 厚生労働省「脳・心臓疾患の労災認定」(www.mhlw.go.jp/new-info/kobetu/roudou/gyousei/rousai/dl/040325-11.pdf) 2016年10月26日最終閲覧
- 厚生労働省「平成28年度版過労死等防止対策白書」(<http://www.mhlw.go.jp/wp/hakusyo/karoushi/16/dl/16-1.pdf>) 2016年10月26日最終閲覧
- 厚生労働省「過労死等の防止のための対策に関する大綱(平成27年7月24日閣議決定)」(www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/000053525.html) 2016年10月26日最終閲覧
- 厚生労働省「平成27年度 過労死等の労災補償状況」(http://www.mhlw.go.jp/file/04-Houdouhappyo-u-11402000-Roudouki_junckyokuroudouhoshoubu-Hoshouka/h27_noushin.pdf)
- (http://www.mhlw.go.jp/file/04-Houdouhappyo-u-11402000-Roudouki_junckyokuroudouhoshoubu-Hoshouka/h27_seishin.pdf) 2016年10月26日最終閲覧
- 厚生労働省「過重労働・メンタルヘルス対策の在り方に係る検討会報告書」(<http://www.mhlw.go.jp/shingi/2004/08/s0823-3.html>) 2016年10月26日最終閲覧
- 労働政策審議会建議「今後の労働安全衛生対策について」(<http://www.mhlw.go.jp/shingi/2004/12/s1227-6.html>) 2016年10月26日最終閲覧
- 【裁判事例】
- 日本海庄や事件 大阪高判平 23.5.25 労判 1033号 24頁
- JR西日本事件 大阪地判平 27.3.20 判タ 1421号 254頁
- 電通事件 東京高判 平成 9.9.26 労判 724号 13頁
- 電通事件 最二小判 平成 12.3.24 労判 779号 13頁
- NTT 東日本北海道支店事件 最一判小平 20.3.27 労判 958号 5頁
- 山田製作所事件 福岡高判平 19.10.25 労判 955号 59頁
- 日本赤十字社事件 甲府地判平成 24.10.2 労判 1064号 52頁
- オタフクソース事件 広島地判平成 12.5.18 労判 783号 15頁
- 日赤益田赤十字病院事件 広島地判平成 15.3.25 労判 850号 64頁

デザイン美学のための序論

山田佑樹（指導教員 堀茂樹）

慶應義塾大学総合政策学部2016年9月卒業

yuki_yamada@me.com

キーワード：日常性の美学、デザイン美学、Gernot Böhme、イサム・ノグチ

1. 研究概要

現代ではどのような行為や概念も「デザイン」となりうる。それに対する問題意識が、デザインという活動に携わる・携わらないに関わらず、広く共有されていることは昨今では自明なことである。デザインとはいったい何か。この問いは闇雲に制作者や受容者に、観念的な回答を要求するものではあってはならない。この問いはデザインの弁別的条件を問うものだ。具体的に言えば、デザインの現在までの在りよう、「デザインとはこうである」ということを示す、史実の観察に基づく事実と、「デザインとはこうあるべき」というデザインについての哲学的な議論、その両極端に向けられている問いである。

このような状況下で、本研究は、デザインという行為・概念と、美学という哲学の分科的学問との接点を探求した試論である。デザインが美学を、美学がデザインについての議論を、それぞれに必要なものとして要求していることを、論じ明らかにすることが目的である。美学とは、感性的認識や美、あるいは芸術を主題とする哲学的学科である。未だ、「デザイン」と「美学」を関連させた議論は、幾つかの議論によって簡単に触れられるのみであり、議論が開始されていないと言っても過言ではない。それ故に「デザイン美学」という名称に対して、学問領域としての確固たるステータスはない。とりわけ、日本国内の研究としては、

哲学としての美学の学問領域のうちに、デザインについての議論が専門的になされることは、これまでなかった。諸外国においては、美学の射程を「わたしたちの生や身近な現象」に向ける「日常性の美学¹」というものが現代美学として論じられ、ドイツではゲルノート・ベーメによって、日常性の美学の範疇において議論すべきテーマとして「デザイン」という概念は示されている²。しかし、ゲルノート・ベーメ（Gernot Böhme 1937-）の議論は、デザイン美学を論ずるのに必要な概念を舞台装置として準備までしたが、デザイン美学そのものを論ずることにまでは至っていない。

デザインという概念は、広義での美学（美術史学や実験的な手法を用いた芸術研究〔science of art〕）においても、「工業についての問題」として扱われてきた。このような背景もあって、美学領域のなかで出現することはこれまで少なかった。筆者個人の研究意欲で言っても、デザインの制作の研究から、真理を求めるなかで、美学の研究に至ったし、美学的議論とデザインについての問題は、必然的な通底がみられる。しかし、美学においてデザインを論ずることが可能になるのは「感性的認識の学³」として17世紀中庸に名付けられた「美学」が「芸術や美的体験を本位とする美学」から開かれ、「日常性の美学」によって、人間のありように深く影響することが強調されるようになってからである。デザイン美学についての研究

¹ Yuriko Saito, *Everyday Aesthetics*, Oxford, New York, 2007

² Gernot Böhmeの著作のうち『感覚学としての美学』（井村彰ほか 訳）、2005。（原著名：Aisthetik, Vorlesungen über Ästhetik als allgemeine Wahrnehmungslehre, Paderborn: Wilhelm Fink Verlag, 2001.）によって、主に示される。

³ Alexander Gottlieb Baumgarten『美学』（松尾大訳）、2016。（原著名：Aesthetica, Frankfurt, 1750/58.）によって、明らかに主張されることである。

は、現代において「デザイン」概念そのものについての学問的探求の基盤を構築すること、美学において「日常性の美学」の議論を「自然美学」などに次いで展開させる役割を担っており、今後の美学研究において必要とされるものである。

本研究は、まず「デザインとはこうである」というデザインの状況を正確に確認するために、一般的に「バウハウスからデザインは始まった」とされる明らかな史実的誤解を解くために、デザインについての史実を最小限に示した。そのうち、言語学的な理解においては、イタリア語の“disegno”以前、ラテン語の“designare”まで遡ることができる概念であることを意味を中心に論じた。

他方では、美学において、日常性の美学についての議論の展開が要求されることは、17世紀中庸に起こった美学の初期構想を所以とすることを確認した。そして、日常性の美学の中において、デザイン美学を論ずることがどのように可能であるかを、ペーメの研究を中心に読み解く。そして、筆者自身が美学する、という意味において、デザイン美学のなかで、物をどのように認識するのか、そしてそのような認識によって、物が私たちにとってどのような存在となるのか、ということ、物と「道具」という概念を分別し論じることからはじめた。「人間の物化」などの表現としても用いられる「物」概念であるが、ここでいう「物」とは、正確には「道具」のことを指すべきだろう。道具とは、概念史のなかにおいて「目的の表れ」として在るものである。機能美なる概念は、美学の範疇で論じられてきたような美的範疇のものではない。機能美という概念は、感性的認識による快ではなく、理性的認識による納得を由来とするある種の満足であるからである。機能美によって作られる理想的なものとは、つまり完全な道具として在るものとなる。デザイン美学の議論においては、そのようなデザインによって作られる物のあり方が、私たち人間にどのような認識を「反転(inversion)」させてくるのかが論じられる⁴。私たちが物がある認識によって眺めると、私たちが

物からそのような認識によって眼差されるという、一見すると摩訶不思議な議論である。ペーメはそのことを「語りかけてくるフォルム」という概念であったり「夜がわたしを見つめている」といった経験で人は既に知っていることであるとする。このような、人間の物認識が、どのようにして人間の認識へと反転するのかという感性的認識論的問題を、デザイン美学の範疇で明らかにすることに取り組んだ。

そして最後に、これまで作られてきた作品や物のうち、このような議論の例証となる作家、作品として、イサム・ノグチの《ブラック・スライド・マントラ》(1988年)を取り上げた。アメリカと日本の中に生き、自らの両義的な自己同一性に苦しみ生きたノグチは、晩年、「滑り台」とも「抽象的彫刻」ともいえる、ブラックスライドマントラという作品を完成させる。この作品は、人々の受容にして、芸術的作品でありながら、道具である。《ブラック・スライド・マントラ》は傷つく芸術作品である。毎日子どもたちのお尻によって磨かれて「傷つけられて」いる。その一方で、鑑賞をはじめとする代替不可能な芸術作品として子どもたちに、市民に、眺められている。このようにして開かれた芸術作品は明らかに、完璧な道具ではない。街の中心部のパブリック・アートとして行政にリクエストされた《ブラック・スライド・マントラ》は、物が「道具性」から脱しうる可能性を示している。そして、この物の両義性についての問題はデザインの議論である。《ブラック・スライド・マントラ》にみられる認識のありかたは、デザイン美学の議論において、私たちの物の認識の議論に留まることなく、私たちが人間をどのように認識し、存在を規定するか、という認識の展開の例証たり得る。それについて、具体的には「傷」概念が、物の脱道具化、人間化の例証たり得る。本論文は、デザイン美学が論ずることは、古典美学が論じてきた、芸術・美・感性のうちに終着するものではなく、人間の日常性、ひいては人間のありかた、私たちが人間をどのように眺め、認識するのか、という議論に繋がると結論付け

⁴ Gernot Böhm 『感覚学としての美学』(井村彰ほか 訳), 2005. (原著名: *Asthetik, Vorlesungen über Ästhetik als allgemeine Wahrnehmungslehre*, Paderborn: Wilhelm Fink Verlag, 2001.)

る。その議論の価値は、デザインが自明性を喪失した現状と、美学が現代の人間の在りようを射程に入れようとする現在において、互いにその役割を求められるものである。

2. 研究における引用部について—本原稿で取り上げるゲルノート・ベーメの議論を中心に—

「〔感覚学としての〕美学が関係する三つの領域、すなわち自然、デザイン領域、芸術を一つづつ見ていきたい。〔…〕『自然』の美学においては、ある特殊の『美的』な自然認識というものがあるのかどうか、あるとすればそれは自然に関して何を認識するのか、それを明らかにすることが課題となる。デザインの美学について言えば、『デザイン』という語を広く一般的に捉えて、生活世界の審美化に関わる美的労働として考えるならば、実在的なものの審美化を成し遂げる可能性を用意することが今日では期待できるはずである。」（『感覚学としての美学』, p.12）

「実在的なものの審美化とは、最もあからさまな言い方をすれば、美的な粉飾、加工であり、私が採用したい術語で言えば、あらゆるものの『演出＝場面化』である。われわれは、演出されたものとともに生き、演出されたものの中で生きている。このような、さしあたりそれ自体は月並みで他愛もない事柄が問題となってくるのは、われわれが関わらざるをえない環境の演出、物の演出、人間の演出が本来的で決定的なことになっていくときである。ここに至る傾向は、後期資本主義の段階にあることを示しているように思われるが、かつて私はこのことを美的経済と名づけたことがある。〔…〕新しい美学は、実在的なものの審美化の克服のうちにその解決を求めなければならない。」（『感覚学としての美学』, pp.15-16）

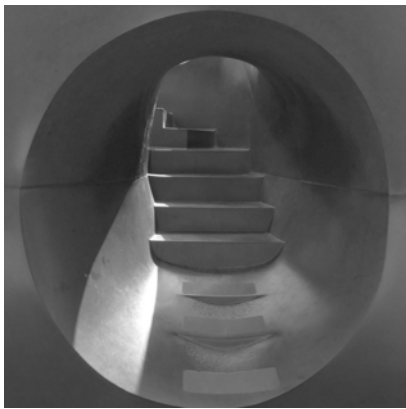
「美的経済の段階では、演出価値が作り出されるような、社会全体から見てある特殊な分野が形成されるようになる。あるいはそれは、演出によって費やされる労働であって、社会全体の労働の中でも伸張している部門である。ここには、デザイン、化粧、広告、そして建築、都市計画、景観設計などの職種だけでなく、テレビをはじめとする多くのマス・コミュニケーション・メディアも当然含まれる。このような分野を見てみると、美的労働という言葉のもとに理解されるべきことは、物や人間や観念の『現出』に関わる労働だということである。したがって、美的労働という概念は、演出の仕事というよりも広く、芸術的生産活動の領域全体を包括する概念である。進展しつつある実在的なものの審美化は、美学への挑戦を表明している。美学はもはや芸術という庇護された領域にのみ関わることはできず、美的労働の所産に全般的に取り組んでいく必要がある。」（『感覚学としての美学』, p.18）

「物の知覚とは何であるか、われわれはここで次のようにまとめることができよう。それは、身体を備え、何らかの属性を有し、ある場所に存在している何か、そしてそれが現前していることによって、何らかの方法で気づくようになる、何らかの雰囲気や算出している何か、その何かを確認することである。物は、そのようなものとしてはもちろん間接的にしか知覚されない。物の知覚とはある特殊な知覚であって、基本的知覚である雰囲気や感知から始まって、抵抗、差異化、さらには狭めのプロセスを経て成立するものである。物の知覚とは、何らかの属性を備えた、ある身体的な『このこれ』を確認して位置確定することである。」（『感覚学としての美学』, p.243）

3. 図版



図版1 《ブラック・スライド・マントラ》
(1988年)



図版2 《ブラック・スライド・マントラ》
裏面の滑り台のための階段。



図版3 《ブラック・スライド・マントラ》
滑り台のための斜面〔黒御影石〕は削られている。

Design Through Tactical Media

—都市空間と情報空間を連動させることにより可能になる音楽の状況・ 下北沢におけるリズム分析を活かしたメディアのデザイン—

田中堅大* (指導教員 水野大二郎**)

*慶應義塾大学 環境情報学部 4年 (2017年3月卒業予定)

**慶應義塾大学 環境情報学部

*t12553kt@sfc.keio.ac.jp, **daijirom@hotmail.com

キーワード：メディアデザイン、都市建築、音楽、デザインリサーチ

1.0 研究概要

都市空間と情報空間を連動させることにより可能になる音楽の状況を推論し、タクティカル・メディアを実装することが本研究の目的である。アンリ・ルフェーブルによって提唱されたリズム分析を基盤とし、下北沢という都市のリズムを分析することを試みる。シチュアシオニスト・インターナショナルの活動やタクティカル・メディアとして定義される作品に着目をして、既存の都市や建築を「転用」し有効に活用することで、都市空間と情報空間を「漂流」する手助けとなる音楽メディアを設計し、一般市民が暮らす都市を理解するきっかけや一般市民の都市への関わりしるを助長する。

2.0 研究背景

2.1 タクティカル・アーバニズム

私たちの住環境に密接に繋がっている都市や建築デザインにおける現状は、都市部への人口集中化や著しい経済格差などの問題が指摘されている。国連「世界都市化予測 2014」によれば、都市部の人口が農村部の人口に比べて増加する都市化の傾向にあるという。具体的には、2014年の時点で世界人口の54%が都市部に移住しているほか、2050年には66%に増加すると予測されている。また、このデータは都市部と農村部の経済格差が広がりつつあることも示唆している。

本研究は、そうした状況にある都市への戦術的介入としての「タクティカル・アーバニズム」に着目する。タクティカル・アーバニズムとは、一般市民主体で行われる、もとある場所やモノの読み替えと転用を通じた、都市空間に対する低予算で敏速な改善活動である。タクティカル・アーバニズムは、アンリ・ルフェーブルの思想と前衛芸術集団シチュアシオニストの実践に系譜がある。ルフェーブルは、技術主義・構造主義が支配的となった当時の社会を都市と日常生活の観点から批判し、都市は複数の他者によって読み替え・書き替えが可能な場であり、誰もが主体性を持つことができる場であるとした[南後, 2010]。ルフェーブルの思想に影響を受け

た前衛芸術集団シチュアシオニスト(シチュアシオニスト・インターナショナル)は、市民の消費の舞台である日常に着目しながら、創造的な実験社会を実現するための「漂流」や「転用」といった概念をつくりだした。「漂流」とは自分たちのいつもの移動・行動のための要因すべてを放り出して「街で見つける地形や出会いに引き寄せられていくこと」であり、「転用」とは国家や専門家によって設計された状況をその意図とは異なる用途で利用する行為を表している。以上のことを踏まえると、ルフェーブルの思想やシチュアシオニストの実践を前提としながら、デザイナー主導の現代の都市計画によって生じる問題に対する民間レベルでの問題解決が、タクティカル・アーバニズムであると整理できる。

また昨今では、アメリカはニューヨークに拠点を置く非営利団体CUP(Center for Urban Pedagogy)が、一般市民と政策立案者、グラフィックデザイナーなどが協働で都市政策や都市計画を紐解くプロジェクトを推進することで、一般市民の都市への介入の手助けをしていることが注目されている。CUPの実践は、非営利団体が運営していることからタクティカル・アーバニズムのようなラディカルさは希薄だとしても、一般市民が都市を知ることが都市への関わりしるへの第一歩であると考え、彼らの活動は従来のデザイナー主導の都市計画への批判として興味深い。また、CUPは多様な利害関係者と共にワークショップを行った成果物を書籍メディアやポスター、ときにはオープンソースキットとしてインターネット上に公開している。この活動からもCUPは独りよがりになりがちな政策立案者と都市を実際に使う一般市民との架け橋的存在になっていることが理解できる。

以上のように、

1. アンリ・ルフェーブル：零度のモダニズム建築における日常生活批判
2. シチュアシオニスト(状況主義者)：転用と漂流などを用いた戦術的な都市実践

3. CUP：都市計画家主導から一般市民主導の都市実践へのきっかけづくり

と、本研究の軸である、デザイナー主導から一般市民協働へと移行しつつある近代都市計画の系譜について概観した。

2.2 多様化するメディア

1990年代にインターネットが普及して以来、メディアを取り巻く環境もめまぐるしく変容しつづけている。従来の紙媒体の静的な書籍から動的な電子書籍への移行のみならず、一般市民にパーソナルコンピュータが普及し、さらには小型で移動可能な携帯やスマートフォンなどのインターネットと接続したメディア媒体を所有することが当然となっている。伊藤昌亮が『フラッシュモブズー儀礼と運動の交わるところ』で述べているように、インターネットという情報空間を経由することで、見ず知らずの人々がゲリラ的に一堂に集まりパフォーマンスなどをして即座に退散をする群衆論も、そうしたメディア状況が前提となっているからであろう。

従来では比較的受動的なユーザーが、移動可能なメディアを携帯することで、都市空間に繰り出すという積極的な行動を起こしていることも語られている。2016年に注目を浴びたのが、任天堂が開発した『Pokémon GO』である。『Pokémon GO』に代表されるような移動前提のアプリケーションを用いると、都市空間にいながら情報空間を「漂流」することができ、それに伴って実空間で彷徨っている他のユーザーとも偶発的に出逢うことも可能になる。しかしながら、そうした都市空間と情報空間を連動したメディアにも問題点は存在する。都市のセレンディピティによって邂逅したユーザー達は、コンテンツが消滅すれば自動的に集まらなくなり、実空間である都市は単に移動の側面でしか利用できていないことになる。情報空間内に留まらず、情報空間を「漂流」することで、ユーザーに都市空間の隠れた価値を伝えるように、インターネット環境前提の複合型メディアをデザインすることが今後の喫緊の課題であるといえる。

インターネットの登場によって、メディアの様相が急速に変容してきている世の中ではあるが、実空間を有効に活用することを試みているメディアがある。ハーバード大学の Graduate School of Design において、Residence of Art, Design and the Public Domain 学部の教授である Krzysztof Wodiczko は、ビック・スケールの建造物にビデオ・プロジェクトを施すことで作品制作をしている。都市における巨大なファサードやモニュメント、建造物の段差などを有効に活用することで、極めて戦術的に都市へと介入することでメディアをデザインしているといえる。また、Wodiczko の活動と似たような軸線上で語られているのは、グラフィティ・リサーチ・ラボ (Graffiti Research Lab) であろう。グラフィテ

ィ・リサーチ・ラボは、グラフィティ・アーティストにオープンソーステクノロジーを伴った道具を支給することで、都市空間で行われる様々なコミュニケーションを誘発しようとしており、このラボの活動も本研究では参照したい。Wodiczko は実空間における物理的なエレメントを用いることで、メディアを制作しているが、本研究においては実空間の固有の場所性を利用し、かつ、インターネットを用いて移動性を伴うことで、実空間と情報空間を佳境する超複合的なインタラクティブメディアを実装することを試みたい。

このように、現代におけるメディア環境を概観すると、拡張現実 (Augmented Reality) や仮想現実 (Virtual Reality) などのように、インターネットをうまく活用した情報空間と実空間の連動の発達が特徴の一つとしてみられる。しかしながら問題は、現代のメディアを利用することが、実空間である都市への理解に繋がらないことであり、都市空間と情報空間を連動するメディアを設計するのであれば、一般市民が都市を知るきっかけとなり、それが結果として都市への関わりしるの増大を助長するものとなるべきである。

2.3 音楽的要素であるリズムの活用

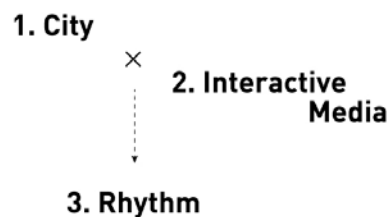


図1：3分野の背景の関係図

タクティカル・アーバニズムやインタラクティブメディアとは分野が離れているものの、音楽の一大要素である「リズム」という概念の応用に関心がある。アンリ・ルフェーブルが晩年に出版した著作『Rhythmanalysis—Space, Time and Everyday Life』(リズム分析の諸要素)では、概念的なリズムを中心に据え、本来ならば音楽の要素であるリズムを実空間や人間の日常実践にまで展開し、リズムの可能性を説いた。また、人間が暮らす都市には特有のリズムがあると述べ、「都市のリズム」とは、大地、川、河川といった「第一の自然」、建造物、街路、鉄道、港湾といった「第二の自然」、日常生活における身体や歩行などがそれぞれ循環的なリズムが共鳴し、直線的な時間の反復と干渉し合うことで瞬間的に生成するもの、とした。〔南後, 2013〕また、『リズム分析の諸要素』はルフェーブルが晩年に執筆したため、あまり実践へは結びつかなかったが、レム・コールハースが都市のリズムに親和性の高いプロジェクトを実現することに成功している。

コールハースは、「ヨコハマ・マスタープラン」と題したプロジェクトで横浜という都市の要素（映画館、市場、酒場など）における時間帯による盛り上がりやダイアグラム化し、盛り上がりにおける「都市の隙間」にイベントを開催することで24時間活性化させた都市をつくりあげようとした。このように、ルフェーブルの思想とコールハースの実践にみられるように、音楽的要素であるリズムには応用可能性があるかと予想できる。上記の2名のみならず、現代音楽家がどのようにリズムについて落としこんでいくのかにも着目しつつ、都市とメディア、ひいては実空間と情報空間を接続する媒体としての音楽的要素「リズム」の可能性を開拓していきたい。

3.0 研究意義

本研究の広義における意義は、都市部への人口集中が急激に進み、都市インフラや住宅の整備が希求され、敏速に一般市民主導で都市における問題を解決する必要がある状況下で、都市問題を扱う以前に「都市を知る」ことを手助けを行うことが可能になる点である。狭義における意義は、従来では音楽的要素である「リズム」の可能性を検討し、都市計画やメディアデザインの分野に応用することで、建築家／デザイナー／アーティストの創造性を誘発するリズムの使いしるを探求することである。

4.0 研究方法

本研究は、Ilpo Koskinen, らが『Design Research Through Practice: From the Lab, Field, and Showroom』において提唱した実践的デザインリサーチ (Design Research through Practice) に依拠している。実験 (Lab)、フィールド (Field)、展示 (Showroom) の3つにリサーチを分類し、以下のような手順で研究を行った。



図2：下北沢における音楽にまつわる場所

「フィールド」では、下北沢をリサーチフィールドに選定し、東京の小田急小田原線下北沢駅南口方面から代沢三差路へ向かう道と、代沢三差路から茶沢通り沿いに小田急小田原線線路に交差するまでの道に囲まれる区画を対象地域とした。この区域を選

定した理由は、研究の成果物にあたる音楽メディアや研究の鍵となる概念である「リズム」を考慮しても、下北沢のこの区域は音楽にまつわる場所も数多く存在し（図2参照）、その他地形の高低差など、地理学的にも資源に溢れていると判断したためである。また、理論的骨格としては、ルフェーブルが提唱した『リズム分析の諸要素』を採用し、下北沢の「都市のリズム」を「第一の自然」、「第二の自然」、「人間の日常的実践」の3つのレイヤーに分類し、採集した。



図3：ルフェーブルによる都市のリズムを構成する3層を可視化したダイアグラム

「実験」では、研究室での連続的な試作を通じた研究の推進が目的である。具体的には、「フィールド」で採取した下北沢の「都市のリズム」を、Abelton Live 及び Max For Live を用いて音楽に変換し、その後 Adobe Digital Publishing Suite を使用し、インタラクティブメディアの編集及びデザインを行う。

「展示」では、研究の成果物を社会に出し価値を問うことが目的とされ、制作したインタラクティブメディアを出版し、一般市民に実際に使用してもらうことで、議論を誘発させることを試みる。

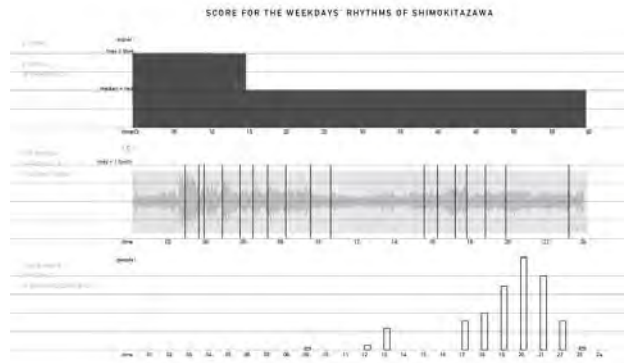
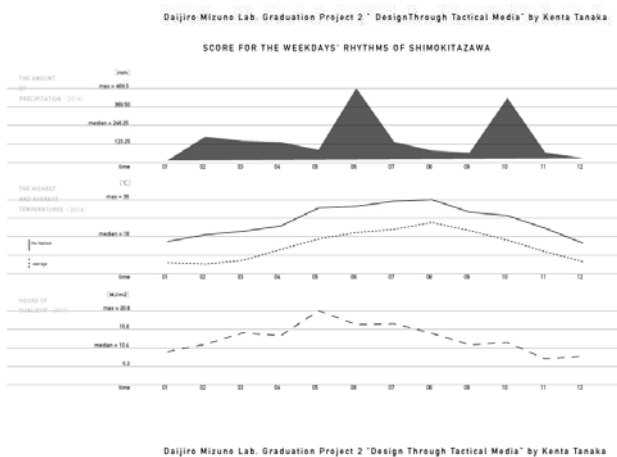
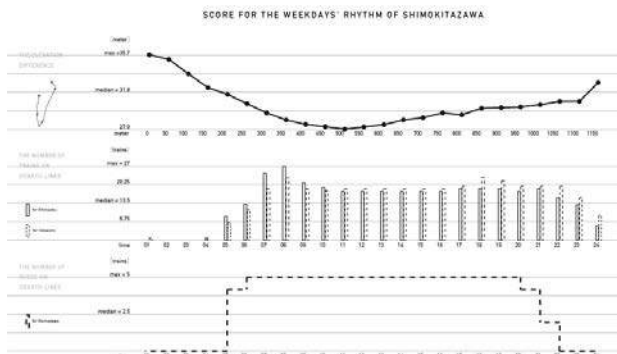
5.0 研究実践

実践として、リサーチフィールドの下北沢でフィールドワークを行い「都市のリズム」を採集した。前述した都市における3つのレイヤーに、それぞれ具体的に都市のリズムとなりうる要素を割り当て、データベースやフィールドからリズムのデータを収集した。「第一の自然」を、地形の高低差、四季の変化（降水量、温度、植物の繁栄）とし、「第二の自然」として、建造物（高低差）、街路、交通手段（バス、電車、自転車）、標識・看板とし、そして「人間の実践的活動」として、歩行速度、（通勤通学などの）移動者数、サウンドスケープ（街の騒音）、人口や資本のサイクルとした。

データの採集に際して、「第一の自然」の地形の高低差にあたる部分は、国土地理院データベースを利用し、過去から現在に至るまでの地形変動のデータを採集した。四季の変化を表す降水量や温度の変

化には、気象庁が発表しているデータを用い、下北沢が位置する東京都世田谷区における2014,2015年の降水量と温度変化についてデータを収集した。

「第二の自然」における建造物の高低差は、Google Earthを使用し、対象の地点にカーソルを合わせると座標とともにその地点での建造物の高さが出るため、それらを使用した。バスや電車などの交通手段においては、各私鉄やJRがホームページで公開している時刻表を採用し、それら公共インフラのリズムとして利用した。街路における電柱や標識、看板においては、実際に下北沢をフィールドワークとして歩行し、対象地域におけるそれらの要素をすべてマッピングした。「人間の実践的活動」としては、2016年9月から10月において下北沢を実際にフィールドワークを行った結果を、フィールドの音を実際に録音することや、駅改札前で人数をカウントすることでデータ収集を行った。



Daijuro Mizuno Lab. Graduation Project 2 "Design Through Tactical Media" by Kenta Tanaka

図4、5、6：下北沢における都市のリズム分析
3層に分類した下北沢におけるリズムは以上のようにになっており、またデータの可視化に際しては、音楽の記譜法に依拠し、五線譜で記述を行っている。これらのデータは複雑に絡み合っている都市の要素を一つ一つ読み取っていく行為であると省察することができ、重層的な都市を理解する第一歩としての価値があると言える。一般市民と協働でのリズム採集は依然実現していないが、音楽的要素である「リズム」を援用すると、まちに暮らす一般市民がまちを知ることへの第一歩となる可能性は十分にあるだろう。

6.0 結論と展望

現在までの本研究では、下北沢において都市のリズム分析を行い、それらを音楽の記譜法に依拠しながら記述をしていくことで、複雑に重層している現代の都市を紐解き理解していくことに「リズム」という概念が応用可能なことが明らかとなった。都市への人口や資本の集中、そして希求される敏速な都市問題の解決にあたって、実際に都市に暮らす一般市民にどのように都市を理解させるかが問題となっているが、それに対する一つの解決策となりうるかもしれない。しかしながら、実際にこれらの都市のリズムを活用した音楽にまつわるインタラクティブメディアの制作は実現しておらず、また、都市空間と情報空間を連動させるという設定にも未だ不明瞭さが否めない。よって展望としては、一般市民がまちを知るきっかけとしてのリズムを実際に利用することで、どのようにインタラクティブメディアが実装でき、そのメディアが実空間及び情報空間とどのように相互作用を起こすのかを推論し設計していく必要がある。

7.0 参考文献

- イアン・ボーデン『スケートボーディング、空間、都市——身体と建築』新曜社、2006年
- 南後由和「笑う路上観察学会のまなざし都市のリズム分析へ向けて」『路上と観察をめぐる表現史考現学の「現在」』フィルムアート社、2013年

吉見俊哉+ 北田暁大編『路上のエスノグラフィちんどん屋からグラフィティまで』せりか書房、2007年

Henri Lefebvre, *rhythmanalysis—space, time and everyday life*, Continuum Intl Pub Group, 2004

Koskinen et al., *Design Research Through Practice: From the Lab, Field, and Showroom*, Morgan Kaufmann, 2011

Andres Duany et al., *Tactical Urbanism: Short-Term Action For Long-Term Action*, Island Press, 2014

10+1, 〈タクティカル・アーバニズム〉—XSからの戦術, <http://10plus1.jp/monthly/2016/05/issue-02.php>,

Accessed October 13th 2016

Affairs, Population Division, World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, 2014, URL=<http://esa.un.org/unpd/wup/FinalReport/WUP2014-Report.pdf>, Accessed October 13th 2016

相槌のスキル —会話に与える影響—

伊達理英子* (指導教員 諏訪正樹**)

*慶應義塾大学 総合政策学部 4年 (2017年3月卒業予定)

**慶應義塾大学 環境情報学部

*s13544rd@sfc.keio.ac.jp, **suwa@sfc.keio.ac.jp

キーワード：相槌、マルチモダリティ、身体知

1 はじめに

“相槌”と一言に言ってもその定義は実に曖昧である。“相槌”という言葉で誰もが共通して考えるのが、間投詞や頷きだろう。事実、辞書には相槌とは相手の話に頷いて調子をあわせること、とある。しかし、一方で相槌の語源はというと、鍛冶で二人の職人が交互に槌を打ち合わせること、とある。この意味で考えると、相手の視線や息づかいや手の動きなど複合的に相手の反応を捉えて、絶妙な間で槌を打ち合っていることが考えられる。そこで本研究では、単に相槌が間投詞や頷きだけで構成されているのではなく、他の要素も含むと考え、相槌をより多義的に捉える。多様な相槌が他者や会話に対してどのような影響を与えるのかについて観察・分析・考察を行い、私たちが普段無意識的に行っている相槌スキルの解明の糸口を掴むことを本研究の目的とする。

2 なぜ相槌に着目したか

研究内容に関係のない話に思われるかもしれないが、発表者は友人から相談を受ける機会が他の人よりも頻繁にあるのではないかと感じる。これには様々な要因が考えられるが、『相槌がうまいね』とひとから褒めてもらうことが多いのは、その要因の一つかもしれない。当の本人はというと、何か意図的に頷きや間投詞を多くしてみようとか、相槌に関して特別のこだわりがある訳でもない。そのため、他人から評価してもらえる『相槌がうまい』という言葉は、単に『頷きと間投詞がうまいね』とされているだけではないように感じる。それらを越えた、私の身体の反応が醸し出す全体的な雰囲気のようなものを指しているのではないかと解釈している。“相槌”を多義的に捉えて、発表者の“相槌のスキル”を解き明かしたいと考える本研究の動機はそこにある。

3 分析方法

本研究においては、相槌をより多義的に捉え、頷き・間投詞・表情・姿勢・視線・瞬き・手の動きなどの様々なモダリティに着目することにする。

分析にあたって、上述した言語・非言語の複数のモダリティに着目し、映像分析ソフトウェア ELAN¹を用いて、各モダリティのアノテーションを付与し、それらの前後関係や同時に起こっているモダリティ同士の関係性などを微視的に記述する。

映像を分析するにあたり、注目するモダリティに即して複数の注釈層を設けた。また、分析結果の考察においては自分の行動の意図や、相手の行動に対する解釈を一人称視点で記述している(諏訪, 2015)。

4 データ

今まで合計3種類の映像を収録し、分析してきた。各回、発表者を含む、異なるシチュエーションにおける食事の会話を撮影している。例えば相手との関係性や食事内容や、座席の配置などが異なる。1つめの分析対象は、研究室の同期のAとラーメン店のカウンター席で二人横並びに座っている映像である。2つめは、サークルの後輩Sと居酒屋で対面している映像である。3つめは、研究室の同期のYとファミリーレストランで対面している映像である。

5 相槌のスキル

本研究では、相槌のスキルとは、相手の多様性にあわせて、多様なモダリティを駆使して相槌をすることと考える。

これまでの分析により、以下のことが分かってきた。例えば、同期のAと後輩のSに関しては、同調的に語り手の本題に理解を示して、語りを促したり、本題を聞き出そうとする相槌を行っている。一方で、同期のYに対しては、本題を促すというよりは、語り手の多様な言語的あるいは身体的志向を拾って、一緒に本題から離れたたり、再び戻ったりする相槌を行っている。

また、相手との関係性の中で育まれた、会話上での共有された“文化”が存在するということが明らかになってきた。例えば、研究室の同期Yの事例では、“からかい”という共有された文化が存在した。

¹ <https://tla.mpi.nl/tools/tla-tools/elan/>

このような文化をお互いに会話上で共有していることを示し合いながら、どこで“からかいムード”を始めてどこで終わるかというタイミングを見計らうことも相槌のスキルであると言える。

6 まとめ

本研究では、相槌が単なる頷きや間投詞だけで構成されているのではなく、多様なモダリティによって構成されていることを個別具体的な事例を用いて微視的に分析し、示している。多様なモダリティとは例えば、視線を中空で泳がせてみたり、上半身の姿勢を変えてみたりすることなどを指す。このようなコミュニケーションの微視的な研究は、人間が普段、無意識的にどのような行為を臨機応変に繰り出しているのかという知の探究(諏訪,2015)において重要である。相槌を見ると分かるように、人間の行為は(発話や頷きという)限られたモダリティだけで構成されているのではなく、複数のモダリティによる動きを複合的に繰り出すことによって構成されているという事が、微視的な分析を行うことによって明らかになる。それらを私達は、物理的環境や話題、相手との関係性などに合わせて臨機応変に繰り出しているのである。

参考文献

諏訪 正樹 (2015) 一人称研究だからこそ見出せる知の本質. 諏訪 正樹・堀 浩一 (編著), 伊藤 毅志・松原 仁・阿部 明典・大武 美保子・松尾 豊・藤井 晴行・中島 秀之 (共著) 『一人称研究のすすめ — 知能研究の新しい潮流—』, 3-44. 東京: 近代科学社.

器械体操選手のサルのようなパフォーマンスを可能にする 脳-身体システムの解明

○ 田中 麻奈美* (指導教員 牛山潤一准教授**)

*慶應義塾大学 環境情報学部 4年 (2017年3月卒業予定)

**慶應義塾大学 環境情報学部

*t13577mt@sfc.keio.ac.jp, **ushiyama@sfc.keio.ac.jp

キーワード：両側性支配、運動皮質、経頭蓋磁器刺激

1 背景、目的

私は器械体操部での日々の生活を通じて、上肢のみでの高度な全身バランス制御など、まるでサルのようなパフォーマンスができる器械体操選手の脳-身体システムは、どのように一般人と違うのかに興味を抱いた。本研究では、一般健常者と器械体操選手の脳-身体システムの機能的差異を、神経科学的手法を用いて比較することを目的とする。

ヒトの脳と身体をつなぐ神経経路(皮質脊髄路)は、脊髄の錐体という部分で交叉するため、右半身は左脳が、左半身は右脳が支配している(=対側性支配)。一方、同じ哺乳類でも、サルの前肢運動には、対側のみならず同側の経路も運動制御に関わっている(=両側性支配)(Kandel et al., 2012)。サルからヒトへと進化する過程において、「前肢」は「上肢」として使用され始めたが、上肢の運動制御を担う神経経路は、対側皮質脊髄路にしぼられ、これによって左右肢の個別的な制御や、物を親指と人差し指でつまむなどの精緻な運動を獲得したといわれている。一方、姿勢制御や歩行などの移動行動の機能は、サルは四足で行っていたのに対し、ヒトでは下肢に限定されるようになった。下肢は、左右肢が独立して動くことは稀であり、左右が協調して働くことが多いため、これに有利な両側性支配となっている。

では、上肢を前肢のようにコントロールし、左右を協調的に働かせ、全身のバランス制御を実現している器械体操選手は、下肢のような、サルの前肢のような、両側性支配が運動の神経基盤としてはたっているのではないだろうか。本研究では、このような器械体操選手の運動制御が、進化の過程で機能的に使われなくなった同側皮質脊髄路の再獲得により、上肢の運動制御が再び両側性支配となることで実現されているのではないかと、という仮説のもと、経頭蓋磁気刺激(Transcranial magnetic stimulation : TMS)を用いてこれを検証した。

2 方法

2.1 被験者

実験は、男子器械体操選手8名(18歳~36歳)、一般健常男性6名(21歳~27歳)を対象に行われた。男子器械体操選手7名は、競技歴8年以上、インカレに出場経験のあるレベルの高い選手を対象とした。残りの1名は、かつて日本代表として、オリンピックにて、男子体操団体優勝経験のある元トップ選手であった。一般健常男性は、器械体操の経験がない者とした。その他スポーツ歴や運動習慣については、制限をしていない。

また、ヘルシンキ宣言(ヒトを対象とする医学研究の倫理的原則)に基づいて作成された説明書を用いて、本研究に関する十分な説明をしたのち、同意の得られた者のみに協力を得た。なお、本実験のプロトコルは、慶應義塾大学総合政策学部・環境情報学部における実験・調査倫理委員会の承認を得ている(受付番号116)。実験前後と実験内のインターバルにおいて、被験者の体調確認もおこなった。

2.2 計測方法

被験者の両側上肢の、第一背側骨間筋(First Dorsalis Interossei, FDI)、橈側手根伸筋(Extensor Carpi Radialis, ECR)、上腕二頭筋(Biceps Brachii, BB)、三角筋(Deltoid, DEL)より、表面筋電図を導出した。TMSにより、外部から強制的に皮質脊髄路の電気的活動を促し、筋電図上にあらわれる運動誘発電位(motor evoked potential : MEP)を計測した。

2.3 手順

被験者には、椅子に座ってもらい、出来る限りリラックスした姿勢をとってもらった。

非利き手の一次運動野のFDIの支配領域を探索し、刺激位置として確定した。運動閾値(Motor Threshold : MT)(50%以上の確率で50 μ VのMEP振幅を誘発できる最低の刺激強度)を探索し、その1.5倍の強度で10回刺激した。

2.4 解析方法

解析は MATLAB で作成したプログラムにてすべておこなった。各被験筋について、10 回分の MEP データを加算平均処理した。定量評価指標としては、MEP 波形の最大値と最小値の差分 (MEP 振幅) ならびに刺激から応答までの時間 (MEP 潜時) を評価した。MEP 潜時に関しては、刺激前の安静状態の MEP の平均と標準偏差をもとめ、その 3 倍を閾値として設定し求めた。

3 結果

3.1 MEP 振幅

2 名の男子器械体操選手については、対側の各筋とともに、同側 DEL にも、顕著な MEP が出現した (図 1)。一方、8 名中 6 名の男子器械体操選手 (図 2) と、一般健常者 (図 3) は、対側の各筋の MEP 振幅は得られたが、同側はすべての筋において MEP 振幅は得られなかった。

3.2 MEP 潜時

先行研究において、対側の上腕の MEP 潜時は 13–15ms といわれているが (Tazoe et al., 2014)、同側 DEL の MEP 振幅が確認できた 2 名の MEP 潜時は、5–7ms で、一般的に言われている時間の半分以下と、驚異的に短かった。同側 DEL の MEP が出現しなかった選手の中でも、対側 DEL の MEP 潜時が 8ms と短い選手もいた。一見、異常な短さではあるが、神経伝達速度は平均 58m/s といわれ、一次運動野の領域から DEL までの距離は 30–35 cm 程度のため、単シナプス結合であれば可能な時間である。

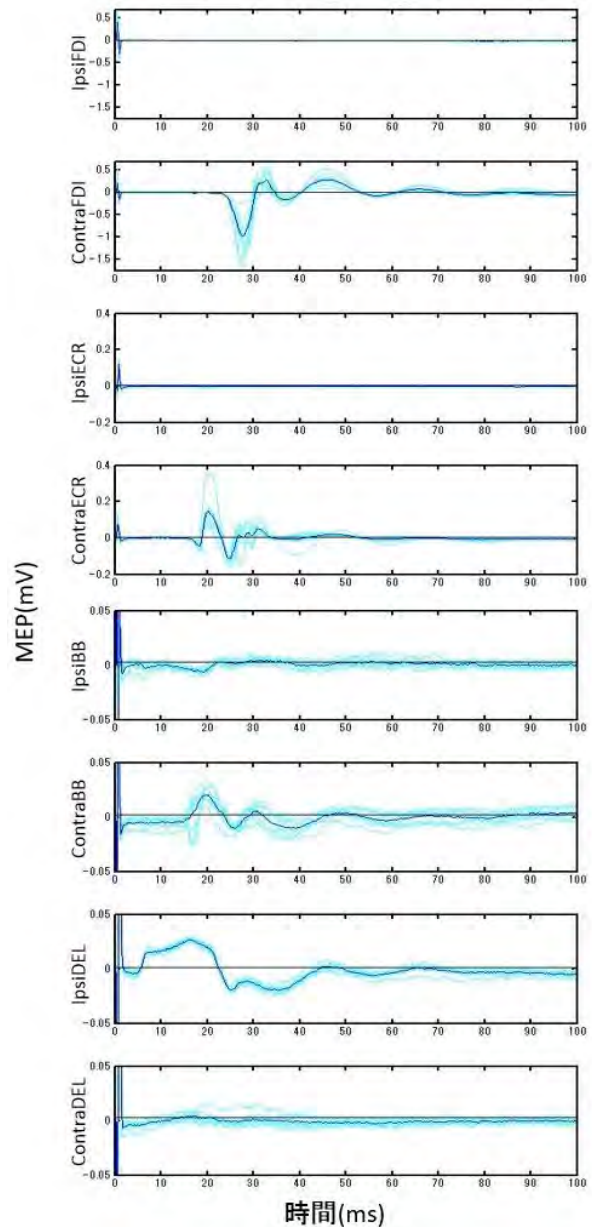


図 1 : MEP 波形 (男子体操選手 (同側 MEP あり))
上から順番に、刺激部位と同側 (Ipsi) 対側 (Contra) の FDI、ECR、BB、DEL の MEP 波形を示す。時刻 0 は刺激時刻を示す。

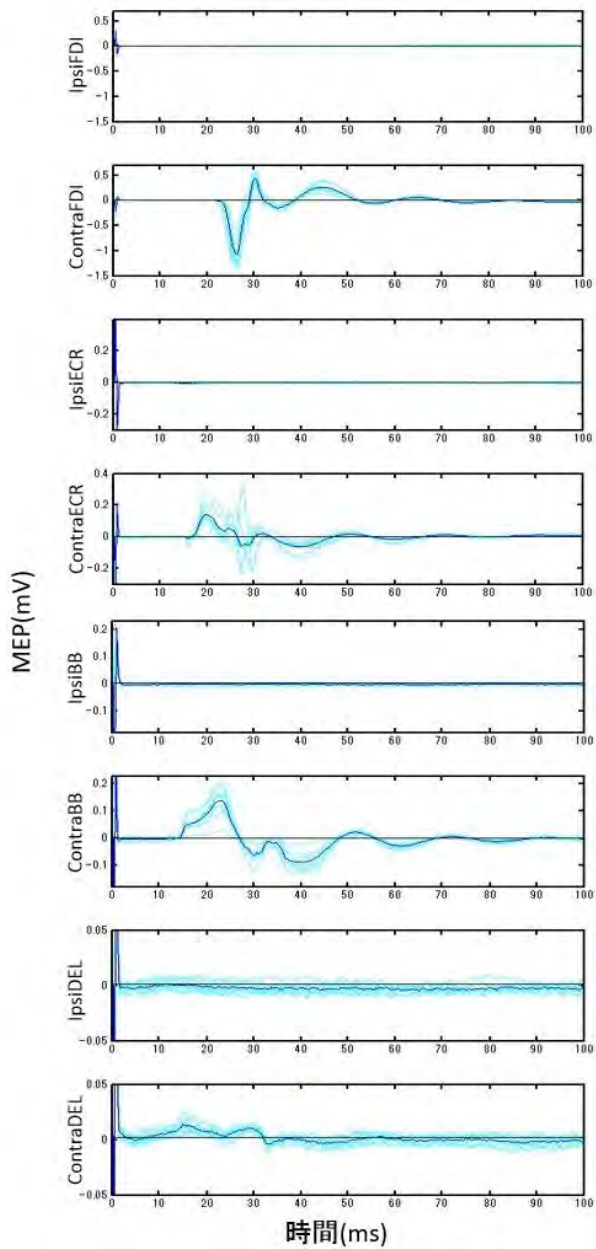


図 2 : MEP 波形(男子体操選手(同側 MEP なし))

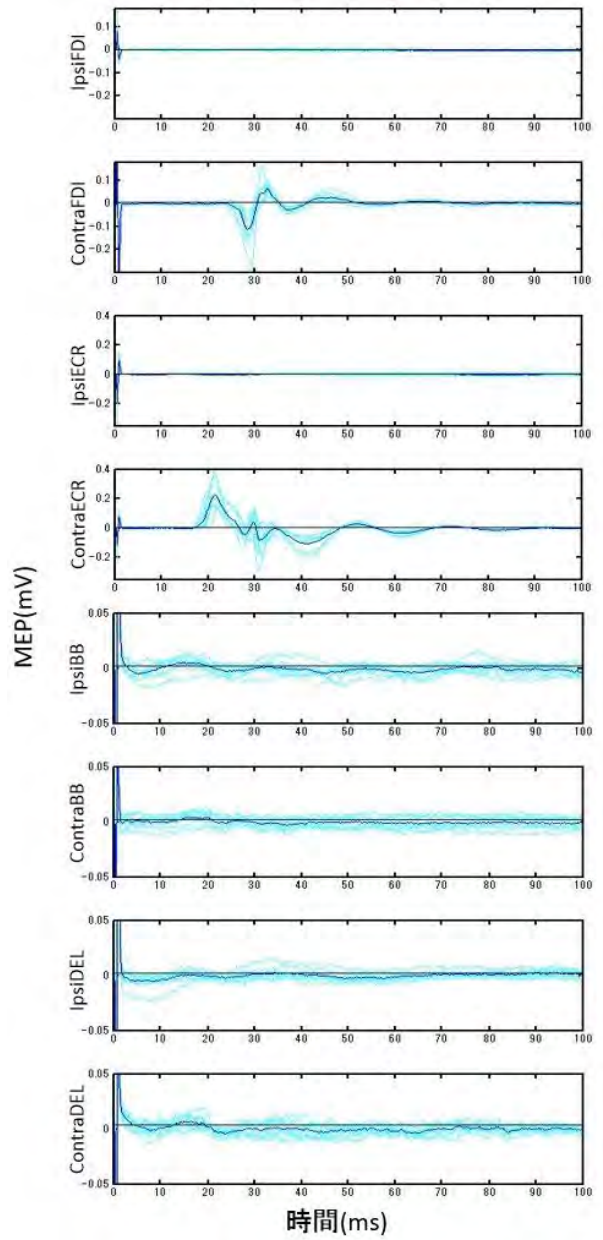


図 3 : MEP 波形(一般健常男性)

4 考察

4.1 MEP 振幅・MEP 潜時

3の結果より、男子器械体操選手2名から同側 DEL の MEP 振幅が得られたが、ほか6名は得られなかった。このことから、器械体操を長年続けていれば、誰もが同側皮質脊髄路が再賦活化するわけではないことが分かった。

MEP 潜時に関しては、とくに同側 DEL の MEP が観察された2名の体操選手において、非常に短い値を示した。これは、皮質と筋との間の結合が単シナプス性のものである可能性を示唆する。高度な運動制御を行うためには、すばやい運動の修正が必要であるため、このような経路を可塑的に獲得した可能性がある。

4.2 体操競技力との関係性

同側 DEL の MEP が得られた2名のうち、1名は元オリンピック金メダリスト、1名も全日本選手権出場者と競技レベルが高いことから、同側皮質脊髄路の再賦活化は、ある程度競技レベルに比例する可能性がある。特に、吊り輪や鞍馬のように、不安定な場所で左右同時に強い力を発揮したり、歩行のように左右交互に支持しながらバランスをとる種目の熟達度が関係してくる可能性があるのではと考えている。

吊り輪の場合、宙吊りにされた2本の輪にぶら下がり、様々な技をおこなう。ただぶら下がるだけでもかなりの力を必要とするが、その状態で技を行う際には、宙吊りの輪を固定するための左右協調した強い力と、バランスを保つための素早い運動の修正が必要である。同側の皮質と近位筋の単シナプス経路が再賦活化することで、運動指令から運動実行までの時間が短くなり、これによって瞬時的なバランス制御を効率化しているのではないかと考えている。

鞍馬の場合、基本的に左右交互に支持をし、バランスをとりながら技を行う。その際に鞍馬上を移動することも多い。これは歩行の動きを上肢で行っているようにも見える。歩行のように左右交互に支持をするにあたって、高度な技になればなるほど左右肢間干渉は必要不可欠であると考えられる。これを実現するうえにおいても、同側皮質脊髄路が再賦活化し、筋が両側性に支配されるようなシステムは都合がいいのではないだろうか。

4.3 今後の検討課題

今回の実験では、非利き手の一次運動野の FDI の領域を刺激して、両側の筋から MEP を計測した。その結果、器械体操選手8名中2名の同側 DEL への MEP が計測できた。しかし今回の実験では、利き手の一次運動野刺激はおこなっていないため、同様の両側性支配が起きているのかは確認しきれていない。また、被験者数が少なく、同側 DEL の MEP が確認できたのは2名しかいないことから、上述の競

技力との関係性を検討するためには、より多くのデータを集める必要がある。

また、今回は安静時に TMS 刺激をおこない MEP を計測する手法をとったが、これはあくまでも刺激によりニューロンを強制的に発火させているにすぎず、随意運動中の脳活動と筋活動の対応関係を検討しているわけではない。機能的評価のためには、脳波や筋電図を用いた電気生理的検討をおこなう必要がある。

このように、データの不足などはあるものの、今まで健康成人の上肢への同側 MEP が計測されたことはなく、今回の実験でこれが計測できたことの意味は大きい。

4.4 結論

本実験では2名のみではあるが、同側 DEL への MEP 振幅が得られた。データ数が不十分であることや、機能的評価をするには追実験をおこなう必要はあり、まだ推測の域を出ないが、器械体操選手のサルのようなパフォーマンスを可能にするには、サルからヒトへ進化する過程で捨ててきた同側皮質脊髄路の再賦活化が起きている可能性が示唆された。

5 引用文献

(1)Kandel E, The Functional Organization of Perception and Movement, Principles of Neural Science, Chapter 16, p353-365, 2012.

(2)[Tazoe T, Perez MA.](#) Selective activation of ipsilateral motor pathways in intact humans. [J Neurosci.](#) 34(42): 13924-13934, 2014.

(3)Bawa P, Hamm JD, Dhillon P, Gross PA. Bilateral responses of upper limb muscles to transcranial magnetic stimulation in human subjects. *Exp Brain Res* 158: 385-390, 2004.

投票行動と合理性

—空間的な差異を考慮した統計モデルを利用して—

中島有希大* (指導教員 古谷知之**)

*慶應義塾大学 総合政策学部 4年 (2017年3月卒業予定)

**慶應義塾大学 総合政策学部

*s13611yn@sfc.keio.ac.jp, **maunz@sfc.keio.ac.jp

キーワード：第47回衆議院議員総選挙、マルチレベルモデル、空間計量経済

1 はじめに

現在、多くの国や地域で採用されている間接（代議制）民主主義は、参政権を持つ有権者による選挙が大きな役割を担っている。そして選挙は、有権者の（一定以上の）合理性を前提としている。選挙の際に行われる政党や候補者間での競争は、有権者が適切に選択しうることを前提にしなければ、成立しえないであろう。

ただし、有権者は本来仕事をはじめとした日常生活があり、政治について検討する時間の割合はわずかな場合が多いと考えられる。そのような有権者に合理的な投票行動は可能なのか、また、有権者に合理性があるとすればその合理性はいかほどなのかを把握することは、民主政治の発展において重要な意味がある。福澤諭吉が愚民の上に過酷な政府が、良民の上に良い政府があり、今の人民によって今の政府があると述べている（福澤 2013）。今の有権者が合理的に選挙において投票をしていれば、それだけ政府は合理的な政治運営を行い、有権者が非合理的に投票を行っていったら、政府は非合理的な政策決定を行ってしまう可能性が大きく高まる。有権者の合理性は代議制民主主義を考察するうえで、非常に重要なファクターなのである。

本研究では、1都3県における第47回衆議院議員総選挙の際の有権者の投票行動、および投票行動の合理性について、アグリゲートデータ（集計データ）を用いて分析を行う。なお、従来の研究では全国一律に効果量などを求める研究がなされてきたが、有権者の合理性が全国一律であるという前提は疑わしく、地域による差が存在していると仮定するほうが自然である。そのため、マルチレベルモデルを用いて、空間的な地域差を考慮して分析を行う。

2 先行研究

有権者の合理性を前提とした研究は数多い。まず、最も有名なものとして、アメリカの政治学者であるライカーとオードシュックによる投票参加モデルがある（Riker and Ordeshook 1968）。彼らのモデルは式(1)である。

$$R = P \times B - C + D \quad (1)$$

自分の1票により選挙結果が変わる可能性(P)と各選択肢（政党・候補者）から得られると期待する効用の差(B)を乗算したのから投票に参加するこ

とで失われるコスト及び機会費用(C)を除き、投票に参加することで得られる民主主義の維持に貢献できる満足感など(D)を加えた合計が、投票に参加することで得られると期待する効用(R)となり、それが正の値をとれば投票に参加し、負の値をとれば棄権をするというものである。

このモデルは、有権者の投票に至る過程をよく表現したものである。しかしながら、自らの1票により選挙が左右される可能性(P)は著しく低く、ほとんどが投票に行かなくなってしまう。合理的に考えれば考えるほど、投票に参加しなくなるのである。有権者の限られた時間と能力を投票のために多くを割くことは非合理的な行動となるため、合理的に政治に対して無知となる合理的無知の状況をも生み出す。

投票の際に、どのように投票先を選択しているかについて、様々な研究がある。非常に理想的だと思われる投票行動モデルは、争点投票モデルである。政策争点に関する評価によって投票をするというモデルである。代表的なのが、アメリカの政治学者であり経済学者でもあるダウنزによる空間モデルである（Downs 1980）。有権者が自分の立場に最も近い政党（候補者）に投票をするというモデルである。しかし、ミシガン大学によるアメリカ大統領選挙に関する分析では、3%しか争点投票をしておらず、最大でも12%の有権者しか争点投票に基づく投票をしていないことが示された（Converse 1968）。

争点投票モデルの限界に対して、有権者の限定的な合理性を前提としたモデルがフィオリーナによる業績投票モデルである（Fiorina 1978）。業績投票モデルとは、経済をはじめ現政権の業績に基づいて投票をするモデルである。業績投票であれば、争点投票モデルに比べて少ない情報量で投票先を判断できる。ただし、現政権に対して信任するような投票行動は説明できたとしても、現政権に不信任するような投票をしようとした際、二大政党制でない日本においてどこに投票するのかを説明することはできない。

さらに、有権者は合理的でないとする一連の研究も存在する。例えば、エイカンとバテルズによる研究である（Achen and Bartels 2004）。彼らの研究では、干ばつやインフルエンザの流行、サメによる人への襲撃といった本来であれば、政府の責任を問う

このできないような問題に関しても政府の業績として現政権の大統領に対して懲罰的な投票を行ってきたことを示し、有権者の業績評価に関する能力を批判している。国政に関する選挙に対する評価軸として天災が含まれることは有権者の合理性に対して大きく疑問が残る。

3 分析

3.1 使用するデータ

本研究では、2014年12月に行われた第47回衆議院議員総選挙（以下、第47回総選挙）の結果を分析する。中でも東京の離島部を除く1都3県（埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県）を対象とする。1都3県の小選挙区は71選挙区（対象から除外した離島部を選挙区とする東京3区を含む）である。第47回総選挙より、小選挙区は全295選挙区となったため、全選挙区の約24.1%が分析対象となる。

本研究では、被説明変数として政権与党（自由民主党、公明党）の有効投票数に対する相対的な得票割合を用いる。与党に対する投票の分析は、上述のような業績投票などとも整合的であるからである。また、説明変数として、投票率や有効政党数を用いる。有効政党数は、式(2)のように計算される。

$$ENP = \frac{1}{\sum v_i^2} \quad (2)$$

各政党（候補者）の相対的得票割合を2乗したものの逆数が有効政党数である。有効政党数はそもそも議会における政党数を計算するものであるが、選挙における候補に応用して利用する。また、有効政党数は投票後にしかわからない数値であるが、候補者数は被説明変数である得票割合を規定する重要な変数であるものの、得票割合の少ないいわゆる泡沫候補（政党）の影響を強く受けてしまう。有効政党数は、式を見てわかる通り、極小政党の影響を小さくすることができるため、有用な変数となる。

また、説明変数として、平成22年国勢調査小地域集計のデータを利用する。本研究の特色の1つであるが、小地域を各自治体、各選挙区に再構成し、集計をし直している。国勢調査からは、老年人口割合や第三次産業割合などを用いている。なお、平成22年は民主党政権時のため、正確には分析に適さないが、平成27年度調査の公開にタイムラグがあるため、リアルタイム性が求められにくい変数を選択している。

そして、国勢調査の他にも平成26年度市町村別決算状況調から各種財政指数や一人当たり交付税交付金、市町村民税個人分、生活保護費などを用いている。さらに各種県警、警視庁から市町村別犯罪認知件数を人口で除した犯罪発生率を利用した。市区町村ごとに数値が公開されている変数については、有権者数で按分している。

変数の選択にあたっては、直接国政による影響の

少ない変数も説明変数の候補としている。なぜならば、先行研究でもあげたように、国政に関係のない変数が被説明変数である得票割合に影響を与えていれば有権者の合理性に対する疑義が強まり、影響を与えていなければ、有権者の合理性に一定の信頼を置くことができるからである。

3.2 分析の方法

従来の研究では、説明変数の係数を一律に捉えられてきたことが多かった。分析対象は同じ行動原理によって行動していると仮定されていたのである。しかし、有権者の合理性がすべての地域で一律であると仮定することは難しい。そこで地理空間的に異なることを考慮する必要がある。

政治学の分野において地域的な差に着目した研究として、小林による研究とその追証的研究である加藤による研究がある(加藤 2002; 小林 1985)。彼らの研究は、人口や経済、文化など様々な指標をもとに主成分分析を行い、地域特性を導出しそれをもとに得票割合などの関係を示している。また、中選挙区制の分析がメインであるが水崎と森による研究では地域的偏向を扱っている(水崎・森 2007)。また、地理学の分野では、京都市議会議員選挙の結果を用いて、近隣において投票傾向が類似する近隣効果を示した小長谷の研究がある(小長谷 1995)。

以上のように、地理空間的な差異に着目することは意味があると考えられる。地域的な差異に着目した学問分野として空間計量経済学がある。空間計量経済学では、地理情報システム(Geographic Information System)などを用いて、地理空間的な影響を考慮した分析を行っている。日本の選挙を扱った研究においてGISを利用するものは坂口と和田の研究のようにごく一部にはあるものの(坂口・和田 2007)、管見の限り日本の選挙の分析において空間計量経済学的手法を用いて地理空間的な差異を考慮したモデルを用いて分析している研究は見当たらない。

空間計量経済学の分野において、地域的な差異を考慮するモデルとして、マルチレベルモデルを利用することが提案されている(古谷 2011)。そこで本研究では、分析の方法としてマルチレベルモデル(線形混合モデル)を用いる。中でも階層線形モデルを用いる。有権者の合理性が一律に規定されるのではなく、近隣効果による影響を考慮するため、地域ごとに独立した切片と傾きを算出する。

3.3 分析の結果

まず、一人当たりの市町村民税個人分といった国政とは関係がないと思われる変数については有意な結果とならなかった。

有意な結果が出たものとして有効政党数や投票率が挙げられる。有効政党数については、埼玉県西部や神奈川県南部、千葉県北部などで負の係数とな

っており、埼玉県南部や神奈川県横浜市、川崎市、千葉県東部などで正の係数が算出されている。投票率については、埼玉県東部や北部秩父地域、横浜市、川崎市などで負の係数となっている。埼玉県西部や東京都城西地域、城南地域、都心部などでは正の係数となっている。

また、老年(65歳以上)人口割合、第三次産業人口割合なども有意となった。ほかにも実質収支比率などといった財政指標も影響を与えていることがわかった。地域によって、影響力に大きな差異があるのが一人当たり特別交付税交付金や一人当たり老人福祉費である。一人当たり老人福祉費については、埼玉県東部、横浜市、川崎市などで比較的強い正の係数となっており、神奈川県南部、千葉県北部などでは、比較的強い負の係数となっている。

さらにわずかながら、犯罪発生率も得票割合に影響を与えていた。

4 考察

国政と関係がない変数が有意とならなかったことで、有権者の非合理性は深刻なものであるとの疑いは晴れることとなった。また、一人当たり市町村たばこ税も有意とはならなかったことで、個人的な経済的な負担などに基づいて投票をする(pocketbook voting)ということはないといえる。

有効政党数については、選択肢が増えれば与党への投票割合は減少するというのは当然である。ただし、有効政党数の計算式上、影響が出やすいということは考慮すべきであり、割引いて考えるべきである。ただし、正の係数となった地域については、有効政党数が増えたとしても与党の地盤を崩すことなく、野党の票が割れるような地域となっていることが考えられる。投票率については、必ず投票をする層と投票をしないか不確定である層とは異なる選好が存在する可能性が示唆される。

各種財政指数については、有権者の合理性に若干の疑問の余地が残ることが示唆された。国による補助など国政が影響している面もあるであろうが、よりそれぞれの自治体による影響が強い分野であり、さらなる研究の余地が残される。

一人当たり交付税交付金などは、その是非はともかく、有権者が合理的に行動していることが示される。補助金政治などと揶揄されることもあるが、有権者としては投票をすることでそれだけの利益を受けられるのであれば、その利益の教授のために投票をしたとしても非合理であると批判することはできないであろう。その補助金についてもそれに対してより好意的に投票をする地域とそれに対して忌避的な投票をする地域とに分かれるというのは興味深い点であり、より一層の研究が求められる。

全体的な総評としては、有権者の合理性には一定程度の信頼がおけるのではないかと考えられる。

5 今後の課題と結びに変えて

本研究において、1都3県における有権者の合理性には一定程度の合理性が認められるのではないかということが示された。ただし、本研究では、業績評価における重要な指標である経済状況について示す変数が欠けており、平成27年国勢調査小地域集計の結果が開示され次第、完全失業者数などといったデータを使用して、さらなる分析を進める必要がある。

課題は残る本研究であるが、各小選挙区、各自治体というより細分化された規模で分析を進め、なおかつ空間計量経済学的な分析をするという今までにない分析ができたという点で価値があったものとする。

6 引用文献

- 加藤元宣. 2002. 「小選挙区の地域特性に基づく2000年衆院選の分析」 『選挙研究』 17: 154- 170, 207.
- 小長谷一之. 1995. 「都市社会における投票行動の近隣効果-1991年京都市議選の分析-」 『地理学評論』. Ser. A 68(2): 93- 124.
- 小林良彰. 1985. 『計量政治学』. 成文堂.
- 坂口利裕・和田淳一郎. 2007. 「GISを活用した投票率の分析」 『公共選択の研究』 (48): 18- 35.
- 福澤諭吉. 現代語訳 伊藤正雄. 2013. 『現代語訳 学問のすすめ』. 岩波書店.
- 古谷知之. 2011. 『Rによる空間データの統計分析』. 小暮厚之・照井伸彦編. 朝倉書店.
- 水崎節文・森裕城. 2007. 『総選挙の得票分析: 1958-2005』. 木鐸社.
- Achen, Christopher H., and Larry M. Bartels. 2004. “Blind Retrospection. Electoral Responses to Drought, Flu, and Shark Attacks.” *Estudio/Working Papers (Centro de Estudios Avanzados en Ciencias Sociales)* (199): 1.
- Converse, Philip E. 1968. 「国民大衆における信条体系の性格」 David Ernest Apter編. 『イデオロギーと現代政治』, 慶應通信.
- Downs, Anthony. 1980. 『民主主義の経済理論』. 成文堂.
- Fiorina, Morris P. 1978. “Economic Retrospective Voting in American National Elections: A Micro-Analysis.” *American Journal of Political Science* 22(2): 426-43.
- Riker, William H., and Peter C. Ordeshook. 1968. “A Theory of the Calculus of Voting.” *American Political Science Review* 62(1): 25-42.

ブロックチェーンを用いた3Dプリントにおける製造情報保存システムの提案

阿部涼介* (指導教員 村井純**)

*慶應義塾大学 総合政策学部 4年 (2017年3月卒業予定)

**慶應義塾大学 環境情報学部

*s13033ra@sfc.keio.ac.jp, **jun@sfc.keio.ac.jp

キーワード：デジタルファブリケーション, 3Dプリント, 製造責任, ブロックチェーン

1 イントロダクション

デジタルファブリケーションとは、3Dプリンタやレーザカッターといったコンピュータに接続されたデジタル工作機器を用いて3Dモデルから実際に物を整形する技術のことである。近年、コンピュータの普及とともに、3Dプリンタやレーザカッターといったデジタル工作機器が特許失効などの理由で安価かつ小型になり、3Dモデリングのソフトウェアもオープンソースのものが現れ、個人がデジタル工作機器を用いて手軽に製造が行える環境ができつつある。中でも、3Dプリンタの市場規模は2019年には26億ドル超となるとされ、急速な市場成長からもその普及が読み取れる[1]。しかし、現在のデジタルファブリケーションでは製造責任の追及可能性および知的財産権の保障は担保されていない。本研究では、ブロックチェーンを用いて3Dプリントの製造物の情報をP2Pアーキテクチャ上に保存し、製造責任の追及および知的財産権を保障できるシステムを構築する。

2 目的

本研究の目的は、3Dプリンタが一般化し、パーソナルファブリケーションと呼ばれる分散的なものづくり環境において、製造物の製造情報をP2Pアーキテクチャ上に保存し、製造責任の追及および知的財産権を保障できるシステムを構築することである。

2.1 パーソナルファブリケーション

デジタルファブリケーションの普及の中、3Dモデル共有サービスThingiverse[2]などインターネットを通じて“作る方法”の共有も進んでいる。単に製造するだけでなく、アップロードされている3Dモデルを自分の使用環境に合わせて改変し3Dプリンタで

製造することも可能となっている。そうした個人的なものづくりを行うパーソナルファブリケーションも急速に普及している[3]。

2.2 製造責任と知的財産権に関する法制度

2.2.1 製造責任

製造責任とは、製造物責任法第一条によれば“製造物の欠陥により人の生命、身体又は財産に係る被害が生じた場合における製造業者等の損害賠償の責任”のことである。この法律では製造物の欠陥が過失であるかに関わらず、製造物が危険なものであればその責任が問える無過失責任であるとしている。制定当時、その理由としては、以下の三点が挙げられた[4]。

- ・ 危険責任: 製造物の情報を消費者より製造者は知り得るため
- ・ 報償責任: 製造者は製造物により利益を得るためそこから生じる責任を負うべきである
- ・ 信頼責任: 製造者は自己の製品の安全性をPRしており、消費者はその品質が担保されていると期待する

2.2.2 知的財産権

知的財産とは、知的財産権法第二条によれば“発明、考案、植物の新品種、意匠、著作物その他の人間の創造的活動により生み出されるもの(発見又は解明がされた自然の法則又は現象であって、産業上の利用可能性があるものを含む)、商標、商号その他事業活動に用いられる商品又は役務を表示するもの及び営業秘密その他の事業活動に有用な技術上又は営業上の情報”のことである。著作権法、特許法、実用新案法、意匠法などにより製造物の知的財産権は保障され、権利者に無断な複製および製造を制限している。

2.3 関連研究

製造責任法および知的財産権に関する法制度は、現在のパーソナルファブ리케이션のような、個人におけるものづくりに対してそぐわない面があると指摘されている[5].今後法制度の見直しを含めて検討する必要はあるものの、コンピュータを用いたものづくりである点を活用した“ものの製造過程・利用状況のトレース”による製造責任および知的財産権の明確化を行う必要がある.既存の集中生産ではなく分散的なものづくりに関する製造情報の管理が必要であり、そのためには生産者による集中管理ではなく、分散型の製造情報管理が必要である.

デジタルファブ리케이션における製造情報の管理手法として、3Dプリントを行う際に製造物にRFIDを埋め込む技術の研究が行われている[6].プリント中にRFIDを埋め込み、IDを製造物自体に付与することで、その製造情報を管理するサーバへ問い合わせる形で閲覧し、追跡可能性を担保する.こうした技術を用いることで製造物にIDを埋め込むことが可能であり、IDと紐付けられるデータを追跡可能な形で管理するかが課題である.

3 手法

パーソナルファブ리케이션環境における製造責任の追及および知的財産権の保障に必要な要求は以下である.

- ・ 分散性 分散的なものづくり環境に適した分散的なデータ管理
- ・ 追跡可能性 製造物からの製造情報の追跡可能性の担保
- ・ 完全性 製造情報の改ざんがされず完全性を保つデータ管理

これらを満たすことで個人がものづくりを行う環境で、個人だけにデータの管理を任せることなくP2Pアーキテクチャ上でデータの完全性を保ちつつ追跡可能性を保障したシステムを構築できる.

以上の要求を満たすシステム構築のために、本研究で用いるブロックチェーン技術を概説し、構築するシステムの概要を述べる.

3.1 Bitcoinとブロックチェーン技術

2008年にSatoshi Nakamotoによって発明されたBitcoin[7]は、P2Pネットワーク上で、権威を持つサーバを作らずに自分が保有する通貨の支払いを誰にも止めさせず、ブロックチェーンと呼ばれるP2Pネットワーク上で各ノードが唯一正しいと認める公開台帳を形成し、不正な二重支払いも行えないデジタ

ル通貨システムである(以下Bitcoinのシステム全体をBitcoin,Bitcoinで扱われるデジタル通貨についてBTCと示す).

ブロックチェーンの実態は、公開鍵暗号による電子署名で表現された2者間の取引データの集合をブロックとし、ブロックのハッシュ値を次のブロックに含めることで、ブロックを連鎖させたものである.Bitcoinにおいてはブロックチェーンに格納された取引データは承認済みとなり、承認された取引データに含まれるBTCは使用済みとすることで、二重支払いを不可能としている.また、Proof-of-Work(PoW)と呼ばれる仕組みで、計算パワーを投入し暗号パズルの解を求めなければブロックを生成できなくすることで、最長のチェーンが最も承認回数が多い信頼出来るものであるとしている.もし、攻撃者が取引データを改ざんし、新たなブロックを作成、チェーンを分岐させたとしても、改ざんした取引データを含むチェーンが既存の最長のチェーンを追い越し、最長のものとなるまでブロックの生成を行わなければならない.そのため、攻撃者がマイナー全体に対して過半数を占める膨大な計算パワーを投入しなければならず、改ざんは現実的ではない.

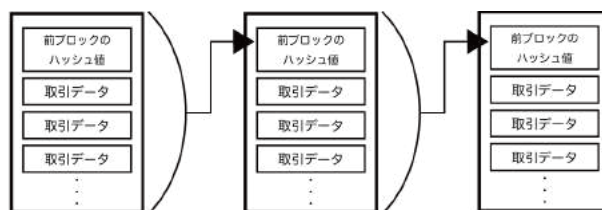


図1:ブロックチェーンの構造

3.2 ブロックチェーン技術の応用

Bitcoinのブロックチェーン上にスクリプトを埋め込むことで様々な応用が考えられている.Proof of Existence[8]は、文章ファイルのハッシュ値を取引データの中に書き込みブロックチェーンに格納することによって、取引データがブロックチェーンに格納された時に文章ファイルが存在していたことを証明できるサービスである.ブロックチェーン格納後にある時点で文章が存在を証明する際は、当該取引データが格納されているブロックを参照し、ハッシュ値を照合することで検証できる.

これは、Bitcoinの取引データの中に単なる取引情報の他に任意の短いデータを格納できることを利用したものである.しかし、Bitcoinブロックチェーンを用いた応用アプリケーションは、取引データ上に書き込めるスクリプトがチューリング完全性を欠

いていることから限界がある.そのため,ブロックチェーンを用いた高度なアプリケーションを開発するためには独自にブロックチェーンを構築する必要がある.

3.3 Ethereum

Ethereumは,ブロックチェーン上でチューリング完全なプログラム言語で書かれたプログラムを実行でき,アプリケーション毎にブロックチェーンを構築せずともブロックチェーンを用いた高度なアプリケーションを開発できるプラットフォームである[9].Ethereum上では外部所有アカウント(Externally Owned Account,EOA)とコントラクトアカウント(Contract Account,CA)と呼ばれる2つのアカウントが存在する.EOAは単に内部通貨ETHの残高を管理し,CAはアルゴリズムを記述するためのコードとその保存領域を持ち,各アカウントからメッセージを送信することでCA上のプログラムを実行できる.Ethereumでは主にSolidityというJavaScriptによく似たプログラミング言語が使われる.Solidityにより記述されたコードはコンパイルされ,CAが実行できる形として保存される.

3.4 提案システム概要

本研究では,本節冒頭で述べた分散性,追跡可能性,完全性を担保しつつ製造物の製造情報管理システムを構築する.そこでブロックチェーンを用いることで,P2Pアーキテクチャの分散性,また製造物と紐付けられたIDからブロックチェーンを参照することによる追跡可能性,ブロックチェーンによるデータ改ざんへの高耐性という完全性を実現できるだろう.具体的には,3Dプリンタと3Dプリンタ制御のため接続されたRaspberryPiを一つのブロックチェーンノードとすることで,3Dプリントを行う際に製造物のメタデータをブロックチェーン上に保存するという手法を用いる.製造されたものに埋め込まれたIDからブロックチェーン上のデータを読み出すことで,製造物の製造情報を参照することができる.

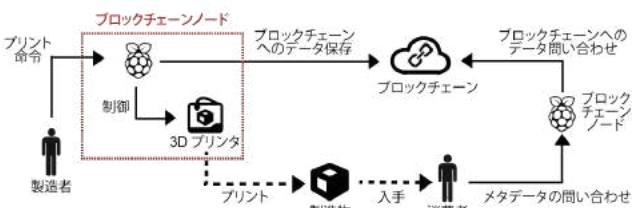


図2:システム概要図

4 実装

4.1 利用するソフトウェア

4.1.1 3Dプリントの制御

本システムでは,3Dプリンタを制御するシステムとして,Octoprint[10]を用いる.Octoprintはオープンソースの3Dプリンタ制御ソフトウェアであり,RaspberryPiに導入し3Dプリントを行うことができる.3Dモデルの形式は,3Dプリント実行時のプリンタ制御コマンド体系のG-CODE形式で入力を行う.多くの機能がRESTfullなAPIで実装されており,3Dプリンタを制御しながら他のアプリケーションへ容易に連携させることが可能である.

4.1.2 Ethereumへのデータ保存

本システムでは,ブロックチェーン上でメタデータを保存する方法として,Ethereum上のコントラクトとして保存する.Ethereumのクライアントとしては,Go言語で実装されたGeth[11]を用いる.GethはJSON-RPCによるAPIが実装されており,プログラムから制御できる.

4.2 データ登録システムの実装

ユーザが3Dプリントを行う際のシーケンス図を以下に示す.ユーザが3Dプリントを命令した際にJSON-RPCよりEthereum上にコントラクトをデプロイし,そのコントラクトアドレスをプリントされる製造物のIDとする.このIDを製造物の内部に埋め込まれたRFIDに記録することで,製造物からコントラクトを呼び出すことができ,追跡可能性を担保する.デプロイされたコントラクトは実際にブロックへ格納され検証済みとなることで,後日改ざんすることは困難になる.

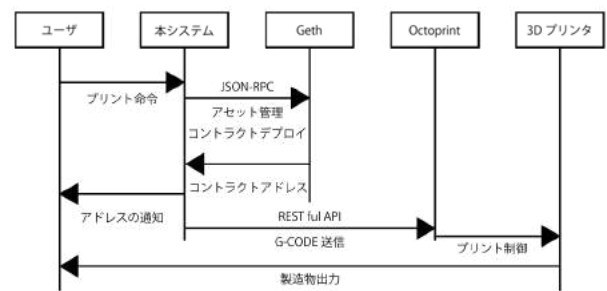


図3:システムのシーケンス

5 評価

今回の提案システムは,2.4節で述べた要件をそれぞれ単独の3Dプリンタ,RFIDを埋め込むことのできる3Dプリンタと定性的に比較を行うことで評価する.

5.1 分散性

単独の3Dプリンタについて考えると、プリントのログは3Dプリンタの内部もしくは3Dプリンタを制御するコンピュータに保存されるため、データの分散性は担保できない。また、RFIDを埋め込むことのできる3Dプリンタにおいても、メタデータの保存は分散的にはならず、単独の3Dプリンタと同様である。提案システムを用いた3Dプリンタは、P2Pアーキテクチャであるブロックチェーンにメタデータを保存するため、データの分散性が担保される。

5.2.2 追跡可能性

単独の3Dプリンタは、メタデータと製造物の紐付けは行われず、追跡可能性は担保されない。RFIDを埋め込むことで、メタデータと製造物のデータの紐付けが行われ、追跡可能性が担保される。本研究の提案システムにおいても、RFIDなどによってIDを付与し、ブロックチェーン上のデータを参照するため、データの追跡可能性が担保される。

5.2.3 完全性

単独の3Dプリンタ、およびRFIDを埋め込むことのできる3Dプリンタは、その保存されたデータの保存方法によってデータが完全性は影響を受ける。本研究の提案システムではブロックチェーンを用いるため、データを改ざんには不正な情報訂正を行わなければならない、参加ノードの50%以上の計算パワーを投入し、不正な情報訂正を認めない限り改ざんはできない。そのため、改ざんには十分な耐性を持っていると言える。

表1:各項目評価の比較

	分散性	追跡可能性	完全性
単独の3Dプリンタ	×	×	×
RFIDを埋め込む3Dプリンタ	×	○	×
本システム	○	○	○

6 結論

本研究では、デジタルファブリケーションの普及に伴い、既存のメーカーが大量生産したものを消費するモデルとは違う、個人的なものづくりを行うパーソナルファブリケーションが積極的に行われる分散的のものづくり環境において、製造責任の追及および知的財産権の保障を担保する3Dプリントシステムをブロックチェーンを用いて構築した。パーソナルファブリケーションにおける製造責任の追及お

よび知的財産権の保障を担保するには、分散的なデータ管理、追跡可能性、改ざんへの高耐性が求められる。P2Pアーキテクチャ上で高い改ざん耐性を持つブロックチェーン上に3Dプリント実行時にデータを保存することで、既存の単独の3Dプリンタ、RFIDを埋め込むことのできる3Dプリンタと比較して、要求を満たすシステムが構築できたと評価する。

7 参考文献

- [1] Worldwide spending on 3d printing forecast to grow at a compound annual rate of 27 <http://www.widc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS40960716>, 2016.
- [2] Thingiverse. <http://www.thingiverse.com/>.
- [3] Catarina Mota. The rise of personal fabrication. Proceedings of the 8th ACM conference on Creativity and cognition, pages 279–288, 2011.
- [4] 消費者庁. 第13次国民生活審議会 消費者政策部会報告 製造物責任制度の在り方. http://www.caa.go.jp/seikatsu/shingikai2/kako/spc13/houkoku_g/spc13-houkoku_g-4-1.html, 1992.
- [5] 総務省. 「ファブ社会」の展望に関する検討会 報告書. http://www.soumu.go.jp/main_content/000299339.pdf, 2014.
- [6] Ken Fujiyoshi, Chihiro Fukai, Hiroya Tanaka, Jin Mitsugi, and Jun Murai. Rfid 3d printing objects that connote information. NIP & Digital Fabrication Conference 2014 1, pages 316–319, 2014.
- [7] Satoshi Nakamoto. Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. <http://www.cryptovest.co.uk/resources/Bitcoin%20paper%20Original.pdf>, 2008.
- [8] Proof of existence. <https://proofofexistence.com/>.
- [9] Vitalik Buterin. "a next-generation smart contract and decentralized application platform." white paper. https://www.weusecoins.com/assets/pdf/library/Ethereum_white_paper-a_next_generation_smart_contract_and_decentralized_application_platform-vitalik-buterin.pdf, 2014.
- [10] Octoprint. <http://octoprint.org/>.
- [11] geth. <https://github.com/ethereum/go-ethereum/wiki/geth>.

腸内細菌データがもたらす次世代医療の可能性

○増田貴宏* (指導教員 富田勝**)

*慶應義塾大学 環境情報学部 4年 (2017年3月卒業予定)

**慶應義塾大学 環境情報学部

*t13847tm@sfc.keio.ac.jp, **mt@sfc.keio.ac.jp

キーワード：腸内細菌, コハク酸, 肝障害, 医療

1 概要

ヒトの腸管内に生息する多種多様な腸内細菌は、ヒトの健康状態に大きな影響を及ぼすことから、近年では1つの臓器として見なされるほど重要視されている。その一方、未だその包括的な理解はなされておらず、その全貌は今も多くの謎に包まれている。本研究では、バランスの乱れた腸内細菌叢から産生されるコハク酸が、肝臓に発現するGタンパク質共役受容体を介して肝障害を引き起こし、肝疾患の発症や増悪に寄与するという新たな可能性を見出した。 本研究成果は、腸内細菌叢を標的とした薬に非依存的な新たな肝疾患医療戦略へと発展することが期待される。

2 研究背景

ヒトの体のいたるところには無数の微生物が生息しており、特に腸管内には数百種類以上でおよそ100兆細胞もの腸内細菌が生息していることが知られている。これらの腸内細菌は、宿主の消化の補助や免疫系の構築などにより、宿主の恒常性維持に大きく貢献している一方で、食習慣や生活習慣の乱れによりそのバランスが崩れると、炎症性腸疾患や大腸癌などの腸管疾患に加え、肥満や肝臓癌、糖尿病などの全身における多様な疾患の発症につながることを報告されている [1]。このように腸内細菌はヒトの健康状態に大きな影響を及ぼすことから、腸内細菌叢と呼ばれる腸管内の微生物生態系は、近年では1つの臓器として見なされるほど重要視されている。その一方、未だその包括的な理解はなされておらず、その全貌は今も多くの謎に包まれている。

従来の腸内細菌研究においては、菌種ごとに固有な16S rRNA 遺伝子配列の解読に基づいた菌種の解析が主として行われており、大規模なヒト腸内細菌叢解析としてはMetaHITプロジェクトなど、腸内細菌叢の菌種の構成と宿主に与える影響との関係性について多くの研究がなされてきた。しかしながらこれらの細菌叢解析の研究成果は、健康な人や特定の疾患患者に特徴的な腸内細菌叢の構成を示すだけであり、その分子メカニズムについてはほとんど解明することができずにいた。

そのような中、代謝物質を網羅的に解析することが可能なメタボローム解析技術の発達に伴い、近年の研究では、腸内細菌が産生する代謝物質を介して

宿主に及ぼす影響が大きな注目を浴びている。腸内細菌は宿主が消化吸収することのできない食物繊維を基質として腸管内で嫌気発酵を行っており、この最終代謝産物として、酢酸、酪酸、プロピオン酸などの短鎖脂肪酸や、乳酸やコハク酸といった有機酸を産生している。これらは腸管内において mM オーダーの高濃度で産生されている数少ない代謝物質であり、近年ではこれらの腸内細菌叢由来の短鎖脂肪酸や有機酸が腸管から吸収された後に、宿主に対して様々な生理機能をもつことが明らかとなってきた。その代表例としては、ビフィズス菌が産生する酢酸が腸管のバリア機能を高めて病原菌の感染を防ぐことや [2]、クロストリジウム目細菌が産生する酪酸が過剰な免疫反応を抑制する制御性 T 細胞を誘導することで腸炎を防ぐことなどが報告されている [3]。

このように、近年の腸内細菌研究においては腸内細菌叢の菌種、代謝物質、宿主に与える影響という3者の複雑な相関関係を調べることで、今まで解明することのできなかつた腸内細菌を介した宿主の生体修飾機構を解明することが可能になってきている。また腸内細菌叢の構成は、宿主の食事やヨーグルトに代表される有用細菌を摂取するプロバイオティクスにより大きく変化することが報告されている。従って、これらの腸内細菌叢を介した生体修飾機構の解明は、腸内細菌叢を標的とした薬に非依存的な疾患の予防及び治療戦略として次世代医療に大きく貢献する可能性が期待されている。

そこで我々は、次世代医療に貢献するような腸内細菌叢を介した新規生体修飾機構の解明を目指し、未だに宿主に及ぼす影響が明らかとなっていない腸内細菌叢由来のコハク酸に着目して研究を行ってきた。コハク酸はバクテロイデス属細菌などのいわゆる悪玉菌により産生され、酢酸、酪酸、プロピオン酸などと同様に腸管内において高濃度で産生されている代謝物質である。また肥満や腸炎などの発症に伴って増加することが報告されていることから、宿主に悪い影響を及ぼす代謝物質である可能性が示唆されている一方で、その機能の詳細や作用メカニズムは未だ明らかとなっていない [4, 5]。そこで我々は、マウスを対象とした複数の動物試験を行い、腸内細菌叢由来のコハク酸を介した新規生体修飾機構の解明を目指した。

3 研究内容

3.1 腸管から吸収されたコハク酸が宿主に及ぼす生理機能の検討

本研究では初めに、腸管から吸収されたコハク酸が宿主にどのような生理機能を及ぼすのかを解明することを目的として、マウスへ 200 mM コハク酸水溶液の飲水投与試験を 2 週間行った。その結果、水道水を投与した対照群と比較して、有意な体重の減少が認められた (図 1)。

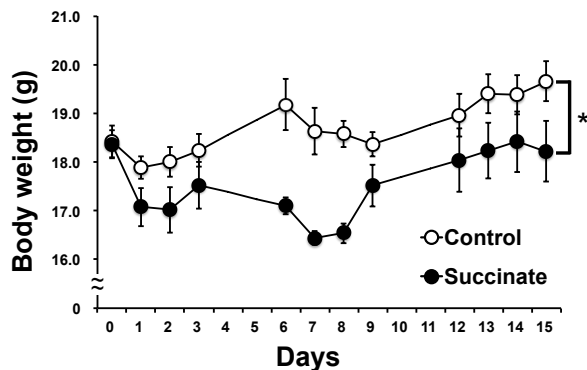


図 1: コハク酸の飲水投与による体重の変化

マウスの 2 週間の体重変化を折れ線グラフで示した。水道水を投与した対象群 (Control) を白、200 mM のコハク酸飲水投与群 (Succinate) を黒でプロットした。各群 5 匹のマウスの体重の平均値としてプロットし、標準偏差をもとにエラーバーを記した。2 群間の有意差は反復測定 の 2 元配置分散分析により検定を行い、* $P < 0.05$ で 2 群間に有意差を示した。

この結果を受けて、体重減少をもたらした要因を検討することを目的として、体重減少に伴う全身性の代謝プロファイルの変化を調べるためにマウスの血漿のメタボローム解析を行った。

その結果、様々な肝疾患の発症に伴って亢進することが報告されているグルタミン代謝やメチオニン代謝の亢進、マウスにおける急性肝炎のバイオマーカーとして報告されているオプタルミン酸の有意な増加などが認められ、腸管から吸収されたコハク酸が肝臓において代謝異常を誘導した可能性が示唆された (図 2) [6]。また腸管から吸収された腸内細菌叢由来代謝物質は、門脈を通過してまず肝臓に流入することから、肝臓では腸内細菌叢由来代謝物質の影響を強く受けることが知られている。従って本研究においても、腸管から吸収されたコハク酸が肝臓に影響を及ぼした可能性が高いと推察された。

□ = Control ■ = Succinate

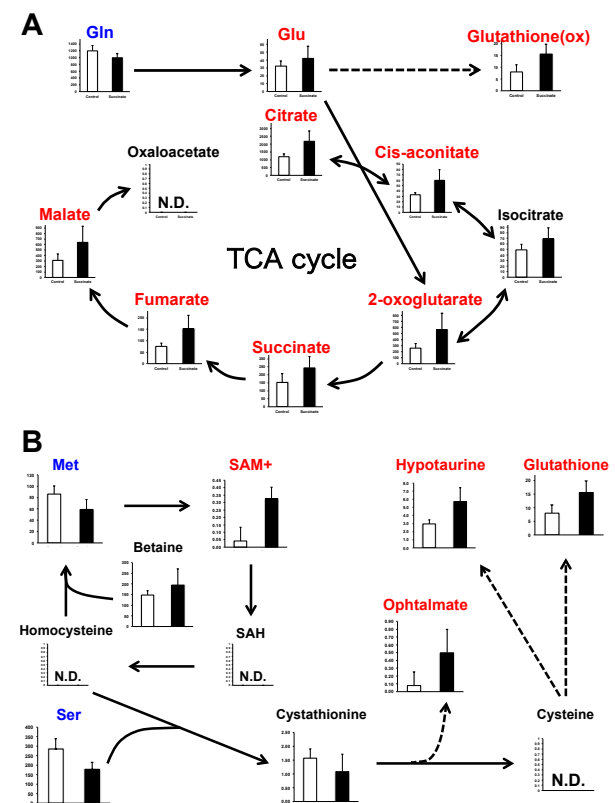


図 2: コハク酸の飲水投与による血漿メタボロームの変化

マウスの血漿のメタボローム解析の結果、亢進が認められたグルタミン代謝 (A) とメチオニン代謝 (B) の代謝パスウェイを示した。各群 5 匹のマウスにおける各代謝物質の平均濃度を棒グラフで示し、標準偏差をもとにエラーバーを記した。水道水を投与した対象群 (Control) を白、200 mM のコハク酸飲水投与群 (Succinate) を黒で示した。マンホイットニーの U 検定により $P < 0.05$ で有意な増加の認められた代謝物質名を赤字、有意な減少の認められた代謝物質名を青字で示した。

3.2 腸管から吸収されたコハク酸が肝臓に及ぼす影響の解明

続いて、コハク酸の飲水投与により代謝異常が誘導された可能性が示唆された肝臓において、腸管から吸収されたコハク酸が及ぼす影響とその分子メカニズムの検討を行った。先行研究において、肝臓に 5-8% 存在する線維芽細胞である肝星細胞にはコハク酸受容体の G タンパク質共役型受容体 91 (G protein-coupled receptor 91; GPR91) が発現し、コハク酸はこの GPR91 を介して肝星細胞を活性化することが報告されている [7]。活性化された肝星細胞は、I 型コラーゲンなどの細胞外マトリックスなどを多量に産生することにより、肝障害や炎症、肝臓の線維化を誘導することが知られており [8]、腸管から吸収されたコハク酸がこの GPR91 を介して肝星細胞の活性化を誘導した可能性が推察された。そこで、マウスへ 20 mM と 100 mM コハク酸水溶液の飲水投与試験を 2 週間行い、採取したマウスの肝臓組織において活性化された肝星細胞が高発現す

ること知られるタンパク質の mRNA 発現量を RT-PCR により測定した。

その結果、活性化した肝星細胞が高産生することで知られる TGF- β (Transforming growth factor- β) や CTGF (Connective tissue growth factor) などの肝臓の線維化に寄与する成長因子、細胞外マトリックスの分解を阻害する酵素の TIMP-2 (Tissue inhibitor of matrix metalloproteinase-2), I 型コラーゲンの前駆体の COL1A1 (Collagen type 1 α 1) の mRNA 発現量において、コハク酸濃度依存的に有意な増加が認められた (図 3)。従って、腸管から吸収されたコハク酸は肝星細胞に発現する GPR91 を介して肝星細胞の活性化を誘導し、肝障害や炎症、肝臓の線維化を誘導した可能性が示唆された。また活性化された線維芽細胞では、グルタミン代謝が亢進することが報告されており、血漿のメタボロームの結果認められたグルタミン代謝の亢進は、この肝星細胞の活性化に起因するものと推察された [9]。さらに、肝障害が起きた際の表現型の 1 つとして体重の減少が知られていることから、コハク酸の飲水投与により認められた体重の有意な減少も、この肝星細胞の活性化に起因するものと推察された。

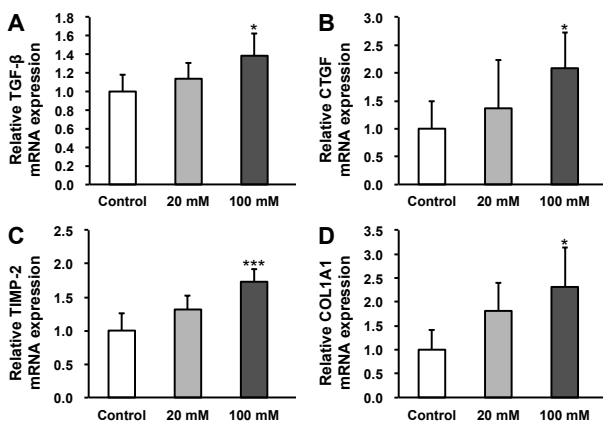


図 3: コハク酸の飲水投与による肝臓の mRNA 発現量の変化
それぞれマウスの肝臓組織における (A) TGF- β , (B) CTGF, (C) TIMP-2, (D) COL1A1 の mRNA 発現量を棒グラフ示した。水道水を投与した対象群 (Control) を白, 20 mM のコハク酸飲水投与群 (20 mM) を薄い灰色, 100 mM のコハク酸飲水投与群 (100 mM) を濃い灰色で示した。各群 5 匹のマウスの mRNA 発現量の平均値として計算し、標準偏差をもとにエラーバーを記した。Dunnnett 法による多重比較検定を用いて、* $P < 0.05$, ** $P < 0.005$, *** $P < 0.0005$ で有意差を示した。

3.3 腸管から吸収されたコハク酸が NASH マウスモデルに及ぼす影響の検討

これまでの研究成果より、腸管から吸収されたコハク酸は肝星細胞に発現する GPR91 を介して肝星細胞を活性化し、その結果肝障害や炎症が促進されたことで体重の有意な減少が誘導された可能性が示唆された。肝星細胞の活性化は肝硬変や門脈圧亢進症、肝不全、肝臓癌などの様々な肝疾患の発症に寄与することが報告されており [10], 腸管から吸収

されたコハク酸が肝星細胞の活性化を介してこれらの肝疾患の発症に寄与する可能性が考えられた。そこで我々は、数ある肝疾患の中でも特に多くの研究がなされている非アルコール性脂肪肝炎 (Non-alcoholic steatohepatitis; NASH) の発症に腸管から吸収されたコハク酸が及ぼす影響を検討するために、NASH マウスモデルへの 200 mM コハク酸水溶液の飲水投与を行った。

その結果、水道水を投与した対照群と比較して、コハク酸の飲水投与開始直後から著しい体重減少が認められた (図 4A)。さらには、投与開始から 2 週間目以降においてマウスの死亡が認められ、最終的には飼育を行った 7 週間までの間に 5 匹中 3 匹のマウスの死亡が認められた (図 4B)。この試験に関しては、今後飲水投与するコハク酸濃度を下げて再現性を確かめる試験を行う必要があるが、今回得られた結果から、腸管から吸収されたコハク酸が肝星細胞の活性化を介して重篤な肝疾患の悪化を引き起こす可能性が示唆された。

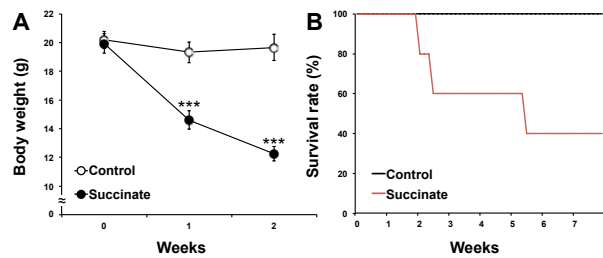


図 4: コハク酸の飲水投与が NASH マウスモデルに及ぼす影響
(A) マウスの体重変化を折れ線グラフで示した。水道水を投与した対象群 (Control) を白, 200 mM のコハク酸飲水投与群 (Succinate) を黒でプロットした。各群 5 匹のマウスの体重の平均値としてプロットし、標準偏差をもとにエラーバーを記した。2 群間の有意差は各タイムポイントにてスチューデントの t 検定を行い、*** $P < 0.0005$ で 2 群間に有意差を示した。
(B) 各群 5 匹のマウスの生存率を百分率で示した。水道水を投与した対象群 (Control) を白, 200 mM のコハク酸飲水投与群 (Succinate) を赤で示した。

4 結論と展望

本研究の成果として、肥満や腸炎などのバランスが乱れた腸内細菌叢から多量に産生されることで知られるコハク酸は、肝星細胞に発現するコハク酸受容体の GPR91 を介して肝星細胞を活性化することで肝疾患の発症や増悪に寄与するという新たな可能性を見出した。そしてこれらの研究成果は、将来的には食事やプロバイオティクス投与により腸内細菌叢を変化させることで、腸内細菌叢を標的とした薬非依存的な肝疾患の予防及び治療戦略として次世代医療に大きく貢献する可能性が期待される。さらには腸内細菌叢のコハク酸産生量を測定することが、肝疾患発症リスクを評価するための指標として用いることができる可能性や、腸内細菌叢を介した新たな肝疾患発症メカニズムの解明により、新規分子標的薬の開発に繋がる可能性も期待され

る。

5 参考文献

- [1] Bull MJ, Plummer NT. Part 1: The human gut microbiome in health and disease. *Integr Med (Encinitas)*. 2014 Dec;13(6):17-22.
- [2] Fukuda S, Toh H, Hase K, Oshima K, Nakanishi Y, Yoshimura K, Tobe T, Clarke JM, Topping DL, Suzuki T, Taylor TD, Itoh K, Kikuchi J, Morita H, Hattori M, Ohno H. Bifidobacteria can protect from enteropathogenic infection through production of acetate. *Nature*. 2011 Jan 27;469(7331):543-7.
- [3] Furusawa Y, Obata Y, Fukuda S, Endo TA, Nakato G, Takahashi D, Nakanishi Y, Uetake C, Kato K, Kato T, Takahashi M, Fukuda NN, Murakami S, Miyauchi E, Hino S, Atarashi K, Onawa S, Fujimura Y, Lockett T, Clarke JM, Topping DL, Tomita M, Hori S, Ohara O, Morita T, Koseki H, Kikuchi J, Honda K, Hase K, Ohno H. Commensal microbe-derived butyrate induces the differentiation of colonic regulatory T cells. *Nature*. 2013 Dec 19;504(7480):446-50.
- [4] Jakobsdottir G, Xu J, Molin G, Ahrne S, Nyman M. High-fat diet reduces the formation of butyrate, but increases succinate, inflammation, liver fat and cholesterol in rats, while dietary fibre counteracts these effects. *PLoS One*. 2013 Nov 13;8(11):e80476.
- [5] Ariake K, Ohkusa T, Sakurazawa T, Kumagai J, Eishi Y, Hoshi S, Yajima T. Roles of mucosal bacteria and succinic acid in colitis caused by dextran sulfate sodium in mice. *J Med Dent Sci*. 2000 Dec;47(4):233-41.
- [6] Soga T, Baran R, Suematsu M, Ueno Y, Ikeda S, Sakurakawa T, Kakazu Y, Ishikawa T, Robert M, Nishioka T, Tomita M. Differential metabolomics reveals ophthalmic acid as an oxidative stress biomarker indicating hepatic glutathione consumption. *J Biol Chem*. 2006 Jun 16;281(24):16768-76.
- [7] Li YH, Woo SH, Choi DH, Cho EH. Succinate causes alpha-SMA production through GPR91 activation in hepatic stellate cells. *Biochem Biophys Res Commun*. 2015 Aug 7;463(4):853-8.
- [8] Friedman SL. Hepatic stellate cells: Protean, multifunctional, and enigmatic cells of the liver. *Physiol Rev*. 2008 Jan;88(1):125-72.
- [9] Ghesquiere B, Wong BW, Kuchnio A, Carmeliet P. Metabolism of stromal and immune cells in health and disease. *Nature*. 2014 Jul 10;511(7508):167-76.
- [10] Bataller R, Brenner DA. Liver fibrosis. *J Clin Invest*. 2005 Feb;115(2):209-18.

メタボローム手法を用いた温海かぶの漬物加工における変化

○早坂亮祐* (指導教員 若山正隆** 曾我朋義***)

*慶應義塾大学 環境情報学部 4年 (2017年3月卒業予定)

慶應義塾大学 政策・メディア研究科 *慶應義塾大学 環境情報学部

*t13723rh@sfc.keio.ac.jp, **wakayama@ttck.keio.ac.jp, ***soga@sfc.keio.ac.jp

キーワード：食品メタボロミクス，温海かぶ，漬物

1 概要

山形県鶴岡市はユネスコ創造都市ネットワーク食文化部門に国内唯一選ばれ、食に注目が集まっている都市である。その鶴岡市を主産地に栽培されている在来作物に温海かぶという赤カブがある。温海かぶは主に発酵を用いない甘酢漬けとして消費される。かぶ漬物へ加工する間の代謝物の変化を調査するため、温海かぶを漬物に加工し、かぶと漬け汁の経時的な代謝物の違いを検証した。かぶ中のほとんどのアミノ酸や糖，有機酸が漬け汁を介して変動していることが示された本実験結果は，漬物加工過程への貢献の可能性がある。

2 背景

近年、ユネスコ無形文化遺産に『和食；日本人の伝統的な食文化』が選ばれるなど世界中から和食への関心が多く存在する。

慶應義塾大学鶴岡タウンキャンパスが存在する山形県鶴岡市はだだちゃ豆、庄内柿など様々な在来作物が存在し、ユネスコ創造都市ネットワーク食文化部門に国内唯一参加しており、鶴岡市の食文化について世界中から注目が集まっている。

多くの在来作物が存在する鶴岡市で最も在来品種が残っているものがカブである。一口にカブといっても胚軸部分の形状や色が異なるなど様々な形態のものが存在する(1)。その中でも温海かぶは山形県鶴岡市温海地域一霞地区を主産地として栽培されている、胚軸部が楕円球状で赤紫色に色づいた赤カブの1種である。この温海かぶは17世紀頃から現在まで伝統的な焼畑農法で栽培されている。アントシアニン系色素で鮮やかな赤紫色に色づいた胚軸表層部と内部の白の対比は美しい色彩を持つ。温海かぶは甘酢漬けとして親しまれている。温海かぶ漬物は表層部に存在していた赤紫色の色素が胚軸内部全体に広がり非常に鮮やかである。見た目だけでなくパリッとした歯ざわりが特徴の特産物として流通する。



図1 温海かぶ(左)と温海かぶ漬物(右)の写真。

漬物は食塩などの浸透圧や酢のpHを利用して食品の保存状態を高めた伝統食品である。漬物は大きく分けて沢庵やキムチのような発酵を用いる漬物と浅漬けのような用いない漬物に大きく分けられる(2)。近年の温海かぶは発酵を用いない甘酢漬けで漬けられている。

アミノ酸や糖類などといった生物中に存在する低分子化合物は代謝物質と呼ばれる。アミノ酸は甘味、酸味、苦味、塩味、旨味といった呈味に関係があると考えられており、醤油や日本酒では実際の食品との関連性を評価した報告もある(3-5)。糖は甘味に関与しているとされる。そのような代謝物質の種類や濃度を網羅的に解析する手法をメタボローム解析と呼ぶ。

漬物の代謝物質に関しては発酵を用いたものについては研究が進んでいるものの、温海かぶの甘酢漬けのような発酵を用いない漬物に関して代謝物質に着目した研究はあまり行われていない。

そこで本研究では発酵を用いない漬物の作成過程の代謝物質組成の変化を評価することを目的にする。本研究では、生の状態の温海かぶから実際に甘酢漬けを作成した。その間、漬物と漬け汁に関して経時的なサンプリングを実施し、メタボローム解析を実施した。

3 研究対象と手法

3.1 温海かぶの漬物作成

主産地である山形県鶴岡市温海地域一霞地区において焼畑農法で栽培された生産者の異なる温海かぶ 16 個体を対象とした。温海かぶは胚軸を半分に切断した片方のみを使用し、一つの袋に入れ、温海かぶ 1 kg あたり、穀物酢 100 mL、食塩 40 g、白砂糖 100 g になるよう調整した調味液を加え 4.6 kg の重石をのせ漬物を作成した。

3.2 サンプルング

温海かぶ漬物のサンプルングは漬け込み前の温海かぶ、漬け込み後 9、19 日目を対象とし、胚軸内部と皮の部位をサンプルング実施した。その際、漬物の重量も合わせて測定した。漬け汁は調味液そのもの、漬け込み後 0~11 日目、15~19 日目に毎日サンプルングを実施した。

3.3 メタボローム測定とデータ解析

サンプルングした温海かぶ漬物および漬け汁から代謝物質を抽出した。抽出物をアミノ酸などのイオン性代謝物質についてはキャピラリー電気泳動-飛行時間型質量分析計 (CE-TOF MS) を用いて、糖類は液体クロマトグラフィー-トリプル四重極質量分析計 (LC-MS/MS) を用いてそれぞれ測定した。

測定されたデータをもとに主成分分析は JMP ver.12, ヒートマップの作成および階層的クラスタリングは MeV ver.4.8 を用いて行った。

4 結果

4.1 温海かぶ漬物中の変動

温海かぶ漬物に含まれる代謝物質を対象に主成分分析を実施した(図 2)。主成分分析のスコアプロットでは 1 プロットが 1 サンプルを表しており、プロット間の距離が近ければ近いほど類似したメタボロームプロファイルであることを示す。その結果、処理前で大きく存在していたプロットが日を追うごとに小さくなる傾向を示した。処理前では非常に異なったメタボロームプロファイルを示したが、19 日目ではより類似したメタボロームプロファイルに変化していた。

スコアプロットの胚軸内部と皮のプロットに着目すると、日を追うごとにプロット間の距離は小さくなるもののプロットが分かれる結果になった。

代謝物質に着目すると 19 種類測定されたタンパク質構成アミノ酸のうち 14 種類、8 種類測定された糖類では 6 種類においてそれぞれ漬け上がりに近づくにつれて濃度の上昇が見られた。

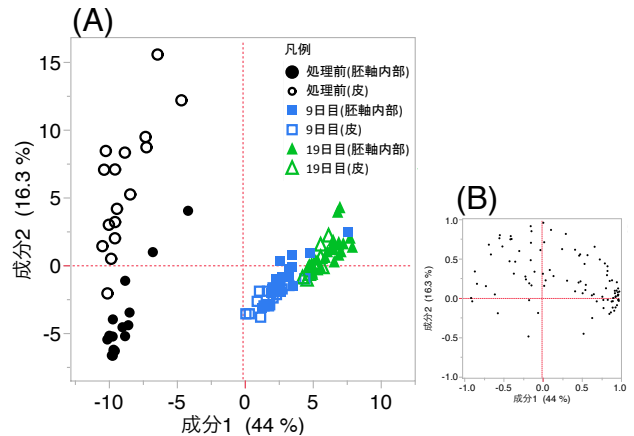


図 2 温海かぶ漬物中の代謝物質の主成分分析。

A はスコアプロットを示し、1つのプロットが1サンプルを表す。丸プロットが漬け込み処理前、四角プロットが9日目、三角プロットが19日目のサンプルを示し、黒塗りが胚軸部分、白塗りが皮を表す。B はローディングプロットを示し、1つのプロットが代謝物質を示す。A と B どちらも横軸が主成分 1、縦軸が主成分 2 を表す。

4.2 漬け汁中の代謝物質

漬け汁の糖とアミノ酸に関して時系列変化について階層的クラスタリングを実施した結果を図 3 に示す。

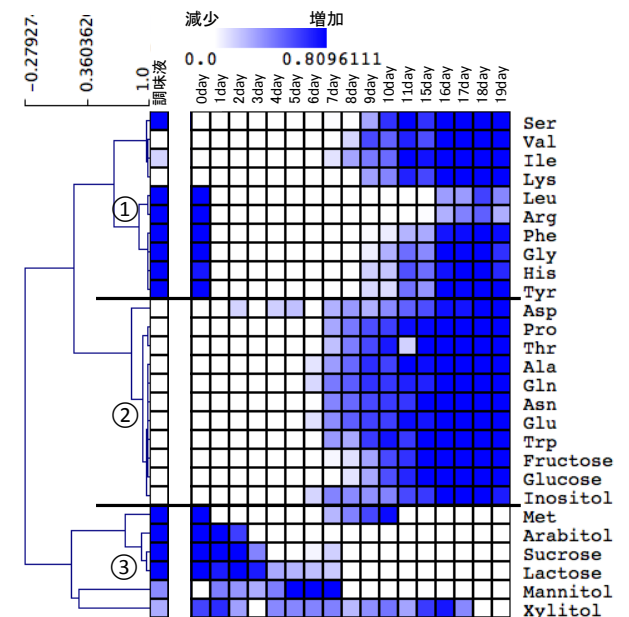


図 3 漬け汁中の代謝物質に関する階層的クラスタリング。

1 列がそれぞれの漬け汁を表し、1 行がそれぞれの代謝物質を表す。色が濃いほど比較的濃度が高いことを示す。代謝物質にのみピアソンの相関係数に基づく階層的クラスタリングを実施した。左から調味液、漬け込み後 0~11 日目、15~19 日目にそれぞれ採取した漬け汁の値を示す。漬け込み後 5、6 日目の糖データは欠損していたため、両隣の値を元に予測した値を用いた。

階層的クラスタリングを行った結果、①漬ける前の調味液と漬け過程の後半で多くなったもの、②漬け過程後半で多いもの、③調味液で多くつけ過程

で徐々に少なくなるものの 3 グループに分割された (図 3). ①と②において糖やアミノ酸の濃度に関して経過時間が長いほど増加するという傾向が見られた.

漬物の重量の変化は処理前から 9 日目の間で有意に減少しており, 9 日目と 19 日目の間では有意な変化は見られなかった (図 4).

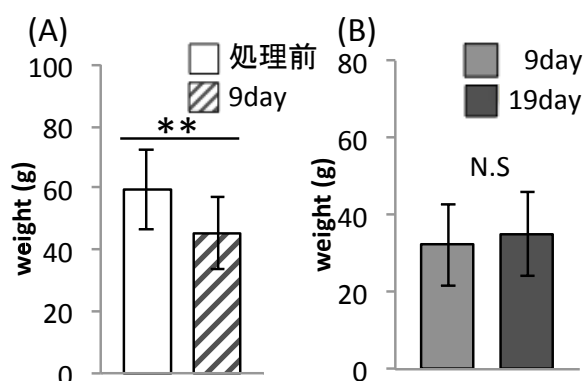


図 4 漬物の重量変化.

A は処理前 (白) と 9 日目 (斜線) のサンプリング前の漬物の重量を示す. B は 9 日目のサンプリング後 (灰色) と 19 日目 (黒) の漬物の重量を示す. 値は 16 個体の平均値, エラーバーは標準偏差を表す. マンホイットニーの U 検定を行い, ** は $P < 0.01$, N.S. は有意差がないことを表す.

5 議論

温海かぶを漬物に漬けることで個体間の差が小さくなっていることが示唆された.

食塩水の浸透圧的作用によって, 野菜の細胞内に存在する水分が外部に浸出し, 浸透圧が強くなると, 原形質分離が起き, 細胞の生命活動が停止する細胞死の状態になるとされる(2). 漬物重量の減少は水分が温海かぶから漬け汁中に浸出したことに起因したものであると考えられる. 水分の浸出に合わせて温海かぶからアミノ酸や糖類も浸出している可能性が示唆される.

温海かぶ漬物においても 19 種類中 14 種類のアミノ酸や 8 種類中 6 種類の糖類において漬け上がりに近づくにつれて増加が見られている.

温海かぶ漬物は漬け汁を介して均一化されている可能性が示唆される.

6 展望

メタボローム解析を用いて温海かぶ漬物を測定することによって, 生の状態から漬物に加工した際の代謝物質の特徴づけが可能となる. それにより, 漬物加工過程の最適化および温海かぶ漬物のブランド化に貢献する可能性がある.

謝辞

本研究を行うにあたり, 研究方針などご指導くださいました慶應義塾大学政策・メディア研究科の若山正隆特任助教授に心より御礼申し上げます. 温海かぶのサンプルを快くご提供いただきました, 五十嵐勇一氏, 山形県鶴岡市温海地域一霞の皆様にご心より感謝申し上げます. また, 質量分析装置を用いた測定等でお世話になりました, 農林水産メタボロームグループの研究者と技術員の皆様, メタボロームグループの学生の皆様, 慶應義塾大学先端生命科学研究所の皆様に御礼申し上げます. 最後に素晴らしい研究環境や機会を与えてくださいました曾我朋義教授, 富田勝教授に深く御礼申し上げます. ありがとうございました.

参考文献

1. 青葉高. カブ=植物としての特性. 農業技術大系 野菜編 第9巻 かぶ. 農文協; 1991. p. 基3-18.
2. Miyao S. Japanese Pickles "Tsukemono." Japanese J Lact Acid Bact. 2002;13(1):2-22.
3. Kirimura J, Shimizu A, Kimizuka A, Ninomiya T, Katsuya N. Contribution of peptides and amino acids to the taste of foods. J Agric Food Chem [Internet]. American Chemical Society; 1969 Jul [cited 2016 Jan 9];17(4):689-95. Available from: <http://dx.doi.org/10.1021/jf60164a031>
4. Sugimoto M, Koseki T, Hirayama A, Abe S, Sano T, Tomita M, et al. Correlation between sensory evaluation scores of Japanese sake and metabolome profiles. J Agric Food Chem [Internet]. American Chemical Society; 2010 Jan 13 [cited 2016 Jan 9];58(1):374-83. Available from: <http://dx.doi.org/10.1021/jf903680d>
5. Yamamoto S, Bamba T, Sano A, Kodama Y, Imamura M, Obata A, et al. Metabolite profiling of soy sauce using gas chromatography with time-of-flight mass spectrometry and analysis of correlation with quantitative descriptive analysis. J Biosci Bioeng [Internet]. 2012 Aug [cited 2016 Jan 9];114(2):170-5. Available from: <http://europepmc.org/abstract/MED/22608993>

非小細胞肺癌の上皮間葉転換 (EMT) における代謝解析

○中宿文絵¹ (指導教員 田畑祥² 内藤泰宏^{2,3})

¹慶應義塾大学 環境情報学部 4年 (2017年3月卒業予定)

²慶應義塾大学 政策メディア研究科

³慶應義塾大学 環境情報学部

¹t13618fn@sfc.keio.ac.jp, ²tabata@ttck.keio.ac.jp, ^{2,3}ynaito@sfc.keio.ac.jp

キーワード：がん, 上皮間葉転換, メタボローム解析

1 はじめに

1.1 がん代謝

がん細胞では、正常組織とは異なる異常な低酸素、低 pH 及び低グルコースといった過酷な環境で生存・増殖するため、特異的な代謝を有することが知られている。近年、質量分析機器が発達し、細胞内代謝物質の網羅的かつ定量的な測定が可能となり、がん特異的な代謝の解明及び、その代謝機構を標的とした抗がん剤の開発が進められている。例えば、L-アスパラギナーゼは急性白血病と悪性リンパ腫内のアスパラギンを枯渇させることで、抗腫瘍効果を発揮する抗がん剤 (ロイナーゼ®) として臨床応用されている。

1.2 上皮間葉転換とがん代謝

上皮間葉転換 (Epithelial-Mesenchymal Transition; EMT) とは上皮細胞が間葉系細胞に分化転換する現象である。EMT は胚発生において原陥入や組織・器官形成に重要である一方で、がんにおいては、転移に必要な運動・浸潤能の亢進、抗がん剤耐性及び幹細胞性の獲得など、がんの悪性化に寄与することが報告されている[1]。治療技術が発達した現代においても、抗がん剤耐性の獲得、遠隔転移および再発が、予後に関わる重大な問題であるため、この EMT を標的とした治療薬の開発が求められている。一方で、最近、EMT におけるがんの代謝変化が注目されている。2014 年にはピリミジン代謝における代謝酵素の一つであるジヒドロピリミジンデヒドロゲナーゼ (Dihydropyrimidine dehydrogenase; *DPYD*) の発現が、がんの EMT において重要であることが著名な学術雑誌 *Cell* にて報告された[2]。しかしながら、**EMT の網羅的な代謝解析は行われておらず、その詳細な機構については不明な点が多い。**

1.3 研究目的

上記の背景を踏まえ、本研究では、キャピラリー電気泳動-飛行時間型質量分析計 (Capillary Electrophoresis-Time-Of-Flight Mass Spectrometry; CE-TOFMS) を用いたメタボローム解析を行い、**肺癌細胞における EMT の代謝特性を解明し、治療標的となりうる代謝経路を同定する。**

2 対象と手法

2.1 試薬と細胞培養

実験には、ヒト肺癌細胞 A549 及び HCC827 (American Type Culture Collection より購入) を用いた。各細胞は 10% FBS, 1% の抗生物質 (Nacalai Tesque) を含む RPMI1640 培地 (Wako) にて、37°C, CO₂ 5% の条件で培養を行った。今回は、EMT を誘導するタンパク質であるトランスフォーミング増殖因子-β (Transforming Growth Factor-β; TGF-β, R&D systems) を使用した。

2.2 Real-Time qPCR

TGF-β 刺激によって EMT が誘導されるかを確認するために、Real-Time PCR を用いて EMT マーカー遺伝子の発現量を調べた。6 well プレートに細胞を 1×10^5 cells/well で播種し、24 時間前培養を行った。培地交換後、TGF-β を 5 ng/mL となるように添加し、24, 48 及び 72 時間培養した。その後、リン酸緩衝生理食塩水 (PBS) で 1 回洗浄し、TRIzol reagent (Life technologies) を用いて mRNA を抽出した。cDNA の合成は、RT-PCR 用 cDNA 合成キット (ReverTra Ace α; TOYOBO) のプロトコールに従って行った。Real-time PCR は、SYBR Premix Ex Taq II (TaKaRa) のプロトコールに従って行った。ハウスキープ遺伝子は *RPL27* を用い、 $\Delta\Delta CT$ 法で解析した。

2.3 トランスウェル遊走アッセイ

TGF-β 刺激した A549 細胞で、運動能が亢進しているか、トランスウェル遊走アッセイを用いて評価した。A549 細胞を TGF-β 2 ng/mL で 2 週間刺激することで EMT を誘導した。細胞をシャーレからトリプシンで剥離し、無血清培地にて再懸濁した。細胞を 0.5×10^5 cells/100 μ L/well となるように希釈し、upper chamber に入れた。lower chamber には 10% FBS 含有培地を入れることで細胞を遊走させた。遊走開始から 4 時間後に細胞を固定し、ディフ・クイック染色キット (Sysmex) にて細胞を染色後した。トランスウェルのメンブレンの lower chamber 側移動してきた細胞数を計測した。

2.4 細胞生存率アッセイ

TGF-β 刺激した HCC827 細胞で、抗がん剤耐性が

獲得されているか、MTT アッセイを用いて評価した。細胞を、 3×10^3 cells/well で 96 well プレートに播種し、RPMI 培地にて 24 時間培養を行った後、抗がん剤 Erlotinib を添加した。72 時間培養した後、MTT 溶液 (2 mg/mL) を入れてさらに 3 時間培養した。その後、培地を除去し 100 μ L のジメチルスルホキシド (Dimethyl sulfoxide ; DMSO) で細胞を溶解し、マイクロプレートリーダーで 570nm の吸光度を測定することにより細胞生存率を調べた。また実験は条件毎に N=4 で行った。

2.5 メタボローム解析

EMT を誘導した細胞における代謝変化を調べるために、細胞内の代謝物濃度を CE-TOFMS で測定を行った。A549 細胞を 6 well プレートに 3×10^5 cells/well で播種し、24 時間前培養した。培地交換後、TGF- β を 5 ng/mL となるように添加し、24、48 及び 72 時間培養することで EMT を誘導した (各条件 N=4)。5% マンニトールで細胞を洗浄し、25 μ M 濃度補正標準物質 (IS ; L-methionine sulfone, 2-monopholinoethanesulfonic acid , 及び camphor-10-sulfonic acid) を含むメタノールを 600 μ L/well で添加・回収した。液層抽出及び限外ろ過を行った後、ろ液を 40 $^{\circ}$ C で 4 時間、遠心乾固させ、25 μ L の Milli-Q 水により溶解した。CE-TOFMS を用いて細胞内に含まれる代謝物の濃度を測定した [3]。Master Hands V2.17.0.8 を用いて物質質量電荷比及び泳動時間を元に物質の同定及び各代謝物濃度の計算を行った [4]。代謝物の濃度は、1 細胞あたりの代謝物質量 (fmol/cell) で算出した。

2.6 統計解析

統計解析は Microsoft Office Excel 2016, MeV version 4.9, JMP version 12.0.1 及び R を用いた。2 群間の有意差検定には Student の t 検定を用いた。P value < 0.05 (または、FDR < 0.05) を有意とした。データは平均値 \pm 標準偏差で示した。メタボロームデータの主成分分析では、欠損値が 50% 以上の代謝物は解析から除き、残った代謝物について解析を行った。各代謝物群に關与する代謝経路は Metacore (Thomson Reuters) を用いて解析を行った。

3 結果

3.1 TGF- β 刺激による EMT の誘導効果

はじめに、A549 細胞において TGF- β 刺激で EMT が誘導されるか、細胞形態と EMT マーカー遺伝子の発現量で評価した。無刺激の A549 細胞の形態が円形であるのに対して、TGF- β 刺激した細胞は細長い形態に変化した (図 1A)。Image J を用いて真円度を示す値 (Circularity) を定量化したところ、無刺激の細胞は真円度 : 1 に近い値であるのに対して、TGF- β 刺激した細胞は、Circularity が低下した (0.6~0.4) から、目視での結果と同様に、EMT に特

徴的な細胞形態の変化が確認された。次に、多角的に EMT が誘導されているか確認するため、上皮系及び間葉系細胞マーカー遺伝子の発現量を Real-time PCR 法で調べた。その結果、無刺激の細胞と比べて、TGF- β で刺激した A549 細胞は上皮細胞マーカーである *E-Cadherin* (*CDH1*) の発現量が低下し、逆に間葉系細胞マーカーである *N-Cadherin* (*CDH2*) と *Fibronectin* (*FNI*) の発現量が増加した。さらに、がん細胞の浸潤に關与する *Matrix metalloproteinase* (*MMP*)2 及び *MMP*9 の発現量も増加した (図 1B)。これらの結果から、A549 細胞で TGF- β 刺激による EMT の誘導が実証された。

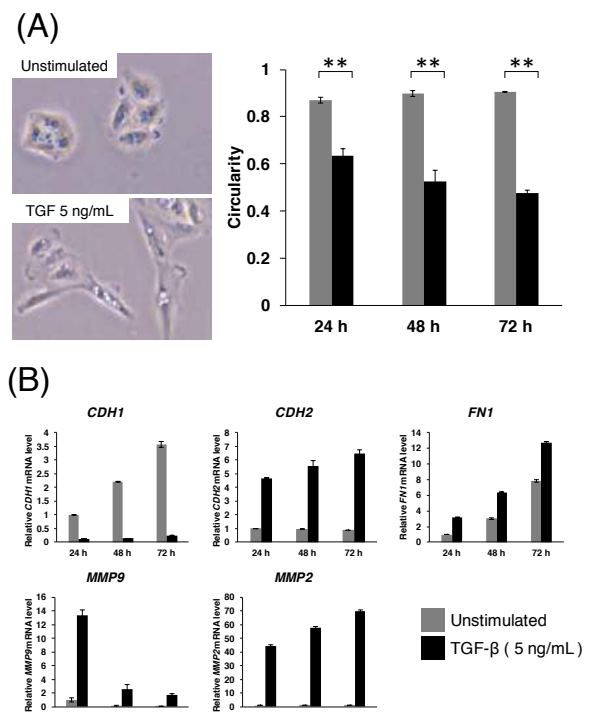


図 1. TGF- β 刺激による A549 細胞の形態変化及び EMT マーカー遺伝子の発現量の比較。

(A) A549 細胞の顕微鏡写真。上段が無刺激 (Unstimulated)、下段が TGF- β 5 ng/mL で 24 時間刺激したの細胞。細胞の真円度 (Circularity) は Image J を用いて定量化を行った (1 が真円)。1 条件につき、N=3、1 well あたり 30 細胞 (全 90 細胞) について測定した。真円度の平均 \pm 標準偏差で表記。有意差検定は Student の t 検定を行った。* P value < 0.05。 (B) *E-Cadherin* (*CDH1*)、*N-Cadherin* (*CDH2*)、*Fibronectin1* (*FNI*)、*Matrix metalloproteinase 2* (*MMP2*) 及び *Matrix metalloproteinase 9* (*MMP9*) の遺伝子発現量。各群は灰色 : 無刺激、黒色 : TGF- β 刺激を示す。縦軸は、24 時間の無刺激群を 1 とした時の各群の相対値の平均を示し、横軸は TGF- β を添加してからの時間を表記。

3.2 EMT による運動能の亢進及び抗がん剤耐性の賦与

EMT は、転移に重要な運動能及び抗がん剤耐性といったがんの悪性度を亢進させることが報告されている [5]。そこで、TGF- β で誘導した EMT が運動能及び抗がん剤耐性を亢進するか調べた。運動能の解析は A549 細胞、抗がん剤耐性の解析は HCC827 細胞を用いて検討した。TGF- β 刺激して EMT を誘導した A549 細胞 (Mesenchymal) と、刺激していな

い A549 細胞 (Epithelial) の運動能の比較を行った。その結果、A549/Mesenchymal の運動能が有意に亢進していた (図 2A)。次に、TGF- β で EMT を誘導した HCC827 細胞 (Mesenchymal) と刺激していない HCC827 細胞 (Epithelial) で抗がん剤である Erlotinib に対する感受性について調べた。その結果、HCC827/Mesenchymal は Erlotinib に対する感受性が低下しており、Erlotinib に対する耐性を獲得していることがわかった (図 2B)。これらの結果から、**TGF- β 刺激による EMT は、肺がん細胞の悪性度亢進に寄与していることが実証された。**

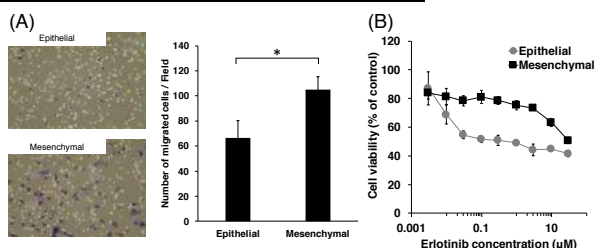


図 2. TGF- β 刺激による運動能及び Erlotinib 感受性の変化。無刺激の肺がん細胞 (Epithelial) と TGF- β で刺激した肺がん細胞 (Mesenchymal) の運動能及び Erlotinib 感受性の比較。(A) A549 細胞の運動能比較。メンブレンの lower chamber 側に移動してきた細胞の顕微鏡写真。棒グラフは 1 視野あたりに移動してきた細胞数の平均 \pm 標準偏差を表記 (N = 3)。有意差検定は Student の t 検定を行った。* P value < 0.05。(B) HCC827 細胞の Erlotinib 感受性比較。縦軸は細胞生存率を、横軸は Erlotinib 濃度を示す。各条件での平均 \pm 標準偏差を表記 (N=4)。

3.3 TGF- β 刺激による細胞内の代謝変化

これまでの検討で、肺がん細胞において、TGF- β が EMT を誘導することが確認できた。そこで、EMT による代謝変化を検討するため、TGF- β で刺激した A549 細胞内の代謝物濃度を、CE-TOFMS を用いて測定した。193 代謝物質の同定・定量することができた。全体的な代謝プロファイルの違いを可視化するために主成分分析を行った結果、第 2 主成分において無刺激群と TGF- β 刺激群に違いが認められた (図 3A)。次に、無刺激群と比較して TGF- β 刺激群で有意 ($FDR < 0.05$) に変化した代謝物を抽出した (図 3B)。57 代謝物質が TGF- β 刺激に伴い、有意に変化しており、これらの代謝物は TGF- β 処理後の時間経過に伴って変化していた。また、有意に変化した代謝物について、Metacore を用いてパスウェイエンリッチメント解析を行った (図 3C 及び 3D)。その結果、**アスパラギン酸-アスパラギン代謝、尿素回路、プロリン代謝、CTP/UTP 代謝及びグルタミン酸-グルタミン代謝が顕著に変化していた。**

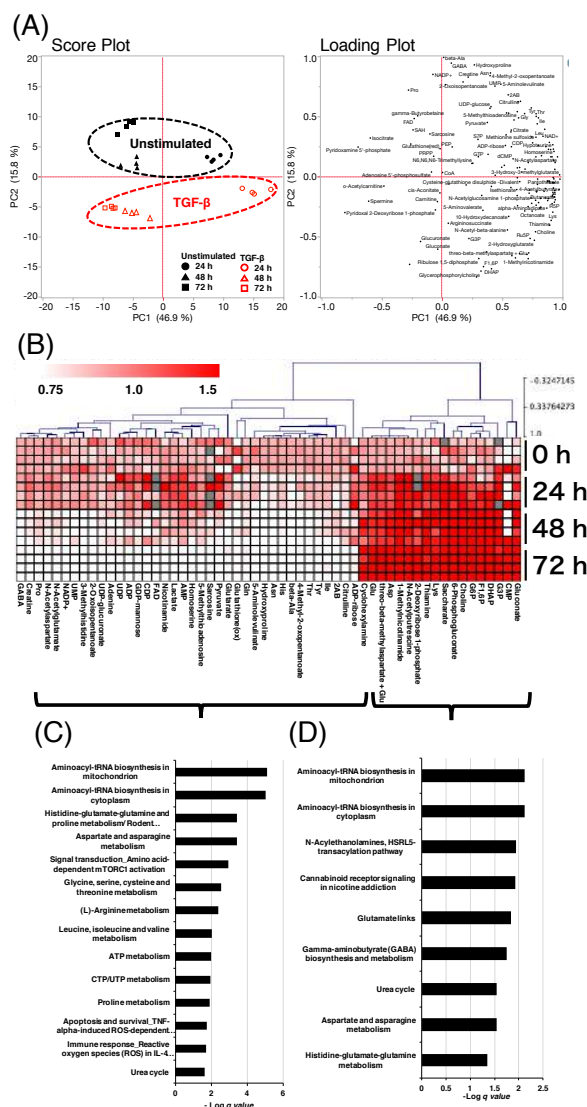


図 3. TGF- β 刺激による A549 細胞内の代謝変化。(A) 主成分分析のスコアプロット及びローディングプロット。黒色が無刺激、赤色 (白抜き) が TGF- β 刺激した細胞を示す。● : 24h, ▲ : 48h, ■ : 72h。(B) TGF- β 刺激で有意 ($FDR < 0.05$) に変化した代謝物をヒートマップで示す。各代謝物の濃度を TGF- β 刺激/無刺激の比を色の濃淡で示した。横軸は各代謝物名を示し、ピアソンの相関係数でクラスタリングを行った。縦軸は TGF- β 処理後の時間を示し、1 条件につき N=4 を示す。(C-D) パスウェイエンリッチメント解析。縦軸が代謝経路、横軸が FDR の対数値を示す。Metacore を用いて、減少した代謝物を含む代謝経路 (C) 及び、増加した代謝物を含む代謝経路 (D) を推定した。

3.4 EMT によるグルタミン (Gln) 代謝経路の亢進

TGF- β 刺激によって変化している代謝経路の中で、我々は Gln 代謝に着目した。TGF- β 刺激した細胞では、Gln 濃度が減少し、逆にグルタミン酸 (Glu) 濃度が増加していた (図 4)。そこで、Gln から Glu への代謝亢進が予想され、その反応を触媒する代謝酵素グルタミナーゼ 1 (GLS1) の発現量を調べた。その結果、TGF- β 刺激によって *GLS1* の発現量が増加していた。これらのことから、**TGF- β 刺激による EMT では *GLS1* の発現が亢進し、グルタミン代謝が亢進していることが示唆された。**

の開発に貢献できる可能性がある。

謝辞

本研究を行うにあたり、慶應義塾大学政策メディア研究科田畑祥特任助教授には大変お世話になりました。また、メタボロームグループの技術員の皆様には CE-TOFMS 測定及び実験のご協力いただきました。そして、素晴らしい研究環境と機会を与えてくださった富田勝教授、曾我朋義教授、内藤泰宏准教授に感謝致します。本研究は、山形県からの研究補助金、金沢大学がん進展制御研究所共同研究課題及び山岸学生プロジェクト支援制度からのご支援を受けています。

引用文献

- [1] Singh, A., & Settleman, J. EMT, cancer stem cells and drug resistance: an emerging axis of evil in the war on cancer. *Oncogene*;2010;29(34), 4741-4751.
- [2] Shaul Y.D., Freinkman E., Comb WC, Cantor JR, Tam WL, Thiru P., et al. Dihydropyrimidine Accumulation Is Required for the Epithelial-Mesenchymal Transition. *Cell*; 2014;158(5):1094-109.
- [3] Soga, T., Ohashi, Y., Ueno, Y., Naraoka, H., Tomita, M., & Nishioka, T. Quantitative metabolome analysis using capillary electrophoresis mass spectrometry. *Journal of proteome research*;2003;2(5):488-494.
- [4] Sugimoto, M., Wong, D. T., Hirayama, A., Soga, T., & Tomita, M. Capillary electrophoresis mass spectrometry-based saliva metabolomics identified oral, breast and pancreatic cancer-specific profiles. *Metabolomics*; 2010; 6(1):78-95.
- [5] Sun Y., Daemen A., Hatzivassiliou G, Arnott D, Wilson C, Zhuang G, et al. Metabolic and transcriptional profiling reveals pyruvate dehydrogenase kinase 4 as a mediator of epithelial-mesenchymal transition and drug resistance in tumor cells. *Cancer Metab*;2014;2(1):20.
- [6] Chen J.Q., Russo J. Dysregulation of glucose transport, glycolysis, TCA cycle and glutaminolysis by oncogenes and tumor suppressors in cancer cells. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Reviews on Cancer*;2012;1826.2: 370-384.
- [7] Piskounova E., Agathocleous M., Murphy M.M., Hu Z., Huddleston S. E., Zhao Z., et al. Oxidative stress inhibits distant metastasis by human melanoma cells. *Nature*; 2015;527(7577):186-91.
- [8] Lee, S. Y., Jeon, H. M., Ju, M. K., Jeong, E. K., Kim, C. H., Park, H. G., & Kang, H. S. Dlx-2 and glutaminase upregulate epithelial-mesenchymal transition and glycolytic switch. *Oncotarget*;2016;7(7);7925-7939.

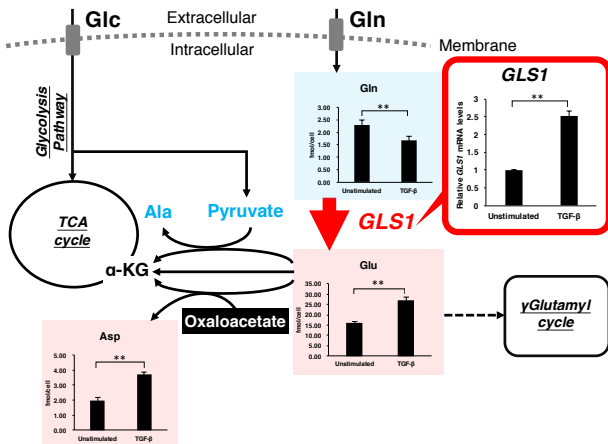


図4. TGF- β 刺激による細胞内のグルタミン代謝の変化。

無刺激 (Unstimulated) 及び TGF- β 刺激 (TGF- β) した A549 細胞におけるグルタミン (Gln), グルタミン酸 (Glu), アスパラギン酸 (Asp) の細胞内濃度 (fmol/cell) 及び、グルタミナーゼ (GLS1) の mRNA の発現量. Student の t 検定を行った. ** P value < 0.01.

4 考察と展望

本研究では、肺がん細胞株において TGF- β は EMT を誘導し、細胞の運動能や抗がん剤耐性を賦与することを実証した。CE-TOFMS を用いた網羅的な代謝解析では、TGF- β によって変化する代謝経路を複数同定した。とくに、グルタミン代謝経路に関わる Gln, Glu 及び Asp の細胞内濃度が有意に変化しており、その変化は GLS1 の発現量増加に起因していることが示唆された。

細胞内に取り込まれた Gln は、GLS1 によって Glu に変換後、 α -KG に変換され、トリカルボン酸 (Tricarboxylic Acid ; TCA) 回路の中間代謝物として取り込まれることが知られている。TCA 回路では、増殖・生存に必要なエネルギー分子 (ATP) の産生を担うことから、Gln はエネルギーの供給源として重要であることが報告されている (グルタミノリシス)[6]。また、Glu は、抗酸化物質である還元型グルタチオン (GSH) の合成にも使われる。合成された GSH は、細胞内の活性酸素を除去し、がんの生存・転移に貢献する[7]。また、GLS1 は動物実験で、腫瘍形成や転移を亢進することが報告されている[8]。これらの知見から、TGF- β による EMT では GLS1 の発現亢進が、グルタミン代謝を亢進し、さらにはがんの転移、生存及び増殖に貢献していることが考えられる。今後、肺がん細胞において、GLS1 がエネルギー産生及び酸化還元バランスに関与するか、EMT の表現型 (運動能の亢進及び抗がん剤耐性の賦与) に関与するか検討を行う。また、(グルタミン酸代謝以外の) 今回見出した代謝経路についても EMT の表現型に貢献するか検討を行う予定である。

本研究は、TGF- β 誘導性の EMT に関与する代謝経路を見出し、EMT の代謝を標的としたがん治療

メタン発酵消化液を用いたユーグレナ藻の 培養可能性調査

-ユーグレナを用いた循環型社会の形成に向けて-

○小山 智己^{1,2}, 富田 勝^{2,3} (指導教員: 伊藤 卓朗², 黒田 裕樹^{2,3})

1. 慶應義塾大学環境情報学部 4年 (2017年3月卒業予定)
2. 慶應義塾大学先端生命科学研究所
3. 慶應義塾大学環境情報学部

キーワード: ユーグレナ, メタン発酵消化液, 培養, 循環型社会

1. 研究概要

Euglena gracilis (ユーグレナ)は食糧・燃料生産能力の高さから、新たな有用物質生産者として注目を集めている。また、メタン発酵時にバイオガスの副産物として生成される消化液には廃棄物由来の窒素、リンが高濃度に濃縮されている。ユーグレナは光合成による炭素固定及び培地中の窒素、リンを固定して増殖するため、本研究では消化液を改良したユーグレナの培養方法を開発した。本研究が産業応用されることにより、環境浄化、環境負荷の少ないエネルギー生産、食料自給率の向上など様々な社会問題へのアプローチが可能になる。

2. 序論

2.1 研究背景

2.1.1 メタン発酵と消化液

メタン発酵は微生物を用いて有機廃棄物からバイオガスを得る技術である^[1]。ここで得られたバイオガスは発電などに応用可能であることから近年注目を集めている。また、2016年9月に閣議決定されたバイオマス活用推進基本計画においてもバイオガスの利用推進が説かれており、メタン発酵技術の更なる普及が期待されている。メタン発酵の際、バイオガスの副産物として消化液が生成される。消化液中には廃棄物由来の窒素・リンが高濃度に濃縮されており、再生可能エネルギーが発達しているドイツでは農業用肥料として再利用されている。しかしながら、日本国内では散布可能な時期・面積が限られており、肥料として使用しきれない場合は浄化処理が施されている^[2]。

2.1.2 ユーグレナ藻

Euglena gracilis(ユーグレナ)は進化的に特異であり、動物・植物双方の特徴を有するユニークな生物である。そして、動物・植物双方の栄養素を兼ね備えており、摂取した際の消化率が高いことから、食糧としての評価も高い^[3]。また、ユーグレナは、好気条件下ではパラミロンと呼ばれる多糖を蓄積可能であり、嫌気条件下ではパラミロンを分解し特徴的な脂質であるワックスエステルを蓄積することが知られている^[4]。ワックスエステルはジェット燃料に変換でき、これを燃焼した際に生じる二酸化炭素はユーグレナが大気から光合成によって炭素固定したものであるため、カーボンニュートラルな社会の形成に寄与すると考えられる。ユーグレナなどの藻類の増殖には独立栄養、従属栄養条件によって固定される炭素源の他、水、肥料成分が主に必要である。これらの条件が揃えば1年中収穫可能である。

2.2 研究目的

メタン発酵技術は廃棄物からエネルギーを得ることができ、二酸化炭素排出量削減にも貢献できる手段である。しかしながら消化液の処理に課題が残る。ユーグレナは食糧・バイオ燃料生産者として有望であり、培地中の窒素・リンを用いて増殖することから消化液中の窒素・リンを利用することができる。よって本研究では消化液を用いたユーグレナの効率的な野外培養系の確立を最終目標とする。その第一段階として、研究室内におけるユーグレナの増

殖特性の理解を目的とする。

3. 対象と手法

3.1 対象株

対象株は培養株保存機関である国立環境研究所から分譲された *Euglena gracilis* NIES-48 を用いた。

3.2 メタン発酵消化液での培養可能性調査

3.2.1 原液のメタン発酵消化液を用いた培養

メタン発酵消化液(pH9.0)は株式会社アミタから分譲されたものを用いた。消化液の窒素、リンの濃度を表1に示す。

表1 消化液中の窒素、リン濃度(mg/L)

	Total N	NH ₄ -N	Total P
濃度(mg/L)	2100	1400	190

3.2.2 消化液を超純水で希釈した培地

消化液の原液と、消化液を超純水で3倍、10倍、30倍、100倍希釈したものを、オートクレーブ滅菌後 pH 6.0 に調整して用いた。

3.2.3 pH 条件を調整した培地

消化液を超純水で10倍希釈し、オートクレーブ滅菌後 pH を 4.0, 5.0, 6.0, 7.0, 8.0, 9.0 に調整して用いた。

3.2.4 AF-6 培地

AF-6 培地は先行研究^{[5][6]}の組成に従って作成した。

3.3 培養環境

培養は明期 14 時間、暗期 10 時間、25°C、光量子束密度 250 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の人工気象器内で7日間静置培養を行った。50 mL の培養フラスコに 30 mL の培地を投入し、初期細胞濃度が 5.0×10^3 cells/mL になるように植え継いだ。

3.4 分析方法

増殖は、CDA-1000(Sysmex, 日本)を用いて毎日細胞数、平均粒子径を測定した。また、これらの結果から 1 mL 中に含まれる総細胞体積を算出した。

4. 結果・議論

4.1 原液の消化液を用いた培養

ユーグレナを原液の消化液で 7 日間培養したが、増殖を示さなかった (図1)。

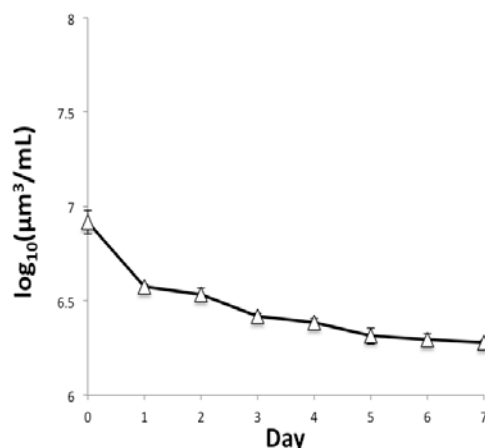


図1 原液の消化液で培養時におけるユーグレナの増殖曲線

この理由として、①消化液の着色が挙げられる。光合成色素であるクロロフィルは 400~500 nm, 600~700 nm の波長の光を吸収する。藻類の培養に用いられる AF-6 培地の OD₄₀₀₋₅₀₀, OD₆₀₀₋₇₀₀ が 0 に近い値を示したのに対し、消化液の OD₄₀₀₋₅₀₀, OD₆₀₀₋₇₀₀ はそれぞれ 0.289~0.631, 0.128~0.184 であった。よって消化液の着色により光合成が阻害された②ユーグレナの至適 pH 条件は弱酸性条件である^[7]ことから pH9.0 の条件はユーグレナの増殖や代謝に悪影響を与えた ③細胞サイズが縮小(表 2)したことから栄養塩の濃度が濃すぎたため浸透圧調節が円滑に行われなかったことなどが考えられる。

表2 原液の消化液で培養時におけるユーグレナの平均粒子径

	平均粒子径(μm)
Day 0	13.9 \pm 0.19
Day 1	11.14 \pm 0.13
Day 2	10.15 \pm 0.14
Day 3	9.39 \pm 0.1
Day 4	8.95 \pm 0.15
Day 5	8.6 \pm 0.1
Day 6	8.41 \pm 0.1
Day 7	8.2 \pm 0.07

4.2 至適栄養塩濃度の検討

ユーグレナを原液の消化液、10~100 倍希釈した消化液で培養した結果を図2に示す。7日間培養の結果、消化液を10倍希釈した培地でもっとも良好な増殖が確認された(図2, 表3)。これは原液、3倍希釈の消化液では4.1で挙げたように①光合成活性の低下②浸透圧調節などが律速になったと考えられる。30倍希釈、100倍希釈した消化液では上記のような問題点が解決されたこと

考えられる。しかしながら栄養塩の濃度が薄い
ため 5 日目までに栄養塩を完全に消費しまいそ
れ以降増殖が低下してしまったと考えられる。
10 倍希釈では律速条件が最も少なく、良好な増
殖を示したと考えられる。

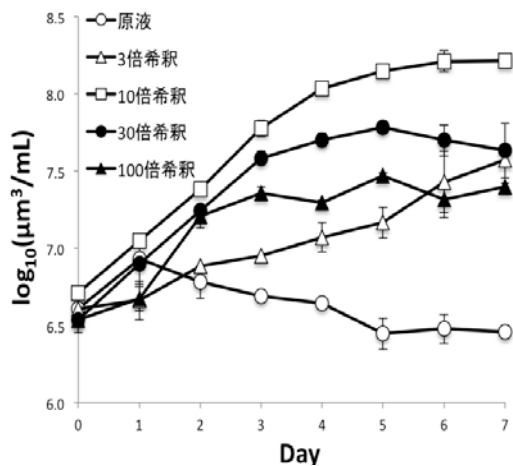


図2 原液, 3 倍希釈, 10 倍希釈, 30 倍希釈, 100 倍希釈した
消化液で培養時におけるユーグレナの増殖曲線
(pH は 1N HCl で 6.0 に調整したものを用いた)

表3 原液, 3 倍希釈, 10 倍希釈, 30 倍希釈, 100 倍希釈で培
養時におけるユーグレナの最大細胞数(cells/mL),
最大体積(μm³/mL), 最大増加量(μm³/mL/day)

	最大細胞数 (cells/mL)	最大体積 (μm³/mL)	最大増加量 (μm³/mL/day)
原液	5.88×10 ³ ± 4.33×10 ²	8.52×10 ⁶ ± 5.66×10 ⁵	4.41×10 ⁶ ± 1.05×10 ⁵
3 倍希釈	1.65×10 ⁴ ± 1.41×10 ³	3.74×10 ⁷ ± 2.76×10 ⁶	1.2×10 ⁷ ± 2.76×10 ⁶
10 倍希釈	1.37×10 ⁵ ± 1.25×10 ⁴	1.64×10 ⁸ ± 1.52×10 ⁷	4.85×10 ⁷ ± 2.26×10 ⁶
30 倍希釈	5.32×10 ⁴ ± 5.98×10 ³	6.05×10 ⁷ ± 5.65×10 ⁶	2.11×10 ⁷ ± 1.97×10 ⁶
100 倍希釈	2.39×10 ⁴ ± 1.84×10 ³	2.94×10 ⁷ ± 1.5×10 ⁶	1.15×10 ⁷ ± 1.08×10 ⁶

4.3 至適 pH 条件の検討

消化液の pH を 4.0~9.0 に調整した培地でユーグレ
レナを培養した結果を図 3 に示す。7 日間培養の
結果, ユーグレナは pH を 4.0, 5.0, 6.0 に調整し
た消化液で良好な増殖を示した。先行研究でも
ユーグレナは弱酸性条件下が至適条件である^[7]
ことや, ユーグレナの培養に用いられる
Cramer-Myers 培地や AF-6 培地, HUT 培地など
の pH も 5.5, 6.4 であることから今回行った実験
は, 先行研究と一致するものであり, 弱酸性条
件下の中でも pH6.0 の消化液で最も良好な増殖
が確認された。

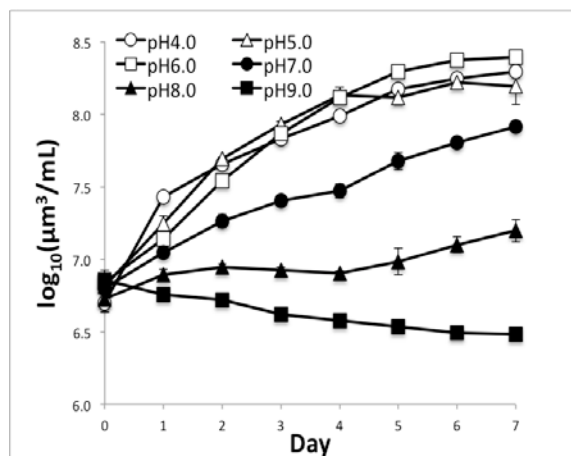


図3 pH を 4.0~9.0 に調整した消化液で培養時におけるユーグレ
レナの増殖曲線(消化液の希釈倍率は 10 倍とし, pH の調整は
1NHCl を用いて行った)

表4 pH4.0~9.0 間で培養時におけるユーグレナの最大細胞数
(cells/mL), 最大体積(μm³/mL), 最大増加量(μm³/mL/day)

	最大細胞数 (cells/mL)	最大体積 (μm³/mL)	最大増加量 (μm³/mL/day)
pH 4.0	1.94×10 ⁵ ± 9.61×10 ³	1.97×10 ⁸ ± 1.61×10 ⁷	5.11×10 ⁷ ± 2.83×10 ⁶
pH 5.0	1.48×10 ⁵ ± 1.88×10 ³	1.65×10 ⁸ ± 2.33×10 ⁷	5.12×10 ⁷ ± 2.16×10 ⁶
pH 6.0	1.99×10 ⁵ ± 1.08×10 ³	2.46×10 ⁸ ± 1.38×10 ⁷	6.57×10 ⁷ ± 4.96×10 ⁶
pH 7.0	7.56×10 ⁴ ± 5.62×10 ³	8.26×10 ⁷ ± 6.45×10 ⁷	1.81×10 ⁷ ± 8.29×10 ⁶
pH 8.0	1.63×10 ³ ± 1.89×10 ³	1.58×10 ⁷ ± 2.88×10 ⁶	2.86×10 ⁶ ± 6.18×10 ⁵
pH 9.0	7.6×10 ³ ± 7.0×10 ²	5.68×10 ⁶ ± 7.75×10 ⁵	増加なし

4.4 改良した消化液と AF-6 培地で培養時 における増殖比較

ユーグレナを改良したメタン発酵消化液と AF-6
培地で培養した結果を図 4 に示す。

7 日間培養の結果, 改良した消化液でユーグレ
レナを培養することにより, AF-6 培地で培養時と同
等の増殖を示すことが示唆された。消化液, AF-6
培地で培養時における増加量はともに 4 日目で
最大になることが確認された(表 5)。消化液中の
主な窒素源はアンモニア態窒素であり, AF-6 培
地中の主な窒素源は硝酸態窒素である。両者間
で増殖に差が見られなかったことから窒素源の
違いが増殖に与える影響は少ないことが示唆さ
れた。

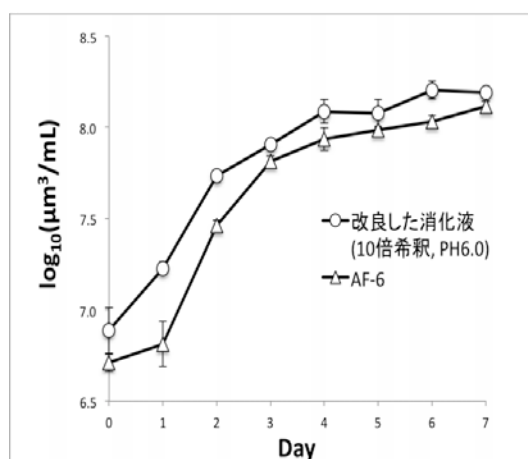


図4 改良した消化液(10倍希釈, pH6.0)とAF-6培地で培養時におけるユーグレナの増殖曲線

表5 改良した消化液(10倍希釈, pH6.0), AF-6培地で培養時におけるユーグレナの最大細胞数(cells/mL), 最大体積(μm³/mL), 最大増加量(μm³/mL/day)

	最大細胞数 (cells/mL)	最大体積 (μm³/mL)	最大増加量 (μm³/mL/day)
改良した消化液	1.19×10 ⁵ ± 1.13×10 ⁴	1.6×10 ⁸ ± 1.74×10 ⁷	4.23×10 ⁷ ± 1.71×10 ⁶
AF-6培地	1.17×10 ⁵ ± 6.93×10 ³	1.3×10 ⁸ ± 8.94×10 ⁷	3.63×10 ⁷ ± 5.09×10 ⁶

5. 結論

本研究では、メタン発酵消化液を用いたユーグレナの培養可能性を調査した。その結果、原液の消化液をそのままユーグレナの培養に用いても増殖を示さないことが確認された。その後、微生物の培養に重要な要因である培地の栄養塩濃度とpHを改良したところ、消化液を超純水で10倍希釈し、pHを6.0に調整することでユーグレナの増殖が向上した。また、改良した消化液を用いてユーグレナを培養するとAF-6培地と同等の増殖を示した。

6. 実用化に向けた課題・展望

物質生産を行う上で、低コストで生産性の高い技術の開発は不可欠である。ユーグレナなどの微細藻類を培養する方法として屋内培養と屋外培養がある。屋内培養は環境条件が一定であるため生産性を一定に保つことができるが、環境要因を制御するコストが膨大である。一方屋外培養は環境要因を制御するコストを省くことができることから低コスト培養が可能になるが、他微生物のコンタミネーションなどにより生産性を一定に保つことが困難である。低コストで生産性を高めるためには屋外培養での生産性の

向上が不可欠である。ユーグレナは40%CO₂を培地に通した極限環境でも生育可能である^[8]。このような特徴やさらなる生理学的特性の理解を進めることで屋外での生産性向上が可能になると考える。

謝辞

本研究を進める上で、慶應義塾大学先端生命科学研究所の伊藤卓朗氏には研究の進捗状況を見ていただき様々なアドバイスをいただきました。また、オイル産生微細藻類グループの方々にはグループミーティングなどを通じて盛んな議論、アドバイスをいただきました。ここに感謝申し上げます。最後に、このような研究環境、機会を与えてくださった富田勝教授に深く感謝申し上げます。

引用文献

- [1] 李 玉友. (2005) メタン発酵技術の概要とその応用展望. *JEFMA*, 53:4-18
- [2] 中川悦光. (2003) ふん尿とエネルギー利用による循環型社会を目指して. *システム農学*, 19: 9-20
- [3] 細谷圭助, 北岡正三郎. (1977). *Euglena gracilis* タンパク質の人工消化実験およびネズミ飼育試験による栄養価の決定. *日本農芸化学会誌*, 51(8), 483-488.
- [4] Inui, H., Miyatake, K., Nakano, Y., & Kitaoka, S. (1982). Wax ester fermentation in *Euglena gracilis*. *FEBS Letters*, 150(1), 89-93.
- [5] Kato S. (1982). Laboratory culture and morphology of *Colacium vesiculosum* Ehrb. (Euglenophyceae). *J. Phycol.*, 30, 63-67
- [6] Andersen R A. egges, J. A. Harrison, P. J. & Watanabe, M. M. (2005). Recipes for freshwater and sea water media. *Algal culturing techniques*. 429-538.
- [7] Shin, H. S., Chae, S. R., Park, B. S., & Hwang, E. J. (2000). Estimation of operating factors for the continuous carbon dioxide fixation by *Euglena gracilis* Z. *Proceedings of the Water Environment Federation*, 2000(9), 291-310.
- [8] Y. Nakano, K. Miyatake, H. Okuno, K. Hamazaki, S. Takenaka, N. Honami, M. Kiyota, I. Aiga, J. Kondo.(1996). Growth of photosynthetic algae *Euglena* in high CO₂ conditions and its photosynthetic characteristics. In *International Symposium on Plant Production in Closed Ecosystems* 440 (pp. 49-54).