

医療機関における「残業削減」のベストプラクティスの探索

大森 叶子* (指導教員 小池智子**)

*慶應義塾大学看護医療学部 4年 (2019年3月卒業予定)

**慶應義塾大学 看護医療学部

*il15065ko@sfc.keio.ac.jp , **koiketom@sfc.keio.ac.jp

キーワード：看護師、時間外労働、過勤務、労働環境

研究背景

「働き方改革」という言葉をよく耳にするようになった。背景として我が国では少子高齢化に伴う生産年齢人口の減少がある。女性や高齢者等も労働市場に加わってきているため、フレキシブルな働き方や労働と育児、介護との両立が可能な働き方の必要性が高まっている。また、働き方の多様化と同時に、我が国においては長年課題となっている勤務時間の適正化にむけて対策もますます重要になってきており、企業や団体・組織は業務の効率化を図るとともに、残業の削減に取り組んでいる。

医療・介護の領域においても働き方改革は重要な課題である。とりわけ、医療の高度化や健康課題の複雑化等に伴って業務量が増加し多忙化している看護職に於いては、時間外労働が常態化しており、大きな問題となっている。実際に、産業全体の平均残業時間は10.8時間(厚生労働省2018)なのに対して、看護師の平均残業時間は23.4時と約2倍以上の差があることが報告されている。また、2008年に行われた看護職員調査では交代制勤務者の23人に1人が過労死危険レベル(交代制勤務を行い、かつ時間外労働が月60時間を超える)に当たると報告している。(2008)時間外労働が60時間に及ばずとも、超過勤務は蓄積疲労につながり、蓄積疲労は様々なリスクにつながることは多くの論文等で報告されてきたとおりだ。

このように、超過勤務が問題視されているにもかかわらず、企業と比べ超過勤務削減に向けた取り組みが、医療機関においては必ずしも十分に浸透しないのが現状である。

医療機関は、一般企業と異なる労働形態の特徴がある。例えば、多くの企業は、在宅勤務制度、時差勤務制度、時間単位年休制度など、仕事をする時間や場所に融通を効かせることができる。しかし、専門的医療技術を伴う対人サービスを提供する医療機関に於いては、在宅勤務という働き方を選択することはできない。また、診療報酬等の要件として一定の勤務時間が求められていることや、24時間365日継続的に患者ケアを行うために交代制勤務を行うことが必須となっている。また、一般企業では求人が比較的容易であるのに対して、医療サービスは専門職によって提供されるため、専門資格を持っている人材を補充するという事は必ずしも容易ではない。さらに医療サービスにおいては、患者の命

や健康が最優先されることから、医療者は自身の健康に先んじて献身的に働くことが求められがちでもある。

このような中、2014年に医療法が改正され、各都道府県に医療機関の勤務環境改善支援センターが設置されるようになった。しかし、これを利用する医療機関は少なく、まだ改善の取り組みの最中であると言えるだろう。どのようにすれば、医療機関においても、労働時間の適正化が図られ、健全な働き方が定着するのであろうか。

2 研究目的と意義

本研究の目的は、医療機関における看護師の超過勤務の要因と超過勤務による看護師の健康などへの影響について国内外の文献検討から整理し、時間外労働の削減のための方策を探求することである。とりわけ、対策をとる意欲が低いあるいはこれまでにうまく対策をとることができなかった医療機関においても、着手しやすく継続して取り組むことができる方法を探求し提案することを目指す。これにより、身体的・精神的健康へのリスクが極めて大きい超過勤務を低減し、看護師が医療の労働市場に定着することに貢献することが期待され、ここに本研究の意義がある。

3 用語の定義

超過勤務...労働基準法において、法定労働時間を超える労働のこと

時間外労働...病院・企業が定める規定の労働時間を超えて仕事をする事。(一日のなかで)

3 文献検討

3.1 文献調査方法

医療現場の時間外労働の現状、影響、時間外労働削減の取り組み時例を把握するために、書籍・新聞・研究論文等を電子データベース(医中誌、メディカルオンライン、kosmos、Cinii)を用いて検索した。文献検索のキーワードは「時間外労働」、「残業」、「超過勤務」、「看護」、「労働環境」、「労務管理」、「勤務環境」とした。2004年から2018年を文献検索対象期間とした。

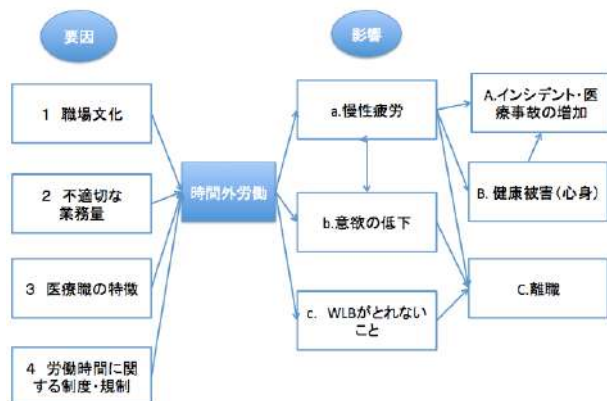
また、病院や医療業界以外の残業時間削減に向けた取り組み事例を抽出するために、「いきいき働く

医療機関サポート web」と「働き方休み方改善ポータルサイト」を用いてどのような取り組みがベストプラクティスであるかを探索し整理した。

3.2 文献検討の結果

文献検討により医療機関における時間外労働の要因と影響を図1のように整理した。

図1 医療機関における時間外労働の要因と影響



3.2.1 医療機関における残業の要因

諸研究の検討から、残業の要因を「1.職場文化」「2.不適切な業務量」「3.医療職の特徴」「4.労働時間に関する制度・規制」の四つの要因に整理した。

時間外労働の原因に関する研究・調査の多くは、「職場文化」、「不適切な業務量」が要因であることを示していた。門馬らは、超過労働時間数と『片付けられない仕事量』、『帰りづらい職場の雰囲気』とが関連していることを示した(門馬他、2014)。2008年の日本看護協会が看護管理者を対象に実施した「時間外勤務、夜勤・交代制勤務等緊急実態調査」では、労働時間管理の問題の背景にある原因は、「長年の慣例・習慣」(35.7%)が最も多く、ついで「職員定数を増やすことができない」(28.5%)、「欠員のまま充足されない」(27.7%)であることと報告している。

次に、「医療職の特徴」として交替制勤務であること、患者の命や健康を守るために時間を度外視しがちであることがあげられる。「労働時間に関する制度・規制」については、看護師保健師助産師法が医療機関での時間外労働に深く関わっている。「労働時間に関する制度・規制」については労働基準法32条が関わっている。また2009年の医療機関における36協定(時間外労働や休日労働に関する協定)の合同調査では、36協定の締結・開示は7割と報告されており、病院の時間外労働削減への取り組みにはばらつきがある。(全国医師連盟 全国医師ユニオン 2009)

3.2.2 時間外労働の影響

時間外労働が及ぼす影響に関する研究は、時間外労働が、「a.慢性疲労」、「b.意欲の低下」、「c.ワーク

ライフバランスが取れないこと」の3つに影響を与えていることを示していた。さらに慢性疲労は「A.インシデントや医療事故の増加」、「B.健康被害」に繋がる。心身の健康被害、意欲の低下、ワークライフバランスが取れないことは「C.離職」に繋がることがわかった。

時間外労働が慢性疲労に繋がることについて、多くの研究が警鐘を鳴らしている。黒澤らは月平均20時間以上の残業時間(帰宅時刻が不規則)がありかつ3交代勤務であるという条件に該当する看護職者では、慢性疲労が蓄積されやすいことを明らかにした。(黒澤 2014) また、佐藤らは、超過勤務時間や週休の形態は看護職者の蓄積的疲労に深く関与しており、1日の勤務時間が長く、連続した休日が規則的にとれない場合には、身体的だけでなく精神的にも疲労を強く感じると報告している。(佐藤他 2000) さらに、「時間外勤務」・「業務内容」・「夜勤回数」などの労働環境に関する業務の過酷さが、看護師のメンタルヘルスに不調をもたらしているとする報告もある。(國井 2017) また、富永らは長時間労働が蓄積疲労と相関関係があり、労働災害に関する疾患の発症のリスクが高い(富永他 2017)ことを明らかにした。加えて看護師の超過勤務時間がエラー・ニアミスリスク要因とであるということも金子らによって報告されている。(金子他 2008) さらに Folkard Sらは長時間労働・夜勤によって医療事故のリスクが増すことを報告している。(Folkard S 2006)

時間外労働が働く意欲の低下、さらには離職に繋がることは以下のように示されている。高山らは看護職の離職とキャリアへの意欲が関連要因に超過勤務があるとした。(高山他 2018)

時間外労働を行うことによって、医療安全の確保、疲労状態の持ち越しによる過労、ワークライフバランスなど複合的な影響を看護師らが訴えていることを報告している(酒井 2011)。本島らもワークライフバランスと時間外労働の関係については報告している(本島 2016)

さらに、2011年に行われた看護職員就業状況等実施調査では、看護職の退職理由のなかで最も多かった理由が出産・育児・結婚などであり、ワークライフバランスが取りにくいことが離職につながっていることがわかる。また、超過勤務が多いことも挙げられ超過勤務が離職につながっていることが明らかになった。(厚生労働省 看護職員就業状況等実施調査結果 2011)

3.2.4 時間外労働削減取り組み事例

いきいき働く医療機関サポート web、働き方・休み方ポータルサイトを用いて、病院と企業の残業削減の取り組み事例を調べた。

病院の残業削減対策の特徴は「フィードバック(声かけ・ポスターの掲示)」「業務改善」が多いこ

とであった。一方、企業は「フィードバック」「残業の禁止制度」が主であった。

企業の取り組みもまた、医療機関においても活用できることから、時間外労働削減の方策を「業務改善」「フィードバック」「禁止」「時間帯の変更」、「その他」の5つに整理することができた。

「業務改善」の具体例としては、ICTを活用して仕事の効率化を図る取り組みが多く見られた。業務量の増大に対しては、人員の増員や業務整理などの業務のスリム化が行われていた。

「フィードバック」の具体例は、残業の見回りをおくことによる声かけ、上司や同僚が互いに声かけを行って早く帰ることを促す取り組みや、ポスターの掲示によって意識付けをするといった取り組みが主であった。協和発酵キリンは労働時間の適正な管理についてトップメッセージを発信し、「勤怠適正入力強化月間」などを実施していた。人事部門では、各部門へ所定外労働時間数と年休取得日数に関してフィードバックし、所定外労働の削減や年休取得促進について意識付けを行っていた。(厚生労働省働き方・休み方ポータルサイト、2018)「時間帯の変更」においては、在宅勤務やフレックス制度を導入し、コアタイムの廃止など行い原則勤務時間を柔軟し、効率的に仕事ができるようにすることで時間外労働、超過勤務を減らしていた。

「禁止」の具体例は、決められた時間以降の残業を原則禁止とし、消灯する、立ち入り禁止にする、パソコンの電源を強制的に切るなどの取り組みがあった。協和発酵キリンでは一斉消灯以降の残業は、申請のうえ「残業スペース」で勤務することとした。(厚生労働省働き方・休み方ポータルサイト2018)

4 考察

文献検討から得られた結果を踏まえて、医療機関の時間外労働削減につながるベストプラクティスについて考察する。

4.1 医療機関に特徴的な時間外労働の要因・影響

残業の要因として「1.職場文化」「2.不適切な業務量」があり、加えて医療機関に特有の「3.医療職の特徴」「4.労働時間に関する制度・規制」がさらに時間外労働削減を困難にしている。

医療職の特徴として、看護師助産師保健師法が深く関わる。看護師助産師保健師法において看護師の業務は傷病者と褥婦の療養上の世話、医師の診療の補助と定められている。医師の業務は医師法において応召義務が定められている。医師法第19条第1項で診療に従事する医師は診療治療の求があった場合には正当な理由がない限りこれを拒んではならないと定められている。診療の補助業務を行っている看護師も応召義務は定められていないもの、患者の健康・命を最優先とし、時間外労働も顧みない働き方を行いがちであり、また周囲からもそのよう

に期待されている。このような医療職の特徴が、超過勤務という働き方せざるをえないような職場文化を形成する要因となっていると推察される。時間外労働を削減の方策は、それぞれの医療現場の職場文化と不適切な業務量という要因を分析しアプローチすることが重要であろう。

さらに労働時間に関する規制・制度においては、週40時間以内、1日8時間以内と労働基準法32条で定めている。だが、医療の現場は24時間365日休むことなく稼働するため、看護職等は交替制勤務をとり、様々なシフトのもと勤務を行っている。病院等は、「変形労働時間制」を採用しており、ある週に勤務が40時間を超えることがあっても、一定期間(おそらく多くは1か月単位)の延労働時間数が適切であれば労働基準法違反にはならない。時間外労働の削減に対しては病院の裁量になってしまうため、病院の定めるルールによっては過重な時間外労働を起こしてしまう可能性がある。これらの医療職の特徴と労働時間に関する制度規制を良く理解した上で、対策を講ずる必要がある。

時間外労働の影響は、慢性疲労、心身への健康被害、意欲の低下、ワークライフバランスが取れなくなるなど看護師個人の健康や生活をそこなうことが分かっている。これにより、さらにインシデントや医療事故など看護の質の低下につながるという深刻な事態を引き起こしており、離職要因にもなっている。

時間外労働の削減は、看護師の健康を守ることを通して、看護職員数の確保や看護の質の向上につながる重要な対策なのである。

4.2 時間外労働削減への取り組み

時間外労働の削減に対して取り組んでいる病院の事例分析から、病院によってその取り組みにはばらつきがあり、また、取り組んでいる病院でもその効果の程度にも差があった。

時間外労働削減の取り組みには、時間外労働を禁止するなどのルール化を徹底しているものと、看護師が特に意識することなく時間外労働を減らせるような仕組み・デザインを採用しているものがあった。

4.2.1 残業削減への組織の取り組みスタイル

病院の時間外労働削減への取り組みを、ルール化されているかどうか、またその取り組みによって時間外労働を削減できたかどうかを軸に分類し図2に示した。

I型：【環境設定による削減】時間外労働の削減の対策はルール化されていないが、し組む・デザインなどの環境設定がされており、削減効果を上げている。

II型：【ルールによる削減】時間外労働削減対策がルール化されており、削減効果が出ている。

Ⅲ型：【未実施】時間外労働削減の取り組みがされていない

Ⅳ型：【対策失敗】時間外労働対策がルール化されてはいるが、削減ができていない。

Ⅴ型：【Ⅰ型Ⅱ型混合型】

図2 時間外労働に関する組織の取り組みの分類



企業の取り組み事例ではV型が多く、病院にはI型、V型が多かった。

4.2.2 どの病院も取り組める残業削減対策とは

I型・II型・V型は時間外労働削減の有効な方法をすでに実施しているので、取り組みを継続すれば良いが、III型・IV型は対して有効な方法を持っておらず、その差は広がるばかりである。

III型・IV型が時間外労働削減に取り組み、効果をあげるためにはどうすればいいだろうか。II型の【ルール化による削減】は、禁止などのルールによって強制的に徹底をはかるものである。これはルール作りや職員の合意形成に時間がかかり、納得できない者はルールからドロップアップしやすい。一方、I型の取り組みは、個人の努力や意識付けがなくても自然と行動を促す仕組み・デザインを用いるもので、必ずしも複雑なルールや特別な取り組みを要さず、時間もコストもあまりかからない。このためどんな病院も取り組める。

このような自然と行動を促す仕組み・デザインを用いた方策を「ナッジ」という。「ナッジ(Nudge)」は直訳すると「ひじで軽くつく」という意味であり強制することなく自発的に人々の行動を変容させるアプローチを指す。近年、各国の政府や民間組織で政策等に取り入れられるようになってきた。

病院の時間外労働の原因は前に述べたように職場風土・不適切な業務量・病院のシステム・医療職の特徴である。不適切な業務量・病院のシステムを改善するためには管理者側からのアプローチが主に有効であり人員の補充やICTを取り入れるなど多くのコスト・時間がかかることが多い。一方、現場の一人一人が関与し、変えられる職場風土を改善し、行動変容の仕掛けをつくることにおいては、現場のナースを含めあらゆる人が仕掛け人になることが可能になる(松村 2011)。

4.2.3 環境設定による残業削減対策

そこで個人の努力や意識付けがなくても自然と行動を促す仕組み・デザインを用いた残業削減対策について考察する。「ナッジ」では、行動科学の理論を基盤とした「デフォルトセッティングの変更」や「フィードバック」を活用している。

(1)デフォルト

人は予備知識が無いところに無数の選択肢を示されてもどれを選ばいいのかわからなくなるため、選択肢を示す側が推奨のデフォルトを提供することで人の選択を手助けすることができるという。

(正木 他 2015) デフォルト設定を変え、選択肢を提供することで人々が行動する仕組みである。デフォルトを用いた時間外労働削減の例としては以下のようなものがある。

- ① 残業代は申請しなければいけない。(タイムカード等は定時で切らなければならず、残業は別途で管理者に申請が必要)
- ② ユニフォームやピッチの紐を勤務帯で色分けする
- ③ 定時を越えたら、残業中ですというバッジをつけなければならない
- ④ 科ごとに時間外労働の総時間をまとめて、一番少ない科を模範としそれと比較して数字を出す。

(2)フィードバックの提供、対応付けの理解、インセンティブ

デジタルカメラでシャッターを押したことを知らせるためシャッター音を鳴らすなど、人に知らせるようフィードバックを与える(Give feedback)ことや、消費者に比較のための情報提供をするような対応付けの理解(Understand mappings)も効果ある。(正木他 2015) 取り組み例を以下に記す。

- ① 定時を越えたらブザーがなる、アナウンスがある。
- ② 定時で帰ることに對して上司が褒める
- ③ 毎週特定の曜日に対して定時で帰ることを勧める日を作る。キャンペーン週間を作る
- ④ 一日あたりの時間外労働を年に換算する
- ⑤ 残業申請時間と実際の残業の差の時間を給料に換算する
- ⑥ 残業の削減率に対してインセンティブを与える

個人の努力や意識付けがなくても自然と行動を促す仕組み・デザインを用いた時間外労働削減対策はIII型IV型の病院でも比較的取り組むことができ、効果を上げることができる。

5 研究の展望

本研究では、さらにI型II型V型の病院にインタビューを行い取り組みの実際および効果について検証を行う予定である。

(紙面の都合上、文献ストは割愛した)

患者の療養支援におけるコーチング効果の可能性

○村田桂子* (指導教員 小池智子**)

*慶應義塾大学 看護医療学部 4 年 (2019 年 3 月卒業予定)

**慶應義塾大学 看護医療学部

*keikomurata0803@gmail.com **koiketom@sfc.keio.ac.jp

キーワード: セルフマネジメント能力 移行期支援 コーチングスキル

1. 研究背景

我が国では第二次世界大戦前は結核、肺炎、気管支炎など呼吸器系疾患が死亡要因の第 1 位であった。しかし第二次世界大戦後から経済成長期に入ると、脳血管疾患、心疾患、悪性新生物(がん)が増加し、現在ではがんが日本人の死亡原因の第 1 位となっている。医学・医療の進歩等により感染症などの急性期疾患が激減した一方、人口の高齢化に伴いがんや循環器病などライフスタイルを基盤として発症する生活習慣病を含む慢性疾患が増加し、疾病構造は大きく変化した。慢性疾患とは、徐々に発症して治療も経過も長期に及ぶ疾患の総称であり、糖尿病や高血圧、高脂血症などに代表される。その原因としては不適切な食生活、運動不足、そして喫煙・飲酒などの生活習慣があげられる。

慢性疾患を抱える患者は治療も経過も長期に及ぶため、患者は慢性疾患と長く付き合っていかなければならない。内服等の療養計画を遵守し上手く症状をコントロールができないと症状が悪化し再入院になってしまったり、QOL の低下を招いたりしてしまう。病気や障がいがあっても自分らしく、住み慣れた地域で暮らしていくことが重要である。慢性疾患患者の療養生活には適切な治療と適切な生活習慣が必要であり、そのため医療者は患者に対して必要な知識と技術等に関する患者教育を行ってきた。しかし、入院中は患者役割をとり看護師等の指導の下で、うまく療養に必要な技術を実施することができても、退院した自宅においては親役割などをとりながら療養生活を送らなければいけないため、薬の飲み忘れやリハビリが適切に行えないなど自己管理が難しくなってしまうがちである。これによって症状コントロールができなくな

り、症状が重症化し再入院に至るケースも少なくない。このようなことから、療養環境が変化する移行期においては新しい環境に適應するための支援が必要だと言われている。(小池,2017)

慢性疾患を抱える患者は日常生活の中で自己管理を行い、それを継続することが求められる。しかしながら、従来の知識や技術を一方的に指導する患者教育だけでは、セルフマネジメントを継続することは困難である。患者がよりよくセルフマネジメント能力を獲得するためには、患者のセルフマネジメントに対する自己効力感や肯定的認識を高めることが重要だと言われている。(浅井他,2017)

そこで注目したいのが”コーチング”のスキルである。コーチングとは、「人の自主性」に注目したコミュニケーションスキルであり、目標や希望を実現するためにその人の自主性を引き出して効果的な行動に結びつけていくものであり、コーチングは、ビジネス界や教育界のみならず、医療界でも活用されてきている。(中園,2006)

2. 研究目的と意義

本研究では、慢性疾患を抱える人々がセルフマネジメント能力を効果的に獲得するための方法を、国内外の文献から探索する。さらに医療現場における患者教育にコーチングスキルを活用しているケースを調べ、その方法および効果を整理し、これらを通して、これからの効果的な患者教育について考察することを目的とする。

慢性疾患を抱える人々がセルフマネジメントを効果的に行えるようになることで重症化を予防し、QOL を高めることが可能になる。病気や障がいを抱えていても上手に症状をコ

ントロールし、患者一人ひとりが住み慣れた地域でいきいきと暮らすことができるようになる。また、これにより、重症化や再入院率が予防され、医療費も健全化に資することも期待される。

3. 用語の定義

3.1 セルフマネジメント(自己管理)

セルフマネジメントは、セルフとマネジメントの合成語で、セルフは「自己、自分を、自分で」、マネジメントは「経営する、管理する、上手く扱う」という意味がある。本研究では、「自分で権限を持ち、良い状態を保つよう、継続的・計画的に対処していくことであり、主体的かつ創造的な問題解決過程」(浅井他,2017)と定義する。

3.2 トランジショナル・ケア(移行期ケア)

トランジショナル・ケアとは、「患者の病状変化やそれに伴う医療・看護・介護の場と提供者が移行する際(移行期)の、病院・入所施設・在宅など様々な現場における一貫して、かつ強調した支援」を指す。(千田,2017)「移行期ケア」と同義である。

4. 文献検討

文献検索データベース(医中誌、PubMed)を用いて、国内外の慢性疾患患者に対するセルフケア能力向上のための教育、トランジショナル・ケア(移行期ケア)、そして療養支援におけるコーチングの活用について文献検討を行った。文献検索対象期間は 2005 年～2018 年の 13 年間である。文献検索のキーワードは、「移行期(transitional)」「患者(patient)」「コーチング(coaching)」「慢性疾患(chronic disease)」「自己管理(self-management)」とした。

5. 文献検討結果

5.1 海外の患者のセルフマネジメント能力向上のためのプログラムの現状

1980年代から米国のスタンフォード大学医学部患者教育研究センターで開発され用いられている慢性疾患セルフマネジメントプログラム(Chronic Disease Self-Management Program : CDSMP)は、病気をもつ人たち

のための実践的教育プログラムである。様々な慢性疾患を持った人を対象にしたこの慢性疾患セルフマネジメントプログラムを、2年間受講した後の効果を評価した研究では、プログラム参加前と2年後のデータを比較すると、救急外来/外来受診回数と健康上の悩みが減少し、自己効力感は上昇していた。また、最初の1年間に障害の程度が悪化しているにも関わらず、健康状態のすべての指標は維持または改善しており、外来受診の回数が減少していたのである。(Lorig, Kate R. 2001)

CDSMPは、全ての慢性の疾患を対象としており、患者は病名を問われずに参加でき、現在で世界20カ国以上で実施されている。日本でも、2005年に日本慢性疾患セルフマネジメント協会がCDSMPを紹介し、学会、講習会、セミナーといった場を通して、臨床現場への導入がすこしずつ広められている。

英国では self-care が 2000 年代以降、国策の一つの柱とされ、施策の一つとして「エキスパート・ペイシエントプログラム (Expert Patients Program : EPP)」が開発された。EPP は「何らかの慢性疾患」を持つ人々が、その症状に上手く対処しながら社会生活を送るセルフマネジメント・スキルを獲得するためにつくられたトレーニング・プログラムであり、保健省の主導により 2002 年にスタートした。このプログラムは、上記に述べた CDSMP のメソッドをベースにしたものである。このプログラムでは、医療の専門職従事者の介入がなく、運営全般を慢性疾患患者自身が行っており、慢性疾患患者自身が長年疾患とともに生活してきた中で蓄積された経験／知識／スキルに着目している。(EPP HP より)

5.2 海外のトランジショナル・ケアの現状

海外の文献では、早期から退院支援を行うことによる臨床的效果を報告している研究が数多くみられた。

米国では急性期病院を退院した患者の 3 分の 1 以上が 90 日以内に再入院しており、医療費を圧迫する大きな要因の一つとなっている。(Stephen F.Jencks, 2009)こうした現状を改善するために、移行期の支援が注目され、

多くのプログラムが開発されてきた。

Mary D.Naylor らの研究は、心不全で入院した高齢の患者に対して退院後 3 カ月間のトランジショナル・ケアを実施したところ、再入院の減少および医療費の削減の成果をあげたと報告している。米国ではこのような効果的な移行期支援プログラムが数多く開発されており、こうしたプログラムの実施により退院後 5～12 ヶ月以内の再入院率を 30～50% 削減し、さらには患者一人あたりの医療費が約 4 千ドル削減されている。(Coalition for Evidence-Based Policy, 2010)

米国のトランジショナルケアプログラムの例として、Care Transitions Intervention® (CTI) の 4 週間のプログラムを示す。このプログラムは、研究等で明らかになったエビデンスに基づいた援助方法を採用している。プログラムの対象は、複雑なケアニーズを持つ患者やその家族である。トランジショナルコーチが患者・家族のサポートを行い、支援ツールを用いて病院から家庭への移行期においてニーズが満たされるよう患者のセルフマネジメント能力獲得のための支援を行う。トランジションコーチは、患者や家族が積極的に病やケアに向き合い問題解決をすることを助ける存在である。トランジションコーチは、問題を解決したり、熟練したケアを提供したりするだけでなく、移行期に発生する問題にうまく対応できるように、患者や家族が自己効力感や自信を高めるための支援を行う。このプログラムは、家庭訪問と電話連絡からなる。

このプログラムの効果として、①患者の再入院率の低下、②治療費の削減、③患者の症状管理と機能回復に関する目標の達成率の向上といった成果が報告されている。さらにこれらの効果は、1 ヶ月間の介入が終了後 5 ヶ月間にわたって持続していた。

5.3 日本の患者のセルフマネジメント能力向上のための教育の現状

先行研究では、患者が自己管理を確立・維持していくうえで、周囲の人のサポートが重要となることが明らかとなっている。(高橋他,2017)

慢性疾患セルフマネジメントプログラム (CDSMP) に参加した患者における人生に対する考え方の変化を分析した研究報告では、参加者の 80% が「困難な時間を送っているのは自分一人ではない」、「無理をし過ぎないようにする」などの肯定的な回答をし、60～70% が「前よりも人生が楽になった」、「今は病気を受け入れることができる」と回答した。このことから、CDSMP によって患者が経験を共有し、不安を除き、人生に対して肯定的な考え方を持つようになったと考えられると報告している。(Yukawa Keiko, 2017)

セルフマネジメント能力の獲得を主眼にした包括的なプログラムの有効性を検討した研究報告によると、体重、腹囲、食事・運動目標達成率、QOL そして自己効力感といった数値が有意に改善されており、セルフマネジメント能力の獲得が危険因子の是正と QOL の向上に繋がることが示唆された。(森山,2008)

5.4 日本のトランジショナル・ケアの現状

現在の日本の移行期ケアに関する研究は、小児期から成人期の移行期に関するものが多い。成人期における入退院支援の場や在宅の場における移行期ケアも行われてきているが、その研究はまだわずかである。

在宅看護専門看護師として移行期ケアを行っている宮本は、医療依存度の高いがん患者の支援や難病患者の日常生活における支援、精神障害者の地域での生活支援、そして慢性疾患患者の相談支援、検査や治療についての倫理調整を含む意思決定支援を実践している。再入院しないためには患者・家族のセルフケア能力を引き出し、または獲得させることが必要になることを強調している。病状・治療の変化による患者の状況変化や入院から退院といった移行期には、精神的にも身体的にも負担や不安が増強してしまう。日本においては、平均在院日数の短縮化や在宅移行推進を目的とした退院調整が活発に行われるようになってきてはいるが、移行期に必要なセルフケアの獲得支援を含むケアプログラムの実際の研究は十分には行われていない現状である。(宮本, 2017)

5.5 日本の患者教育におけるコーチングの活用の現状

切迫性尿失禁をもつ外来患者にコーチングを用いた自己管理指導プログラムを行った研究では、患者の自己管理の促進効果がみられ、さらには症状の低減効果、QOLの向上効果がみられた。(高植他,2014) また、行動変容ステージに合わせてコーチングスキルを活用して患者指導を行った例では、患者の生活習慣や検査データが改善されるといった結果が得られていた。(佐久間他,2010) 栄養看護外来においてメディカルサポートコーチングを導入した研究では、コーチングの導入により患者とのコミュニケーションが良好になったと感じているスタッフが多かったといった結果も報告されている。(松本他,2007)

これらの研究結果のように、コーチングは適応支援・治療参加支援・行動変容支援・コミュニケーション支援において効果性を高めることが分かった。

6. 考察

以上の文献検討から、患者がセルフマネジメント能力を獲得するためには、単なる技術や知識の習得だけではなく、それを継続していけるよう患者が自己効力感や自己肯定感を合わせてもつことが重要であり、医療者はこれらの両面において支援していくことが必要であるということが分かった。

慢性疾患が主となっている現代、健康の定義についての再検討が行われている。現在の「健康とは、完全な 肉体的、精神的及び社会的福祉の状態であり、単に疾病又は病弱の存在しないことではない。」(日本 WHO 協会訳)という健康の定義は、急性疾患が主流であった時代に定義されたものであるが、途上国においても慢性疾患が増加し、いくつもの慢性疾患を抱えて生活している人々が増加している現代においては、ではもはやそぐわない印象を持つ。

Huber らは健康とは、「社会的、身体的、感情的な困難に直面したとき、それに適応して自己管理できる能力である」と定義している。例えば病気や障がいがあっても、その症状をコントロールしたりサポートを活用したりして、自分らしい生活や社会参加ができるのであれば、それはその人にとっての「健康」

なのであるという考え方だ。これは、患者の病気・障がいという側面に注目するのではなく、患者の能力に注目してその力を活かすということである。患者の主体性を高め、病気・障がいがあっても積極的に豊かな人生を過ごすことは可能であるという意味が込められている。このように健康を再定義しようとしている時代において、患者が自信をもってセルフマネジメントしながら生きていくことを支援できるよう、医療者の患者支援の在り方もシフトしていかなければならない。

患者が一人でセルフマネジメント能力を獲得し維持していくことは容易なことではない。国内外の研究により、サポートする存在が重要であることが分かった。患者は病を抱えているからといって決して弱い存在ではない。医療者に頼らざるを得ないようにしているのは、医療者側ではないだろうか。患者自身もつその人自信の力を引き出すことが医療者の今後の大切な役割ではないのだろうか。患者が持つ力を信じ、セルフマネジメントしていけるよう励まし、伴走していくことが医療者の役割なのである。

そのために、医療者は患者・家族に対して情緒的サポートを行いながらセルフマネジメント能力獲得のための支援を行うことが求められる。このような支援では、コーチングスキルの活用は大きな効果をもたらす。真の患者の自立を支援するということに焦点をおいた患者支援に変えていくことが必要なのである。患者が自信をもってセルフマネジメントをすることで、病を抱えながらも住み慣れた地域で安心して自分らしい生活を送ることができるようになるのである。

6. 今後の展望

以上の文献検討を踏まえて、患者の移行期ケアに積極的にコーチングスキルを導入している病院等にインタビュー調査を行う予定である。

引用・参考文献については紙面の都合上割愛した。

夜職とそこで働く人物史

～彼・彼女たちの稼ぐ目的と稼ぐモチベーションとは～

○生井くるみ

慶應義塾大学 総合政策学部 1年 清水研所属

キーワード：歌舞伎町、社会学、感情労働、ジェンダー、風俗、夜職

はじめに

本稿は、「昼職」と呼ばれる業務と違い、大金を手に入れる可能性が高い「夜職」に従事する人々が、なぜ夜職で稼ぐのか、なぜそこまで稼ごうと思うのかを研究をする。

いうまでもなく性風俗で働く女性の目的は金銭的な収入にある。風俗店などを利用する男性客はそこで働く女性に対して、性行為が好きだからこの仕事しているといった偏見を持つことがある。しかし、それは男性客が持つある種の幻想に過ぎない。不特定多数の男性と性的な行為を行いたくないという気持ちに変わりはない。だからこそ、風俗店で働く際の報酬は高く設定されることになる。

では、なぜ彼女たちはそうした仕事をしてまで大金を稼ごうとするのだろうか。その収入はどこに消えているのだろうか。本稿では実際に風俗店で働く女性へのインタビューを元に考察する。

1. 売春防止法に妨げられる女性の権利

昨年、高校3年時に「売春防止法と女性の権利侵害」をテーマに研究を行った。その際には、女性を守るための売春防止法がかえって女性の立場を危うくしていると考えた。その際には、次のような議論を行った。本稿に

も必要な議論なので再掲する（一部改変）。

執筆活動を通じて知り合った風俗業界で働く友人から、一日シフト入って二人しかお客さんがつかなかったという話を聞いた。一日中シフトに入っていることは労働基準法に違反しているのではないかと質問すると、性風俗で働く女性には労働基準法が適用されないという。本来は弱者を守るために施行された売春防止法が、かえって現在の風俗業界で働く女性の長時間労働を見逃す構造に繋がっているというのだ。

売春防止法は1956年に制定、翌年に施行された。日本には江戸時代以来の「公娼制度」が存在していたが、GHQが日本の民主改革の一環として日本政府にこれらの制度の廃止を要求した。

同法は、売春行為は人としての尊厳を害し、性道徳に反す「反社会的な行為」とした上で、売春をせざるを得ない社会的弱者である女性を「保護」することを謳っている。このため、違法となるのは「売春の周旋」「売春による対償の収受」「売春をさせる目的による利益供与」「売春を行う場所の提供」やいわゆる管理売春であり、売春を行った女性と客は処分を受けない。つまり、売春防止法

は、業者の側でリスクを負うかたちになっている。

これに対し業者側は、管理売春によって処分を受けないようにするため、性風俗で働く女性と雇用契約を結ばずに「特殊浴場」や「料亭」として届け出を出すという対応を取ってきた。店舗との正式な雇用契約がない状況では、こうした職業は法的に認知されず、法外な長時間労働や罰金制度の常態化を招いている。また、有給休暇や労災、雇用保険などの社会保険制度も利用できないという。このように女性を保護することが目的の売春防止法が、女性を苦しめているジレンマがある。

『図解日本の性風俗』などの著者として知られるノンフィクションライターの中村淳彦氏は、現在の風俗業界で働く女性が本当に求めていることは、風俗業の摘発ではなく、安心して働ける環境が構築だと述べる。実際に貧困のために風俗を始めた若者、この仕事に誇りを持つ人、長らく風俗業で働いて他の選択肢を考えられない人があることを考えれば、一律的に風俗業を廃止することも職業選択の自由の侵害にあたる恐れがある。

だからこそ、私が、現在実際に働いている女性の声に寄り添いながら、売春防止法によって法外な労働がまかり通る現状の是正に取り組みたい。現在の労働基準法は従業員を一人でも雇っている事業に適用されるが、現在の風俗産業で働く女性は、店とは無関係のたまたま居合わせた人という位置づけのため、同法が適用されない。(以上、引用)。

このように、去年は法律によって長時間労働が可能になっている現状を問題視して研究を行っていた。しかし、リサーチを重ね、風

俗産業で働く女性たちの声を聴いていくと、長時間労働をしたいという彼女たちのニーズがあることもわかってきた。

彼女たちの平均的な報酬単価はサービスの内容によって1時間あたり1~4万円と変化する。店舗の管理下の元でいわゆる本番行為を行うことは法律違反となるが、女性自身が収入目的で自分から本番行為を提供する場合があることが指摘されている。これは「円盤」と呼ばれる。他方、本番提供を強制して客をつかもうとする業者もあり、これは「基盤」と呼ばれる。業者はもちろん、女性の側が性病のリスクや法律違反を犯してまで本番行為を提供する理由は、やはりその見返りの高さにある。

例えば、次のようなツイートから、そうした状況を知ることができる。

「円盤できた上に60分コースが45分で帰ってくれた🙄🙄回転悪ければ単価上げるしかないよ〜」(円盤嬢のTwitterより引用)

客付き、客足が悪いなかで高い収入を確保するためには「円盤」行為も許容する女性がいることがわかるだろう。こうした「円盤」を許容する行為が、「他の子は本番させてくれたよ」と本番行為を強要する客を生み出すという問題も生じている。

2. 風俗産業で働く女性が高額収入を求めのはなぜか

ここまでのリスクを負いながら、風俗産業で働く女性が高額収入を求めるのはなぜだろうか。

一般的には「身体を売ることでは稼げない貧しくて頭も悪い子」というステレオタイプが挙げられるだろう。しかし、今は貧困を理由に働く女性だけでなく、相当な金額を稼

ぎ出す「鬼出勤嬢」がいることも事実だ。なぜ彼女たちはそこまでして稼ぐのだろうか。

リサーチを進めていくと、彼女たちにはそれだけの稼ぎを貢ぐ対象が存在するのではないかという仮説が立ち上がってきた。もっともその対象はさまざまであり、ジャニーズやV系バンドといった一般的なものから、メンズ地下アイドル、ホストといった近い業種にまで及ぶ。なかでも高額を必要として、時にして精神を病む危険性を持っているのがホストクラブにお金を使う女性たちである。

あるホストクラブ情報サイトが行ったアンケート調査によれば、1回に客が支払う金額は1~2万円が最も多く全回答者の37.0%だが、2~3万円未満が22.1%、3~5万円未満が16.2%、5万円以上が9.7%と高額の支払いも少なくない。客層としてはいわゆる有閑マダムと言われる主婦がイメージされるが、その割合は2.0%に過ぎず、客層の45.5%はホステス、27.3%が風俗産業で働く女性であるという(志田2017)。「夜職」に従事する女性が客層の大半を占めることが確認できるだろう。ここから、貢ぐために稼ぐという構図が生まれていることが示唆される。

3. 歌舞伎町で相次ぐ風俗産業で働く女性の飛び降り自殺

現在、上記の問題意識を持ちながら、歌舞伎町でインタビューを中心とした調査を重ねている。

2018年10月、歌舞伎町では実に8件の飛び降り自殺及び自殺未遂が起きた。そしてそのうち半分が同じビルで起こっている。ここは昔から自殺や事故死が多発し、心霊スポットとして知られており、筆者もこのビルを背

景に記念撮影をする女性2人を目撃している。

筆者は、過日このビルから飛び降りようとしている女性と、彼女が貢いでいるホストがそれを止めている場面に出くわし、二人に話を聞くことができた。彼女は、「お金を使わなければ自分には価値がない」「この時期(9~11月は客入りが悪く「閑散期」と呼ばれる)は死にたくなる」と話してくれた。

こうした女性たちの話を聞くと、夜職であること、歌舞伎町で働いていることによる「自分の価値」や「存在証明」が彼女たちのなかにあるように感じられた。

もっとも、こうした女性へのインタビューは難しさも伴う。どのようにして彼女たちに共感し、寄り添いながらインタビューをしていくかは大きな課題となる。この点については、同じように夜職の女性たちをインタビューした上間陽子氏の『裸足で逃げる』などを参考にしながら、さらに考えを深めて実践していきたい。

4. 本稿の小括と今後の展望、課題

本稿では紙幅と時間の制約により、リサーチの一部しか扱うことができなかった。歌舞伎町で風俗で働く女性の飛び降り自殺・未遂が頻発していること、そのように精神的に追い詰められている女性が多くいること、そんな彼女たちが高額を貢ぐことなどで必要となる稼ぎのために、法律に違反してまでサービスを行うこと、それを強要する男性客がいることなど、「夜職」にまつわる社会的課題が多くあること、そこには構造的な背景が存在することまでは確認できてきた。

風俗業で働く女性たちは労働環境の改善よりもより稼げる環境を求めている。そして、

稼ぐことに盲目になり、違法行為に手を出す女性があることで、風俗業界全体がその方向に引きずられ、客の違法行為を引き起こしやすい構造的な問題が生まれている。

風俗業で働く女性たちのなかにホストクラブに通う女性が多く存在することは、彼女たちが、貢ぐために「鬼出勤」をするという構造を気づかせてくれる。自殺に及ぼうとしていた女性の「お金を使わなければ自分には価値がない」という発言は、彼女たちが何をモチベーションにして働き、ホストクラブに通っているかを教えてくれる。

こうして見えてきた構造をもとに、今後は、彼女たちとホストの関係性や、金銭の循環について検討していきたい。くわえて、今回の調査では Twitter に溢れる彼女たちの声が、現状と彼女たちの本音を知るための方法として有益であった。彼女たちは多くの情報を SNS から発信している。これをより活用して、実態に近づいていきたい。

現在もインタビューに加え、参与観察の手法を取り入れながら研究の可能性を広げている（武岡 2017）。筆者はこれまで取材などを

通じて歌舞伎町に親しんできた。それだからこそ取材できる人、聞ける話が確実に存在する。そうした声を拾いつつ、現状の課題とあるべき姿を提示していきたい。

より長期的には、法整備の面にも着目し、売春防止法による労働環境の悪化や、スタッフによるセクハラや盗難のない「女性の働きやすい風俗店」のモデルケースを考案し、彼女たちがより安心して働くことのできる環境を提案していきたい。

参考文献

上間陽子(2017)『裸足で逃げるー沖縄の夜の街の少女たち』太田出版

志田雅美 (2017)「女性の主体性に関する一考察：『ホストクラブ』という場から」京都大学大学院人間・環境学研究科 社会システム研究刊行会『社会システム研究』20号

武岡暢(2017)『生き延びる都市ー新宿歌舞伎町の社会学』新曜社

中村淳彦(2016)『図解 日本の性風俗』メディアミックス

矢印の形態学

—収集、分解と見立てを用いた分析—

最上紗也子*仲谷正史**

*慶應義塾大学総合政策学部

*s16919sm@sfc.keio.ac.jp, ** mn2598@sfc.keio.ac.jp

キーワード：矢印、移動、方向提示、サイン

1 研究概要

本研究では目では見えない人や時という流れを端的に表現する矢印を、分解や見立てを用いることで矢印の新たな見方や「流れ」についての解釈を行う。

矢印は人々の生活に溶け込みながら、方向性や動きを促す記号である。年齢や国籍にかかわらず誰もがこのサインを共有しているが、その意味や形の多様性については十分な理解の共有はされてこなかった。そこで、矢印を(1)収集すること(2)分解すること(3)見立てることの3つに取り組んだ。その結果、矢印の形態を分類しその意味を個別に解析することで、人が矢印にもたせている意図を検討可能にした。本研究の成果は、人が矢印をデザインするときの指針を与えるだけでなく、人が矢印を見るときで得られる「導き」の効果を検証する足がかりを与える。

2 背景

矢印は他の記号にはない、「移動性」を持った記号であり、その矢印を分析することは移動について分析を行うことでもある。

私達は生活を送る上で常に移動する存在である。その中で矢印は、人々を特定の場所や方向を指し示すサインとして街中に散らばり、人々を導いている。

矢印の形そのものの歴史は古く、洞窟壁画からも矢の絵を確認することができる(近藤 2012)。しかし、この時代の矢印は呪術的な意味合いで、現在の方向指示の意味が含まれていないため現在の矢印とは言い難い。現在の方向指示の意味を持つ矢印が現れたのは15世紀ごろと推定される。その理由は大航海時代により正確な方向提示が必要とされたためである。その後、機械の図面や医学書で正確な向きを示す需要が増加したことにより矢印の表現は広く西洋で普及をした。

現在の矢印の形状に至るまで、指差しやアヤメの花をモチーフにしたフルール・ド・リスも方向提示の記号として用いられたが、他のサインと比較して簡潔且つ端的に方向を示すことが可能な矢印が広まったのだと考えることができる。

街の中で目にするインフォグラフィックやアイコンの多くが具体的なモチーフを簡略化させることで形を作るのに対し、矢印には明確なモチーフが存在せず、方向指示を表現する適切な形として現在の形態へと進化をした。

つまり、矢印という形には人間が抱く流れや方向の要素を含んでいると仮定することが可能であり、矢印の矢印性を解明することは人が認知する移動性や方向性への解釈になると考えられる。

そこで本研究では、矢印を(1)収集(2)分解(3)見立ての3つのプロセスで分析することで、矢印の矢印性を検討することを試みた。特に、本稿では矢印の形態に注目して分析した結果を報告する。

3 手法

3.1 収集

まずは、現在どのような矢印が流通しているのかを知るために矢印の収集を行った。身の回りにある生活用品や看板、道路標識に描かれていた234個の矢印を写真で記録することを行なった。収集した写真は全て1×1の正方形のフォーマットで揃えた。また本稿では矢印の形態について検討をするため、矢印の大きさは考慮せずに、矢印全体が写真に



図1. 収集した矢印(抜粋)

収まるように編集を行なった。

矢印を収集する中で、同じ方向提示の意味を持つ矢印でも線の太さや、軸の形状など、その形に個体差があることを確認した。

一般的に、現段階の矢印は、線の太さや軸の形状の違いに対して特別な機能情報はなく、主に装飾や矢印を描くスペース上の制限から形状の違いが生まれていると考えられる。

また、矢印の形状の多様性は街中に限らず Illustrator のアプリケーション内でも確認することができる。シンプルな形から複雑に装飾が施されたものまで、線ツールには39種、ブラシツールには109種の矢印があることから形の違いが分かった。

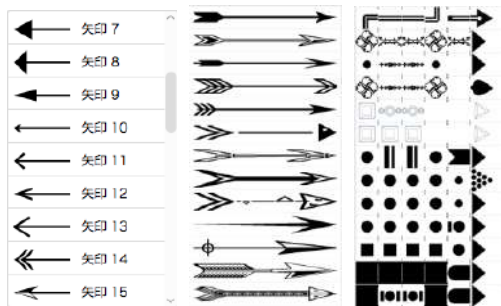


図 2. Illustrator ツール上の矢印

3.2 分解

収集した矢印の情報を元に、矢印の形態分解を行なった。矢の形を役割によって分けると矢の先端部分と、矢の軸部分の2パーツに分解ができる。このパーツをそれぞれ「矢先」「矢軸」と名付けた。矢先には広がりから先端へと向かう方向の役割を持ち、それに対して矢軸は対象が始点から終点に向かうまでの移動経路を示している。本研究内では矢印の定義を、方向を示す矢先と移動経路を示す矢軸によって方向提示を行うものとする。



図 3 矢印の構成.

次に収集した矢印の形を元に矢印を太さ、長さ、曲がり、角度、線と面、切り落とし、丸み、分割の8つの要素に抽出した。身の回りに溢れている矢印の形状は大きくこれら8つの要素を組み合わせることによって形作ることができる。

また、これらの要素には対応するイメージが存在

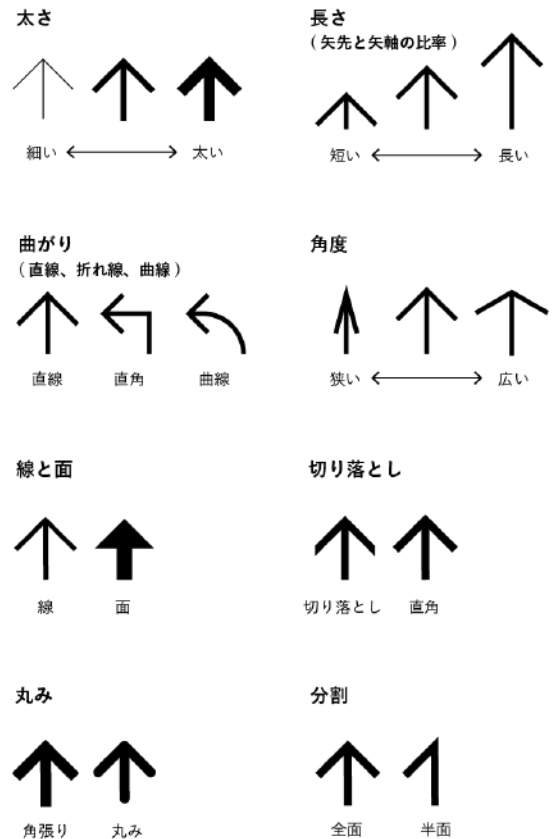


図 4. 8種の要素分解

ずると考えられる。太さであれば力強さ、矢軸の長さであれば移動距離、のように形に対して結びつくイメージが存在すると考えることができる。

3.3 見立て

簡略化された記号である矢印はある見方によっては別のものへと置き換えることが可能である。矢印を人体に見立て、骨格を当てはめることによって人体という視点からそれぞれの矢印を特徴や個性を持つ対象として捉え直した。

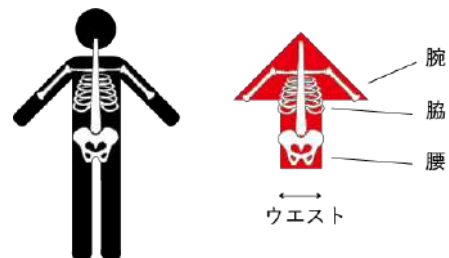


図 5. 矢印の骨格図

や矢印を応用した別の流れの提示方法についての検証も行っていきたい。

6 参考文献

加藤頌健 安井重哉 (2018)「体性感覚を利用した触覚矢印の概念の確立に向けて」『日本デザイン学会デザイン学研究 BULLETIN OF JSSD 2018』P. 338-P339

近藤 晶(2012)「矢印にみる日本の方向指示表記の変遷」『デザイン理論』. 60 P. 98-P. 99

ワールドフォトプレス(2007)『矢印の力—その先にあるモノへの誘導』(ワールドフォトプレス

矢軸部分を背骨、矢先を腕に置き換えることによって矢印の形を人間の上半身として見ることができる。分解で抽出した矢印の要素も身体として適応させると矢軸の長さは身長の高さ、太さは体型、矢軸の曲がりは人がお辞儀をするときの角度、のように人間の体型や行動として評価することが可能になる。

これにより、これまで静的な記号であった矢印を動的な対象として認知することができ、矢印に対して個性を見出すことになる。



図 6.

4 結論

本研究では実際に使用されている矢印の情報を集めることによって、今まで区別することのなかった矢印の形状の異なりを分解、見立てを用いることで抽出することが可能になった。そして、抽出された要素にはそれぞれ対応するイメージが存在することが考えられる。

要素とイメージの関係性が明らかになることで、約15世紀から変化することのなかった方向提示の意味に、速度感や距離感という今まで提示されてこなかった情報を追加することが可能になるという仮説を立てることができる。

5 今後の展望

今後は具体的にそれぞれの要素が与えるイメージを分析し、さらに評価実験を通して矢印の形状と認知との関係を明らかにすることを目指している。また、この後は矢印の形態だけにとどまらず、矢印が設置される環境と矢印の形状との関係性である「矢印の生態」

『住民主導型』災害復興はいかにして実現するのか

—3.11後の宮城県気仙沼市各地区を事例に—

○高橋侑也*

*慶應義塾大学 総合政策学部 3年

*s16508yt@sfc.keio.ac.jp

キーワード: 東日本大震災、復興、政策過程、住民参加

1. はじめに

1.1 研究背景

災害復興過程に着目した研究では、震災前の住民間の相互連帯の強度にすみやかな復興の理由を見出すものは多い¹。しかし、こうしたアプローチにはいくつか不十分な点が残る。第一に、住民以外のアクターの動き、あるいは住民との相互作用を解明し得ない。第二に、「震災前から存在する住民間の連帯が震災後も機能し続ける」というこのアプローチの前提に疑義が残る。筆者は岩手県山田町において以前、「仮設住宅への引っ越しが震災前の地縁に反して行われたために住民間の意思疎通が困難になっている」という意見を聞いた²。この意見は、震災前に住民間の連帯が認められた地域においても何らかの外的要因によってそれが断たれてしまう可能性があることを示唆している。

1.2 本研究で明らかにすること

上記の研究背景を踏まえて、本研究では宮城県気仙沼市を事例に市内4地区の震災後のアクター(住民・行政・外部協力者)それぞれの動きに着目し、復興政策の策定に住民の参加を促した要因を検討する。復興政策を防災集団移転促進事業に限定した上で、適用された各地区を事例に(1)すみやかな合意形成をもたらした要因 (2)充実した住民参加をもたらした要因についてそれぞれ検討する。

1.3 気仙沼市の防災集団移転促進事業について

防災集団移転促進事業は、災害被災地のなかで津波・土砂災害などにより継続的な居住が困難になった地域に対して集団的に移転を行い、国が資金面での援助を行うものである³。

気仙沼市内における防災集団移転促進事業は、その策定過程によって協議会型と市誘導型に分類される。協議会型は、震災前の集落単位で住民主体の協議会

が防災集団移転促進事業申込書を市に対して提出し、同事業を含めた市の復興交付金事業計画に対して国土交通大臣が同意した段階で事業が成立するものである。一方、市誘導型は協議会が存在しない地域の住民に対して、必要戸数を算出したうえで市が団地を造成し提供するものである。市誘導型と比較して協議会型は住民の事業立案という色が強いため、協議会型防災集団移転の策定過程は住民が災害復興過程に積極的に参加した事例と捉えることができる。

1.4 本研究の意義

本研究は、震災後の復興政策の策定過程について防災集団移転を行った地区毎に精緻に追跡することで対象地区の復興の記録を残し、経験知の蓄積に貢献する。加えて、災害後の諸要因と災害復興期における住民の政治参加の関連を探ることで、震災前からのソーシャル・キャピタル以外に復興のあり方に影響を与える因子を明らかにする。このことを通して、ソーシャル・キャピタルが貧弱な都市部などでのしなやかな災害復興のための示唆を得られると考える。

2. 研究手法

2.1 過程追跡

気仙沼市で住民主導型の防災集団移転促進事業を導入した全37地区のうち、移転計画戸数が比較的多い(50戸以上)小泉町、大沢、階上長磯浜、大谷の4地区⁴を対象に、震災後から国土交通大臣同意取得までの過程を追跡する。この追跡を通して、同意取得までの過程に存在するイベントをインタビュー・文献を通して可能な限りすべて枚挙することを試みる。

2.2 合意形成の速度の評価基準

すみやかな合意形成の要因を解明する際の評価基準として、本研究では事業採択要望書提出の有無・国土交通大臣同意取得時期の2つを採用する。

¹ たとえば、Aldrich(2012)は関東大震災後の被災地において住民間の連帯の強さが震災後の人口回復の素早さに有意に影響を与えていることを示している。また、川脇(2014)は震災前に存在するソーシャル・キャピタルが災害後の住民間の共助関係に有意に影響を与えていることを示している。

² 2012年7-8月に筆者が岩手県山田町で実施したフィールドワークより。

³ 『防災集団移転促進事業(東日本大震災の被災地に係るものに限る)』国土交通省。

⁴ 『復旧・復興事業の取組状況と課題』気仙沼市、2013年。

表1 研究対象各地区の計画戸数・要望書提出・大臣同意取得時期⁵

地区名	計画戸数	要望書提出	大臣同意取得時期
小泉町	90	○	1期
大沢	52	○	1期
階上長磯浜	65	—	1期
大谷	70	—	4期

要望書の提出は、気仙沼市が防災集団移転促進事業の説明会を開始する2011年9月以前から防災集団移転に関する議論が既に進んでいた地区が行った⁶。この要望書の提出の有無から、市の支援を得ない住民・外部協力者による防災集団移転の議論が地域内で発生していたか否かを測定することができる。

国土交通大臣同意取得は、移転用地の地権者・移転対象者双方の同意を取得し、市が各地区の事業について地区ごとに住民が提出した申込書に基づき復興交付金の使用見込みを策定した段階で得られる。気仙沼市内では同意取得は6期に分けて行われたが、同意取得の時期を把握することによって、現実性の高い事業計画がどれだけ早くまとまったか・その計画に対する移転対象者・地権者の同意をどれだけ早く得られたかを測定することができる。

2.3 住民参加の充実の程度の評価基準

表2 合意形成過程の定性的評価項目

本研究での評価基準	
1	移転住民全員が議論に参加できる仕組み
2	技術的情報を提供するリソースの存在
3	移転・残存住民双方の議論参加
4	制度的情報を提供するリソースの存在
5	会報を通した不参加者への情報共有
6	議論の手続きルールの明確化
7	議論の結果の関係者による尊重

充実した住民参加をもたらした要因の解明にあたって、評価基準を先行研究から援用する。住民参加型政策過程の定性的評価基準として倉阪秀史・千葉大学

教授が挙げた12の項目⁸をもとに、費用・便益についての議論がそこまで重視されないなどの防災集団移転促進事業の合意形成過程における議論の特性などを踏まえ若干の修正を行い、表2にある7項目を設定した。

3. 過程追跡

本章以降は、過程追跡が終了している小泉町・大沢の両地区に限定して議論を進める。小泉町地区については住民側の推進アクターである「小泉地区の明日を考える会」が刊行した記録集⁹、大沢地区については推進アクターである大沢地区防災集団移転促進事業期成同盟会幹部および移転住民へのインタビューに基づいて過程追跡を行った。

3.1 小泉町地区

小泉地区は旧本吉町から2009年9月に気仙沼市に編入された。震災前は、小泉地区内の7行政区にそれぞれ設置された振興会が地域振興計画の策定を通して町民参加型まちづくりを推進していた。

震災直後から、振興会副会長を勤めていたKA氏を中心に「高台を造成して住みたい」という意見が出始めた。KA氏は独自に防災集団移転促進事業の先行事例調査などを行ったのちに、4月29日の「小泉地区の明日を考える会」(考える会)立ち上げに幹部として参加した。同会会長にはこれまでの地域自治の中心人物との円滑な折衝を考慮し、振興会長を歴任し町内の有力者であったKB氏が起用された。考える会は設立後から被災住民に対して集団移転への合意取得と移転先の選定、地権者との交渉に動き、5月下旬から6月上旬にかけて集団移転への全戸合意と移転先の決定に至った。また、同会が事務局となり移転対象となる118世帯が参加する小泉地区集団移転協議会(協議会)が立ち上がり、6月14日に協議会が防災集団移転促進事業の実施を求める要望書を気仙沼市長に提出した。

合意取得に並行して、同会幹部と震災前から面識があった大学教授KC・建築事務所役員KD両氏が考える会の活動に参加した。両氏は7月から連続的に実施された集団移転に関するワークショップの設計・運営に関与し、移転先でのまちづくりについて移転住民を広く巻き込んだ議論を呼び起こした。ワークショップは仮設

⁵ 石丸時大、森傑、野村理恵「復興整備計画からみる防災集団移転促進事業の空間的特徴」『日本建築学会計画系論文集』2015年、80巻、715号、1980頁。

⁶ 「復興計画へ意見書 本吉地域協議会 田畑のがれき撤去など求める」『三陸新報』2011年8月26日。

⁷ 前掲、石丸ほか「復興整備計画からみる防災集団移転促進事業の空間的特徴」。

⁸ 倉阪秀史『政策・合意形成入門』勁草書房、2012年、155-159頁。

⁹ 森傑(監修)『大好きな小泉を子どもたちへ継ぐために-集団移転は未来への贈り物』株式会社小泉地区の明日を考える会、2013年。

住宅付近に建てられたプレハブ小屋で実施され、議題は回覧板を通して欠席者にも共有された。

第8回ワークショップが開催された11月22日に、移転先での持ち家建築・災害公営住宅入居の双方を含む集団移転希望の申請書が住民に配布された。その後、移転先との交渉にあっていた希望者数が判明した12月9日に、協議会は防災集団移転促進事業申込書を気仙沼市に提出した。翌年5月、第1次国土交通大臣同意が小泉町地区の防災集団移転促進事業を含む市内各種事業に与えられた。

3.2 大沢地区

大沢地区は旧唐桑町から2006年3月に気仙沼市に編入された。震災前は大沢自治会が取りまとめる形で漁港の管理や道路・河川改修など地区全域の課題把握・対応を行っていた。比較的若いメンバーは青年婦人部を組織し、例大祭の運営などに携わっていた。

震災直後は隣接地区にある中学校・小学校に地区全体で避難したが、避難後すぐに「大沢に戻りたい」という意向が住民間で共有されるようになった。市内の他地区が防災集団移転促進事業を検討していることをマスメディアから知ったSA氏をはじめとする住民の一部が、自治会を通して集団移転への意識調査アンケートを実施した。ほぼ全員から賛同を得られた4月25日、自治会は市に事業適用を求める要望書を提出した。

6月19日には、大沢地区防災集団移転促進事業期成同盟会(期成同盟会)が設立された。期成同盟会には高台移転を検討するほぼ全ての世帯が参加し、自治会青年婦人部のメンバーを中心に組成された幹部が自治会から分離して作業にあたるようになった。期成同盟会会長には自治会出身のSA氏があたる一方、期成同盟会は必ずしも事業に関して自治会から全権委任を受けていたわけではなく自治会との話し合いの場も繰り返し設定された。

期成同盟会発足に前後して、同会幹部と震災前から交友関係があった建築系の大学教授複数名が大沢地区にボランティアとして参加し始めた。彼ら、そして彼らの研究室の学生の協力を得た期成同盟会は、8月の第1回ワークショップを皮切りに10月以降月1回の頻度で町民全体の議論を行うワークショップを開催した。ワークショップには市の担当者や先述の教授・学生らも参加し、事業の情報提供・住民による意思決定の場作りにあたった。ワークショップは地区内の住民の仮設住宅とが設定されていた2団地のうち一方の集会所が使われた。このように議論を進める中で、12月中旬には市に希望書を提出し、翌年1月の市の復興交付金事業計画への掲載に至った。翌年5月、第1次国土交通大

臣同意が大沢地区の防災集団移転促進事業を含む気仙沼市内各種事業に与えられた。

4. 考察

4.1 何がすみやかな合意形成をもたらしたのか

表3 小泉町・大沢地区における合意形成過程内の独立変数

変数名	小泉町	大沢
震災前から地区全体での住民参加型まちづくり	×	○
同一避難所への避難	△	△
震災前のパワーバランスを意識した幹部人選	○	○
先行採用事例の参照	○	△
震災直後からの帰郷への意識	○	○
外部専門家の参加	○	○
外部学生の参加	?	○
外部専門家に対する住民の自律性	×	○
行政との協力姿勢	×	○
組織への移転対象者の全員参加	△	○
避難所・仮設住宅から至近距離でのWS開催	○	○

表3は小泉町・大沢両地区の合意形成過程で認められた要因を抽象化したものを比較したものである。表1のとおり、両地区は要望書提出・大臣同意取得ともにすみやかに進んでいる成功事例として捉えることができる。そこで、両地区に共通する要因がどのようにすみやかな合意形成を促進するのか検討する。

まず考える仮説が、「住民側の推進アクターが震災前の住民間のパワーバランスに適合的であるほど合意形成が速やかに行われる」である。小泉町地区では振興会長などを歴任したKB氏が、大沢地区では自治会内から事業策定にいち早く動き出したSA氏が推進アクターとなった団体の代表をそれぞれ務めた。このようにして、震災前に住民参加型まちづくりを実現していた構造の中において推進アクターが十分に権力を有している場合、合意形成を助ける社会的諸資源(他の有力者の協力、行政・外部協力者とのコネクション)を獲得しやすくなりすみやかな合意形成に結びつくと考えられる。

また、「外部専門家の参画がすみやかな合意形成をもたらす」という仮説も両地区の例から蓋然性が高いと考えられる。両地区において、外部専門家の役割は移転先の図面描画にとどまらず住民の議論の場となるワー

クショップの運営、さらには複雑な防災集団移転促進事業の解説など多岐に及んだ。こうした外部専門家の役割が住民の事業に対する理解を促し、すみやかな合意形成に至らしめたのではないだろうか。

4-2. 何が充実した住民参加をもたらしたのか

表4 小泉町・大沢地区での防集移転事業への合意形成過程の定性的評価

本研究での評価基準	小泉町	大沢
移転住民全員が議論に参加できる仕組み	○	○
技術的情報を提供するリソースの存在	○	○
移転・残存住民双方の議論参加	×	○
制度的情報を提供するリソースの存在	×	○
会報を通じた不参加者への情報共有	○	○
議論の手続きルールの明確化	○	?
議論の結果の関係者による尊重	○	○

小泉町・大沢両地区の合意形成過程においてどれだけ充実した住民参加が認められたかについて、2.3で提示した基準をもとに評価した結果をまとめたものが表4である。本研究での評価基準をもとに考えると、大沢地区においては小泉町地区と比較してより充実した住民参加がみられたという結論に至る。では、小泉町地区でみられなかった「移転・残存住民双方の議論参加」「制度的情報を提供するリソースの存在」は大沢地区においてどのように担保されたのだろうか。

まず移転・残存住民双方の議論参加について、震災前の住民参加型まちづくりが行われてきた規模の違いが影響する可能性は考える。大沢地区では自治会が震災後の移転対象・残存世帯双方にわたって地区全体のまちづくりに参与していた。これに対し小泉町地区では7行政区それぞれに自治会が設置され各々がまちづくりにあたっていた。こうした違いをもとに、移転・残存住民双方とのネットワークを持つ自治会が存在していた大沢地区では双方を巻き込んだ議論を行いやすかったのだろう。

続いて、制度の委細や適用条件など、国、県、市の制度設計への理解が十分でないと思われる制度的情報を提供するリソースの存在に着目する。本論では、住民が行政を友好的に捉えていると住民が制度的情

報を獲得しやすくなると考えられる。大沢地区では外部専門家と市担当者との意見交換が活発に行われた結果、外部専門家が制度的情報について平易な言葉で住民に説明する機能を果たした。「行政の遅い動きに対するいら立ちを結束に変え」¹⁰ていたというKC氏のコメントにみられるように、行政の負の感情を住民・外部協力者で共有していた小泉町地区とは大きく異なる関係性であったことは推測に難くない。

5. 結論

小泉町・大沢両地区において、推進アクターとなる住民が震災前の地域内のパワーバランスに沿って防災集団移転促進事業の策定に乗り出し、外部協力者の支援のもとすみやかな合意形成に至った。一方で事業策定過程への住民の参加の程度は両地区で異なっており、行政との関係性・震災前の自治組織体制が影響を与えている可能性が指摘される。

6. 今後の課題

過程追跡の冒頭で述べたように、本報告の段階では階上長磯浜・大谷の両地区での過程追跡が完了していない。まず第一に両地区での過程追跡を踏まえた上で表3,4に結果を反映させ、4.1と4.2で構築した仮説検証を行う必要がある。加えて、小泉町地区での過程追跡の根拠の多くを「考える会」の自伝に依拠しているため、一般住民へのインタビューを通して批判的に再検討する必要もあると考えている。

また、4地区にて仮説を検証した後は、市内の他地区においてアンケート調査などを通してそれらの仮説の外的妥当性を検証することを検討している。この調査を通じて、過程追跡を行った気仙沼市内4地区に限定されない妥当性の高い理論構築をめざす。

7. 主要参考文献

- Aldrich, Daniel P. 2012. "Social, Not Physical, Infrastructure: The Critical Role of Civil Society in Disaster Recovery." *Disasters*, 36(3), 398-419.
- 石丸時大、森傑、野村理恵「復興整備計画からみる防災集団移転促進事業の空間的特徴」『日本建築学会計画系論文集』80巻、715号、2015年、1979-1989頁。
- 川脇康生「地域のソーシャル・キャピタルは災害時の共助を促進するかー東日本大震災被災地調査に基づく実証分析ー」『ノンプロフィット・レビュー』14巻、1・2号、2014年、1-13頁。
- 倉阪秀史『政策・合意形成入門』勁草書房、2012年。
- 森傑(監修)『大好きな小泉を子どもたちへ継ぐためにー集団移転は未来への贈り物』株式会社小泉地区の明日を考える会、2013年。

¹⁰ 前掲、『大好きな小泉を子どもたちへ継ぐためにー集団移転は未来への贈り物』、105頁。

行政による芸術文化支援のあり方を考える

—地域に根ざす3つのオーケストラを事例に—

○江藤杏莉

慶應義塾大学総合政策学部 清水唯一朗研究会所属3年

s16120ae@sfc.keio.ac.jp

キーワード：文化行政、地方行政、オーケストラ、フランチャイズ提携

1 はじめに（概要・意義・目的）

1.1 概要

地方自治体が芸術文化を守り、育てることの意味、意義、正当性は何か。それらがあるならば何ができ、あるいは何をすべきなのか。芸術文化への公的支援は学術的に合理性が認められる一方、厳しい地方財政を背景に住民の理解なしには支援縮小の可能性もある。西洋化の手段という大義名分を失った今、支援の意味やあり方を再考する必要性が指摘できる。ただ文化の醸成には時間がかかるため断絶後に再興することは容易ではなく、精査には慎重さが求められる。そこで大阪府市と石川県と墨田区の事例をもとに今後行政が果たすべき役割を再考する。

1.2 背景・意義

運営費を自前で賄うことが難しい芸術文化は、行政による補助金や場の提供といった公的支援によって支えられてきた。なかでもオーケストラは収益構造上、自助努力だけでは運営できない代表例であり、公私様々な組織から支援を受けてきた。そうしたなかで、時代の要請や外交的アピールとしてなど理由は様々だが、政府や自治体などにおいて、行政が芸術文化事業を支援することは当たり前である、という暗黙知が共有されてきたようである。

しかし近年、そうした既成概念に変化が起きている。革新派首長の代表格であった橋下徹が首長を務めた大阪府や大阪市は、その顕著な例であろう。背景には厳しい地方財政があり、人間が生きるために不可欠ではない芸術文化との関係性が抜本的に見直

されつつある。一方で、石川県金沢市など行政と協働で芸術文化支援を維持・拡大している自治体もある。これらの違いはなぜ生まれたのであろうか。

今後、人口減少による予算の縮小やオリンピック後の景気悪化が懸念されるなかで、今一度、支援のあり方を再考することが必要だ。そこでカギとなるのは、納税者である地域住民の理解を得られるかどうかであろう。これを明らかにすることが、本研究の意義である。

音楽を愛する一人の奏者として、政治学を学ぶ一人の学生として、あくまで中立的な立場で、今後の行政による支援のあり方について模索したい。

2 芸術文化が公的支援を受ける正当性

2.1 正当性の検討

「芸術文化」が含意する幅は広い。政策対象とされる芸術文化とはどのようなものが挙げられるのだろうか。デイヴィット・スロスビーによると、視覚芸術、工芸、作曲、文学、そしてオペラなどの演出を含む幅広い活動が該当するとされる（スロスビー2014）。ただ、近年はジャンルの融合が進むなど、その境界は極めて曖昧になっている。

このような芸術文化を対象とした公的支援の正当性は、以前から議論の対象であった。ボウモルとボウエン、J. ハイブランとC. M. グレイ、B. S. フライとW. W. ポメレーネらの議論によると、資源の再分配の適正化、平等主義・所得配分、価値財の三つに分けてその合理性が語られる（後藤和子2001）。

市場メカニズムによって最適な状態にならない場

合は、政府による市場介入が必要になる。費用を負担しない不特定多数の人々にも益をもたらす公共財は、その代表例だ。芸術文化も公共財としての側面を持ち、例えばパブリックアートがもたらす地域的アイデンティティや誇りを「芸術文化の外部性」としてボウモルやポーエンも指摘している。一方で、芸術文化は市場で取引可能な私的財の側面も持つ。このように、芸術文化は私的財と公共財の側面を合わせもつ準公共財としての性質を有している。

第二の平等主義・所得配分の考え方は、すべての人が等しく芸術を鑑賞する機会を持つべきだという立場を取るものである。日本国憲法第二五条において「文化的な」最低限度の生活が保障する以上は、人々にとっての「文化」が何を意味するかは議論の余地があるとしても、行政は文化を保障する義務を負っているわけである。そのため、公的機関は公共サービスとして行う必要があると言える。

第三の価値財という考え方は、消費者の好みにかかわらず、政府が供給するのが望ましいとされるような財、すなわち価値財とみなす立場で、これはパターンリズムとも見なされる。特に新規性のあるアートなどは商業的な価値を認めてもらいにくく、優れた才能が埋もれてしまう可能性があり、文化国家を目指そうとする日本にとって損失である。

以上の三つの観点から、芸術文化に対する公的な保護が必要だと考えられてきた。

2.2 芸術文化行政のはじまり—歴史的経緯

では日本政府はどのようなスタンスのもと、芸術文化政策を行ってきたのだろうか。

明治以後の日本は、近代化を急ぐべく西洋の様々な文化を積極的に取り入れ、音楽においても徹底した西洋音楽教育を推し進めてきた（笠原潔 2008）。背景には、「国民」としてのアイデンティティが確立しているとはいえない状況があった。そうした人々を束ねるためには、音楽の力が有効であると考えられたのである。議会も憲法も制定されていない1897年にすでに音楽取調掛（文科省所属の音楽教育

機関）が創設されていたことから、明治政府がいかに芸術文化政策を重視していたかがうかがえる。

戦後は、民衆が国家主義の抑圧から解放され自由を謳歌する空気感があり、特に1980年代は「地方の時代」が叫ばれていた。地方の時代とは、中央集権の元に経済的・物質的成功をひたすら目指した時代ののちに到来する地方分権の時代であり、心の豊かさや文化的豊かさを求める時代として注目された時代であった。各地で行われた、音楽ホールや美術館などのいわゆるハコモノの建設ラッシュは、文化的豊かさを追い求めている時代を表す顕著な例であろう。このような「支援」のあり方は後に反省されることとなるが、地方各地が主体的に文化を発信することを視野に入れてまちづくりを行うことは、今なお、一つの方向性として保持されている。

3 事例研究—絶たれた支援・開かれる支援

前章で述べたように、時代の要請や外交的アピールとしてなど理由は様々だが、政府や自治体などにおいて、行政が芸術文化事業を支援することは当たり前である、という暗黙知が共有されてきたようである。しかし、コンテンツ産業の広がりや西洋化が必ずしも是とされなくなった社会情勢の変化を背景に、文化行政に対する取り組み方は各自治体によって様々である。本章では3つの自治体を事例に、何が課題とされ、誰の主導で、どのような施策が行われたのか、という3点に着目して整理する。

3.1 補助金が全額廃止された事例—大阪府—

大阪府知事に就任した橋下徹は、府民からの絶大な支持を背景に革新的な改革を行った。その対象の一つに、オーケストラや文楽といった芸術文化事業があげられる。これまで伝統芸能等の支援は予算規模の小ささゆえに、行政改革の対象とされることは少なかった。しかし、1980年代以降の経済力低下を背景とした財政難を理由に、改革に聖域を設けないとして文化関連予算の大幅な削減を行った。

具体的には、様々な分野でNPMを取り入れたほか、助成事業の中心であった団体向けの補助金を個

別事業ごとの補助金に転換するなど、従来の団体組織の運営を根本から見直した。その結果 2008 年には 10 年ぶりに黒字決算となった一方で、府が主導して設立したセンチュリー交響楽団（現日本センチュリー交響楽団）にさえ助成金を廃止するという厳然たる態度は、全国に波紋を呼ぶこととなった。センチュリーが標的とされた要因の一つは、府民へのアンケートにおいて、府内の 3 つのオーケストラと比べて圧倒的に認知度や集客率が低く、府からの補助金に「負んぶに抱っこ」状態で自助努力が足りないとの批判を浴びたことが、補助金廃止の決定要因の一つとなった。

3.2 官民協働型(1)—石川県—

日本のオーケストラは、大都市にあり、専属ホールを有さないという特徴を持っている。こうしたなか、オーケストラ・アンサンブル金沢（以下、OEK）は地方都市発、室内オーケストラ、ホールとオーケストラの同財団による経営、という世界的にもユニークな団体である。前述の大阪と同様に文化支援への風当たりが強まるなかで、OEK は地域性を生かした独自のオーケストラ作りを進め、地域住民にアピールする機会を積極的に設けることで四半世紀以上にわたり石川県から年 3 億円の支援を受け続けている。

日本初のプロ常設室内オーケストラである OEK は、文化投資への関心の高まりを受けて「県 80 年代ビジョン会議」でオーケストラ設置が提言されるなど県側の要望と、指揮者として名高い故岩城宏之による知事中西陽一への強い働きかけが合致し、設立に至った（潮博恵 2014）。しかし設立初年度はおよそ 3 億円の赤字を計上し、きしくも同年 2 億円の赤字に伴い廃線が決定された JR 能登線を引き合いに、「県民の足とオーケストラとどちらを優先すべきか」と県議会で物議を醸した。

そうした議論の末、文化は醸成に時間がかかるとして知事が支援継続を強く支持したこともあり、支援の継続が決定され、さらには 2001 年に待望の専

属ホールとして石川県立音楽堂が建設されるに至った。邦楽堂と一体となった専属ホールの存在は、石川県金沢市ならではの独自性を打ち出すことの可能性を広げ、世界中から注目を集めている。さらに専属ホールの運営とオーケストラの運営主体が同じ財団が行っていることは特筆すべき点だ。このような運営形態は全国で例がなく、貸館事業が低迷し経営が厳しさを増すホールにも、練習場所の日程や料金のために日々奔走せざるを得ないオーケストラ事務局にも、新たなモデルとしての可能性を秘めているからである。

3.3 官民協働型(2)—東京都墨田区—

日本初の行政と自主運営オーケストラでフランチャイズ契約を結んだのは、公益財団法人墨田区文化振興財団だ。同財団はすみだトリフォニーホールの指定管理者であり、1988 年より新日本フィルハーモニーに対し、ホールや楽器置き場等を優遇的に低料金で貸し出している。

ホール設立の背景には、バブル時代の 1981 年に構想された墨田区長期総合計画「大文化会館建設構想」がある。ホール設立は戦後焼け野原となっていた都市開発の一環として構想されたのだ。フランチャイズ化の背景には、多数の市民オーケストラの存在から音楽を積極的に求める市民性があったこと、両国国技館の復帰を祝うコンサートで新日本フィルが活躍する一方で練習場所の確保に苦心している状況を区が把握したことが挙げられる。

こうした事情を背景に、新日本フィルの地道な地域への貢献が評価され、ホール完成前である 1988 年に区と新日本フィルがフランチャイズ提携の覚書に合意する。OEK のような同一財団ではなくフランチャイズ提携としたのは、新日本フィルにとって日程調整や料金等において有益かつ、両者にある程度の緊張感が維持できることからだった。地域の中に拠点を持つことは地域住民へのアピールをする際に大きな強みであり、また継続的に同じ会場で練習や本番を行うことができる「オーケストラの家」は、

事務局や演奏家にとっての負担を減らすことにつながっている。例えば、日程調整や費用面といった事務面のみならず、大型楽器の搬入や留め置きなど運営上様々な利点を提供している。

4 おわりに—これからの支援—

科学技術やインターネットの発展により、コンテンツ産業の裾野は広がりを見せている。地方の時代のような娯楽に渴望していた時代からは、市民の趣向において大きな変化が見受けられる。こうした状況を踏まえマクロな視点で考えれば、特定の文化のみに公的支援を行う正当性は高くなく、大阪のように政策淘汰されるべきなのかもしれない。

一方で、各オーケストラ一つ一つの取り組みをみると、独自性を打ち出すべく様々な努力が行われており、一定数のファンの存在も確認できる。また、各地方自治体が支援しているオーケストラは1つだけと最小限であり、オーケストラの文化的外部性を考慮すると、現実問題、現段階で淘汰されるべきものは見当たらない。

そこで、今後もオーケストラをまちに必要なものとして地方自治体による支援を継続すると仮定し、今後は地方自治体の支援を受けるオーケストラのフランチャイズ化を推進すべきであると主張したい。演奏家や事務局にも、オーケストラ鑑賞の機会の地域的偏在性を解消する意味でも、大きな一歩になりうると考えるからだ。

現状、オーケストラは全国に36存在し、そのうち20が東京・大阪・名古屋と都市部に集中している。そのため鑑賞の機会の地域的な偏在性を解消するためには、オーケストラを有さない地方には、近くのオーケストラを持つ地方がハブとなって出前コンサートを行うことが交通費などの諸経費の節約になる。OEKではすでに福井などで定期的にコンサートを行なうなどの取り組みが行われているとのことだったが、OEKのように専属ホールを持たない地方のオーケストラのこのような活動を後押しすべく、フランチャイズ化を進めるべきだ。

5 参考文献

- デイヴィット・スロスビー (2014) 『文化政策の経済学』, ミネルヴァ書房
- 笠原潔・西村清和 (2008) 『世界の芸術文化政策』, 放送大学教育振興会
- 潮博恵 (2014) 『古都のオーケストラ、世界へ!—オーケストラ・アンサンブル金沢がひらく地方文化の未来—』, 株式会社アルテスパブリッシング
- 潮博恵 (2012), 『オーケストラは未来をつくる—マイケル・ティルソン・トーマスとサンフランシスコ交響楽団の挑戦—』, 株式会社アルテスパブリッシング
- 大木裕子・根元昭 (2001), 「日本のオーケストラの組織課題」, 長岡技術科学大学研究報告第23号
- 公益財団法人 日本オーケストラ連盟 (2017) (文化庁委託事業, 「平成29年度次代の文化を創造する新進芸術家育成事業」), 「日本のプロフェッショナル・オーケストラ年鑑2017」
- 稲川由佳, 「学校教育における自治体と芸術団体の協働—そのメリットと課題—東京墨田区と新日本フィルハーモニー交響楽団の音楽指導事業を事例として—
- 九州大学 QR プログラムつばさプロジェクト (2017), 「次世代に向けた地域オーケストラの社会・文化的役割とマネジメントの提言」
- (インタビュー)
- 公益財団法人 石川県音楽文化振興事業団ゼネラルマネージャー 岩崎巖氏
- 公益財団法人 石川県音楽文化振興事業団オーケストラ担当副部長 大海文氏
- 楽友会会員 吉川通氏
- 金沢市 文化スポーツ局 文化政策課 担当課長 青山昌幸氏

大学生用務員の経験に基づいた 「子どもへの第三のまなざし」を持つ社会の実現に向けて —学校現場に入る「大学生」を事例に—

○後藤 千佳* (指導教員 長谷部 葉子**)

*慶應義塾大学総合政策学部 4年

**慶應義塾大学環境情報学部准教授

*s15346cg@sfc.keio.ac.jp **happ3248@sfc.keio.co.jp

キーワード：第三のまなざし、スクールボランティア、学校・家庭・地域の連携

1 研究の背景

現代は、学歴社会や都市化、核家族化や少子化により、学校・家庭・地域を含む子どもを取り巻く生活環境が著しく変化している(中島・倉田, 2004)。家庭や地域の教育力は低下し、本来それぞれが担うべき役割が学校に偏り「学校の肥大化」が起き(相ヶ瀬, 2007)、学校は子どもと向き合う時間を確保することが難しくなっている(與那嶺, 2009)。教育現場を取り巻く環境が悪化する中で、学校教育を効率的かつ柔軟なものにするためにスクールボランティア*1の存在が注目され、期待が高まっている(武田・村瀬, 2009)。筆者自らが大学生用務員*2や大学生ボランティアとして学校現場にて活動した経験を持つことから、学校現場に入る「大学生」に焦点を当て、実体験に基づいて大学生ボランティアのこれからのあり方について考えることは意義があると考えられる。

*1 スクールボランティア…「学校支援ボランティア」「学校ボランティア」「学校インターンシップ」など、名称は様々であり、関わる人や年齢も多様である。(武田・村瀬, 2009)本研究においては、1998年に文部科学省によって出された教育改革プログラムの定義を用いて「学校の教育活動について地域の教育力を生かすため、保護者、地域人材や団体、企業等がボランティアとして学校をサポートする活動」とする。また、スクールボランティアに従事する大学生を「大学生ボランティア」とする。

*2 大学生用務員…大学生として学業に務めながら、用務員として働く人を指し、用務員として仕事をする中に大学生ならではの強みを活かせることを特徴とする。「大学生」と「用務員」という二足の草鞋を履いていた経験のある筆者による造語。

2 研究の目的

本研究では、鹿児島県熊毛郡屋久島町口永良部島に位置する屋久島町立金岳小学校・中学校にて、筆者が半年間、用務員として勤務して働いた経験に基づいて、大学生ボランティアの新たなあり方を提唱する。当時、大学生として学業と並行しながら用務員としても働いており、現在は大学生としてスクールボランティアの活動を行なっていることもあり、筆者自身が大学生という立場から経験してきたことであるため、本研究では、学校現場に入る「大学生」に焦点を当てる。

3 本研究の妥当性と新規性

原田・梶原・吉川・樋口・江上・四戸・杉野・松浦(2011)によると、何らかの役割で大学生ボランティアが必要と考える学校は83.7%と、多くの学校が大学生ボランティアに大きな期待を寄せていることから、大学生ボランティアのあり方を考えることは妥当である。

また、文部科学省(1998)によると、学校の肥大化をはじめとした子どもを取り巻く環境に関する問題は、学校・家庭・地域のそれぞれが要因として複雑に絡み合うことで発生している。学校の問題を学校内のみで解決をすることは、根本的な問題の解決にならず、家庭や地域を視野に入れる必要があり、それは文部科学省(1998)や多くの先行研究について重要視されている、子どもの「生きる力」を育む上で必要な学校・家庭・地域の連携へもつながる。

大学生ボランティアについて言及されている先行研究は多くあるものの、筆者自身が大学生ボランティアとして学校の現場に入り、研究活動を行なった事例は少なく、また、大学生でありながら用務員という公の職業に就き、研究活動を行なった事例はほとんどなく、新規性があり、本研究独自のものである。

4 研究の方法

筆者は、長谷部葉子研究会に所属し、活動を行う中で以下の3つの教育機関にてフィールドワークを実施してきた。それぞれに所属する児童生徒とその関係者を対象に特徴的な行動会話の内容、それぞれの関係性などを記録したフィールドノーツと自らの経験をもとに分析をし、考察を行った。

① 屋久島町立金岳小学校・中学校

(以下 金岳小中と記載)

本研究会の口永良部島プロジェクトに所属する中で、2017年10月～2018年3月の半年間、屋久島町口永良部島に移り住み、島内唯一の学校である金岳小中にて用務員として働く。金岳小中は、小学生5名、中学生6名の全校児童生徒数11名(うち山海留学生は4名)、教職員数13名の非常に小さな学校

である。口永良部島プロジェクトが関わり始めて今年で8年目と持続的な関わりを持ち、筆者も2年以上関わりを持つフィールドであり、大学生用務員として働いた学校の事例である。

②墨田区適応指導教室ステップ学級 (以下 ステップ学級と記載)

2018年4月から週に1度、学生スタッフとして通う中で、学習支援やワークショップ、休憩時間やレクリエーションを通じて子どもと関わる。人数は日々異なり、これまで約15名と継続的な関わりを持つ。ステップ学級は、墨田区の教育委員会が運営している、さまざまな事情により学校に行けない中学生が通う学級である。授業形態や規模は異なるが、教員による授業が行われたり、同年代と集団生活を送ったりと学校と同様の役割を果たしていることから、本研究においては、ステップ学級を学校とみなすことにする。本フィールドは、同研究会内の他プロジェクトと親交のあった学校の元校長であり、現在ステップ学級に勤務している教員から話をいただいたことをきっかけに、筆者が大学生ボランティアとして活動を行い、さらに本研究の実践的検証を行う学校の事例である。

③藤沢市立秋葉台小学校 (以下 秋葉台小と記載)

2018年4月からの半年間、週に1日、大学生ボランティアとして、授業時間内における学習支援をはじめ、休み時間や給食の時間を通じて、子どもと関わる。本フィールドは、同研究会内の他プロジェクトが藤沢市遠藤地区にて活動する中で行政関係者から話をいただいたことをきっかけに、筆者が大学生ボランティアとして活動した学校の事例であり、現在も研究会内の2名の学生が大学生ボランティアとして継続的に関わっている。

5 考察

・大学生ボランティアの現状

ステップ学級と秋葉台小における大学生ボランティア活動は、学習支援を中心に行なってきた。秋葉台小では、学習支援に入るクラスは毎時間異なり、入るクラスの担任の教員によって、生徒との関わり方が異なり、ある特定の生徒につくよう指定されることもあれば、つまずいていそうな生徒を見つけて声をかけるなど、大学生ボランティアが柔軟に対応することが求められる。また、ステップ学級においても学習支援が中心であり、秋葉台小と比べて規模が小さいこともあり、教員としっかりとコミュニケーションをとりながら授業中や自習中の生徒の学習のサポートを行ってきた。

原田他(2010)によると、学校は大学生ボランティアに対して、技術や知識の資質を必要とする児童生徒への関わりではなく、専門家ではない大学生ボランティアとしての関わりに意義を見出しており、子どもたちは、先生でもない、親でもない、同年代の

仲間でもない、近所のお兄さんやお姉さんのような豊かな関係を築く。実際に、ステップ学級の教員から「年齢の近い兄さんお姉さんがいて、生徒の表情がすごく明るくなった。私(教員)たちだけでは難しい部分もあり、とても助かっている。」という言葉をいただき、子どもたちとも教員とも良い関係性を築き、学級全体の雰囲気づくりに大きく関わる存在となっている。

一方で、原田他(2010)は、教員は大学生ボランティアに対して手の届かない部分をカバーする指導の補助的役割を求めており、マンパワー不足を補充させるための単純な資源として利用されるという懸念を抱いている。たしかに、感じ方によっては「ただ勉強を教えるだけでいい」という印象にも捉えかねず、やりがいを喪失させてしまう可能性もある。

・大学生用務員

学校用務員の仕事は、校舎内の掃除や草刈りなどの環境整備と花壇の手入れや学級農園の管理などの緑化整備が中心である。それ以外にも、学校外の公共機関にて事務処理を行ったり、授業にサポートで入ったり、児童生徒や教職員の必要に応じて様々なことをこなす「学校の中の縁の下の力持ち」である。

諏訪(2018)によると、子どもたちにとって学校用務員をはじめとした教員以外の職員は、子どもたちにとって評価されない安心感があるからこそ、心を開いて話すことができる存在であり、教員という立場では見ることのできない一面を見ることができる。さらに、それをもとに教員に適切な助言をすることもできる。筆者が学校用務員であったときも、子どもたちは、休み時間や給食の時間、放課後などに何気ない話をしにくることが多くあった。これは、学校用務員という教員ではない存在であるからこそ、安心して心を開いている様子の現れであると言える。また、子どもたちが学校用務員と過ごしている時間に、教員たちは授業準備など安心して自分たちの業務を進めることができ、学校内に余裕をもたず存在でもあった。

筆者は単なる用務員ではなく、「大学生用務員」として島に入ったことが特徴的で、学校の中の業務にとどまらず、副業として家庭教師、民宿、温泉のアルバイトを掛け持ちで行い、学校外においても子どもたちやその関係者と交流する機会にも日々恵まれた。家庭とは、週3~4日の定期的なアルバイト、個人的な食事会などを通じて、また地域とは、民宿や温泉のアルバイトや地域行事などを通じて親交を深めた。学校用務員の仕事柄でも地域との関わりは多く、学校外からの来客をお出迎えする「学校の顔」として学校と地域や家庭の入り口の役割を担っていた。大学生用務員という立ち位置を活かし、日々生活を送る中で様々な関係者と関わりを持つ

ことができた。

- ・大学生用務員が大学生にもどったその後

筆者が大学生用務員として働いたのは、わずか半年間という期間であったが、筆者が金岳小中を去った後もその影響は及んだ。2018年10月から半年間、同研究会の口永良部島プロジェクトのメンバー1名が現在、口永良部島に滞在しており、民宿と家庭教師の2つのアルバイトをこなしている。彼女の話によると、ある島の人から「慶應大学と金岳小中でもっと何か一緒にしてみたらどう？」という声がかかったようだ。この言葉は、筆者が大学生用務員として学校で働くまではほとんど関係性のなかった慶應大学(口永良部島プロジェクト)と金岳小中の距離が近くなったことを表している。これは、筆者が大学生用務員として働いたことや家庭教師として金岳小中の子どもたちの学習面のサポートが継続して行われていることが大きく影響していると考えられる。

大学生用務員は、金岳小中と家庭や地域のみならず、プロジェクト活動を通じて地域と継続的な関わりのある大学との今後の関わりへの期待を生み出す存在でもあった。

- ・大学生としての強み

ここまで大学生用務員と大学生ボランティアについて考察を行ってきた中で、筆者が考える主な大学生としての強みは二点ある。

まず一つ目は、現役の学生であることから、子どもたちへの学力面でのサポートができる存在であること。二つ目は、親や先生でもなく、友達でもないからこそ、近所のお姉ちゃんやお兄ちゃんに近い存在となって豊かな関係性が築け、さらにそれは子どもたちのみならず教員と大学生との関係にも共通して言えること。

こうした大学生の強みにも着目し、大学生ボランティアのあり方に言及していく。

6 これからの大学生ボランティアのあり方

では、なぜ大学生用務員が大学生ボランティアのモデルとなりうるのだろうか。本研究において、最も注目したい点は、両者とも、学校の中において、生徒でもない、教員でもない、第三者として存在しているということである。

- ・当事者でもない専門家でもない第三者の存在

生徒でもない、教員でもない、第三者が学校の中に存在することにどのような意義があるだろうか。

諏訪(2018)は、子どもの成長や発達には、専門家と当事者のみではなく、第三者の存在が必要であると指摘している。学校の中では、生徒が当事者、教員が専門家であり、事務職員や用務員などの職員が第三者である。この場合、大学生ボランティアも職員と同じく第三者にあてはまる。

諏訪(2018)によると、このような第三者は、目的

や必要があって関わる関係ではなく、条件なしに信頼関係を構築する関係である。たしかに、職員室に来る子どもたちを例に挙げると、担任や教科担当の教員に対しては何か用事があるときに職員室を訪ねてくることがほとんどである一方、用務員である筆者や事務職員に対しては、「ただなんとなく暇だから」「話がしたくて」と特に目的もなく訪ねてくることが多い。

さらに、諏訪(2018)は、ものごとの解決には、第三者の視点が必要であるということについても言及している。筆者が用務員として働いていた時も内容は何気ない会話から学校の運営に関わることで、生徒サイドからも、教員サイドからも、どちらの話にも耳を傾ける存在であった。こうした視野の広さが問題の解決への指針となりうるのだろう。

こうした「当事者でもない専門家でもない第三者」は、困っているそぶりをしている子どもがいたらつい声をかけてしまいたくなる感覚を持ち、第三者だからこそ可能なケアが存在する(諏訪, 2018)。こうした大人たちの子どもへのまなざしを諏訪(2018)の定義に基づいて「子どもへの第三のまなざし」とよぶ。

- ・「子どもへの第三のまなざし」のもつ公共性

また、諏訪(2018)によると「子どもへの第三のまなざし」は、公共性の基盤であり得るし、社会の基盤になり得る。また、学校には公共的使命があり、教師はその主な担い手であるが、教師以外の専門家や当事者としての保護者や子どもに加えて、「子どもへの第三のまなざし」が加わってこそ公共的であると言える。公共性が築かれることで、学校は広く社会全体に開かれるものとなる。筆者が大学生用務員として、金岳小中で働きながら、アルバイトや地域行事を通じて、地域や家庭と交流を持つことができたのも、教員ではない、大学生用務員という立ち位置であったことが大きく影響していると考えられる。その立ち位置を活かして、学校から家庭や地域と手を取り合いながら子どもを育む環境をつくることで、家庭や地域の教育力の回復を試みることができ、学校の肥大化の解消につながるのではないだろうか。

「子どもへの第三のまなざし」は子どもへの直接的な影響のみならず、子どもを取り巻く環境にも大きな影響を与える。大学生ボランティアとして学校に携わる一員として自覚を持ち、「子どもへの第三のまなざし」持って接することで、児童生徒や教員とより豊かな育み、よりよい学校環境をつくり、また学校外へもつながりを広げていくことが大切である。大学生ボランティアの活動は広まっているものの、その存在が役割を十分に果たし、学校に根付いているとは言い難く、互いに根気強く関係性を築きながら取り組む必要があり、武田・村瀬, は(2009)大学生ボランティアも「自主性」と「柔軟性」を持

って取り組むことが大事であると述べている。

7 今後の展望

今後は、引き続きステップ学級にて、大学生用務員をモデルとした新たな大学生ボランティアのあり方の実践的検証を行う。原田他(2011)によると、大学生ボランティアが「子どもへの第三のまなざし」を持って活動するには、ある程度の自由度が担保される必要があり、ステップ学級では学校と比較して自由度の高い活動が可能である。さらに、教育委員会が運営している点から、ステップ学級における活動が他の学校へ広がる可能性も十分に考えられ、現時点では規模の小さなステップ学級にて活動を行う。

これまで、生徒や関係者と関係性構築を行い、今後も持続的な関わることを見据えた活動の基盤づくりを中心に行ってきた。具体的には、筆者が関わり始めたことで教育委員会による学生ボランティア制度の確立や同研究会内の大学生1名による継続的な英語ワークショップの実施などにより、外部から人を受け入れる環境が定着した。

現在、同研究会内の大学生による数学ワークショップや演劇ワークショップ、不登校経験に関する講演会を予定しており、大学生ボランティアのより多様な関わりが期待される。また、長谷部葉子准教授によるステップ学級に通う中学生の保護者向けの講演を通じて、家庭との連携を図る。ステップ学級においては、大学生ボランティアが直接、家庭と関わるのが難しいとされているため、「子どもへの第三のまなざし」を持つ者同士が手を取り合いながら連携を実現させる。さらに、ステップ学級では、体験学習を通じた地域の人との交流活動が行われている。大学生ボランティアという柔軟な立ち位置を活かして地域の人と関わる機会を持つことは、学校と地域の関わりをより日常的かつ継続的なものとする。

今後の課題として、平常授業以外の課外活動へ大学生ボランティアが参加することが制度的に認められていないため、さらに活動の幅を広げていくことを見据えて、教育委員会を通じた制度の見直しが必要となる。

8 その先に見据えるもの

本研究では、筆者の経験に基づき「学校」という環境と「大学生」という存在を中心に語られてきたが、スクールボランティアには、大学生のみならず、保護者や地域の人など、多様な関わりが存在する(小川, 2012)。開・柿森(2009)は、異年齢の人々と関わることによって、対人関係能力や社会性が育まれることから、教師や保護者ではないそれ以外の大人と子どもの関わりの中核性について言及しており、多様な人々との関わり、豊かな関係性を築くことが子どもの成長に大切である。関わり方は人によ

って異なるが、本研究において提唱した大学生ボランティアのあり方は、大学生以外のスクールボランティア全般に通用するものではないだろうか。

また、子どもの生活環境は学校のみならず、家庭や地域など多岐にわたる。諏訪(2018)は「子どもへの第三のまなざしが重要であるのは、必ずしも学校に限らない」と述べている。子どもにとって、当事者でもない専門家でもない第三者の存在は、大人であれば誰もがその存在になりうる。つまり、誰もが「子どもへの第三のまなざし」を持つことができるのである。

本研究では、人口約100人の離島に位置する金岳小中の持つ環境であったり、大学生でありながら学校用務員として勤務をしたり、比較的特殊性の高い事例を扱っており、その特殊例をどこまでモデルにできるか、これからの課題は残る。しかし、自分だからこその強みを活かして、誰もが「子どもへの第三のまなざし」を持つ社会の実現を目指したい。

参考文献

- (1) 中島喜代子・倉田英理子 (2004) 「家庭、学校、地域における子どもの居場所」, 三重大学教育学部研究紀要, 55, 65.
- (2) 相ヶ瀬浩 (2007) 「学校・家庭・地域社会が果たすべき教育責任に関する一考察—教師、保護者、地域住民の意識調査をもとにして—」, 宇都宮大学生涯学習教育研究センター研究報告, 13/14/15(9), 83-84.
- (3) 奥那嶺忠 (2009) 「学校支援を通じた社会全体の教育力の活性化—国・沖縄県の施策から見る学校・家庭・地域の連携—」, 琉球大学生涯学習教育研究センター研究紀要, 3, 17-19.
- (4) 武田明典・村瀬公胤 (2009) 「日本における大学生スクールボランティアの動向と課題」, 神田外語大学紀要, 21, 315-318.
- (5) 原田直樹・梶原由紀子・吉川未桜・樋口善之・江上千代美・四戸智昭・杉野浩幸・松浦賢長 (2011) 「大学生ボランティアによる学校児童生徒への支援ニーズに関する研究」, 福岡県立大学看護学研究紀要, 8(1), 1-9
- (6) 文部科学省 (1998) 「21世紀を展望した我が国の教育の在り方について (中央教育審議会 第一次答申) (5) いじめ・登校拒否の問題 第1部 今後における教育の在り方」
- (7) 文部科学省 (1998) 「我が国の文教施策 第II部 文教施策の動向と展開 第3章 初等中等教育の一層の充実のために 第2節 校内暴力、いじめ、不登校等の解決を目指して」
- (8) 諏訪晃一 「子どもへの第三まなざし」, 大阪大学大学院人間科学研究科紀要, 44, 223-247.
- (9) 開浩一・柿森昭長 (2009) 「異年齢集団活動が児童の発達に関わる可能性」, 現代社会学部紀要, 7(1), 39-44.
- (10) 小川三枝子 (2012) 「学校と地域を結ぶ学校支援ボランティア—宇都宮市立陽東小学校での活動事例調査より—」, 宇都宮大学生涯学習教育研究センター研究報告, 20, 67-79.

E-learning の発展途上国での有用性 —カンボジアでのフィールド実験を通じた効果検証—

葛西慧子* (指導教員 中室牧子**)

*慶應義塾大学 総合政策学部 4年 (2019年3月卒業予定)

**慶應義塾大学 総合政策学部

*s15230kk@sfc.keio.ac.jp, **makikon@sfc.keio.ac.jp

キーワード: e-learning、発展途上国、教育経済学

1 はじめに

発展途上国では、現在「学習危機 (learning crisis)」が問題となっている。この問題を解決するために、教員の増加や教員の質の向上などの方法が考えられるが、多額のコストがかかる点や、長期間を要する点などから、なかなか進んでいないのが現状である。

そこで、もう一つ考えられる方法は、タブレット上で学習アプリを授業の代わりに行うことである。現在のまま、教員の数と質を変化させる必要がなく教育の質を向上させることができる可能性があるとし、期待を集めている。

今回、ランダム化比較試験 (RCT) という方法を用い、フィールド実験を行なった。これにより本研究では、授業の代わりにタブレット端末上で学習アプリを行うことで、IQ を上昇させ、学力テストの偏差値を上昇させることができると分かった。

2 先行研究

そもそも、e-learning という際には、ICT と CAI という二つの方法が考えられる。ICT とは、Information and communication technology の略称であり、CAI は Computer-aided instruction の略称である。ICT は、インターネットを使用するケースが多く、目的は学力向上であることが多い。そのため、日本を含む先進国でも、近年 ICT の活用が積極的に行われている。一方、CAI とは、必ずしもインターネットを使用できる必要がなく、ただ単にタブレットやコンピューターを使用する場合も多い。また、目的が学力向上であることはもちろんのこと、発展途上国など、教員の質が保証されていない地域でも平等かつハイクオリティな教育を供給できるというメリットがある、という特徴がある。

のちに説明するが、今回の研究で用いた "Think! Think!" というアプリはインターネットに接続する必要がなく、学力向上はもちろんのこと、教育の質が担保されていない発展途上国での平等な教育を

給するために実施されたことから、CAI に分類される。

Rouse and Krueger (2004) では、アメリカの小学 3 ~ 6 年生を対象に "Fast For Word" という学習アプリを RCT で実施したが、統計的に有意な reading skills の向上はみられなかったとされている。

Banerjee et al. (2007) では、インドの小学 4 年生を対象に数学の学習アプリを授業の代替ではなく、授業前後の補完的な役割をして実施した。その結果、統計的に有意な数学のスコアの向上が見られた。

Barrow et al. (2009) では、アメリカの中学生・高校生を対象に "I Can Learn" という数学学習アプリを授業の代わりに受講させるという RCT を 2 年間実施した。この学習アプリの実施により、統計的に有意な数学のスコアの向上が見られた。

Carrillo et al. (2010) では、エクアドルの小学 3 ~ 5 年生を対象に "Mas Tecnologia" という学習アプリを授業の代わりに受講させるという RCT を 2 年間、実施した。その結果、言語テストでは統計的に有意な差は生まれなかったが、数学のテストでは統計的に有意な数学のスコアの向上が見られた。

Mo et al. (2014) では、中国の小学 3・5 年生を対象に RCT で学習アプリの実行を 1.5 年間、行なった。その結果、統計的に有意な数学のスコアの向上が見られた。

以上のような先行研究から、授業の補完的な役割として学習アプリを実施する場合、言語のスコアに統計的に有意な影響は与えないが、数学のスコアには統計的に有意でプラスの効果があることがわかった。また、授業の代替として学習アプリを実施する場合、長期的に、言語のスコアに統計的に有意な影響は与えないが、数学のスコアには統計的に有意でプラスの効果があることがわかっている。

つまり、これらの先行研究から、分かっていることとして、「短期的に、授業の代替として学習アプリを実施した場合の効果」が挙げられる。そのため、本研究では、短期間で、授業の代替として学習アプリを実施した際の効果について分析を行なった。

3 フィールド実験設計

今回は、カンボジアの首都プノンペン近郊の複数の小学校を対象にRCTを行なった。一つの小学校のうち、ある2クラスは、通常通りの授業を行い、他の2クラスは、通常の授業ではなく、Hanamaru lab.が作成した”Think! Think!”という学習アプリを行なった。この介入は、約3ヶ月であり、このようなフィールド実験としては、非常に短期間であった。このアプリは、決して授業の問題に沿ったものではなく、パズルのようなものであったため、十分に字が読めない生徒であっても、熱心に取り組むことが出来た。また、難しい問題が解ければ、更に難しい問題が出題されるようなアルゴリズムが組み込まれていたため、1セクションの中で個人によって解く問題の難易度は行なっていた。

4 分析

4.1 分析結果

今回、フィールド実験の設計が RCT であったため、因果関係を特定することが出来た。OLS(最小二乗法)による分析を行なった。

分析の結果、”Think! Think!”を行うことによって、統計的に有意な IQ の向上、数学のテストスコアの上昇が見られた。

つまり、通常の授業を受ける代わりに、”Think! Think!”を行うことは、統計的に有意でポジティブな効果があるということがわかった。3ヶ月という非常に短期間の介入であったにも関わらず、数学のテストスコアを、統計的に 1%有意で約偏差値6も向上させることができたというのは、非常に大きな効果があったと言っても過言ではない。

	TIMSS(偏差値)	National assessment(偏差値)	IQ
Think!Think!	6.206*** (1.098)	6.613*** (0.632)	8.900*** (0.763)
コントロール変数	✓	✓	✓
Constant	43.480*** (12.277)	30.411*** (4.543)	28.302** (13.020)
Adjusted R-squared	0.2284	0.706	0.4556

*p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01

4.2 メカニズム

通常、テストスコアが向上するメカニズムとして、学習意欲の向上や学習時間の伸びが考えられる。学習意欲の向上により学習時間が伸び、たくさん勉強することにより、テストスコアが上昇することなどが考えられる。しかし、今回の分析では、”Think! Think!”を受講することによる、統計的に有意な学習意欲の向上や学習時間の伸びは見られなかった。上記でも述べたように、介入期間が約3ヶ月しかなかったことから、学習意欲や学習時間に影響を及ぼ

すことはできなかったと考えられる。

一方で、統計的に有意なポジティブな効果が見られた。つまり、”Think! Think!”自体に、IQ を向上させる力があり、そのことによって IQ が向上したと考えられる。生徒の能力に応じて問題の難易度が上昇する仕組みなども役立ったのだろうと考えられる。

また、”Think! Think!”は、直接的に数学のテストの対策をするような学習アプリではなかったことから、数学のテストスコアの上昇に関しては、IQ の向上によってテストスコアの上昇が見られた、もしくは制限時間内に問題に挑戦することに慣れることができた、などの可能性が考えられる。

5 まとめ

今回のフィールド実験の結果、”Think! Think!”を受けることによって、IQ、数学のテストスコアを統計的に上昇させることができる、という因果関係を示すことが出来た。

教員不足や教師の質の低さが問題視されている発展途上国のうちの一つであるカンボジアで、このような結果が得られたことは非常に有益で、learning crisis を打破するきっかけとなりうる結果であると考えられる。今回の介入は、3ヶ月という非常に短いものであったため、今後はさらなる長期的な介入による効果を調査することも必要だろう。

このようなフィールド実験を通じ、発展途上国の教育環境改善に少しでも寄与できれば幸いである。

6 参考文献

Banerjee, A. V., Cole, S., Duflo, E., & Linden, L. (2007). Remedying education: Evidence from two randomized experiments in India. *The Quarterly Journal of Economics*, 122(3), 1235-1264.

Barrow, L., Markman, L., & Rouse, C. E. (2009). Technology's edge: The educational benefits of computer-aided instruction. *American Economic Journal: Economic Policy*, 1(1), 52-74.

Carrillo, P. E., Onofa, M., & Ponce, J. (2011). Information technology and student achievement: Evidence from a randomized experiment in Ecuador.

Mo, D., Zhang, L., Luo, R., Qu, Q., Huang, W., Wang, J., ... & Rozelle, S. (2014). Integrating computer-assisted learning into a regular curriculum: evidence from a randomised experiment in rural schools in Shaanxi. *Journal of development effectiveness*, 6(3), 300-323.

Rouse, C. E., & Krueger, A. B. (2004). Putting computerized instruction to the test: a randomized evaluation of a "scientifically based" reading program. *Economics of Education Review*, 23(4), 323-338.

「孤立・孤独」を防ぐナッジ的予防対策の探索

栗原美穂* (指導教員 小池智子**)

*慶應義塾大学 看護医療学部 4年 (2018年3月卒業予定)

**慶應義塾大学 看護医療学部

*i15089mk@sfc.keio.ac.jp **koiketom@sfc.keio.ac.jp

キーワード：孤独、孤立、孤独死、高齢者、ナッジ

1 研究背景

今日高齢化が進むにつれて、孤独死という言葉をよく耳にするようになった。孤独死の背景には孤立や孤独がある。実際に、内閣府が発表した統計（内閣府、平成 29 年）では、現在住んでいる地域での付き合いの程度について「付き合いがない」と答えた 60 歳以上の高齢者の割合は女性が 19.8%、男性では 25.3%にのぼる。

孤立や孤独の問題は孤独死に留まらない。孤独や孤立は、うつ病や認知症などの精神疾患の要因となるだけでなく、心疾患などの身体的な疾病もきたしやすく、死亡リスクが高まることが広く知られるようになった。

一方、孤独や孤立を予防するための方策についても研究が進み、政策的に取り組んでいる国、自治体も増えてきた。日本では既に孤立・孤独を防止するために、地域住民を見守りスタッフとして養成する取り組みや、事業者（新聞・ガス等）と提携することで異変があった場合には連絡・支援活動を確立させている地方自治体もある。一方で、これらの対策への取り組みは自治体によって差があり、従前の対策だけでは十分な効果が上げられていないのが現状である

近年、ナッジ (Nudge) として知られる行動科学、社会科学から得られる洞察、つまり「行動洞察 (Behavioural insights)」を、公共政策に取り入れ成果を上げた事例がみられるようになってきた。ナッジ的対策は、強制するのではなく、個人の自由な選択を残したまま、理想的な行動をできるよう誘導さ

せる点に特徴がある。孤独・孤立の問題についてもこれまでの予防対策に加え、ナッジ的なアプローチを組み入れることで、コミュニティにおいて継続的に住民が参画し、高い効果を生むことが期待される。

2 本研究の目的・意義

本研究の目的は、「孤独・孤立」の要因と健康や社会への影響との関連を整理し、その効果的な対策を探索することである。さらに、従前の「孤独・孤立」対策に加えて、より多くの人々が継続的に行動化できるようなナッジ的アプローチを探究し、これを対策として提言することである。

本研究は、身体的・精神的健康へのリスクが極めて大きい「孤独・孤立」を低減し、社会経済的な損失を縮小することへ貢献することが期待され、ここに本研究の意義がある。

3 用語の定義

本研究では広辞苑を参照し「孤独・孤立」を以下の通り定義をしている。

「孤独」とは、「頼りのある人がいなくて一人で寂しいこと、また仲間がいなくて一人でいること」

「孤立」とは「他とかけ離れてそれだけであること、ただひとりで助けのないこと」

4 「孤独・孤立」に関する文献調査

4-1 文献調査方法

現状把握のため書籍・研究論文・電子データベース (KOSMOS、医中誌、CiNii) を用いて孤立や孤独を引き起こす要因やその影響に関する研究論文等を抽出し検討を行った。文献検索のキーワードは

「高齢者」「孤独」「孤立」「孤独死」「外出頻度」とした。

4-2-1 文献調査の結果

文献検討の結果を整理し、孤独や孤立を引き起こす要因とその影響について図1のように示した。

4-2-2 孤立・孤独を引き起こす要因

孤立・孤独の要因は、1「身体機能要因」、2「生活スタイル要因」、3「交流機会要因」、4「経済要因」に整理された。(図1)

これらの要因が外出頻度の減少をもたらし、他者との交流機会や社会活動の参加への機会を減少させている。これにより、社会的繋がりが希薄になり孤独・孤立状態に陥る。以下に、それぞれの要因の詳細について記す。

4-2-2-1 身体機能要因

「孤独・孤立」を引き起こす身体的要因として「加齢による虚弱」と「骨折や脳血管疾患などの身体疾患」がある。

藤田氏らは外出の定義を「買い物、散歩、通院などで家の外に出る行動であるが、庭先やゴミ出し程度の外出は含まない。ただし介助されての外出は含む」とし、「外出頻度が低い」ということを「毎日1回未満」として外出頻度と加齢の相関を検証した。その結果、加齢により外出頻度が低くなることを明らかにしている(藤田・他 2004) 同論文は、厚生労働省の「障害老人の日常生活自立度判定基準」の総合的移動能力レベルが低いほど外出頻度が低いということも報告している。

また、『高齢者の社会参加活動のあり方および参加促進に向けた取り組みに関する調査研究』報告書は、岩手県在住の約1000人のうち約19%が健康に自信がないことを、社会活動不参加の要因として挙げている。

4-2-2-2 生活スタイル要因

「孤独・孤立」を引き起こす生活スタイル要因として、「家族からの支援がないこと」、「配偶者の離別」、「趣味がないこと」がある。

高齢者600人への調査では外出の際の問題点とし

て35%が同行者がいないことを挙げている。また同論文では、高齢者の外出時の同行者は孫が約40%、次いで配偶者であった。(水野 2004) そのサポートを得ることができなかつたりサポートする者がいない高齢者は外出頻度が減少する。

さらに中沢氏は、配偶者と離別した男性は精神的ショックから近隣に挨拶をしなくなる傾向にあるということを明らかにしている(中沢 2008)。配偶者との離別によって人との交流を拒むようになるため、外出頻度も減少しがちになる。

また、山縣らの論文では、閉じこもり群(週1未満の外出)と無趣味には相関があることを報告している。(山縣 2017)

4-2-2-3 交流要因

「孤独・孤立」を引き起こす交流要因として、「町内会への参加」、「ソーシャルサポートがないこと」、「地域で簡便に利用することができる施設がないこと」がある。

町内会への参加は外出することを促す機会のひとつである。町内会等の身近なコミュニティの会合や行事に参加しないことで、コミュニティとのつながりが希薄になり外出頻度も減少する一因となっている。山縣らは、日本版ソーシャルサポート尺度短縮版のソーシャルサポートの点数と外出頻度に相関があることを明らかにした。(山縣 第48回日本理学療法学会大会 2013)

また、高齢者ほど公共施設の利用率は高く、趣味の友人と過ごすことが多いということが明らかにされている(木下 2008)。高齢者にとっての公共施設は趣味を仲間と共有する場であり、外出頻度を増やす機会となる。水野氏は外出頻度を減少させる要因として「出かける目的がない」という項を挙げた(水野 2004)。公共施設などで趣味を共有することは、高齢者が出かける目的ともなっている。身近に負担いらない費用で簡便に理利用することができる施設がないことは、外出頻度を減少させることに繋がる。

4-2-2-4 経済要因

「孤立・孤独」を引き起こす経済要因として、「低所得」、「低学歴」がある。

Fischer らは高学歴者が豊富な友人関係をもつ理由として、彼らの関係の形成・維持に関する能力の高さを指摘している (Fischer 1982)。高学歴者は高所得であることが多く、語学やコミュニケーションスキルを高める機会が豊富で、仕事等を通じて多彩な交流をもちやすい。これに比べて、低学歴者はこのような機会を得にくい傾向にあり、コミュニケーションスキルや交流範囲が限られてしまいがちである。日本においても、所得が低いほど外出頻度が低いことが示されている (山梨民医連, 2007)。

4-2-3 孤立・孤独の影響

孤独・孤立の影響を、うつ病などの「精神的影響」と心臓病などの「身体的影響」、そして「孤独死」の3つに整理した。

4-2-3-1 精神的影響

Holwerda らは、認知症発症リスク (心臓病やうつ病などによる影響を調整) は、孤独を感じる人では孤独を感じない人の 1.64 倍であることを報告した (Holwerda 2012)。また、孤独と抑うつ症状には相関があることも明らかになっている (Cacioppo 2006)。

4-2-3-2 身体的影響

Hawkey らは孤独な人は、うつ病の症状や感情のストレスなどの他の要因も考慮に入れても、孤独ではない人々よりも 30mmHg 高い収縮血圧値を示すことを明らかにした (LC Hawkey 2012)。つまり、孤独の人は高血圧による疾患が起こりやすいということを示唆している。実際に、孤独を感じている人は、そうでない人よりも心臓病のリスクが 29% 上昇するという報告もある。(Nicole 2015)。このように、孤独は身体的にも大きな影響を与えることがわかった。

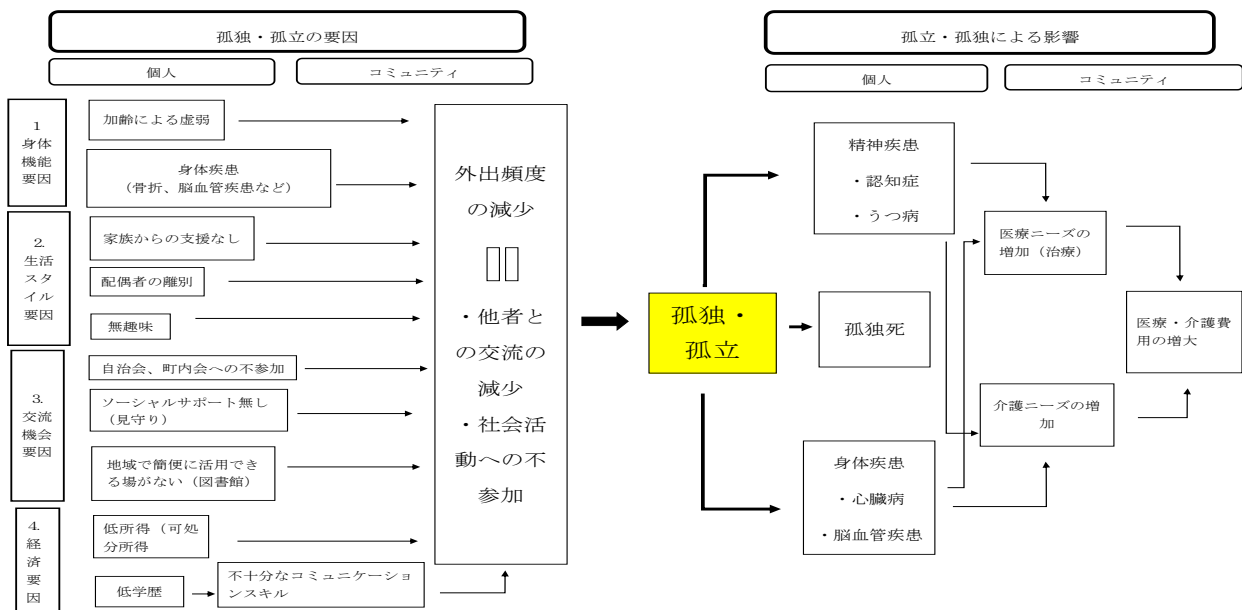
4-2-3-3 孤独死

孤独死の定義は「みとる人もなく 1 人きりで死ぬこと」(広辞苑)である。内閣府が発表した 2017 年版高齢社会白書によると、東京都 23 区内で原因不明の急死や事故で、自宅で亡くなった一人暮らしの 65 歳以上の死亡者数は年々増加しており、2015 年では 3,127 人となっている。日常的に誰かと接する環境にあれば、孤独死は生じない。「孤独・孤立」の常態化は孤独死の要因となっている。

4-2-3-4 医療・介護ニーズおよび費用への影響

孤独・孤立は精神疾患や身体疾患を患う患者を増大させている。これに伴い医療や介護ニーズは増加し、医療・介護費用の増大につながっている。

図 1 孤立・孤独を引き起こす要因とその影響のメカニズム



4-2-4 孤立・孤独の予防対策

日本では既に孤立・孤独を防止するために、地域住民を見守りスタッフとして養成する取り組みや、事業者（新聞・ガス等）と提携をすることで異変があった場合には連絡・支援活動を確立している地方自治体もある。また、民間企業の参画も増えてきた。例えば、ネスレ日本は地域住民のコミュニティを活性化させるために移動型カフェの運営をしたり、アプリ内に動画などを載せて親族と共有し安否を確認することができるアプリの開発を進めている。

4-3 文献検討のサマリーとこの問題の位置づけに関する考察

文献検討から「孤独・孤立」は、個人の健康に重大な影響を与え、医療・介護の増大を介して社会経済の側面にも大きな負担となることが分かった。孤独や孤立は、公共政策的として取り組むべき重要な課題なのである。実際に英国では 2018 年 1 月に孤独予防大臣を置き、国家としてこの問題の解決に着手している（The Guardian 2018）

我が国においても、「孤独・孤立」は重大な問題だ。孤独死のみが注目されがちだが、孤独・孤立の社会的影響を広く周知し、その対策をとることの必要性について警笛を鳴らすべきであろう。

我が国ではどのような「孤独・孤立」対策が効果的であろうか。少子高齢化とともに独居世帯が増えており、また、昔ほど回覧板を回すなどの近所付き合いが減ったために、隣に誰が済んでいるのかわからないなど、家族やコミュニティにおける「付き合い」の希薄化が進んでいる。この事実は、「孤独・孤立」要因として整理した「身体要因」「交流機会要因」の文献からも明らかだ。つまり、我が国では高齢化という背中を向けられない事実や、家族形態、コミュニティの変化を受け入れつつ、新たな対策を考案していく必要があるのである。

自治体の対策として、地域サロンや見守り活動が行われている。これらの活動は「身体要因」や「交流機会要因」に焦点を当てたものである。自治体が地域の活動に参加しやすい環境、「きっかけ」作りを

行っている。これらの対策は自ら行動を起こすことができる者、つまり外に出るという「きっかけ」を自ら利用することができる者にとっては有効であろう。一方、「きっかけ」をうまく利用できず、対策から零れ落ちてしまう者、おそらくこのようなものが多数派だと推察されるが、これらには、無理なく自然に参加できるような誘導、背中をつつくようなしかけが対策として必要となってくる。

近年、公共政策手法に「ナッジ」が取り入れられるようになった。ナッジとは「選択を禁じることも、経済的なインセンティブを大きく変えることもなく、人々の行動を予測可能な形で変える選択アーキテクチャーのあらゆる要素」（Thaler & Sunstein 2008）のことである。

例えばナッジを使った対策として足立区が行っている「ベジファースト」という取り組みがある。これは野菜を先に食べるよう推進することにより肥満を予防する取り組みであり、飲食店と提携し、食前にサラダを出したり野菜を多く使った料理を提供している。このことにより、「野菜を摂取しよう」というように心掛けなくても、野菜をいつの間にか摂取できるようになり、ここにこのナッジの意味がある。

このナッジ的対策を「孤独・孤立」問題にも利用することはできないだろうか。つまり、自ら行動を起こさなくても「気づいたら周りに人がいた、気づいたら見守られていた」環境をつくることである。この「ナッジ」を利用した対策は、自ら「きっかけ」を利用することができる人はもちろん、つきあいが苦手な人であっても自らの行動力は不必要であるから「孤独・孤立」の予防をすることができる。

以上の考察をもとに、「ナッジ」的な活動を行い「孤独・孤立」の予防につなげている団体へインタビュー調査を行い活動の効果や課題などを明らかにし、さらに「孤独・孤立」予防活動を発展させていくための「ナッジ」の活用について提案を行いたいと考えている。

引用・参考文献 都合上割愛する

東ティモールにおける学校保健活動が 包括的プライマリヘルスケアの推進に与える影響 —アタウロ島での実践から—

○稲垣日菜子* (指導教員 藤屋リカ**)

*慶應義塾大学 看護医療学部 4年 (2019年3月卒業予定)

**慶應義塾大学 看護医療学部

*i15031hi@sfc.keio.ac.jp, **rfujiya@sfc.keio.ac.jp

キーワード：東ティモール、学校保健、プライマリヘルスケア、国際保健、医療アクセス

1 はじめに

1.1 SDGsにおける国際保健分野の目標

2030年に向けた持続可能な開発目標(SDGs)では先進国・途上国という枠組みを超えて、すべての人々が健康な生活を享受できるよう「誰ひとり取り残さない」という命題のもと、より包括的にゴールやターゲットが立てられている。保健分野の目標としてはSDGsの目標3に「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、福祉を促進する)」が掲げられている。

国際保健における今後の課題としては、2015年までのミレニアム開発目標(MDGs)のように数値に焦点を当てた目標を達成する方法ではなく、地域住民が主体となって自らの健康問題に取り組む包括的プライマリヘルスケアを用いて、その地域に合うシステムを構築していくことであると言える。

1.2 包括的プライマリヘルスケアとは

プライマリヘルスケア(PHC)とは、40年前の1978年にアルマ・アタ宣言にて提唱された。PHC 4原則(1:住民のニーズ尊重 2:住民参加 3:地域資源の有効活用 4:包括的保健システムを地域で担う)は包括的アプローチであり、「すべての人々に健康をHealth for All」という理念を持つ。すべての人において健康を基本的な人権として確認し、その達成過程において住民の主体的な参加や自己決定を促し、地域住民が主体となって健康課題を解決していくボトムアップ型のアプローチ方法である。

なお、アルマ・アタ宣言から40周年の2018年10月、アスタナ宣言が採択された「Global Conference on Primary Health Care」ではユニバーサル・ヘルス・カバレッジ(UHC)の達成においてPHCシステムの強化が必要不可欠なステップであると誓い、21世紀のPHCにおける新たな目標が定められた。時代を超えて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PHCは時代を超えて重要なものとして認識されていると言える。

1.3 学校保健の定義と国際的潮流

学校保健とは教育と保健の双方に関わる分野であり、具体的には学校での保健衛生に関わる全てのことであり、手洗い場、トイレ、ゴミ捨て場の衛生管理および児童の保健知識の習得、定期的な健康診断と保健サービスの提供などが含まれる。

国際機関における位置づけとしては、まずWHOではヘルス・プロモーションおよび教育を地域・国・国際レベルで強化し「Health-Promoting Schools(健康推進校)」を増やすことが目的である「Global School Health Initiative」が定められている。UNICEFでは子どもの権利保護を中心に「Child Friendly School」およびそれを含む教育システムの構築を推進している。これらWHOのHealth Promoting SchoolとUNICEFのChild Friendly Schoolの概念が盛り込まれた学校保健に関する行動枠組み「FRESH(Focusing Resources on Effective School Health)」が2000年にWHO・UNICEF・UNESCO・世界銀行による国連パートナーシップとして発足し、1:健康関連の政策を策定する 2:安全な水と衛生施設を整備する 3:方策を重視した健康教育を行う 4:健康維持と栄養摂取のためのサービスを提供するという4つの行動がすべての学校が取り組むべき最低限の活動内容として定められている。

1.4 東ティモールにおける学校保健に関する保健と教育における指標

①人口・保健指標

東ティモールは全人口の平均年齢が18.8歳で国民の約7割が30歳以下という若いパワーに溢れた国である。主な保健指標としては5歳未満死亡率が1000出生あたり53(世界41位)、乳児死亡率が45、新生児死亡率が22、妊産婦死亡率が10万人あたり570人という水準であり、栄養不良のうち発育障害率が50%、かつ改善された飲用水源および衛生施設を利用する人の割合はそれぞれ都市部95%・農村部61%、都市部69%・農村部27%と、農村部は他の東南アジア諸国と比べてもかなり低い。なお、国際貧困ライン(1日1.9ドル以下)で生活する人の割合も47と、サブサハラアフリカ諸国と並ぶくらい低いのが現実

だ。一方で、初等教育就学率は96%と他のサブサハラアフリカ諸国や東南アジア諸国に比べても高いと言える。

②教育指標

- ・ 学校数(児童生徒数)：公立学校1082校(280,727人)/私立学校151校(40,594人)
- ・ 識字率：(15歳～24歳で読み書きできる割合) 男性80% 女性79% (テトゥン語：80%、ポルトガル語：40%、インドネシア語：74% ただし、農村部はこれより低いとされている)
- ・ 初等教育純就学率：男性96% 女性99%
- ・ 中等学校純就学率：男性48% 女性56% (※このうち修了するのは約4割)

義務教育は中等教育までで公立の小中学校は無償である。なお、小中学校は生徒が多いため授業は午前・午後の二部制をとり、授業はポルトガル語で行う。1クラスは35人程度で、保健授業は週に1回平均2時間。

2 研究目的

独立してから18年という国づくりの渦中にある東ティモールにおいて、地理的にも様々なアクセスが限られ開発において課題を抱えている離島のアタウロ島での学校保健の推進が児童生徒や地域住民の健康や保健行動にいかに関与を及ぼすものか、包括的PHCの観点から明らかにする。

3 研究対象と方法

- ① **研究期間**：2017年8月19日～27日(現地調査期間)
- ② **研究場所**：東ティモール デイリ県
アタウロ島(デイリの沖合25kmにある105km²の島、人口約8000人)
- ③ **研修受け入れ団体と活動内容**：NGO シェア＝国際保健協力市民の会(以後、シェア)：PHCの理念に基づきすべての人々が心身ともに健康に暮らせる社会が実現することを目指している日本のNGOであり、東ティモールでは独立時から18年間支援を行っている。現在2015年に開始した小中学校における学校保健推進プロジェクトを行っており、人材育成や政府との連携を通じて国・県・地域レベルで自分たちの健康を自分たちの手で守れるような仕組み作りを支援している。

・ **活動目的**：デイリ県での学校保健運営の実施に基づき全国で実施可能な国の学校保健プログラムの運用モデルを構築

・ **活動目標**：デイリ県の小中学校で定期的に保健教育が実施され、子どもやその家族が適切な保健行動を取ることができるようになること

・ **活動地**：デイリ県全6郡(人口26万6000人)

・ **対象者**：デイリ県小中学校計98校：校長98名、教師194名、児童生徒6万3000名

・ **活動実施内容**：

A：国レベル

学校保健研修システムの構築・保健省と教育省

の連携推進・保健が1つの科目として設置されるよう新学習指導要領改訂(2017)

B：県レベル

デイリの学校保健委員会を設立(県教育局、県保健局、保健センターの職員)・学校インスペクター(各学校を巡回してモニタリングを一緒にする人)の設置・学校保健の普及を目指した校長ワークショップ実施(各学校の課題を協議、情報交換の場であり、校長の強力なリーダーシップを活かす)・衛生環境や保健活動の実施状況を定期的にモニタリング・ニュースレター(学校保健というものの概念がないことが多いため、まず学校保健がどのようなものかを伝える)

C：学校レベル

児童保健委員会の設置・地域で手に入る資材(油容器再利用)を使ったオリジナル手洗い設備「ティッピー・タップ」設置・学校健康診断パイロット実施(身長体重・歯科・視力)・学校環境向上のための取り組み(学校菜園、動物避けの柵づくり)・ご両親にも学校保健について知ってもらうため保護者会開催

- ④ **研究方法**：東ティモールにてシェアの活動に同行し参与観察および聞き取り調査を行った。テーマとしては「**医療と教育へのアクセスにおける子ども達を取り巻く環境**」に絞った。

A) **教育**：アタウロ島3校1062人の児童生徒(小学1年～中学3年)における教育および学校保健活動

- ・ ベロイ小学校中学校261人
- ・ マウメタビラ小学校中学校625人
- ・ ペローラ小中学校176人

B) **医療**：アタウロ郡保健センター(アタウロ島の保健医療システムと現状を把握)

C) **生活**：島民家庭訪問(料理や食生活など実際の暮らしを観察)

また、帰国後にシェア東ティモール事務所職員へのインタビューおよび情報収集を行い、参与観察・聞き取り調査の結果と合わせて分析した。

4 結果

4.1 アタウロ島における保健医療システム

前提としてアタウロ島に限らず東ティモール国内において医療費は無料である。そのため、5歳未満に限らず子どもも全員カバーしている。

島の保健システムにおける詳細におけるアタウロ郡保健センターの担当者への聞き取り調査によると、当センターにおける医療従事者および資源としては、医師が9人、看護師4人(男性)、助産師6人(女性)、薬剤師1人、検査技師3人、セキュリティマン1人、クリーナー1人、トラック1台、バイク10台、救急車1台、ドライバー4人、ベッド8床という構成となっている。また、医療アクセスについては、この保健センターでは治療、予防およびアウトリーチを行っているが、病態がひどいときに

はディリまで搬送することもあり、搬送について独立当時は漁師の船で行っていたが今は緊急用の船またはドクターヘリで行っているという。

なお、保健センターの医師・看護師が無医村地域などを巡回診療し、住民ボランティアである地域コミュニティ・ヘルス・ワーカーが住民の疾病発見や健康管理を行う制度であるSISCa（包括的地域保健サービス）を実施する訪問場所は3箇所あり、出産件数は月に7件程度で数年前まで自宅出産が多かったが最近では地元でできたヘルス・ポストで行われることが増えているようだ。また、アタウロ郡マキリ村は周囲が非常に険しい山に囲まれているため保健センターまで海経由ボートで行く以外の手段がなく、天候悪化によって保健センターまでたどり着けずに死産となるケースも少なくないということであった。

4.2 アタウロ島における学校保健活動

①アタウロ島の学校におけるプロジェクト開始前後での変化と行動変容

A) シェアの活動レポートによるプロジェクト終了時調査データ（2015年と2018年の比較）における量的変化

- ・ 健診実施率：22.5%→48.5%
- ・ 保健センターとの連携：95%→100%
- ・ 保健に関するカリキュラムの設置：94%→100%
- ・ 保健教育研修に参加した教師の割合：44.9%→99%
- ・ 保健教育実施率：93.3%→100%
- ・ 保健教材普及率：75.3%→100%
- ・ 児童保健委員会の設置率：31.5%→56.7%
- ・ 学校外にゴミ箱の設置率：68.5%→80.4%
- ・ 学校菜園設置率：11.2%→27.8%
- ・ トイレ：1.54→1.71(評価基準：3:掃除が行き届いている、水があり詰まっていない 2:問題なく使えるが清潔さに欠ける 1:著しく汚い、水が不足している 0:全くない、あっても壊れて使えない)

B) 参与観察・聞き取り調査によって明らかとなった変化

【プロジェクト開始前および現状】

ベロイ小学校長によると、独立後ほとんどの学校の状態はひどく外壁がなかったという。また、学校建設時には手洗い場やトイレが設置された学校でも、維持管理の大切さを理解していない教員が多いことで壊れ、結局使えなくなることが多いとのことだった。なお、現在も6割の学校には安全な水の供給や衛生的なトイレがない。観察によるとトイレは和式で隣に水桶があるタイプだが、多くの場合はトイレに水がなくて使えず、野外で用を達したり家に帰ったりする子どもが多かったこと、また手洗いも汚い水の入ったバケツに手を突っ込んで洗うことも見られた。

感染予防については、教師によると、学校に衛生環境や安全な水の供給が整っていないことによって寄生虫、下痢、マラリア、デング熱などの病気が簡単に拡大してきて、子ども達の健康問題や学校への

就学率に大きな影響を与えてきたとのことであった。しかし、学校訪問時の児童において感染症での欠席などの事例は見受けられず、現在は多少改善してきているように見受けられた。

学校健診についてもまだ実施している学校が少なく、普段から自分の健康状態を知る機会が少ない上、学校は児童の疾病罹患率はわからないという。

【プロジェクト開始後に見られた変化】

衛生環境について、教師や児童による手作りの手洗い場やゴミ箱が設置され、手洗いの習慣がなかった児童たちが給食前に手を洗う様子が見受けられるようになっていた。また、父兄が木や竹を持参して動物よけの柵づくりや栄養価の高い学校給食のための学校菜園に参加するなど、家庭でも衛生的な環境づくりや病気の予防への意識が高まっていることが伺えた。健康診断については、自分の身体について知るチャンスが少なかった状況に学校健診を導入することで定期的に自分の身体の状態を知り、成長への関心を持つことは病気の予防にもつながっていることが伺えた。

また、小学校の教員によると、学校保健システムとしては学校保健委員会の設立および教員研修によって教員が児童生徒のいろいろな病気のサインに気がつき、保護者に知らせられるようになったという。さらに、郡保健センターや学校インスペクターとの協働によって県の学校保健委員会として定期的にミーティングを行うなど、教育側と保健医療側の連携による包括的な取組みによって学校保健は大きく改善してきていることが見て取れた。ベテラン学校巡回指導員（ディリ県教育局・アタウロ島担当）によると「健康への意識が学校だけでなく島全体で高まることを目指している」と誇り高く語ってくれ、その思いから日々険しい山々を超えていくつもの学校を巡回しているという。

i. 児童保健委員会の持つインパクトと可能性

学校の教員および児童保健委員会の生徒への聞き取り調査によると、児童保健委員会の役割は他の児童のモデルとなり、積極的に学校の環境チェック、爪チェック、歌や紙芝居、劇を演じることで他の生徒と知識を共有、学校菜園のお世話、手洗いの促進、掃除といった保健活動を行うという。委員の子ども達からは「他の子に手洗いを教えたり劇を演じたりするのが楽しい」「リーダーになった気分で嬉しい」「もともと医者さんごっこが好きだから楽しい」といったポジティブな感想をもらい、彼らの夢の多くは医者、看護師、学校の先生、パイロットなどであると語ってくれた。

教員によると、児童保健委員会の子供達から他の児童生徒へ、という仲間から仲間へのピア・エデュケーションが特に子供達の間にも広まりやすいことが最大のメリットであると言え、学校内部だけでなく外にも成果が広がっているという。さらに、シェアのスタッフによる地域住民へのインタビューによ

ると「子ども達が学校周辺を掃除していることから子ども達の掃除する姿が住民のお手本になり、地域住民にも良い影響を与えている」とのことである。

ii. 学校菜園の取組みによる地域住民における栄養状態向上の可能性

学校の教員および児童保健委員会の生徒への聞き取り調査によると、学校菜園では地域の人々から種を入手して堆肥作りから水やりまで全てを児童が行うという。パパイア、唐辛子、空芯菜、チンゲンサイ、ほうれん草などを育てており、学校菜園で収穫した野菜が給食の足しになったり、育てる過程が理科の教材になったり様々なものに活用できるメリットがあるそうだ。教育省スタッフによると、学校菜園とあわせて栄養教育についても今後始めるようで、2016年から80%の学校で学校菜園を取り入れられるよう取組んでいるという。

なお、学校が午前・午後の二部制であるのと現在給食制度が予算の関係で停止しているため子ども達は基本的に食事を家庭でとるが、島民家庭訪問における参与観察より子ども達の日々の食事は沢山お米があれば満足で普段はキャッサバ、イモ類、パン、海藻、空芯菜、豆類、魚などを食べているようだ。お肉を食べるのは冠婚葬祭のときのみで「マサコ」と呼ばれる塩分控えめのだしの素のような調味料が味付けによく使われているという。野菜やタンパク質が不足した偏った食生活であるが、学校菜園にあわせた栄養教育によって子ども達が適切な栄養のある食事について知識を得て、実際の食生活に落とし込むことができることを期待できるだろう。

5 考察

5.1 国づくりのプロセスの渦中にある新しい国において学校保健を推進していく意義について

現在、東ティモールでは人口120万人、アタウロ島では人口8,000人ほどであるがその約半数が18歳以下であり、2002年の独立以来国の復興と発展が進んでいる。しかし、子ども達を取り巻く環境は依然として厳しいのが現状だ。子ども達を含む国民の健康で豊かな未来を育むためには、学童期に病気を予防するための正しい知識と習慣を身につけることが大切であるはずだ。

そこで、人口の約半数が18歳以下でありながら小学校への純就学率は90%を超えているため、学童期の子どもは最もアプローチしやすく、かつ健康で豊かな未来を育むにあたり最も多くの人々にインパクトを与えることのできる対象であると考えられる。そのような子ども達を対象とする保健活動である学校保健は、児童を通じて家庭や地域住民にも保健の知識が広がり健康や衛生に対する意識が高まるといったポジティブなインパクトが期待され、学校の中だけのものでなく地域にも広がって行くものと言える。さらに、子どもというのは今後の国の発展を担って行く大切な存在であるため、東ティモールが新しい国として健康で豊かな未来を育むため

にも、彼らが健康でいながら十分な教育を受けられることを確実にする学校保健を推進することは欠かせないことであると考えられるだろう。学校保健は子ども達の健康を守る、つまり東ティモールの未来を守るとても重要なものである。

5.2 国際保健の中で学校保健が持つ可能性と包括的プライマリヘルスケア

未来の財産とも言える子ども達が自分たちの健康に関心を持ちながら病気予防のための知識を習得することを可能にするのが学校保健であり、アタウロ島のように医療アクセスが限られている地域においても自分たちで自分の健康を守る方法を身につけられることを目指す学校保健活動はまさに包括的PHCの精神につながるものであると考えられる。途上国の公衆衛生課題に取組み、健康格差改善を目的としている国際保健の中では「健康づくり」より「いかに死を減らすか」が長らく重視される時代が続き、比較的死亡率の低い学童は国際保健の取組みにおいて主要な対象になり難かった。しかし、学校保健がPHCの推進にいかによりポジティブな影響を与えるものであり、医療アクセスが限られていたりUHCが普及していない地域でこそ取組むべき活動であると考えられる。

学校保健は学校の中に留まらず地域住民の保健行動をも改善し、地域社会を改善しうるものであるだろう。自分たちの暮らす地域社会に根付き、その地域全体に存在する様々な問題を解決していく潜在能力があると言える。学校保健の対象となる学童が、すべての人が健康に、そして平和に過ごせる地域社会づくりおよび国づくりの担い手として育っていける可能性があると思われた。

6 おわりに

以上のように、学校保健の推進が地域の人々の健康意識を向上させて包括的PHCの実現にポジティブなインパクトを与えるかがわかった。これをディリ・アタウロ島における一成功事例として終わらせるのではなく、東ティモールの他の地域にも広げていくことが、今後国づくりの渦中にある国家の健康を守るため、さらには国家の発展のために必要とされている。

子どもの健康を守ることは国のヒューマンキャピタルを構築する基盤となるものであり、将来のその国家の成長と繁栄に繋がるはずだ。東ティモールに限らず、医療の整っていない多くの途上国において包括的PHCを実現するためにも学校保健に焦点を当てた取組みはSDGs達成においても必要不可欠と考える。

シナリオプランニングによるサウジアラビアにおけるエネルギー政策の分析

—2030年におけるサウジアラビアを検討して—

和田 龍典 (指導教員 田中 浩一郎)

慶應義塾大学 総合政策学部 4年 (2019年3月卒業予定)

s15966tw@sfc.keio.ac.jp

キーワード: サウジアラビア、エネルギー政策、絶対君主制

1 はじめに

検討することによって幅広く意思決定をするための材料を提供することを目的としている。

1.1 研究の意義

日本のエネルギー安全保障を顧みると、日本は先進国の中で最低レベルのエネルギー自給率を誇りながら原油などの化石燃料への依存度が高いなどという特徴が挙げられる。また、サウジアラビアなどの産油国に原油の輸入に大きく頼り、地政学リスクの高い中東への依存度も非常に高い水準を保っていることもその特徴として挙げられる。

エネルギー安全保障の観点から見ると、上記のような特徴は日本に大きなリスクを内在させている。そのため中東に依存している日本はサウジにおけるエネルギー政策とそれらに付随する将来のリスクの源泉を把握する必然性は非常に高い。しかし、サウジにおける意思決定は絶対君主制の下でそのリスクを正確に予測し特定することは難しい。

そのため、本研究ではサウジのエネルギー政策の将来を予測しリスクを特定するのではない。将来のシナリオを網羅的に予測することによって、網羅的にサウジの抱えるリスクへの備えを検討し、それが出来るような材料の抽出を目指すのである。その点に本研究の研究としての意義がある。

1.2 シナリオプランニングとは

シナリオプランニングとは、必ず起きることを予測するものではなく、むしろ起きるか起きないかわからない未来を複数描き、それに備えようとする方法論のことを指す。

1.3 研究の目的

本研究はサウジにおける不確定で変化が激しいエネルギー政策の今後の複数のシナリオを用いて

1.4 研究の新規性

本研究では現在メディアなどでサウジの将来についてよく議論されている、「蓋然性が高くインパクトが大きい」テーマよりも未だ十分な議論がされていない、「蓋然性が低くインパクトが大きい」テーマもシナリオに含め、シナリオプランニングを行う点に研究の新規性を見出している。

2. 研究概要

サウジアラビアでは2017年にムハンマド・ビン・サルマン皇太子(以下、MbSと表記)が皇太子に就任し、王位継承者となってから「サウジアラビアビジョン2030」と題された経済改革計画が大きく推し進められてきている。それは、石油の輸出や国営会社のIPOから得た収入を基に国内に莫大な投資を行い石油以外の産業の創出を図るというものである。

しかし、この「サウジアラビアビジョン2030」を主導し、実質的に国内の権限を集中的に有しているMbSの政策の実行能力への不信感や疑いから、その実現性自体が専門家や投資家から疑問視されているという厳しい現状をサウジは抱えている。

このことは、サウジアラビアにおけるエネルギー政策の将来を検討する上でこの「サウジアラビアビジョン2030」におけるシナリオだけをサウジのエネルギー政策の議論の対象にすることにリスクがあるということを示唆している。

そのため、本研究では、「サウジアラビアビジョン2030」以外の2030年のサウジアラビアにおけるエネルギー政策の姿を検討していくことを主眼とする。研究の目的の項でも挙げたように本研究では「蓋然性が低くインパクトが大きい」テーマをシナ

リオの軸に組み込んでいく。

具体的には、以下の二つのシナリオを中心に検討していく。①皇太子交代シナリオ、②開発進展シナリオ。

①のシナリオでは MbS が国外・国内の批判を受けて失脚し、皇太子が交代した場合のサウジアラビアのエネルギー政策の変化とそれに伴うサウジ国内の社会変化と国際エネルギー情勢の変化を描く。

②のシナリオではサウジアラビアの技術開発の進展によって天然ガスや石油化学製品の輸出が国際競争力を持った場合の政策の変化や国際エネルギー情勢の変化を描く。

3. 参考文献

- ・『石油を読む』藤和彦 2017 日本経済新聞出版社 第三版
- ・『中東から世界が崩れる イランの復活、サウジアラビアの変貌』高橋和夫 2016 NHK 出版新書
- ・『中東の新たな秩序』松尾昌樹, 岡野内正, 吉川卓郎編著 2016年 ミネルヴァ書房
- ・『シナリオ・プランニング：未来を描き、創造する』ウッディー・ウェイド著；関美和訳 2013 英知出版
- ・『21世紀のサウジアラビア 政治・外交・経済・エネルギー戦略の成果と挑戦』アンソニー・H・コーデスマン 2012 明石書店
- ・『石油の呪い 国家の発展経路はいかに決定されるか』マイケルロス著 松尾昌樹 浜中新吾共訳 2017 吉田書店

環境対応材料を用いた 4D プリンティングと動的表現

田岡菜* (指導教員 田中浩也**)

*慶應義塾大学 総合政策学部 4年 (2019年3月卒業予定)

**慶應義塾大学 環境情報学部

*s14494st@sfc.keio.ac.jp, **htanaka@sfc.keio.ac.jp

キーワード: 3D プリント、4D プリント、形状記憶ポリマー

1 概要

近年、技術の発展とともに様々な材料を 3D プリンティングすることが可能となってきた。本研究ではその中でも環境の条件によって形状や色に変化する性質を持つ材料を用い、時間経過の中で多段階的に変化する構造の検討とそれを用いた表現を行った。

2 研究背景

本研究の背景として挙げられるのは、4D プリンティングという新たな研究領域である。4D プリンティングは 3D プリンティングに時間要素を加えたものを指し、時間の経過によってその形状や振る舞い、機能性が変化するのが特徴である [2][3][4][5][6]。

3D プリンティングがプリント後に変化を含まないのに対し、4D プリンティングはプリント後に大きな変化を持つため従来の 3D プリンティングと比較して多くの応用と幅広い表現力を持つと言える。変化のトリガーは温度、水分など材料によって様々だ。

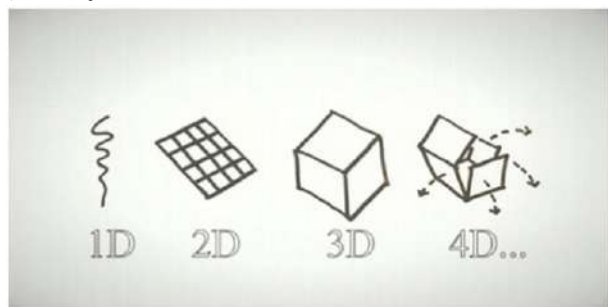


図 1: 4D プリンティングを説明する簡単な図 [8]

3 既往研究

近年、4D プリンティングの研究は数多くなされており、その中でもプリント後の変化が多段階的に、または連続的に現れる構造の研究が幾つかある。2016 年には複数の変化のタイミングを持つ材料をモデルの内部で組み合わせることで形状が多段階に変化する構造の研究がなされ [4]、2018 年には 3D プリント時に平面であったモデルが熱を加えると自ら折りたたみ三次元形状のモデルになるメソッドが発表された [1]。

これらの研究は、構造や材料の検討に留まっているが、本研究は構造研究を活かした実空間・実作品への転用まで試みていることが差異と言える。また、これまでの研究は POLYJET 方式の 3D プリンタが用いられたのに対し、本研究では FDM 方式での出力を研究のベースとすることで FDM 方式での多段階的に変化するモデルのデザインを明らかにした。また FDM 方式は POLYJET 方式と比較してマシン、材料共に大幅に値段を抑える事ができるのも特徴であり、本研究でも安価でモデルを出力することを可能にし、それによって実空間や屋外での応用が可能となった。

4 マテリアル

本研究で主に用いる材料は形状記憶の性質を持つ合成ポリマー (SMP) である。この材料は以下の 5 つの特徴を持つ [9]。

1. 融点以上で整形された形状を記憶する
2. 造形後、ガラス転移点 (Tg) 以上にあたるとやわらかくなる
3. やわらかくなった造形物に形状の変形を加えることが可能
4. 変形させた状態で冷ますと形状固定する
5. 再び温めることでやわらかくなるとともに、記憶した元形状に戻る

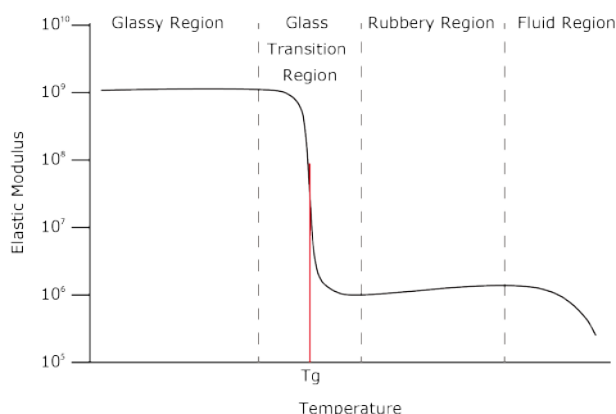


図 2: 形状記憶材料の温度と弾性率の関係

5 構造のデザイン

本研究では異なるガラス転移点(Tg)をもつ複数の形状記憶材料を積み重ねることで多段階的に変化するモデルを実現している。

図3のように、従来の3Dプリントは温度の変化が起きてもその形状に変化は生まれない。一方形状記憶材料を1種用いることで一定の温度をきっかけとして形状に変化が生まれる。これが2種、3種と増えていくとそのモデルの形状変化のタイミングも増えていく。

複数の形状記憶材料を組み合わせるときに重要なのは、互いが互いの動的変化を遮らないことである。たとえ一つの材料がガラス転移点を超えても、上層または下層の材料がガラス転移点を下回った場合、下回っている層の硬さが上回っている層の形状変化を遮り、動きが生まれない。複数のガラス転移点を持つ材料を積み重ねる形で組み合わせる場合は最も低いガラス転移点をもつ材料を最下層とする。

	$t < 30^{\circ}\text{C}$	$30^{\circ}\text{C} \leq t < 35^{\circ}\text{C}$	$35^{\circ}\text{C} \leq t$
従来の3Dプリント			
SMP 1種1層			
SMP 2種2層			

図3:従来の3Dプリント、形状記憶ポリマー(SMP)1種1層、SMP2種2層の動きの比較図。

白い層はガラス転移点が30°Cのもの、黒い層はガラス転移点が35°Cのものを表す。

6 実装

本研究ではFDM式3Dプリンタ「QIDI TECH」、ユニチカ社製感温性フィラメント[10]、3Dモデリング・3DスライシングにはRhinoceros、Simplify 3D、Fabrix[7]を用いる。

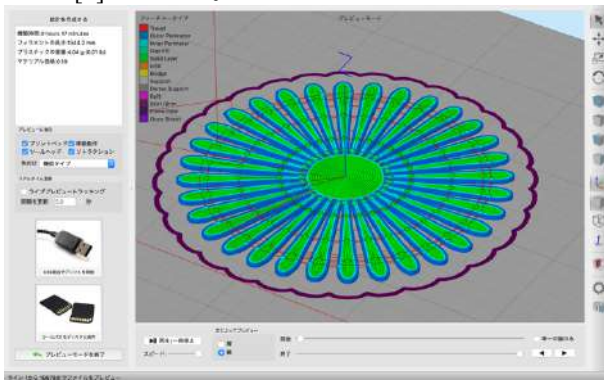


図4:3Dスライサー”Simplify 3D”でのスライシングの様子

7 表現

構造のデザインの研究を用い、景観に変化を加えるモジュールの出力と、それを実空間に付与する作品制作に取り組んできた。

7.1 壁面インスタレーション”4D Printed Nature”

建物の壁面に花型のモジュールを設置、気温や気候によって形状や色が変わることによって自然のように景観に変化を加え、自然とインタラクションを起こす作品。

気温が30°Cを超えると開花し色が薄くなり、雨が降りガラス面に雨水が流れると花が落下し池に落ちるようになっている。花びらの部分は形状記憶材料、中心部はPVA(ポリビニルアルコール)でできている。

中心部のPVAには予め金魚の餌が混ざっており、池に落下したあとは金魚が中心部を食べ、かつPVAが水に溶けることによってモジュールがバラされていく。

本作品では、気温によって変化するモジュールを壁面に付与することで生まれる景観の変化と、形状の変化、壁面からの落下、モジュールの分解まで全て人間ではなく自然と環境条件によって移ろう、新しいインタラクションアートの表現に挑戦している。

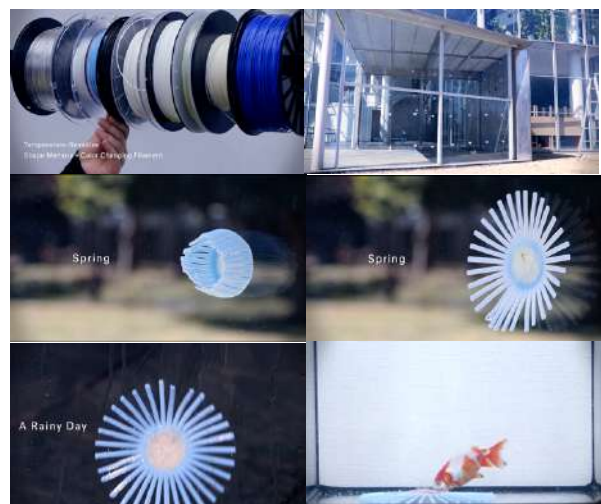


図5,6,7,8,9,10:4D Printed Nature コンセプトムービーからのスクリーンショット (<https://vimeo.com/259768127>)

7.2 絵画の代替としての4Dプリンティング

本作品は、4Dプリンティングが既存の花の絵画の描写手法の代替になるという仮定から始まっている。

花の絵画を描くことや絵画そのものは昔から多くの国で愛されてきた。しかしながら絵画の中の花は実世界の花のように蕾が開いたり、咲いた花が散ったり等変化することはない。花の本来の魅力は満開の様子ではなく、時間のなかで変化する形状や色そのものにあり、今までの絵画にはそれが表現できなかったが4Dプリンティングを用いることで可能になるのではないかという挑戦だ。

本作品ではガラス転移点が30°Cの形状記憶マテリアルと35°Cの形状記憶マテリアルを組み合わせ、2度の変化のタイミングを与えた。実際の額縁に花を収めることで室内にて花の移ろいを楽しんでもらうことを実現した。

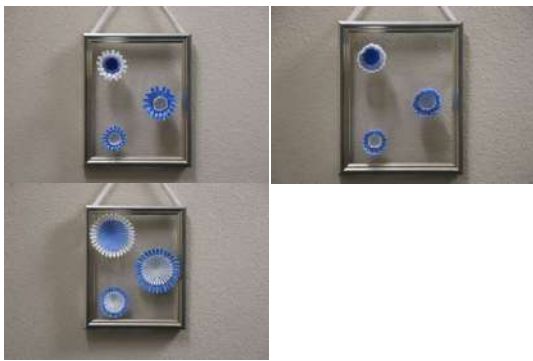


図 11,12,13: 気温別の絵画の様子

図 11: 温度が30°Cを下回った場合

図 12: 温度が30°Cあるいはそれより高く、35°Cを下回る場合

図 13: 温度が35°Cあるいはそれより高い場合

8 展望

今後の展望としては、構造のデザインの発展と新たなアウトプットの2つがある。

構造のデザインの面では、実際の動植物の構造を基にした動的なデザインを取り入れることでより効率的、魅力的な動きを実現したいと考える。

アウトプットとしては、より多くの人に、長い時間の中で形状の変化を楽しんでもらうために実際の建築物の壁面の一部に本研究の構造デザインを用いることを予定している。

9 参考文献

[1]Byoungkwon An, Ye Tao, Jianzhe Gu, Tingyu Cheng, Xiang Anthony Chen, Xiaoxiao Zhang, Wei Zhao, Youngwook Do, Shigeo Takahashi, Hsiang-Yun Wu, Teng Zhang and Lining Yao Psy. 2018. Thermorph: Democratizing 4D Printing of Self-Folding Materials and Interfaces. *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems – CHI '18*:

Paper No. 260.

<https://doi.org/10.1145/3173574.3173834>

[2]Farhang Momeni, Seyed M. Mehdi Hassani, N. Xun Liu and Jun Ni. 2017. A review of 4D Printing. *Materials & Design Volume 122*: Pages 42-79. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.02.068>

[3]Yiqi Mao, Michael S. Isakov, Jiangtao Wu, Martin L. Dunn and H. Jerry Qi. Sequential Self-Folding Structures by 3D Printed Digital Shape Memory Polymers. 2015. *Scientific Reports 5*, Article Number: 13616(2015) <https://www.nature.com/articles/srep13616>

[4]Jiangtao Wu, Chao Yuan, Zhen Ding, Michael Isakov, Yiqi Mao, Tiejun Wang, Martin L. Dunn and H. Jerry Qi. 2016. Multi-shape active composites by 3D printing of digital shape memory polymers. *Scientific Reports 6*, Article Number: 24224(2016) <https://www.nature.com/articles/srep24224>

[5]Joanne Ee Mei Teoh, Yue Zhao, Jia An, Chee Kai Chua and Yong Liu. 2017. Multi-stage responsive 4D printed smart structure through varying geometric thickness of shape memory polymer. *Smart Materials and Structures Volume 26*: Number 12. <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-665X/aa908a>

[6]Qi Ge, Amir Hosein Sakhaei, Howon Lee, Conner K. Dunn, Nicholas X. Fang & Martin L. Dunn. 2016. Multimaterial 4D Printing with Tailorable Shape Memory Polymers. *Scientific Reports 6*, Article Number: 31110(2016) <https://www.nature.com/articles/srep31110>

[7]Soko Koda and Hiroya Tanaka. 2018. Novel Way to Design the 3D printing Path and Its Applications. *Advances in Manufacturing, Production Management and Process Control*: Page 290-295 https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-94196-7_27

[8]4D Printing – All You Need to Know in 2018 <https://all3dp.com/1/4d-printing/>

[9]形状記憶ポリマー(SMP)フィラメント-造形後に加熱して、形状のカスタマイズが可能- <http://www.krk.co.jp/wp-content/uploads/37e3726f9bfb02d3c9381520b4fa54c3.pdf>

[10]3D プリンタ用”感温性”フィラメント -ユニチ
カ

http://www.unitika.co.jp/news/fiber/post_42.html

Thermal Feedback Influencer: 音楽感動体験拡張のための冷感フィードバック提示デバイスの開発

○石川友梨^{1*} 川添杏² George Chernyshov³ 藤井進也⁴ (指導教員 仲谷正史^{4**})

¹慶應義塾大学 総合政策学部4年 (2019年3月卒業予定)

²The University of California, Santa Barbara. Media Arts & Technology

³Graduate school of Media Design, Keio University

⁴慶應義塾大学 環境情報学部

*s15061yi@sfc.keio.ac.jp, **mn2598@sfc.keio.ac.jp

キーワード：触覚ディスプレイ、ウェアラブルデバイス、Frisson、Chill

1 研究概要

本研究では、音楽聴取時の感動体験を拡張させるために皮膚に冷刺激を提示することが可能な新しい温度触覚ディスプレイである Thermal Feedback Influencer を提案する。音楽聴取時に感動して鳥肌が立つことを“Chill”（または、鳥肌が立つ際の主観的な感覚という意味で「鳥肌感」）と呼ぶ。“Chill”という英単語は一般的に、冷たさや恐怖などの意味を含んでいる。そのような英単語が音楽感動体験における鳥肌感を示す言葉として使用されているところに、本研究の着想を得た。

開発した熱触覚フィードバックデバイス（図1）は、イヤーフック型で耳の後ろ側に取り付けることが可能である。また、違和感を感じないために十分小さく、軽くなるように構成されている。ここでは、本デバイスの基本的な概念、プロトタイプデバイスの現段階における評価と考察、今後の展望についての検討を説明する。



図1：デバイス使用時の様子

2 研究背景・目的

インタラクション技術の発展に伴い、ボディソニックなどの振動触覚フィードバックや、音に合わせた温度触覚フィードバックを利用した音楽の感動体験を拡張するためのデバイスの開発に注目が集まっている。ウェアラブル型の振動フィードバックデバイスである Hapbeat(1)や Woojer(2)、ペルチエ素子を使用した音楽への没入感増強デバイスである ThermOn(3)などはその一例である。

しかし、音楽という聴覚入力と冷刺激などの触覚入力がヒトの脳に同時に提示された場合、生理心理評価がどのように変容するのかについては、これまで十分な実験的検証が行われていない。そこで本研究では、温度フィードバック提示を行うデバイスを開発するだけでなく、音楽聴取時の冷刺激が生理心理評価に及ぼす影響を神経科学の観点から明らかにすることを目的とする。本稿はその一連の研究のファーストステップとして、本研究が提案する Thermal Feedback Influencer を開発した結果を示すと共に、今後ヒトの音楽の感動体験を拡張する温度触覚フィードバックデバイスの展望について述べる。



図2：本研究における最終到達地点

本研究の目的は3つある（図2）。1つ目は「個人の音楽感動体験を最大限に拡張する」ことである。本デバイスを開発することで、冷やしながら音楽を聴くことが日常である世界を実現する。また、音楽感動体験だけでなく、映画や舞台芸術、絵画、美術などの様々な芸術文化作品を鑑賞する際に、感動を増幅するデバイスとして広く応用することができる。

2つ目は「自身の音楽感動体験を他者とシェアする」ことである。個人の嗜好に合わせて鳥肌を誘発

し、いつどのタイミングで感動したかを記録できたとしたら、そのデータを自分以外の人々とシェアすることが可能である。遠距離にいてどうしても会うことが出来ない恋人や家族、友人と気軽に感動体験をシェア出来る未来を実現する。また、映画のパブリックビューイングやライブ会場などの場所において、会場全体で本デバイスを使用することにより、会場にいる全員で感動体験をシェアすることも可能である。

3つ目は「音楽療法の地位を向上させる」ことである。音楽療法は科学的な根拠が実証されておらず、まだ実用的な療法として扱われていない。先行研究において、音楽によって鳥肌が喚起された際に、報酬系領域の賦活・中脳辺縁系快樂ドーパミン分泌などの生理反応が起きることがわかっている(4)。統合失調症やパーキンソン病の方など、ドーパミン分泌量の不足によって悩まされている人々は世界中に沢山いる。本デバイスが医療分野において使用されることで、音楽療法の適用範囲を広げることにつながる。また、自閉症や無感情症(アレキシサイミア)などの感動体験をすることが出来ない人々が、本デバイスを使用することで「生まれて初めて感動を知る」ことも可能になるかもしれないと考える。

3 開発したデバイスの概要

Thermal Feedback Influencer は、ウェアラブルで使用するのに十分な小ささと軽さであり、音楽に合わせて冷刺激を皮膚に与えることができる、イヤーフック型の温度触覚ディスプレイである。本設では、開発したデバイス(図3)の詳細を述べるとともに、音楽聴取時にどのようにして温度フィードバックを提示するのかについて述べる。

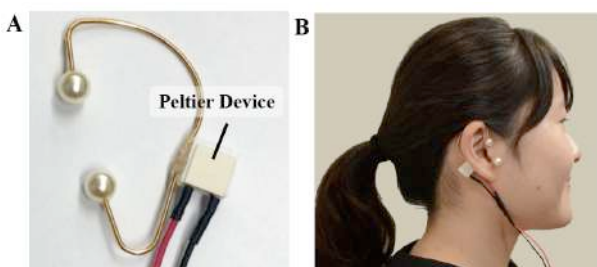


図3: デバイス(A)とデバイス着用時(B)

3.1 ハードウェア開発

プロトタイプとして、耳に簡単に装着することのできるイヤーフック型のデバイスを作製した。冷刺激を提示する機構については、制御が比較的容易であり、小型化することが可能なペルチェ素子を採用した。ペルチェ素子とは、直流電流を流すことによって、一方の面から他方の面に熱を移動させることが可能な板状の半導体素子である。

冷刺激を提示する部位は、耳の後ろにある乳様突

起周辺を選択した。先行研究により、音楽聴取時に最も鳥肌感を感じやすい部位は男女共に頭であると報告されている(5)。また、体表面における温冷勘弁別閾値では、顔のほぼ全ての場所に置いて閾値が低いことがわかっている(6)。そのため、乳様突起周辺は温度刺激に対して十分な感度があり、イヤホンやヘッドホンと同時に装着しても違和感の少ない部位であると考えた。選択した部位にペルチェ素子の冷たい面部分が当たるよう、銅線で作製したイヤーフックに、10mm四方のペルチェ素子(海渡電子, TEC1-00712T125)を取り付けた。また、ペルチェ素子の皮膚に当たらない部分(あたたかい面)が剥き出しになることがないように、3Dプリンタを使用してケースを作製した。冷刺激提示系はArduino Nanoを使用し、PWM信号により印加電圧を出力して、電流量を制御した。

4 ハードウェア評価

開発したプロトタイプデバイスの熱特性を、サーモグラフィー(FLIR, FLIR C2)と温度計を使用して評価した。室温はどちらも27度の環境で計測した。

4.1 サーモグラフィーを使用した評価

サーマルカメラを使用し、1秒間持続してペルチェ素子に電流を入力した際の熱分布を計測した(図4)。冷刺激の提示開始時点から約3.0秒で表面の温度が下がり、徐々に上昇した。この結果より、冷刺激を提示してから約3.0秒で温度が下がりきることがわかった。

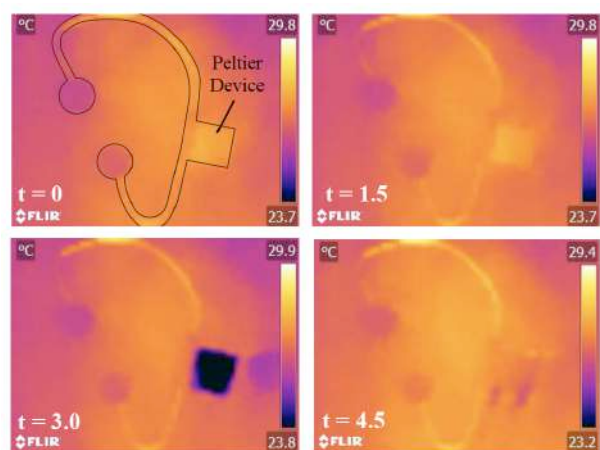


図4: デバイス使用時のサーモグラフィー画像

4.2 温度計を使用した評価

PowerLab 16/35 (PL35/16, AD Instruments社)および温度計(ML309 Thermistor pod, MLT422/A Skin Temperature Probe, AD Instruments社)を使用し、ペルチェ素子において皮膚に接触する表面部分の温度を計測した。10秒間隔おきに1秒間持続して、ペルチェ素子に電流を

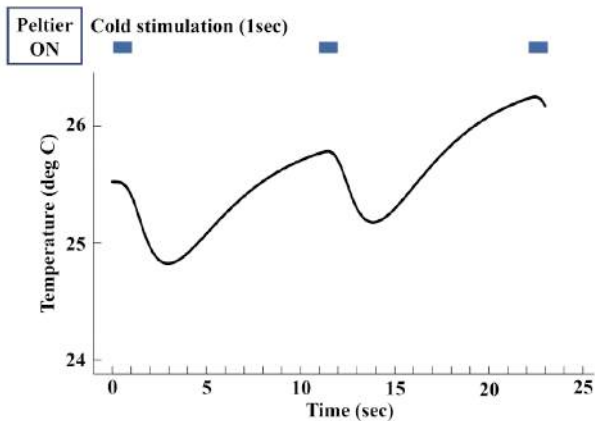


図 5：冷刺激提示時の温度評価

3 回入力した。

図 5 に計測結果を示す。ペルチェ素子の表面温度は、冷刺激の約 3 秒後に 0.7 度下がり、その後の約 7 秒間で約 1 度上がった。10 秒間隔おきに 1 秒間持続してペルチェ素子に電流を入力した場合には、この一連の温度の下降と上昇を繰り返すため、10 秒間に約 0.3 度ずつ表面温度が上昇する傾向を確認した。

5 今後の展望

音楽聴取時の感動体験を拡張させるために冷刺激を提示するタイミングについては、音の大きさを閾値に設定する予定である。音楽聴取時に鳥肌感を生起させやすい音楽の持つ音楽構造や音響特徴は、1) 音の大きさ、2) 音の高さ、3) 音の粗さ（不協和感）、4) 予期しない音楽展開の 4 つに大別することが出来る(7)。実験参加者が持参した鳥肌感を生起させやすい曲を聴取させた際に、鳥肌感の喚起される箇所の音響特徴を 190 曲分析した先行研究においては、鳥肌感の生起する 1-4 秒前に音が大きく・粗く感じられるようになり、周波数が上昇して音が高く・鋭くなるという音響特徴の変化が認められたことが報告されている(8)。本デバイスはどのような音楽に対しても感動体験を拡張することを目的としているため、先行研究に倣い、比較的判断しやすい音響特徴である音の大きさを採用し、音量閾値を設定することで温度フィードバックを与えるタイミングを決めることとした。

音楽聴取時の冷刺激提示が音楽感動体験に及ぼす影響を定量的に評価するため、鳥肌感が増幅したかどうかの生理指標と心理指標を計測する予備実験を実施した(図 6A)。この実験では、最初のプロトタイプデバイス(図 6B)を使用した。後頸部にペルチェ素子の冷たい面部分が当たるように、30mm 四方のペルチェ素子（海渡電子、TEC1-00712T125）を 2 つ取り付けたネックレス型のデバイスである。実験参加者は聴覚や温度感覚に障害のない女性 1 名に無報酬で協力してもらっ

た。本実験では Panksepp (1995) の先行研究(5)に倣い、鳥肌感を高頻度で誘発するとされる Pink Floyd の楽曲“ Post War Dream” を使用し、音量のみで閾値を設定するのではなく、鳥肌感が生起しやすいとされる音響特徴のタイミング（音の大きさや予期しない音楽展開）を 3 箇所ピックアップし、7 秒間の冷刺激を行った。また、冷刺激を確認するため、首の表面温度を計測した。生理指標を計測するために PowerLab 16/35（PL35/16, AD Instruments 社）を使用し、音楽聴取時に、閉眼した状態で脈波・皮膚コンダクタンス反応（GSR：Galvanic Skin Response）・呼吸数を計測した。また、実験参加者に音楽聴取時に鳥肌感を感じた場合に、ボタンを押すように教示した。

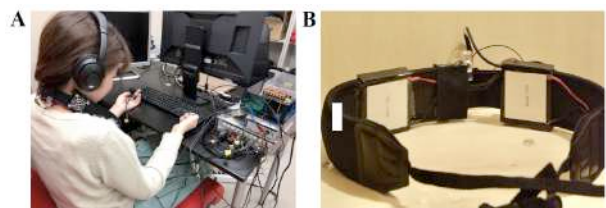


図 6：実験の様子 (A) と最初のプロトタイプデバイス(B)

結果、皮膚コンダクタンス反応以外（脈波・呼吸数）においては変化が認められなかった。皮膚コンダクタンス反応は、3 回全ての冷刺激において増幅が認められた(図 7)。その際には実験参加者もボタンを押していたため、主観的にも鳥肌感を感じていた。そのため、音楽聴取時の体表面における冷刺激が、鳥肌感を誘発し、音楽の感動を増幅する可能性があることが示唆された。

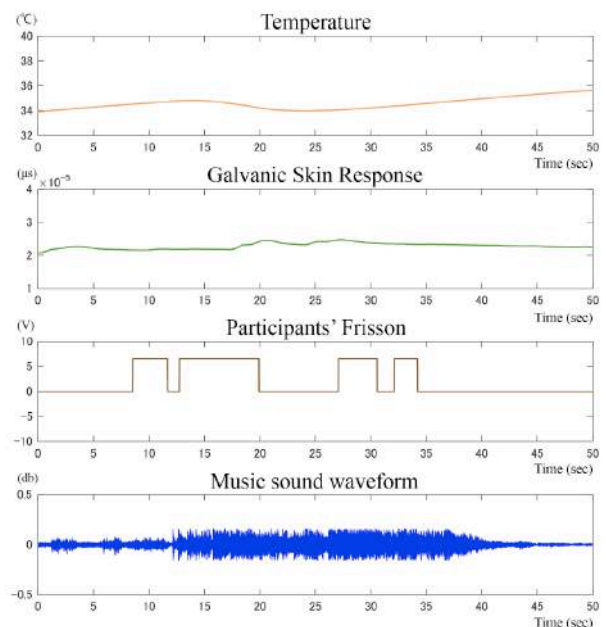


図 7：音楽聴取時の生理心理指標

熱特性評価実験により、冷刺激を提示してから約3.0秒で温度が下がりきることがわかった。そのため、冷刺激のタイミングは約3.0秒のタイムラグがあることを考慮して、今後はソフトウェアを改善していく必要がある。

また、現状のプロトタイプデバイスでは排熱処理をしていないため、ペルチェ素子に電流を入力した際に温度が上昇してしまうという問題がある。しかし、表面温度が上昇する際の傾きは変化せず、一定に上昇し続けるため、1曲に3回程程度の冷刺激であれば、大幅な温度上昇は防げるのではないかと考えている。加えて、熱伝導性の高い素材やヒートシンク、水冷装置を使用することで、現在のデバイスに排熱処理を組み込む予定である。

6 結語

本研究では、音楽聴取時の感動体験を拡張させるための温度触覚ディスプレイのプロトタイプデバイスを開発した。開発したプロトタイプデバイスを評価したことにより、デバイスの改善すべき事項を洗い出すことが出来た。

実際に実験に使用することができるようにデバイスを改善した上で、改めて音楽聴取時の冷刺激提示が音楽感動体験に及ぼす影響を定量的に評価するための生理心理実験を実施する。

冷やししながら音楽を聴くと言う概念はまだこの世に普及していない概念である。本研究によって、アーティストが提案する音楽の表現方法の根底にある現象を神経科学の観点から明らかにし、音楽聴取時の感動体験を技術で拡張し得るということを世の中に提示する。

7 参考文献

- (1) Yamazaki, Y., Mitake, H., Oda, R., Wu, H. H., Hasegawa, S., Takekoshi, M., Tsukamoto, Y., Baba, T.: Hapbeat: single DOF wide range wearable haptic display. Proceeding of ACM SIGGRAPH 2017 Emerging Technologies Article No.12(2017).
- (2) WOJER Homepage, <https://www.wojer.com/>, last accessed 2018/08/14.
- (3) Akiyama, S., Sato, K., Makino, Y., Maeno, T.: ThermOn: thermos-musical interface for an enhanced emotional experience. Proceeding of the 2013 International Symposium on Wearable Computers, Pages 45-52, Zurich, Switzerland(2013).
- (4) Salimpoor, V. N., Benovoy, M., Larcher, K., Dagher, A., Zatorre, R. J.: Anatomically distinct dopamine release during anticipation and experience of peak emotion to music. Nature Neuroscience, 14, 257– 262(2011).

- (5) Panksepp, J.: The emotional sources of “chills” induced by music. Music Perception, 13, 171-207(1995).

- (6) Stevens, J. C., Choo, K. K.: Temperature sensitivity of the body surface over the lifespan. Somatosensory & Motor Research 15:13-28(1998).

- (7) 森数馬, 岩永誠.: 音楽による強烈な情動として生じる鳥肌感の研究動向と展望. 心理学研究, 85, 495-509(2014b).

- (8) Grewe, O., Nagel, F., Kopiez, R., & Altenmüller, E.: Listening to music as a re-creative process: Physiological, psychological, and psychoacoustical correlates of chills and strong emotions. Music Perception, 24, 297– 314(2007).

トロンボーン奏者を対象にした身体運動制御研究 タンギングパフォーマンスのスキルレベル差の検討

○池本茂貴（指導教員 藤井進也）

*慶應義塾大学 環境情報学部 4年（2019年3月卒業予定）

**慶應義塾大学 環境情報学部

*t14047si@sfc.keio.ac.jp, **sfujii@sfc.keio.ac.jp

キーワード：トロンボーン、タンギング、身体運動制御

1 はじめに

1.1 研究の背景

タンギング (Tonguing) とは、管楽器を演奏における舌を用いた技法の総称である。「t」や「k」の発音と同様の舌の動きをすることにより、各音の開始を与え、強弱を調節し、空気の流れを瞬間的に遮断する。トロンボーンの上達を目指す上で最も重要であり難関であるといっても過言ではない。プロ奏者とアマチュア奏者ではタンギングの上手さが違っていると聴いて分かるものの、詳細に何が異なっているのかはわからない。

1.2 トロンボーンタンギング

タンギングは大きく分けてシングルタンギング (tu-tu-tu-tu)、ダブルタンギング (tu-ku-tu-ku)、トリプルタンギング (tu-ku-tu, tu-ku-tu) の3種類がある。演奏をする際に基本となるのはシングルタンギングとされているが、奏者間でタンギング運動の速度が異なり、シングルタンギングが遅い奏者は速いパッセージを吹くのが困難である。そこで、『tu』とは別に『ku』の発音を取り入れたのがダブルタンギングとトリプルタンギングである。プロ奏者であってもアマチュア奏者であっても、タンギングの発音方法や身体制御運動は唯一無二である。

1.3 研究の目的

管楽器奏者を対象とした先行研究では、針筋電図を用いてトランペット奏者の表情筋の活動を調査した研究[1]や、表面筋電図を用いてホルン奏者の表情筋を調査した研究[2]があり、熟練者が未熟練者よりも効率的な表情筋の筋活動制御を行っている可能性が示唆されている。これらの先行研究を踏まえると、熟練したトロンボーン奏者は、タンギング中の舌の運動制御様式が未熟練者に比べて大きく異なると推察される。しかしながら、トロンボーン奏者のタンギングパフォーマンスに関する詳細な調査はまだ十分に実施されていない。

そこで本研究では、アマチュアからプロまでの幅広いスキルレベルのトロンボーン奏者を対象として実験を行い、基礎的なタンギングスキルがプロとアマチュアで具体的にどの程度異なるのかを明らかにすることを目的とする。

1.4 研究の意義

トロンボーン奏者を対象とした身体運動制御研究は、現在のところほぼ未開拓の状態にあり、本研究は音楽演奏科学分野の発展に貢献する意義がある。現在のところ、トロンボーン演奏のレッスンや教育の現場では、主観的な感覚を元に指導が行われることが多いが、本研究で得られるタンギングパフォーマンスのデータを参照することで、より客観的な観点から熟練トロンボーン演奏のメカニズムを理解できる可能性がある。また本研究によって、タンギングの新規演奏法を開発する手がかりも得られる可能性があり、本研究はトロンボーン演奏に対する科学的理解の進展に着実に貢献するものと期待できる。

2 方法

2.1 研究対象者

本研究の研究対象者はトロンボーン演奏経験を有する18歳以上の健常者であることとした。

本レジュメでは研究対象者1~5の5名のデータを取り扱った。研究対象者1,2,3,5の4名はアマチュア奏者、研究対象者4はプロ奏者である。また研究対象者1はバストロンボーン奏者であり、研究対象者2,3,4,5はテナートロンボーン奏者である。

2.2 セットアップ

研究対象者は、普段演奏をする際と同様にトロンボーンを構える。実験者は、研究対象者のトロンボーンの高さに合わせ、トロンボーンベルから拳3つ分(15cm)の距離に録音用ICレコーダー(ICD-UX543F, Sony社製)をセッティングし、演奏音の録音を行った。研究対象者は、(A)メトロノーム音に合わせたシングルタンギング課題と、(B)最速タンギング課題の2種類を実施した。実験場所は全研究対象者共通して同じスタジオを使用した。

2.3 実験課題

2.3.1 (A)メトロノームシングルタンギング課題

研究対象者は耳にイヤホン装着した状態で、テンポが一定(例えば60BPM)のメトロノーム音を聴きながら、①四分音符、②八分音符、③三連符、④十六分音符の各音符を4拍分ずつシングルタンギ

ングで演奏した。なお、演奏音はBbのみとし、研究対象者は自身のタイミングで演奏を開始させた。

本課題は2試行実施し、試行間には1分間の休息をとった。1分間の休息後も実験対象者が疲労を感じると報告した場合には、疲労がなくなるまで試行間に休憩を挟み、疲労を最小限に抑えるよう配慮した。

2.3.2 (B)最速タンギング課題

研究対象者の眼前に8秒間のタイマーを設置し、実験実施者は演奏の準備が出来次第、タイマーのスタートボタンを押した。タイマーの残り時間が5秒になった時点で、研究対象者は5秒間のタンギングを可能な限り素早く、多くの回数実施した。なお、タンギング開始までの3秒間は、ブレス等の準備期間とした。

タンギングは、①シングルタンギング、②ダブルタンギング、③トリプルタンギングの3条件で実施することとし、各条件について3試行ずつ、合計9試行実施した。試行間には30秒間の休憩を挟んだ。30秒間の休憩後も研究対象者が疲労を感じると報告した場合には、疲労がなくなるまで試行間に休憩を取り、疲労を最小限に抑えるよう配慮した。

2.3 解析方法

課題(A)は演奏音のスペクトル解析を実施し、倍音構造や音色などの音質について解析した。課題

(B)は録音したデータから、演奏音のオンセット・オフセット時刻や最大振幅時刻等を算出し、演奏タイミングの安定性や演奏音の振幅波形について解析した。

解析ソフトウェアはOscope2 (ONOSOKKI社製)とMatlab R2018b (Mathworks社製)を用いた。

2.3.1 音質評価指標

音質評価指標としてラウドネス、シャープネス、ラフネス、トーンリティを用いた。それぞれ音の大きさ、音の鋭さ(甲高さ、低域と高域の周波数バランス)、音の粗さ・濁り(音のザラザラ感)、純音感(音の中に含まれている純音成分の比率)を表しており、音響心理学などでよく用いられる指標である[3]。

2.3.2 Inter-tonguing Interval と Tonguing Amplitude

タンギングパフォーマンスを解析するにあたって、2つの指標を用いた: Inter-tonguing Interval (ITI) と Tonguing Amplitude (TA) である。ITIはタンギングの間隔を、TAはタンギングの音量を表している。

3 結果

3.1 (A)メトロノームシングルタンギング課題

Figure 1は研究対象者の各音質評価指標を示している。研究対象者1は他の研究対象者とは異なりバストロンボーンを使用していたため、『甲高くなく粗さのない』(シャープネス・ラフネスが低い)音色だった。研究対象者4はプロ奏者であるため、『低音域と高域の周波数バランスが良い』(シャープネスが高い)音色が見られ、研究対象者5は『音が粗く濁っている』(ラフネスが高い)音色が確認できた。

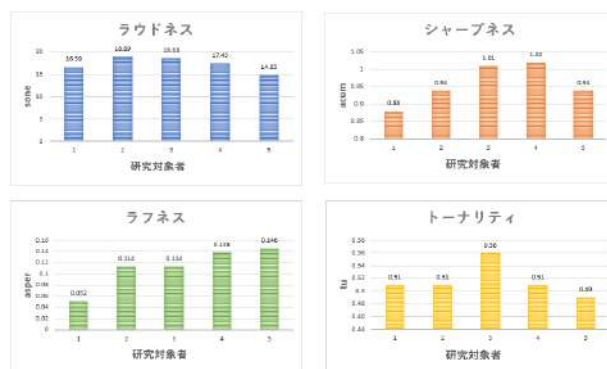


Figure 1. 研究対象者の音色比較図

3.2 (B)高速タンギング課題

Table 1は高速タンギング課題の結果である。シングルタンギングは研究対象者4が他の人に比べて非常に速かった一方、ダブルタンギングやトリプルタンギングではあまり違いは見られず、ダブルタンギングに関しては研究対象者3の成績がよかった。

Figure 2は高速タンギングをする上で、間隔や音量がどれほど安定しているのかを示している。研究対象者2のように、シングルタンギングのCV値が低いが、ダブルタンギング、トリプルタンギングと難易度が上がるにつれCV値が大きくなる結果が見られた一方、研究対象者1と4のように3種類のタンギングのCV値が比較的安定していて、且つ値が低い結果も見られた。

Table 1. 高速タンギングの回数

高速タンギングタスク	研究対象者				
	1	2	3	4	5
シングル	40	38	36	50	46
ダブル	49	38	60	54	55
トリプル	45	46	53	51	48

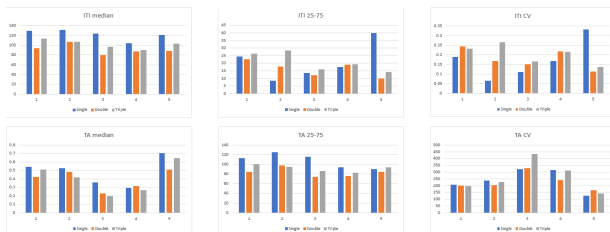


Figure 2. 研究対象者のITIおよびTAの比較図

Figure 3 は研究対象者のシングルタンギングの ITI と ITI のヒストグラム（赤線は中央値、赤点線は四分位数 25～75）を表した図である。アマチュア奏者（研究対象者 1,2,5）は上下に激しく揺れ、ヒストグラムも分散していたが、プロ奏者（研究対象者 4）は比較的直線に近い均等な間隔を生み出している。アマチュア奏者（研究対象者 3）は均等な間隔でタンギングしていたものの、プロ奏者に比べて回数が少なく、平均 ITI が 119msec だった（プロ奏者は平均 ITI が 100msec）。

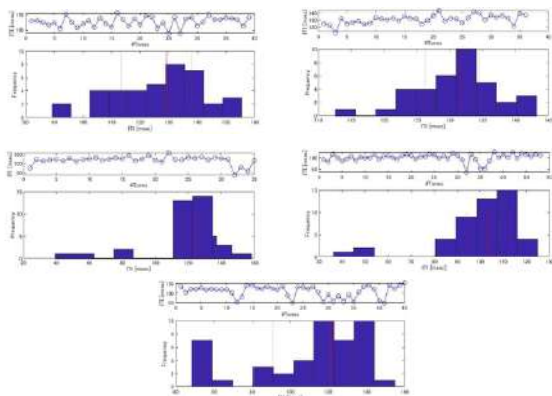


Figure 3. 研究対象者の ITI およびヒストグラム（左上から右に、研究対象者 1～5）

Table 2. は ITI、TA それぞれの中央値、四分位数 25～75 の絶対値を出し、CV（四分位数 25～75 の絶対値/中央値）を算出したデータである。プロである研究対象者 4 は他の人に比べてシングルタンギング・ダブルタンギング・トリプルタンギングいずれにおいて CV の偏りが低いのが確認できた。

4 考察

4.1 音色

Oscope2 の分析データからラウドネス値は全研究対象者を通して差がなかった。それに反してシャープネス・ラフネス・トーンリティに関しては、差が大きく出ていて個人個人の特徴が決定する重要な性質であることがわかった。

Table 2. 研究対象者の各タスクにおける ITI および TA の CV 算出

指標	研究対象者				
	1	2	3	4	5
シングルタンギング					
ITIのmedian	129.2971	131.5646	123.719	104.646	120.692
ITIの四分位数25-75	24.6315	8.6281	13.7585	17.5	40
ITIのCV	0.190503	0.065581	0.11121	0.16723	0.33142
TAのmedian	0.5442	0.5249	0.3595	0.2961	0.7033
TAの四分位数25-75	112.8046	125.1501	115.454	93.8669	89.9504
TAのCV	207.2852	238.4266	321.15	317.011	127.898
ダブルタンギング					
ITIのmedian	94.0023	106.8707	80.2948	87.6417	88.7188
ITIの四分位数25-75	22.8571	17.9592	12.0748	19.0136	10.068
ITIのCV	0.243155	0.168046	0.15038	0.21695	0.11348
TAのmedian	0.4219	0.4807	0.2268	0.3142	0.5081
TAの四分位数25-75	84.8895	97.6487	74.3465	75.9184	84.4565
TAのCV	201.2076	203.1385	327.806	241.624	166.22
トリプルタンギング					
ITIのmedian	113.8549	106.5986	96.8934	90.3061	103.651
ITIの四分位数25-75	26.3379	28.424	16.0601	19.4218	14.3311
ITIのCV	0.231329	0.266645	0.16575	0.21507	0.13826
TAのmedian	0.5088	0.4181	0.1984	0.2649	0.6462
TAの四分位数25-75	101.0609	95.3823	86.126	83.0654	93.5651
TAのCV	198.626	228.1327	434.103	313.573	144.793

4.2 タンギング

研究対象者 4 はシングルタンギングが速いため、曲中に速いパッセージが出てきたとしてもシングルタンギングで難なく吹くことができる。それにより、ダブルタンギングやトリプルタンギングは使用する機会が少なく不得意であることが読み取れる。それとは逆に、研究対象者 3 はシングルタンギングが遅いため、曲中に速いパッセージが出てきた場合、シングルタンギングではなくダブルタンギングやトリプルタンギングを使用することから、このような結果が得られたのだと考えられる。

研究対象者 5 はシングルタンギングの ITI のばらつきが大きい、ダブルタンギングとトリプルタンギングになると値が安定する。これは普段演奏時にダブルタンギングやトリプルタンギングを使用しているためだと予想される。

理論上、ダブルタンギングやトリプルタンギングはシングルタンギングに比べて回数が 2 倍 3 倍になると予測されるが、実験結果は 2 倍 3 倍になっていない。これはダブルタンギングやトリプルタンギングをする上で『ku』の発音が追加されることにより舌の動きや口に負担がかかり、回数が伸びないと推測できる。また、トリプルタンギングに関してはタンギングの中でも難易度の高いものであるため、普段練習をしていないという理由もあげられる。

5 まとめ

本研究は、基礎的なタンギングスキルがトロンボーン奏者のプロとアマチュアで具体的にどの程度異

なるのかに着目し、音質や ITI と TA を解析し、評価した。その結果、研究対象者 5 人で音色の特徴やタンギングをする上での運動制御レベルの個人差が存在することが目に見える形で明らかになった。データ数が少なかったため、今後はさらにデータを集めて評価を進めたい。音色研究に関しては **Oscope2** の視点からみたトロンボーンの声質特徴が明確でないため、他の楽器の音質との特徴差を調べていきたい。

6 参考文献

- [1] White, E. R., & Basmajian, J. V. (1973). Electromyography of lip muscles and their role in trumpet playing. *Journal of Applied Physiology*, 35(6), 892-897.
- [2] Hirano, T., Kudo, K., Ohtsuki, T., & Kinoshita, H. (2013). Orofacial muscular activity and related skin movement during the preparatory and sustained phases of tone production on the French horn. *Motor control*, 17(3), 256-272.
- [3] 小野測器, “音質評価とは”, https://www.onosokki.co.jp/HP-WK/c_support/newreport/soundquality/soundquality_1.htm

子供と大人の歌の自動比較分析による 新たな音階起源仮説の提唱 —広域な世界音楽サンプルから探る—

○佐藤肖一郎* (指導教員 サベジ・パトリック**)

*慶應義塾大学 総合政策学部 4年 (2019年3月卒業予定)

**慶應義塾大学 環境情報学部

*s14411ss@sfc.keio.ac.jp, **psavage@sfc.keio.ac.jp

キーワード：音楽、人類学、コンピューターサイエンス、心理学

1 概要

なぜ人間の音楽は普遍的に「音階」を使用するのか。この研究では、音階の起源や法則或いは生物学的制約の有無を検証すべく、民族音楽を含む子供の歌と大人の歌を、自動音階抽出アルゴリズムを用いて比較分析した。発達段階における音階構造やメロディ範囲、合調の正確さなど解析から得られた結果は、ピタゴラス音律に基づく人間の美的反応による進化的適応と人間の歌唱における拘束運動の相互作用が、音階の成り立ちに寄与してきた可能性を示唆している。

2 背景

2.1 音階について

音楽は、全ての人間社会に普遍的創作物として存在し多様な形で表出しているが、そこには音楽の普遍的特徴も見出すことができる。音階(スケール)の使用はその1つであり、世界のほとんどの音楽には音階が用いられている[2]。音階とは、音楽を作成するために1オクターブを特定のインターバルに分割した、音高(ピッチ)の集合である。世界には無数の音階パターンが存在しており、人間は1オクターブ内で240種類を超えるピッチを判別できるため、非常に多くの音の組み合わせが理論的には可能である[1]。しかし、世界中の音楽を見渡すと、西洋古典音楽、民族音楽、ポピュラー音楽問わずほとんどの音楽が、わずか7音以下の音階で成り立っており、主音や終止音を含む「調性」(Tonality)の機能を持つ[2, 4]。

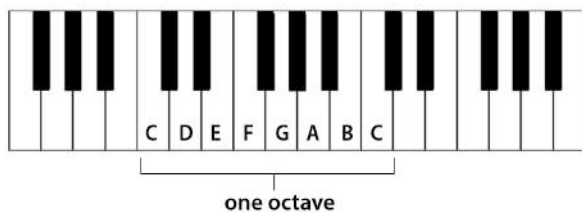


図1: 鍵盤上での1オクターブ範囲

西洋音楽では1オクターブを12に分け調整された「12音平均律」が一般的だが、これは限定的な音列にすぎない

音楽の多様性に対して、音階構造にはなぜこのような制約が見られるのか、ここにはどのような生物学的制約あるいは音楽的法則が影響しているのか。この疑問に対して、ピタゴラス以来様々な研究者が2000年以上議論を重ねきたが、未だ明確な結論は出ていない。

2.2 代表的な2つの音階起源仮説

これまで最も有力な説として支持されてきたものとして、ピタゴラス音律による「整数比仮説」(Integer ratio hypothesis)が挙げられる。これは、音の組み合わせにおいて、振動比が整数の関係にある時に対する人間の生物学的な好み、音階構成を制約してきたという仮説である[1]。つまり、弦の振動数による比率が整数比であり、その数字が小さいほどハーモニーとしての親和性が高く、生物学的な人間の美的反応による選択が音階を限定してきたという仮説だ。しかし、これは調性(チューニング)が可能な弦楽器を中心とした理論であることから、近年声調音楽(vocal music)を含む人間の音楽全般の説明としては不十分であるとの声もある[3]。

表1: 代表的な音の整数比関係

振動数の比	音程
1:1	完全1度
1:2	完全8度
2:3	完全5度
3:4	完全4度
4:5	長3度
5:6	短3度
3:5	長6度
5:8	短6度

2つ目の仮説は、その人間の発声による音楽こそが最も原始的かつ普遍的な「楽器」であるという考えに基づいたヴォーカルミチューニング仮説(Vocal mistuning hypothesis)である。スケールは整数比に関する知覚的制約からではなく、人の音声のピッチをどれほど正確に生成できるかという生産の制約から生じるとする[3]。つまり、人間の歌唱能力における「不正確さ」がスケールの数を限定しており、今日存在する音階構造は、人間の発声能力の制

約による副産物にすぎないという考え方である。人間の歌唱は、7音階を超える音を使用するにはあまりにも不正確であり、スケールを正確に作成することはできない。そのことから、調性能力の精度と音階の構成音の数に相関関係があると考えられる。

2.3 研究の目的と仮説

この研究では、相反する2つの理論の有効性を検証すべく、異文化間の子供と大人の歌による音階の比較分析を行うことで、人間の調声機能と音階構造の相関を明らかにすることを目的とする。また、発達プロセスに関係なく、両者に共通する特徴を模索することで生物学的な作用の有無も検証する。

子供の声門運動機能は、大人に比べ発達段階にあることから、子供の発声の正確さは成人に比べ低いことが予想される。つまり、ヴォーカルミッシュューニング理論の正当性は、子供の発声の不正確さがより構成音の少ない音階を構築し、大人の歌はより綿密な音階が使用されていることを予想する。

一方、「整数比仮説」は生物学的な人間の特性として、特定のインターバルへの美的反応を予測するため、発達プロセスにかかわらず両者に共通したインターバルの使用が見られると予測した。本研究では、大人と子供の歌に見る音階構造の違いを、音階の構成音、同調音階のインターバルの側面から分析する。

3 メソッド

3.1 歌サンプル

本研究では音楽の普遍的傾向を探るため、特定の地域に偏らないよう、より世界的規模なサンプルを作成した。まず、大人の曲としては先行研究で使用された「Global samples」[6]に加え、*Garland Encyclopedia of World Music* から計45曲を大人の歌として選択し、同地域から45曲の子供の歌を *Le chant des enfants du monde* [5]のCDセットから選択した。結果、地理的にマッチした計90曲が大人、子供の曲からそれぞれ集められた。現段階での自動解析ツールの精度は単音の解析に優れているため、モノフォニック（単音）、あるいはユニゾン（斉唱）の歌から選択した。また、どちらのレコーディングセットも西洋音楽学的影響を比較的受けにくい小さなコミュニティから集められた音源であり、口頭伝承による伝統的な楽曲が多いため、「子供または大人に歌い継がれてきた伝統的な歌」が包括的に集められたことになる。

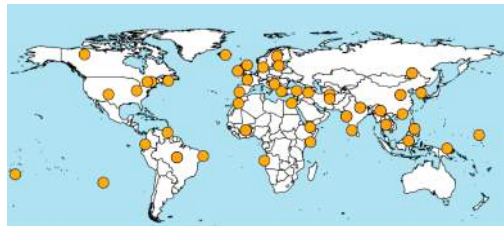


図1：大人と子供の曲を集めた45地域の分布図

3.2 自動音階分析アルゴリズム Tarsos について

これまでの音階分析研究は、特定の地域内における楽曲を採譜するという手動的な分析に限られてきた。しかし、この方法ではかなり時間を有するばかりではなく、個人的な主観によって結果が異なることも指摘されてきた。1オクターブを特定の12平均律の西洋音楽的な形式に限定された解釈だけでは、世界音楽の大半を占める民族音楽を同時に比較することは困難である。そこで、Tarsos [7]という自動音階分析アルゴリズムを使用することにより、音楽のピッチ情報を定量化し、自動的に音の高さや使用頻度を出力することでより広範囲かつ客観的な指標に基づくサンプル分析を可能とした。

3.3 メロディ範囲の測定

まず、子供と大人の発声運動機能が音楽的表現に違いをもたらすことを確かめるため、それぞれの楽曲に使われている音程の範囲（最高音から最低音の差異）を計測した。メロディ範囲の計測は、Tarsosのメログラフ可視化によって評価した（図3）。推定された各ピッチは、時間の経過と共に Absolute cents（絶対セント）してプロットされ、ピッチ分布の密度として視覚化される。各曲の旋律範囲は、最高音程と最低音程の近似値の差を計算され、得られた全90曲のデータで子供と大人の差をt検定で計算した。また、音程計測の際には、雑音や高調波の倍音によるピッチ推定誤差と思われる範囲は測定外とした。

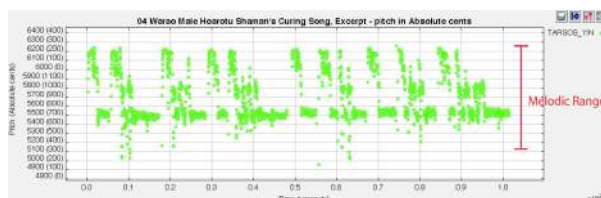


図2：メロディ範囲分析の例（“Walao Male Hoarotu Shaman’s Curing Song” from Venezuela）

3.4 音階分析比較

次に、子供と大人の歌の自動音階分析を行った。まず、Tarsosにオーディオファイルを認識させ、全ての音高を1オクターブ内（0～1200 cents）に集積し、音の頻度を「ピッチクラスヒストグラム」として可視化した（図3）。図のように、1オクターブ内で音階として使用されている音はピークとして見られる。TarsosのデフォルトのYINピッチ推定アルゴリズムを使用し、自動的にピークを選択した。現段階では手動による微調整や耳による確認も行いながら、音階の判断にエラーがないかのダブルチェックを行った。Centの単位は、半音で100 centsを示し、完全4度は500 cents、完全5度は700 centsを示す。

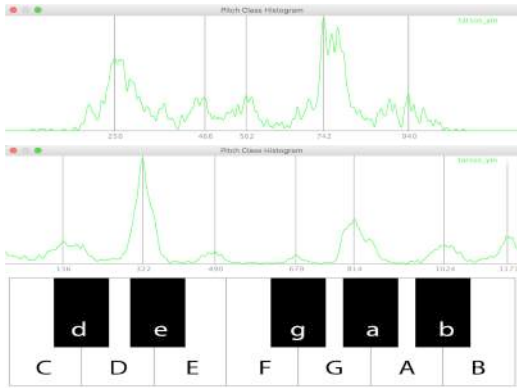


図3：西アフリカ地域における音階自動分析の例 “Sigereti Fe Bara”(上、子供の歌、5音階)と“Vai Call to Prayer”(下、大人の歌、7音階)。縦線は自動的に検出された音階の構成音を示す。

3.5 調性されたインターバル比較

最後に、音階分析で可視化したピッチクラスヒストグラムを元に、全ての曲のトニック（主音、終止音、中心音）を0 centとして調整することで、音階の正規化（=同調操作）を行った。同調へ並べ替えた音階データは、それぞれのピッチ頻度を合計し平均を出すことで、主音からの各構成音に対する距離を統計学的に処理した。図のように、トニックを左詰めに一致させ、45曲のピッチクラスを合計し、主音から各音への距離を見ることにより、大人と子供の歌それぞれ、より共通したインターバルを抽出した。

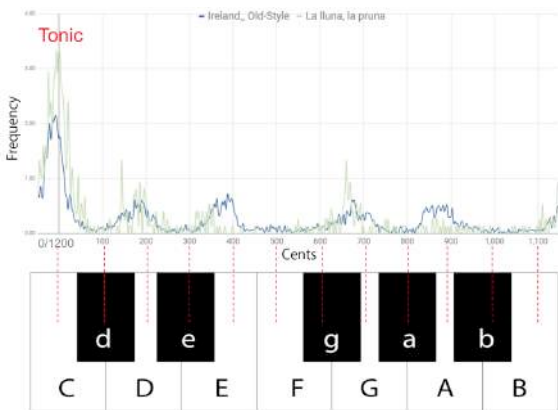


図4：北西ローロッパの2曲間における正規化の例。(Ex. C-E=400cents, C-G=700cents)

4 結果

4.1 旋律範囲測定結果

子供の歌の平均絶対旋律範囲は943セント（短7度以上）であり、大人の歌の平均メロディ範囲は1775セント（完全11度以上）であった。2つのグループ差は、大人の歌が子供の歌よりも40%以上の旋律範囲を示す有意さを示した ($p<0.01$)。これは発達段階における発声運動の制約は、音楽表現に大きな影響を与えることを意味しており、発達プロ

セスにおける楽曲分析の重要性を確認できた。

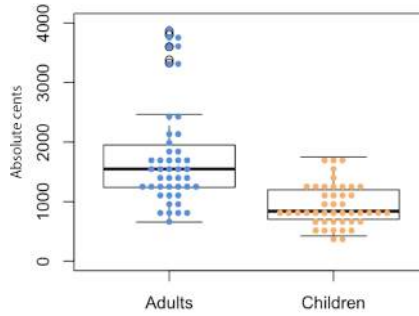


図5：メロディ範囲比較

4.2 音階比較結果

図4は、大人の歌45曲、子供の歌45曲の広域なサンプルの音階構造の構成音の数を分布したものを示している。大人と子供いずれも5音階（ペンタトニックスケール）の使用は多く見られたが、子供の歌は大人の歌よりも度数が低くなる傾向にあり、逆に大人の歌ほどより多くの構成音を使用する傾向にあることがわかった。大人と子供の分布の差は有意であった ($p<0.01$)。

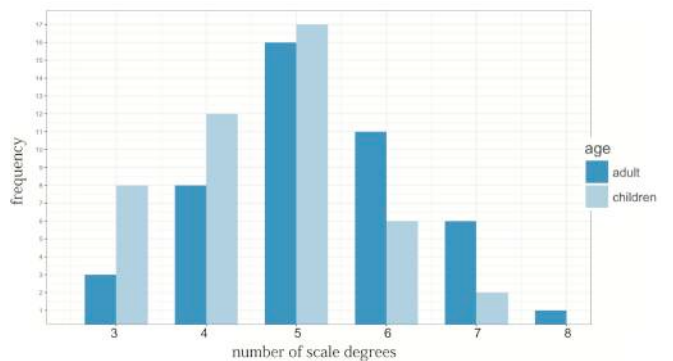


図4：子供と大人の歌の音階の構成音数比較

4.3 音階調性の比較結果

図6は大人と子供の歌それぞれ45曲ずつ音階を正規化したものの平均を示したものである。

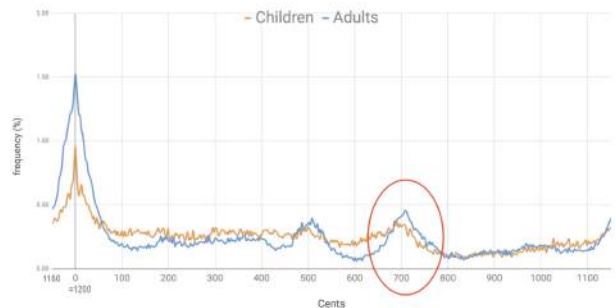


図6：子供と大人の歌の同調音階比較

大人の歌は、500cents（完全4度，4:3）と700cents（完全5度，3:2）のインターバルを示す傾向にある一方、子供の歌は700centsのみわずかなピークが

見られた。特に、オクターブ(1:1)に次いで小さな整数比である完全5度(3:2)間隔においては、子供と大人の歌間で共通しており、「整数比仮説」も部分的に機能している可能性が示されている。図5は中心音0 cent 付近の分布を示すため、X軸は1150centsから表示している。

5 考察

先行研究において、異文化音楽を含む広域なサンプルを統一的な手法で分析した研究は少なく、大人と子供の歌を音楽学的に比較分析した例はいまだない。また、採譜による技術的な制限や西洋音楽的理論による分析に偏りを解決するため、この研究では、自動音階分析アルゴリズムを用いることで、より多くの広範囲なサンプルを、客観的かつ効果的に比較分析を行った。

メロディ範囲、音階構造分析、調整音階のインターバルを発達段階によって比較することで、子供の初期の発達段階に起因する発声運動の制限は、音楽構造に様々な影響をもたらすことが分かった。音階の比較分析では、子供の歌唱は大人の歌よりも不正確なチューニングを導き、音階の密度を下げる傾向にある。つまりこれらの結果は、ヴォーカルミスチューニング仮説を支持しており、音楽は人間が持つ運動機能の制約による副産物であるというモーター制約理論の1つの事例とみなすことができる [8]。

一方、調整された大人と子供の音階を比較すると、確かに子供の歌はインターバルの出現が乏しく、大人の歌はより明確なピッチに対する正確さを示しているが、完全5度(3:2の比率)などのシンプルな整数比による同調間隔はある程度共通していた。これらの結果は、発達段階や音楽経験にかかわらず、単純な整数比の生物学的選好がスケール構造における多文化間の規則性に関連している可能性を示している。

つまり、これまで論じられてきた「整数比仮説」と「ヴォーカルミスチューニング仮説」どちらが正しいかという問いに答えはなく、発声運動拘束による作用と人間の生得的な美的感覚が相互に影響しあった結果が、音楽の普遍的特徴を構築している可能性が考えられる。

この段階で結論づけるのは早急だが、今後はさらにサンプル数を増やしチューニングの不正確さの測定や、インターバル区間に対する子供と大人の好みの共通性や差異を知覚実験として測ることで、より説得力のある音階起源仮説の検証と理論構築を行っていく。

6 参考文献

- [1] D. L. Bowling and D. Purves, "A Biological Rationale for Musical Consonance," *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, vol. 112, no. 36, pp. 11155–11160, 2015.
- [2] S. Brown., & J. Jordania, Universals in the world's musics. *Psychology of Music*, 41(2), 229–248, 2013
- [3] P. Q. Pfordresher & S. Brown, "Vocal mistuning reveals the origin of musical scales." *Journal of Cognitive Psychology*, vol. 29, no. 1, pp. 35–52, 2017.
- [4] P. E. Savage, S. Brown, E. Sakai, and T. E. Currie, "Statistical Universals Reveal the Structures and Functions of Human Music," *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, vol. 112, no. 29, pp. 8987–8992, 2015.
- [5] F. Corpataux, "*Le Chant des enfants du monde*" [11 CDs], ARION, 1993–2006
- [6] P. E. Savage, A. T. Tierney, & A. D. Pate, "Global Music Recordings Support the Motor Constraint Hypothesis for Human and Avian Song Contour" *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 34(3), 327–334, 2017
- [7] J. Six, O. Cornelis, & M. Leman, "Tarsos, a modular platform for precise pitch analysis of Western and non-Western music" *Journal of New Music Research*, 42:2, 113–129, 2013
- [8] A. T. Tierney, F. A. Russo & A. D. Pate, "The motor origins of human and avian song structure." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2011

ワーキングメモリの個人差・個人内変動をもたらし神経基盤の解明

○ 出利葉拓也* (指導教員 牛山潤一**)

*慶應義塾大学 環境情報学部 4年 (2019年3月卒業予定)

**慶應義塾大学 環境情報学部

*t16503ti@sfc.keio.ac.jp, **ushiyama@sfc.keio.ac.jp

キーワード：脳波、認知機能

1 概要

ワーキングメモリとは、一時的に脳内に情報を保持・操作する認知機能のことである。これまでfMRIや脳波を用いてその神経基盤の研究がなされてきたが、その個人差に着目した研究は少ない。そこで本研究では2種類の記憶対象(数字・視空間)と2種類のワーキングメモリ要素(保持・操作)を用いる計4種類の課題を被験者におこなってもらい、そのときの脳波を計測した。その結果、視覚野近傍(O1、O2電極)における θ 帯域(3-7Hz)の律動性が視覚ワーキングメモリ課題中に高い被験者ほど視覚ワーキングメモリ課題の成績が高いことが示された。この結果は、視覚野近傍での神経細胞群が θ 帯域でリズム的な活動することで、視覚情報を容易に表現することが可能になることを示唆している。

2 背景・目的

「天才」と呼ばれる人たちの脳はどのように活動しているのだろうか。歳をとると認知機能が衰えるのはなぜだろうか。認知機能には個人差・個人内変動が存在する。このような差異はどこから生まれるのだろうか。

重要な認知機能のひとつにワーキングメモリがある。ワーキングメモリとは、一時的に情報を脳内に保持・操作する認知機能のことである。この認知機能は注意制御や推論といった他の認知機能、さらには学業成績と関連し、また統合失調症、ADHDといった精神疾患との関連も指摘される(Constantinidis and Klingberg, 2016)。それゆえ、その神経基盤を解明することは認知神経科学の主要な目的のひとつである。

これまで、fMRIや脳波を用いてワーキングメモ

リの神経基盤を解明する研究が数多くおこなわれている。例えば、ワーキングメモリ課題中に前帯状皮質を信号源とする θ 波(3-7Hz程度の電位の振動)や頭頂・後頭領域において α 波(8-13Hz程度)が出現することが多く報告されている(Gevins et al., 1997ほか)。 θ 波は領域間の情報伝達を効率化し、 α 波は不要な外部情報を抑制する機能があることが示唆されている。しかし、これらの研究のほとんどは各被験者のデータを平均化し解析をおこなったものであり、個人差に着目した研究は少ない。

そこで本研究では、ワーキングメモリの個人差に関連する脳波律動性を解明することを目的とし、後述する4種類の課題を被験者におこなってもらい、そこで得られた脳波の周波数特性や領域間同期性を解析した。個人差に関連する脳波律動性を解明することで、それを強化させる介入をおこなうことで、ワーキングメモリ能力を高める方法につながるだろう。

3 方法

3-1 被験者

実験は一般健常男性13名を対象におこなった。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)にもとづいて作成された説明書を用いて研究に関する十分な説明をした上で、同意を得られたもののみに協力を得た。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167)。

3-2 手順

被験者には4種類のワーキングメモリを用いる認

知課題をおこなってもらった(図1)。

課題1: Digit span task (保持条件)

画面上に4つの数字(1~9)が順に呈示される。被験者は最後の数字が消えてから2.5秒後にテンキーを用いてその数字をその順番のまま入力する。

課題2: Digit span task (保持・操作条件)

同様に画面上に4つの数字(1~9)が順に呈示される。被験者は最後の数字が消えてから2.5秒後にテンキーを用いてその数字を逆順にして入力する。

課題3: Delayed match to sample task (保持条件)

6x6マスの画面上の3箇所のマス目が緑色に点灯する。被験者は刺激が消えてから2.5秒後にマウスを用いてその箇所を回答する。

課題4: Delayed match to sample task (保持・操作条件)

6x6マスの画面上の3箇所のマス目が赤色に点灯する。被験者は刺激が消えてから2.5秒後にマウス

を用いて、刺激を左右対称に反転させた箇所を回答する。

課題の流れ

各課題30問を2度ずつおこなってもらった。また課題順は、共通の条件下で個人差を見るため課題1→2→3→4→1→2→3→4の順で被験者間で統一した。

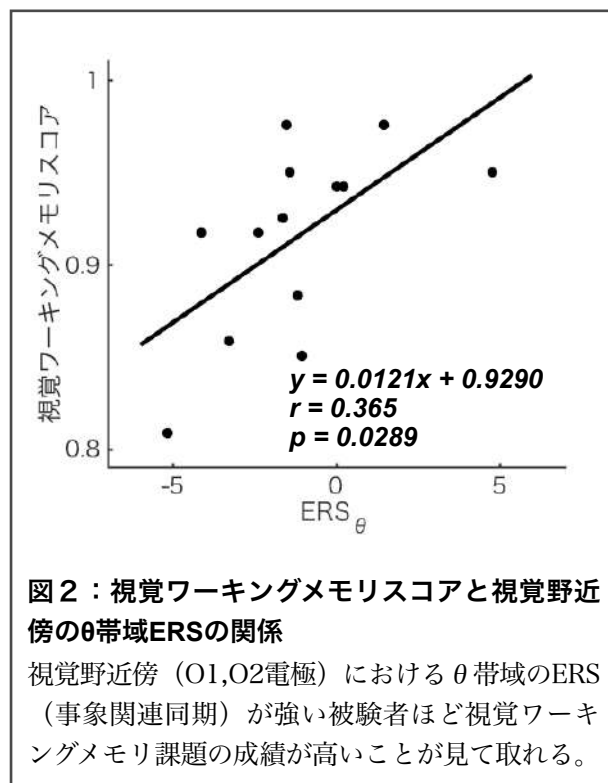
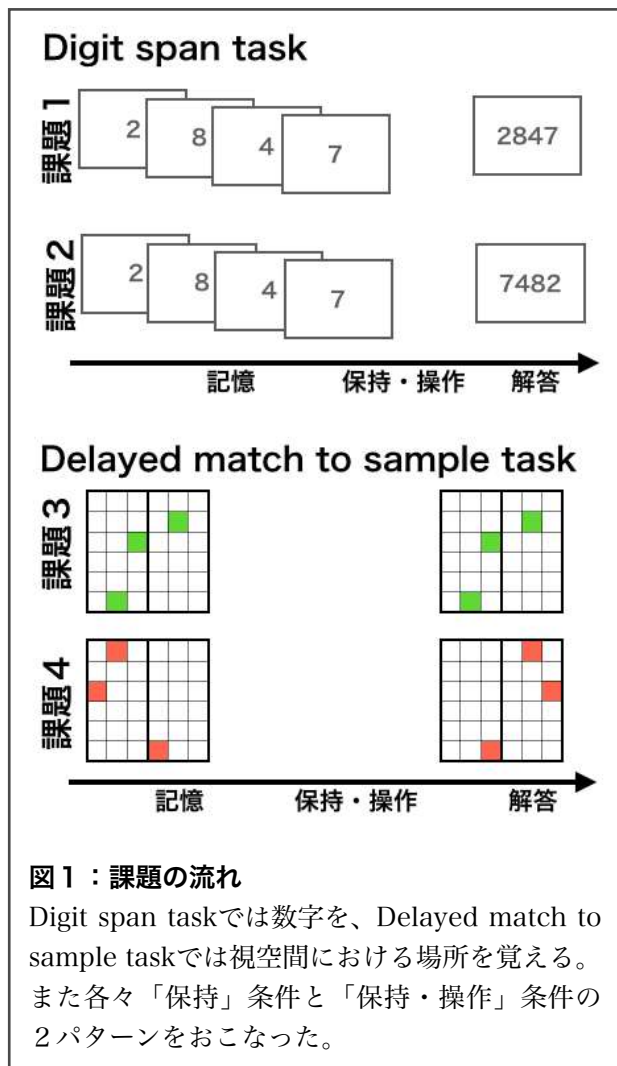
3-3 脳波計測

国際10-20法に従い全頭19chより脳波を導出した。

3-4 解析方法

データ解析はプログラミング言語MATLABを用いておこなった。前処理として独立成分分析により眼球運動によるアーチファクトを除外した脳波データに対しウェーブレット解析による時間周波数解析・高速フーリエ変換による周波数解析・コヒーレンス解析による同期性の評価をおこなった。なお、本研究においてθ帯域は3-7Hz、α帯域は8-13Hzと規定した。これは全被験者・全電極におけるデータを目視し規定したものである。

数字を用いる課題1・2を「数字ワーキングメモリ課題」、視覚を用いる課題3・4を「視覚ワーキングメモリ課題」とした。また、各課題のスコアは正答率である。



4 結果

各個人の脳波の周波数特性・領域間同期性と認知課題成績との関係を網羅的に検討した。本論文では有意な相関が見られた一部の結果を抜粋して紹介する。

視覚操作課題（課題4）における視覚野近傍（O1、O2電極）での θ 帯域（3-7Hz）のEvent-Related Synchronization（ERS, 事象関連同期；脳波のパワーが増幅する現象）の度合いが、視覚ワーキングメモリ（課題3、4）の成績と有意に相関を示した（図2）。視覚ワーキングメモリが得意な被験者と苦手な被験者からのデータを一例ずつ図に示す（図3）。この図をみると、課題中に θ 帯域の律動性が高まる被験者ほど視覚ワーキングメモリが得意であることが見てとれる。

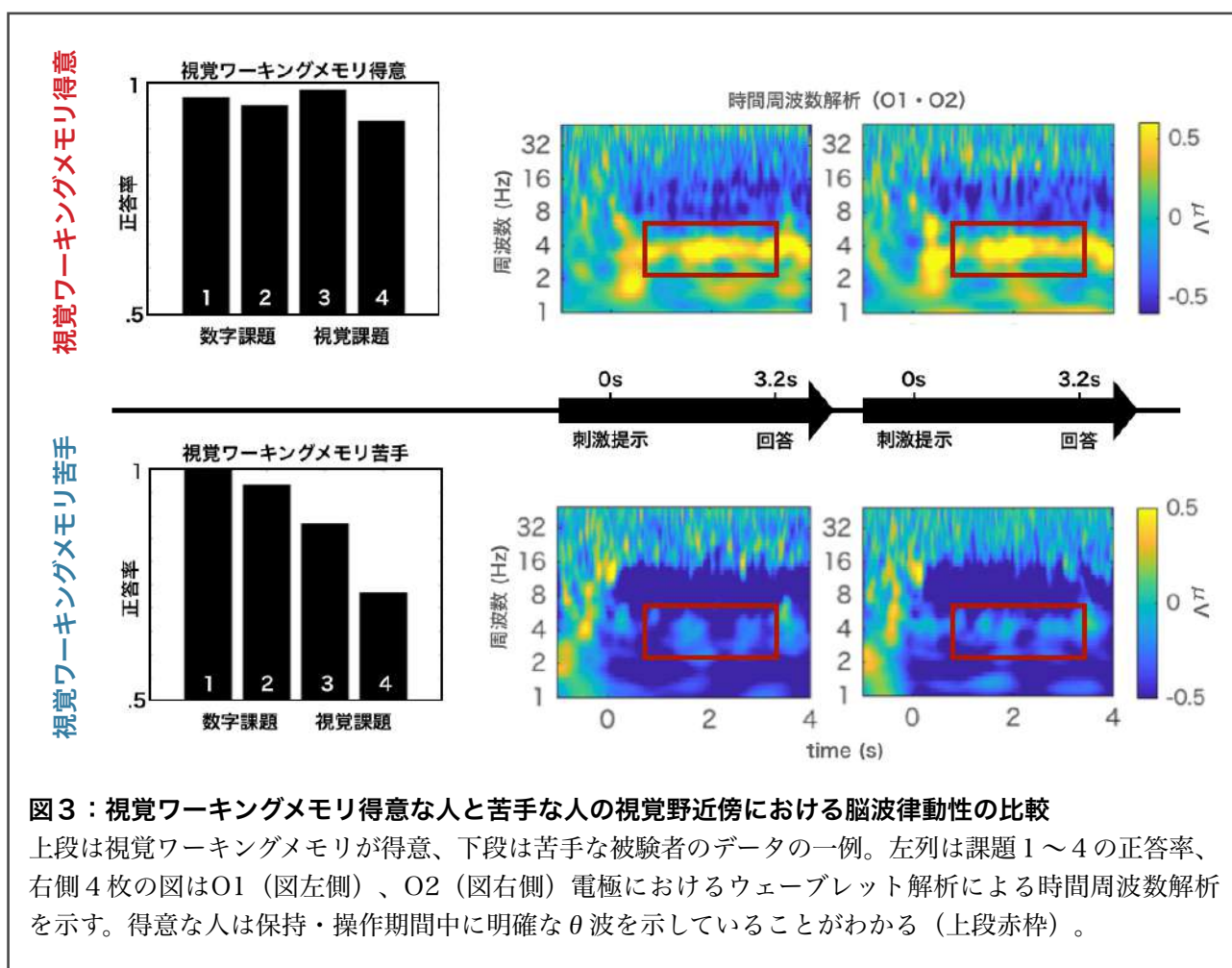
興味深いことに、先行研究においてワーキングメモリとの関連が多く報告されている前頭の θ 波や頭頂・後頭の α 波、また前頭-頭頂 θ コヒーレンスに関しては、成績との相関は見られなかった。

5 考察

5-1 視覚野近傍の θ 律動性

本研究により視覚野近傍（O1、O2電極）における θ 帯域の事象関連同期が、視覚ワーキングメモリの成績と有意に相関することが示された。このことは、視覚ワーキングメモリ課題が得意な被験者ほど、課題中に視覚野近傍での θ 律動性が高いことを意味する。

では、神経生理学的にこの律動性はどのような意味を持つのだろうか。LIJモデル（Lisman/Idiart/Jensenモデル）によれば、 $\theta \cdot \alpha$ 波（5-15Hz程度の「遅い」脳波）の特定の位相に、 γ 波（30Hz以上の「速い」脳波）が集中的に現れることにより、ワーキングメモリの情報が表現される（Lisman and Jensen, 2013）。この $\theta \cdot \alpha$ 波と γ 波の関係はCross-Frequency Couplingと呼ばれる。本研究での視覚野近傍の θ 律動性は、Cross-Frequency Couplingを実現することで視覚ワーキングメモリ保持・操作を容易にしている可能性がある。本実験の計測上 γ 帯域



の正確な解析をおこなうことは難しいが、今後の研究でこの仮説をさらに深めることが

5-2 前帯状皮質の θ 律動性

先行研究においてワーキングメモリとの関連が多く指摘されている脳波のひとつにFrontal-midline θ (前帯状皮質由来とされる θ 波; Fm θ)がある。例えばItthipuripatらは、文字列の保持と操作を要するワーキングメモリ課題中にFm θ が有意に増加したことを報告している (Itthipuripat et al., 2013)。しかし、本研究においてFm θ と課題成績との間に有意な相関は見られなかった。このことは、Fm θ がワーキングメモリ処理そのものをおこなっているのではなく、それを補助する役割を持つ可能性を示唆する。実際、Fm θ はワーキングメモリ処理そのものではなく持続的注意や認知的要求の程度と相関するという報告もある (Sauseng et al., 2007)。ただし、Fm θ が時系列に関するワーキングメモリ処理を実現しているという報告もあり (Hsieh et al., 2011)、その機能的意義の解明にはさらに研究を進めていく必要があるだろう。

5-3 今後の展望

得られた結果より、視覚野近傍の θ 波が視覚ワーキングメモリ処理に関与していることが示唆された。これは電気生理学的な観点から見てワーキングメモリがどのように実現されているのかの解明につながるだろう。

さらに、ワーキングメモリの個人差と相関する脳波律動性の特徴が明らかになったことで、ワーキングメモリを改善する方法の考案につながれると考えている。ニューロフィードバックと呼ばれる技術を用いると、特定の脳波律動性を強化することが可能になる。この手法を用いて視覚野近傍の θ 律動性を強化することができるようになれば、視覚ワーキングメモリ能力が向上することが期待できる。

また、本研究において数字を用いたワーキングメモリ課題の成績との相関は見られなかった。これは、今回用いた数字記憶課題の難易度が適切でなかったことによる可能性がある。プロトコル修正をおこなうことで、数字ワーキングメモリの得意度と関連する脳波の特徴を見出すことも可能であると考える。

冒頭でも述べたように、ワーキングメモリは私た

ちの生活において非常に重要な認知機能のひとつである。本研究がワーキングメモリの神経基盤解明につながり、ひいては精神疾患等の治療法の開発につながることを期待する。

5-4 まとめ

本研究では、4種類のワーキングメモリ課題中の脳波を解析することにより、ワーキングメモリ個人差と関連する脳波の特徴を見出すことを目指した。その結果、視覚野近傍の θ 波が視覚ワーキングメモリの得意度と相関することを示した。この結果は、ワーキングメモリが実現される神経基盤の解明とともに、ワーキングメモリを改善する方法の考案につながると考えている。

6 引用文献

- Bahramisharif, A., Jensen, O., Jacobs, J. & Lisman, J. Serial representation of items during working memory maintenance at letter-selective cortical sites. *PLOS Biol.* 16, e2003805 (2018).
- Constantinidis, C. & Klingberg, T. The neuroscience of working memory capacity and training. *Nat. Rev. Neurosci.* 17, 438–449 (2016).
- Gevins, A., Smith, M. E., McEvoy, L. & Yu, D. High-resolution EEG mapping of cortical activation related to working memory: Effects of task difficulty, type of processing, and practice. *Cereb. Cortex* 7, 374–385 (1997).
- Hsieh, L.-T., Ekstrom, A. D. & Ranganath, C. Neural Oscillations Associated with Item and Temporal Order Maintenance in Working Memory. *J. Neurosci.* 31, 10803–10810 (2011).
- Itthipuripat, S., Wessel, J. R. & Aron, A. R. Frontal theta is a signature of successful working memory manipulation. *Exp. Brain Res.* 224, 255–262 (2013).
- Lisman, J. E. & Jensen, O. The Theta-Gamma Neural Code. *Neuron* 77, 1002–1016 (2013).
- Sauseng, P., Hoppe, J., Klimesch, W., Gerloff, C. & Hummel, F. C. Dissociation of sustained attention from central executive functions: Local activity and interregional connectivity in the theta range. *Eur. J. Neurosci.* 25, 587–593 (2007).

「腸内細菌」から機能的な甘味料を探る —希少糖摂取による腸内細菌叢変化は抗肥満効果をもたらす—

○竹内奈穂^{*1,3}, 田中一己^{1,2,4}, Wanping Aw^{1,4}, 尾花望⁵, 富田勝^{1,4}, 福田真嗣¹⁻⁶

(指導教員 富田勝^{**})

^{*}慶應義塾大学 環境情報学部 4年 (2019年3月卒業予定)

^{**}慶應義塾大学 環境情報学部

¹慶應義塾大学 先端生命科学研究所

²神奈川県立 産業技術総合研究所

³株式会社 メタジェン

⁴慶應義塾大学大学院 政策メディア研究科

⁵筑波大学 トランスボーダー医学研究センター

⁶JST さきがけ

^{*}t15561nt@sfc.keio.ac.jp, ^{**}mt@sfc.keio.ac.jp

キーワード：腸内細菌, 肥満, 希少糖, メタゲノム, メタボローム

1 はじめに

人工甘味料は多くの飲料に含まれ、ゼロカロリーといったフレーズから消費者は健康効果を期待しているが、腸内細菌叢の組成と機能を変化させ耐糖能異常を引き起こし、肥満や糖尿病のリスクを増加させる可能性が示唆されるなど、その安全性や効果が懸念されている [1]。したがって、人工甘味料に代わる機能的な甘味料が求められている。本研究では、希少糖の一つである D-プシコース (別名: D-アルロース) に着目した。D-プシコースは、D-フルクトースの3位エピマーであり、スクロースの7割程度の甘味を持ちながらもカロリー量はゼロに近く、耐糖能の改善や抗肥満効果をもたらすことなどが報告されている [2]。それらを利用して機能性食品のみならず、医薬品や化粧品など人体への応用が期待されている。D-プシコースは、一部が吸収されずに消化管を通過し大腸に到達するが [3]、ヒトやマウスにおいて腸内細菌叢にどのような影響を及ぼすかは未だ明らかになっていない。そこで本研究では、D-プシコース摂取による腸内細菌叢の変化と抗肥満効果への影響の解明を目指した。

我々は、D-プシコース摂取マウス群と非摂取マウス群において、高脂肪食で肥満を誘導し、実験期間中はマウスの体重や血糖値を測定した。また、採取した糞便や盲腸内容物に対して、慶應発の網羅的な代謝物解析装置 CE-TOFMS を用いたメタボローム解析、また超並列シーケンサーMiSeq による16Sメタゲノム解析を合わせて実施した。また、これらの結果から D-プシコース投与試験で特徴的に増加した腸内細菌 A による作用を検討するため、ノトバイオオートマウスを作製した。これらのデータを統合的に解析することで腸内環境の変化を評価し、希少糖摂取による腸内細菌の変化を介した抗肥満効果のメカニズム解明に迫った。

2 手法

2.1 D-プシコース投与試験

8週齢の雄性 C57BL/6J マウスを 28 匹用意し、通常食である CE-2 と水道水を 2 週間摂取させ順化したのち、7匹ずつ 4 群 (①水道水投与群, ②D-プシコース水投与群, ③水道水および抗生物質投与群, ④D-プシコース水および抗生物質投与群) に分けた。エサは、全ての群において高脂肪食である HFD32 を自由摂取させた。飲水は、水道水投与群は実験室の水道水とし、D-プシコース水投与群は実験室の水道水に D-プシコースを 5.0% (w/v) 添加したものをを用いた。抗生物質投与群には、0.1% (w/v) アンピシリンナトリウム, 0.1% (w/v) ネオマイシン硫酸塩, 0.05% (w/v) バンコマイシン塩酸塩を飲水に混合して投与した。抗生物質の投与により、腸内細菌が除去されたことを糞便の培養によって確認した。実験期間中は毎週、マウスの体重、摂水量、摂食量を測定し、糞便サンプルを採取した。実験開始から 9 週目において、糖尿病の指標となる空腹時血糖値の測定を行った。実験開始から 11 週間後には、マウスを解剖した (図 1)。

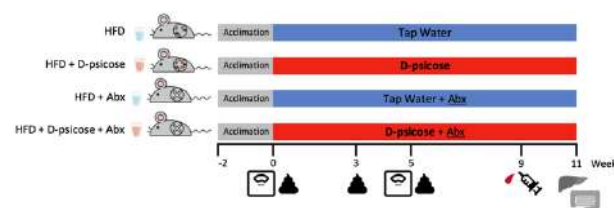


図 1 : D-プシコース投与マウス試験のデザイン。

8 週齢の雄性 C57BL/6J マウス (計 4 群, n=7) に、それぞれ高脂肪食および水道水または D-プシコース含有水、またはそれらに加えて抗生物質を摂取させた。実験期間中は定期的にマウスの体重、摂水量、摂食量を測定し、糞便を採取した。9 週目には、空腹時血糖値の測定を行った。11 週間後には、マウスを解剖した。

2.2 腸内細菌叢解析

24時間以上凍結乾燥した糞便サンプルから、ビーズ破碎・フェノール法を用いてDNAを抽出した。各サンプルを等量に希釈したDNA溶液をテンプレートとして、細菌の16S rRNA遺伝子のV1領域からV2領域を特異的に増幅するユニバーサルプライマー27Fmodおよび338Rを用いて20サイクルのPCRを行った。精製後、シークエンスに必要なアダプター配列およびインデックス配列を付加するためのPCRを行った。前処理行程を終えたサンプルを等量ずつ混合し、MiSeq (Illumina)の標準プロトコルに従いシークエンスを実施した。

ペアエンドでシークエンスされた塩基配列をFLASHによってアセンブルした。平均Q-valueが25以下の塩基配列は解析の対象から除外した。得られたデータは、Quantitative Insights into Microbial Ecologyを用いて解析した。その塩基配列のうち、相同性が97%以上でOperational Taxonomic Unitsを作成しRibosomal Database ProjectのデータベースおよびNCBIのデータベース(16S ribosomal RNA sequences Bacteria and Archaea)と比較し、各OTUの近縁種を推定した。

2.3 メタボローム解析

解剖で採取した盲腸内容物に、50%メタノール(内部標準であるMethionine sulfone, CSA, MESを含む)を混合し、ビーズ破碎を行って代謝物を抽出した。溶液を遠心分離し、上清をフィルターでろ過することでタンパク質を取り除いた。ろ液を乾燥させた後に再溶解したものをサンプルとし、サンプルの質量電荷比と泳動時間をCE-TOFMSを用いて測定した。胆汁酸濃度については、LC-MSを用いて測定した。代謝物の濃度データは、Zスコアを用いて標準化し、解析にはMetaboAnalystを用いた。

2.4 ノトバイオームマウス試験

D-プシコース投与試験で特徴的に増加した腸内細菌Aによる作用を検討するため、無菌マウスに培養液を経口投与することで腸内細菌Aを定着させたノトバイオームマウスを作製した。本実験は、筑波大学トランスオーダー医学研究センターにて行った。

アイソレーター内で繁殖させた無菌マウスを7匹ずつ2群(①無菌群, ②腸内細菌A定着群)に分けた。糞便の培養および定量PCRによって、腸内細菌Aが定着したことを確認した。全ての群において、エサはγ線滅菌された高脂肪食であるD12492、飲水は実験室の水道水を自由摂取させた。実験期間中は毎週、マウスの体重、摂水量、摂食量を測定し、糞便サンプルを採取した。実験開始から9週目において、糖尿病の指標となる空腹時血糖値の測定を行った。その後、マウスを解剖した。

2.5 統計解析

統計解析は、統計ソフトウェアのRを用いた。動物試験における体重データは、二元配置分散分析、TukeyのHSD法による多重比較検定を行った。血糖値のデータには、スチューデントのt検定を行った。各腸内細菌の相対存在量のデータには、スチューデントのt検定によるP値をBonferroni法により補正した。いずれもP値が0.05以下の場合に有意とした。

3 結果

3.1 D-プシコースの抗肥満効果は腸内細菌を必要とした

体重測定の結果から、高脂肪食の摂取による体重増加がD-プシコース摂取によって有意に抑制されることを明らかにした。3種混合の抗生物質を用いて腸内細菌を全て除去すると、D-プシコース摂取による体重増加抑制効果が見られなくなった(図2a)。また、D-プシコース摂取によって糖尿病の指標となる空腹時血糖値の上昇を有意に抑制したが、抗生物質処理によって血糖値の抑制が見られなくなった(図2b)。

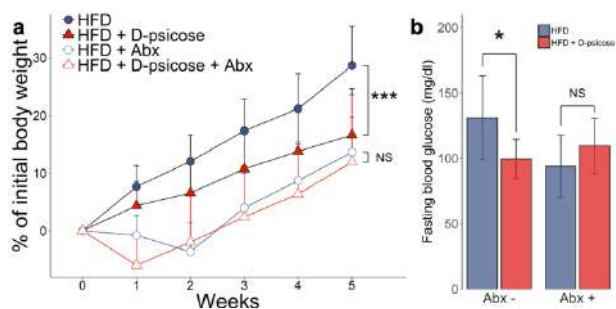


図2: D-プシコースの抗肥満効果は、抗生物質処理によって見られなくなった。

a, 体重増加率. b, 実験9週目における15時間絶食後の血糖値。データは平均値±標準偏差で示した(n=7)。

3.2 D-プシコース摂取によって、特徴的な腸内細菌が増加した

糞便サンプル中の腸内細菌叢を解析した結果、D-プシコースの摂取によって、腸内細菌叢の組成が異なった(図2a)。また、それぞれの腸内細菌の存在量を比較すると、D-プシコースの摂取により腸内細菌Aに近縁な菌が有意に増加することが認められた(図3b, c)。

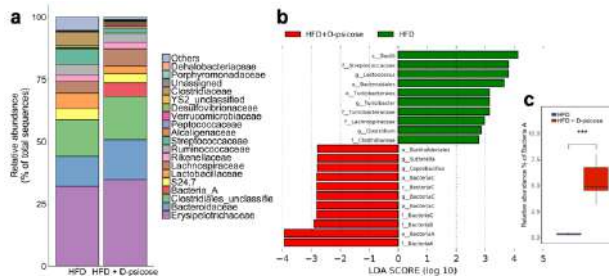


図 3 : D-プシコース摂取によって, 腸内細菌 A が有意に増加した.

a, D-プシコース投与 5 週後の腸内細菌叢の組成. b, Linear discriminant analysis size effect (LEfSe)法によって, 2 群間で有意に量が変化した細菌種. c, 腸内細菌 A の相対存在量. データは平均値±標準偏差で示した.

3.3 D-プシコースの摂取によって, 胆汁酸組成を含む盲腸内容物中の代謝物に変化した

CE-TOFMS および LC-MS を用いて, 盲腸内容物中の代謝物および胆汁酸の濃度を測定した(図 4a). 主成分分析の結果, 2 群間で異なるクラスターを形成した(図 4b). 2 群間における相関分析によって, D-プシコースの摂取により Histidine, Cysteate, 2-Hydroxybutyrate, GABA, N-Acetylhistidine などの代謝物量が正に相関した(図 4c). また, D-プシコースの摂取により, コール酸やタウロコール酸といった胆汁酸が減少し, 総胆汁酸量も, 高脂肪食摂取マウスに比べて明らかに減少した(図 4d).

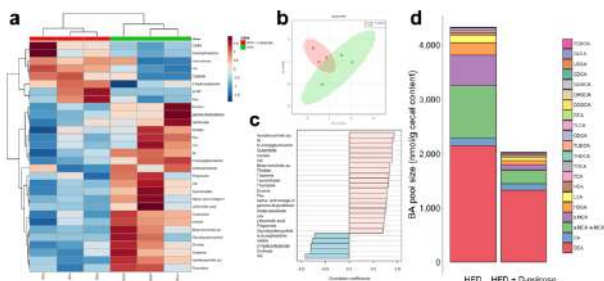


図 4 : D-プシコース摂取によって, 代謝物組成が変化し, 胆汁酸量が減少した.

a, 2 群間で最も差が見られた上位 30 種の代謝物質を Z スコアで示した. b, 主成分分析. c, 相関分析 (Pearson). d, 総胆汁酸量 (n=3~4).

3.4 腸内細菌 A を定着させたノトバイオームマウスは抗肥満効果を示した

D-プシコース投与試験で特徴的に増加した腸内細菌 A による作用を検討するため, 無菌マウスに腸内細菌 A を定着させ, 高脂肪食を与える試験を行った. 体重測定の結果, 腸内細菌 A を定着させた群において高脂肪食摂取による体重増加が有意に抑制された(図 5).

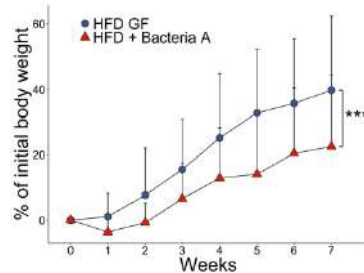


図 5 : 腸内細菌 A は, 抗肥満効果がある. 体重増加率を平均値+標準偏差で示した (n=7).

4 考察と展望

本研究では, D-プシコース摂取による抗肥満効果に腸内細菌 A が関与していることが初めて示唆された.

まず, 本研究では抗生物質処理によって腸内細菌を除去したマウスにおいて, D-プシコースによる体重増加の抑制や血糖値の上昇抑制が見られなくなることを明らかにした. このことから, D-プシコースによる抗肥満効果には腸内細菌が関与するのではないかと考えられた. 次に, 16S メタゲノム解析の結果から, D-プシコースの摂取により腸内細菌叢の組成が変化することが明らかになった. 中でも腸内細菌 A に着目している理由は, ①その他の菌とは異なり, D-プシコース投与によって有意に増加していること, ②プシコース投与群のマウスの腸内細菌叢において腸内細菌 A の相対存在量は 4~8%程度を占め, 上位 4 番目であること, ③単独の OTU に由来する菌がこの結果をもたらしていること, が挙げられる. 腸内細菌 A の属または何らかの種による, ヒトへの生理作用を報告している論文は少ない. 近縁種に関しては, ヒトの膣内や口腔内における存在が報告されている. ヒトの腸内にも存在するが, その生理作用を示した論文は少ない.

腸内細菌と肥満の関係については, 多くの研究が進められている. 一方が肥満でもう一方は痩せているという双子の腸内細菌をそれぞれ無菌マウスに移植した試験では, 同じ通常食を与えているのにも関わらず, 肥満の人から腸内細菌を移植されたマウスは体重が増加し, 多くの脂肪が蓄積した. これは, 体内に取り入れられた栄養素を代謝する腸内細菌によって引き起こされると考えられている [4]. また, 肥満で減少する菌や, 体重増加の抑止に寄与する腸内細菌も明らかになっている [5]. 本研究では, D-プシコース摂取マウスで特徴的に増加した腸内細菌 A を定着させたノトバイオームマウスにおいて, 高脂肪食摂取による体重増加が有意に抑制された. よって同様に, D-プシコースの摂取によって増加した腸内細菌 A を, 抗肥満誘導性細菌として応用できることが期待される. D-プシコースはすでに臨床試験などで安全性が確保されているが, 今後は腸内細菌 A による抗肥満効果が炎症などによって引

き起こされていないことを、定量 PCR で炎症性サイトカイン遺伝子の発現量を測定することで確認したい。

本研究では、D-ブシコース摂取マウスにおける盲腸内容物中の代謝物組成が変化することも明らかにした。D-ブシコース摂取によって最も増加していた代謝物であるヒスチジンは、必須アミノ酸の一つであり、ヒスチジンやその誘導体の長期投与によって、糖代謝が改善されること [6]や、中枢神経を介して摂食量調節に関与することなどが知られている [7]。また、D-ブシコースのマウスへの経口投与が、腸ホルモン GLP-1 の分泌を起し、GLP-1 による求心性迷走神経の活性化を介して脳に作用し摂食を抑制することで食後高血糖が抑制されることが明らかになっている [2]。腸は「第二の脳」とも呼ばれ、脳で感じる食欲に消化管から放出されるホルモンが関与することが知られている。これらを踏まえて、腸内細菌叢の変化によって引き起こされる盲腸内容物中の代謝物の増減は、D-ブシコースの抗肥満のメカニズムにおける重要な調節因子である可能性が考えられる。

また、D-ブシコース摂取マウスにおいて、盲腸内容物中のコール酸やタウロコール酸といった胆汁酸が減少することも明らかになった。胆汁酸は、脂質およびコレステロールを効率的に吸収し、肥満および糖尿病に関連することがよく知られている重要な分子である。また、胆汁酸はシグナル伝達分子でもあることが明らかにされている。これらは、Gタンパク質共役型受容体 5 (TGR5) [8]のリガンドであり、farnesoid X receptor (FXR) [9-11]などの核内受容体を活性化する。多様なシグナル伝達経路の活性化を介して、胆汁酸はトリグリセリドやグルコースの恒常性を調節する。TGR5 は、腸の L 細胞から GLP-1 分泌を促進する [12]。D-ブシコースと GLP-1 分泌は関連していることから、胆汁酸によるシグナル伝達も D-ブシコースの抗肥満のメカニズムにおける因子の候補であると考えている。

今後は、より詳細なメカニズムに迫っていくため、炎症性サイトカイン遺伝子や、脂質や胆汁酸の吸収や輸送に関わる遺伝子の発現量を測定したい。また、腸内細菌 A だけではなく、D-ブシコースを摂取した状態の腸内細菌をまるごと無菌マウスへ投与する糞便移植法 (FMT)を実施している途中である。D-ブシコースの抗肥満効果に腸内細菌が関与することが明らかとなれば、D-ブシコース摂取における抗肥満効果の分子メカニズムの一端が明らかになるだけでなく、将来的には、個人で異なる腸内細菌叢の多様性に合わせた適切な甘味料の摂取による体重維持方法の確立に貢献できると考えている。

これまでの成果

これらの成果は、以下の国内学会（日本微生物生態学会第 32 回大会、第 58 回生命科学夏の学校、第 2 回慶應ライフサイエンスシンポジウム、第 7 回生命医薬情報学連合大会、第 12 回メタボロームシンポジウム）および国際学会 (International Conference on Beneficial Microbes 2018)でポスター発表を行った。また、12 月に開催される国際学会 (Asia-Pacific Nutrigenomics and Nutrigenetics Organization 2018)にて口頭発表を行う予定である。現在、国際雑誌に筆頭著者として投稿するために執筆中である。

さらに、「希少糖 D-ブシコース摂取で増加する抗肥満誘導性腸内細菌の利用」として、この腸内細菌の利用に対する特許権を出願中である。

謝辞

本研究を行うにあたり、ご指導・ご協力をいただいた皆様、ならびに D-ブシコースを分与していただいた松谷化学工業様に感謝申し上げます。また、本研究の一部は、山形研究費と山岸学生プロジェクト支援制度からご支援いただきました。

参考文献

1. Suez J, Korem T, Zeevi D, Zilberman-Schapira G, Thaiss CA, Maza O, et al. Artificial sweeteners induce glucose intolerance by altering the gut microbiota. *Nature*. 2014;514(7521):181-6.
2. Iwasaki Y, Sendo M, Dezaki K, Hira T, Sato T, Nakata M, et al. GLP-1 release and vagal afferent activation mediate the beneficial metabolic and chronotherapeutic effects of D-allulose. *Nat Commun*. 2018;9(1):113.
3. Matsuo T, Tanaka T, Hashiguchi M, Izumori K, Suzuki H. Metabolic effects of D-psicose in rats: Studies on faecal and urinary excretion and caecal fermentation. *Asia Pac J Clin Nutr*. 2003;12(2):225-31.
4. Ridaura VK, Faith JJ, Rey FE, Cheng J, Alexis E, Kau AL, et al. Cultured gut microbiota from twins discordant for obesity modulate adiposity and metabolic phenotypes in mice. *Science* (80-). 2014;341(6150):1-22.
5. Everard A, Belzer C, Geurts L, Ouwerkerk JP, Druart C, Bindels LB, et al. Cross-talk between *Akkermansia muciniphila* and intestinal epithelium controls diet-induced obesity. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2013;110(22):9066-71.
6. Lee Y, Hsu C, Lin M, Liu K, Yin M. Histidine and carnosine delay diabetic deterioration in mice and protect human low density lipoprotein against oxidation and glycation. *Eur J Pharmacol*. 2005;513(1-2):145-50.
7. Yoshimatsu H, Chiba S, Tajima D, Akehi Y, Sakata T. Histidine suppresses food intake through its conversion into neuronal histamine. *Exp Biol Med* (Maywood). 2002;227(1):63-8.
8. Maruyama T, Miyamoto Y, Nakamura T, Tamai Y, Okada H, Sugiyama E, et al. Identification of membrane-type receptor for bile acids (M-BAR). *Biochem Biophys Res Commun*. 2002;298(5):714-9.
9. Makishima M, Okamoto AY, Repa JJ, Tu H, Learned RM, Luk A, et al. Identification of a nuclear receptor for bile acids. *Science*. 1999;284(5418):1362-5.
10. Parks DJ, Blanchard SG, Bledsoe RK, Chandra G, Consler TG, Kliewer SA, et al. Bile acids: natural ligands for an orphan nuclear receptor. *Science*. 1999;284(5418):1365-8.
11. Wang H, Chen J, Hollister K, Sowers LC, Forman BM. Endogenous bile acids are ligands for the nuclear receptor FXR/BAR. *Mol Cell*. 1999;3(5):543-53.
12. Katsuma S, Hirasawa A, Tsujimoto G. Bile acids promote glucagon-like peptide-1 secretion through TGR5 in a murine enteroendocrine cell line STC-1. *Biochem Biophys Res Commun*. 2005;329(1):386-90.

生命起源のミッシングリンク —海底の新たな化学反応場:液体二酸化炭素と海水間の物質移動—

○瀬尾海渡* (指導教員 金井昭夫**)

*慶應義塾大学 環境情報学部 4年 (2019年3月卒業予定)

**慶應義塾大学 環境情報学部

*t15523ks@sfc.keio.ac.jp, **akio@sfc.keio.ac.jp

キーワード: 生命の起源, 液体二酸化炭素, 熱水噴出孔, 化学進化

1 序論

生命の誕生については、非生物的化学反応により無機物から生命を構成するアミノ酸や RNA などといった有機分子が合成されることによって初期生命が生まれたとする化学進化説が最も有力である(1,2). 原始地球において、化学進化が起こった環境として温泉、浜辺、海底の熱水噴出孔などが主な候補として議論されている。本研究では、地熱によって暖められた海水が海底から吹き出している海底熱水噴出孔に着目した。熱水噴出孔が生命誕生の場として注目されている理由として、周囲に化学反応の場となる液体の水が豊富に存在すること、化学反応を促進する熱が地熱によって継続的に供給されていること、そして多種多様な鉱物と水の反応により有機物が合成されることがある(1)。そのため、熱水噴出孔において生命前駆物質が化学反応によって合成された可能性がある。しかし、地球生命が総じてセントラルドグマにて用いるタンパク質や RNA といった鎖状の有機分子は水分子が一つ抜ける反応である脱水縮合反応によって分子同士が結合しているため、水中の熱水噴出孔環境では熱力学的に不安定であることが知られている(3)。現在では鉱物表面に分子が吸着することによって分子の鎖がより長くなることが知られているが、生命誕生を議論するには不十分である(4)。

近年、熱水噴出孔周辺の海底下に液体の二酸化炭素 (CO_2) からなる湖が発見された(図 1)(5)。液体 CO_2 には水がほぼ溶解しないため、海底熱水噴出孔周辺に水をほぼ含まない疎水的な環境が存在することとなる(6)。液体 CO_2 の疎水性はアミノ酸など生体分子の脱水縮合による重合を促進する可能性があるほか、異なる環境が隣り合うことによる物質の濃縮や、海水との境界面における反応など、生命の起源に関わる反応が起こる可能性がある。また、最古の光合成生物であるシアノバクテリア誕生以前には現在よりも多くの CO_2 が存在したと考えられているため、液体 CO_2 の湖も多く存在していた可能性が高い。しかし、これまで液体 CO_2 が生命誕生の観点から注目されたことはほとんどなかったため、液体 CO_2 と他の物質間の反応に関するデータに乏しい(7-11)。

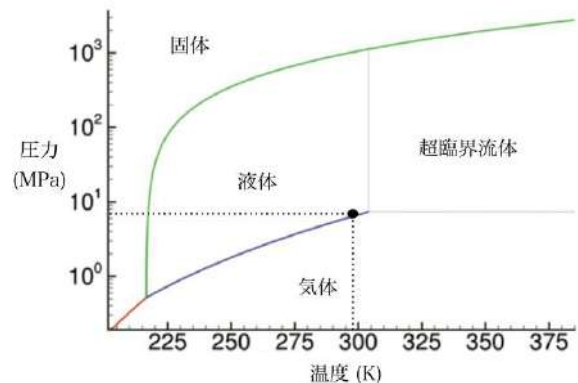


図 1: CO_2 の状態図. 黒点が実験における状態 (297.15 K, 7 MPa) を示す。

その中でも本研究では海水と液体 CO_2 が隣り合う環境において、海水に含まれる元素の液体 CO_2 側の移動について実験により調べる。海水に含まれる元素はナトリウム(Na)、マグネシウム(Mg)、カルシウム(Ca)、カリウム(K)などどれも生命に必要な元素であり、これらの元素の移動を調べることによって液体 CO_2 中での生命誕生について議論することができる。

具体的には密閉容器 (リアクター) の中に擬似海水と液体 CO_2 を封入することで実験を行う。本レジュメ作成時点ではリアクターの製作が終了している段階である。

本研究は新たに発見された液体 CO_2 という環境に対して生命誕生の可能性を探るものである。

2 対象と手法

2.1 密閉容器 (リアクター) の製作

ダブルエンドの 304 ステンレス鋼製ポンベ (Swagelok 社, 304L-HDF4-150) に「SilicoNert2000」のコーティング (SilicoTek 社) がされたものとステンレス鋼製ベローズ・シールズ・バルブを組み合わせて製作した(図 2)。また同じバルブとステンレス鋼製のチューブを用いて液体 CO_2 内の物質を抽出する方法を開発した。液体 CO_2 中に溶解させた有機溶媒の一種であるシクロヘキサンを取り出し液体クロマトグラフィー質量分析法により分析することに成功している。



図2：実験に用いるリアクターの写真。中心に液体CO₂が封入されるボンベがあり、両側に開閉可能なバルブがある。

2.2 液体CO₂を用いた実験

本レジュメ執筆時点では実験計画段階である。まずリアクター内に擬似海水を入れ、その上から液体CO₂を封入する。密閉後、混和を行い放置する。その後、下層の水からサンプルを取り出す。一定のサンプルを確保した後に水を全て抜き、CO₂サンプルの採取をする。得られたサンプルはイオンクロマトグラフィー質量分析法により分析を行う予定である。

3 議論

3.1 現在の状況

リアクターの製作段階にあるため、今後上に述べた実験を行う予定である。まだ実験が行えていない理由は、液体CO₂を封入するためのリアクター開発に時間を費やしたためである。卒業発表において結果の方を発表する。

3.2 今後の展望

液体CO₂を含む環境中での物質の流れを知ることにより、液体CO₂が溶媒として果たす役割を把握することができる。2019年1月には環境中の液体CO₂をサンプリングし分析する予定であり、実際の環境と比較が可能である。また今後は液体CO₂環境における有機物合成や有機物濃縮などを調べることにより、生命誕生の謎へと迫るものである。

4 参考文献

1. Martin W, Baross J, Kelley D, Russell MJ. Hydrothermal vents and the origin of life. *Nat Rev Microbiol*. 2008 Nov 29;6(11):805–14.
2. Sojo V, Herschy B, Whicher A, Camprubi E, Lane N. The Origin of Life in Alkaline Hydrothermal Vents. *Astrobiology*.

- 2016;16(2):181–97.
3. Kitadai N, Maruyama S. Origins of building blocks of life: A review. *Geosci Front*. Elsevier Ltd; 2017
4. Wächtershäuser G. Before enzymes and templates: theory of surface metabolism. *Microbiol Rev*. 1988 Dec;52(4):452–84.
5. Inagaki F, Kuypers MMM, Tsunogai U, Ishibashi J-I, Nakamura K-I, Treude T, et al. Microbial community in a sediment-hosted CO₂ lake of the southern Okinawa Trough hydrothermal system. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2006;103(38):14164–9.
6. Stone HW. Solubility of Water in Liquid Carbon Dioxide. *Ind Eng Chem*. 1943;35(12):1284–6.
7. Schreiber U, Locker-Grütjen O, Mayer C. Hypothesis: Origin of Life in Deep-Reaching Tectonic Faults. *Orig Life Evol Biosph*. 2012;42(1):47–54.
8. Mayer C, Schreiber U, Dávila MJ. Periodic Vesicle Formation in Tectonic Fault Zones—an Ideal Scenario for Molecular Evolution. *Orig Life Evol Biosph*. 2015;45(1–2):139–48.
9. Mayer C, Schreiber U, Dávila M. Selection of Prebiotic Molecules in Amphiphilic Environments. *Life*. 2017;7(1):3.
10. Mayer C, Schreiber U, Dávila M, Schmitz O, Bronja A, Meyer M, et al. Molecular Evolution in a Peptide-Vesicle System. *Life*. 2018 May 24;8(2):16.
11. Fujioka K, Futamura Y, Shiohara T, Hoshino A, Kanaya F, Manome Y, et al. Amino acid synthesis in a supercritical carbon dioxide - Water system. *Int J Mol Sci*. 2009;10(6):2722–32.

肝臓の代謝酵素欠損が全身の高アンモニア血症を引き起こすしくみの数理モデルによる解明

○笹原優希* (指導教員 内藤泰宏**)

*慶應義塾大学 環境情報学部 4年 (2019年3月卒業予定)

**慶應義塾大学 環境情報学部

*t15441ys@sfc.keio.ac.jp, **ynaito@sfc.keio.ac.jp

キーワード：肝臓，数理モデル，コンピュータシミュレーション，アンモニア代謝，代謝区域化

1 序論

1.1 アンモニア代謝

肝臓は、高等脊椎動物が広く備えている器官で、消化器が体外から吸収した栄養分や毒物を代謝し、全身循環に流入する物質を調整する役割を負っている。その役割を果たすため数多くの代謝経路があり、中でもアンモニアは、ほぼ肝臓のみで分解されている。アンモニアは消化管からの吸収物に含まれるものに加え、アミノ酸をはじめとする窒素化合物を分解し、尿素に変換して体外に排泄する際にも合成される。ヒトでは、汗として蒸散するアンモニアが10%程度ある他は、体外に排泄する窒素の大部分は尿中の尿素である。したがって、全身の窒素量を一定に保つために、アンモニアの生合成とその制御は非常に重要である。

一方で、アンモニアには脳などへの毒性があり、産生後速やかに別の物質に変換するなどして、血中濃度を低く維持する必要がある。毒性のあるアンモニアを分解する代謝経路には、尿素回路とグルタミン合成経路の2つがある。大部分は尿素回路によって尿素に変換されて腎臓から排泄され、一部はグルタミン合成経路によってグルタミンに変換され全身で再利用される。

1.2 代謝区域化

肝臓の組織的な基本単位は直径1~2mmの肝小葉であり、肝臓全体では、およそ50万の肝小葉が並列構造をとっている。ひとつの肝小葉にはおよそ50万の肝細胞が含まれるともいわれ、この肝細胞が肝臓で多彩な代謝を実行する。肝小葉は肝細胞や肝臓固有の毛細血管である類洞(Sinusoid, 図1 S)を構成する内皮細胞が球状に密集した構造で、入力血管は門脈(Portal Vein, 図1 PV)および肝動脈(Hepatic Artery, 図1 HA)の細枝、出力血管は中心静脈(Central Vein, 図1 CV)である。肝小葉内では、入力血管と出力血管の間を多孔性の類洞が結んでおり、類洞を囲むようにして肝細胞が整列している。

ひとつの類洞の起始から終止までを門脈—中心静脈軸(Porto-Central Axis, PCA)と呼ぶ。肝小葉はPCAが球対称に集合した構造なので、PCAは肝臓の機能上の基本単位といえる。PCA内の肝細胞には入力血管に近い「上流」の細胞と、出力血管に近い「下流」の細胞がある。PCA内では、上流から下流

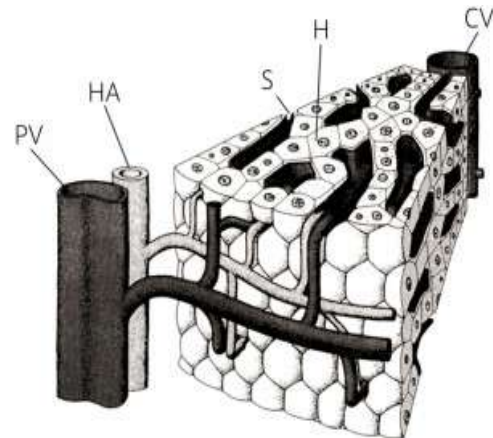


図1：門脈-中心静脈軸の基本構造 (Sasse D et al., 1992) (1)

肝小葉への流入血管は、肝動脈の細枝(HA)、門脈の細枝(PV)である。これらの血管は肝小葉内に入ると、多孔構造の特殊な毛細血管・類洞(S)に枝分かれし、肝細胞が連なった肝細胞索(Hepatic cord, H)を通過する。最後には類洞どうしが合流し、肝小葉の中央に位置する中心静脈(CV)から流出する。(1)

にかけて代謝が進むため、肝臓で代謝されるあらゆる物質の濃度が上流から下流にかけて変化していく。これに加えて、PCA内では、発現量の異なる代謝酵素が数多く知られており、空間的に濃度勾配が生じているこの現象を代謝区域化(metabolic zonation)と呼ぶ。(図2)

哺乳類では一般的に、グルタミン合成経路は肝小葉内血流の最下流(中心静脈付近)に限局して発現しており、上中流では尿素回路の活性が優勢であることが知られているが、このような代謝区域化が「なぜ存在するのか」「何に役立っているのか」は必ずしも明らかではない。本研究の目的は、窒素代謝に関わる尿素経路とグルタミン合成経路が代謝区域化を起こす合理的な理由を数理モデルとシミュレーションを用いて解明することである。

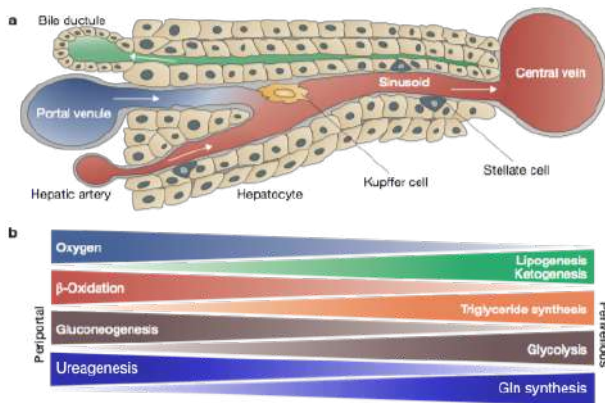


図 2：肝臓における代謝区域化(modified from Birchmeier, W. Nat Cell Biol. 2016) (2)

(a) 門脈と中心静脈の間の PCA の構造 (b) 肝臓の代謝区域化の例

2 GS ノックアウトマウスに関する知見

2.1 GS 欠失マウスは高アンモニア血症を呈する

Heinrich Heine 大学の Qvartskhava らは、肝臓でのみグルタミン合成酵素 (glutamine synthetase, GS) の機能を欠失 (ノックアウト) したマウスが高アンモニア血症を発症することを示した(4)。GS をコードする遺伝子 *Glul* 内の 2 箇所に loxP 配列を挿入した *Glul^{fl/fl}* マウスと、アルブミン (*Alb*) プロモーター下流で Cre リコンビナーゼが発現する *Alb-Cre⁺* マウスを作成した。両者を交配した *Glul^{fl/fl} × Alb-Cre⁺* マウスでは、*Alb* プロモーターは肝細胞特異的に作動し、Cre リコンビナーゼを発現させ、Cre が *Glul* 内の 2 ヶ所の loxP 間で組換えを起こす。これによって、*Glul* のエクソン 1b~2 が欠失するため、Cre の発現した肝細胞特異的に *Glul* 遺伝子が破壊され、有効な GS を産生することができなくなる。著者は、この遺伝子ノックアウトマウスでは、GS をノックアウトしていないマウスよりもアンモニア濃度が 2 倍ほど高くなり、高アンモニア血症を発症することを示した。こうした結果から、著者らは尿素経路で代謝しきれなかったアンモニアが、下流で GS により代謝されることなくそのまま流れ出てしまうため、高アンモニア血症になると考えた。(3)

2.2 GS 欠失マウスは骨格筋や尿中の窒素代謝にも影響を及ぼす

Amsterdam 大学の Hakvoort らは、上記と同じマウスを用いた研究で、肝臓での GS ノックアウトにより、骨格筋の窒素代謝や尿中のアンモニア濃度に変化が見られることを示した。(4)

Hakvoort らは、GS がノックアウトされると筋肉の発達を抑制するタンパク質であるミオスタチンが 1.4 倍に増加し、筋肉が半減し、脂肪が 3 倍に増えることを示した。肝臓の GS ノックアウトにより、肝臓以外の場所の筋肉のタンパク質が壊れていることから、高アンモニア血症の要因としては、ただ

肝臓でアンモニアを代謝しきれなかったためではないことが示唆された。また、これまで、アンモニアを代謝する 2 つの経路の負担比率は明らかになっておらず、上流では尿素回路、下流では GS を中心とした回路が働くことのみが知られていた。(5) 著者らはアンモニア代謝の負担比率について、尿素回路が 35%、グルタミン合成経路が 35%、肝臓以外で残りの 30%を負担していることを示した。(4) このように肝臓以外の場所での GS の働きが指摘されており、Florida 大学の Lee らは、GS をノックアウトしたマウスの実験から、腎臓近くの尿管でも GS は適切なアンモニアの減少に必要であることを示した。(6)

3 モデル

遺伝子ノックダウンなどを利用して、代謝区域化の有無や程度を変えることはできても、動物を用いた実験で遺伝子発現勾配のパターンを変えて比較することは、現時点ではまだ難しい。数理モデルとシミュレーションを用いれば、再現性や精度では動物実験には及ばないが、異なる代謝区域化のパターンを自在につくりだし、シミュレーションによってそれらの仮想的な代謝区域化がもたらす効果を推定することができる。

上記の先行研究を参考に、マウスの窒素代謝を数理モデル化することで、尿素回路とグルタミン合成経路を中心に、全身の窒素代謝の恒常性を維持するために、肝臓においてどのような窒素代謝の代謝区域化を実現するのが合理的かを推定する。

3.1 GS 欠失マウスの数理モデル化

生きている生物の各細胞内の代謝物質を正確に測定することは困難なため、生きた生物の肝臓の代謝区域化を示すことは難しいが、先行研究の実験では、その代謝区域化が起こっていることを示すことができたと考えられる。Qvartskhava らの考察は代謝しきれなかったアンモニアが再び体内を循環して上流に戻ってくることが考察されていないため、この経路を加えた考察が必要であると考えた。また、Hakvoort らの考察から、肝臓以外での変化を除外せず、モデルに組み込むべきであることが強く示唆された。

したがって、この考察を定量的に行うことで、より精度の高い考察ができるのではないかと考えた。また、この実験では比較対象が GS の有無のみと単純である。以上 2 点からシミュレーションで再現が可能であると考えた。そこで、Qvartskhava らの実験をモデル化し、状況を再現することで、論文で示唆されている機序とは異なる機序が示唆されると考えた。また、このモデルに GS を中心とした回路と尿素回路におけるアンモニア代謝の比率を組み込むことが、代謝区域化のメカニズム解明に繋がると考えられる。

3.2 代謝区域化を表現したモデルにおける予備的検討

先行研究から、GS は肝細胞全体の 6-7%ほどでしか発現していないことがわかっている。(3)そのため、GS の発現がなくなることによる影響は小さいのではないかと予想される。しかし、実際にはアンモニアの濃度が 2 倍になるほどの影響力を持っている。尿素経路はアンモニアに対する親和性が低く、低濃度のアンモニアを検知することができない一方で大量のアンモニアを代謝することができ、GS は親和性が高いため低濃度のアンモニアも検知して代謝することができる。このように代謝区域化により役割を分担することが効率よくアンモニアを代謝することに影響を与えているのではないかと示唆される。

したがって、この実験を再現する際、代謝区域化を考慮したモデルを用いることが効果的であると考へた。そこで、本研究会で 2008 年に大野らが構築した肝小葉のモデルを用いた。(7)このモデルは、肝細胞におけるアンモニア代謝の数理モデルを作成し、そのモデルを基にコンパートメントモデルとして肝小葉を表現する手法で構築されている。上流から下流まで代謝関連酵素の発現に、先行研究から得られた計測データに従って濃度勾配がつけられている。

本研究ではまず、予備研究として、大野らによる数理モデル上においても GS はアンモニア代謝に影響を及ぼすのかを検証するため、GS が発現しない状態で、高アンモニア血症をモデル上に再現を行った。結果は表 1 のようになり、先行研究と同様、下流ではアンモニア濃度に 1.73 倍の差が見られたことから、基本的な定性的な特性は再現できたと判断した。

3.3 全身の系に組み込んだ新モデルの構築

肝臓以外の臓器を血液が循環する構造を作成し、その中に代謝区域化を考慮した肝臓のモデルを組み込んだ。このモデルでは、血液循環は、動脈、門脈、類洞、肝静脈とその他の静脈の 5 つのコンパートメントで表した。肝臓は、類洞と肝細胞の 2 つのコンパートメントから成る。(図 3) 肝臓のモデルは Schliess らのモデルを参考に構築し(8)、窒素合成物としてアンモニア (NH₃)、グルタミン (Gln)、グルタミン酸 (Glu)、尿素 (Urea)、タンパク質を含むその他の窒素 (Nr) を組み込んだ。(図 4)

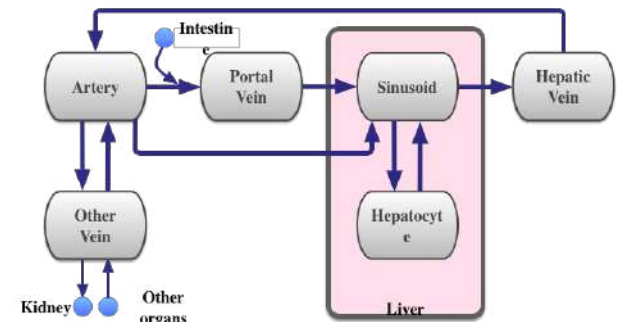


図 3：全身の窒素恒常性モデル
コンパートメント、化学構成要素、代謝反応の概略

4 シミュレーション結果

窒素合成物の濃度、運動方程式のパラメータ、血流量、血管量、野生型 (Wild Type, WT) マウスの腎臓排出率は、先行研究から得た。その他の器官中の窒素合成物の代謝は、定常状態に近づくよう調整した。GS ノックアウトモデルにおいて、GS の活性は WT の 1.0%とした。

以上の条件の元、シミュレーションを行ったところ、図 5 の結果が得られた。GS ノックアウトマウスのアンモニア濃度は、GS をノックアウトしていない野生型マウスより 1.9 倍増加した。したがって、再現には成功することができたと判断した。さらに、心臓のアンモニア濃度は野生型マウスと GS ノックアウトマウスで、それぞれ 53.0μM と 98.9μM で定

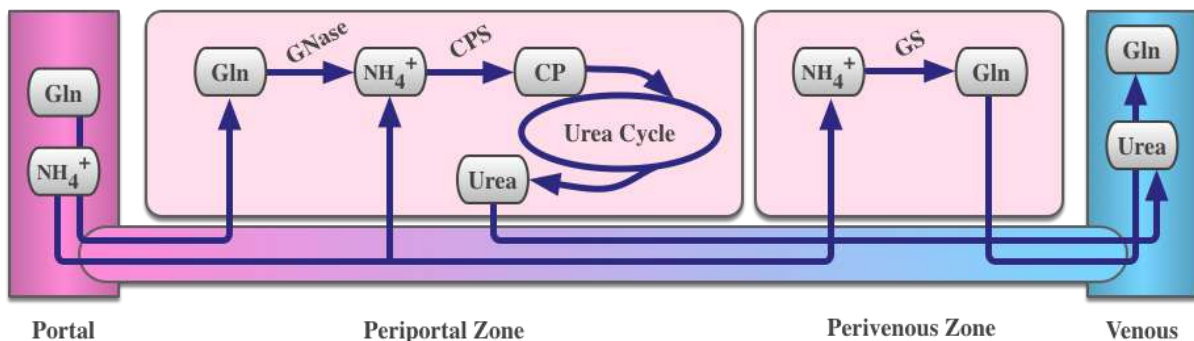


図 4：窒素代謝の代謝帯状構造

肝小葉における代謝は、門脈周囲 (PP) 側と周囲静脈 (PV) 側の間で異なる。アンモニア代謝では、上流の PP 付近ではアンモニアを尿素へ変換する尿素経路が優位であり、下流の PV 付近では GS によるグルタミンの合成が優位である。

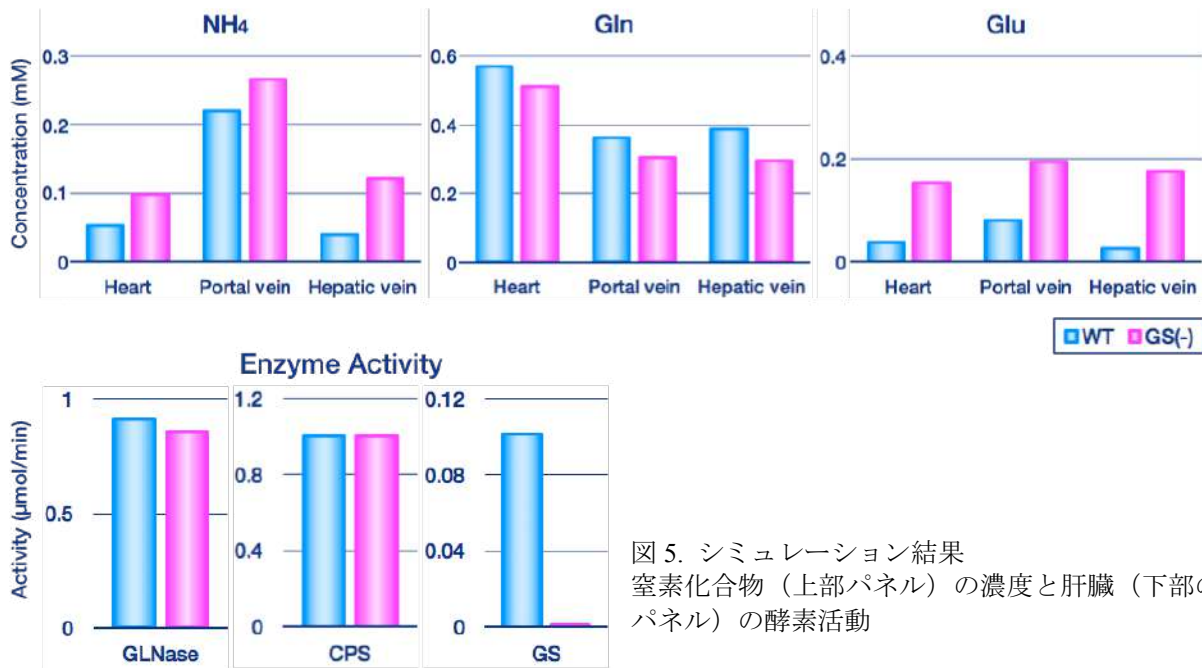


図5. シミュレーション結果
窒素化合物（上部パネル）の濃度と肝臓（下部の
パネル）の酵素活動

常状態となった。心臓のGln濃度はGSノックアウトマウスの方が野生型マウスより10%減少した。Glnの減少はGSの欠失に影響を受けており、同様にグルタミンナーゼ（glutaminase, GLNase）の活性は6.1%減少した。腸からの窒素流入を一定としたため、カルバモイルリン酸合成酵素（carbamoyl-phosphate synthase, CPS）の活性には変化が見られなかった。この実験では、心臓のGlu濃度はGSノックアウトマウスでは野生型マウスより4.0倍増加した。この結果は実際のGSノックアウトマウスでも生じているのか調査が必要であると考えている。

4 議論

上記の単純な窒素恒常性モデルは、GSノックアウトマウスの代謝の変化を再現した。このモデルの代謝区域化に様々な変更を加え、実際のマウスとは異なる仮想的な代謝区域化をモデル化し、それらのマウスの全身の窒素代謝に現れる影響を観察する。この観察により、実際の窒素代謝の区域化が、なぜ図2に示すような大部分で尿素回路優勢でありながら、最下流に限局してグルタミン代謝経路が強く発現するパターンを示すのかを論理的に推定する。

肝小葉内の代謝区域化については、これまで、現象そのものや制御機構がよく調べられているにも関わらず、機能的意義について不明な点が多い。数理モデルとシミュレーションという従来とは異なるアプローチによって、その機能的意義について、新たな定量的な推論が得られると期待される。将来、そのような推論を検証する実験を行うことによって、より確度の高い解明が進むことも期待できるだろう。さらに、最重要代謝経路の1つである肝臓の窒素代謝のメカニズムを解明することができることで、代謝区域化のメカニズム解明が進むことが期待できる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、内藤泰宏准教授には、ミーティング等で幅広い知見をご教授いただき、数理モデルの扱い方などを基礎から大変ご丁寧にご指導賜りましたこと、深く御礼申し上げます。

参考文献

- Sasse D, Spornitz UM, & Maly IP (1992) Liver architecture. *Enzyme* 46(1-3):8-32.
- Birchmeier W (2016) Orchestrating Wnt signalling for metabolic liver zonation. *Nat Cell Biol* 18(5):463-465.
- Qvartskhava N, et al. (2015) Hyperammonemia in gene-targeted mice lacking functional hepatic glutamine synthetase. *Proc Natl Acad Sci U S A* 112(17):5521-5526.
- Hakvoort TB, et al. (2017) Pivotal role of glutamine synthetase in ammonia detoxification. *Hepatology* 65(1):281-293.
- Brosnan ME & Brosnan JT (2009) Hepatic glutamate metabolism: a tale of 2 hepatocytes. *Am J Clin Nutr* 90(3):857S-861S.
- Lee HW, Osis G, Handlogten ME, Verlander JW, & Weiner ID (2017) Proximal tubule glutamine synthetase expression is necessary for the normal response to dietary protein restriction. *Am J Physiol Renal Physiol* 313(1):F116-F125.
- Ohno H, Naito Y, Nakajima H, & Tomita M (2008) Construction of a biological tissue model based on a single-cell model: a computer simulation of metabolic heterogeneity in the liver lobule. *Artif Life* 14(1):3-28.
- Schliess F, et al. (2014) Integrated metabolic spatial-temporal model for the prediction of ammonia detoxification during liver damage and regeneration. *Hepatology* 60(6):2040-2051.

極限環境生物「クマムシ」の乾眠機構解明に向けて —新規遺伝子の発見から考える乾眠能力の獲得—

○村井結美^{1,2,*}, 藤原正幸², 富田勝^{2,3}, 荒川和晴^{2,3,**} (指導教員 荒川和晴)

¹慶應義塾大学 環境情報学部 4年 (2019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

*t15875ym@sfc.keio.ac.jp, **gaou@sfc.keio.ac.jp

キーワード: クマムシ, 極限環境耐性, 乾眠, マルチオミクス

1 背景

緩歩動物門は真クマムシ綱と異クマムシ綱の2綱に分類され, 中には海生や陸生の種が報告されておりその数は約1200種に及ぶ(図1)(1). クマムシの中には極度の乾燥状態に置かれても乾眠と呼ばれる無代謝状態に移行することで生存できる種がいる(2). 水は生命にとって重要な役割を果たしているため生物は水分がないと生存困難であるが, クマムシの乾眠状態においては, 高压や低压, 高温や低温, 紫外線など様々な極限環境状態に対する耐性があり, 宇宙空間への直接曝露にも耐え得ることから地上最強の生物として名高い(3-6). 一方, これまでのクマムシ乾眠の分子機構の研究は, 実験室内で飼育できる種に限られることからほぼ真クマムシのみで行われてきた. 真クマムシ綱に属し, 地上のコケから単離された *Ramazzottius varieornatus* (ヨコヅナクマムシ) では, CAHS, SAHS(7), MAHS, LEAM(8), Dsup(9)や LEA などのタンパク質が乾眠に関与していることが明らかとなった. しかし, 異クマムシは実験室内での飼育法が確立されていないためこれまであまり乾眠の分子機構研究の対象とされてこなかった(10). 異クマムシは真クマムシと比べ祖先型に近い形態的な多様性も高い. 陸生の異クマムシの中には真クマムシと同程度の乾燥耐性を持つ種もあり, 異クマムシの中でも乾燥耐性が強いことで知られる *Echiniscus testudo* (トゲクマムシ) の Expressed sequence tag 解析では, CAHS や SAHS などの乾眠関連遺伝子は確認されていない(10). これらのことから, クマムシでは異クマムシと真クマムシそれぞれで収斂的に乾眠機構を獲得した可能性が考えられ, より祖先型に近い異クマムシは乾眠機構の基礎を知る上でより詳細に研究を行う必要がある. そこで本研究では, 真クマムシで有効性を示したオミクス解析技術を異クマムシに適応することによって, より祖先型に近い異クマムシの乾眠機構の解明を目指した. トゲクマムシを対象としてピコグラムスケールの超微量シーケンス法を用いることで野外採集したトゲクマムシ1匹から DNA・RNA シーケンスを行った(11). 加えて, 先行研究で行われている熱可溶性タンパク質のスクリーニング法を用いるため, プロテオーム解析を行

った. その結果, 乾眠に関与しているトゲクマムシ独自の新規遺伝子を発見し, さらに驚くべきことに, クマムシでは少なくとも2回独立に乾燥耐性を獲得・進化させてきたことが明らかとなった.

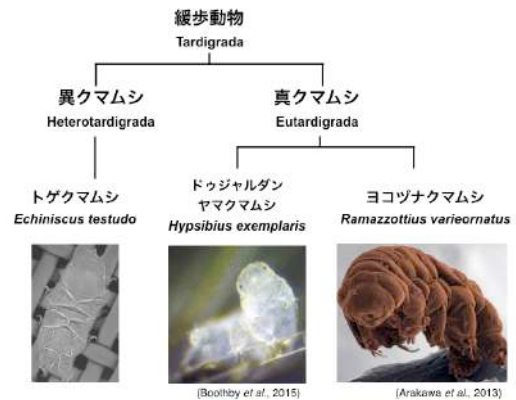


図1: クマムシの系統図

緩歩動物門を構成するクマムシの系統図. 本研究で対象としている異クマムシ綱に属するトゲクマムシと, 真クマムシ綱に属する2種を示した(12, 13).

2 手法

はじめに本研究全体のワークフローを示す(図2).

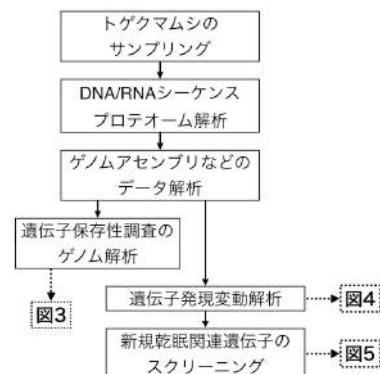


図2: 本研究のワークフロー

実線枠は実際に行った実験・解析内容. 点線枠では, 解析から結果として得られたものの本紙での図番号を示している.

2.1 クマムシのサンプリング

トゲクマムシは、山形県鶴岡市大塚町にて収集したコケの中から採取した。収集したコケを3時間以上水に浸すことでトゲクマムシを採取した。また、活動状態のトゲクマムシを乾眠状態に移行させる際には、ペーパータオルの上に計1 mlの水とともに置き、35%グリセロールの入った容器の中で24時間静置することでグリセロールの吸湿反応の平衡化により相対湿度を一定に保つことで、緩慢的に乾眠させた。35%グリセロール溶液の場合85%の相対湿度となる。さらにその後相対湿度0%の状態にしてトゲクマムシを完全に乾燥させるため、乾燥剤の入った容器に移動し3時間程度静置し完全に乾燥したものを乾眠サンプルとした。乾眠サンプルに関しては再水和後の活動率が90%以上であることを確認した。

2.2 シーケンスとアセンブリ

DNAシーケンスは絶食させた活動状態のトゲクマムシを1匹使用し、超微量シーケンス法で行なった(11, 14)。シーケンスはMiSeq (Illumina) を使用し、ゲノムアセンブリはMaSuRCAを用いて行なった(15)。RNAシーケンスには活動状態と乾眠状態のトゲクマムシをそれぞれN=3、DNAシーケンスと同様に超微量シーケンス法を用いて1匹からRNA抽出を行なった(11)。シーケンスはNextSeq 500 (Illumina) で行い、Trinityを用いてトランスクリプトームアセンブリを行なった(16)。また、RNAシーケンスデータをゲノムアセンブリしたデータにTopHat2を用いてマッピングし(17)、そのマッピングデータを用いてゲノムアノテーションツールであるBRAKER1を用いて遺伝子予測を行なった(18)。発現量の定量にはKallistoを用いた(19)。Kallistoは発現量の単位にTranscripts Per Million (TPM) を採用している。

2.3 遺伝子保存性調査のためのゲノム解析

Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes (KEGG) の自動アノテーションシステムである KEGG Automatic Annotation Server (KAAS) (20, 21) と、Basic Local Alignment Search Tool (BLAST) (22, 23) を利用して、トゲクマムシにおけるストレスシグナリング経路の遺伝子の保存状況を調べた。乾燥時には酸化ストレスが発生するため、ヨコヅナクマムシや *Hypsibius exemplaris* (ドウジャルダンヤクマムシ) では Superoxide dismutase (SOD) や Catalase など抗酸化に関連する遺伝子が重複している。トゲクマムシにおいてもこれらの遺伝子の重複について調べるため、まずトゲクマムシのゲノムから予測したコーディング領域の DNA 配列をクエリー、UniProt

の Swiss-Prot をデータベースとして BLAST で類似性検索を行いアノテーションの取得をした(24-26)。E-value が $1e^{-15}$ 以下、かつベストヒットの Swiss-Prot の遺伝子アノテーションを参照することで、SOD や Catalase など抗酸化作用に関連するタンパク質配列を取得した。コンタミネーションを除くスクリーニングを行い、スクリーニングされたタンパク質配列を用いて、各遺伝子の重複を調べるため系統樹作成ツール Interactive Tree of Life (iTOL) を利用して系統樹を描き、各遺伝子の重複を調べた(27)。今回抗酸化作用に関与する遺伝子として、SOD, Catalase, Glutathione S-transferase (GST), Heat shock protein (HSP) の4遺伝子の重複について調べた。

2.4 遺伝子発現変動解析

乾眠に関与している遺伝子の探索を行うため、活動状態と乾眠状態のRNAシーケンスデータを用いた遺伝子発現変動解析を行った。RNAシーケンスデータをコーディングシーケンスにBWAを用いてマッピングしread数をカウントした後、DESeq2を用いて発現変動解析を行った(28, 29)。False discovery rate (FDR) < 0.05 を発現変動遺伝子とした。

2.5 新規乾眠関連遺伝子のスクリーニング

発現変動遺伝子がほとんど存在しなかったため、先行研究に基づき、高発現、クマムシ独自の遺伝子、熱可溶性タンパクであることを条件としてスクリーニングを行うことで乾眠に関与している遺伝子の探索を試みた(7)。また、CAHS や SAHS などの既知の乾眠関連タンパクはアミノ酸の非構造領域の割合が多く構造を取りにくい性質があるため、新規乾眠関連タンパク候補タンパクの構造領域を予測ツールである Foldindex と DISOPRED を用いて予測した(30, 31)。

3 結果

3.1 欠損遺伝子と重複遺伝子

トゲクマムシにおける細胞分子修復やストレス代謝に関与する欠損遺伝子の結果と、それらの遺伝子のヨコヅナクマムシ、ドウジャルダンヤクマムシでの保存状況を合わせて示す(図3)。ヨコヅナクマムシ、ドウジャルダンヤクマムシでの遺伝子の保存状況は先行研究を参照した(32)。トゲクマムシと真クマムシ(ヨコヅナクマムシとドウジャルダンヤクマムシ)では欠損している遺伝子や重複遺伝子は多く共通していた。しかし、CAHS などのクマムシ独自の乾眠関連遺伝子は保存が確認されなかった。

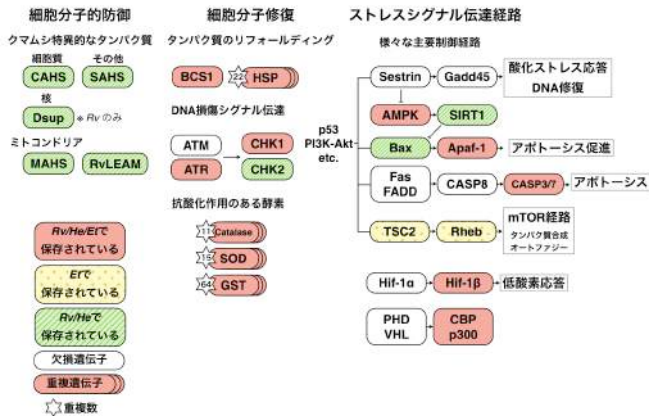


図 3: 乾眠関連遺伝子の保存性

トゲクマムシ (*Et*), ヨコヅナクマムシ (*Rv*), ドウジャルダンヤクマムシ (*Hd*) における遺伝子の保存状況. 3 種で保存されている遺伝子はピンク, トゲクマムシのみで保存されている遺伝子は黄, ヨコヅナクマムシとドウジャルダンヤクマムシのみで保存されている遺伝子は緑で示した. 白は欠損遺伝子, 数字は重複遺伝子の超複数を示す.

3.2 遺伝子発現変動解析

乾眠に関与している遺伝子の探索を行うため, まず発現量を可視化するためにヒートマップを作成した. 発現量の中央値が TPM>5, 最小値が TPM>0 の遺伝子を対象とし, TPM の対数 (基底 e) をとった値を用いてヒートマップを書いた (図 4). また, TPM の対数値は最大値を 10 とし, それ以上のものは 10 とした. ヒートマップから, 活動状態群と乾眠状態群の群間において大きく発現変動している遺伝子群は見られなかった. より詳細に調べるため, 遺伝子発現変動解析を行なった. その結果, 発現変動遺伝子となった遺伝子は 3 遺伝子のみであり (FDR<0.05), それらの遺伝子の発現量はいずれも 3 以下であった (図 4). これらの結果から, トゲクマムシでは活動状態と乾眠状態では遺伝子発現変動は起きていないと考えられる.

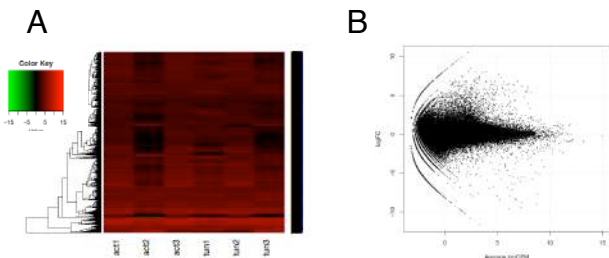


図 4: 遺伝子発現変動解析

(A)発現量のヒートマップ. 活動状態は act, 乾眠状態群は tun と示している. 数字は各サンプル番号. (B) 発現変動解析の MA plot. FDR<0.05 でプロットした.

3.3 新規乾眠関連タンパク候補の発見

乾眠関連遺伝子を探索するために活動状態と乾

眠状態での遺伝子発現変動解析を行ったが, ほとんど発現変動遺伝子は見られなかった. また, 既知のクマムシ独自の乾眠関連遺伝子の存在の有無を BLAST 検索により確認したところ, これらの遺伝子はヒットせず存在は確認されなかった. これらのことから, 異クマムシは異クマムシ独自の何らかの乾眠関連遺伝子が存在すると考え, 先行研究と同様のスクリーニング手法を用いて新規熱可溶性タンパク遺伝子のスクリーニングを行なった. その結果, 複数の遺伝子が候補としてスクリーニングされた. スクリーニングされた遺伝子のアミノ酸配列のフォールディングは大きく 2 つのタイプに別れた (図 5). いずれも非構造領域が多いことを示した. 非構造領域が多い性質は CAHS などにも見られる性質である.

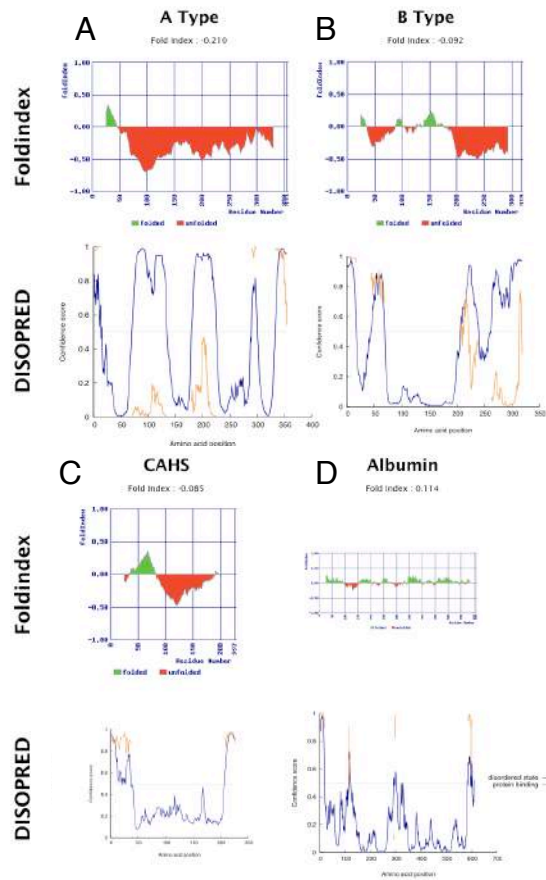


図 5: 新規熱可溶性タンパク質のフォールディング
新規熱可溶性タンパクの候補遺伝子における 2 タイプのフォールディングを Foldindex (上段) と DISOPRED (下段) で示す. フォールディングとはアミノ酸配列の本質的な構造の取りやすさを示す. Foldindex は値がマイナス (赤) の領域ほど構造を取りにくい. DISOPRED は値がプラス (青線) の領域ほど構造を取りにくい. (A)(B)はそれぞれ新規熱可溶性タンパクの候補遺伝子. (C)既知の乾眠関連遺伝子 CAHS. (D)通常構造をとるため非構造領域が少ないアルブミンタンパク質.

4 議論と展望

本研究で対象とした異クマムシ綱に属するトゲクマムシでは、真クマムシで発見されている既知の乾眠関連タンパクが保存されていないことが強く示唆された。また、複数のスクリーニングを行うことにより異クマムシ独自の新規熱可溶性タンパク候補を推定することができた。候補として推定された新規熱可溶性タンパクは活動状態時と乾眠状態時で大きな発現変動が見られないことから、トゲクマムシは強い乾燥耐性をもつヨコヅナクマムシと同様常に乾眠を可能にする防御因子を発現しており、急速な乾眠にも対応可能であることが示唆される。また推定された新規熱可溶性タンパクの候補遺伝子は、CAHSやSAHSなどと同様非構造領域が多い性質が共通していることから、アナログな機能を持つ遺伝子であると考えられる。真クマムシと異クマムシでは、同様の働きを持つ異なる遺伝子を持っていると考えられ、クマムシでは少なくとも2回独立に乾燥耐性を収斂的に獲得したことが強く示唆される。

謝辞

実験面で大いにサポートしていただいた技術員高井幸さん、サンプリングに協力していただいた政策・メディア研究科 飯井虹之介さんに心から感謝申し上げます。また本研究の一部は科研費、山形研究費、湘南藤沢学会の助成を受けております。

参考文献

1. Degma P, Bertolani R, & Guidetti R (Actual checklist of Tardigrada species 2016).
2. Mobjerg N, et al. (2011) Survival in extreme environments - on the current knowledge of adaptations in tardigrades. *Acta Physiol (Oxf)* 202(3):409-420.
3. Jonsson KI, Rabbow E, Schill RO, Harms-Ringdahl M, & Rettberg P (2008) Tardigrades survive exposure to space in low Earth orbit. *Curr Biol* 18(17):R729-R731.
4. Hengherr S, Worland MR, Reuner A, Brummer F, & Schill RO (2009) Freeze tolerance, supercooling points and ice formation: comparative studies on the subzero temperature survival of limno-terrestrial tardigrades. *J Exp Biol* 212(Pt 6):802-807.
5. Horikawa DD, et al. (2013) Analysis of DNA repair and protection in the Tardigrade *Ramazzottius varieornatus* and *Hypsibius dujardini* after exposure to UVC radiation. *PLoS One* 8(6):e64793.
6. Ono F, et al. (2016) Effect of ultra-high pressure on small animals, tardigrades and *Artemia*. *Cogent Physics* 3(1):1167575.
7. Yamaguchi A, et al. (2012) Two novel heat-soluble protein families abundantly expressed in an anhydrobiotic tardigrade. *PLoS One* 7(8):e44209.
8. Tanaka S, et al. (2015) Novel mitochondria-targeted heat-soluble proteins identified in the anhydrobiotic Tardigrade improve osmotic tolerance of human cells. *PLoS One* 10(2):e0118272.
9. Hashimoto T, et al. (2016) Extremotolerant tardigrade genome and improved radiotolerance of human cultured cells by tardigrade-unique protein. *Nat Commun* 7:12808.
10. Forster F, et al. (2009) Tardigrade workbench: comparing stress-related proteins, sequence-similar and functional protein clusters as well as RNA elements in tardigrades. *BMC Genomics* 10(469):1-10.
11. Arakawa K, Yoshida Y, & Tomita M (2016) Genome sequencing of a single tardigrade *Hypsibius dujardini* individual. *Sci Data* 3:160063.
12. Arakawa K (2013) Comparative metabolomics of anhydrobiosis in tardigrade *Ramazzottius varieornatus*. *J. Jpn. Soc. Extremophiles* 11(2):30-37.
13. Boothby TC, et al. (2015) Evidence for extensive horizontal gene transfer from the draft genome of a tardigrade. *Proc Natl Acad Sci U S A* 112(52):15976-15981.
14. Yoshida Y, et al. (2018) Ultralow Input Genome Sequencing Library Preparation from a Single Tardigrade Specimen. *J Vis Exp* (137).
15. Zimin AV, et al. (2013) The MaSuRCA genome assembler. *Bioinformatics* 29(21):2669-2677.
16. Grabherr MG, et al. (2011) Full-length transcriptome assembly from RNA-Seq data without a reference genome. *Nat Biotechnol* 29(7):644-652.
17. Kim D, et al. (2013) TopHat2: accurate alignment of transcriptomes in the presence of insertions, deletions and gene fusions. *Genome Biol* 14(4):R36.
18. Hoff KJ, Lange S, Lomsadze A, Borodovsky M, & Stanke M (2016) BRAKER1: Unsupervised RNA-Seq-Based Genome Annotation with GeneMark-ET and AUGUSTUS. *Bioinformatics* 32(5):767-769.
19. Bray NL, Pimentel H, Melsted P, & L P (2016) Near-optimal probabilistic RNA-seq quantification. *Nat Biotechnol* 34(5):525-527.
20. Kanehisa M & Goto S (2000) KEGG: kyoto encyclopedia of genes and genomes. *Nucleic Acids Res* 28(1):27-30.
21. Moriya Y, Itoh M, Okuda S, Yoshizawa AC, & Kanehisa M (2007) KAAAS: an automatic genome annotation and pathway reconstruction server. *Nucleic Acids Res* 35(Web Server issue):182-185.
22. Altschul SF, et al. (1997) Gapped BLAST and PSI-BLAST: a new generation of protein database search programs. *Nucleic Acids Res* 25(17):3389-3402.
23. Camacho C, et al. (2009) BLAST+: architecture and applications. *BMC Bioinformatics* (10):421.
24. The UniProt C (2015) UniProt: a hub for protein information. *Nucleic Acids Res* 43(Database issue):D204-D212.
25. Bairoch A, Boeckmann B, Ferro S, & Gasteiger E (2004) Swiss-Prot: juggling between evolution and stability. *Brief Bioinform* 5(1):39-55.
26. The UniProt C (2014) Activities at the Universal Protein Resource (UniProt). *Nucleic Acids Res* 42(Database issue):D191-D198.
27. Letunic I & Bork P (2007) Interactive Tree Of Life (iTOL): an online tool for phylogenetic tree display and annotation. *Bioinformatics* 23(1):127-128.
28. Jo H & Koh G (2015) Faster single-end alignment generation utilizing multi-thread for BWA. *Biomed Mater Eng* 26 Suppl 1:S1791-1796.
29. Love MI, Huber W, & Anders S (2014) Moderated estimation of fold change and dispersion for RNA-seq data with DESeq2. *Genome Biol* 15(12):550.
30. Prilusky J, et al. (2005) FoldIndex: a simple tool to predict whether a given protein sequence is intrinsically unfolded. *Bioinformatics* 21(16):3435-3438.
31. Ward JJ, McGuffin LJ, Bryson K, Buxton BF, & Jones DT (2004) The DISOPRED server for the prediction of protein disorder. *Bioinformatics* 20(13):2138-2139.
32. Yoshida Y, et al. (2017) Comparative genomics of the tardigrades *Hypsibius dujardini* and *Ramazzottius varieornatus*. *PLoS Biol* 15(7):e2002266.

マウス初期胚における Axial protocadherin の発現および機能解析

○福永佳菜子*, 乾雅史** (指導教員 黒田裕樹***)

*慶應義塾大学 環境情報学部 4年 (2019年3月卒業予定)

**明治大学 農学部 生命科学科

***慶應義塾大学 環境情報学部

*t15768kf@sfc.keio.ac.jp, **inui_m@meiji.ac.jp, ***hkuroda@sfc.keio.ac.jp

キーワード: axial protocadherin, 脊索, 哺乳類胚, ゲノム編集, CRISPR-Cas

1 研究概要

脊椎動物において一つの細胞である受精卵から複雑な生物の形ができる過程において、脊索は重要な組織と言える。この脊索形成過程において両生類や魚類胚で必要不可欠な分子として axial protocadherin (AXPC) が報告されているが、哺乳類胚における働きは明らかにされていない。本研究ではマウス初期胚における詳細な AXPC の発現解析、およびゲノム編集技術である CRISPR-Cas を用いた *axpc* ノックアウトシステムの作製等を通して機能解析を行った。その結果 AXPC はマウス胚の血管と脊索において確かに発現していた。その一方で *axpc*^{-/-}でも脊索が形成されたので、さらに複数の同義分子によって、両生類胚よりも確実に脊索が形成できる体制が備わっている可能性が示唆された。

2 背景

脊索は、ほぼ全ての脊椎動物の発生過程における重要な共通構造のひとつであり、その重要性を尊重して脊索動物門と名付けられている。その特徴として、中胚葉由来であること、胚の前後に走る棒のような構造であること、フロアプレートと呼ばれる神経管底部を裏打ちする位置において胚体の支持 (Youn and Malacinski, 1981; Stemple, 2005) や周辺組織のパターニング (Pourquié et al., 1993; Fan and Tessier-Lavigne, 1994; Fouquet et al., 1997; Liem et al., 2000; Cleaver and Krieg, 2001) などの重要な役割を果たすことが挙げられる。やがて発生が進むと、脊索は消滅し、そこには中枢神経系を成す中軸神経とそれを取り巻く体節由来の脊椎骨から成る脊椎に置き換えられる。

脊索の動態について研究が最も進んでいる動物はアフリカツメガエル (*Xenopus laevis*) である。1999年、*Xenopus* 胚において、予定脊索細胞が非常に強い集合能を有していることが判明している (Kuroda et al., 1999)。その後、カドヘリンファミリーのひとつである AXPC が予定脊索細胞の非常に強い集合能に寄与することが報告されている (Kuroda et al., 2002)。AXPC を含むカドヘリンファミリーは細胞接着分子であり、同じサブタイプ特異的に結合する。それぞれのサブタイプは組織特異的に発現するた

め、結果として同じ組織同士が結合する現象が生じる (Steinberg and Takeichi, 1994)。

両生類胚において AXPC の機能を欠失させると、脊索細胞は集合することができず、結果として、脊索によってパターンニングされる後方神経や体節が正しく形成されずに異所的な神経構造が形成され、原腸胚期から尾芽胚期までの胚の伸長も正常に起こらない (Kuroda et al., 2002)。異性四倍体である *Xenopus* には配列がほぼ相似した二種類の AXPC が存在するが、その両方の mRNA の働きを阻害した場合には背側構造の形成に著しい損傷が引き起こされる (Yoder et al., 2011)。一方、哺乳類であるマウス胚では AXPC が E10 から成体にかけて血管内皮細胞で発現していることは報告されているものの (Redies et al., 2008)、その機能解析は行われておらず、脊索形成に関わる機能も不明である。しかし、多くの哺乳類において、*axpc* 遺伝子のオルソログである *protocadherin 1 (pcdh1)*; 本研究においては哺乳類における PCDH1 も AXPC と呼ぶことにする) がゲノム上に存在することが確認されている (Yue et al., 2014)。つまり、哺乳類胚においても AXPC は脊索や血管またはその他の組織において細胞接着分子として機能している可能性がある。

哺乳類の脊索における AXPC の機能解析を行うためには、機能欠失型マウス (ノックアウトマウス) を作製することが最も妥当な方針と言える。本研究におけるノックアウトマウス作製には、簡便に標的配列がデザインでき、実験手法が容易な新しい遺伝子改変技術である clustered regularly interspaced short palindromic repeats-CRISPR associated proteins (CRISPR-Cas) システムを用いることにした (Mali et al., 2013)。CRISPR-Cas システムは原核生物における獲得免疫機構を応用したものである (Garneau et al., 2010)。この反応系では、標的配列を認識する 20 b ほどの標的配列と Cas9 結合配列を含む一本鎖 RNA である guide RNA (gRNA) とエンドヌクレアーゼである Cas9 タンパク質が結合した複合体が、標的配列とそのすぐ側方にある protospacer adjacent motif (PAM) 配列を認識することで標的の二本鎖 DNA を切断する。切断された二本鎖 DNA に対する細胞内の修復機構が働く際、本来の正しい配列に戻す修復とは異なって、挿入や欠失のエラー (インデ

ル)が入ることによる配列のナンセンス化(フレームシフト変異等)を利用して、標的配列を含む標的遺伝子が機能欠失されることになる。この簡易性に加え、従来のES細胞を用いたノックアウトマウス作製に比べて、機能欠失させた受精卵をつくる期間が大幅に短くなる利点もある。ただし、標的の配列に類似した配列にgRNAが結合して、切断が標的配列ではない箇所で行ってしまうオフターゲット変異が頻発する可能性もある。それ故、オフターゲット変異を少なくするためにダブルニッキング法を用いる(Ran et al., 2013)。ダブルニッキング法とは、近接するDNA配列に作用する二種類のgRNAと一本鎖しか切断しない変異型Cas9タンパク質をセットで用いて、一本鎖切断をセンス鎖およびそこに近接したアンチセンス鎖の二か所で行うことによって二本鎖切断を成立させる手法である(図1)。gRNAを2つ用いて認識するため、標的配列は通常のCRISPR-Casシステムよりも長くなり、その結果、オフターゲット変異が少なくなる。それ故、私はダブルニッキング法形式のCRISPR-Casシステムを用いてノックアウトマウスを作製し、*axpc* 遺伝子の機能解析を行うことにした。

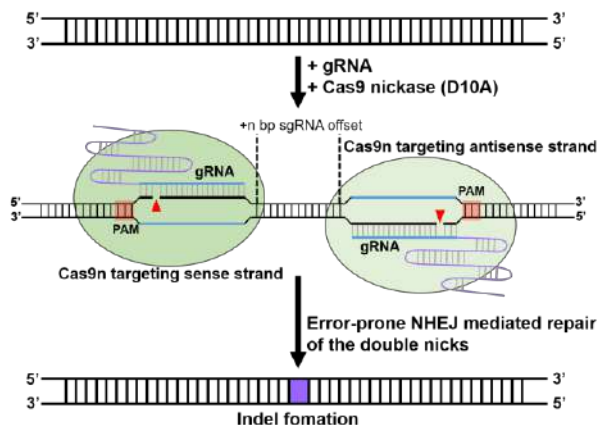


図1 ダブルニッキング法の概要
変異を挿入したい標的遺伝子に対して、センス鎖を認識するgRNAおよびアンチセンス鎖を認識するgRNAを設計する。このとき、gRNAは4-10塩基程度のオフセットを必要とする。標的を認識したそれぞれのgRNAに一本鎖切断を行う変異型Cas9タンパク質(Cas9 nickase)が結合する。正常型の10番目のアミノ酸であるアスパラギン酸(D)をアラニン(A)に置き換えた異型Cas9(D10ACas9)の2つが近接したセンス鎖とアンチセンス鎖の両方を切断する結果、標的DNAの二本鎖切断が実現する(赤矢頭)。二本鎖切断されたDNAに対して修復メカニズムの1つである非相同性末端結合(NHEJ: non-homologous end joining)が働く際、DNAに挿入または欠失が起こる。Jo et al., 2015 より改変。

3 結果

3.1 *axpc* はE8.5から発現している

axpc mRNAの時間的な発現解析として、*axpc* の発現の有無を確認するためのリアルタイムPCRを行った。サンプリングしたE8.5, 9.5, 10.5胚からRNA抽出を行い、cDNAを合成した。合成したcDNAに対してリアルタイムPCRを行った。その結果、いずれのステージにおいても*axpc*が胚内で発現していた(図2)。これまでマウス胚において*axpc*の発現が報告されていたのはE9.5以降であったが(Redies et al., 2008)、より初期であるE8.5において*axpc* mRNAは発現していることを確認した。E8.5は脊索形成開始時期なのでAXPCは脊索形成に寄与し得る。

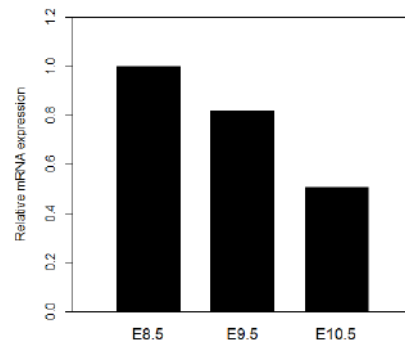


図2 相対的な*axpc* mRNAの発現量

E8.5における*axpc* mRNAの発現量を1とした場合の相対的な*axpc* mRNAの発現量を示す。いずれのステージにおいても*axpc* mRNAは発現している。

3.2 E10.5マウス胚においてAXPCは脊索および血管で発現する

マウス胚における脊索は断面が10細胞以下の細長い組織である。そのため胚全体に対する*in situ* hybridizationや免疫組織化学染色ではAXPCが脊索において発現しているか確認することは難しい。したがって胚内部を観察できる薄切切片を作成し、AXPCタンパク質の発現パターン確認を行うことにした。より組織やタンパク質が変成されにくい凍結切片を用いて免疫組織化学染色を行った。血管のポジティブコントロールとして血管内皮細胞マーカーであるPECAM-1についても免疫組織化学染色を行った。その結果、AXPCは血管内皮細胞マーカーであるplatelet/endothelial cell adhesion molecule-1(PECAM-1)と同様に、神経周辺血管叢において発現していた(図3B, C)。また、hematoxylin-eosin(HE)染色を行った切片と平行比較観察した結果、AXPCの脊索における発現が確認された(図3A, B)。従って、AXPCがE10.5胚の脊索において発現していることを凍結切片に対する免疫組織化学染色によって示した(図3B)。

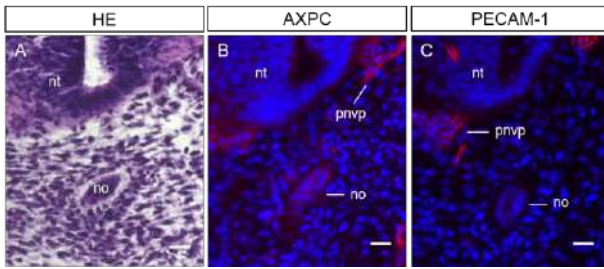


図3 AXPCは脊索および血管において発現する (A-C) E10.5の *axpc*^{+/+}マウスから作成した凍結切片に対する染色. (A) HE染色. (B, C) AXPCまたはPECAM-1免疫組織化学染色. noは脊索, ntは神経管, そしてpnvpは神経周辺血管叢を示す. スケールバーの長さは20 μm.

3.3 *axpc*^{-/-}マウスの作製

マウス初期胚におけるAXPCの機能を解析するために, ダブルニッキング法を用いて機能欠失型マウスを作製した. *axpc* 遺伝子の開始コドンから下流105塩基から155塩基の間の二か所に対してgRNAを設計した. 設計したgRNAをin vitro合成し, 一本鎖切断を行う*D10ACas9* mRNAと共にBDF1マウス同士の掛け合わせで得られた受精卵に顕微注入した. その結果, 開始コドン下流138塩基以降において11塩基欠失($\Delta 11$)したアレルを持つマウスが得られた(図4A, B). 野生型アレルからは1002アミノ酸のタンパク質が翻訳される一方で, *axpc* $\Delta 11$ のアレルからは7回リPEATする extracellular cadherin (EC)領域のうち1リPEATに含まれる28アミノ酸のみが翻訳されると予想される(図4C). 従って, AXPCタンパク質が機能しないと考えられる *axpc* ノックアウト系統を得られた.

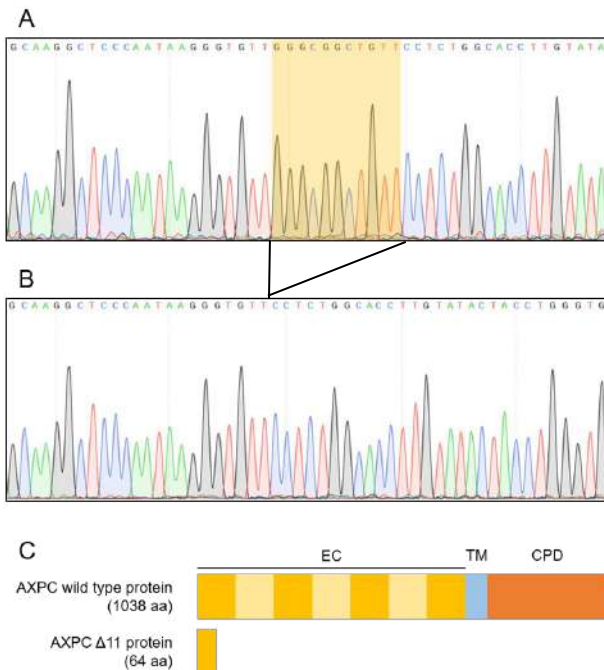


図4 *axpc* ノックアウト系統は正常なAXPCタンパク質が翻訳されない

(A) *axpc* 遺伝子の野生型アレル. 開始コドン下流116塩基から167塩基のシーケンス解析結果. ハイライトは *axpc*^{-/-}マウスにおいて欠失している11塩基を示す. (B) *axpc* 遺伝子の $\Delta 11$ アレル. 開始コドン下流105塩基から156塩基のシーケンス解析結果. 開始コドン下流138塩基以降において11塩基欠失している. (C) 野生型および *axpc* $\Delta 11$ のアレルから翻訳されると推測されるAXPCタンパク質構造. 野生型アレルからは1002アミノ酸のタンパク質が翻訳される一方で, *axpc* $\Delta 11$ のアレルからは7回リPEATするEC領域のうち1リPEATに含まれる28アミノ酸のみが翻訳される. 従って, *axpc* $\Delta 11$ のアレルから翻訳されるAXPCタンパク質は機能しないと考えられる. ECは細胞外カドヘリンリPEAT領域を, TMは膜貫通領域を, CPDは細胞内領域を意味する.

3.4 *axpc*^{-/-}胚は正常に発生する

AXPCタンパク質が機能しないと考えられる *axpc*^{-/-}胚を作製し, その表現型解析を行った. E10.5でサンプリングした *axpc*^{+/+}, *axpc*^{+/+}, そして *axpc*^{-/-}胚において, AXPCが血管において発現することから, 血管内皮細胞マーカーである *pecam-1* に対する whole mount *in situ* hybridization (WISH)を行った. その結果, *axpc*^{+/+}と比較して *axpc*^{+/+}および *axpc*^{-/-}胚の頭部(図5D-F), 体節(図5G-I), そして後肢(図5J-L)における *pecam-1* の染色パターンに差がなかった. 従って, *axpc*^{+/+}および *axpc*^{-/-}胚における脳静脈や体節間血管, 後肢における網目状血管等の主要血管は正常に発生していた. さらにE10.5でサンプリングした *axpc*^{-/-}胚および, *axpc*^{-/-}胚と胚体の成長で評価された同ステージのE9.5 *axpc*^{+/+}胚について, 脊索およびフロアプレートマーカーである *sonic hedgehog* (*shh*)に対してWISHを行った. その後, 薄切切片にして観察した. その結果, *axpc*^{-/-}胚の脊索は *axpc*^{+/+}とほぼ変わらず形成していた(図6). さらに, 脊索マーカーである *shh* が *axpc*^{+/+}および *axpc*^{-/-}の脊索において発現していた(図6). 従って, *axpc*^{-/-}胚における脊索は正常に形成することが示唆された.

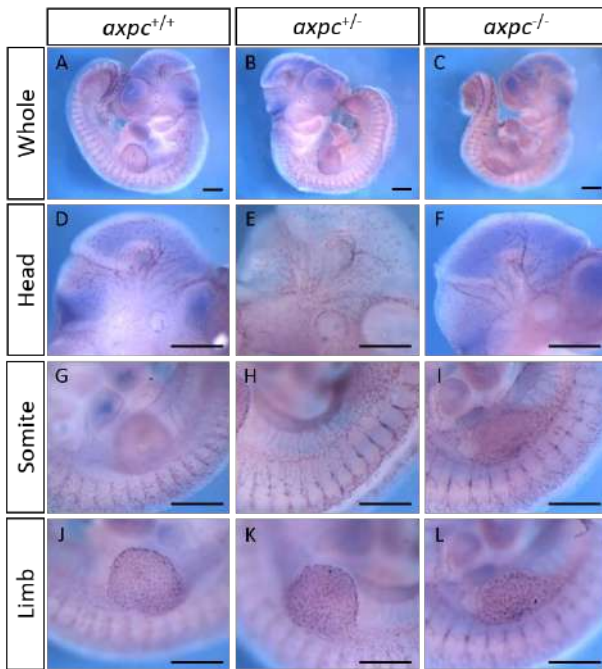


図 5 *axpc*^{-/-}胚では主要な血管パターンに顕著な差はない

(A-O) WISHによる *pecam-1* の発現パターン. *axpc*^{+/+} (A, D, G, J, M), *axpc*^{+/-} (B, E, H, K, N), そして *axpc*^{-/-} (C, F, I, L, O) の E10.5 胚. 胚全体(A-C), 頭部(D-F), 体節(G-I), 後肢(J-L)を拡大した図. スケールバーの長さは 0.5 mm.

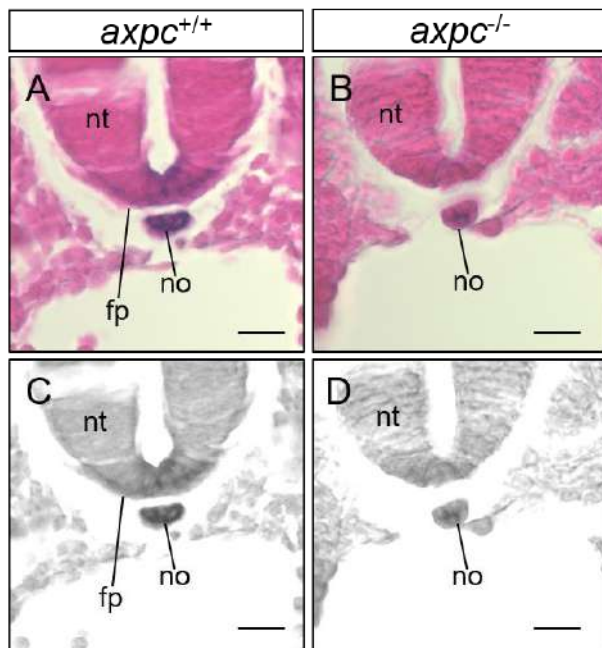


図 6 *axpc*^{-/-}胚の脊索は正常に形成する (A-D) *shh* に対する WISH を行った胚の薄切切片(赤はエオシンによる対比染色). *axpc*^{+/+} の E9.5 胚 (A, C) および *axpc*^{-/-} の E10.5 胚 (B, D). カラー(A, B) およびモノクロ(C, D)で撮影した図. fp はフロアプレート, no は脊索, そして nt は神経管を示す. スケールバーの長さは 20 μm.

4 考察

本研究によって, 先行研究で報告されていた血管に加え(Redies et al., 2008), マウス初期胚の脊索において AXPC タンパク質が発現していることが初めて観察された. AXPC の機能欠失型マウスを用いた解析では, 血管および脊索は正常に形成された. さらに *axpc*^{-/-} マウスは産まれてくることできる. その一方で, *axpc*^{-/-} 胚は同じ交尾後の日数が経っている *axpc*^{+/+} および *axpc*^{+/-} 胚に比べて発生が遅延している可能性がある. この点については今後さらに多くの胚をサンプリングし, 統計処理を行って有意差があるかを確認する必要がある. また, フロアプレートでの *shh* の発現や神経パターンについて解析を行う. 以上の結果から, マウス胚の脊索形成には AXPC 以外の細胞接着分子が協調的に働いている, または AXPC が機能不全の際にその働きを補うような他の細胞接着分子がレスキューする可能性が示唆された. 哺乳類胚における脊索形成は, より多面的に確実に行われるようプログラムされているのかもしれない.

5 参考文献

- Cleaver, O., and Krieg, P.A. (2001). *Dev. Biol.*, 234, 1-12.
- Fan, C.M., and Tessier-Lavigne, M. (1994). *Cell*, 79, 1175-1186.
- Fouquet, B. et al. (1997). *Dev. Biol.*, 183, 37-48.
- Garneau, J.E. et al. (2010). *Nature*, 468, 67-71.
- Jo, Y. et al. (2015). *Biochim. Biophys. Acta.*, 1856, 234-243.
- Kuroda, H. et al. (1999). *Dev. Growth. Differ.*, 41, 283-291.
- Kuroda, H. et al. (2002). *Dev. Biol.*, 244, 267-277.
- Liem, K.F. et al. (2000). *Development*, 127, 4855-4866.
- Mali, P. et al. (2013). *Science*, 339, 823-826.
- Pokutta, S., and Weis, W.I. (2007). *Annu. Rev. Cell. Dev. Biol.*, 23, 237-261.
- Pourquie, O. et al. (1993). *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.*, 90, 5242-5246.
- Ran, F.A. et al. (2013). *Cell*, 154, 1380-1389.
- Redies, C. et al. (2008). *Dev. Dyn.*, 237, 2496-2505.
- Steinberg, M.S., and Takeichi, M. (1994). *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.*, 91, 206-209.
- Stemple, D.L. (2005). *Development*, 132, 2503-2512.
- Yoder, M.D., and Gumbiner, B.M. (2011). *Dev. Dyn.*, 240, 2495-2504.
- Youn, B.W., and Malacinski, G.M. (1981). *Dev. Biol.* 83, 339-352.
- Yue, F. et al. (2014). *Nature*, 515, 355-364.