

大学生が新型コロナウイルス感染予防のための 自粛を開始するまでのプロセス

藤間優子^{1*} 秋山美紀^{1,2,3**}

¹慶應義塾大学 環境情報学部 (2020年9月卒業)

²慶應義塾大学 大学院 政策・メディア研究科

³慶應義塾大学 大学院 健康マネジメント研究科

*yuuko.tooma-0522@keio.jp

**miki@sfc.keio.ac.jp

要旨

新型コロナウイルス感染拡大を抑制する対策を考える際の一助とするため、初期の段階で感染予防のための自粛という行動変容が大学生らにどのように起きたのかを解明することを本研究の目的とした。本研究では大学生・大学院生5人に対して半構造化インタビューを行い、グラウンデッド・セオリー・アプローチによる分析を行った。その結果、行動自粛という行動変容は、【他人に移してはいけない気持ち】という中心概念と、それに関連する12のカテゴリー・サブカテゴリーで構成されていた。

本研究の結果として、大学生・大学院生は周囲の変化と自分の危機感を相対的に評価しながら自らの行動を決断していることが示された。プロセスを循環し自粛の検討へと進むにつれ、新型コロナウイルスの罹患性と重大性の認知が高まり、一方で自粛を開始するにあたっての障害は、自粛がもたらす利益および自己効力感が高まることによって、軽減されることが示唆された。批判される恐怖心を煽るのではなく、「大切な人を守ることができる」といった自粛の利益と、ツールによって自粛をうまく遂行できるという自己効力感を高めることで行動変容が促進されると考えられる。

キーワード: 新型コロナウイルス・感染予防・行動変容・自己効力感・健康信念モデル

1 背景

新型コロナウイルスが世界的な大流行をする中、日本では2020年7月22日に全国の1日当たりの感染者数が過去最多を更新し、全国的な感染の広がりが目立ち始めている^[1]。若者の感染割合も高まる中で、若者は感染しても症状がないか軽く、気付かないうちに他の人に移す可能性があることから、専門家は「若者も危機感を」と訴えている^[2]。これらのことから、10~30代の若者の行動が今後の感染防止拡大の鍵となっていると考えられる。特に行動範囲が広く多数の人と関わる大学生の外出自粛を促進し、感染拡大を抑制することが急務であると考えられる。

2 目的

本研究の目的は、流行の比較的初期の段階で大学生・大学院生が新型コロナウイルス感染予防のための自粛を開始するまでのプロセスを明らかにすることである。自粛という行動変容がどのようにして起きたのかを解明することで、新型コロナウイルスの感染拡大を予防するための行動自粛を促す対策を考える際の一助とすることができるのではないかと考えた。

3 方法

3.1 研究デザイン・対象

本研究は、質的帰納的な研究である。研究対象者は、2020年4月初旬の段階で感染予防のために自粛を開始していた大学生・大学院生で、2020年4月~6月の間に、オンラインコミュニケーションツールの「zoom」または「webex」を用いてインタビューを実施した。インタビュー時間は一人30分~60分で、インタビューガイドに沿って、新型コロナ感染への意識の変化、自粛行動をとるようになった時期、自粛行動の内容、影響を与えた出来事、それぞれの時期の気持ちの動き等についてオープンエンドな問いかけをして回答を得た。

3.2 分析方法

分析には、体験の多様なプロセスを把握することに長けた、戈木・ストラウスによるグラウンデッド・セオリー・アプローチ^[3] (以下GTA) を用いた。GTAはデータからカテゴリー (概念) を抽出し、関連づけることによって理論を生成しようとする方法である。

3.3 倫理的配慮

研究内容及び研究参加における個人の自由意志の尊重などについて説明し、同意が得られた人を研究協力者とした。

4 結果

研究協力者の属性を表1に示す。

表1：研究協力者の基本属性

対象者	性別	学年	専攻	居住環境
A	男性	大学2年生	理系	一人暮らし
B	男性	大学6年生	理系	一人暮らし
C	女性	大学院3年生	文系	一人暮らし
D	女性	大学4年生	文系	実家暮らし
E	男性	大学4年生	文系	実家暮らし

インタビューで得られたデータを分析した結果、行動自粛という現象は、【他人に移してはいけ

ないという気持ち】というカテゴリを中心に《感染可能性の評価》《周囲の感染対策による行動制限》《自分は大丈夫だという認識》《今までの生活の継続》《自分の身近に起きた異変》《批判される恐怖》《自粛の検討》《周囲の気遣い・行動自粛》《自粛をサポートするツール》《自粛の開始》《今後の行動の検討》という12個のカテゴリ・サブカテゴリで形成されていた。本現象のカテゴリ同士の関連を図1に示す。

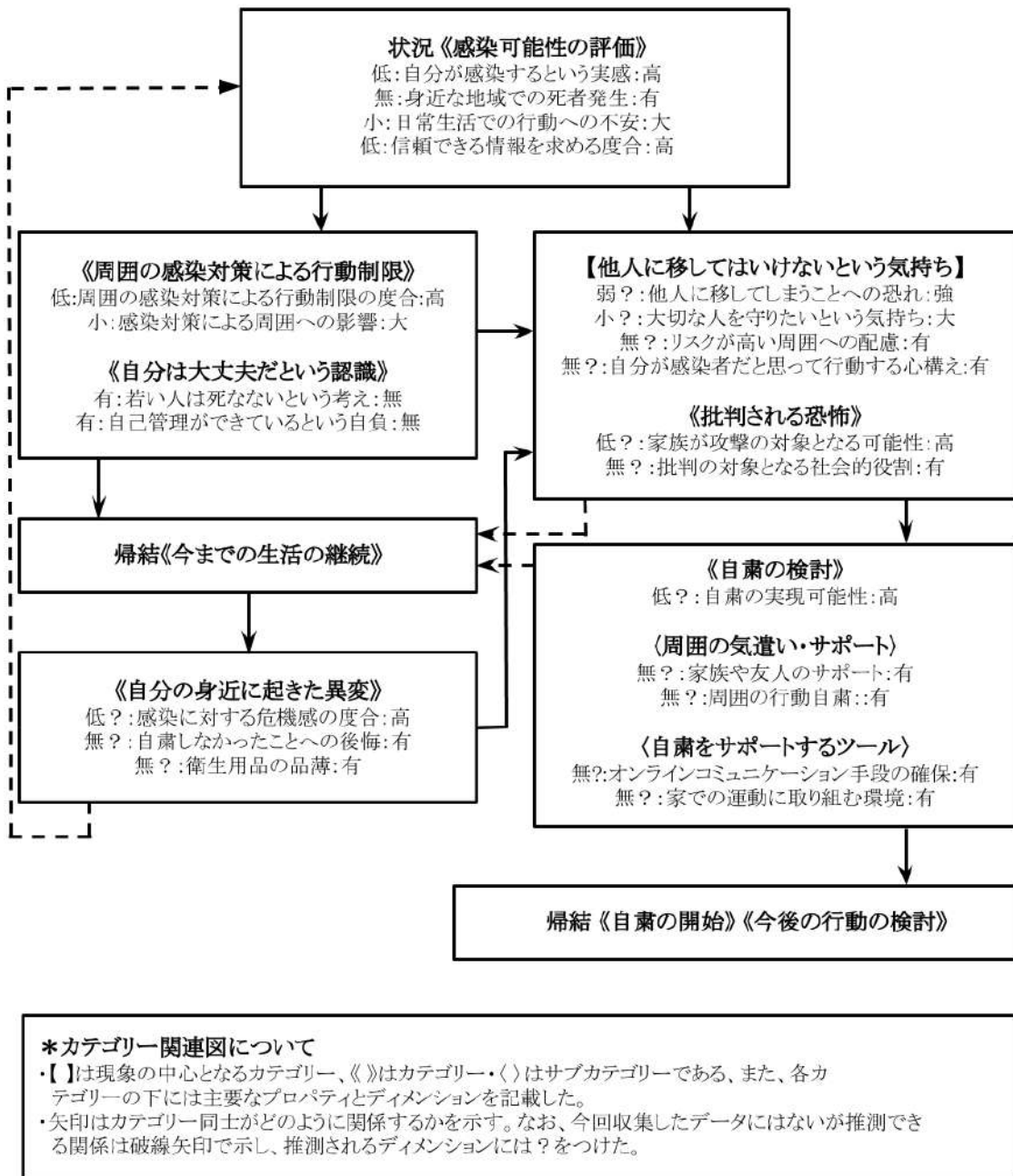


図1：行動自粛という現象に関わるカテゴリ関連図

5 考察

5.1 【他人に移してはいけないという気持ち】が自粛の開始までのプロセスに与える影響

本研究では第一に、大学生・大学院生が新型コロナウイルス感染予防のための自粛を開始するプロセスの中で、【他人に移してはいけないという気持ち】が重要な役割を果たしていることが明らかになった。【他人に移してはいけないという気持ち】の中には自分が感染源となることへの恐れや大切な人を守りたいという気持ち、高齢者などのリスクが高い周囲への配慮、自分が感染者だと思って行動する心構えなどが含まれていた。

この【他人に移してはいけないという気持ち】を自粛というプロセス全体から紐解くと、「健康信念モデル(Health Belief Model : HBM)」^[4]の理論に当てはまる現象が起きていたと解釈できた。健康信念モデルでは健康行動の主な促進要因として「脅威の認識」と「メリットとデメリットのバランス」が挙げられている。これらを整理するため健康信念モデルの概念と本プロセスでの具体例を表2に示す。

表2：健康行動の促進要因・健康信念モデルの概念と本プロセスでの具体例

健康行動の促進要因	概念	定義	具体例
脅威の認識	認知された脆弱性	ある状態になる確率に関する信念	感染可能性の評価において、自分が感染するという実感がある
	認知された重大性	ある状態やその結果の重篤さについての信念	リスクが高い周囲へ感染を広げることで、祖母が亡くなる、などの重篤な結果に繋がる可能性がある
メリットとデメリットバランス	認知された利益	行動をとることにより減らされるリスクや重大さについての信念	「自分が感染者だと思って行動する心構え」に基づいて行動する(行動を自粛することによって周囲の感染リスクを下げる)ことができる
	認知された障害	行動をとることの物質的・心理的なコストの信念	周囲の友人とコミュニケーションが取れなくなるという障害(→周囲の友人の変化と自分の状況を相対的に評価することや代替手段となるツールによる障害の軽減)
	行動のきっかけ	「準備段階」から踏み出すための要因	家族が自分を心配してサポートしてくれる、という実感から周囲のサポートにたよるという思いが生まれる
	自己効力感	行動をとることの自分の能力への自信	代替手段となるツールにより自粛を開始しても変わらずコミュニケーションが取れる・運動ができる、という安心感によって自分が自粛をうまく遂行できるという、自己効力感が高まる

本研究の中心カテゴリーは【他人に移してはいけないという気持ち】であり、感染を自分ごととして捉えた上で、自分ではなく他人に配慮する「大切な人を守りたい気持ち」によって一層自粛が促されていた。特に自分が感染者だと思って行動する心構えでは、自分が無症状の感染者であることを想定して自粛の検討に至るなど、周囲への配慮、という日本人の特性を垣間見ることができた。先行研究では自分自身が罹患するという可能性・懸念が予防行動のための要因となっており、このような周囲への配慮という要因と類似したものは見られなかった。そのため、本研究におけるこの結果は希少であり、インタビュー調査における対象者の個人因子や価値観、新型コロナウイルスという未知の感染症への恐怖

が影響したと考えられる。

5.2 予防行動における要素としての《批判される恐怖》

本研究の結果から《批判される恐怖》を感じているとより感染予防のための自粛が促進されていることがわかった。これは先行研究で碓井(2009)^[5]は「不安がリスク回避行動である感染予防行動を引き起こすことが示唆されている。」と述べられていたが、この「不安」の具体例1つとして《批判される恐怖》が挙げられるのではないかと、という新たな知見が示唆されている。自粛をすることによって《批判される恐怖》のリスクが低下する、という認識によって感染予防行動が引き起こされていると考えられる。

また、この《批判される恐怖》では自分よりも家族が攻撃の対象となることが危険視されていた。さらに、医師・公務員など批判の対象となりやすい社会的役割があると、《批判される恐怖》がより高まっており、自粛が促進されていた。

一方で、市村ら(2014)^[6]は批判を受けるかもしれないという不安を感じることで無力感や怒りなどを感じていた、と述べており、自粛の促進のために批判される恐怖を煽ることは、自粛の促進ではなく無力感や怒りなどの他の問題を引き起こしかねず、実施にはさらなる検討が必要である。

5.3 〈周囲の気遣い・サポート〉〈自粛をサポートするツール〉による自粛の実現可能性の検討

本研究では大学生・大学院生が新型コロナウイルス感染予防のための自粛を開始するプロセスの中で、自粛の実現可能性の検討が行われていた。《自粛の検討》をする際に〈周囲の気遣い・サポート〉〈自粛をサポートするツール〉の有無が自粛の実現可能性を左右しており、自粛という意思決定に影響を与えていた。〈周囲の気遣い・サポート〉〈自粛をサポートするツール〉の中には家族や友人による物資の供給や体調の共有といった、心理的・物質的双方のサポートや、家族をあげての自粛への取り組み(スーパーに行かずにネット通販を利用するなど)、オンラインコミュニケーション手段の確保や家での運動に取り組む環境などが含まれていた。

この自粛の実現可能性の検討の要因を紐解くと、計画的行動理論(Theory of Planned Behavior : TPB)^[4]の理論に当てはまる現象が起きていることがわかる。計画的行動理論では行動意図が行動の最も重要な決定要因であり、その行動意図に影響を与える要因が、行動への態度、主観的規範、行動コントロール感の3つである。これらを整理するため計画的行動理論と本プロセスでの具体例を図2に示す。



図2：計画的行動理論と本プロセスでの具体例

＜周囲の気遣い・サポート＞は行動のきっかけ・主観的規範となり、家族が自分を心配してサポートしてくれる、という実感から周囲のサポートに応えようという想いが生まれていた。また、周囲の人の行動自粛も自身が自粛を開始する際の後押しになっており、周囲の友人の変化と自分の状況を相対的に評価して、実現可能性の検討をしていた。

また、＜自粛をサポートするツール＞としてオンラインコミュニケーション手段の確保や家での運動に取り組む環境があることによって、自分が新型コロナウイルスが流行する状況の中で自粛という行動をうまく遂行できるという、自己効力感・行動コントロール感が高まっていた。自粛を開始しても変わらずコミュニケーションが取れる・運動ができる、という安心感によって、自粛の開始、という最後の選択をすることができたと考えられる。

本研究では、＜周囲の気遣い・サポート＞＜自粛をサポートするツール＞があればあるほど自粛の開始に至る期間が短い傾向が見られた。これらのことから、自粛を検討する際、自粛の最後の後押しとなるのは、家族や友人の心理的・物質的双方のサポートと自粛を開始した際の生活の充実度であると考えられる。家族や友人が自分を心配してサポートしてくれる、という実感や、zoomやオンラインゲームといったコミュニケーション手段・散歩やフィットネスなどの確保は自粛の最後の手になっている。この理由として、周囲のサポートに応えようという想いや、自粛を開始しても変わらずコミュニケーションが取れる・運動ができる、という安心感があるのではないかと考える。

5.4 本研究の限界

本研究の結果は、5名の大学生・大学院生にインタビューを実施し、新型コロナウイルス感染予防のための自粛を開始するまでを振り返ることで得られたデータに基づくものである。

研究協力者の性別・学年・一人暮らしか実家暮らしか・理系か文系かなどはなるべく均等になるように配慮したが、医学部の学生など通常の大学生・大学院生とは異なる状況に置かれている研究協力者も含まれていた。よって、本研究が全ての事象を正確に把握したものであるとは言い難い。

今回のデータから抽出されなかったディメンションとカテゴリー同士の関連付けは推測で示して

おり、論理的飽和に至っていない。今後、理論的サンプリングを用いたさらなるデータの収集が必要である。

しかしながら、新型コロナウイルスの感染が拡大して間もない現在において、本研究においてカテゴリーを抽出し、現象の構造とプロセスを把握できたことは、今後の研究の糧となるのではないかと考える。

6 結論

本研究の結論として、プロセスを循環し自粛の検討へと進むにつれ、新型コロナウイルスの罹患性と重大性の認知、自粛の利益と自己効力感が高まることがわかった。そして、自粛の開始の障害は自粛の利益および自己効力感によって軽減される可能性が示唆された。批判される恐怖心を煽るのではなく、「大切な人を守ることができる」といった自粛の利益と、ツールによって自粛をうまく遂行できるという自己効力感を高めることで行動変容が促進されると考えられる。また、自粛という行動は新型コロナウイルスに関する正しい知識はもちろん、サポートしてくれる家族などの身近な存在および自分の身近で異変が起きた経験があることで促進される可能性が示された。

7 謝辞

大学2年生から2年半に渡りご指導いただいた秋山美紀先生・内山映子先生に、この場を借りて心より感謝申し上げます。

8 参考文献

- [1] 「首都圏以外も感染拡大、大阪・愛知・福岡、最多を更新、医療逼迫、懸念一段と。」、『日本経済新聞』,2020/07/23,朝刊,p.3(日経テレコン 最終閲覧日：2020/7/25)
- [2] 「感染、20代以下が急増、海外旅行から帰国・帰省先で…、危機意識に甘さ。」、『日本経済新聞』,2020/04/04,朝刊,p.33(日経テレコン 最終閲覧日：2020/7/25)
- [3] 戈木クレイグヒル滋子(2016)『グラウンデッド・セオリー・アプローチ 改訂版』,新曜社.
- [4] Barbara K. Rimer, Karen Glanz 著 今井博久 翻訳 (2008) 『一目でわかるヘルスプロモーション:理論と実践ガイドブック:日本語版』,国立保健医療科学院.
- [5] 碓井真史(2009)「新型インフルエンザ(H1N1)のリスク関連行動に及ぼすプロトタイプ・イメージと不安の影響」,新潟青陵大学大学院臨床心理学研究, 3, 31-36.
- [6] Ichimura, Miho et al. (2014)The Relation Between Psychological Conditions and Mental Health on the Physicians Working in Prehospital Care,日本救急医学会雑誌25.4: 141-151

表面筋電図及び慣性センサーを用いた マニキュア塗布動作スキルの可視化

春本理沙^{1*} 牛山潤一^{2**}

¹慶應義塾大学 環境情報学部 4年

²慶應義塾大学 環境情報学部

*t17680rh@sfc.keio.ac.jp, **ushiyama@sfc.keio.ac.jp

要旨

マニキュア塗布動作には、繊細さと絶妙な力加減が求められ、運動制御の差異はできばえに直結する。本研究では、洗練したマニキュア塗布を実現するための運動制御戦略を明らかにすることを目的に、マニキュア歴の異なる男女のマニキュア塗布動作中の筋電図及び関節角度を計測した。低負荷作業の筋電図解析に適するとされているAPDF解析をおこなった結果、女性は男性よりも、上腕三頭筋の筋活動量が大きく、かつその変動も大きかった。このことから、マニキュア歴の長い女性の方が、肘の伸展運動をマニキュア塗布動作に用いる傾向があることが示唆された。今後は、関節角度のデータ解析をおこない、身体内部の筋活動データと動作のキネマティクスデータを対応づけることで、マニキュア塗布スキルに関するより詳細な考察をおこなっていくとともに、プロなどの熟練者との比較もおこなっていく予定である。

キーワード: 化粧動作、運動制御、筋電図、関節角度

1 背景

化粧は、身だしなみのひとつとして我々の日常生活に重要な役割を果たしている。近年では、男性向け化粧品も増え、女性だけでなく男性にも化粧行為が浸透しつつある。化粧は、単に皮膚に健やかさや、外観上の効用をもたらすだけではない。化粧をすることにより、気分の高揚、リラクゼーション、安心などの心理的变化、積極性が向上する主観的心理効果がみられるとされている(北川かほら, 2007)。しかし、この化粧後の心理的变化は、仕上がり具合によって大きく左右されるだろう。そのため、化粧によるプラスの心理的变化をより多く得るためには、化粧動作スキルを修練することが必要である。そこで本研究では、化粧動作スキルの向上法の提案にむけた第一歩として、経験値による化粧動作の差異を、生理学的指標を用いて定量的に評価することとした。

執筆者は、初めて化粧をしたとき、化粧動作には複雑で独特な動きが多いがゆえに、それを習得する難しさを感じていた。洗練された化粧動作というのは、日常的に化粧をおこなっている者のみが、日々の経験の積み重ねによって身につけることができる。プロとアマチュアを比較した先行研究として、ジャズピアニストの打鍵を定量的に評価した研究がある(Nagano et al., 2016)。プロはアマチュアに比べ、打鍵時の力が大きく、打鍵前後の力の差も大きかったことから、音楽をうまく演奏するためには瞬間的な脱力が必要な可能性があると報告されている。同様に、化粧動作においてもスキルの習得には

力のコントロールが重要になるのではないかと考えた。

本研究では、単純な化粧動作のひとつであるマニキュア塗布動作に着目し、繊細な動きと絶妙な力加減を実現するマニキュア塗布動作の運動制御戦略を、塗布動作時の筋電図データと手・肘・肩の各関節角度の変化から明らかにすることを目的とした。

2 方法

2.1 被験者

実験は、若齢健常男女14名(年齢, 21.0 ± 0.7 歳; 女性, 7名)を対象におこなった。マニキュア歴は、女性が 11.0 ± 6.0 年、男性が 0.3 ± 0.7 年であった。

2.2 手順

まず、実験の前段階として、被験者の最大随意収縮(Maximal Voluntary Contraction, MVC)時の表面筋電図量を7つの筋からそれぞれ計測した。

つづいて、本実験課題として、利き手でマニキュアを持ち、非利き手の母指に一定のリズムで塗布してもらおうという課題であった。被験者には、準備試行として、自由にマニキュアを塗布してもらい、その塗布スピードの平均値をもとに、メトロノーム音を作成した。本試行では、この音に合わせて塗布をおこなった。爪の甘皮部分から爪先までの塗布を1ストロークとし、爪全体を5ストロークで塗布するよう指示した。これを1試行とし、計5試行おこなった。

2.3 計測

被験者の利き手の短母指屈筋・第一背側骨間筋・総指伸筋・浅指屈筋・上腕二頭筋・上腕三頭筋・三角筋中部から表面筋電図を導出した(図1)。筋電図は、増幅率1000倍、Low-passフィルタ及びHigh-passフィルタのカットオフ周波数はそれぞれ1000Hzと5Hzであった。また、手首・肘・肩の関節角度について慣性センサーを用いて計測した。これらの計測には、ワイヤレス筋電・動作計測システム(COMETA Systems、イタリア)を使用した。

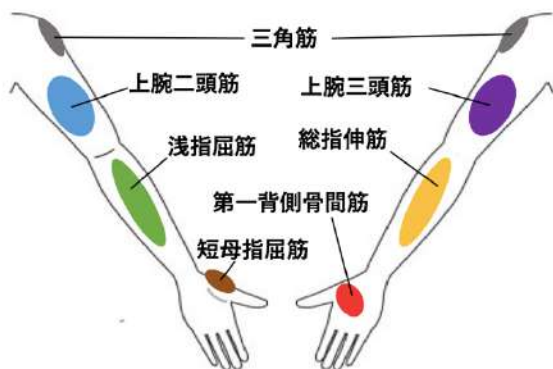


図1：筋電図の計測部位

マニキュア塗布動作において、筋負担が高いと予想される7つの筋から筋電図を導出した。

2.4 解析方法

データ解析のためのプログラムは、プログラミング言語MATLABを用いて自作した。筋電図データの前処理として、環境周波数を除去するため50Hzのバンドストップフィルタ処理をおこなったのち、全波整流をおこない絶対値化した。つぎに、メトロノーム音を基準に、マニキュアが爪の甘皮部分に触れてから爪先に到達するまでを1塗布サイクルとして、1試行につき5塗布サイクルを取り出した。各塗布サイクルのデータ長を揃えるため、それぞれを1500データポイントにリサンプリングした。

本実験では、筋電図を用いた作業分析法として、振幅確率密度関数(Amplitude Probability Distribution Function, APDF)解析法を用い、塗布動作を定量的に評価した。APDF解析では、作業中にどの程度の確率でどの程度の筋力が発揮されているかという観点から解析することができる(富岡慶, 2001)。APDFの算出には、各被験者、筋ごとに%MVC化した筋電図を使用した。次に、各試行において1%MVCごとにその値以下となるデータ数をカウントし、これを全データ数で除した値を各%MVCにおける出現確率[P]とした。なお、この[P]の値は0-1で表記された。

Jonssonは、APDF解析において、出現確率 $[P]=0.5$ における%MVC値を、その動作における平均的な作業強度を表すものとしており、本実験では、その値を「平均的負荷レベル」として、統計解析に用いた。さらに、 $[P]=0.1$ と $[P]=0.9$ となる点を求め、その2

点を繋ぐ直線の傾きを算出した。この「傾き」を筋活動の変動の大きさを表す指標として、評価に用いた。

3 結果

3.1 APDFの男女比較

マニキュア塗布動作中に計測した筋電図をAPDF解析した一例を図2及び図3に示す。横軸は、筋活動量、縦軸は出現確率を表す。ある女性被験者では、手指や手関節、肩関節周りの筋群の活動が小さいのに対し、肘関節の伸展に寄与する上腕三頭筋の筋活動量が大きく、またグラフはゆるやかな右肩上がりであった(図2)。それに対し、ある男性被験者では、体幹に近い近位筋の活動は小さいのに対して、短母指屈筋と総指伸筋の筋活動量が比較的大きく、かつグラフの傾きが非常にゆるやかであった(図3)。

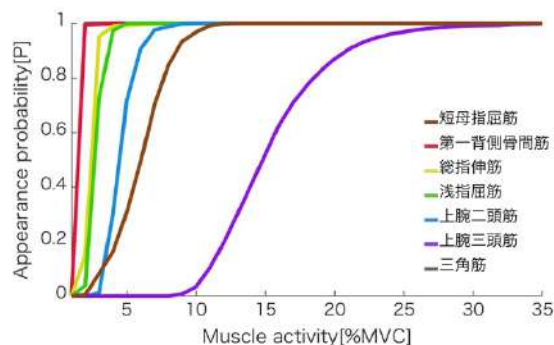


図2：女性の筋電図のAPDF解析結果

ある女性被験者がマニキュアを塗布しているときの5試行の平均のAPDF結果を示す。上腕三頭筋における筋活動量が大きいことがわかる。

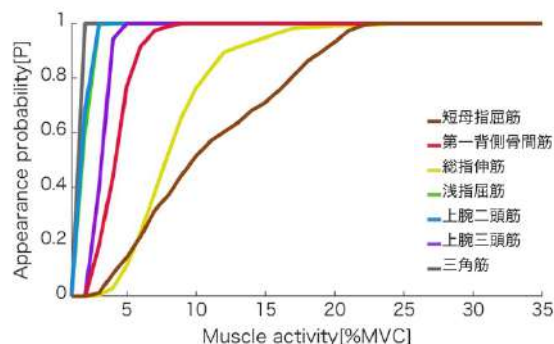


図3：男性の筋電図のAPDF解析結果

ある男性被験者がマニキュアを塗布しているときの5試行の平均のAPDF結果を示す。短母指屈筋・総指伸筋における活動量が大きく、また筋活動の変動が大きいことがわかる。

図2、3の被験者のAPDF解析結果を比較すると、特に上腕三頭筋で、筋活動量や傾きに大きな違いがみられる。そこで、それぞれの上腕三頭筋の1塗布サイクルの筋電図波形を図4に示した。横軸は時間(1塗布サイクルを100%とし、その到達度で記載)、縦軸は筋活動量(%MVCで記載)である。図4より、女性は、10%MVC~20%MVCの幅でグラフが揺らいでお

り、サイクル間のグラフのばらつきも大きい。それに対し、男性は3%MVC付近で、ほぼ一定の筋発揮であり、サイクル間のグラフのばらつきも非常に小さいことがわかる。

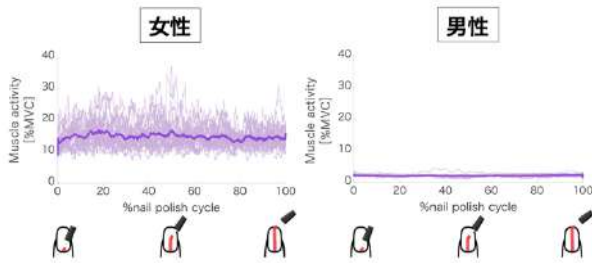


図4：男女各1名の上腕三頭筋における1塗布サイクルの筋電図
左が女性、右が男性の上腕三頭筋の筋電図波形である。細線は、25塗布サイクル（5ストローク×5試行）それぞれの波形を、太線はそれらを加算平均したものである。

3.2 平均的負荷レベル

図5は、女性群・男性群それぞれにおける平均的負荷レベルのグループデータである。被験筋7筋の男女差を比較したところ、上腕三頭筋で、女性の方が大きいという有意傾向があった(女性, $6.26 \pm 3.15\%MVC$; 男性, $3.08 \pm 1.43\%MVC$; $t=2.20$, $p=0.050$)。この結果は、男性よりも女性の方が、上腕三頭筋の筋活動量が大きい傾向にあったことを示す。

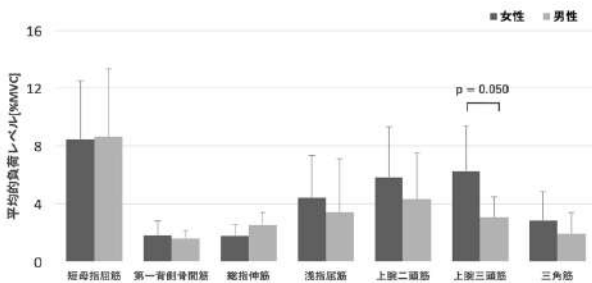


図5：男女における平均的負荷レベルの比較
男女別に平均した平均的負荷レベルの比較を示すグラフである。濃い棒グラフが女性、薄い棒グラフが男性を表す。上腕三頭筋で、女性の方が有意に大きい傾向がみられた。

3.3 曲線の傾き

図6は、女性群・男性群それぞれにおけるAPDFの回帰直線の傾きに関するグループデータである。被験筋7筋の男女差を比較したところ、上腕三頭筋で、女性の方が有意に小さかった(女性, 0.29 ± 0.10 ; 男性, 0.54 ± 0.20 ; $t=-2.62$, $p=0.024$)。この結果は、男性よりも女性の方が、筋活動の変動が大きかったことを示す。

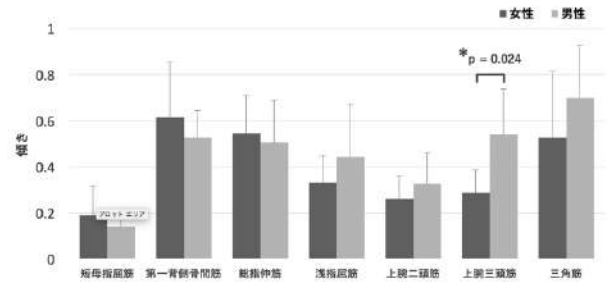


図6：男女における回帰直線の傾きの比較
男女別に平均した傾きの比較を示すグラフである。濃い棒グラフが女性、薄い棒グラフが男性を表す。上腕三頭筋で、女性の方が有意に小さかった。

4 考察

本研究では、洗練したマニキュア塗布動作を実現するための運動制御戦略を、筋電図及び関節角度のデータから理解することを試みた。関節角度については、今後解析を進めていくため、本論文では、筋電図の結果についてのみ述べた。

マニキュア塗布動作中の筋電図をAPDF解析した結果、平均的負荷レベルと傾きという2つの指標において、男女間で差がみられた。計測した7つの筋のうち、差がみられたのは、どちらの指標も上腕三頭筋のみであり、女性の方が男性よりも、平均的負荷レベルは大きく、傾きは小さかった。これは、上腕三頭筋で、塗布動作中の活動量が大きく、かつ筋活動の変動も大きいということを意味している。この結果から、女性は、上腕三頭筋の活動を肘関節の固定のために利用していたというよりは、上腕三頭筋の収縮と弛緩のコントラストをつけることで、肘関節をダイナミックに伸展させながら塗布動作を生み出していたと推測できる。マニキュア塗布動作は、はけを爪の甘皮部分から爪先まで運ぶというほんのわずかな移動動作であるにもかかわらず、女性が前腕を大きく動かして塗布していたということは、その動作が塗りムラを減らしたり、はげや力のコントロールを正確にしたりするための戦略であったと考えることができるだろう。女性の方が男性よりも、マニキュア歴が長く、塗布経験が豊富であったことから、肘のダイナミックな動きは、過去の経験によって自然と身体に身についたマニキュア塗布動作スキルのひとつなのかもしれない。

5 今後の展望

今後の展望は、主にふたつある。

ひとつめは、関節角度データの解析である。これまで述べた筋電図のデータのみでは繊細なマニキュア塗布動作の特徴を明らかにしようとすると限界がある。なぜなら、筋活動は、身体内部の運動制御を理解するための指標としては適しているが、その筋活動がどのような動作を生み出すためのものなのかまでは明らかにできないからである。今後、

関節角度データを解析していけば、本実験で得られたような筋活動パターンの差異の機能的意義について、理解が深まっていくであろう。今回筋活動の差異が観察された肘関節の動きはもちろんのこと、これが近位の肩関節、遠位の手関節の運動にどのように影響するかについて検討することも、非常に興味深い。

ふたつめは、熟練者からのデータ収集である。本論文では男女差に焦点を当てたが、当然のことながら、本来はマニキュア塗布の塗布スキルで群分けすることが望ましい。しかし、本実験に参加した被験者のうち、相応の化粧経験があると回答した7名のうち6名は、最後の経験からかなりの時間が経過しており、熟練者とは言いがたかった。現に、試行間で仕上がり具合にばらつきが生じてしまっており、経験者として求めていた技能レベルに達していなかったと言わざるを得ない。そのため、あくまでも化粧経験の年数のみに着目し、男女間比較を行った。今後は、最近も日常的にマニキュア塗布をおこなっている人やプロのデータを取得し、男女差にとらわれず、経験値での比較や、SD法を用いた被験者本人による主観的印象評価との相関関係を検討していきたい。

こうした知見を蓄積していき、最終的には、誰もが容易に高い化粧スキルを獲得できるようなツールの開発につなげることが目標である。それによって、化粧で日々の生活をより華やかなものにできるのではないかと考えている。

6 謝辞

本研究は、慶應 SFC 学会による『研究助成金 (Covid-19 助成)』の支援のもとに執り行われました。経済的な援助をしてくださった慶應 SFC 学会に深く感謝申し上げます。

本研究を遂行するにあたり、適切な助言を賜った仲谷正史先生と森将輝先生にもこの場を借りて感謝申し上げます。

また進んで被験者を務めてくれた牛山研究室と仲谷研究室のメンバー、遅くまで実験や解析に付き合ってくれた那珂朱理さんにも厚く御礼を申し上げます、感謝の意を表します。

7 参考文献

阿部恒之, 高野ルリ子 (2011) 「化粧と感情の心理学的研究概観」, 『においかおり環境学会誌』, 42 (5).

Jonsson, B. (1982) Measurements and Evaluation of Local Muscular Strain in the Shoulder During Constrained Work. *J. Human Ergol.* 11,73-88.

Jonsson B, Persson J, Kilbom A. (1988) Disorders of the cervicobrach- ial region among female workers in the electronic industry: a two- year follow up. *Int J*

Ind Ergon,3:1-12.

加藤由有, 小松美砂, 濱畑章子 (2005) 「老人保健施設で化粧療法を受けた高齢女性の化粧への考えと感情の変化」, 『看護技術』, 51 (10):905-90. 北川かほる, 人見裕江, 井上仁, 石原千絵子, 花木啓一 (2007) 「メーキャップによる生理・心理的応」, 『米子医誌』, 58:121-128.

Nagano D, Nakatani M, Minamizawa K, Tachi S, Member, IEEE. (2016) It Don't Mean a Thing If It Ain't Got That Swing: Quantitative Analysis of Haptic Stroke between Professional and Amateur Jazz Pianists. *Haptics Symposium.*

岡田明大 (1999) 「スキンケア化粧品の快い使い心地感が心拍変動性と脳波へ及ぼす影響」, 『日本生理人類学会誌』, 4 (3):147-153.

富岡慶 (2001) 「筋電図のAPDF解析を用いた製品開発・評価手法の検討」, 『東芝レビュー』, 56 (6).

聴覚想起時の神経律動及び想起音の神経表象

坂本嵩^{1*} 青山敦^{2**}

¹慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科

²慶應義塾大学 環境情報学部

*ssakamoto21@keio.jp, **aaoyama@sfc.keio.ac.jp

要旨

聴覚想起とは、頭の中で音を思い浮かべる認知タスクである。この神経基盤として聴覚処理、デフォルト・モード・ネットワーク (DMN) の抑制、記憶処理の三つが知られているが、記憶処理のみに関して電気生理的な理解が進んでいない。また、想起ピッチの神経表象についても理解が浅い。そこで我々は聴覚処理の記憶処理プロセス及び想起ピッチに関する神経律動を明らかにするため本研究を行った。基準音よりも一オクターブ上もしくは下の音を想起した際の脳波を計測した結果、想起ピッチの文脈に関しては右前頭部及び右側頭部での γ パワーが、内容に関しては同部位間の δ 位相同期が関連していることが明らかになった。前者は聴覚想起に必要とされる心的操作や記憶想起、後者は記憶想起やDMNの抑制への関連が示唆された。また、想起ピッチの神経表象を明らかにした。これらの結果は、聴覚想起の神経基盤のさらなる理解、及び音楽Brain-Computer Interfaceの実現に向けた重要な一歩となった。

キーワード: 聴覚想起、神経律動、Brain-Computer Interface、音楽

1 背景

1.1 本研究の着想

近年、Brain-Computer Interface (BCI) が目覚ましい勢いで発展を遂げている。BCIとは、脳とコンピューターをつなぐ仕組みであり、この技術を用いれば「念じる」だけで車椅子を動かしたり文字を入力することが可能となる。このBCIの基礎研究として取り上げられる脳機能は、運動想起、視覚フィードバックの二つが多い (Lotte et al., 2007)。聴覚機能に着目したものは少数であり、特に「念じるだけで演奏できる」という、いわば音楽BCIは研究が進んでいない。ここに着目した著者は、聴覚想起時の脳波を解読する研究を行い、そのデコーディング技術の解明に寄与した (Sakamoto et al., 2019)。しかし、この研究ではアルゴリズムの性能に着目したため、聴覚想起時の詳細な脳機能、つまりエンコーディングに迫ることはできなかった。本研究は、この問題を解決するために立ち上げられたものである。

1.2 聴覚想起の神経基盤

これまでの研究から、聴覚想起には①聴覚関連部位における聴覚処理②頭頂部位・運動関連部位におけるデフォルト・モード・ネットワーク (DMN) の抑制③前頭部位における記憶想起の三つのプロセスが関連することが明らかになっている。

古くより、聴覚想起時には二次聴覚野を含む上側頭回が賦活することが知られている (Zatorre et al., 1996)。また、この際のニューロンの活動に目を向けると、側頭部における時間周波数受容野が聴覚想起時と知覚時の間で類似することも報告されている (Martin et al., 2017)。

頭頂間溝、及び補足運動野や運動前野の活動も様々な研究で報告されている (Halpern et al., 2004; Zatorre et al., 2010)。頭頂間溝の活動に関しては視覚想起においてもみられており、モダリティに依らない活動、特にDMNの抑制を反映していると考えられている (Daselaar et al., 2010)。運動野におけるニューロンの発火パターンに着目すると、左聴覚野と左運動野が θ リズム (3-8 Hz) の律動で同期することが報告されている (Gelding et al., 2019)。

更に、前頭部の重要性も多くの研究で示唆されており (Zhang et al., 2017)、特に右上側頭回と右前頭部の機能的結合が聴覚想起に関連することが報告されている (Herholz et al., 2012)。これらは聴覚想起に関連する記憶想起プロセスを反映していると考えられており (Ding et al., 2019)、他のモダリティにおいても想起タスクと記憶処理の関連性が論じられている (Kosslyn, 2005)。しかし、この際の神経律動、つまりニューロンの電気生理的な活動は明らかになっていない。

1.3 想起音の神経表象

聴覚想起の関わる認知プロセス、及びその神経基盤については上述の通り研究が進んできたが、想起した音の音響的特徴がどのように神経活動に表象されるかについては研究が少ない。ウェルニック野の活動が音色を表現していること (Zhang et al., 2017)、Late Positive Component (LPC) と呼ばれる事象関連電位がピッチを表現していること (Wu et al., 2011) は知られているが、特に後者に関しては脳波の電位差に着目するのみでニューロンの同期的な活動までは迫っていない。

1.4 本研究の目的

以上の背景を踏まえた上で、本研究では①聴覚想起の記憶処理プロセスに関する神経律動を明らかにする②想起音のピッチの神経律動的な表象を明らかにすることを目的とする。

2 方法

2.1 実験手順

実験は図 1に示される実験刺激を用いて行われた。実験協力者は3秒間の基準音 (880 Hzもしくは220 Hz) を聴取し、1.5-2.5秒間のインターバル後に上向きもしくは下向きの矢印によって想起の文脈が呈示された。これが上向きだった場合は基準音より一オクターブ上の、下向きだった場合は一オクターブ下の音を3秒間想起するように指示され、1.5-2.5秒間のインターバル後に次の基準音が流れた。想起した音の文脈及び内容 (周波数) に基づき、880 Hzの一オクターブ上を想起した場合はHigh-1760条件、一オクターブ下を想起した場合はLow-440条件、220 Hzの一オクターブ上を想起した場合はHigh-440条件、一オクターブ下を想起した場合はLow-110条件とした。ここで、High-1760条件とHigh-440条件及びLow-440条件とLow-110条件のペアは文脈が共通し内容が異なること、High-440条件とLow-440条件のペアは内容が共通し文脈が異なる。前者の比較をContent (内容) 比較、後者の比較をContext (文脈) 比較とした。

また、視覚情報が影響を与えている可能性を排除するために行った視覚コントロール実験では、基準音の聴取および想起の指示がなされずに実験協力者は画面を注視した。代わりに、8%の確率でダミー刺激 (*) が画面上に表示され、これが出た場合はなるべく早く応答するように指示がされた。上向きの矢印を見ている条件をVisual-High条件、下向きの矢印を見ている条件をVisual-Low条件とした。

実験開始前に、実験協力者は想起課題を行えるようになるまで練習を起こった。視覚コントロール実験を25トライアル×2ブロック行った後、想起実験を30トライアル×8ブロック行った。ブロック間には任意で休憩が取られた。

2.2 計測

計測は、暗室内において64チャンネルの脳波計 (Brain Products社製 actiCHamp) を用いて行われ、電極配置は国際10-20法に従った。また、眼球運動を測るために右目の上下及び左右の目尻に眼電計が設置された。

計測の対象となった実験協力者は17名 (うち女性7名) の学生で平均年齢は20.8歳だった。また、全員が音楽経験者であり、平均経験年数は10.8年だった。

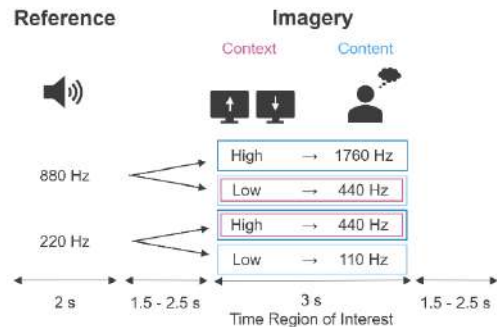


図 1 実験刺激の模式図。基準音を聴取した後、矢印で呈示される文脈に沿って音を想起する。

2.3 解析

本研究では聴覚想起の記憶処理プロセスおよび想起音のピッチに関わる脳活動を調べるため、局所的な神経律動に加え、先行研究で示唆されている左側頭-左頭頂間および右側頭-右前頭間の位相同期度に着目した。その際の周波数帯域は δ (1-4 Hz)、 θ (4-8 Hz)、 α (8-13 Hz)、 β (13-30 Hz)、 γ (30-40 Hz) に区分し、電極は前頭部、中頭部、側頭部、頭頂後頭部に分けられた。

以下の解析は、ICAを中心としたノイズ除去処理がなされた後に行われた。

2.3.2 パワー解析

δ 、 θ 、 α 、 β 、 γ 周波数帯のパワーは、複素モーレーウェーブレット変換によって推定された。この値は刺激呈示後-500 msから0 msのパワー値をベースラインにデシベル変換が行われ、エッジノイズの影響を排除するために0 msから3000 msのパワー値 (dB) が切り出された。

統計解析には周波数帯ごとに三要因反復測定分散分析 (条件×電極部位×半球) が用いられた。Mauchlyの検定により球面性が仮定できないとされた場合はGreenhouse-Geisserの補正が行われた。事後検定にはScheffeの方法が用いられた。

2.3.3 位相同期解析

位相同期度の指標として、Inter-Site Phase Coherence across time (ISPC-time) が左側頭-頭頂部間及び右前頭-側頭部間で推定された。容積電導ノイズの影響を軽減するためにラプラシアンフィルタがかけられたのち、パワー解析と同様のマザーウェーブレットを用いて位相が推定された。刺激呈示後0 msから3000 msのISPCが切り出されたのち、ベースライン (-500 msから0 ms) の平均が引かれたものが位相同期度として用いられた。

統計解析にはcluster-basedのノンパラメトリックな多重比較が用いられた。帰無仮説の分布作成のための無作為化は1000回行われ、二つの電極部位間のすべての組み合わせについて推定された位相同期度が平均化された時間周波数マップについて検定が行われた。

3 結果

3.1 パワー解析

Content比較については、High-1760条件とHigh-440条件間の γ パワーに有意傾向のある主効果 ($F(1,16) = 3.5002, p = 0.0798$) が見られた (図 2、図 3)。また、 α パワーについてLow条件と電極部位に有意傾向のある交互作用 ($F(3,48) = 2.755, p = 0.0526$) があつたものの、事後検定では有意差が見られなかった。

Context比較については、High-440条件とLow-440条件間の γ パワーに有意な主効果 ($F(1,16) = 5.38, p = 0.0339$) が見られた (図 2、図 3)。同じく γ パワーについて条件と電極部位に有意な交互作用 ($F(1,97,31.54) = 5.509, p = 0.0091$) が見られ、事後検定では前頭部 ($F(1,16) = 10.5188, p = 0.0051$) と側頭部 ($F(1,16) = 5.4831, p = 0.0325$) に有意差が見られた (図 4)。また、条件と電極半球に有意傾向のある交互作用 ($F(1,16) = 3.205, p = 0.0924$) が見られ、事後検定では左半球 ($F(1,16) = 7.3370, p = 0.0155$) で有意差が、右半球 ($F(1,16) = 3.1949, p = 0.0928$) で有意傾向が見られた。

Visual条件の比較では有意差が見られなかった。

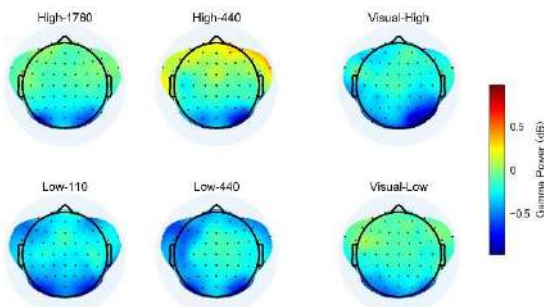


図 2 各条件における全電極の γ パワー。

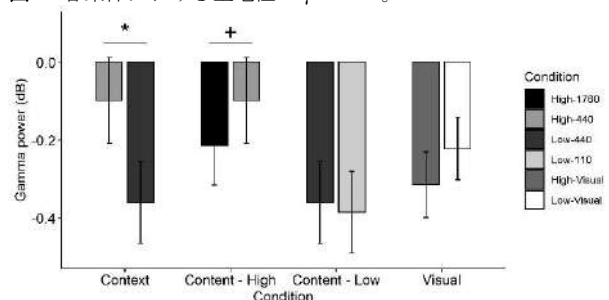


図 3 各条件における γ パワー。*は $p < .05$ を、+は $p < .1$ を示す。

3.2 位相同期解析

Content比較については、Low-440条件とLow-110条件間の右側頭-前頭部における δ 位相同期が有意なクラスターを示した ($p = 0.02$) (図 5)。ほかの条件および部位間では有意なクラスターは認められなかった。

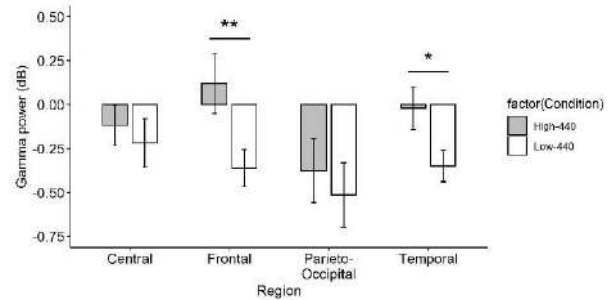


図 4 各部位における High-440 条件と Low-440 条件間の γ パワー。*は $p < .05$ を、**は $p < .01$ を示す。

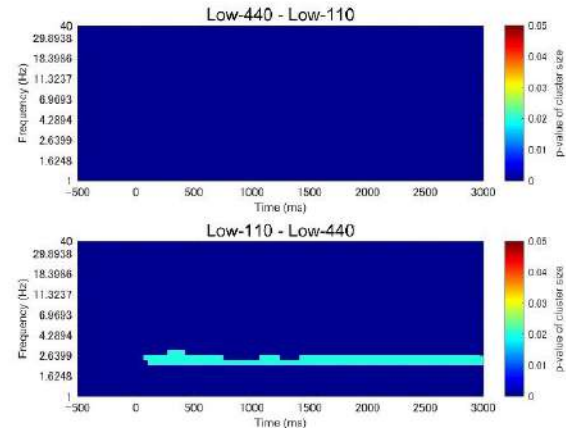


図 5 Low-440 条件と Low-110 条件間における位相同期度の時間周波数マップ。0-3000 ms において δ 帯域における位相同期度が Low-110 条件で有意に大きいことが分かる。

4 考察

4.1 右側頭-前頭部における結合と δ 位相同期

Herholz et al., (2012) では、右側頭-前頭部の機能的結合が聴覚想起時の記憶処理を反映しているとされており、他の多くの研究でも聴覚想起における記憶処理の役割が議論されている (Ding et al., 2019; Zatorre et al., 1996)。本研究は、想起音の内容が同部位間の δ 結合に反映されていることが明らかになった。聴覚想起時の記憶処理に関する神経律動を報告した研究は確認されておらず、本研究はこの点に対して重要な示唆を与えたといえる。また、 δ 律動には算術課題やワーキングメモリー課題などの認知タスクにおいて関連しない脳活動を抑制する役割があることが報告されている (Harmony, 2013)。聴覚想起にはDMNの抑制が深く関連しており (Daselaar et al., 2010)、このネットワークは頭頂間溝などの部位に加え側頭や前頭の部位によって構成されているため、本研究の結果はDMN抑制を反映している可能性も考えられる。

4.2 想起音の文脈と γ パワー

γ パワーは脳において多様な役割を担っており、主に注意や記憶など高次な認知プロセスに関わっているとされている (Jensen et al., 2007)。視覚的なオブジェクトの心的操作に γ 律動が深く関わっているという報告 (Kawasaki & Watanabe, 2007) や、聴覚想起時には側頭部の γ パワーが増加したのちに前頭

部の γ パワーが増加したという報告 (Ding et al., 2019) もあり、 γ 律動は知覚におけるボトムアップ処理と対照的な想起特有のトップダウン処理を反映している可能性がある。また、聴覚想起において心的操作は重要な役割を果たしており (Zatorre et al., 2010)、特に本実験における想起音の文脈は基準音に対する心的操作であるという一面もある。ここから、本研究において見られた γ パワーは聴覚想起に関わる心的操作を反映していることが示唆される。また、Kaiser et al., (2003) で聴覚情報の短期記憶が前頭部及び側頭部の γ パワーを増加させてことが報告されているように、本結果は聴覚想起の記憶処理プロセスを反映している可能性もある。

4.3 今後の展望

本研究の限界として、Bucknell Auditory Imagery Scale (BAIT) (Halpern, 2015) などを用いた聴覚想起タスクの正確性を定量的に評価できていない点があげられる。しかし、実験が始まる前に十分な練習期間を設けている上に、高いパフォーマンスや BAITスコアを引き出すことができる Pitch Imagery Arrow Task (Gelding et al., 2015) に基づき実験刺激を作成しているため、定量化こそされていないものの被験者は高い正確性でタスクを遂行できたと考えられる。

また、本研究の発展として、右側頭-前頭部の γ 律動に着目した、パワー相関やPhase Amplitude Coupling といった結合性解析を行う必要がある。この部位間に着目すれば聴覚想起の記憶処理プロセス及び DMN抑制プロセスについてより深い知見が得られることが期待される。

5 謝辞

SFC学会、山岸学生支援プロジェクトには本研究を遂行するのに必要な金銭的援助をいただいた。

6 参考文献

- Daselaar, S. M., Porat, Y., Huijbers, W., & Pennartz, C. M. A. (2010). Modality-specific and modality-independent components of the human imagery system. *NeuroImage*, 52(2), 677–685.
- Ding, Y., Zhang, Y., Zhou, W., Ling, Z., Huang, J., Hong, X. B., & Wang, X. X. (2019). Neural Correlates of Music Listening and Recall in the Human Brain. *Journal of Neuroscience*, 39(41), 8112–8123.
- Gelding, R. W., Thompson, W. F., & Johnson, B. W. (2015). The pitch imagery arrow task: Effects of musical training, vividness, and mental control. *PLoS ONE*, 10(3), 1–20.
- Gelding, R. W., Thompson, W. F., & Johnson, B. W. (2019). Musical imagery depends upon coordination of auditory and sensorimotor brain activity. *Scientific Reports*, 9(1), 1–13.
- Halpern, A. R. (2015). Differences in auditory imagery self-report predict neural and behavioral outcomes. *Psychomusicology: Music, Mind, and Brain*, 25(1), 37–47.
- Halpern, A. R., Zatorre, R. J., Bouffard, M., & Johnson, J. A. (2004). Behavioral and neural correlates of perceived and imagined musical timbre. *Neuropsychologia*, 42(9), 1281–1292.
- Harmony, T. (2013). The functional significance of delta oscillations in cognitive processing. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 7(DEC), 1–10.
- Herholz, S. C., Halpern, A. R., & Zatorre, R. J. (2012). Neuronal correlates of perception, imagery, and memory for familiar tunes. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 24(6), 1382–1397.
- Jensen, O., Kaiser, J., & Lachaux, J. P. (2007). Human gamma-frequency oscillations associated with attention and memory. In *Trends in Neurosciences* (Vol. 30, Issue 7, pp. 317–324). Elsevier Current Trends.
- Kaiser, J., Ripper, B., Birbaumer, N., & Lutzenberger, W. (2003). Dynamics of gamma-band activity in human magnetoencephalogram during auditory pattern working memory. *NeuroImage*, 20(2), 816–827.
- Kawasaki, M., & Watanabe, M. (2007). Oscillatory gamma and theta activity during repeated mental manipulations of a visual image. *Neuroscience Letters*, 422(2), 141–145.
- Kosslyn, S. M. (2005). Mental images and the brain. *Cognitive Neuropsychology*, 22(3–4), 333–347.
- Lotte, F., Congedo, M., Lécuyer, A., Lamarche, F., & Arnaldi, B. (2007). A review of classification algorithms for EEG-based brain-computer interfaces. *Journal of Neural Engineering*, 4(2), 1–13.
- Martin, S., Mikutta, C., Leonard, M. K., Hungate, D., Koelsch, S., Shamma, S., Chang, E. F., Millán, J. del R., Knight, R. T., & Pasley, B. N. (2017). Neural Encoding of Auditory Features during Music Perception and Imagery. *Cerebral Cortex*, 28(January 2018), 1–12.
- Sakamoto, S., Kobayashi, A., Matsushita, K., Shimizu, R., & Aoyama, A. (2019). Decoding Relative Pitch Imagery Using Functional Connectivity: An Electroencephalographic Study. *IEEE 1st Global Conference on Life Sciences and Technologies (LifeTech 2019)*, 48–49.
- Wu, J., Yu, Z., Mai, X., Wei, J., & Luo, Y. J. (2011). Pitch and loudness information encoded in auditory imagery as revealed by event-related potentials. *Psychophysiology*, 48(3), 415–419.
- Zatorre, R. J., Halpern, A. R., & Bouffard, M. (2010). Mental reversal of imagined melodies: A role for the posterior parietal cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22(4), 775–789.
- Zatorre, R. J., Halpern, A. R., Perry, D. W., Meyer, E., & Evans, A. C. (1996). Hearing in the mind's ear: A PET investigation of musical imagery and perception. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 8(1), 29–46.
- Zhang, Y., Chen, G., Wen, H., Lu, K. H., & Liu, Z. (2017). Musical Imagery Involves Wernicke's Area in Bilateral and Anti-Correlated Network Interactions in Musicians. *Scientific Reports*, 7(1), 1–13.

観光をより魅力的にする 「観光ガイドプラットフォーム」の構築に向けた活動

木村剛徳^{1*} 富田勝^{2**}

¹慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科

²慶應義塾大学 環境情報学部

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

要旨

観光の計画疲れや観光動機のずれにより、観光者が歴史文化施設を巡っても何も得ないで帰ることが多いと考えられる。地域観光ガイドが介在することでその問題は解消し観光に付加価値が生まれるが、あまり利用されていない。そこで、「なぜ観光者は地域観光ガイドを利用しないのか」をテーマにフィールド活動を行った。観光案内所での実践、運営団体の調査、地域観光ガイドの企画等の活動を行った結果、観光者にその存在が知られていないのではないかと仮説を得た。地域観光ガイドに関するアンケートを実施したところ、69%がその存在を知らなかったこと、予約手段やその方法について地域観光ガイドの運営実態と観光者のニーズに乖離があることが判明した。その乖離を埋める手段として地域観光ガイドを手軽に手配できるプラットフォームの構築を提案し、仕組みの概要を示した。今後はプロトタイプ制作やインタビューを通じて課題を抽出し、具体化を図る。

キーワード: 観光、ガイド、プラットフォーム

1 はじめに

筆者は現在、第一生命ホールディングス株式会社に所属しながら、社業を離れ慶應義塾大学先端生命科学研究所(以下、先端研)で社会人大学院生として活動している。そのきっかけとなったのは、先端研と第一生命保険株式会社との間で2018年8月に締結された包括連携協定であった。

先端研は2001年に山形県鶴岡市に新設された研究所であり、マルチオミクス生物学の世界的パイオニアである(富田, 2019)。筆者は文系学部出身であるが、文系・理系の垣根や既存の先端研の枠組みにとらわれない様々な活動を学内外で取り組んでいる。鶴岡をフィールドにした活動の趣旨は「課題が与えられていない中、能動的にコミュニティに関わりフィールド活動等を行うことで地域に溶け込む」、「分野やバックグラウンドにとらわれない様々な活動・取組みを実施する」、「会社や社業の枠組みにとらわれず、鶴岡の活性等に資する取組みを行う」ことである。この趣旨に則りフィールド活動を行う中で、有識者による解説の有無が観光に与える印象に差異を与えるということに問題意識を持ち、より観光が魅力的になるような仕組み作りができないかを活動の軸とした。

2 背景

2.1 観光の現状および課題

観光庁によると日本人国内旅行消費額は20兆円前後で推移しており、旅行は一大産業であると言える。また日本交通公社によると観光・レクリエーシ

ョンを目的とした国民1人あたりの国内平均旅行回数は1.30回であり、観光旅行は人々にとって身近な娯楽の1つであると言える。

一方、旅工房によるアンケート調査では、「旅行の計画は手間がかかる、または難しい」と回答する割合が70.5%にのぼる。その理由として「情報や選択肢が多いため」(66.7%)の回答割合が最も高く、旅行の計画疲れが起きていると指摘している。さらに、日本交通公社によると「行ってみたい旅行タイプ(複数回答)」として「歴史・文化観光」(41.9%)が上位となっている一方で、旅行の動機(複数回答)は「旅先のおいしいものを求めて」(62.4%)や「日常生活から解放されるため」(59.8%)が上位となっており、歴史・文化観光に関わるとされる「知識や教養を深めるため」(19.3%)は相対的に低い。

これらのデータから、「計画を立てるのは面倒」だが、「年1回くらいは旅行に行きたい」という気持ちもあるため、「非日常感が味わえる、つまり居住地周辺にはないものを求めて歴史・文化施設を巡る」が、そもそも「知識や教養を深める」ことが動機となっていないため、何も得ないで、また何も感じないで帰る、というケースも多いのではないかと推察される。歴史・文化施設を巡った際に、観光者が現地の住民から巡った地における背景等を語ってもらったり、気になったことを聞いたりするなど、気軽にコミュニケーションを取ることができれば、観光に付加価値が生まれるのではないかと考えられる。

2.2 地域観光ガイドの現状および課題

観光者と地域住民の接点機能は観光ボランティアガイドとして存在するが、本稿では小林(2003)が定義した、自分たちの地域の歴史文化等を紹介する観光案内活動を実施する市民を指す「地域観光ガイド」の呼称を用いる。

日本観光振興協会によると、同協会が把握する数で1,728組織が存在しており、広く普及した団体であると言える。地域観光ガイドを利用することで、観光者にとってはガイドの人的魅力を通じて観光地の評価を高め(田口他, 2010)、また歴史観光資源が人々の心の中により大きい思い出・印象を残すことになる(須田, 2019)。地域観光ガイドにとっても、交流を通じて地域の理解を深めてもらうのと同時に地域内交流の場、自らの学習の場としての役割も担っている(田口他)ことから、双方にとって意義のある取組みであると言える。

しかし、地域観光ガイドの運営団体である鶴岡市観光ガイド協議会によると、年による増減はあるものの2008年の9,659人をピークに減少し、2017年は1,937人であった。知名度の低さを課題とする団体も多く(千葉他, 2010)、地域観光ガイドはその有用性にもかかわらず利用されていないのではないかと考えられた。先行研究において地域観光ガイドを利用したことがある人を対象にしたアンケート調査は見られるものの、そうでない人を対象にしたものは筆者の調べる限り見当たらなかった。そこで、本活動のテーマを、「観光者はなぜ地域観光ガイドを利用しないのか」とし、これをベースにフィールド活動を行った。

3 方法 (フィールド活動)

「観光者のニーズ」、「地域観光ガイドの運営」、「地域観光ガイドの実践」のそれぞれの観点からアプローチすることで示唆を得るべく、フィールド活動を実施した。

3.1 観光者のニーズ調査

観光者がどのようなニーズを持って鶴岡市に訪れるかを把握するべく、観光振興のかじ取り役として観光戦略を推進する機関である一般社団法人DEGAMツーリズムビューローに協力を仰ぎ、同社が運営する鶴岡市観光案内所(以下、案内所)で計55時間の実践活動を行った。

3.2 地域観光ガイドの運営実態調査

観光者が地域観光ガイドを手配するにあたり、予約受付や地域観光ガイドの引き合わせ等についてどのように運営しているか詳細に把握するべく、鶴岡市観光ガイド協議会へヒアリングを行った。

3.3 地域観光ガイドの実践

観光者等に対して地域観光ガイドを体験してもらい、ニーズや利用意向等のフィードバックを得る

ことを目的に、関東在住者に対する観光ツアーおよび地域住民による地域観光ガイドを企画した。前者は関東在住の社会人20名を対象に鶴岡市内の観光プランを設計した。鶴岡市観光ガイド協議会協力のもと、行程のうち1時間を地域観光ガイドが案内するプランであった。後者は地域観光ガイドの運営団体に所属していない地域住民がその役割を担えるかの検証も含め、まちの活性を進める任意団体のゆらまちっく戦略会議に協力を仰ぎ、鶴岡市西部の由良地域を実践の場とした地域観光ガイドを企画した。移住者交流会実行委員会を立ち上げ、鶴岡市が運営する移住者交流会を起点に集客を行った。主催および集客管理は鶴岡市、企画および運営は筆者他1名の学生が担った。

加えて、鶴岡の食文化を活かした案内ができるガイドを認定する「鶴岡ふうどガイド養成講座」の受講者が地域観光ガイドになり得るかを把握するべく、当講座を受講した。

4 結果 (フィールド活動)

4.1 観光者のニーズ調査

市内マップを提供して欲しいという依頼や観光地までのバス経路の照会等が主であった。一方で、全くプランを持たずに来訪する観光者や、一定の空白時間で見学できる場所を問われることもあった。筆者が案内所で実践する限りにおいて、地域観光ガイドに関する照会はゼロであった。

4.2 地域観光ガイドの運営実態調査

ヒアリングにより、施設側の理解も得ながら親身に観光者へ案内している一方、運営スキームが電話申し込みのみで、都度地域観光ガイドと日程を調整するという手法を採っていたり、高齢化により運営継続が今後難しくなることが懸念されたりするなどの現状であることも判明した。

4.3 地域観光ガイドの実践

新型コロナウイルスの影響により企画はいずれも中止となった。しかし、観光ツアーは事情のあった数名を除き全員が地域観光ガイドの案内プランに同意していた。また地域住民による地域観光ガイド企画においては自らの地域の歴史や文化を語ることでできる者がいることがわかった。参加者も募集の始めで打ち切ったものの、担当者によれば募集上限に達する見込みであるとのことであったことから、一定のニーズがあることが窺えた。

ふうどガイドの受講者はいずれも住み慣れた場所を対外的にアピールしたいという思いを持つ者であり、田口他が指摘する「地域に住む人・地域に愛着や誇りを持つ人が情報を伝えるという点で意義がある」ことから、地域観光ガイドの良き担い手となり得ることが示唆された。

4.4 結果まとめ

地域観光ガイドには一定のニーズがあり、魅力的なコンテンツになり得ることが示唆された。しかし、案内所において地域観光ガイドに関する照会がゼロであったこと、およびふうどガイド等の体系的な情報発信の場がないことなどから、地域観光ガイドの存在が観光者に知られていないのではないかとの仮説を得た。そこで、観光者となり得る一般人を対象にしたアンケートにより、その認知度や利用意向を明らかにするとともに、さらに活用されるための方策を講じることとした。

5 方法（アンケート調査）

地域観光ガイドの認知度や利用するための要件を中心に、表1の項目に関するアンケートを作成、収集した。

表1：アンケート項目

対象	会社員、パート・アルバイト・派遣社員 (n=94)
形式	Google フォームによる Web アンケート
内容	回答者の属性
	地域観光ガイドの認知度
	地域観光ガイドを利用する要件
	地域観光ガイド利用の予約期限
	地域観光ガイド利用にあたり許容できる予約手段

6 結果（アンケート調査）

地域観光ガイドが国内に存在することを知っていた割合は31%にとどまった(図1)。

どうすれば地域観光ガイドを利用しようと思うかについて、「要望に応じたガイドをしてくれる」、「直前でもガイドの手配ができる」、「ガイド予約の手段が豊富」、「値段が安い」の回答が多かった(図2)。

地域観光ガイドを利用する場合に許容できる予約期限を問うたところ、75%が当日から2日前に予約ができることと回答した(図3)。

地域観光ガイド利用にあたり許容できる予約手段を問うたところ、ウェブサイトが最も多く、次いでスマートフォンアプリという結果であった(図4)。

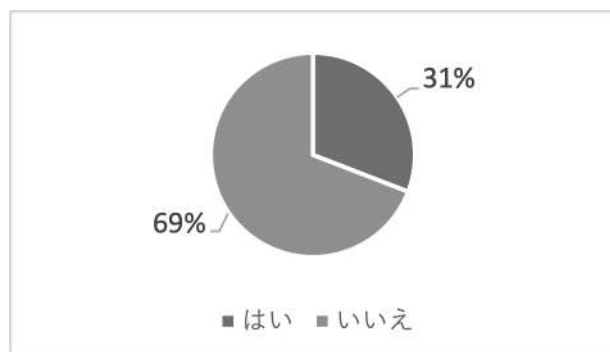


図1：地域観光ガイドの認知度

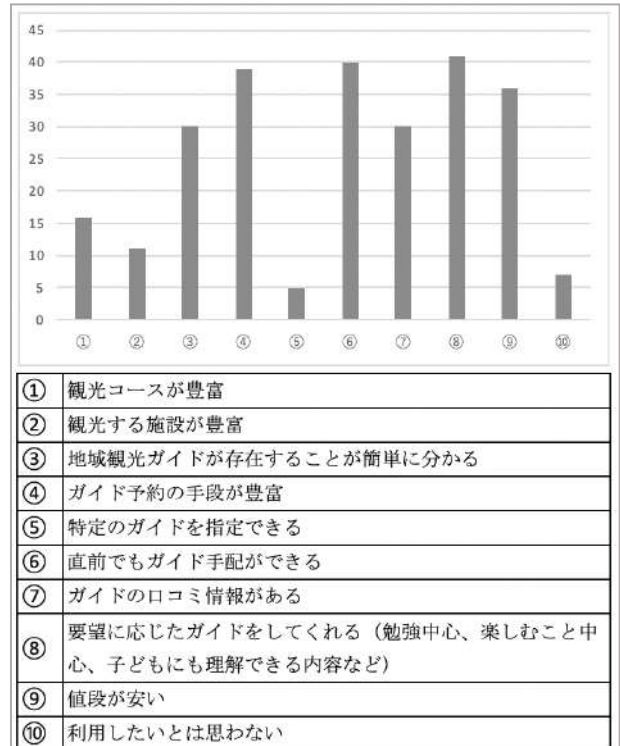


図2：地域観光ガイドを利用する要件

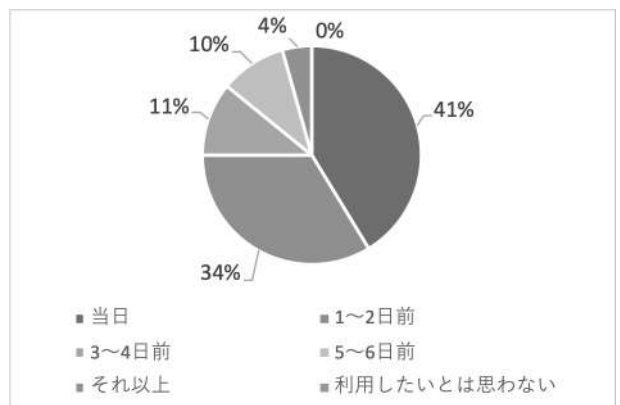


図3：地域観光ガイド利用の予約期限

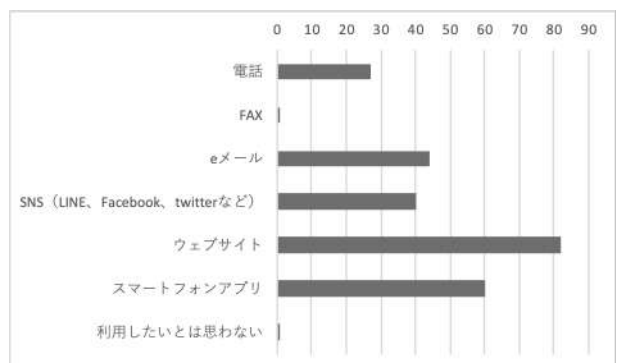


図4：地域観光ガイド利用にあたり許容できる予約手段

7 考察および今後の展開

アンケート結果およびフィールド活動により、観光者と地域観光ガイド運営の間に表2の通り乖離があることが判明した。観光者にとって地域観光ガイドの存在が知られていなかったり、予約手段や期限に一定のニーズが存在していたりする。地域観光ガイドの運営団体である鶴岡市観光ガイド協議会では、1人1人の要望に応じた丁寧な対応を心がけていることも要因であると想定されるが、現状ではニーズを満たしきれない部分も存在する。他方、ゆらまち戦略会議のように、地域を盛り上げたいという思いを持ち、地域の歴史・文化について語ることができるが、観光者が来ないという課題を抱えている地域住民もいる。ふうどガイドは市や旅行代理店等からの斡旋が主であり、活躍の場が限定的になっている可能性がある。

こうした現状を踏まえ、運営団体所属有無にかかわらず、観光者が各観光先の施設等の案内を地域観光ガイドに、より安易に求められるよう、ウェブサイトにおける「地域観光ガイドプラットフォーム」の構築を提案する。

表2：観光者ニーズと運営実態

地域観光ガイド運営の予約締め切りおよび手段は日本観光協会のウェブサイトより94団体を抽出し調査したもの。

	観光者 ニーズ	地域観光ガイド 運営
地域観光ガイドの存在	69%の人が認知していない	知名度不足を課題とする団体が多い
予約締め切り	当日か 1-2 日前に予約したい	1週間前が多い
予約手段	ウェブサイト	電話、次いでFAXが多い

プラットフォームの概要は次の通りである。地域観光ガイドまたはその運営団体が案内できる場所情報を1つまたは複数保持するほか、案内可能な時間を予め登録しておく。図2の結果を踏まえ、多様な観光者ニーズに応えられるよう、自らが得意とする、あるいは可能な案内対応(勉強中心、楽しむこと中心等)を記載するアピール欄を設ける。地域観光ガイドによっては直前の申込みでも案内可能な場合もあるため、地域観光ガイドごとに案内可能時間は個別に設けられるようにする。観光者はウェブサイトを訪れた際に時間や場所を選択し、提示された地域観光ガイドのアピール欄等を参考に特定の地域観光ガイドを選択し、予約手配を行うといった流れである。

仕組み自体は予約システムの1種であると考えられるが、例えば美容院の予約などと異なり、サービスの供給者(=地域観光ガイド)が提供するメニュー(=案内可能な施設)が画一ではないこと、また提供

時間(=案内可能時間)も各人が設定するものである。

本プラットフォームは鶴岡市をフィールドとした活動によって得た提案であるが、他地域も含めより多くの地域観光ガイドまたは運営団体が当該プラットフォームに登録し、全国各地にある施設を網羅できるようになれば利用が拡大するとともに、観光者にとって地域観光ガイドを手配する際の主要な選択肢の1つになり得ると期待される。今後、プラットフォームのプロトタイプ制作等を通じてイメージ化し、鶴岡市観光ガイド協議会をはじめとした観光団体や個人へインタビューを行ったうえで課題点の洗い出し、構造の改善を図っていく。

8 謝辞

本活動にあたりフィールド活動やヒアリングの場を快く提供して下さった鶴岡市の方々に厚く御礼申し上げます。また様々な実践活動が行える環境を提供して下さった慶應義塾大学の富田勝教授、副査として各活動に際し的確なご助言をくださった同大学秋山美紀教授、齋藤藤太郎特任教授に感謝いたします。

9 注

本稿は筆者が発表した地域活性学会第12回研究大会の要旨を再編集して作成したものである。

10 参考文献

- 千葉翔太, 木村一裕, 田口秀男, 日野智(2010)「観光ボランティアガイドの活動状況と課題に関する研究」, 『土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集』, IV-28.
- 観光庁「旅行・観光消費動向調査」, (<https://www.mlit.go.jp/kankocho/siryou/toukei/content/001342441.pdf>), (参照 2020-10-12).
- 小林浩(2013)「地域観光ガイドの活動実態とその意義に関する研究」, 千葉大学大学院教育学研究科修士論文.
- 日本観光振興協会「観光ボランティアガイドとは」, (<https://www.nihon-kankou.or.jp/volunteer/about/>), (参照 2020-05-25).
- 日本交通公社「旅行年報2019」, (<https://www.jtb.or.jp/research/theme/statistics/statistics-tourist/>), (参照 2020-01-15).
- 須田寛, 白坂蕃他(編)(2019)『観光の事典』, 朝倉書店, 339.
- 旅工房「最新! 旅行意識調査」, (<https://www.tabiko-bo.com/company/news/press/2018/06/180605>), (参照 2020-01-15).
- 田口秀男, 木村一裕, 日野智(2010)「観光ボランティアガイドによる対話型情報提供の意義とその評価」, 『土木計画学研究・論文集』, 27, 249-256.
- 富田勝(2019)「鶴岡サイエンスパークの創造と地方創生」, 慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科博士論文.

自動車の運動特性を反映させた 精密な自動車運動数値モデルの構築

秦泉寺悠矢^{1*} 大前学^{1**}

¹慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科
^{*}jzenjoy@sfc.keio.ac.jp, ^{**}omae@sfc.keio.ac.jp

要旨

本活動は、大前研究室が保有する自動運転車シミュレーションソフトウェア上で動作する自動車の数値モデルに、実車走行実験により得られたアクセル・ブレーキ踏み量vs加速度の相関データを活用した加減速アルゴリズム、自動車の旋回特性の一般式である平面二輪モデルを導入し、数値モデルとしての精度を向上させた、検証を行った結果、従来の数値モデルに比べ、より実車の挙動に近い挙動を確認した。

キーワード: シミュレーション, 3次元加速度マップ, 車両運動モデル, 仮想車両

1 背景・目的

研究室が製作・保有している自動運転車シミュレーションソフトウェアは、自動運転実験車の仮想車両を仮想環境で走行させる(図1-1)のものであり、自動運転車用走行制御ソフトウェアの事前調整や、シミュレーション実験に用いられる。しかし、走行の数値計算が自動車の運動式に従ったものではない為、実車とは異なった挙動をする。実車との整合性が取れた正確なシミュレーション実験が行えない(図1-2)。また、コロナ禍により、キャンパスで自動運転実験車両が使用できない状況に置かれている中で研究活動を継続させるには、シミュレーション実験で実車を用いる実験と同等のパフォーマンスを上げ、実車を用いる実験の代替をしなければならない。

これらの背景から、本活動では、自動運転実験車両の実車を用いた実験と同等の正確なシミュレーション実験を行う為に、実車両の特性を反映した数値モデルを構築する事を目指す。



図1-1: 仮想車両イメージ

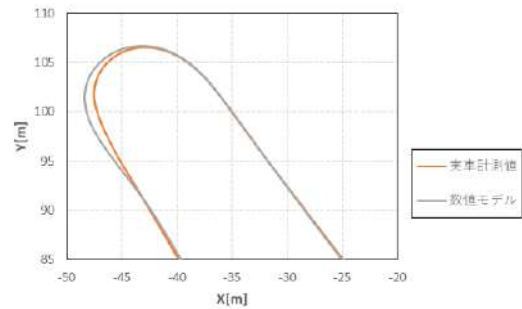


図1-2: 既存の数値モデルでの走行軌跡

2 加速度算出アルゴリズムの作成

2.1 加速度マップの作成

この項では、アルゴリズムの根幹となる加速度マップと、その作成方法について述べる。加速度マップは、野崎らによる先行研究⁽¹⁾にて提案されたものであり、アクセルペダル・ブレーキペダルの踏み量と現在の車両速度に対応した加速度・減速度を2次元平面上に散布図として表すものである。先行研究では、実車走行実験から得られたデータから各踏み量で、時速0 km/hから100 km/hの間5 km/h刻みの代表点を抽出し、

$$accpoint = \{x, y\} = \{vel, acc\}$$

$$accpoint[i][j] \quad (0 \leq i \leq 24, 0 \leq j \leq 21)$$

とした。その点群を参考に、縦軸を加減速度・横軸を現在速度とした加速度マップを作成し、目標加速度からアクセル・ブレーキ踏み量を算出していた。しかし、本活動では踏み量から加速度を算出する為、現在の車両速度におけるペダル踏み量情報が必要だ。故に、先行研究では代表点の座標が

$$accpoint = \{x, y\} = \{vel, acc\}$$

とされていたものを

$$accpoint = \{x, y, z\} = \{vel, acc, stroke\}$$

と改めた(図2-1-1)。また、自動運転実験車両の制

御において、アクセルストローク・ブレーキストローク量は0～1であらわされている。故に、互換性を保つため、

$$0 \leq \text{accel_stroke} \leq 1$$

$$-1 \leq \text{brake_stroke} \leq 0$$

と範囲を定めた。

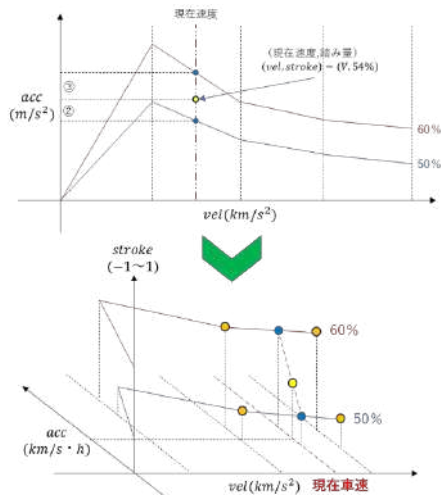


図2-1-1：加速度マップ改良

2.2 加速度算出アルゴリズムの流れ

この項では、加速度算出のアルゴリズムについて詳細に述べる。前項で作成した3次元加速度マップから次の手順で加速度算出を行う。

(1) 条件を満たす4近傍点の探索

代表点の集合は2次元配列で表現されている。その点を順に調べ上げ、現在速度 vel [km/h]と、踏み量 $stroke$ との関係が、

$$\text{accpoint}[i][j].x \leq vel \leq \text{accpoint}[i][j+1].x$$

$$\text{accpoint}[i][j].z \leq \text{stroke} \leq \text{accpoint}[i+1][j].z$$

の条件を満たす4近傍の探索を行う(図2-2-1)。

(2) 一次関数の生成, 2最近傍点の算出

算出した上2点, 下2点同士を xy 平面上で結ぶ一次関数を設定する。その2直線に現在速度を代入, 2歳近傍点を算出する。

(3) 線形補完を行い加速度算出

2最近傍点の値と、踏み量を基に線形補完を行い、加速度を算出する(図2-2-2)。

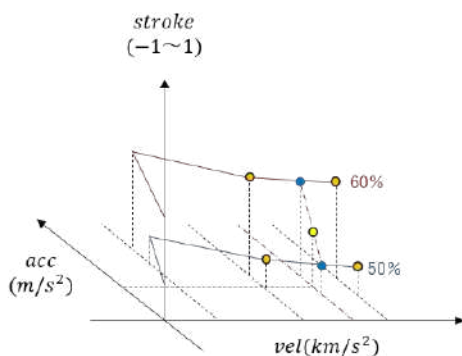


図2-2-1：4近傍点探索

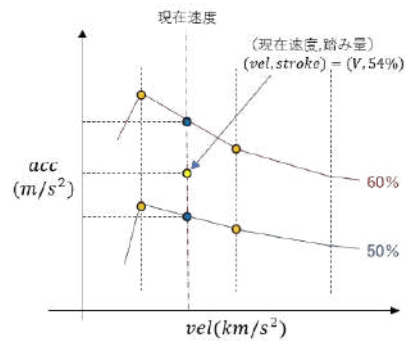


図2-2-2：線形補完

2.3 加速度算出アルゴリズムの検証

この項では、前項で3次元化した加速度マップを用いて加速・減速実験を行い、過去に自動運転実験車で計測した値(時間vs速度)と比較を行った。加速実験では、時速0 km/hから一定アクセル踏み量で150秒加速, 減速実験では時速100 km/hから一定ブレーキ踏み量で減速を行った。図2-3-1, 図2-3-2に実測値, 図2-3-3, 図2-3-4に加減速実験の結果を示す。

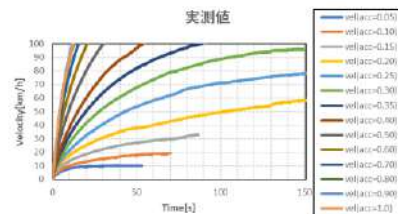


図2-3-1：加速時の実測値

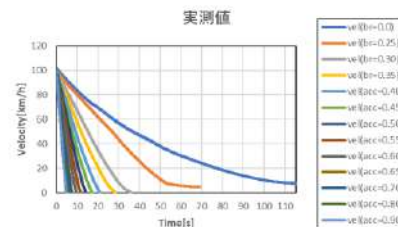


図2-3-2：減速時の実測値

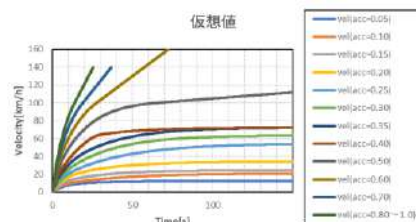


図2-3-3：数値モデルによる加速検証結果

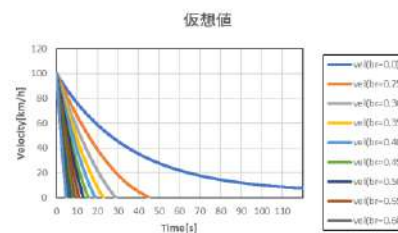


図2-3-4：数値モデルによる減速検証結果

2.4 検証を踏まえた改良

この項では前項の実験結果を踏まえた考察と、改良について述べる。前項の実験結果を見ると、実測値とモデルの加減速特性に大きな差異がある事がわかる。これは、既存の2次元加速度マップが、実測値を基に直線近似によって算出されたものであった為である。故に、加速度マップを改修する必要がある。今回は、速度の代表値を取る座標における曲線の微分係数を、曲線の曲がり具合を見て手探りで決定し、加速度マップを改修した(図2-4-1)。改良後、前項と同様の検証を行い、加減速特性の改善を確認した(図2-4-2, 図2-4-3)。

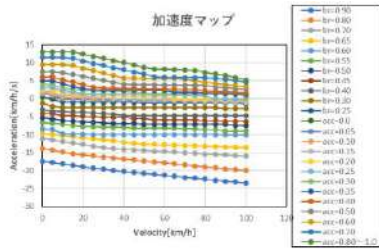


図2-4-1：改良加速度マップ

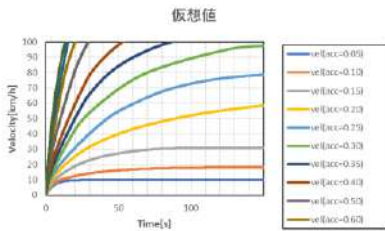


図2-4-2：改良加速度マップでの加速検証結果

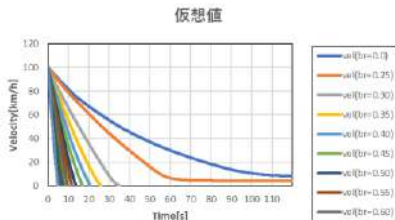


図2-4-3：改良加速度マップでの減速検証結果

3 横方向運動モデルの導入・ソフトウェア構成

3.1 平面2輪モデルの導入

この項では、自動車の旋回特性を再現する旋回アルゴリズムの構築について述べる。本活動では、自動車の横方向運動モデルとして一般的に用いられる平面2輪モデル⁽²⁾を導入した。平面2輪モデルの横滑り β [rad]とヨーレート γ [rad/s]に関する横方向運動は以下の式で与えられる(図3-1)。

$$I\dot{\gamma} = 2l_f C_f - 2l_r C_r \dots (1)$$

$$mV(\dot{\beta} + \gamma) = 2C_f + 2C_r \dots (2)$$

$$C_f = -k_f(\beta + \frac{l_f}{V} - \delta) \dots (3)$$

$$C_r = -k_r(\beta - \frac{l_r}{V}) \dots (4)$$

タイヤ切れ角 δ は、ハンドルの操舵角を θ_{steer} 、ステアリングレシオを N とした時、

$$\delta = \frac{\theta_{steer}}{N} \dots (5)$$

で決定した。

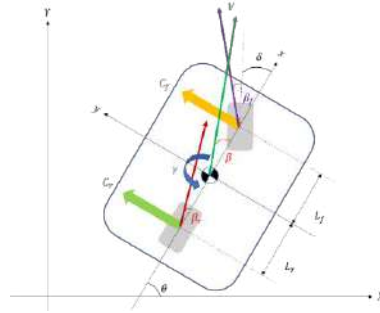


図3-1：平面2輪モデル

3.2 ソフトウェア構成

本活動で扱っている自動車シミュレーションソフトウェアは、共有メモリを介してのプロセス間通信によって他のソフトウェアから制御を行う事が可能である。今回構築しているソフトウェアでも、共有メモリを介した制御を行えるような構成とした(図3-2-1)。また、モデルを構成するvehicleクラスを、ホイールベース、前輪からの中心位置、前後輪のコーナリングパワー k_f, k_r を自由に設定できる様にし、設定次第で、種々の車両の旋回特性を表現できる拡張性を与えた(図3-2-2)。

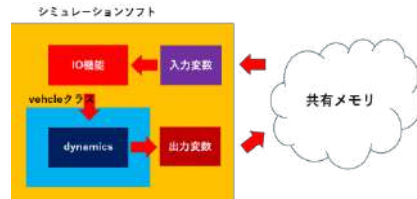


図3-2-1：ソフトウェア構成



図3-2-2：車両設定の概要

4 検証・結果

4.1 実測データを用いた検証

この項では、制御指令値の時系列データを用いて行った数値モデルの検証と、その結果・考察について述べる。

この検証では、研究室保有ソフトウェアの1つであるデータ再生ソフトウェアを用いた。データ再生ソフトウェアは、過去に計測した自動運転実験車両の車両状態量や制御指令値といった走行データを時系列順に再生するソフトウェアである。計測データを再生し、再生される制御指令値を構築した数値モデルを組み込んだシミュレーションソフトウェアに共有メモリ経由で代入し、数値モデルによって算出された車両状態量と再生されている計測

データのうち、車両状態量を記録する。また、数値モデルのパラメータは、車両特性がアンダーステア(US)となるように

$$k_f = 80000[N/rad], k_r = 75000[N/rad]$$

$$l_f = 1.35[m], l_r = 1.60[m]$$

$$m = 2950.0[kg], I = 6370[kg \cdot m^2]$$

と設定した。図4-1-1, 4-1-2, 4-1-3にそれぞれ速度, ヨーレート, 走行軌跡の再生データと数値モデルで計算された値との比較グラフを示す。

結果を見ると、走路の形をなしてはいるが、同一走路上を走っていないように見える。これは、数値モデル上では、地面からの摩擦といった外力を無視している為、算出されたヨーレートが、そのまま位置更新に反映された為だと考えられる。

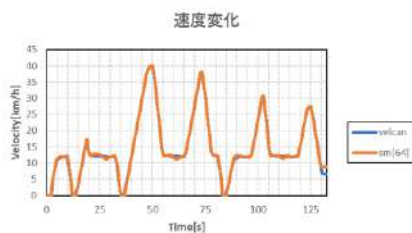


図4-1-1：速度変化

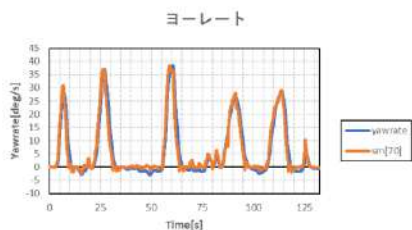


図4-1-2：ヨーレート変化

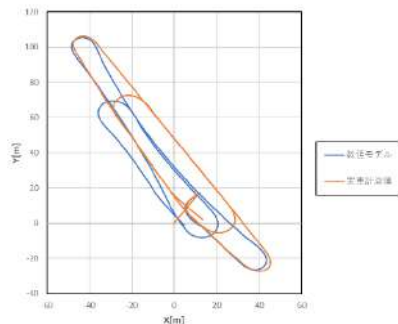


図4-1-3：走行軌跡

4.2 走行制御用ソフトウェアを使用した検証

この項では、自動運転車両制御用ソフトウェアを用いた数値モデルの検証と、その結果について述べる。

研究室では、新川崎タウンキャンパス(以下K2キャンパス)を対象とした自動運転車両制御ソフトウェアを製作し、所有している(図4-2-1)。この車両制御用ソフトウェアも、共有メモリをベースとしたプロセス間通信により他のソフトウェアを制御する事が出来る。走行制御用ソフトウェアを用いて構築した数値モデルを制御し、K2キャンパスを模した仮想走路での走行実験を行った。実験結果を図

4-2-2, 図4-2-3に示す。全体的な走行結果はほぼ同じだが、カーブにおいて、旧来の数値モデルの軌跡は実車の走行軌跡に対して外側に大きくはみ出しているが、構築した新しい数値モデルは、ほぼ実車の走行軌跡と同じ走行軌跡を描いており、平面2輪モデル, 3次元加速度マップによる加減速アルゴリズムを導入したことによって、旧来の数値モデルからの改善が見られた。



図4-2-1：走行制御用ソフト画面

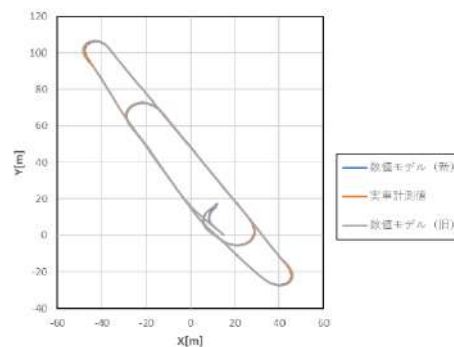


図4-2-2：走行軌跡

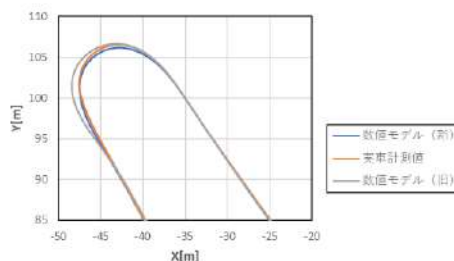


図4-2-3：カーブにおける走行軌跡

5 謝辞

本活動にあたって、指導をいただいた大前学教授に感謝いたします。コロナ禍で研究室での実車両を用いた研究活動が停滞しているという危機の中、このようなテーマを提案していただき、指導をして頂き、自身も修士学生として、おおきな経験値が得られたのではないのかと考えております。本当にありがとうございました。

6 参考文献

- (1) 野崎智広：隊列内衝突安全を考慮した乗用車の隊列走行制御に関する研究，大前研修士論文
- (2) 安部正人：自動車の運動と制御，東京，東京電機大学出版局

エアロゾル湿性除去メカニズムの解明 -地球温暖化予測の精度向上を目指して-

藤野梨紗子^{1*} 宮本佳明^{1,2**}

¹慶應義塾大学 環境情報学部

²慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科

*t17714rf@sfc.keio.ac.jp, ** ymiya@sfc.keio.ac.jp

要旨

人為起源の温室効果ガスによって地球温暖化が進んでおり、豪雨による災害の増加など様々な影響が生じている。将来、地球がどの程度温暖化するかという予測は、気候モデルと呼ばれるプログラム群をスーパーコンピュータで動かすことでなされる。しかし、その予測には大きな不確実性が伴う。その最大の要因が、大気中に浮かぶ微粒子であるエアロゾルと雲との相互作用とされている(気候変動に関する政府間パネル第5次評価報告書:AR5,IPCC,2013)。これまでに私は、エアロゾル・雲相互作用の代表的プロセスの一つである“雨が降った時にエアロゾルが地面に落下する過程”について研究して、降水量とPM2.5(粒径が2.5 μm 以下のエアロゾルの総称)の関係について、SFCに近い辻堂での実測データを解析し、雨が降った時にPM2.5が減少する過程を明らかにした。

キーワード:エアロゾル、降水システム、地球温暖化

1 背景・目的

エアロゾルは、雲を構成する水滴・氷粒の核となり、その多寡に応じて雲粒の数や大きさを変化させ、結果的に雲の寿命や、太陽放射の反射率なども変化する(エアロゾルの間接効果, Twomey 1977)。温暖化の度合いは、太陽・地球放射の内訳で決まるため、精度の良いエアロゾル数の予測が求められる。大気中のエアロゾル数は、主に産業活動による生成に加えて、雨粒(直径はエアロゾルの1000倍以上の大きさ)に衝突して除去される(湿性除去)ことで決まる(例: Wang et al. 2014)。

気候変動に関する政府間パネル第5次評価報告書(AR5,IPCC,2013)では、温室効果ガスによる有効放射強制力は 2.83 W m^{-2} であり、不確実性幅は $\pm 20\%$ と報告されているのに対し、エアロゾルの間接効果による有効放射強制力は -0.45 W m^{-2} であるものの、不確実性幅は $-1.2 \sim -0.0 \text{ W m}^{-2}$ と非常に大きく、科学的な確信度は「低い」とされている。つまり、地球温暖化の予測において、エアロゾルと雲の相互作用が最大の不確定要素である。そのため、この相互作用の理解が求められている。

エアロゾル・雲の相互作用には、様々な過程が含まれており、例えば、雲粒が形成する時にエアロゾルが核となる過程や、雲内で水滴・氷粒に付着する過程などが挙げられる(図1)。それぞれ未解明な点が残るが、その中でも、今回はエアロゾルが雨粒に

付着して地上へ落下する過程に注目する。地上降水量への影響に限って見ても、様々な変数によって付着量が決まるという指摘があり、実際に降水があった場合のエアロゾルの湿性除去メカニズムの詳細は分かっていない (Textor et al, 2006)。そこで本研究は、藤沢市辻堂における降水量とPM2.5濃度値を解析し、エアロゾル濃度と降水量の関係性を明らかにする。

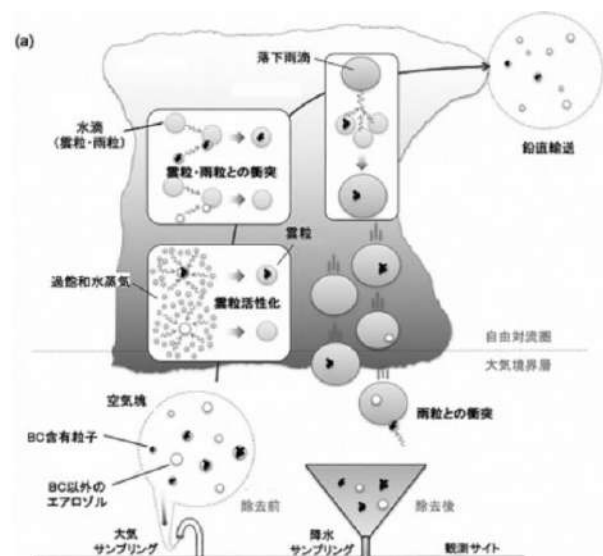


図1:エアロゾルと雲相互作用の模式図(大畑 2018)

図の右側にエアロゾルが雨粒に衝突し、降水とともに大気から除去される過程を示す。

2 方法

本研究では、環境省大気汚染物質広域監視システム「そらまめ君」の、神奈川県藤沢市にある明治市民センターのPM2.5濃度1時間値(速報値)を用いた。解析期間は2019年6月から2020年5月分(環境省, 2016c)である。また、降水量データは、気象庁AMeDAS(Automated Meteorological Data Acquisition System)の藤沢市辻堂における1時間値を用いた。

3 結果

3.1 PM2.5濃度平均値変化

図2に、神奈川県藤沢市辻堂で2019年6月1日0時から2020年5月31日24時までに観測されたPM2.5濃度1時間速報値における月ごとの濃度平均値変化を天気別に示す。降水が0 mmの場合を晴れ、0 mm以上の場合を雨と判別し、解析した。6月から11月と3月から5月では、降水時の濃度平均値が晴天時(降水量が0 mm)の濃度平均値よりも下回り、12月から2月(冬季)に、降水時の濃度平均値が晴天時の濃度平均値を上回った。

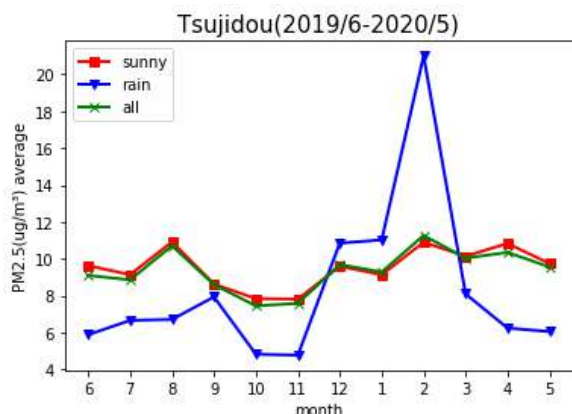


図2：解析期間において、天気別に分けた月ごとのPM2.5濃度平均値変化。晴れ(降水量0 mm)を赤線で、雨(降水0 mm以上)は青線で、全てのサンプルを緑線で示す。

3.2 降水量とPM2.5濃度の関係性

図3に、神奈川県藤沢市辻堂で2019年6月1日0時から2020年5月31日24時までに観測された降水量1時間値とPM2.5濃度1時間速報値を散布図で示す。基本的に降水量が多いほどPM2.5の濃度が小さい。具体的には、降水量が0 mmより多い時は、0 mmの場合と比較して、PM2.5濃度が小さい値により多く分布している。1時間降水量が0 mmの時のPM2.5濃度はどの値にも分布をしているが、降水量が15 mm以上の場合にはPM2.5濃度値が10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えることはなかった。

図4に、神奈川県藤沢市辻堂で2020年4月1日6時から2020年4月2日3時までに観測された降水量1時間

値とPM2.5濃度1時間速報値の時間経過を示す。降水が観測された1時間前から0 mmに到達した1時間後までの時間経過である。降水量が多くなるにつれ、PM2.5濃度が減少している。降水量が急激に減少した4月1日の21時以降では、PM2.5濃度値の上昇がみられる。

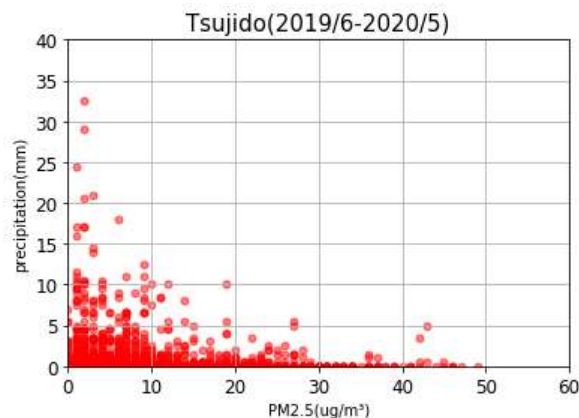


図3：解析期間における1時間降水量(縦軸)とPM2.5濃度(横軸)の散布図

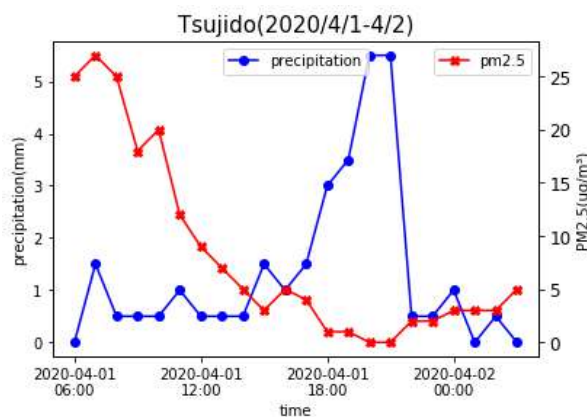


図4：降水前1時間から降水後1時間までの降水量とPM2.5濃度値の時間変化図。降水量を青線で、PM2.5濃度値を赤線で示す。

3.3 コンポジット解析

図5に、2019年6月1日0時から2020年5月31日24時までの期間で、観測された1時間降水量が5 mm以上であった場合を基準とした、前後6時間のPM2.5濃度値の変化におけるコンポジット解析結果を示す。降水量が5 mm以上に達する前後1時間において、PM2.5の濃度値の減少がみられる。降水量が5 mm以上に達する前の2時間と5 mm以上に達した1時間後以降では、濃度値の上昇がみられた。

図6に、2019年12月1日0時から2020年2月29日24時までの期間で、観測された1時間降水量が5 mm以上であった場合を基準とした、前後6時間のPM2.5濃度値の変化におけるコンポジット解析結果を示す。降水量が5 mm以上に達する前後1時間において、PM2.5の濃度値の減少がみられる。降水量が5 mm以上

に達する5時間前から1時間前までと、5 mm以上に達した1時間後以降では、濃度値の上昇がみられた。

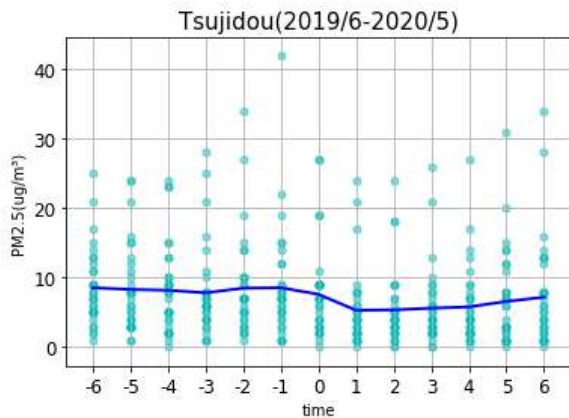


図5：1時間降水量が5 mm以上の場合を基準とした前後6時間のPM2.5濃度値の変化を示す。濃い青線がコンポジット結果である。

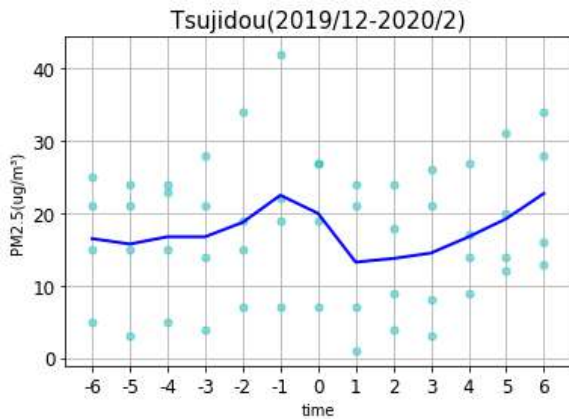


図6：2019年度冬季における、1時間降水量が5 mm以上の場合を基準とした前後6時間のPM2.5濃度値の変を示す。濃い青線がコンポジット結果を示している

4 考察

コンポジット解析により、降水前後1時間でのPM2.5濃度値減少と降水後の濃度値上昇がみられた。これにより、湿性除去過程でPM2.5が地面に落下すること、降水後の地面からの巻き上がりや風による供給などによって再びPM2.5の濃度値が上昇することが示唆される。また、冬季は降水時の濃度平均値が、降水がみられない時の濃度平均値より高かったことから、除去が起こりにくいことが推測された。しかし、冬季におけるコンポジット解析により、降水によるPM2.5濃度値の減少がみられたため、冬季に降水量の多い日数が少ないために生じた結果なのではないかと考えられる。

5 まとめ

2019年6月から2020年5月の神奈川県藤沢市辻堂における降水量とPM2.5の関係性を解析し、降水量が多くなるにつれPM2.5の濃度値が減少することを示した。この結果を考慮すると、エアロゾルが雲と

の相互作用を介して、地上降水量へ影響を与えていることがわかる。この結果は、これまで教科書などの文献で記載されているだけであった過程を、実際に測定されたデータで検証することに成功したという意味で、科学的に貴重な結果と考えられる。これまでに国内学会で2回発表を行っている（藤野・宮本 2020a,b）。

今後はさらにコンポジット解析を進め、どのタイミングで除去が起こりやすいのかを、季節変化とともに調べていく。ここまで示した時点で科学論文として結果をまとめ、国際誌に投稿する予定である。さらに辻堂以外の全国のデータを本研究と同様の手法で解析して、降水量とエアロゾル数濃度の関係を定量的に示すことで、気候シミュレーションの最大の不確実性を軽減することにつなげたい。

また、今回の結果は神奈川県藤沢市辻堂の1地点の観測データを解析して得られたもので、特にエアロゾルについては空間内のばらつきが大きいことが推測される。そこで現在は、エアロゾル量や気象変数の空間非一様性について、SFCの中澤研究室から提供していただいた藤沢市内のゴミ収集車に取り付けたセンサーから得た汚染物質データを、気象データと合わせて解析を行っている（図7）。今後はゴミ収集車によるPM2.5の濃度変化と、レーダーによる雲・雨の分布を重ねて描画することで、エアロゾルの湿性除去過程に、どの程度の空間非一様性があるのかを明らかにする。



図7：湘南台から遠藤方面を走るゴミ収集車設置センサーによるPM2.5濃度分布

6 参考文献

IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535pp.

- Ohata, et al.2016b: A key process controlling the wet removal of aerosols: new observational evidence. *Sci. Rep.*, 6, 34113,doi:10.1038/srep34113.
- 大畑祥 (2018) エアロゾルの湿性除去メカニズムに関する観測的研究-2017年度山本賞受賞記念講演-, 『天気』, 617-626
- Textor, C. et al. 2006: Analysis and quantification of the diversities of aerosol life cycles within AeroCom. *Atmos. Chem. Phys.*, 6, 1777-1813.
- Twomey, S., 1977: Influence of pollution on shortwave albedo of clouds. *J. Atmos. Sci.*, 34, 1149-1152.
- Wang, X., L. Zhang, and M. D. Moran, 2014: Development of a new semi-empirical parameterization for below-cloud scavenging of size-resolved aerosol particles by both rain and snow, *Geosci. Model Dev.*, 7, 799-819.

OpenPoseを利用した ダンスのリズム動作タイミングの計測手法の開発

木曾律子^{1*} 仲谷正史^{2**}

¹慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科

²慶應義塾大学 環境情報学部

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

要旨

ストリートダンスには合わせる音楽のリズムに対する3種類の動作タイミングが存在し、これらを使い分けることで多様な身体表現が可能になる。本研究では、ストリートダンスにおける3種類の動作タイミングの時間特性の定量化を目的とし、ストリートダンサーの熟達者・初学者の動きのリズムを定量化する実験パラダイムの構築とその実験的検証を行った。実験の結果、ダンサーの動きを60fpsHD動画で記録し動作解析ライブラリのOpenPoseで解析することで定量化を実現した。この実験系は、ダンサーの動作タイミングの定量評価や、学習状況の把握にも利用可能である。

キーワード: ダンス、リズム、OpenPose

1 序論

リズムに合わせて踊るストリートダンスのような様式のダンスでは、音楽とダンスがどれくらい融合して見えるかがダンスの完成度に大きく関わっている。しかし、音楽のリズムにすべての動きを合わせれば良いということではない。ダンスには音楽のリズムとは別に「動きのリズム」が存在する。特にストリートダンスには、音楽のリズムよりも早く動き始める「早取り」、同時に動き始める「オンタイム」、遅れて動き始める「遅取り」の3種類の動きのリズムが存在しており、これらの動きのリズムを適切に使い分けることによって、多様な身体表現が可能になる。

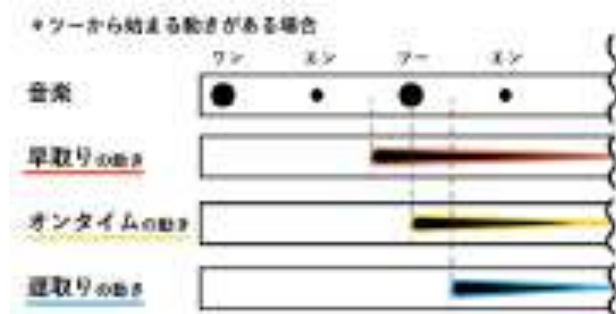


図1: 3種類の動きのリズムの概略図

本研究では、ストリートダンスにおける3種類の動きのリズムの定量化を目的とし、ストリートダンサーの熟達者・初学者の動きのリズムを定量化する実験パ

ラダイムの構築とその実験的検証を行った。

1.1 3種類の動きのリズムの定量化

動きのリズムの動作タイミングは、ダンサーによって定性的に理解されている。音に対する動きの正確さを定量化する試み(Miura,etal.,2011)(Miura,etal.,2016)(田中, et al.,2013)は行われているものの、3種類それぞれの動きのリズムの動作タイミングを定量化する試みは筆者の知る限り行われていない。

1.2 OpenPoseを用いた解析手法の検討

ダンサーの動きを計測する先行研究(Miura, et al.,2011)(Miura, et al.,2016)(田中, et al.,2013)(石川, et al.,2016)では、ダンサーがモーションキャプチャのマーカーやゴニオメーター等の機器を装着し、動きの計測を行っている。本研究では、よりダンサーの動きへの影響を少なくするため、動きを動画で撮影し計測を行った。さらに撮影した動画を、2次元画像から姿勢推定を行うOpenPose(Z.Cao, et al.,2017)を用いて解析する方法の検討に取り組んだ。

1.3 熟達者と初学者の比較

熟達者のダンサーは初学者やダンサーでない人と比較して、音楽のテンポに関わらず安定して動きを音に

合わせられることが報告されている (Miura, et al.,2011)(Miura, et al.,2016)。本研究では、熟達者・初学者のダンサーを対象とし、3つの音楽のテンポで動きのリズムの計測を行い、熟達者と初学者の違いを調査した。

2 実験パラダイムの構築

ストリートダンサーの熟達者・初学者の音楽のリズムに合わせた動作タイミングの計測方法を検討した。

2.1 実験参加者の選定

熟達者2名は、世界大会での入賞経験があるダンサーから選定を行い、ストリートダンス歴の平均は 16.9 ± 3.7 年であった。初心者2名は、ストリートダンス歴が2年未満であり熟達者と同じジャンルを1つ以上踊るダンサーから選定を行い、ストリートダンス歴の平均は 1.5 ± 0 年であった。

2.2 実験パラダイム

実験参加者は、音に合わせて、右手で肘の内側と外側の任意の2点を折り返すことでリズムを取る動きを繰り返し行った。

折り返す際のリズムは早取り・オンタイム・遅取りのうち指示されたもので行い、それぞれ1試行あたり内側・外側それぞれ32回ずつ、4試行256回分のリズムを取る動きを行った。実験の様子はデジタル一眼レフカメラ (Canon EOS KissX7) を用いて60fps・HDの動画で記録を行った。

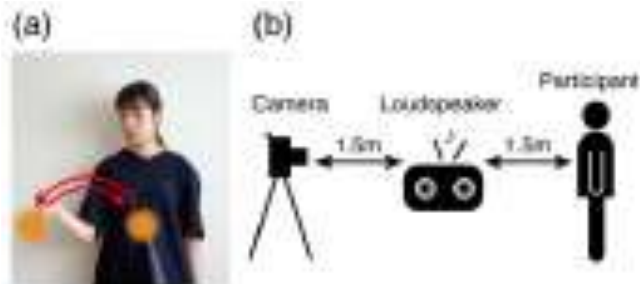


図2：3種類の動きのリズムの概実験の概要
(a)動きのリズムの実験課題と(b)実験環境を示す。

2.3 音について

実験参加者が動きを合わせる音は、継続時間が0.05秒である220/440/880Hzの正弦波で構成した。また、音のテンポは60/90/120BPMの3種類で実験を行った。

3 データ解析

実験の記録映像を、画像解析により姿勢推定を行うOpenPoseで解析し、身体の動きを検出した。OpenPoseで検出した関節の座標のうち、右手首のY座

標をMATLAB (R2018b)で読み込み、ゼロ位相フィルター処理(filtfilt)によって外れ値を取り除いたのち、右手を折り返したタイミングをfindpeaks関数を用いて座標の折り返し地点から特定した。



図3：OpenPoseで解析した画像の一例

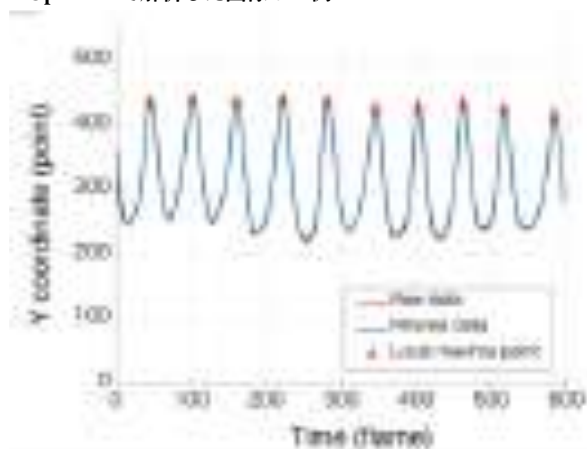


図4：右手のY座標とフィルター処理後のデータ
典型例として Participant 01の早取り, 60BPMの結果を示す。

4 計測結果

定量化した音楽リズムに対する動作タイミングの位相角の平均と標準偏差を、実験参加者ごとにまとめた結果を図5,6に示す。熟達者が遅取りに対して平均位相角、標準偏差のいずれも一貫した傾向を示したのに対して、初学者はそれぞれ異なる挙動を示した。

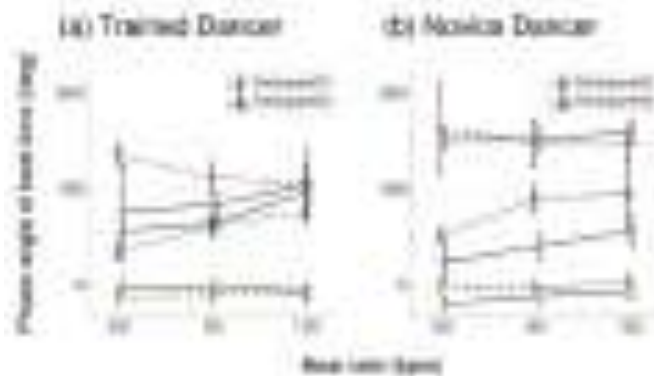


図5：3種類の動きのリズムの平均位相角
(a)熟達者と(b)初心者の結果。赤は早取り、黄色はオンタイム、青は遅取りを表す。垂直棒はそれぞれの標準偏差を表す。

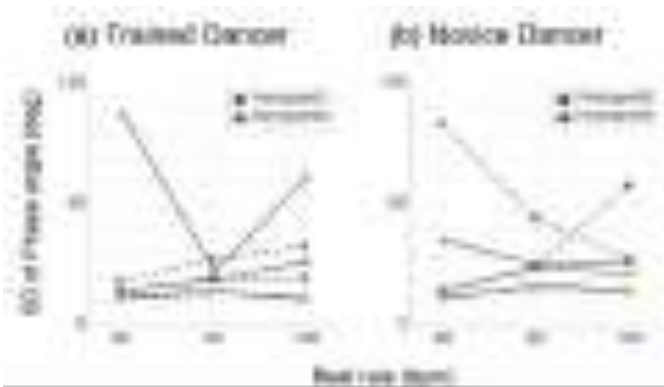


図6：3種類の動きのリズムの位相角の標準偏差
(a)熟達者と(b)初心者の結果。赤は早取り、黄色はオンタイム、青は遅取りを表す。

また、位相角の値に対してそれぞれの実験参加者と音楽のテンポごとに一元配置反復測定分散分析を行い、早取り・オンタイム・遅取りの主効果を解析した結果を表1に示す。これより、BPMが120以上になると、熟達者に対して音楽のリズムに合わせた動作タイミングに有意差を認められない条件があるが、90BPMまでは、熟達者、初心者に関わらず、有意差を認めた。

表1：一元反復測定分散分析の結果

Participant		BPM		
		60	90	120
Trained	01	*	*	*
	02	*	*	N.S.
Novice	03	*	*	*
	04	*	*	*

N.S. denote $P < 0.05$, not significant, respectively.

5 考察

5.1 実験パラダイムと解析方法について

今回構築した実験パラダイムとOpenPoseを用いた解析方法によって、定性的に理解されていた3種類の動きのリズムのタイミングを、図7に示すように定量化することができた。

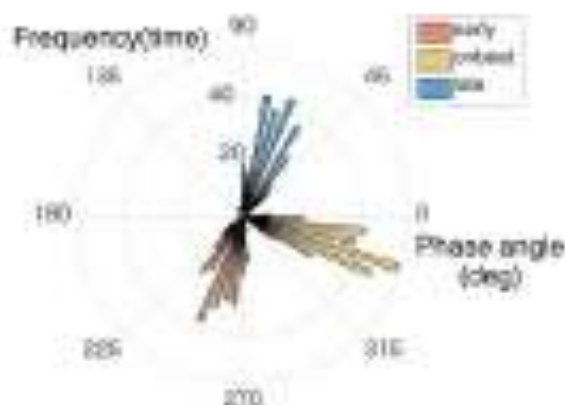


図7：3種類の動きのリズムの位相角ヒストグラム
典型例として Participant 01の 60BPMの結果を示す。

表1の結果から、60fpsのHD動画で記録した動きをOpenPoseで解析する方法で、60/90BPMのテンポの早取り・オンタイム・遅取りを計測することができることが分かった。特別な機器の装着を必要としないこの方法は、ダンサーのより自然な動きの計測を可能にする。また、今後ダンサーの習熟度の定量的な評価や、日常的な身体動作の学習状況の把握のための活用が期待される。

一方で120BPMのテンポについては、今回の計測方法で測れるテンポの限界に近い可能性が示唆された。今後、実験参加者を増やすことでより正確なテンポの限界を探り、実験パラダイムを工夫することでより速いテンポでも測定できるかどうかを検討してゆく。

5.2 熟達者と初学者の比較

熟達者は、特に遅取りにおいて初学者よりも位相角の散らばりが少なく、先行研究と同様に音楽のテンポに関わらず安定して動きを音に合わせて示唆された。遅取りは、ストリートダンスで意図的に使用する頻度が高いことから、習熟度によって位相差を保持する安定感に差が見られたことが考えられる。

6 参考文献

- 石川航平, et al. (2006) 「モーション・キャプチャ装置を用いたサンバ・リズム習得過程の分析」, 人工知能学会第20回全国大会予稿集 2006, 2D1-2.
- Miura, et al. (2011) Coordination modes in sensorimotor synchronization of whole-body movement: A study of street dancers and non-dancers, *Human Movement Science* 30,1260–1271.
- Miura, et al. (2016) Finger-to-Beat Coordination Skill of Non-dancers, Street Dancers, and the World Champion of a Street-Dance Competition, *Frontiers in Psychology*, 7(APR), 542.
- 田中佑典, et al. (2013) 「モーションキャプチャを用いたダンス上達支援システムの開発」, 情報処理学会第75回全国大会公演論文集 2013(1), 225-227.
- Z.Cao, et al. (2017) Realtime Multi-Person 2D Pose Estimation using Part Affinity Fields, *Proceeding of the 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 1302-1310.

抗体を用いた標的腸内細菌分離法の開発

井上 ひかる^{*1-3}, 中藤 学³, 冨田 勝^{1,2}, 井上 浄^{1,3}, 福田 真嗣^{1,3-5}

¹慶應義塾大学先端生命科学研究所,

²慶應義塾大学政策メディア研究科,

³神奈川県立産業技術総合研究所,

⁴筑波大学トランスポーター医学研究センター,

⁵株式会社メタジェン

*inohika@sfc.keio.ac.jp

要旨

腸内有用菌は、腸内細菌叢のバランスの制御や腸管免疫系の調節に寄与し、これらを添加した食品の摂取による腸内環境の改善効果も報告されている。しかしながら外来性の腸内有用菌の摂取は、腸内における長期的な定着率が低く、その効果は限定的かつ一時的である。本研究は、個人ごとの腸内環境の改善、疾患の予防・改善を目指し、抗体を用いた標的腸内細菌の分離・培養技術の確立を目的とした。先ず我々は、二次リンパ組織移植法を用いて、抗体の作製を試みた結果、標的腸内細菌特異的なモノクローナル抗体の取得に成功した。次に、取得した抗体を用いて擬似的な腸内細菌叢から標的腸内細菌の分離を濃縮することに成功した。分離した標的腸内細菌は、寒天培地上でコロニーを形成したことから、濃縮された標的腸内細菌もまた再培養可能であることが示唆された。以上のことから本研究は、標的腸内細菌を分離・培養するための基盤技術を確立した。

キーワード: 腸内有用菌, 抗体, パーソナライズドプロバイオティクス

1. 背景

ヒトの腸管内にはおよそ千種類、約 40 兆個にも及ぶ細菌が生息し、それら腸内細菌叢由来代謝物質は、腸管上皮細胞を介して全身の恒常性維持に重要な役割を果たしている。一部の腸内有用細菌は、病原性大腸菌感染症の予防に寄与するなど、代表的な腸内有用菌として知られている [1]。しかしながら、乳製品等の機能性表示食品に含まれるような外来性有用菌の摂取は、腸内における長期的な定着率が低く、腸内環境の改善効果は一時的であることが知られて

いる [2]。そこで我々は、投与される個人由来の腸内有用細菌を効率的に分離・培養し投与することで、腸内有用菌の腸内への定着率を向上させ、個人ごとの長期的な腸内環境の改善効果が期待できるのではないかと考えた。これまでに報告されている特定の基質を混合した選択培地による、一般的な腸内有用菌の分離方法は、栄養共生関係にある標的以外の細菌種も同時に培養されてしまうため非効率的であることが課題である。そこで本研究では、標的腸内細菌特異的なモノクローナル抗体を作製し、便か

ら個人固有の腸内有用細菌を効率的に分離・再培養するための新規技術確立を目指した。

2. 方法

2.1. モノクローナル抗体作製

2.1.1. SLOT 法によるマウス実験

数多くある抗体作製法のうち、抗原反応性の高い抗体が取得されることが報告されている SLOT 法 (Secondary Lymphoid Organ Transplantation ; SLOT)を用いて、*B. longum* 特異的なモノクローナル抗体 (monoclonal antibody ; mAb)の作製を試みた(図1)。BALB マウス 6 匹に免疫抗原を腹腔内投与 (intraperitoneal ; i.p.)で 2 回投与した。2 回の投与後、6 匹のマウスのうち 3 匹は SLOT 施術をしない通常免疫群とし、残り 3 匹を SLOT 施術に用いた。SLOT 群から脾臓を摘出し、3-5 mm 程度の断片を作製し、SCID マウスの腎皮膜下に移植した(図1)。抗原感作した 1 週間後に、マウスの尾静脈から血液を採取した。

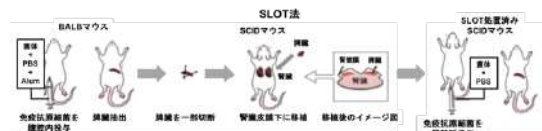


図1. SLOT 法概念図 []

2.1.2. 抗体産生細胞スクリーニング

SLOT 処置したマウス群から脾臓細胞を取得し、抗体産生細胞を作製した後、単一細胞の培養上清に含まれるモノクローナル抗体を取得した。モノクローナル抗体の機能性を評価するため、Accuri (BD)を用いて標的細菌に対する反応性を解析した。OD を測定し、 $1OD_{660}=8 \times 10^8$ cells/mL に基づき、2%BSA/PBS で 1×10^7 cells/tube に希釈した。

希釈後、 $17,800 \times g$, 5 min, $4^\circ C$ で遠心し上清を除き、培養上清サンプルを原液で 100 μL 加え、30 min, $4^\circ C$ で静置した。また内在性抗原と反応性をもたない IgG1 Isotype Control (SIGMA)をネガティブコントロールとした。滅菌済み PBS を 1 mL で懸濁し、 $17,800 \times g$, 5 min, $4^\circ C$ で遠心し 2 回洗浄した。2 次抗体は Alexa Fluor Plus 488 (Thermo Fisher Scientific)を 2%BSA/PBS で 500 倍希釈し、100 μL ずつサンプルに添加し、30 min, $4^\circ C$ で静置した。FlowJo version 10.5.3 (FlowJo LLC)で解析した。

2.2. 標的細菌の分離と培養

2%BSA/PBS で 20 倍希釈した Anti-PE 標識 MACS beads (Miltenyi Biotec) をサンプルに 200 μL ずつ添加した。0.5% BSA/PBS (2mM EDTA 含有) 液 500 μL で懸濁した。この懸濁液を MACS (Miltenyi Biotec)を用いて、磁気ビーズに反応している溶液 (Elution), 反応していない溶液 (Flow Through)に分離し、2% BSA/PBS 400 μL に懸濁した。分離前と分離後の溶液を Accuri C6 で解析した。取得された FCS ファイルは、解析ソフト FlowJo version 10.5.3 で解析した。また各溶液は 1×10^{-4} 希釈し寒天培地に塗布し、BACTRON で 24 h 培養した。培養後、8,000 r.p.m., 5 min, $4^\circ C$ で遠心し、菌体を回収し、 $-80^\circ C$ で保存した。

3. 結果

3.1. SLOT 法は抗体価の上昇を誘導した

SLOT 処置後マウス群に対する尾静脈投与による抗体価の変動を示す。青で示す従来法の免疫方法を用いたマウス群に対して、赤で示す SLOT 法を用いたマウス群におい

て抗体価の有意な上昇が認められた。

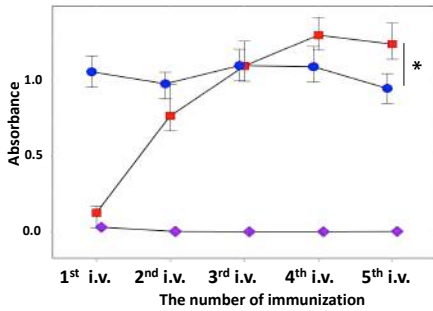


図 2. SLOT 法と従来法の抗体価比較

赤のプロットが SLOT 法、青のプロットが従来の免疫法、紫のプロットが免疫未処置群を示す。

3.2. 抗体は標的細菌特異的な反応を示した
 取得したモノクローナル抗体の細菌反応性を評価した結果、標的腸内有用菌に 79.10% の反応性を示したのに対し、他の細菌属、細菌種、細菌株に対して反応性は全て 1.00% 未満であった。

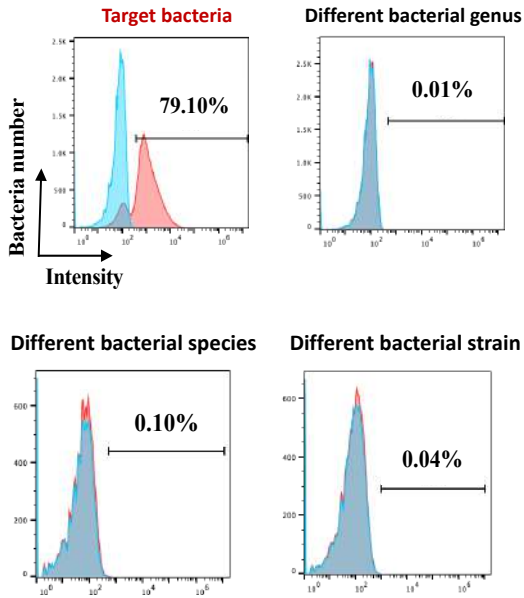


図 3. 標的細菌に対する抗体の反応性

青のヒストグラムが Isotype IgG、赤のヒストグラムがモノクローナル抗体の反応性を示す。

3.3. 擬似的な腸内細菌カクテルから標的細菌を効率的に分離した

擬似的な腸内細菌カクテルから、取得したモノクローナル抗体を用いて抗体に結合する分画と結合しない分画に分けた。溶液の分離には磁気分離装置を用いて分離した (図 4)。分離した溶液中の標的細菌の相対存在量を定量 PCR で評価した結果、抗体が結合した溶液中に標的細菌が効率的に濃縮されていることが明らかとなった (図 5)。

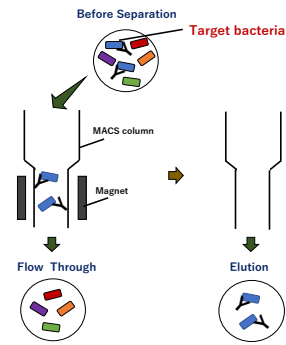


図 4. 磁気分離装置の原理

MACS カラムを MACS マグネットに装着し、擬似腸内細菌カクテルに抗体が結合した溶液をマグネットに通す。抗体にはさらに磁気ビーズが反応しており、磁気に反応した分画と反応していない分画に分けられる。

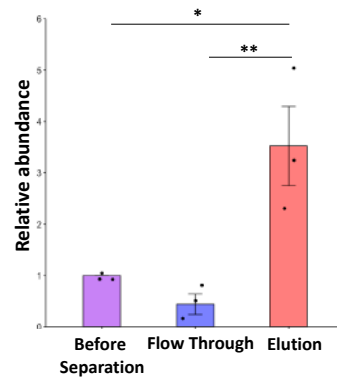


図 5. 分離溶液中の標的細菌の存在量

紫の棒グラフが分離前、青の棒グラフが抗体非結

合分画を示す Flow Through, 赤の棒グラフが抗体結合分画を示す Elution を示す. 統計検定は Turkey's Kramer 法を用いており, $*P<0.05$, $**P<0.01$ を示す.

3.4. 分離した細菌の再培養に成功した

分離した各溶液を寒天培地に同容量添加し, 嫌気条件下で培養した. その結果, 寒天培地上でコロニーが形成されることが明らかとなった (図 6). 更に, 形成されたコロニーに対して標的腸内細菌特異的なプライマーを用いて PCR を実施した結果, ポジティブコントロールと同位置にバンドが示された. 従って, 抗体を用いて標的腸内細菌が効率的に濃縮されたことが示唆された (図 7).

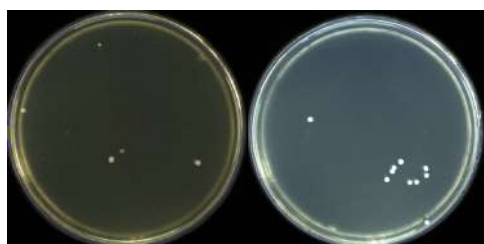


図 6. 抗体結合分画のコロニー形成

左が非選択培地である GAM 寒天培地, 右が選択培地である TOS 寒天培地を示す. どちらも磁気分離装置で分離した抗体結合分画を塗布した.

4. 議論

我々は健康なヒトの糞便から単離した腸内有用細菌に特異的な反応性を有する mAb (anti-*B. longum* Jih1 strain mAb) の取得に成功した (図 3). 取得した mAb を用いて, 擬似的な腸内細菌叢から標的腸内細菌の分離を試みた結果, mAb が結合した溶液中に腸内有用細菌が効率的に濃縮されたことが示された. また mAb が結合した腸内有用細菌は寒天培地上でコロニー形成をしたことから, mAb で分離した腸内有用細菌は培養可能で

あることが示された. 本研究成果より, 取得した mAb を用いて標的のヒト由来腸内有用細菌を分離・培養することに成功した. 本研究成果は特許を出願しており (特許出願 2019-217338), 筆頭著者論文も執筆中である. 一方で, 本手法を用いたヒト便試料から個人固有の腸内細菌を分離・培養の手法については課題が残されている. 今後本手法を確立することで, 培養された腸内細菌の経口摂取を介して長期的な腸内環境の改善や, 疾患の予防・改善が期待される.

謝辞

慶應義塾大学政策・メディア研究科井上浄特任准教授, 福田真嗣特任教授には研究の進捗について幾度もミーティングの機会を頂きました. また本実験の多くは外部研究先である神奈川県立産業技術総合研究所で行い, 副リーダーである中藤学さんにも数々のご指導を頂きました. またこのような研究環境を与えてくださった富田勝教授にもこの場を借りて心よりお礼申し上げます. 本研究は, 2017 年度, 2018 年度山岸学生プロジェクト支援制度, 2019 年度森森泰吉郎記念研究振興基のご支援を頂きました. 誠にありがとうございました.

参考文献

- [1] S. Fukuda *et al.*, “*Bifidobacteria* can protect from enteropathogenic infection through production of acetate,” *Nature*, vol. 469, no. 7331, pp. 543–549, 2011.
- [2] S. Kim *et al.*, “Robustness of Gut Microbiota of Healthy Adults in Response to Probiotic Intervention Revealed by High-Throughput Pyrosequencing,” April, pp. 241–253, 2013

社会的排斥による認知プロセス低下の 教育心理学及び神経科学的解明

宇田川笑未^{1*} 國枝 孝弘^{2**}

¹²慶應義塾大学総合政策学部

*s17114eu@sfc.keio.ac.jp

**kunieda@sfc.keio.ac.jp

要旨

学校教育において重要な課題であるいじめは、学校環境だけでなく子供の学力や認知にも影響する可能性が高いが未だ十分に明らかとなっていない。さらに、脳波測定を用いて脳内ネットワークとしての関係性を調べることで社会的排斥から認知プロセスの低下に至るメカニズムを明らかにできる可能性があるが、その関係性を調べた研究はない。本研究では、Cyberball課題と呼ばれる社会的排斥を実験下で作り出す課題を用いて、社会的排斥を受けることによる暗記及び暗算への影響を測定した。その結果、Cyberball課題により十分な不安感を与えたことが質問紙調査及び脳波解析より明らかとなり、認知課題においても排斥による影響が一部見受けられた。本研究は学習環境の改善が学力向上に寄与することを明らかにし、学習者の内発性が外発性により歪められる危険性を明示する。

キーワード: いじめ、学校教育、学力、コミュニケーション、脳波

1 背景

学校教育において徹底して取り組むべき重要な課題の一つとしていじめ問題がある。いじめには様々な種類が存在し、相互協調型のコミュニケーションを主とする日本では、関係性攻撃、すなわち、社会的排斥（特定の人物を除外すること）がいじめの主となるケースが多い(原, 2014)。社会的排斥を受けた子供では、記憶や暗算などの認知プロセスの低下が心理学の知見から一部報告されている(Baumeister et al., 2002)が、まだ十分に明らかではない。Ledouxらの研究(2009)では、負の感情は認知及び脳機能に強く干渉し、特に学習の脳のキャパシティに負の影響をもたらすことが示唆されている。また、認知神経科学の分野では、社会的排斥と脳の間接関係を調べる研究が2000年代初頭から盛んに行われている。機能的核磁気共鳴撮像法(fMRI)を用いた研究では、1) 社会的排斥に対して活性する脳部位（腹側前帯状回皮質、内側前頭前皮質、腹外側前頭前皮質）(Sebastian et al., 2011)、2) 暗算などの認知課題に対して活性する脳部位（左頭頂皮質）(Rivera et al., 2005) が報告されており、社会的排斥に直接関わる脳部位と認知プロセスに関わる脳部位の両者が分かっている。故に、両者の脳内ネットワークの関係性を調べることで社会的排斥から認知プロセス低下に至るメカニズムを明らかにできる可能性がある。しかしながら、その関係性を調べた研究はない。

本研究では社会的排斥による認知プロセスの低下を実証し、更に脳波測定を用いて脳内ネットワークコネクティビティの観点に着目することで、社会

的排斥に対して賦活する脳部位と認知プロセスに関わる脳部位の関係性を検証した。認知プロセスは生徒の学力に直接的に影響するが、学習への妨害力の対処は明確でなく未だ不十分である。実際、教育現場における学びにおいて外部環境の影響は不透明であり、しばしば軽んじられることがある。学習環境の改善が学力向上に寄与することを明らかにすることで、学習者の内発性が外発性により歪められる危険性を明示することが可能となる。さらに、学術的意義として、そもそもeducational neuroscienceという分野そのものが非常に新しく研究が十分に進んでいない(Mareschal et al., 2013)。そのため、教育心理学及び認知神経科学の知見を融合する狙いがある。

2 方法

2.1 実験協力者

健康な大学生9名(うち女性4名、平均年齢= 20.2 ± 1.8歳)が実験に協力した。このうち、女性1名は脳波測定における計測環境が異なったため、解析時に除外した。

2.2 実験パラダイム

2.2.1 Cyberball課題

社会的排斥状況を実験下で作り出すため、同条件下でしばしば用いられるCyberball課題(Williams et al., 2006)を利用した(図1)。Cyberball課題により排斥感を感じることは先行研究にて十分に立証されている(Williams et al., 2006)。Cyberball課題では、実験協力者はオンライン上の(架空の)複数人のプレイヤー

一とキャッチボールを行う。実験協力者にボールが投げられる確率を調整することで、包括条件(協力者に等分にボールが回ってくる条件)及び除外条件(協力者が排斥を受ける条件)を決定する (Fig. 2)。Cyberball課題の時間制限や球数制限、包括及び排斥条件時に協力者にボールが回る確率は先行研究により様々であり (Sebastian et al., 2011)、本実験においては、パイロットテストにより包括条件において40%、排斥条件において8%、球数は各条件において全50球とした。また、実験を行う際、社会的排斥に関する研究であることを事前に伝えることで実験が不成立となる(排斥感を得られなくなるため)ため、協力者には1)本研究は心的イメージの実験であること、2)Cyberball課題では実際に別室にいる他の協力者2名とキャッチボールを行うこと、及び3)もし日常生活のなかで一緒にキャッチボールをしていた場合、どのような状況が考えられるかをイメージしながら課題に取り組むこと、の3点を伝えた。さらに、課題終了後にイメージした状況の説明を口頭で述べさせ、実験に集中していたかを確認した。



図1: Cyberball課題における条件差異

2.2.2. 実験手順

本研究では次の3つの実験を実施している(図2)。



図2: 実験手順

各実験の間には十分な休憩を置くことで疲労による影響を回避した。Cyberball課題について、Cyberball課題という一種のコミュニケーションそのものの認知への影響を考慮し、実験1を行った。また、実験2,3について、先に包括条件のCyberball課題を行うことで課題への順応性を高め、嫌悪感を軽減させる狙いがある(Sebastian et al., 2011)。

唾液アミラーゼ測定について、アミラーゼ活性値はストレス評価の指標としてしばしば用いられる(中野ら, 2011)。そのため、実験前(平常時)、Cyberball課題(包括条件)後、Cyberball課題(排斥条件)後の計3回行う。計測の際、酵素分析装置ニプロ唾液アミラーゼモニター及び専用チップを用いた(図3)。



図3: ニプロ唾液アミラーゼモニターイメージ

認知課題は暗算及び暗記課題を用い、暗算課題についてRiveraら(2005)の実験を参考とし、表示される2桁の足し算について、表示される答えの正誤をHキー及びJキーを用いて回答させた(図4)。ここで、問題提示後に解答が分かった瞬間にスペースキーを押させ答えを提示することで足し算の計算速度を測った。問題は各実験につき20問提示した。暗記課題では単語(日本語)及び数字のペアを用意し、

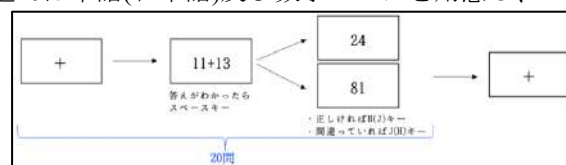


図4: 暗算課題のプロセス

Haqueら(2015)の研究を参考とし、各実験につき20問ずつ提示した。単語について、「日本語類似度・関連度データセットの作成」(猪原, 2018)の単語セットから、(似てる度) < 1 のペアを抽出し、数字について、ランダムな2桁の数字のペアを表示した。

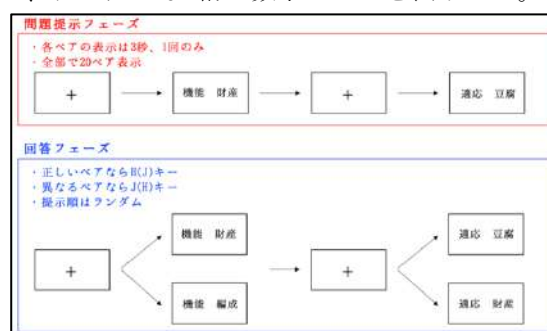


図5: 暗記課題のプロセス

暗記課題は問題提示フェーズ、回答フェーズの順に続き、問題提示フェーズでは各ペアは3秒間1度のみ提示された。20問題提示されたのち、15秒後に回答フェーズに移行し、問題提示フェーズにて表示されたペアかどうかをHキー及びJキーを用いて回答させた。回答がわからなかった場合はスペースキーを押すよう指示した。

質問紙実験について、Cyberball課題を行った際に心理的影響を図る指標としてSTAI(State-Trait Anxiety Inventory)(清水, 1981)及びRPI(Resistance to Peer Influence Scale)(Steinberg et al., 2007)がしばしば用いられる(Sebastian et al., 2011)、本研究でもこれらの質問紙を導入した。STAIとは質問紙記入時の心の状態について“平穏である”、“安心している”などの文章に対してどの程度当て嵌まるのかを4つの尺度(全くそうでない、いくぶんそうである、ほぼそうである、全くそうである)から選択する。RPIとは仲

間の影響に関する10の質問に対して4段階で回答する質問紙である。さらに実験後アンケートでは、1) Cyberball課題を知っていたか/意図に気づいたかどうか、2) 排斥条件時に不安に感じたかどうか、3) その他協力者の背景を確認した。

2.3 実験環境

暗室被験者とモニターとの距離を64cmで統一し、ドイツBrain Products製のacti64CHampを用いて全頭63チャンネルの脳波計測を行なった。脳波とはニューロンの電氣的活動を頭皮上で記録したものである。計測はCyberball課題の前後30秒、認知課題時(暗算課題、暗記課題(問題フェーズ終了後10s))に行った。キー入力の際には、右手の人差し指をH、中指をJ、親指をスペースキーの上に配置させた。

2.4 解析方法

脳波データの解析にはMATLAB2017a, EEGLAB14.1.2を使用した。Cyberball課題時のデータについて、Cyberball課題を行う前後20秒のデータを使用し、クリーンライン及びバンドパスフィルタを用いて δ ~ β 波である1~40Hz帯を抽出した。その後ヒルベルト変換により各被験者の包絡線の絶対強度の平均及び中央値を計算し、社会的排斥を受けることにより賦活する脳部位を測定した。暗記課題について、問題提示フェーズから回答フェーズに移行する10秒間のデータを使用し、クリーンライン及びバンドパスフィルタを用いて周波数帯域(δ 波:1~4Hz、 θ 波:4~8Hz、 α 波:8~13Hz、 β 波:13~40Hz)を抽出、その後ヒルベルト変換を用いて、1)正答率が高い/低い際の脳活動の比較、2)Cyberball課題による脳活動への影響、を脳活動の同期性より推測した。

3 結果

3.1 アンケート

「実験の意図に気づきましたか」という問いに対し「はい」「なんとなく気付いた」「いいえ」から回答させたところ、「はい」が0%(0名)、「なんとなく気付いた」が50%(4名)、「いいえ」が50%(4名)であった。また、「Cyberball課題の排斥条件時、どのように感じましたか」という問いに対し「強く不安に感じた」「やや不安に感じた」「何も思わなかった」から回答させたところ、「強く不安に感じた」が12%(1名)、「やや不安に感じた」が63%(5名)、「何も思わなかった」が25%(2名)であり、「強く不安に感じた」「やや不安に感じた」と回答した人の合計は75%(6名)で4名中3名が不安に感じると報告した。また、「過去いじめを受けたことがありますか」という問いに対し、「はい」が62%(5名)、「いいえ」が38%(3名)であり、「過去いじめを行ったことがありますか」という問いに対し、「はい」が38%(3名)、「いいえ」が62%(5名)であった。

3.2 唾液アミラーゼ

被験者全体について、実験前の唾液中のアミラーゼ活性値は 15 ± 19 KU/L (range 47)、Cyberball課題(包括条件)後の値が 17 ± 25 KU/L (range 75)、Cyberball課題(排斥条件)後の値が 8.9 ± 8.9 KU/L (range 16)であった。ストレスを強く感じていればいほどアミラーゼ活性値も上昇するため、本実験の全体での平均を素直に受け取るとストレスが排斥条件の後に最も減っていると解釈できる。また個人単位ではCyberball課題(包括条件)後とCyberball課題(排斥条件)後のアミラーゼ活性値を比較した際、Cyberball課題(排斥条件)後の値の方が大きい、すなわち排斥条件後により強くストレスを感じていた可能性がある協力者は25%(2名)であった。

3.3 認知課題

3.3.1 暗算課題

各被験者の誤答数を表1に示した。実験3(Cyberball課題(排斥条件)後)または実験2(Cyberball課題(包括条件)後)、と実験1(表中には“コントロール”と記載)を比較すると、どちらも50%(4名)の被験者において正答率が向上した。また、実験2と実験3より、63%(5名)の被験者がCyberball課題(排斥条件)後にパフォーマンスを低下(誤答数が多い)させた。

表1: 暗算課題誤答数

コントロール	1	0	2	4	3	9	5	9
包括条件後	2	2	0	2	3	1	6	2
排斥条件後	3	1	1	3	2	3	5	2
包括-コントロール	1	2	-2	-2	0	-8	1	-3
排斥-コントロール	2	1	-1	-1	3	-6	0	-3
排斥-包括	1	-1	1	1	3	2	-1	0

計算時間について、各実験20問の平均回答時間を被験者ごとに表2に示した。包括及び排斥条件時の暗算速度に着目すると、平均値について有意な結果は得られなかった(P値=0.751)。

表2: 暗算課題計算時間(ms)

平均値	被験者1	被験者2	被験者3	被験者4	被験者5	被験者6	被験者7	被験者8	平均
コントロール	4439.57321	2260.47431	2826.28155	5360.64676	1407.12738	1550.20073	3032.45566	1920.45750	2849.65215
包括条件後	3052.09534	2005.68575	3020.46711	3940.45448	1421.11553	1346.61696	3485.97433	1745.52687	2502.2383
排斥条件後	3565.52495	2157.04831	2745.53209	3696.93216	1439.28055	1201.04699	3340.02248	1830.55956	2547.00181
包括-コントロール	-1387.5079	-254.78856	104.18556	-1420.1923	13.9881498	-203.58377	453.510669	-174.81071	-347.41385
排斥-コントロール	-474.04826	-103.429	-80.749467	-1693.7146	32.153196	-349.15374	307.638811	89.897623	-302.65034
排斥-包括	913.459615	151.359558	-274.93502	-213.52231	18.1650182	-145.55917	-145.881856	85.0330897	44.7635142
標準偏差(平均)									
コントロール	1906.73047	522.03251	782.463059	361.39365	339.265573	616.759244	945.105014	609.89899	1157.03643
包括条件後	952.442825	723.435043	1108.70757	1329.72808	501.707181	320.514939	1626.837111	614.341325	908.464259
排斥条件後	2204.25289	711.90834	1161.08659	1499.7893	1110.35911	201.380622	1358.13139	628.276769	1104.39812

3.3.2 暗記課題

各被験者の誤答数を表3に示した。日本語について、実験2と実験3で比較したとき、ほぼ全ての被験者で実験3において誤答数が少ない、すなわち、より暗記ができていたことが示された。数字について、同様に実験2と実験3で比較すると、50%(4名)の被験者において実験3にてパフォーマンスが低下(暗記できた問題数が減少)した。

表3: 暗記課題誤答数

被験者No.	日本語のペア				数字のペア				
	実験1	実験2	実験3	実験3-実験2	実験1	実験2	実験3	実験3-実験2	
1	2	9	3	-6	7	10	13	9	-4
2	1	0	2	-1	2	6	6	13	7
3	10	7	4	-3	-3	18	14	14	0
4	12	12	3	-9	0	16	12	14	2
5	8	2	0	-2	-4	7	4	8	4
6	6	4	1	-3	-2	5	7	5	-2
7	9	4	4	0	-5	7	10	10	0
8	3	3	0	-3	0	8	9	15	6

3.4 Cyberball課題

前頭部7チャンネルに着目し、排斥後のパワーを排斥前のパワーで正規化(排斥後のパワー/排斥前のパワー)した(表4)。全てのチャンネルにおいて平均値及び中央値の排斥後のパワーが向上し、これは先行研究の結果と一致した(Sebastian et al., 2011)。

表4：Cyberball課題による変化量

チャンネル名	平均値	中央値
1 - Fp1	1.119555556	0.378588889
30 - Fp2	1.168511111	0.371
31 - AF7	0.433533333	0.003177778
32 - AF3	0.587711111	0.262311111
33 - AFz	0.774222222	0.397088889
60 - AF4	0.903855556	0.364955556
61 - AF8	1.8694	1.003755556
平均	0.97954127	0.397268254

4 考察

Cyberball課題により排斥感及び不安感を受けることがアンケート調査により明らかとなった。また、Cyberball課題の排斥条件時に不安に感じたと言えなかった2名は「過去いじめを行ったことがありますか」という問いに対し「はい」と回答しており、過去いじめを行っていたことがあるという自覚がある場合、社会的排斥時に不安を感じにくい可能性が考えられる。唾液アミラーゼ活性値について、社会的排斥を受けた際に最も値が大きくなるのが想定されていたが(中野ら, 2011)、実際には実験2(Cyberball課題(包括条件)後)で最も大きく、実験3(Cyberball課題(排斥条件)後)にて最も値が小さくなった。原因として、唾液アミラーゼモニターの保管状態が挙げられ、これは温度や湿度を一定に保つ必要があった。また、簡易計測系は計測が正確でないことが多い(小林, 2010)ため、信頼性のあるデータを取得する際には測定機器や条件など、より詳細に検討する必要がある。また、Cyberball課題(包括条件)後の値が最も大きくなったことより、Cyberball課題を受けコミュニケーションをとることそのものにストレスを感じていたことが考えられる。暗算課題について、有意義な結果が出なかった理由として、個人が本来持っている暗算能力の影響が大きかったことが挙げられる。暗記課題について、日本語は全体的に回数を重ねる度に結果が向上した(誤答率が低下した)ため、慣れが影響したと推測できる。また、数字は50%(4名)の協力者にて排斥時に誤答率が上昇したため、日本語より慣れ難かった可能性がある。

さらに、今後の課題として、本研究は途中段階であり、実験協力者数の男女比率を一定にするため女性の実験協力者数を増やす予定である。Cyberball課題についてヒルベルト変換は高周波ほど弱く、低周波ほど強くデータに寄与するため、ヒルベルト変換にかける前のデータを周波数帯域ごと(δ 波：1~4Hz、 θ 波：4~8Hz、 α 波：8~13Hz、 β 波：13~40Hz)にフィルタリングする必要がある。脳波解析データも今後揃える予定である。

また、本実験は多くの変数を含んでおり制御が非常に難しい。考察においていじめを行った経験の有無と社会的排斥に対する不安感に何かしら関係があることも示唆されており質的調査の余地がある。

5 謝辞

本研究について丁寧なご指導をしてくださった慶應義塾大学國枝孝弘教授及び同大学青山敦准教授に、心から御礼申し上げます。

6 参考文献

- Baumeister, R. F., Twenge, J. M., & Nuss, C. K. (2002). Effects of social exclusion on cognitive processes: Anticipated aloneness reduces intelligent thought. *Journal of Personality and Social Psychology*, 83(4), 817–827.
- Denis Mareschal, Brian Butterworth, Andy Tolmie(Eds.). (2013). *Educational neuroscience*. New Jersey: Wiley-Blackwell.
- Haque, R. U., Wittig, J. H., Damara, S. R. et al., (2015). Cortical Low-Frequency Power and Progressive Phase Synchrony Precede Successful Memory Encoding. *The Journal of Neuroscience*, 35(40), 13577–13586.
- 原清治 (2014). 「ネットいじめと学校」. *青少年問題*, 654, 18-25.
- 猪原敬介, 内海彰. (2018). 「日本語類似度・関連度データセットの作成」. 言語処理学会. 『第24回年次大会 発表論文集』. 1011-1014
- 小林しのぶ, 柳奈津子, 小坂橋喜久代 (2010). 携帯型唾液アミラーゼ測定器を用いたリラクセス反応評価に関する検討, *Japanese Journal of Nursing Art and Science*, 9(3), 40-44.
- Ledoux, J. E. (2009). *Emotion Circuits in the Brain*. Focus, 7(2), 274-274.
- 中野敦行, 山口昌樹(2011) 「唾液アミラーゼによるストレスの評価」. *バイオフィードバック研究*. 38 (1), 3-9.
- Rivera, S. M., Reiss, S. M. et al., (2005). Developmental changes in mental arithmetic: Evidence for increased functional specialization in the left inferior parietal cortex. *Cerebral Cortex*, 15, 1779-1790.
- Sebastian, C. L., Tan, G. C., Roiser, J. P., Viding, E. et al., (2011). Developmental influences on the neural bases of responses to social rejection: Implications of social neuroscience for education. *NeuroImage*, 57(3), 686–694.
- 清水秀美, 今柴国晴.(1981) 「STATE-TRAIT ANXIETY INVENTORYの日本語版(大学生用)の作成」. *教育心理学研究*. 『日本教育心理学会』. 29(4). 348-353.
- Steinberg, L., & Monahan, K. C. (2007). Resistance to Peer Influence Scale. *PsycTESTS Dataset*.
- Williams K.D., Jarvis B. (2006). Cyberball: a program for use in research on interpersonal ostracism and acceptance. *Behavior Research Methods*, 38, 174-180.

Mental Distress and Service Utilization Disparities in Asian American Populations

Kalpana K. Balaraman, BS^{1,2} Nicholas Ortega^{1,3} Shozen Dan^{1,4*} Malathi Srinivasan, MD^{1,5}
Latha Palaniappan, MD, MS^{1,5} Jaiveer Singh^{1,6} Sukyung Chung, PhD^{1,7} Shashank V. Joshi, MD⁸

¹Center for Asian Health Research and Education, Stanford School of Medicine, Palo Alto, CA

²Interdisciplinary Program in Linguistics, Department of Anthropology, Tulane University, New Orleans, LA

³Department of Statistics, University of California, Los Angeles, Los Angeles, CA

⁴Department of Environmental and Information Science, Keio University, Tokyo, Japan

⁵Division of Primary Care Population Health, Stanford School of Medicine, Palo Alto, CA

⁶Department of Molecular Biochemistry and Biophysics, Yale University, New Haven, CT

⁷Quantitative Sciences Unit, Primary Care and Population Health, Department of Medicine, Stanford University, Stanford, CA

⁸Department of Psychiatry & Behavioral Sciences, Stanford University, Stanford, CA

*shozen.dan@keio.jp

Abstract

The recent prevalence of Asian American (AA) adults of disaggregated ethnic groups with mild to severe mental distress receiving professional mental health treatment is largely unknown. Using self-reports from 381,989 respondents in the 2006-2018 National Health Interview Survey, we found that AA ethnic subgroups had twice the reported severe mental distress than non-Hispanic Whites. AA ethnic subgroups were half as less likely to visit mental health professionals than non-Hispanic whites (NHW) with matched mental distress levels, after controlling for sociodemographic variables. Respondents who were born in the U.S. were more likely to visit a mental health professional than those who were not. Respondents over 65 were less likely to visit a mental health professional than any other age group. Overall, the lower prevalence of mental health service utilization for increasing mental distress among Asian Indian, Chinese, and Filipino American individuals (in comparison to NHWs) may indicate a need for culturally-specific mental health education and outreach efforts.

Keywords: Asian American, psychological distress, mental health service utilization, NHIS, disparities

1. Introduction

As a single group, Asian Americans have significantly lower utilization of mental health services than almost all other racial and ethnocultural groups, except for African Americans (Augsberger et al., 2015; Cheng et al., 2017; Kim, 2011; Lee et al., 2011; Sue et al., 2012). Asian Americans generally report lower prevalence of both general mental health disorders and their severities as compared to other racial groups (Alvarez et al., 2019; Cheng et al., 2017; Lee et al., 2011; Sue et al., 2012).

The decreased mental health disorder prevalence is postulated to be an underreporting due to a well-known cultural stigma against the acknowledgment of mental health issues, which can lead to further decrements in receiving proper treatment (Augsberger et al., 2015; Sue et al., 2012). Considerable variation in mental health disorder prevalence and care utilization may exist between AA subgroups. However, most studies fail to look closely at individual Asian subgroups, which vary considerably in country of origin and cultural influences, and which may affect mental health disorder development and mental health care service utilization.

In this study, our team explored the prevalence of mental distress and mental health service utilization in Asian American (AA) adults (overall and by three major

subgroups) in comparison to their non-Hispanic White counterparts of the same age, sex, and socioeconomic status, with the same severity of mental distress. Secondly, we also compared rates of Asian Americans with mental distress with other major racial and ethnic groups.

2 Method

2.1 IRB & Funding

This study was determined to be non-human subjects research by Stanford Institutional Review Board (Protocol #: 57474; Protocol Title: Racial and Ethnic Differences in National Health Interview Survey Dataset). This study was funded by the Stanford Center for Asian Health Research and Education. Research reported in this publication was supported by the National Center For Advancing Translational Sciences of the National Institutes of Health under Award Number UL1TR003142. The content is solely the responsibility of the authors and does not necessarily represent the official views of the National Institutes of Health.

2.2 Study Design, Data Source, and Variables

We conducted an observational, cross-sectional study consisting of publicly available data in the

National Health Interview Surveys (NHIS) from 2006 to 2018.

We utilized social and demographic NHIS variables within the NHIS Sample Adult and Person files including race/ethnicity, age, sex, place of birth/nativity, highest education attainment and family income. We included medical information such as self-reported health status, self-reported mental distress (Kessler-6), and any professional mental health service utilization within the last 12 months.

The Kessler-6 (K6) scale was used to identify non-specific psychological distress, based on the responses to a set of six standardized questions (Kessler et al., 2002).

2.3 Statistical Analysis

Descriptive bivariate statistical analyses were performed for race against all other variables. Simple time series analyses were performed to study the trends in mild to severe mental distress among Asian ethnic groups and non-Hispanic whites from 2006 to 2018. We pooled the cross sectional data from all years and used multiple logistic regression analysis to compare the utilization of mental health services among Asian ethnic groups with non-Hispanic-white adults. In a stepwise fashion, we controlled for sociodemographic characteristics and other potential confounders. All statistical analyses were weighted to account for the NHIS cluster sampling method.

3. Results

3.1 Mental Health Distress

The prevalence of mental distress was highest among NHWs for all mental distress categories (mild=38.5%, moderate=11.3%, severe=4.4%). The ratio of reported mental distress between NHWs and AA groups was especially prominent within the severe category (Kessler-6 >12), where the proportion of NHWs who reported severe mental health distress were double that of Asian Indians (2.1%) and Chinese (2.2%), and 1.5 times that of Filipinos (2.9%).

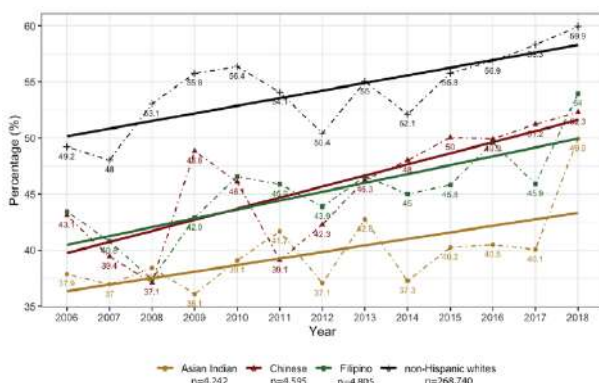


Figure 1: Increasing Mental Distress Among 13,642 Asians and 268,740 non-Hispanic whites in the National Health Interview Survey, 2006-2018

Figure 1 displays the prevalence for self-reported mild to severe mental distress for AA subgroups and NHWs from 2006 to 2018. Overall, we observed a 9% increase in mental distress for all groups (Pearson's Correlation: 0.44, $p < 0.05$). Although the prevalence of self-reported mental distress was lower among AA subgroups, mental distress increased significantly for all AA subgroups (Asian Indian: Pearson's Correlation 0.63, $p = 0.02$; Chinese: 0.77, $p < 0.05$; Filipino: 0.77, $p < 0.05$) and NHWs (0.75, $p < 0.05$) from 2006 to 2018. Among the four racial groups, Chinese had the highest rate of increase, closely followed by Filipinos. The trends were similar for Asian Indians and NHWs.

3.2 Mental Health Service Utilization

Mental health service utilization rate was the highest among NHWs, with 8.4% reporting to have visited a mental health professional within the past year -- nearly double that of Filipinos (4.4%) and nearly triple that of Asian Indians (2.8%) and Chinese (3.3%).

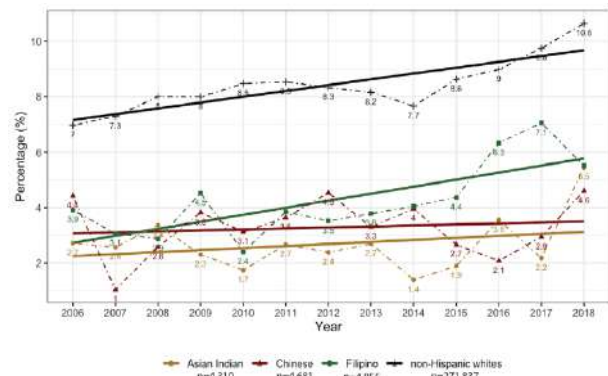


Figure 2: Mental Health Service Utilization Among 13,846 Asians and 271,837 non-Hispanic whites in the National Health Interview Survey, 2006-2018

Figure 2 displays the trends for mental health service utilization among AA subgroups and NHWs from 2006 to 2018. Despite an average increase of 9% in mental distress for all groups over this 13-year time frame, we found almost no increase in mental health service utilization for Asian Indians (Pearson's Correlation: 0.28, $p = 0.36$) and Chinese (0.13, $p = 0.67$). Although Filipinos (0.73, $p < 0.05$) and NHWs (0.84, $p < 0.05$) exhibited closer degrees of increase in mental health service utilization, this was not proportional to the increase in mental distress.

Figure 3 displays the results of our final multiple logistic regression results. Asian Indians (AOR=0.51, 95% CI = [0.37, 0.69]), Filipino (AOR=0.61, 95% CI = [0.49, 0.76]), and Chinese (AOR=0.54, 95% CI = [0.42, 0.69]) subgroups had significantly lower odds of utilizing mental health services compared to non-Hispanic Whites, after controlling for socio-demographic variables and health related variables.

People who were 65 years old or older (AOR=0.32, 95% CI = [0.29, 0.36]) were significantly less likely to visit a mental health professional than people who were

18 ~ 25 years old. People with a college education (AOR=1.91, 95% CI = [1.76, 2.08]) were significantly more likely to visit a mental health professional than people with less than high school education. People who were born in the United States (AOR=1.62, 95% CI = [1.48, 1.75]) were significantly more likely to visit a mental health professional than people who were born outside the United States. Finally, populations who had health insurance coverage (AOR=1.95, 95% CI = [1.80, 2.11]) were more likely to utilize professional mental health services than people without health insurance coverage.

4. Discussion

From 2006-2018, Asian Indian and Chinese populations living in the United States have had little to no change in self-reported mental health service utilization, despite rising rates of mental distress reported in the literature for these two Asian subgroups. These Asian Americans comprise some of the most at-risk American populations regarding effects of mental health issues (Augsberger et al., 2015; Choi et al., 2016; Derr, 2015; Sue et al., 2012). While the three Asian subgroups vary in their mental health distress, overall, all AA subgroups have lower self-reported incidence and lower severity of mental distress than NHWs. AA subgroups had lower mental health service utilization than NHWs, even when adjusting for socio-demographic factors.

Having or reporting a mental health issue is a culturally stigmatizing issue in many AA communities, and these issues are often felt to be a sign of personal weakness which may bring dishonor or “shame” to a family’s reputation (Augsberger et al., 2015; Choi et al., 2016; Kim, 2011; Sue et al., 2012). As such, the increase in reported rates of mental health distress might be due to a greater willingness to report mental distress, or a true increase in mental distress. In this study, Asian Indians reported the lowest prevalence of mental distress and the lowest utilization of mental health services. Despite this, however, South Asian women have some of the highest suicide ideation and depression rates in the United States (Augsberger et al., 2015; Choi et al., 2016; Karasz et al., 2019; Sue et al., 2012). With a large immigrant population, Asian Indians may experience difficulty in assimilating to the new host culture, which can include the concealment of mental health issues, utilization of alternative resources, and beliefs that American mental health professionals may not understand their problems and experiences (Augsberger et al., 2015; Choi et al., 2016; Derr, 2015; Sue et al., 2012; Tsai-Chae & Nagata, 2008).

In our study, while Chinese Americans showed similar rates of increasing mental distress as Filipinos, they had a much lower prevalence of mental health service utilization. These differences could indicate decreased stigma towards recognizing mental distress in the Chinese American population, but a continued fear of the potential consequences of receiving help. Nativity status may play a role in both reporting and seeking care

for mental distress. We found that Chinese and Filipino Americans also have a larger U.S.-born proportion than Asian Indians (21.3% and 34.5%, respectively, vs. 8.1%), which may indicate greater internal conflict, especially between [immigrant] parents and college-aged [native-born] children, potentially due to differences in lifestyle and differing rates of assimilating to the host culture (Choi et al., 2016; Tsai-Chae & Nagata, 2008; Wyatt et al., 2015).

Finally, Filipino Americans showed similar rates of increase in both reporting mental distress and in utilizing mental health services as NHWs, perhaps because many have been born in the United States and have adopted viewpoints of the host culture regarding the importance of mental health treatment. Amongst Asians, Filipino young adults (18-25 year old age) are the only AA age subgroup with the majority of its population born in the United States. Previous research has shown that mental health utilization patterns among the 1.5 (those who arrived in the United States as children or adolescents) or 2nd generation are similar to those of immigrants. These studies illustrate that mental health service utilization usually starts increasing with the 3rd generation (Augsberger et al., 2015; Choi et al., 2016; G. Kim et al., 2011; Tsai-Chae & Nagata, 2008).

Ethnic groups often have better mental health outcomes with programs tailored to their specific culture. Many agencies who provide Asian mental health services serve a predominantly Medicaid population or historically marginalized populations, like non-South Asian people of color (John et al., 2012). Since many Asian Americans live in middle to high income households, have obtained at least a college degree, and have medical insurance, they may be paradoxically unaware or unable to access Asian-specific mental health services. Furthermore, even when these resources are readily available, they may not be well-known to the public and advertised broadly (Augsberger et al., 2015; E. Kim, 2011).

Our study has several limitations. Observational studies only support association, and cannot indicate causation between reporting and seeking mental health services. Second, NHIS undersampled Asians relative to other groups, potentially obscuring important associations in geographic and cultural differences impacting mental distress and care seeking. Third, the Kessler-6 scale is culturally specific to capture how mental health distress presents in the non-Hispanic White population. For many Asians, mental health distress may present as somatic symptoms of headache, fatigue, GI distress, insomnia or pain, again potentially leading to under-capturing of the true rates of mental health distress amongst Asians.

Despite these limitations, our study provides insight into the state of mental health distress and mental health service utilization by Asian subgroups living in America over the past decade. We found that while rates of reported mental health distress are rising amongst Asian Americans, rates of mental health service utilization has not increased for people of Asian

Indians or Chinese descent. With rising suicide rates amongst Asian subgroups, this study points to the critical importance of normalizing issues of mental health service utilization amongst Asians, with attention to mental health awareness, stigma reduction, and community outreach regarding culturally specific resources.

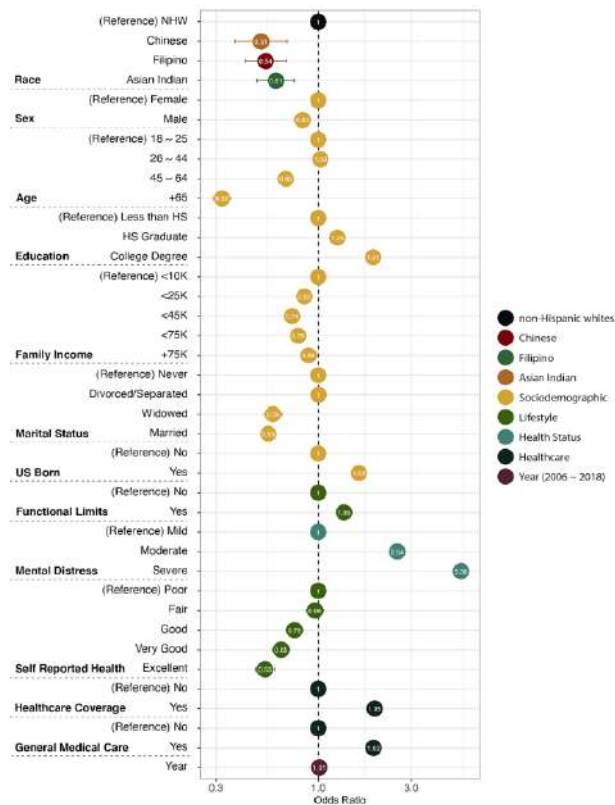


Figure 3: Likelihood of Using Mental Health Services by Asians and non-Hispanic whites in the National Health Interview Survey, 2006-2018 (weighted adjusted odds ratios)

5. References

Alvarez, K., Fillbrunn, M., Green, J. G., Jackson, J. S., Kessler, R. C., McLaughlin, K. A., Sadikova, E., Sampson, N. A., & Alegria, M. (2019). Race/ethnicity, nativity, and lifetime risk of mental disorders in US adults. *Social Psychiatry and Psychiatric Epidemiology*, 54(5), 553–565.

Augsberger, A., Yeung, A., Dougher, M., & Hahm, H. C. (2015). Factors influencing the underutilization of mental health services among Asian American women with a history of depression and suicide. *BMC Health Services Research*, 15(1), 542.

Cheng, A. W., Chang, J., O'brien, J., Budgazad, M. S., & Tsai, J. (2017). Model Minority Stereotype: Influence on Perceived Mental Health Needs of Asian Americans. *Journal of Immigrant and Minority Health; New York*, 19(3), 572–581.

Choi, S., Kim, G., & Lee, S. (2016). Effects of Nativity, Length of Residence, and County-Level Foreign-Born

Density on Mental Health Among Older Adults in the U.S. *Psychiatric Quarterly*, 87(4), 675–688.

Derr, A. S. (2015). Mental Health Service Use Among Immigrants in the United States: A Systematic Review. *Psychiatric Services*, 67(3), 265–274.

John, D. A., de Castro, A. B., Martin, D. P., Duran, B., & Takeuchi, D. T. (2012). Does an immigrant health paradox exist among Asian Americans? Associations of nativity and occupational class with self-rated health and mental disorders. *Social Science & Medicine*, 75(12), 2085–2098.

Karasz, A., Gany, F., Escobar, J., Flores, C., Prasad, L., Inman, A., Kalasapudi, V., Kosi, R., Murthy, M., Leng, J., & Diwan, S. (2019). Mental Health and Stress Among South Asians. *Journal of Immigrant and Minority Health*, 21(1), 7–14.

Kessler, R. C., Andrews, G., Colpe, L. J., Hiripi, E., Mroczek, D. K., Normand, S.-L. T., Walters, E. E., & Zaslavsky, A. M. (2002). Short screening scales to monitor population prevalences and trends in non-specific psychological distress. *Psychological Medicine*, 32(6), 959–976.

Kim, E. (2011). Intergenerational Acculturation Conflict and Korean American Parents' Depression Symptoms. *Issues in Mental Health Nursing*, 32(11), 687–695.

Kim, G., Aguado Loi, C. X., Chiriboga, D. A., Jang, Y., Parmelee, P., & Allen, R. S. (2011). Limited English proficiency as a barrier to mental health service use: A study of Latino and Asian immigrants with psychiatric disorders. *Journal of Psychiatric Research*, 45(1), 104–110.

Lee, S. Y., Martins, S. S., Keyes, K. M., & Lee, H. B. (2011). Mental Health Service Use by Persons of Asian Ancestry With DSM-IV Mental Disorders in the United States. *Psychiatric Services (Washington, D.C.)*, 62(10), 1180–1186.

Sue, S., Cheng, J. K. Y., Saad, C. S., & Chu, J. P. (20121008). Asian American mental health: A call to action. *American Psychologist*, 67(7), 532.

Tsai-Chae, A. H., & Nagata, D. K. (2008). Asian values and perceptions of intergenerational family conflict among Asian American students. *Cultural Diversity and Ethnic Minority Psychology*, 14(3), 205–214.

Wyatt, L. C., Ung, T., Park, R., Kwon, S. C., & Trinh-Shevrin, C. (2015). Risk Factors of Suicide and Depression among Asian American, Native Hawaiian, and Pacific Islander Youth: A Systematic Literature Review. *Journal of Health Care for the Poor and Underserved; Baltimore*, 26(2), 191–237.

睡眠不足がもたらす腸内環境への影響

矢島佳歩^{1,2*} 小川雪乃²⁻⁴ 福田真嗣^{2,5-7} 富田勝^{1-3**}

¹慶應義塾大学 環境情報学部

²慶應義塾大学 先端生命科学研究所

³慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科

⁴国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 食品研究部門

⁵神奈川県立産業技術総合研究所

⁶筑波大学トランスボーダー医学研究センター

⁷株式会社メタジェン

*kaho5328@keio.jp, **mt@sfc.keio.ac.jp

要旨

ストレス社会と言われる現代において、睡眠に対する社会的関心と需要が高まっている。しかし、睡眠のメカニズムは未解明な点が多く、睡眠関連疾患の治療は対症療法が一般的であるため、新規アプローチによる根元治療法の確立が望まれている。本研究では脳腸相関に着目し、腸内細菌叢を介した睡眠調節メカニズムの解明を目指した。睡眠阻害により作製した、行動学的睡眠不足モデルマウスの腸内細菌叢を 16S メタゲノム解析により評価したところ、2 種の細菌属の有意な変動があった。さらに、睡眠不足の影響を受ける腸内細菌叢由来代謝物質を明らかにするためにメタボローム解析を実施したところ、睡眠との関連が報告されている代謝物質の変動が観察された。これらの結果から、睡眠と腸内細菌叢の相互関連が強く示唆された。本研究は、睡眠と腸内細菌叢との間を繋ぐ制御関係の解明に繋がり、新たな睡眠障害治療法の確立へ貢献すると考える。

キーワード: 腸内細菌、腸内細菌叢、睡眠、睡眠障害、メタボローム

1 背景

現代社会は、ライフスタイルの変化や仕事などが原因でストレスが生じやすい環境である。ストレスは日々の睡眠に影響を与える。睡眠は確認されている全ての動物に保存されている生命活動の 1 つであり、エネルギーやホルモンバランスの調整、記憶の処理など生命維持に必須であるが、そのメカニズムは未解明な点が多い。睡眠に関する病気は「睡眠障害」と総称され、慢性的な睡眠の乱れや環境要因、他の疾患によって誘発される。睡眠障害の患者数は国内に約 3,000 万人、それに伴う経済損失は年間約 3.5 兆円にも上る。そのため、睡眠に対する社会的関心と睡眠障害治療への需要が高まっている。しかし現状として、睡眠障害の治療には睡眠導入剤などの対症療法が一般的であり、効果的な病因療法がないため、新規アプローチによる根元治療法の確立が望まれている。そこで、「脳腸相関」及びその因子である腸内細菌叢に着目した。脳と腸は迷走神経やホルモンを介し、双方向的に情報伝達を行い、生体恒常性を維持する機構であり、その密な関係から腸は「第 2 の脳」と呼ばれる。近年、この関係に腸内細菌が関連していることが明らかになっている。腸内細菌叢とは腸内に常在する細菌の総称であり、腸

管内に約 40 兆個程度存在し、宿主の健康や生理機能に重要な役割を担っている。そのため、腸内細菌叢や「腸内細菌叢-腸-脳軸(MGB axis)」という経路を活用した様々な疾患へのアプローチが進められている。そこで、本研究では脳機能の 1 つである睡眠と腸内細菌叢にも相互作用があると仮説を立てた。既に、概日リズムと腸内細菌叢の関連などは報告されているが、直接的関連やメカニズムについては未解明である。従って、睡眠と腸内細菌叢の直接的な関係を明らかにすることで、睡眠障害への新たなアプローチが拓けると期待される。

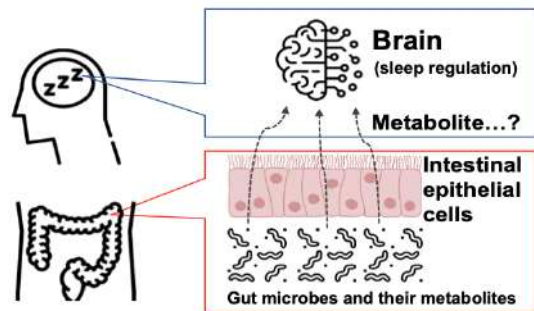


図 1: 研究概要

腸内細菌叢と睡眠機能が代謝物質などを介して相互に影響を及ぼし合っていると仮定し、その関連メカニズムを解明することを目的としている。

2 方法

2.1 睡眠不足モデルマウスの作製

本研究では断眠(Sleep deprivation, SD)を用いて睡眠不足モデルマウスを作製した。SDには基本的にはケージ交換(Cage change, CC)を用いた。明期前半6時間(ZT0-6)を覚醒させ続けるために、1時間おきにケージ交換を行った。ケージ交換には滅菌された新しいケージ及び床敷を用いた。ケージ交換と同時に常時監視も行い、睡眠状態(目を閉じ、5秒以上静止している)が確認された時のみマウスを優しく刺激(Gentle handling, GH)し、覚醒状態を維持した。なお、ケージ交換によるSDはジェントルハンドリングのみのSDと同じ水準の睡眠不足を引き起こすことがわかっている。しかし、本実験を行う上で、後半3時間はCCだけでは不十分であると判断したため、GHもあわせて行なった。

2.2 実験手順

30匹の7週齢のC57BL/6J雄性マウスを使用し、全てのマウスに水道水と通常食(AIN-93G, 日本クレア)を7日間自由摂取させた後、実験を開始した(Day0)。Control(AIN-93G), Crude Fiber(CE-2, 日本クレア社), High Fat(D12492, リサーチダイエツト)の3種類の食餌を自由摂取させたマウスを自由睡眠群(SD-)と断眠群(SD+)に分け、各群n=5, 計6群で実験を行った(図2a)。14日目まではSDを行わず、食餌による馴化期間をとった。14日後から7日間, SD(+)の3群ではSDを行い, SD(-)の3群は自由睡眠させた。糞便は実験開始0, 7, 13~20日目にサンプリングした(図2b)。採集は全て明期開始直後(ZT0)に行い、16S rRNA遺伝子解析には0, 14, 17, 20日目の糞便サンプルを使用した。また、20日目のSD後(ZT6-9)に解剖を行い、メタボローム解析で用いた盲腸内容物を含む、各部位のサンプリングを行った。

2.3 MiSeqを用いた16S rRNA遺伝子解析

収集した糞便サンプルからDNAを抽出し、次世代シーケンサーMiSeq(Illumina)を用いてアンプリコンシーケンスを行った。

DNA抽出は自動DNA抽出装置PI-480(クラボウ社)を用いて行い、NanoDrop及び電気泳動によって濃度とサイズの確認を行った。その後、腸内細菌の16S rRNA遺伝子に特異的なユニバーサルプライマーを用いて16S rRNA遺伝子の増幅を行った。QIAXcel Advanced System(キアゲン)を用いて、PCR産物の増幅を確認した。電気泳動にてPCRによって増幅したV1-V2領域である400-450bpにおけるバンドの有無で判断した。PCRによって増幅した16S rRNA遺伝子断片に、次世代シーケンサーMiSeq(Illumina社)によるシーケンスで必要とされるアダプター及び各DNA配列を識別するためのIndexを付加するためのIndex PCRを行った。精製し、濃度を統一した後、慶應義塾大学先端生命科学研究so・小松光子氏の協力

の下、MiSeqを用いて、Index PCR産物に含まれる16S rRNA遺伝子解析を行った。シーケンスはIllumina社が示すプロトコルに従って行った。ペアエンドでシーケンスされた塩基配列をFLASH(Version 1.2.11)によってアセンブリした。得られたデータはQiime(Version 1.9.1)によって、データベースGreengeneを用いて解析した。

2.4 メタボローム測定・解析

盲腸内容物をサンプルとして、キャピラリー電気泳動-飛行時間型質量分析計(Capillary Electrophoresis Time-of-Flight Mass Spectrometry, CE-TOFMS)を用いてメタボローム解析を実施した。CE-TOFMSはキャピラリー電気泳動と飛行時間型質量分析計を組み合わせた解析装置であり、イオン性の生体内代謝物を網羅的に感度良く測定する有力なツールである。測定は慶應義塾大学先端生命科学研究so・齋藤香織氏、加藤啓子氏に協力を頂いた。得られたデータはMaster Hands(ver. 2.17.3.18)を用いてピーク検出と積分を行い、質量電荷比(m/z)とMigration timeを元に代謝物質の同定を行った。定量に関しては、同時に泳動した内部標準物質(cationモード: Methionine sulfone, anionモード: CSA)のピーク面積から濃度を算出した。

メタボローム解析ツールとしてMetaboAnalystを用いた。MetaboAnalystはWeb上で提供されている解析ツールで、各代謝物質濃度を元に有意に変動している代謝経路の検出が可能である。メタボローム解析により得られた各代謝物質濃度を元に統計解析、Metabolite Set Enrichment解析、Pathway解析を行った。

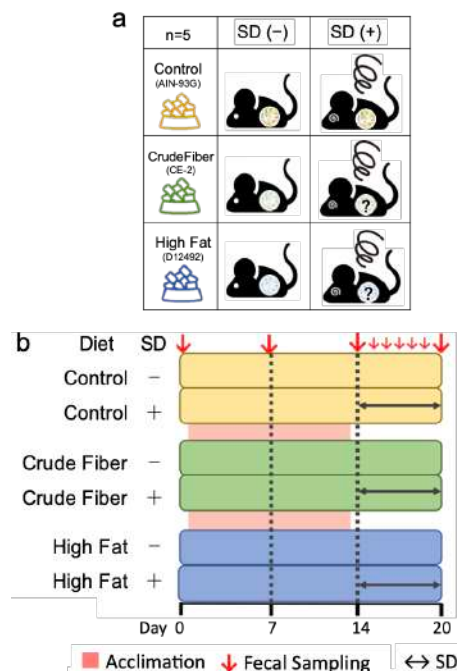


図2: 動物試験

a: 実験群の概要。3種類の食餌にそれぞれSD(-)群とSD(+)群を用意し、計6群(n=5)で実験を行った。b: 実験スケジュール。実験のタイムラインを示した。全ての群について、実験開始0, 7, 13~20日目に糞便採集を行った。

3 結果

3.1 腸内細菌叢解析

採取した糞便サンプルの細菌叢解析を行い、科レベルの細菌叢データについて、各群0, 14, 17, 20日目の組成の比較を行った。結果として、食餌による細菌叢構成の変化が観察された(図3a)。次に、7日間SDによる腸内細菌への影響を詳しく観察するため、20日目の属レベルの細菌叢データについて、各食餌におけるSD(-)群とSD(+)群間の比較を行った。その結果、有意差が認められる細菌属が計2種存在した(図3b)。ControlにてSD(-)群とSD(+)群間で有意に存在量が変動する細菌属はなかったものの、Crude FiberにおいてはSD(+)群にて*Adlercreutzia*が有意に増加し、*Clostridium*が有意に減少した。またHigh Fatでも、SD(+)群において*Adlercreutzia*が有意に増加した(図3c)。

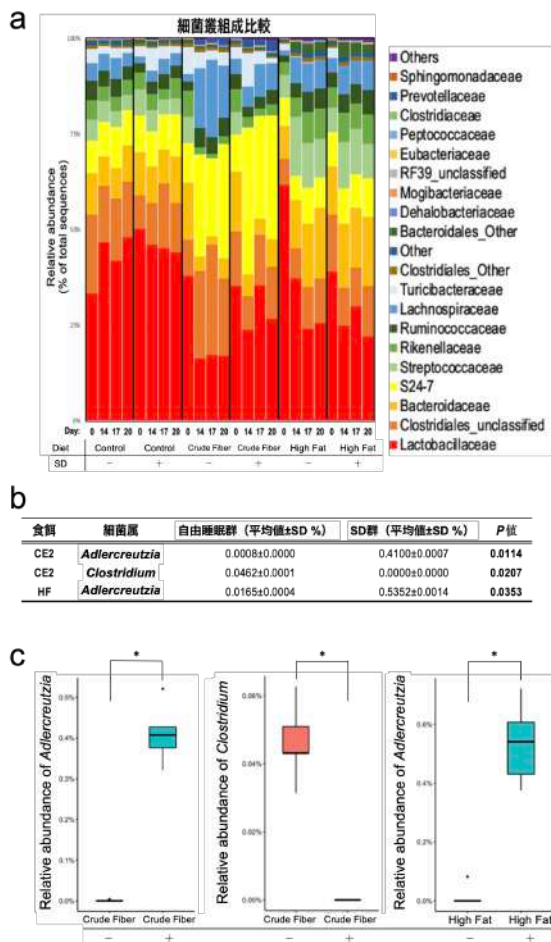


図3：断眠有無による腸内細菌叢組成比較

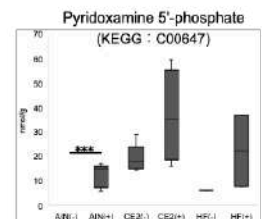
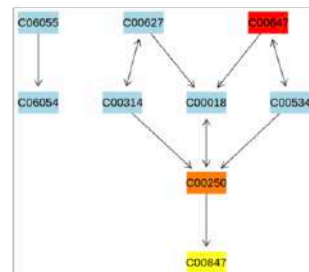
a：細菌科ごとの腸内細菌叢組成比較。各群における主要20細菌科ごとの平均相対存在比を比較した。Othersは主要20細菌科以外の細菌科の合計である。b：SDによって存在量に変化が認められた細菌属一覧。平均値は全体を100とした時の存在量比(%)である。c：SDによる有意差があった細菌属の存在量。自由睡眠群及びSD群における全体を100とした時の存在量を示す。

3.2 メタボローム解析

腸内細菌による腸管代謝物質への影響を評価するために採取した盲腸内容物サンプルを用いてメ

タボローム解析を行った。SDによって変動した代謝経路を明らかにするためにMetabolite Set Enrichment解析を行い、変動した代謝経路にどのような代謝物質が関連しているかを詳細に検討するためにPathway解析を行った。データベースはKEGG Pathway(Version 93.0)を使用している。解析ツールMetaboAnalystを用いたPathway解析では検出された代謝物質とKEGGデータベースを統合し、パスイロ情報を得て、その情報を代謝物質の変動データを統合し、データを可視化している。各食餌において、SD(-)とSD(+)の間で比較を行った。ControlとHigh FatでSD有無によって有意に差があり、Pathway ImpactがあるのはVitamin B6経路とTryptophan代謝経路であった。Crude Fiberでは有意に差があり、Pathway Impactがある経路はなかった。Vitamin B6経路の上流であるPyridoxamine 5'-phosphate(KEGG：C00647)、Tryptophan代謝経路の上流であるTryptophan(KEGG：C00078)及びその下流にあるAnthranilate(KEGG：C00108)の定量データをSD有無間で比較したところ、有意な変動があった。Pyridoxamine 5'-phosphateは全群でSDによる増加傾向があった(図4a)。また、TryptophanはHigh FatにおいてSDによる有意な減少があり、Crude Fiberにおいて減少傾向があった(図4b)。AnthranilateはHigh FatにおいてSDによる有意な減少が生じた(図4b)。

a Vitamin B6 metabolism



b Tryptophan metabolism

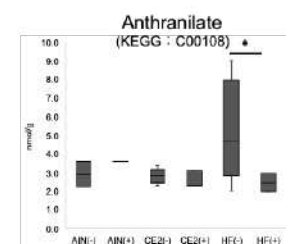
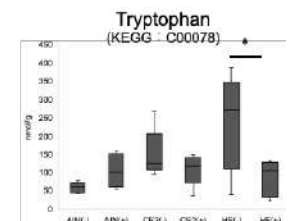
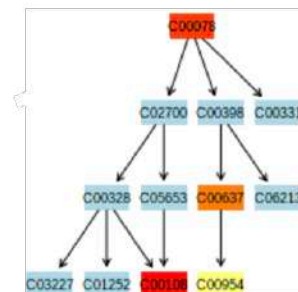


図4：Pathway解析において有意差が認められた経路

a：Vitamin B6経路及び経路上流にあるPyridoxamine 5'-phosphateの濃度。b：トリプトファン代謝経路及び経路上流にあるTryptophan及びその下流にあるAnthranilateの濃度。(Pathway Impact > 0 かつ $P < 0.05$, * $P < 0.05$, *** $P < 0.001$)

4 議論

睡眠不足モデルマウスを用いた実験より、SDによる腸内*Clostridium*と*Adlercreutzia*の有意な存在量変化が確認された。

*Clostridium*はClostridia綱Clostridiales目に属し、酪酸産生菌として知られており、腸管の免疫機能を調整し、炎症の抑制や腸粘膜機能の正常化に働くことが報告されている。本実験のメタボローム解析結果においてもCrude Fiber群で酪酸の存在量が多く、SDによって酪酸代謝経路に変動があった。また、本来、*Clostridium*はCrude Fiber下では増加することがわかっている。しかし、Crude Fiber(+)群ではどの個体でも検出されなかった。よって、SDによって*Clostridium*の減少が引き起こされたと考えられる。一方、SDによって増加した*Adlercreutzia*はCoriobacteria綱Eggerthellales目に属し、大豆イソフラボンに含まれるダイゼインをエクオールに代謝することができるエクオール産生菌として知られており、プロバイオティクスとして使用される。*Adlercreutzia*は自由睡眠をさせたCrude Fiber(-)群では1匹を除いた全ての個体で全く観察されなかった。しかし、Crude Fiber (+)群では全ての個体で平均約0.41%存在していた。また、SDによる*Adlercreutzia*の増加はHigh Fat (+)群でも観察され、全ての個体で平均約0.53%存在していた。つまり、*Adlercreutzia*はSDによって増加する菌であると考えられ、本菌は睡眠と関連する可能性が示唆された。

盲腸内容物メタボローム解析の結果、SDによって腸内代謝経路にも影響を及ぼしていることが明らかとなった。特に、トリプトファン代謝経路とビタミンB6経路は有意に変動があった。血液や臓器において睡眠不足がこの2経路に影響をもたらすことは以前から報告されている。今回の実験から、睡眠不足が腸内におけるトリプトファン、ビタミンB6代謝経路の変化とも関連していることが示唆され、体外である腸内環境の変化と体内での変化も大きく影響し合っている可能性が考えられる。以上より、腸内環境によっては睡眠の変化が2種の細菌属の増減を介してトリプトファン代謝経路やビタミンB6経路関連代謝物質の変化を引き起こす可能性が示唆された。

本成果より、睡眠と腸内細菌叢の相互関連が強く示唆された。今後、睡眠と腸内細菌の間を繋ぐ詳細な制御関係を明らかにすることで、腸内細菌叢を介した新規の睡眠障害改善法の確立に繋がると共に、現代の脳神経科学最大のブラックボックスと言われる睡眠の制御機構を紐解く新たな視点となると考えている。

5 謝辞

慶應義塾大学政策メディア研究科特任講師 小川雪乃氏、慶應義塾大学政策メディア研究科特任教授 福田真嗣氏、慶應義塾大学環境情報学部 富田勝教

授のご指導、ご鞭撻のもと本研究を行うことができました。感謝申し上げます。また、湘南藤沢学会、山岸学生プロジェクト支援制度、山形研究費及び鶴岡市の御支援によって行われました。深く御礼申し上げます。

5 参考文献

- Atarashi, K., Tanoue, T., Shima, T., Imaoka, A., Kuwahara, T., Momose, Y., Cheng, G., Yamasaki, S., Saito, T., Ohba, Y., Taniguchi, T., Takeda, K., Hori, S., Ivanov, I. I., Umesaki, Y., Itoh, K., & Honda, K. (2011). Induction of colonic regulatory T cells by indigenous *Clostridium* species. *Science (New York, N.Y.)*, *331*(6015), 337–341.
- Davies, S. K., Ang, J. E., Revell, V. L., Holmes, B., Mann, A., Robertson, F. P., Cui, N., Middleton, B., Ackermann, K., Kayser, M., Thumser, A. E., Raynaud, F. I., & Skene, D. J. (2014). Effect of sleep deprivation on the human metabolome. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *111*(29), 10761–10766.
- Hong, K. B., Park, Y., & Suh, H. J. (2016). Sleep-promoting effects of a GABA/5-HTP mixture: Behavioral changes and neuromodulation in an invertebrate model. *Life sciences*, *150*, 42–49.
- Maruo, T., Sakamoto, M., Ito, C., Toda, T., & Benno, Y. (2008). *Adlercreutzia equolifaciens* gen. nov., sp. nov., an equol-producing bacterium isolated from human faeces, and emended description of the genus *Eggerthella*. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, *58*(Pt 5), 1221–1227.
- Nobs, S. P., Tuganbaev, T., & Elinav, E. (2019). Microbiome diurnal rhythmicity and its impact on host physiology and disease risk. *EMBO reports*, *20*(4), e47129.
- Suda, K., Setoyama, H., Nanno, M., Matsumoto, S., & Kawai, M. (2013). Involvement of parasympathetic pelvic efferent pathway in psychological stress-induced defecation. *World journal of gastroenterology*, *19*(8), 1200–1209.
- Suzuki, A., Sinton, C. M., Greene, R. W., & Yanagisawa, M. (2013). Behavioral and biochemical dissociation of arousal and homeostatic sleep need influenced by prior wakeful experience in mice. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *110*(25), 10288–10293.
- Theriot, C. M., & Young, V. B. (2015). Interactions Between the Gastrointestinal Microbiome and *Clostridium difficile*. *Annual review of microbiology*, *69*, 445–461.
- Voigt, R. M., Forsyth, C. B., Green, S. J., Mutlu, E., Engen, P., Vitaterna, M. H., Turek, F. W., & Keshavarzian, A. (2014). Circadian disorganization alters intestinal microbiota. *PLoS one*, *9*(5), e97500.
- Wang, H. X., & Wang, Y. P. (2016). Gut Microbiota-brain Axis. *Chinese medical journal*, *129*(19), 2373–2380.

液体CO₂の物質分配に関する実験的研究 疎水溶媒を介する元素循環と化学進化

瀬尾海渡^{12*} 渋谷岳造³ 藤島皓介⁴ 高井研³ 富田勝^{12**}

¹慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科

²慶應義塾大学 先端生命科学研究所

³海洋研究開発機構 超先鋭研究開発部門

⁴東京工業大学 地球生命研究所

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

要旨

二酸化炭素(CO₂)は一定の温度圧力条件下で疎水的性質を持つ液体となり、自然環境下においても海底下で液体CO₂の貯留層が複数発見されている。また生命誕生以前の冥王代では現在よりも広い範囲での液体CO₂貯留層の存在が示唆されている。冥王代海洋において疎水性溶媒である液体CO₂は海水に溶解しにくい元素種の循環や、海水中では進みづらいついと言われている生命誕生に関わる化学反応の進行に役割を持った可能性があるが、初期地球での液体CO₂に関する研究は少ない。そこで本研究では液体CO₂を用いた実験を行うための高圧容器を用意し、人工海水-液体CO₂間の海水主要元素分配に関して実験的に調べた。その結果、海水主要元素(Na, Mg, K, Ca)はほぼ液体CO₂に分配しないことがわかった。今後は重金属や有機物についての分配や溶解度を調べ、初期地球で液体CO₂が元素循環と化学進化に果たした役割を明らかにする。

キーワード: 液体CO₂, 冥王代, 元素循環, 化学進化, 生命の起源

1 背景

二酸化炭素(CO₂)は気体や固体(ドライアイス)の状態が広く知られているが、一定の温度圧力条件下では液体となる。液体となったCO₂は非常に低い極性を持つことから有機溶媒のような疎水性を示し、水の溶解度は1%未満である (Stone, 1943; Hyatt, 1984; Teng et al., 1997)。現代の海洋では沖縄トラフ、北マリアナ島弧、そしてノルウェー海に位置するいくつかの熱水噴出域周辺で、海底下に液体CO₂の貯留層が発見されている (Sakai et al., 1990; Konno et al., 2006; Lupton et al., 2006; Stensland et al., 2019)。これらの液体CO₂は、海底下に沁み込んだ海水が地熱によって暖められると同時に周囲の岩石と反応することでマグマ由来のCO₂を取り込み、そうしてできた熱水が上昇などによる冷却過程で脱ガスを起こすことで生成されたと考えられている。一方、冥王代地球では現在よりも多くのCO₂が大気に存在したとされており、海洋にもより多くのCO₂が溶け込んでいたとされる (Sleep, 2010)。当時の地質学的記録が乏しいため値の推定は困難だが、冥王代の直後に位置付けられる太古代の大気では現在と比較して10から2500倍のCO₂量が存在すると推定されている (Catling and Zahnle, 2020)。大量に溶け込んだCO₂が冥王代の海底で水圧により液体となることで疎水的環境ができ (Nealson, 2006)、液体CO₂を介した海水に溶解しにくい元素の拡散が考えられる。実際にノルウェー海のJan Mayen熱水ではCO₂ハイドレートを介した重金属の拡散が示唆されている

(Stensland et al., 2019)。

生命の起源研究において海底から熱水は噴出し、水と岩石の反応から非生物的有機物生成が行われる熱水噴出孔は、継続的な熱源や電気化学的非平衡などの条件から生命誕生場の有力な候補とされている (Martin et al., 2008; Sojo et al., 2016; Yamamoto et al., 2017)。一方、有機物が化学反応を繰り返すことで生命に見られるような機能を持つ有機分子になったとする化学進化説では、アミノ酸からタンパク質やリボヌクレオチドからRNA鎖への重合反応といった脱水縮合を伴う反応が海水中では熱力学的に起きづらいこと、反応が起きても不安定であることなどの問題点が指摘されていた (Kitadai and Maruyama, 2018)。疎水性溶媒である液体CO₂中であれば脱水縮合反応のような化学進化の反応場になることや、水中で不安定な有機分子の貯留場となることが考えられる (渋谷 and 高井, 2017)。しかし、液体CO₂を対象にした生命の起源研究はほとんど行われておらず、海水や熱水に含まれることが知られている元素の液体CO₂への分配や、生命前駆有機分子の液体CO₂への溶解度についてはほとんど調べられていない。そこで本研究では液体CO₂を用いた実験システムの確立を目的として高圧容器の用意を行い、海水に含まれる主要元素であり、元素循環と生命必須元素という点で重要なNa, Mg, K, Caについて人工海水-液体CO₂間の分配を調べた。

2 方法

2.1 液体CO₂を入れる耐圧容器

耐圧容器はガラス窓が付いたステンレス製のものを購入した(日東高压). 容器内部から液体を抽出するための管をステンレス製のチューブとバルブ(Swagelok社)を用いて作成し, 取り付けた(図1). 接続部分が多数あるため, 漏れがないよう確認する目的で繰り返しリークチェックを行った. 容器内部とチューブ内は純水, 1MNO₃, エタノールの順で洗浄し, 二度純水ですすいだ. 最後に窒素ガスを吹きかけてしっかりと乾燥させた.

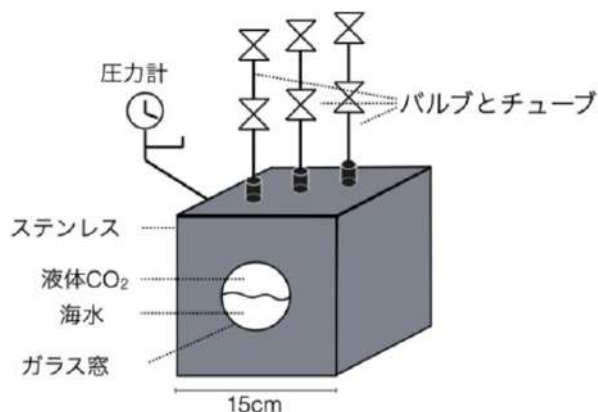


図1: 耐圧容器の模式図

三角形が二つ連なっている砂時計状の形がバルブを示す. ガラス窓からは内部に入れた液体の様子が確認できるようになっている.

2.2 人工海水-液体CO₂系の構築と抽出

国際海洋物理化学協会によって定められた海水の標準濃度を参考に (Millero et al., 2008), 主要な元素であるNa, Mg, K, Caを含む人工海水を, 純水, 塩化ナトリウム, 塩化マグネシウム, 塩化カルシウム, 塩化カリウムの試薬(ナカライテスク)を用いて調製した. Mgは調製上の操作により約半分の量となった. 120 mLの人工海水と攪拌子を耐圧容器内に入れ密閉した後, バルブを通して液化炭酸ガス(CO₂)を注入した. 圧力は6 MPaまで上昇した. 攪拌子は液体CO₂によって溶解しないPTFE製を用いた(Jiménez et al., 2007). 液体CO₂が海水と同程度の量が入ったことを確認した後, バルブを閉じ, 攪拌機で攪拌を1日行なった. その後攪拌を止め, 1日平衡化させた.

人工海水と液体CO₂の抽出はそれぞれ独立した実験系で行なった. 人工海水の中に口が開いているチューブを通して, 人工海水の抽出を複数回行ない, 1-5, 9, 13回目の抽出溶液を分析した. 液体CO₂の抽出では, CO₂を気化させずに取り出すため, バルブとチューブを用いてサンプリングチューブを作成した(図2). サンプリングチューブ内の空気を真空ポンプで抜き, 耐圧容器のバルブに取り付けた. 耐圧容器とサンプリングチューブ内の圧力差によって液体CO₂が移動し, 抽出した. サンプリングチュ

ーブ内に液体CO₂が抽出されたことを重量法によって確認した後, CO₂を気化させ, 純水をチューブ内にいれて30分放置した. これにより液体CO₂の気化によってチューブ内に残った元素を純水中に回収した. 抽出は複数回行った. また抽出直前にサンプリングチューブを純水で満たしておいたものをブランクとした.

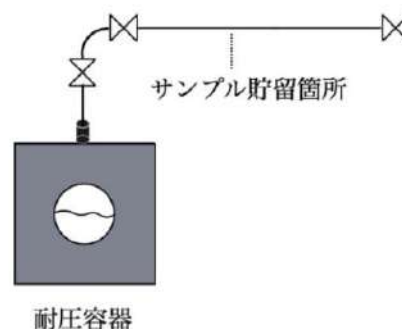


図2: サンプリングチューブの模式図

三角形が二つ連なっている砂時計状の形がバルブを示す. サンプル貯留箇所と示している部分に液体CO₂を一時的に移動させ, 液体として抽出を行う.

人工海水は適切な濃度に薄め, 液体CO₂回収溶液とともに Dionex ICS-1600 (ThermoFisher Scientific)を用いたイオンクロマトグラフィーで分析した. 陽イオン標準液 III (富士フィルム和光純薬)を外部標準試料として校正を行った.

3 結果

3.1 耐圧容器の準備

耐圧容器は漏れなく液体CO₂を封入した. また抽出作業も遂行した.

3.2 抽出した人工海水・液体CO₂の濃度

人工海水-液体CO₂系から人工海水を直接抽出した結果, 4種の元素濃度についてCO₂反応前と比較するとNaを除いて有意な差は見られなかった(図3). しかしNaについても人工海水中の濃度が不安定であった. 液体CO₂を直接抽出した結果, 1-4回目については値が安定しなかったため, 海水の水滴等が抽出時に紛れ込んだと考え結果から除外した(図4). 6-8回目の抽出で値が安定したため, 液体CO₂に溶存しているとした. ブランクと比較するとNaとMgについては微量ではあるが液体CO₂への分配が見られたが, KとCaは検量限界を下回った.

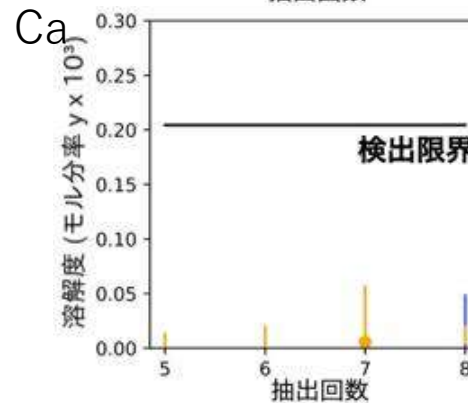
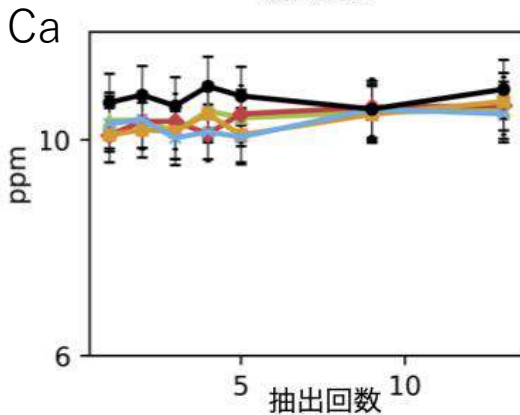
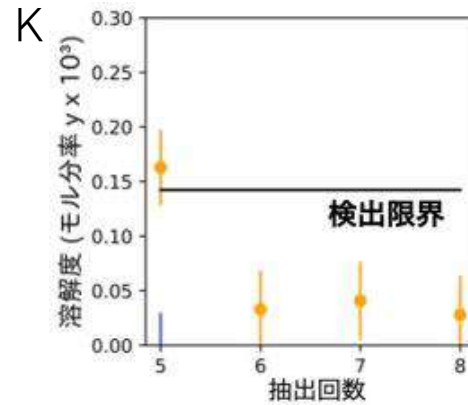
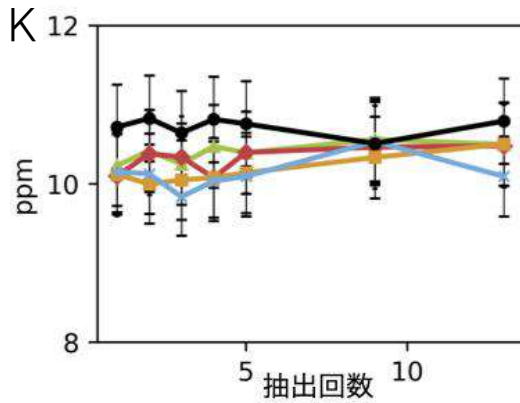
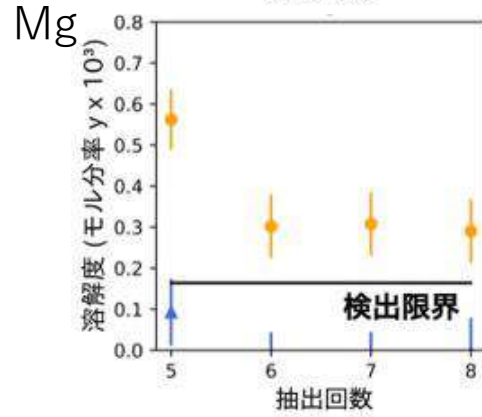
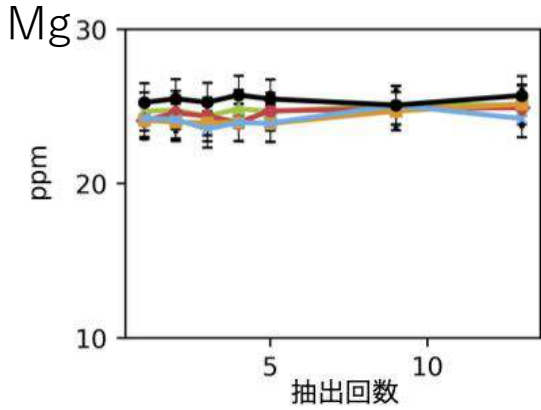
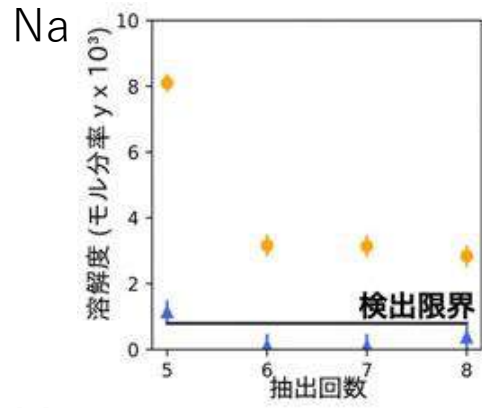
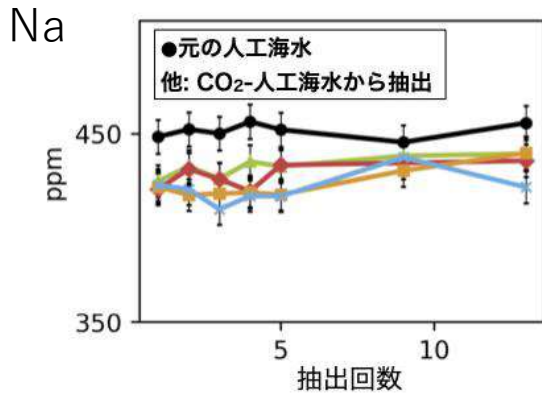


図3：人工海水抽出時の元素濃度変化
黒丸が液体CO₂と反応前、それ以外が反応後を示す。左上に元素名が示してある。同一の系において1回目の抽出で抽出回数が1, 2回目で2というようにプロットされている。

図4：液体CO₂抽出時の元素濃度変化
黄色の丸がCO₂から回収した元素の濃度、青の三角がブランク中の元素濃度を示す。黒い線は計算によって求めた検出限界となる。各濃度はモル分率を千倍した値で示されている。

4 議論

人工海水-液体CO₂系から人工海水を抽出した際は微量な差を明らかに検出することはできなかったが、液体CO₂に溶存している物質を間接的に分析したところ、NaとMgについて有意な差を検出した。NaとMgはKとCaに比べてそれぞれ100倍、10倍ほど多く人工海水に含まれていたため、元素種による差よりも海水中の濃度比が強く反映されていたと考えられる。日単位の反応では海水主要元素は液体CO₂側にほとんど分配されないことから、こうした元素を必要とする原始細胞の誕生には向かないが、これらの元素に邪魔されない無機・有機物の反応場として働く可能性が考えられる。また長期的な反応や固体からの溶解では異なる分配を示すことも考えられるため、さらなる調査が求められる。

臨界点を越えた状態である超臨界CO₂を用いた研究では重金属を含む有機金属錯体のCO₂への溶解が広く報告されていることから (Gupta and Shim, 2006), 今後は重金属を含むステンレスと溶液が触れない実験系を構築し、熱水に含まれる重金属について分配実験を現在実行中である。生命前駆物質である有機物は液体CO₂を溶媒として溶質を測定できる系を開発中である。初期地球環境で想定される様々な元素や分子、結晶と液体CO₂の反応について調べることで、液体CO₂が元素循環と化学進化に果たした役割の解明を目指す。

5 謝辞

本研究は2019年度森泰吉郎記念研究振興基金, JSPS 科研費18K18783からの助成を受けたものです。

5 参考文献

- Catling D. C. and Zahnle K. J. (2020) The Archean atmosphere. *Science Advances* **6**, eaax1420.
- Gupta R. and Shim J. (2006) *Solubility in Supercritical Carbon Dioxide.*, CRC Press.
- Hyatt J. A. (1984) Liquid and supercritical carbon dioxide as organic solvents. *The Journal of Organic Chemistry* **49**, 5097–5101.
- Jiménez A., Thompson G. L., Matthews M. A., Davis T. A., Crocker K., Lyons J. S. and Trapotsis A. (2007) Compatibility of medical-grade polymers with dense CO₂. *The Journal of Supercritical Fluids* **42**, 366–372.
- Kitadai N. and Maruyama S. (2018) Origins of building blocks of life: A review. *Geoscience Frontiers* **9**, 1117–1153.
- Konno U., Tsunogai U., Nakagawa F., Nakaseama M., Ishibashi J., Nunoura T. and Nakamura K. (2006) Liquid CO₂ venting on the seafloor: Yonaguni Knoll IV hydrothermal system, Okinawa Trough. *Geophysical Research Letters* **33**, L16607.
- Lupton J., Butterfield D., Lilley M., Evans L., Nakamura K., Chadwick W., Resing J., Embley R., Olson E., Proskurowski G., Baker E., de Ronde C., Roe K., Greene R., Lebon G. and Young C. (2006) Submarine venting of liquid carbon dioxide on a Mariana Arc volcano. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* **7**.
- Martin W., Baross J., Kelley D. and Russell M. J. (2008) Hydrothermal vents and the origin of life. *Nature reviews. Microbiology* **6**, 805–14.
- Millero F. J., Feistel R., Wright D. G. and McDougall T. J. (2008) The composition of Standard Seawater and the definition of the Reference-Composition Salinity Scale. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* **55**, 50–72.
- Nealson K. (2006) Lakes of liquid CO₂ in the deep sea. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **103**, 13903–13904.
- Sakai H., Gamo T., Kim E., Tsutsumi M., Tanaka T., Ishibashi J., Wakita H., Yamano M. and Oomori T. (1990) Venting of Carbon Dioxide-Rich Fluid and Hydrate Formation in Mid-Okinawa Trough Backarc Basin. *Science* **248**, 1093–1096.
- Sleep N. H. (2010) The Hadean-Archaean environment. *Cold Spring Harbor perspectives in biology* **2**, a002527.
- Sojo V., Herschy B., Whicher A., Camprubí E. and Lane N. (2016) The Origin of Life in Alkaline Hydrothermal Vents. *Astrobiology* **16**, 181–197.
- Stensland A., Baumberger T., Lilley M. D., Okland I. E., Dundas S. H., Roerdink D. L., Thorseth I. H. and Pedersen R. B. (2019) Transport of carbon dioxide and heavy metals from hydrothermal vents to shallow water by hydrate-coated gas bubbles. *Chemical Geology* **513**, 120–132.
- Stone H. W. (1943) Solubility of Water in Liquid Carbon Dioxide. *Industrial & Engineering Chemistry* **35**, 1284–1286.
- Teng H., Yamasaki A., Chun M.-K. and Lee H. (1997) Solubility of liquid CO₂ in water at temperatures from 278 K to 293 K and pressures from 6.44 MPa to 29.49 MPa and densities of the corresponding aqueous solutions. *The Journal of Chemical Thermodynamics* **29**, 1301–1310.
- Yamamoto M., Nakamura R., Kasaya T., Kumagai H., Suzuki K. and Takai K. (2017) Spontaneous and Widespread Electricity Generation in Natural Deep-Sea Hydrothermal Fields. *Angewandte Chemie - International Edition* **0061**, 5725–5728.
- 渋谷岳造 and 高井研 (2017) 「初期地球海底熱水系における液体・超臨界CO₂と化学進化。」『日本地球化学会年会要旨集』 **64**, 307.

超好熱菌も暑がる!?

-大規模データから熱応答システムを紐解く-

岡部晴子^{1,2*} 金井昭夫^{1,2,3**}

¹慶應義塾大学 先端生命科学研究所

²慶應義塾大学 環境情報学部

³慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科

*t17162ho@sfc.keio.ac.jp, **akio@sfc.keio.ac.jp

要旨

超好熱性アーキアのパイロコッカス フリオサスは、100℃近い高温環境を好み生息しているにも関わらず熱ストレス応答機構を持つことが既知である。しかし本アーキアの熱ショック時におけるタンパク質の挙動や、細胞全体の生理応答については未解明の部分が多い。本研究は、本アーキアにおける熱ショック応答機構の全体像の解明を目的とした。90℃で培養した培地を煮沸状態にして熱ショックをかけ、タンパク質の継続的、網羅的同定と定量を行った。結果、同アーキアのタンパク質のうち80%以上が極めて高い熱安定性をもつことが明らかとなった。一方、機能未知タンパク質PF0624は大幅に増加し、煮沸後45分には熱ショック前の12倍以上の量になっていた。PF0624はヒストン様のDNA結合性ドメイン配列を有しており、高温下でのDNAの開裂を防いでいる可能性がある。本発表では、熱ショック時における遺伝子発現解析を含め、他のユニークなタンパク質の挙動についても解説したい。

キーワード: 分子生物学、超好熱性アーキア、バイオインフォマティクス、プロテオーム、トランスクリプトーム

1 背景

1.1 超好熱性微生物 パイロコッカス フリオサス

パイロコッカス フリオサス(*Pyrococcus furiosus*)は、1980年代にイタリア、ヴェルカーノ島付近の硫黄を含む海底熱水噴出孔から発見されたアーキアである(図1)。Pyrococcusの語源はPyro(炎)とcoccus(球形の菌)であり、炎の球のようなアーキア、という意味合いで名付けられた。形もさることながら、本アーキアは増殖可能温度が70~103℃と非常に高温であることが知られており、酸素の無い環境を好み生息している。

されている場所である。熱水噴出孔のような高温環境に生息する微生物の多くは、地球生命における系統樹の根元、つまり生命の起源に近い事が既知であり、パイロコッカス フリオサスも系統的に古い生物である事が先行研究より知られている。また、アーキアは生命の基盤となる機構を担う分子が真核生物と類似していることが知られており、原始生命および原始真核様生物の様子を反映している可能性が高い。生命の進化史を考える上で、本アーキアの持つ分子機構を明らかにする意義は大きいと言える。



図 1:超好熱性アーキア パイロコッカス フリオサスの電子顕微鏡写真
赤い丸が菌体、橙の線状の物質は鞭毛である。

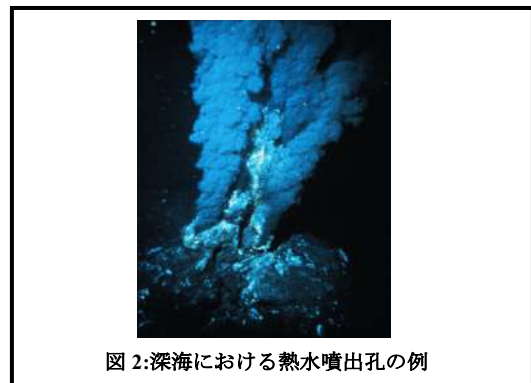


図 2:深海における熱水噴出孔の例

また本アーキアの見つかった熱水噴出孔(図2)は、地球における原子生命の誕生の地として強く支持

1.2 パイロコッカス フリオサスの熱応答機構

本アーキアは常に超高温環境に生息しているにもかかわらず、通常時の細胞機構とは異なった熱ショック応答機構を持つことが知られている。タンパク質レベルでは、熱ストレス下でタンパク質を保護、修復するsHSP(small Heat Shock Protein)やサーモソームが増加することが既知である。

さらに、パイロコッカス フリオサスは熱ショック時に分子量の小さい有機物を細胞内に蓄積させることが知られており、この合成に関わるMyo-inositol-1-phosphate synthaseタンパク質が増加する。本生物において、これらの物質はmRNAレベル、代謝レベルで熱ショック時に増加することが先行研究にて確認されている。

1.3 本研究の目的

上記の通り、本アーキアでは熱ショック時に特定のタンパク質が増加することがわかっており、熱ショック時のmRNA、代謝物の変動に関して網羅的解析がなされている。しかしながらタンパク質の網羅的解析は行われておらず、また産生されたmRNA量とタンパク質量は必ずしも相関しないため、熱ショック時におけるタンパク質の挙動の全体像は未解明である。

本研究では、網羅的タンパク質、mRNAデータを用いた解析を行うことにより、超好熱性アーキアの熱ショック時における遺伝子の挙動を解明することを目的とする。

2 方法

2.1 データ取得

本解析では金井、佐藤によって作成されたサンプルを解析対象とした(図3)。サンプル作成において、まずパイロコッカス フリオサスを90°Cで培養し、対照群のサンプルを採取した。90°Cから温度を上げ始め102°C(煮沸)に達してから15、30、45分のタイムコースごとにサンプルを採取した。

その後採取された各サンプルについて、プロテオーム解析を行った。プロテオーム解析は、サンプル内の細胞が持つタンパク質を網羅的に解析する手法である。

今回はサンプルを産総研の足達博士に委託し、プロテオームのデータ取得および解析の前処理を実施している。

今回のサンプリングでは、927のタンパク質における発現変動データを取得することができた。

また同サンプルについて、トランスクリプトーム解析を行った。本解析は、サンプル内に存在するmRNAを網羅的に解析する手法である。mRNAの配列決定をするNGS解析を外部委託し、得られたリードについてマッピングおよび定量を行った。結果、2,070の遺伝子における変動データを取得することができた。

最後に、同サンプルを用いて低分子RNA解析を実施した。低分子RNAとはタンパク質をコードしないRNAのうち、長さがわずか20~30塩基の分子を指す。また低分子RNAは、様々な生物学的プロセスの調整で重要な役割を担っていることが近年判明し、急速に研究が進展している。この低分子RNAについて、サンプル内の配列決定を外部委託し、得られた配列データについて低クオリティ配列除去後に、マッピングおよび定量化を行った。結果、52の低分子RNAにおける変動データを取得することができた。

2.2 発現変動比を用いた分類

各タンパク質の傾向について、発現変動比を用いて増加、減少、不変に分類した。

本解析における発現変動比とは、90°Cでのタンパク質量を1としたときの15、30、45分におけるタンパク質量である。発現変動比は、各タイムポイントにおけるタンパク質存在量/対照群におけるタンパク質存在量で求められる。今回は発現変動比が2より大きいタンパク質は増加、1/2以上かつ2以下であるタンパク質は不変、1/2より小さいタンパク質は減少傾向を示すと定義している。

3 結果

3.1 プロテオーム、トランスクリプトーム解析結果

タンパク質における網羅的機能解析を行った結果、計測された全927タンパク質中、80%以上のタンパク質が全時間通して熱ストレス時に不変であった。

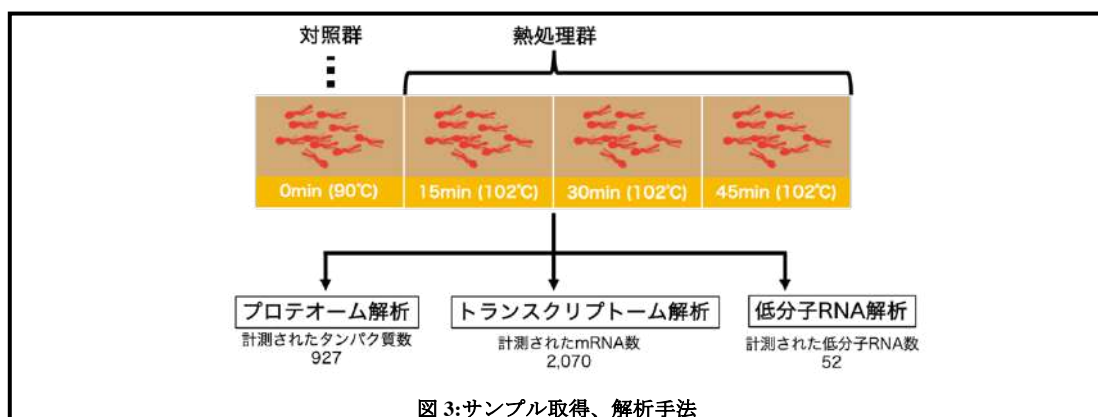


図3: サンプル取得、解析手法

金井らの研究(未発表)から、同じ原核生物である大腸菌は熱ストレス時に50%以上のタンパク質が減少傾向を示すことが既知であり、これと比較すると本アーキアは熱ストレスに対し極めて高い安定性をもつことが判明した。

mRNAにおける網羅的機能解析を行った結果、全時間を通して、増加傾向と不変のmRNA存在比率はおおよそ1:1であり、減少傾向を見せるmRNAの数は極端に少なかった。また、減少傾向を示すmRNAについて確認を行ったところ、全時間通して6割以上を代謝関連機能が占めており、セントラルドグマ関連は1割にも満たないことが判明した。

3.2 機能未知タンパク質PF0624

プロテオーム解析の結果、15、30、45分の全時間において最も発現変動比が高かったのは、機能未知タンパク質PF0624であった(図4)。パイロコッカスフリオサスにおいて代表的なタンパク質である、酸化還元酵素のSulphhydrogenase 1 subunit alphaやDNA複製で重要な役割を担うDNA polymerase sliding clampと比較すると、その増加が顕著であることが確認できた。さらに、これまで熱ショック時に増大する代表的なタンパク質とされていたsHSPが45分までに10倍増加しているのに対し、PF0624は約12倍とより大きな幅で増加していることがわかった(図5)。また、PF0624はトランスクリプトームレベルでも増加が確認された。

PF0624についてより詳細に調べるべく、他タンパク質との関係についてSTRINGを用いて確認を行った。結果、PF0624はsHSPやMyo-inositol-1-phosphate synthase等の熱ショック応答との関連が既知であるタンパク質とともに、Phrという転写制御因子によって制御を受けていることがわかった(図6)。Phrは通常時、プロモーター領域(DNAからRNAを合成する段階の、開始に関与する領域)に結合することで、mRNAの合成を抑制している。しかし熱ショックがかかると、Phrのタンパク質構造が変化することでプロモーター領域に結合できなくなり、mRNA合成の抑制が解除される。これによりPF0624やsHSPはmRNA量が増加し、mRNAからタンパク質が合成されることでタンパク質量も増加するのである。さらにPhrによって、mRNAだけでなく特定の低分子RNAも制御される可能性があることが先行研究より判明した。挙げられた低分子RNAはPF_s016とPF_s041であり、今回行った低分子RNAの結果ではどちらも熱ショック時の増加が確認された。

続いて、Phyre²を用いて立体構造からタンパク質機能の類似性解析を行った。本解析を行うことにより、タンパク質のアミノ酸配列やmRNA配列など、いわゆる一次元的な解析では確認できない類似性を見出すことができる。その結果、以下の立体構造を取ることを推定し(図7)、ヒストンに似た機能を持つ可能性が示唆された。

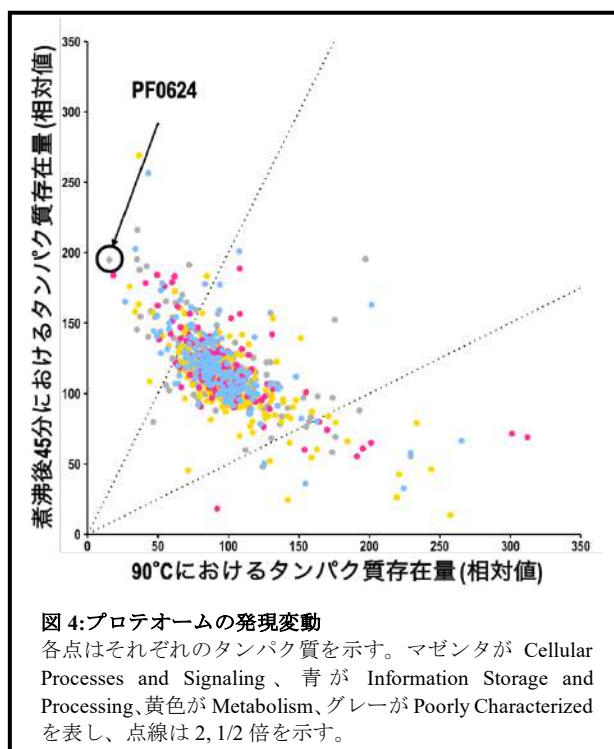


図4:プロテオームの発現変動
各点はそれぞれのタンパク質を示す。マゼンタが Cellular Processes and Signaling、青が Information Storage and Processing、黄色が Metabolism、グレーが Poorly Characterized を表し、点線は 2, 1/2 倍を示す。

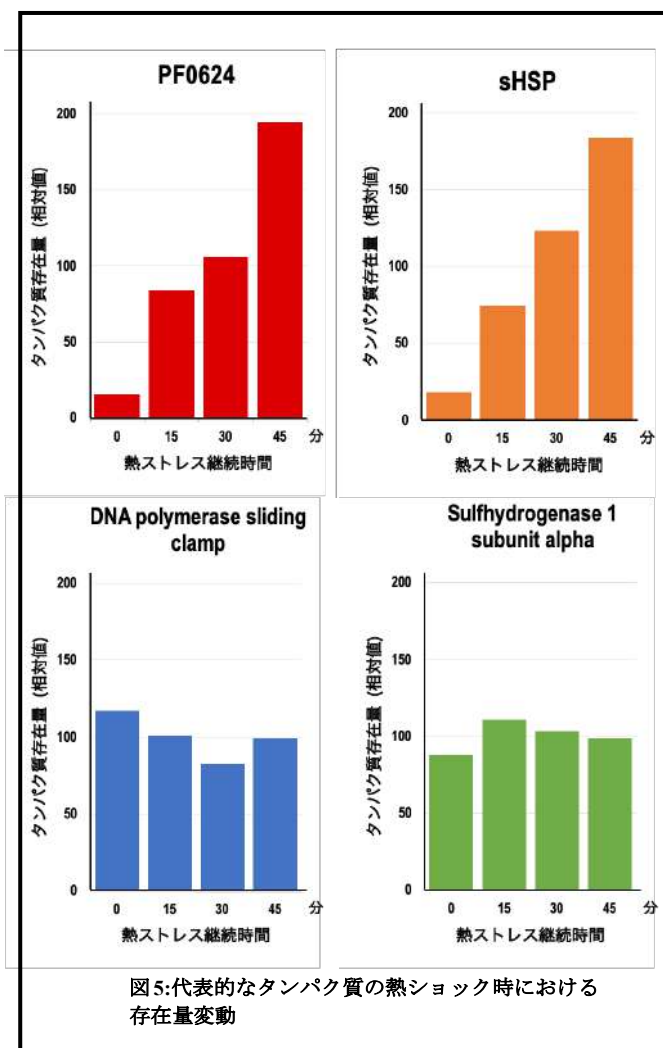
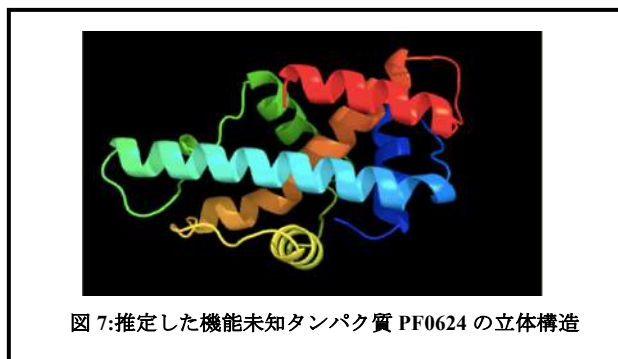
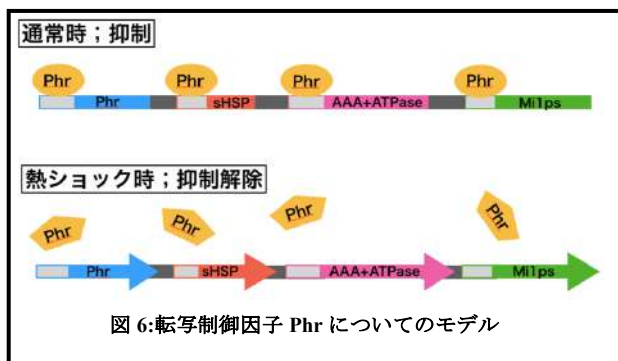


図5:代表的なタンパク質の熱ショック時における存在量変動

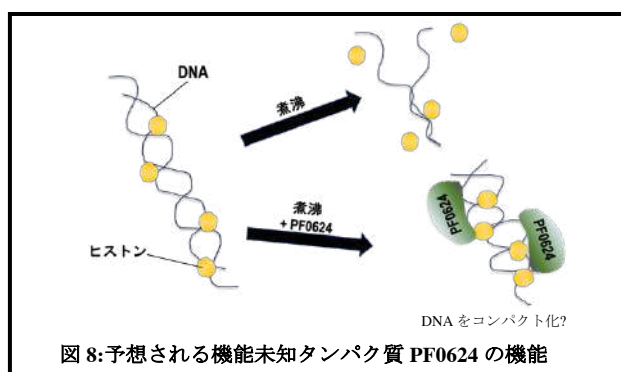


4 考察・展望

プロテオーム解析結果より、パイロコッカス フリオサスは熱に対し極めて高い安定性をもつことが示唆された。また、トランスクリプトーム解析の結果より、熱ショック時には減少傾向を示す遺伝子が熱ショック継続時間に関わらず少ないことが判明した。さらに、減少傾向を見せた代謝関連のタンパク質について詳細を確認したところ、特にエネルギー代謝に関わる遺伝子が偏って減少したことがわかった。この結果から、熱ショック時にはエネルギー代謝関連の一部の転写が抑制されやすくなる可能性が考えられた。

機能未知タンパク質PF0624における確認では、熱ショックによるタンパク質量の大幅な増加やPhrによる転写制御より、PF0624が熱ストレス応答に関与する可能性が強く示唆された。また、Phyre²を用いたタンパク質立体構造の類似性解析から、PF0624はヒストンに似た立体構造を持つことが推定された。しかしながら本アーキアにおけるヒストンは全長67アミノ酸であるのに対し、PF0624は全長153アミノ酸であり、長さに2倍以上の差異があった。以上より、PF0624は熱ストレス時に、ヒストンによるゲノムの保護をより強固にする役割を果たす可能性が考えられる(図8)。本仮説の実証のため、卒業論文執筆までにPF0624の機能を実験的に確認したい。

最後に、低分子RNAの変動データをNGS解析により取得、データ成形済みである。本発表には間に合わなかったが、卒業論文では今回報告した解析結果と合わせて考察を行いたい。



5 謝辞

この研究を支援、指導してくださった、アドバイザーの三浦昌浩さん、産総研 足達俊吾先生、森大博士、佐藤朝子さん、永田祥平さん、玉木聡志博士、斎藤元文さん、鶴巻萌さん、森田鉄兵さん、RNA グループの皆様、富田勝教授、金井昭夫教授に、この場をお借りし感謝申し上げます。また、本研究は山岸学生プロジェクト支援制度の助成を受けたものである。

6 参考文献

- Akanuma, S., Yokobori, S., Nakajima, Y., Bessho, M. and Yamagishi, A. (2015) Robustness of predictions of extremely thermally stable proteins in ancient organisms. *Evolution*, 69, 2954–2962.
- Keese AM, Schut GJ, Ouhammouch M, Adams MWW, Thomm M. Genome-wide identification of targets for the archaeal heat shock regulator phr by cell-free transcription of genomic DNA. *J Bacteriol*. 2010. Mar 1;192(5):1292–8.
- Shockley KR, Ward DE, Chhabra SR, Connors SB, Montero CI, Kelly RM. Heat shock response by the hyperthermophilic archaeon *Pyrococcus furiosus*. *Appl Environ Microbiol*. 2003 Apr 1;69(4):2365–71.
- Olsen GJ, Woese CR. Archaeal genomics: an overview. *Cell*. 1997 Jun 27 ;89(7):991–4.
- Kao CC, Lieberman PM, Schmidt MC, Zhou Q, Pei R, Berk AJ. Cloning of a transcriptionally active human TATA binding factor. *Science*. 1990 Jun 29;248(4963):1646–50.
- Woese CR, Kandler O, Wheelis ML. Towards a natural system of organisms: proposal for the domains Archaea, Bacteria, and Eucarya. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 1990 Jun 1;87(12):4576–9.
- Bezdek JC, Ehrlich R, Full W. FCM: The fuzzy c-means clustering algorithm. *Comput Geosci*. 1984 Jan 1;10(2–3):191–203.
- McCord JM, Keele BB, Fridovich I, Adams MWW. An enzyme-based theory of obligate an- aerobiosis: the physiological function of superox- ide dismutase. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 1971 May 6 ;68(5):1024–7.
- Fiala G, Stetter KO. *Pyrococcus furiosus* sp. nov. represents a novel genus of marine hetero- trophic archae- bacteria growing optimally at 100°C. *Arch Microbiol*. 1986 Jun ;145(1):56–61.

日本空域における航空機に影響を与える 乱気流の環境場の特徴

伊藤創司^{1*} 宮本佳明^{2**}

¹慶應義塾大学 総合政策学部

²慶應義塾大学 環境情報学部

*s17071si@sfc.keio.ac.jp, **ymiya@sfc.keio.ac.jp

要旨

航空機の安全な航行を妨げる要因の1つとして乱気流が挙げられる。乱気流による事故などの被害額は年間数100万ドルにもなる。日本の気象庁など各国の予報機関が予測を試みているが、精度よく予測するシステムはない。その背景には乱気流の発生メカニズムがわかっていないことが挙げられる(Sharman *et al.*, 2012)。そこで本研究では、過去に乱気流が報告された地点の周囲の風速とウインドシアを解析し、乱気流が発生した時の風の場を明らかにした。また、その結果に対して主成分分析を行い、乱気流発生時の風速と鉛直シアの特徴を示した。解析の結果、平均的にはジェット気流の南側にある地点で、乱気流が発生しやすいことがわかり、主成分分析からサンプルデータが乱気流の下流の方であることがわかった。また、南北風の鉛直シアが波状になっており、南北風の鉛直シアが乱気流の発生に強く影響することが示唆された。

キーワード: 航空気象、乱気流、メカニズム、主成分分析

1 背景

航空機の安全な航行を妨げる要因の1つが乱気流である。乱気流は発生要因別に分けることができ、(1)山岳波によるもの・(2)雲に伴うもの(雲内乱気流)・(3)晴れており、雲がない状況で発生するもの(晴天乱気流)の三つに分類される(Lane *et al.*, 2012; Sharman *et al.*, 2012)。様々な機関が乱気流の予測を試みているが、発生位置・時間を精度よく予測できるシステムはない。また、乱気流を回避するために燃料を余分に消費してしまい、乱気流による事故と余分な燃料費による損害の総額は、業界で年間数100万ドルにもものぼる(Sharman *et al.*, 2012)。

乱気流の予測が困難である背景には、発生メカニズム自体がわかっていないことが挙げられる。現在、ジェット気流や上層の前線などが原因だと言われているが、航空機に影響を与える乱気流が、どのような気象場で生じているのかも明確でない(Wolff and Sharman, 2008)。その中でも特に(3)晴天乱気流は予測が難しく、Kelvin-Helmholtz不安定によって発生すると考えられているが、乱気流発生箇所の環境場や発生時の気流の状態など、未解明な点が多く残る(Dutton, 1971)。

本研究では晴天乱気流に着目し、過去に乱気流が報告された地点の周囲の気象場を解析し、乱気流の発生点周りの風速と鉛直シアから乱気流の発生した時の風の動きを明らかにする。また、そ

の結果を主成分分析し、乱気流の発生に本当に影響のある風の場の特徴を掴む。

2 解析手法

本研究では、パイロットによる乱気流の発生報告(PIREP)とメソ客観解析データ(MANAL)の2018年1、2、3、10、11、12月分を用いて解析を行った。この期間で4781回の乱気流が報告された。なお、雲内・晴天時の区別はしていない。そこで、MANALから乱気流発生地点を中心として64×64の格子を作り、その格子点上に風速と鉛直シアを対応させたデータを作成した。また、鉛直シアは等圧面の風の差から計算し、高度差は乱気流発生高度から1km~2kmほどである。発生地点・高度・時間はそれぞれ内挿した。水平解像度は5kmとなっており、解析範囲は乱気流の発生地点を中心として周囲320km×320kmとなっている。このデータを用いて解析と主成分分析を行なった。

3 結果

図1に解析期間でPIREPで報告された乱気流の発生地点を日本地図上にプロットした。航空機による観測であるため、空港周辺や航空機が通過する空域のみにはなるが、海上や陸上など問わず広い空域で乱気流が発生していることがわかる。

図2に6ヶ月の全サンプルで、乱気流が報告された地点の周囲の平均の風速と鉛直シアを解析した結果を示す。東西風は、北東側で強く風が吹いており南側が弱かったが、どの地点でも風速40

m/s以上の強い風が観測された。南北風は、東側で強く風が吹いており西側では弱く、風速の差は約2倍もあった。東西風の鉛直シアは北側で強く、南側で弱かった。南北風の鉛直シアは東側で強く、南西側が弱かった。東西風と東西風の鉛直シアが強い地点と弱い地点が対応している傾向がみられ、南北風と南北風の鉛直シアにおいても同様の傾向がみられる。

また、図3に6ヶ月の全サンプルで主成分分析をした東西風 u 、南北風 v 、東西風の鉛直シア Δu と南北風の鉛直シア Δv の負荷量ベクトルを示す。主成分分析の結果、東西風と南北風は第一主成分の寄与度が90%以上となった。どちらも負荷量ベクトルの大きさが乱気流発生地点で最も大きく、離れるほど小さくなっている。東西風は左右に伸びた楕円状の分布であるのに対し、南北風では北東・南西方向に伸びた楕円状である。しかし、どちらも付加量ベクトルの最大値と最小値の差は約0.0015と大きな差はなく、どの地点でも符号が同じだった。東西風の鉛直シアと南北風の鉛直シアは、第一主成分の寄与度が約70%、第二主成分は約15%となった。また、第二主成分で主成分得点を計算したところ、主成分得点が正になった割合は東西風の鉛直シアでは約43%、南北風の鉛直シアでは約49%となった。東西風の鉛直シアの第一主成分は、東西風の第一主成分と似た分布をしているが、負荷量ベクトルの最大値が少しだけ北東方向にずれている。南北風の鉛直シアの第一主成分は南北風の第一主成分と似た分布をしていた。どちらの鉛直シアも負荷量ベクトルの最大値と最小値の差0.005~0.007と風速よりも大きく、どの地点でも符号が同じだった。東西風の鉛直シアの第二主成分を見ると、南側もしくは北側にいくほど負荷量ベクトルの絶対値が大きくなっていった。南北風の鉛直シアの第二主成分を見ると、南東側もしくは北西側にいくほど負荷量ベクトルの絶対値が大きくなっていった。どちらも負荷量ベクトルの差は約0.04となっていた。

4 考察

解析した結果から、東西風とその鉛直シアはどちらも北側が強く、南側が弱いということがわかった。南北風とその鉛直シアはどちらも乱気流発生地点を中央値として、東側が強く西側が弱いことがわかった。つまり平均的には、ジェット気流の南側にあり、東側と西側で南北風の風速差が大きくなっている空域において北向きの風が吹いている地点で、乱気流が発生しやすいことが分かった。また、乱気流発生地点における鉛直シアの強さは、平均的には特に大きくないこともわかった。風速と鉛直シアの強弱の分布が似ていることから、乱気流が発生している空域では、風速が速いほど鉛直シアも強くなると考えられる。

主成分分析をした結果からは、東西風と南北風は中心に近いほど風の影響を大きく受け、南北風は波を描くように影響度が変化しているのがわかった。しかし、どちらも負荷量ベクトルの大きな差はなく、符号も全地点で同じであるため、乱気流が発生する空域全体で強い風が吹いていることが必要だと考えられる。東西風の鉛直シアの第一主成分において、影響の強い風が中心の北東側にずれていたことから、発生した乱気流の下流側で遭遇していると予想できる。また、東西風の鉛直シアの第二主成分の主成分得点から、正の割合が低かったことから北側の鉛直シアの影響を受けやすいと考えられる。南北風の鉛直シアの第二主成分の主成分得点は正負の割合がほぼ等しかったため、南北風の鉛直シアは北東側・南西側どちらの影響が強いかは断言できない。

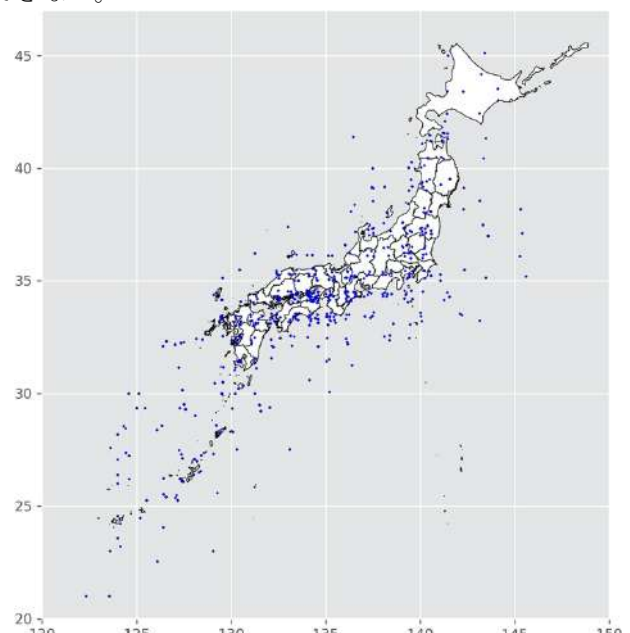


図1：解析期間で乱気流が発生した地点をプロットした結果
青い点が乱気流の発生した地点

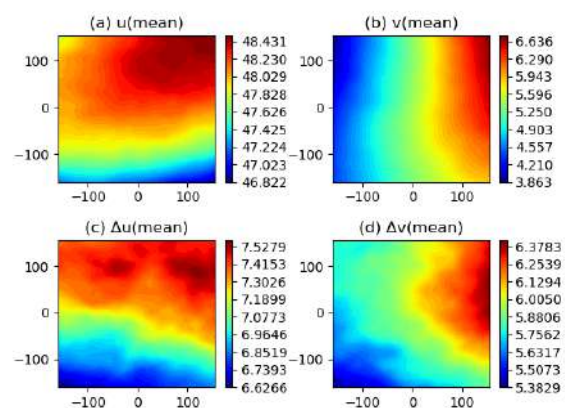


図2：解析期間で気象場を解析した結果

乱気流発生地点(0, 0)を中心とした平均の風と鉛直シア。縦軸と横軸はそれぞれ緯度・経度を示す。(a)東西風, (b)南北風, (c)東西風の鉛直シア, (d)南北風の鉛直シア

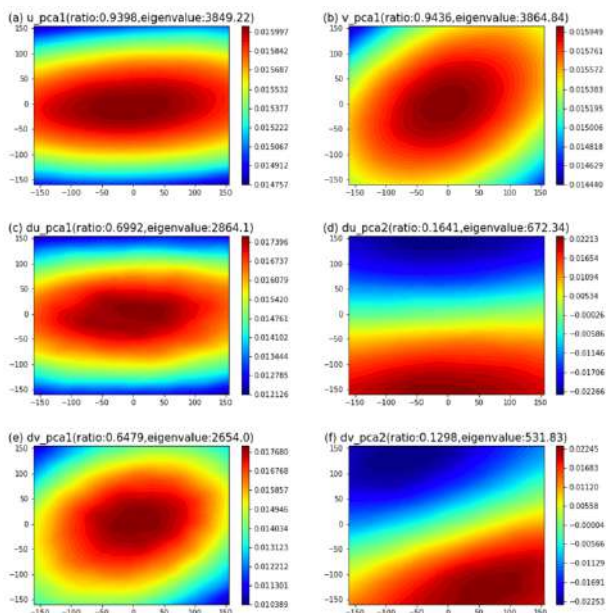


図3：解析期間で主成分分析した結果

乱気流発生地点(0,0)を中心とした風と鉛直シア。縦軸と横軸はそれぞれ緯度・経度を示す。(a)東西風の第一主成分,(b)南北風の第一主成分,(c)東西風の鉛直シアの第一主成分,(d)東西風の鉛直シアの第二主成分,(e)南北風の鉛直シアの第一主成分,(f)南北風の鉛直シアの第二主成分

しかし、南東側もしくは北西側の風の影響を強く受けることから、南北風の鉛直シアの大きさが波を描くような分布になることがわかり、前線帯を表していると予想できる。このことから、南北風の鉛直シアと晴天乱気流の発生に関連があると考えられる。

4 まとめ

本研究では、パイロットによる乱気流の報告データ(PIREP)と気象データ(MANAL)を用いた解析を行い、日本空域における2018年の1、2、3、10、11、12月に発生した乱気流の平均的特徴を示すことに成功した。この結果、乱気流が発生する周囲には、東西風が速いことが前提にあることがわかった。さらに主成分分析を行ったところ、今回使用したPIREPのデータは乱気流の下流のものであることがわかった。また、南北風の鉛直シアの第二主成分が前線帯のようなものを表しており、晴天乱気流の発生と南北風の鉛直シアに関連があると考えられる。

これらの結果は、これまで不確定であった、日本空域において乱気流が発生しやすい環境場を特定できたという点で、非常に意義のある結果であり、国内学会で発表したと共に(伊藤・宮本 2020a,b)、2020年1月に開催される国際学会(American Meteorological Societyの年大会)でも発表予定で(Ito and Miyamoto 2021)、今後は科学論文としてまとめ国際誌に投稿する予定である。

今後はSCALE(Nishizawa et al. 2015; Sato et al. 2005)という気象シミュレーションソフトを使用してシ

ミュレーションを行なう。内容としては、南北風のシアに注目し、今回主成分分析で得られた負荷量ベクトルの分布に近いサンプルを用いたシミュレーションと平均的な場から乱気流が発生するののシミュレーションを行い、今回の考察を裏付けていきたいと思う。

4 謝辞

本研究を進めるに当たり、指導教官の宮本佳明先生からは多大なる助言を賜りました。心より感謝を申し上げます。

5 参考文献

- Dutton, J. (1971), Clear-air turbulence, aviation, and atmospheric science, *Rev. Geophys.*, 9, 613–657, doi:10.1029/RG009i003p00613.
- Lane, T. P., R. D. Sharman, S. B. Trier, R. G. Fovell, and J. K. Williams (2012) Recent advances in the understanding of near-cloud turbulence, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 93, 499–515, doi:10.1175/BAMS-D-11-00062.1..
- Nishizawa, S., H. Yashiro, Y. Sato, Y. Miyamoto, and H. Tomita, 2015: Influence of grid aspect ratio on planetary boundary layer turbulence in large-eddy simulations. *Geosci. Model Dev.*, 8, 3393–3419.
- Sato, Y., S. Nishizawa, H. Yashiro, Y. Miyamoto, Y. Kajikawa, and H. Tomita, 2015: Impacts of cloud microphysics on trade wind cumulus: Which cloud microphysics processes contribute to the diversity in a large eddy simulation? *Prog. in Earth and Planet. Sci.*, 2, 23.
- R. D. Sharman, S. B. Trier, T. P. Lane, and J. D. Doyle (2012) Sources and dynamics of turbulence in the upper troposphere and lower stratosphere: A review. *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, VOL. 39, L12803
- Wolff, J. K., and R. D. Sharman (2008), Climatology of upper-level turbulence over the continental United States, *J. Appl. Meteorol. Climatol.*, 47, 2198–2214, doi:10.1175/2008JAMC1799.1.

目玉型装置を用いた自動運転車における外部への情報伝達に関する研究

渡辺 怜那

慶應義塾大学 総合政策学部
s17910rw@sfc.keio.ac.jp

要旨

自動運転車に対する不安は各国でいくつも挙げられており、その原因追求が求められている。通常、ドライバーの表情や動作を見ることで得られる情報が、運転手のいない自動走行車では通用しないことが問題であると考え、本研究ではドライバーの目の代わりになるような情報伝達装置の開発を行う。過去にも慶應義塾大学大前学研究室において、目玉型表示装置の研究を行ってきた。本研究ではその改良版として取り組んでいく。

キーワード: 自動運転、コミュニケーション、安心感、信頼性

1 はじめに

近年、世界中で自動運転車に対する関心が高まっている。自動走行が可能になることで、ドライバーが運転の負担から解放され、ストレスフリーな移動が実現できる。さらに、公道を走る全ての自動車が自動運転化されれば、渋滞や交通事故の削減にも繋がると予想されている[1]。自動運転車にはレベルが5つに分けられており、ドライバーが自動運転システムに全てを任せることができるとは最高レベルの5にあたる[2]。レベル4に至っては、高度運転自動化ではあるものの、主に高速道路など単調な道路に限る。すでに各自動車企業で近い将来にレベル4を搭載する自動運転車を販売するという声が上がっているが、交通事故データベースによると、高速道路での交通事故はわずか3%程度[3]。国内で起きている交通死亡事故数を見ると、そのほとんどが歩行中によるものであった[4]。

このような背景から、本研究ではまだ未知の領域とされるレベル5の完全自動運転車が公道を走ることを想定して、歩行者および自転車が無人の自動運転車両とコミュニケーションをするためのツールを開発する。このとき、いかに利用者からの信頼性を獲得するかが鍵となる。なぜなら、自動運転車に対する不安として「システムの誤作動」が特に多く挙げられるためである。第一生命経済研究所が、2018年に国内で20~60代の男女を対象に調査したアンケートによると、都市規模別および地域特性別で見ても、70%以上の割合で「車が安全に作動しているか」が不安であると答えていた[5]。これは「きちんと自動運転車両に認識されているのか」、「前を横断して良いのか」など、歩行者と自動運転車が上手にコミュニケーションを取れていない証拠なのである。よって、筆者はこれまで通りに歩行者や自転車が自動車とのコミュニケーションを取るために、ドライバーの眼球運動を再現する、情報伝達装置の

開発に取り組む。すでに自動運転車が歩行者や自転車にメッセージを伝えるための手段として、文字表示や音などによる情報伝達方法が注目されているが、本研究のように、自動車に目玉をつける事例は未だに少なく、新たな発見が期待できると考えた。

2 研究の方法

本研究では、目玉型装置を実験車両のヘッドライトの上部分に設置させ、慶應義塾大学新川崎タウンキャンパス内で複数の被験者を対象にアンケート調査を行う。年齢は18歳~23歳の男女が対象である。まず目玉型装置のプロトタイプ製作から始まり、次に3Dプリンタでその出力を行う。その後、サーボモーターを用いてプログラムを制御し、シリアル通信でLiDARから検出した位置情報に合わせて、目玉部分が歩行者または自転車を追跡する。この時、ただ追跡するのではなく、人間のドライバーの目の動きをできる限り細かく再現することを目指す。図1のように(1)まず進行方向を注視し、(2)障害物を検出した場合には追跡、(3)その後安全確認を行う。最終的には、この一連の流れを被験者に歩行者の目線で体験してもらい、「安心感を与えられているか」「見られている感覚はあるか」などの質問を含めたアンケート調査を実施する。

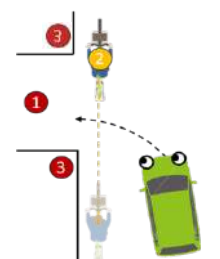


図1: 目玉型装置の動作イメージ

(1)進行方向へ目を動かし曲がる意思を周知させ、(2)横断者がいる場合はその追跡を行い、(3)左右の順で安全確認をする。

3 これまでの研究

3.1 第1次プロトタイプ製作

大前学研究室では過去に2種類のプロトタイプが製作されており、筆者はどちらもサポートする形で関与している。第1次プロトタイプでは15cmの発泡スチロール半球を用いて眼球部を再現している。黒目部分は塗装を行い、アクチュエータには2足歩行ロボット用のサーボモーターを取り付け、2軸制御を可能にしている。ただし、2つのサーボモーターの連結部分で、中心軸が大幅にずれていたことにより、指令値の算出が複雑化した。最終的には透明なカプセルを被せ、悪天候でも使用できるようにした。このユニットを2つ用意し、本研究でも使用する実験車両(トヨタ・エスティマ)に搭載させた状態を図2に示す。

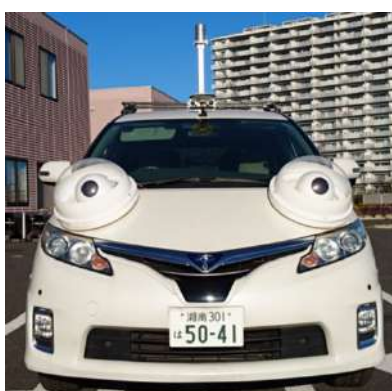


図2：第1次プロトタイプを自動運転車に搭載した状態
二つのユニットはヘッドライトの上に設置されている。

3.2 第2次プロトタイプ製作

第1次プロトタイプでは駆動部がずれていたことが問題となっていた。第2次プロトタイプではサーボモーターの代わりに、LEDを用いて目玉を表示させている。ただし、LEDなどを用いた電子的な目玉型装置は「見られている感覚」に欠けていることが、第1次プロトタイプ製作時の考察で明らかとなった。立体的でない目玉は、人物が立っている位置を注視していても、被験者からはより広い空間で見られているように感じてしまうからである。そこで、第2次プロトタイプではLEDテープを球型の発泡スチロールに接着し、目玉を再現した(図3)。実車に搭載する際には透明カプセルは使用せず、そのままヘッドライトの上部分に設置させた。

結果、目のアイコンを自由に再現できるという利点はあったものの、被験者はシンプルな目のアイコンが一番「見られている」と感じる事がアンケート調査で明らかになった。さらに同ユニットは裸の状態を実車に搭載したため、悪天候には不向きであった。

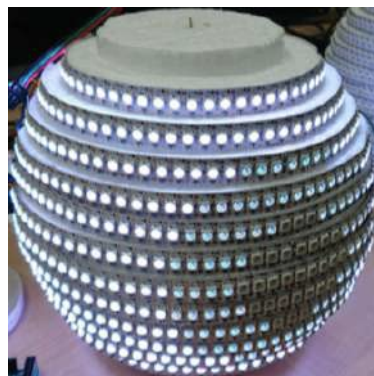


図3：LEDテープを使用した目玉型表示装置
図に表示されているシンプルなアイコンのほか、まぶた表示、色表現、ハートマークの仕様が含まれている。

4 現在の進捗

4.1 第3次プロトタイプ製作

本研究ではこれまでの研究結果を参考にしながら、3Dモデリングをする前に、まずは市販で売られているもので第3次プロトタイプの製作に取り組んだ。使用したサーボモーターは2足歩行ロボットキットから取り出したものである。白目部分にはスポンジボール、黒目部分には同ロボットキットのスペアパーツを採用した(図4)。複雑な構造はできるだけ避け、外見もシンプルさを追求した。このモーターは後ほどの実験にも使用する。



図4：全てのパーツを組み合わせた状態のプロトタイプ

4.2 3Dプリンタを用いたモデルの出力

プロトタイプを参考にしながら、無料オンライン3Dモデリングソフトでモデリングを行った。出力時間の削減のため、無駄のないモデルの構築を目指した。下のモータを隠すように蓋つきの土台を作成し、白目部分は縦に割ることでサイズを抑えた。黒目は別々で出力され、後から白目部分に接着させる。しかし、初めにモデリングを行なったものは、上モータが中心軸からずれていた。このままでは、目玉を横に動かした際に、下の土台より前に白目が突き出してしまう。よって、どの角度を設定しても中心軸がずれないように修正したものを図5に示す。土台は蓋をなくし、下からくぐらせるようにしてモーターを設置できるよう大幅に修正を加えた。それぞれのパーツを組み合わせた状態を図6に示す。

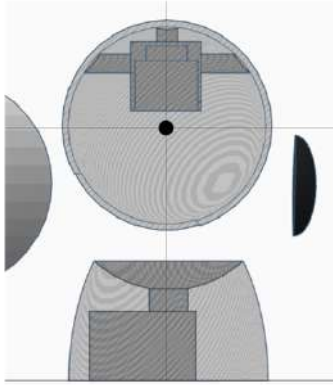


図5：モーターの中心軸

中心軸とはモーターの回転部分を指しており、白目部分はモーターをかぶせるようにして設置するため、回転部分はカバーから少し外れた位置になっている。

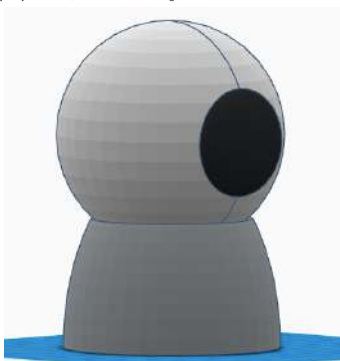


図6：全てのパーツを組み合わせた状態の3Dモデル

土台の上を回転するように動く、市販の扇風機をイメージして目玉型装置のモデリングを行なった。

4.3 プログラム

先述したように、立体的でない目玉型装置は「見られている感」に欠けている。平面上に目玉を表示した場合、認識されている人物の位置が近いほど、実際の焦点と人物が見られていると感じた位置にズレが生じる。よって、本研究では球体の目玉を製作し、かつ一点を注視するために、黒目が見る先(軸)の交差点を徹底する。

まずはモーターの制御を行った。一つ目の目玉型装置につき2自由度のモーターがあり、目を再現するには装置を2つ用意することから、計4つのモーターを同時に制御する。キーボード操作で縦横軸の動きが制御できたことを確認したのち、次に大前学研究室で使用している実走行データの実時間再生ソフトウェアを用いて、実車実験に近い環境で制御を行った。自動運転車両とモーターでシリアル通信をすることが目的である。アクセルおよびブレーキペダルストロークに合わせて、白目部分に設置されているモーターが上下に動き、土台に設置されているモーターは操舵トルクに合わせて左右に動くようにした(図7)。

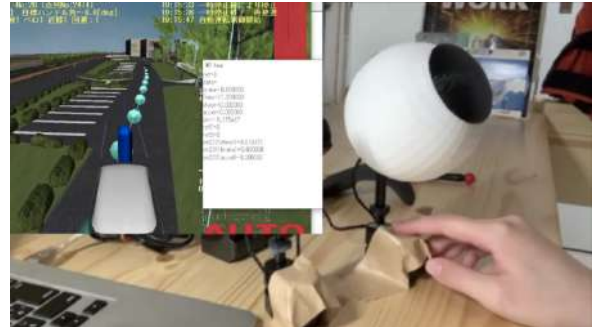


図7：走行データ再生ソフトウェアを用いたモーターの制御
自動運転モードで左に旋回したあと、加速しながらハンドルをまっすぐしている様子。

5 現状の課題

3Dプリンタを用いることにより、被験者に「見られている感」をより与えることができる。またモーターを含めた場合でも重量は非常に軽い。目玉型装置は過去の研究と同様に自動運転車のヘッドライトの上に設置する。つまり、雨風がある環境も考慮することが求められる。この点についても、従来の発泡スチロールを使用したLEDの目玉型装置に比べて、3Dプリントは十分な効果が期待できる。ただし、実際に車外に取り付ける際には、裸の状態では不十分であると考え、第1次プロトタイプと同様、目玉型装置の上に透明なカプセルを被せる予定である。

サーボモーターについて、単に人物へ焦点を合わせるのではなく、より人間の目に近い滑らかな動きが必要である。例えば車両の前を横断しようとする歩行者を左折時に検出した場合、機械のような速度で目玉を回転させるのではなく、あくまでも自然な動きを目指す。歩行者に近い目玉はゆっくりと動かし、もう片方は少し速めに設定する。ただし、このままでは被験者が譲られているのか、ただ認識されているだけなのか判断しづらい。よって、何らかの意思表示方法を自動運転車側に加える必要があると考えている。

6 今後の予定

事前に記録した走行データを再生するソフトとモーターが正常に通信できたことを確認した。次に実車実験を行う。歩行者の位置を検出する際に使用するのは、32層のレーザーレーダーである。これを自動運転車両(同エスティマ)に設置し、相対位置で歩行者の位置を検知する。次にモーターをどのように動かすかを考える。縦横軸の動作はもちろん、斜めにも動くようにプログラムを組んでいく。その際には目玉の動く速度も考慮する。歩行者の追跡ができるようになった後、図1で述べたそのほかの動作をプログラムに追加していく。

また上記とは同時進行で3Dモデルの再出力を行う。現在は図6に示すモデルを出力している。使用しているフィラメントの色に制限はあるものの、必

要な場合には、モデル出力後にカラースプレーなどを使用して色を加える。

評価方法はアンケート方式をとる。「見られている感」に着目した質問をいくつか用意し、最終的には目玉型装置を加えたことで「安心感」あるいは「信頼感」を得られたかを検証する。また可能であれば、明るい環境だけでなく、夜間でも目玉型装置が正常に動作するかの確認を行う。

7 参考文献

- [1] 日本学術会議(2017)「自動運転のあるべき将来に向けて—学術界から見た現状理解—」(<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-23-t246-1.pdf> 最終アクセス日：2020年11月8日)
- [2] SAE International (2018) Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles (<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-23-t246-1.pdf> 最終アクセス日：2020年11月8日)
- [3] 古川修 (2019) 『自動運転の技術開発—その歴史と実用化への方向性—』, グランプリ出版, 序章, 13-14.
- [4] 警察庁交通局(2018)「平成29年における交通死亡事故の特徴等について」(<https://www.npa.go.jp/toukei/koutuu48/H29siboubunnseki.pdf> 最終アクセス日：2020年11月7日)
- [5] 第一生命経済研究所(2018)「自動運転の普及と消費者意識—社会課題解決に向けた自動運転技術への期待と社会受容性—」(<http://group.dai-ichi-life.co.jp/dlri/pdf/ldi/2018/rp1807b.pdf> 最終アクセス日：2020年7月25日)

持続可能なコミュニティとインクルーシブ社会の融合点。持続可能な社会・経営を目指す中小企業の具体的な行動軸の策定と実地展開の実証

○富樫 泰良

2020 年度 慶應義塾大学 総合政策学部 4 年 指導教員 東海林祐子教授

1-1 研究背景と課題

超少子高齢社会となった日本、団塊世代徐々に現役を引退し始め、支えるパイよりも支えられるパイが年々増えていく状況が続いています。2010 年に電通若者問題研究所による高校生を対象とした「日本の将来についてどう思うか」という調査について全体の 86%がなんからの不安を感じており、「明るい」と答えた比率は3%しかなく、将来の就職や将来のお金についての不安が上位をしめておりました(*1)。また、2016 年シニアガイドが実施した全世代を対象にした老後の不安についてのアンケートでは、「59.2%」の人が「不安を感じる」と答え、上位には老後の資金や年金制度の今後が上がっている状況が続いています(*2)。これらは年々増加する社会保障費や不確実性社会が招いたものです。地方では特に子どもと女性の人口が減少し、全国には消滅可能性自治体が 800 以上も存在しています。人口の減少は経済の停滞だけではなく、過疎地域でのインフラ整備に予算が足りなくなるなど、必要最低限の公共サービスを日本全国網羅的に提供することすら危うい状況へとなってきます。災害も立て続けに発生し、国の借金も膨らみ続けるなか、国土安全保障上においても予算の配分にシビアになっている状況です。こうした状況のなか「無駄なコストを削減するべきだ」という意見はだれもが納得することではないのでしょうか。しかし、膨れ上がってしまっている社会保障費の問題や日本全国を網羅することができる公共サービスの担保にメスははいることは、だれかにしわ寄せがいくシステムでしかありません。かといってこのまま現状を維持してしまえば、より厳しい財

政難に直面することはだれもが理解できることです。公共サービス（公助）に頼るだけではなく、自助共助の力を活用しなければなりません。しかし限られたアセットをどう活用するかの議論は深まっておらず、それぞれの力の限界や領域の境界線についてより深い議論をするべきではないか、毎年多額の予算が地方創生に使われているが、地方創生が実現しないのはなぜかを明らかにしていきます。

1-1 参照資料

- (* 1) <https://www.dentsu.co.jp/news/release/pdf-cms/2010119-1215.pdf>
電通若者問題研究所(2010)
- (* 2) <https://seniorguide.jp/article/1001480.html>
シニアガイド(2016)
- (図 1) <https://newspicks.com/news/2729766/body/>
川端隆史 「正念場の ASEAN」より抜粋(2018)
- (図 2) https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.dir.co.jp%2Freport%2Fcolumn%2F20170220_011731.html&psig=AOvVaw2Wc_8XE9BYc18n8mdzcKQa&ust=1596035137246000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCKjSh6-c8OoCFQAAAAAdAAAAABAD
大和総研グループ「タイ：早すぎた高齢化」より抜粋(2017)

1-2 研究目的と研究手法

今回の卒業プロジェクトでは、誰ひとりも取り残されない社会をつくる上で必要な要素を明らかにしていくため、「定量・定性データを用いて、営利セクター（営利事業）と非営利セクター（非営利事業）が融合するベストプラクティス（体制・指標）がわかれば、持続可能な地域・組織運営が円滑化する。」ことを仮説として、「地方創生・持続可能な社会を実現するために必要なメソッド（必要要件）を実証実験を通じて明らかにする。」ことを目的に議論していきます。世界銀行によれば、日本は現在世界一高齢化率が高い国であって人口の 28.4% が 65 歳以上です。日本とさほど高齢化率において差のない欧米諸国はソーシャルセキュリティーとソーシャルウェルフェアについてサーフティネットとなる制度を維持していますが、制度のないもしくは制度自体が発展途上にある東南アジア諸国連合に加盟するほとんどの国が日本を追いかけています。その中で、タイの高齢化率進行スピードは群を抜いて高く、高齢者政策が急がれています。しかし、日本においては高齢化政策と社会保障制度によって社会の持続可能性が問われる状態となり、地域においては過疎化やインフラ整備が問題となっています。高齢化政策も確立されているものではなく、総務省統計局によると 2016 年時点で「65 歳以上の高齢者がいる世帯」の貧困率は 27%とされており、女性の単身世帯では 56.2%、男性の単身世帯では 36.4%と単身世帯であることとジェンダーによって差がでている状況にあります。日本国内外での議論いずれにおいても、筆者として重視したいのは「持続可能なコミュニティ実現とインクルーシブ社会の共存」についてです。誰ひとり取り残されないように政策を立案し実行するには時間とお金のコストがかかります。どこまでコストをかけることを是とし、場合によってはインクルーシブ社会を諦めなくてはならず、コミュニティ、インクルーシブ社会

とコミュニティの持続可能性というダブルスタンダードになり得る事象について細かく分析を試みます。またそれには利益を追求する営利企業が ESG/SDGs に取り組むことが、企業の利益に還元されることを証明することができれば、限りある国や地方自治体の予算、NPO 等に頼ることなく持続可能な社会を実現することができるのではないかということ、御宿町で筆者が自ら御宿町役場に勤め、また NPO を立ち上げ、そして収益事業をも起業するなかで、ベストプラクティスを探求します。

日本国内においては、超少子高齢化と人口減少、地方の過疎化が社会問題として取り上げられる中、地方創生交付金やふるさと納税、内閣府、総務省が主体となり地方創生ブームが続いてきました。東日本大震災後もその流れが顕著となり、補助金バブルといわれた時代もおきました。しかし、カネの切れ目がエンの切れ目といわれるように、補助金をめぐり地域が分断することになったり、補助金が終わった途端に事業が停止してしまったりと、予算消化が中心となり持続可能な事業が進められず、地方の問題は令和の時代になっても解決されずにいます。筆者は地方自治体の PR の仕事を受けるなか、実際に現場にいる人間でないとしっかりと仕事を随行できないと考え、法人を御宿町に移し PR の仕事を続けています。また御宿町役場の嘱託職員になり移住定住促進担当として働いています。

御宿町と関わって 5 年目、高齢化率 49.6%、人口約 7000 人の町で様々な事業に携わってまいりましたが、議会の対立、地域の分断などこの町で起きたことが歯がゆく、どうしたらひとつになれるのかを考え続けています。特に、包括的目的の場で排他的な考えや人を受け入れることはできるのかも重大な課題のひとつと認識しています。コミュニティ運営が円滑になるために、必要となるヒト・モノ・コト・カネ、もしくは

他の要素が必要なのではないか、商工会青年部や地域の青年部など所謂地縁団体に身をおきながら、ソーシャル・エンタープライズを運営する筆者が自ら、定量・定性調査と解決策になり得る事業をプロトタイプで実施、御宿町および夷隅郡市においての最適なバランスを考え、他地域での応用方法を見出し、全国各地の地域コミュニティを平和で持続可能な運営ができるよう、必要となるメソッドを冊子化し公開、全国各地でまちづくりに関わる方々にオープン化。

地方創生・持続可能な社会を実現するために必要なメソッド（必要要件）を実証実験を通じて明らかにしていきます。

1-3 SDGs の効果と経済性

持続可能な開発目標に対する取り組みは、ESG (Environment Social Governance) と並んで、いずれの組織においても必要な倫理感に組み込まれるようになりました。高度経済成長時代とともに広がった大量生産大量消費の考え方は、限られた資源の中で組織の持続可能性にも影響し、株主や銀行などから資金調達が難しくなりました。例えば、石油製品においては、石油の枯渇対策が必要です。木製製品においては、間伐や植樹をしなくては、漁業においては、限られた漁獲資源を取りすぎてしまえば、次年度以降の漁獲量に影響がでてしまいます。また世界全体で人を守る法整備が続く中、不当に安い賃金を支払うことで利益を得ることができていたメーカーは、生産体制の改革に迫られます。未来に続く力のない会社は経営リスクが高く、投資家も重要視するポイントです。例えば、2020年に1月に「フューチャー・オブ・サステナブル・データ・アライアンス」という持続可能な開発目標への投資判断に必要なデータ・情報を定義・提供することを目的とした国際アライアンスが発足しました。創設メンバーは教育機関から国連、経済会議で有名なダボス会議を主催する世界経済フォーラムや、民間企業ではバンク・オブ・アメリカ、

REFINITIV といった持続可能な開発目標に関連する国際組織や投資会社等が参加しています。

日本国内でも、253の銀行が参加している一般社団法人全国銀行協会でも各課題への取り組みを実施、日本銀行金融機構局金融高度化センターも、「企業イメージの向上」「社会課題への対応」「持続可能な経営（生存戦略）」「新たな事業機会の創出」に効果があるとして持続可能な開発目標への取り組みを推奨しています。例えば、「持続可能な社会づくりに貢献可能な社会的課題の解決につながる事業の金利優遇」（日本銀行）や「再生可能エネルギー・省エネルギー事業など、地球環境への貢献が期待されるプロジェクトに資金使途を制限した債権の発行や引受」（日本銀行）など、持続可能な社会づくりに向けた事業の立ち上げや推進がしやすい状況へと変化しました。持続可能な開発目標に準ずる取り組みにおいては経済界も必要性を認識しており、また積極的な資金調達を行いやすくなっており、持続可能な開発目標と経済活動の持続可能性は両立することを証明しています。

1-4 持続可能な地域コミュニティ形成と日本

日本国内には5万を超すNPO法人と、約6万の一般社団法人が存在しています(*17)。いずれも原則として非営利組織です。（公益財団法人助成財団センター 日本の助成財団の現状－概況 <http://www.jfc.or.jp/bunseki/b1/>）日本国内に営業しているコンビニは約5万件あり(*18)、まさにその倍の非営利組織が存在しています。しかし、多くの社会問題は山積しており、また非営利組織自体も補助金や助成金、行政からの業務委託を頼りに運営している法人も多く、持続可能な運営は行えていない状態にあります。事業収入を得ながらそのお金で、非営利活動をしていくジブラモデルといわれる非営利法人を増やしていくことも欠かせません。当研究では、任意団体や行政関連組織の地縁団体の存続にも調査対象を広げ、非営利セクターが持

続可能な運営を行うために必要な要素についても研究をしています。

参照資料

(*17) <https://www.npo-homepage.go.jp/about/toukei-info/ninshou-seni>

内閣府「特定非営利活動法人の認証、認定数の推移」(閲覧日 2020 07/20)

(*18) <https://www.jfa-fc.or.jp/particle/320.html>

日本フランチャイズチェーン協会

「コンビニエンスストア統計調査年間集計(2019年1月から12月)」

1-5 御宿町および外房地域での研究

新型コロナウイルスの感染拡大により新しい生活様式や新しい観光様式に対応するなど、業態の大小を問わず、事業形態の変更が求められている中、直接的に中小企業を販路開拓やECサイトの立ち上げ、情報発信プラットフォームの構築で支援する事業を展開しています。そうしたなかで、社会の要請に柔軟に対応しようとする事業者や、柔軟に対応したいけどもすることができない事業者、事業形態の変更や新しいことへの挑戦を手間として事業の改善等を十分にしない事業者など様々な中小企業が存在しています。例えば、新型コロナウイルスの感染拡大により影響を受けやすい観光産業は、元々天候等に左右されやすく、安定した収入基盤を確保することは、持続可能な組織経営において必要なことです。災害発生時のリスク回避や即時融資を得るため、また通常期において商品価値や企業価値を高めることが欠かせません。千葉県の外房地域を中心地域として、SDGs/ESGに取り組む企業の非財務情報と財務情報をデータ化、どういった取り組みが売りに直結するのかを視覚化することを目指し、中小企業向けのSGDs/ESGインデックス指標の立ち上げ及び他地域での汎用化を目指します。

参考にした先行研究一覧

- ロー・クラス 土地所有を考える (第5回)地域コミュニティによる土地所有松尾 弘
- 法学セミナー 2019-08;64(8):68-72.
- まちづくり市民活動団体の構成員の担う役割と参加動機の関連性 藪谷 祐介, 中原 宏, 椎野 亜紀夫
- 日本建築学会計画系論文集 2019-07;84(761):1613-1623. プラットフォームがこっそり教える キーワードで学ぶクラウドファンディング成功の秘訣(特集 資金とコミュニティを手に入れる 中小店の味方クラウドファンディング) 大村 和彦
- 商業界 2019-07;72(7):75-77.
- 日本におけるコミュニティ・オーガナイザー配置政策の可能性室田 信一
- 豊かな高齢社会の探究 調査研究報告書 2019-07;27:1-15.
学校を復興街づくりの核に:地域住民が集う場として再建(学校特集 ポスト3・11の新学校像:災害対策をベースに環境や地域に配慮)
- 日経アーキテクチャ 2013-10-25;(1010):42-45. Fulltext to CiNii
14002 大きな部屋のあつまりとしての都市複合施設:長野県塩尻市大門中央通り地区市街地再開発ビル設計案(社会サポート施設,建築デザイン) 福屋 粧子
- 建築デザイン発表梗概集 2008-07-20;(2008):4-5.
「生涯活躍のまち」構想に関する経済学的考察-日本版 CCRC(継続的高齢者ケアコミュニティ)の可能性と課題-佐藤 浩之

クリスパー・キャス9技術を用いた麴菌の増殖抑制因子の決定

浜中祐弥^{1*} 黒田裕樹^{1**}

¹慶應義塾大学 環境情報学部
*t17673yh@sfc.keio.ac.jp, **hkuroda@sfc.keio.ac.jp

要旨

発酵産業・食品における主役的な微生物である麴菌(種名: *Aspergillus oryzae*)を培地上で培養するとコロニー間に増殖抑制効果が生じることが広く知られている。しかしその原因となる分子機構は分かっておらず、私はこの現象に強い興味を抱き、その原因を解明する研究に取り組んだ。まず、麴菌の増殖抑制時と非抑制時それぞれの転写産物をRNA-seq解析を用いて網羅的に調べ、増殖抑制時に発現量が上昇する遺伝子を48個同定した。そして、ゲノム編集技術であるクリスパー・キャス9を用いて麴菌野生株からRNA-seq解析で得られた候補遺伝子をノックアウト(以下 KO)し、取得した株を対峙培養することで機能を検証した。現在、3つの候補遺伝子KO株を作成したが、それらは少なくとも単独では増殖抑制に関与していないことが判明した。今後、残りの候補遺伝子のKO株を作成し、麴菌の増殖抑制因子を特定していく。

キーワード: 麴菌、*Aspergillus oryzae*、増殖抑制、ゲノム編集、RNA-seq

1 背景

麴菌 *Aspergillus oryzae* は味噌や醤油、酒の生産に用いられる糸状菌である。二次代謝産物生産の宿主にも用いられており、発酵産業においても重要な微生物である(Alberti *et al.*, 2017)。麴菌は2008年に日本醸造学会によって国菌に定められており、日本人に馴染み深い微生物でもある(Kitamoto, 2015)。

麴菌を寒天培地上の1か所に植菌し培養すると、植菌した地点から同心円状にコロニーが成長する(図1A)。しかし2か所に植菌し培養すると形成された2つのコロニー間に間隙が形成される(図1B)。図1Aに示したように、麴菌は同心円状にコロニーが成長する性質があるので、本来ならば2か所に植菌したコロニーは2つの円が重なった形状をとることが予想される。つまり2つのコロニー間には何らかの増殖を抑制する現象が生じていると考えられる。このように糸状菌が増殖を抑制する現象について、糸状菌が防御物質を分泌することで他種の微生物の接近を妨げるという報告があるが(Leeder *et al.*, 2011)、麴菌で見られる同種のコロニー間において増殖抑制が生じるという報告はこれまでにない。また、この現象は麴菌を扱う研究者や醸造に関わる人の中ではよく知られている現象であるが、具体的なメカニズムは知られていない。そこで麴菌の増殖を抑制するメカニズムを解明するため、本研究では、まず増殖抑制が確実に現れる系を確立した上で、その際に生じる遺伝子発現量の差異をRNA-seq解析を用いて調べる。そして、得られた候補遺伝子について、2020年度のノーベル化学賞でも有名になった最新鋭のゲノム編集技術であるクリスパー・キャス9を用いてノックアウト(以下、KO)する。そして、この現象に関わる分子機構を特定していく。

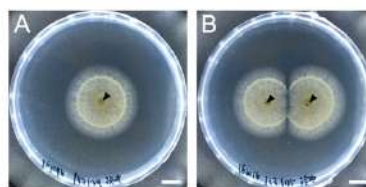


図1: 寒天培地上で培養した麴菌コロニー

浜中自身が遺伝子スクリーニングのために実施したもの。(A) 寒天培地上の1か所に植菌し(矢頭)、3日間培養した麴菌コロニー。コロニーは同心円状に広がっている。(B) 寒天培地上の2か所に植菌し(矢頭)、3日間培養した麴菌コロニー。コロニーが対峙する場所では間隙が形成される。スケールバーは10 mm。

2 方法

2.1 RNA-seq解析による増殖抑制に関わる遺伝子の探索

実験には野生株である麴菌RIB40株(*Aspergillus oryzae* RIB40, NBRC100959) (Machida *et al.*, 2005)を用いた。培地はPD (Potato Dextrose)培地(#05709, ニッスイ)を用いて、9 cmプラスチックシャーレ(#1-8549-04, アズワン)に固化したものを使用した。縦40-50 mm、横40-50 mmに切り取ったセロファン紙(#CO-176, 薦田紙工業)を滅菌蒸留水に浸した後PD培地上に置き、15分ほど乾燥した。セロファン紙上に10000個/10 μ Lに調整した分生子懸濁液を1点(非増殖抑制条件)(以下、single)、もしくは20 mm離して2点(増殖抑制条件)(以下、double)に10 μ Lずつスポット植菌し、30 $^{\circ}$ Cで3日間培養した。doubleにおいて増殖抑制が生じていることを確認後、使い捨て耳掻き綿棒(#G035-118, ダイソー工業)を用いてそれぞれのプレートから菌体を1.5 mLチューブに採取した。1つのサンプルにつき2プレートから菌体を回収し、サンプルは各条件でそれぞれ2つずつ計4サンプル(single1, single2, double1, double2)作成した(図2)。

回収した菌体は-80 °Cで凍結後にバイオマッシャー(#320152, nippi)で破砕し、RNAiso (#9107, TaKaRa)に溶解しフェノール・クロロホルム抽出とエタノール沈殿によって不純物を取り除いた。その後RNeasy (#74104, QIAGEN)を用いて、total RNAを抽出した。抽出したtotal RNAサンプルを用いて、RNA-seq解析を行った。RNA-seq解析は株式会社生物技研に依頼し、遺伝子発現比較は比較1 (single1 vs. double1)と比較2 (single2 vs. double2)の2種類とした。検出された発現変動遺伝子を比較し、比較1と比較2で重複している遺伝子を抽出した。RPKM正規化後の数値を用いて、doubleのRPKM値の平均値とsingleのRPKM値の比を取り、singleとdouble間の発現差を計算した。発現変動遺伝子はblast検索を行い、検索結果の中から相同性が95 %以上のもので機能面に即した命名がされているものを探し、遺伝子の機能を推定した。また、GO (Gene Ontology)エンリッチメント解析 (<https://elbe.hki-jena.de/fungifun/fungifun.php>)を行い、発現変動遺伝子の機能で多く含まれるものを検索した。SignalP (ver. 5.0, DTU Health tech)を用いて抽出した遺伝子のシグナルペプチドの有無を調べ、分泌タンパク質であるかどうかを推定した。

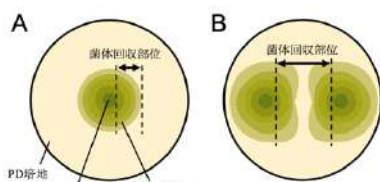


図2：菌体サンプルの回収部位の模式図

(A) 非増殖抑制条件の菌体回収部位。植菌点付近を避けて、コロニーの半分をサンプルとして用いた。(B) 増殖抑制条件の菌体回収部位。植菌点付近を避けて、2つのコロニーが面している部位をサンプルとして用いた。

2.2 ゲノム編集によるノックアウト株の作成

2.2.1 プラスミドの構築

先行研究で確立されているクリスパー・キャス9システム(Katayama *et al.*, 2019)を用いて、RNA-seq解析で得られた増殖抑制に関与する候補遺伝子のKO株を作成した。先行研究で作成されたゲノム編集プラスミド(ppAsATC9a2)を制限酵素Sma Iで切断したものをベクターとし、CRISPR direct (Naito *et al.*, 2015)でデザインしたsgRNA発現カセット(表1)をIn-Fusion HD cloning kit (Clontech)を用いて挿入した(ppAsATC9a2gxx)(図3)。また本研究では相同組換えによるKOを行うため、ドナーDNAを含むプラスミドも作成した。対象遺伝子の開始コドンよりも上流側、終始コドンよりも下流側のそれぞれ1000 bpの領域をゲノムDNAより増幅し、これら2断片をBamHIで処理したpUC19(#3219, TaKaRa)に挿入し、ドナープラスミドとした。

表1：候補遺伝子中の標的配列

CRISPR directで遺伝子中に設計したゲノム編集を施すための標的部位的配列。PAMを除いた配列をプラスミドに挿入した。

遺伝子名	標的配列+PAM
AO331	GGTCCACCAAGCCAAGTTAATGG
AO170	GTCTCGGTATCTGTTACGTTGG
AO195	GAGTCCGGACCAATGTATTGGG

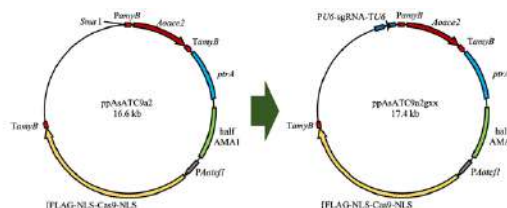


図3：ゲノム編集プラスミドコンストラクト

左側が元となるppAsATC9a2。amyBプロモーターの上流でSma Iで切断し、sgRNA発現カセットを挿入した。

2.2.2 麹菌の形質転換

麹菌の形質転換は先行研究 (Maruyama and Katsuhiko, 2011)の方法を一部改変し行った。GP培地 (2 % glucose, 1 % Hipolypeptone(#392-02115, wako), 0.5 % KH₂PO₄, 0.05 % MgSO₄·7H₂O)を用いてRIB40株を30 °Cで一晩前培養したものをプロトプラスト作成に用いた。形質転換した株はピリチアミンと1.2 Mのsorbitolを含むCD培地(2 % glucose, 0.3 % NaNO₃, 0.2 % KCl, 0.1 % KH₂PO₄, 0.05 % MgSO₄·7H₂O, 0.002 % FeSO₄·7H₂O, 1.5 % Agar [pH 5.5])で2回培養した。その後Aocce2遺伝子を発現するために2%のdextrinを含むCD培地で培養し、プラスミドを脱落させたKO株を得た。

2.2.3 遺伝子のノックアウトの確認

作成したKO株から気中菌糸を少量かき取ったものを鋳型として、対象とする遺伝子の領域をPCRで増幅した。ドナーDNAの領域よりも外側にプライマーを設計した(表2)。PCRはPrimesSTAR HS DNA polymerase(TaKaRa)を用い、94 °C 5分、[94 °C 15秒、68 °C 4分]x 35、68 °C 4分で反応させた。RIB40株のゲノムDNAを鋳型として増幅した断片と比較し、KOの確認をした。

表2：用いたプライマー

プライマー名	配列(5'-3')
AO170-F	CAACATATCACCCGAGAAATTCCTAC
AO170-R	CTTCACATGATCTGCCAAGGACAG
AO195-F	GACGTGTACATGACTTCTACAGTAC
AO195-R	CGCTTTACATAGTGTACAGAGGTG
AO331-F	CACCCAATACTTGACGTAICTTATCTC
AO331-R	CGTAGACTCTACCACAGATTCTACC

2.3 ノックアウト株の増殖抑制の確認

DPY培地(2% glucose, 1% Hipolypeptone, 0.5% yeast extract, 0.5% KH₂PO₄, 0.05% MgSO₄·7H₂O, 1.5% Agar)上の2か所に15 mmの距離を開けてKO株もしくはRIB40株の分生子懸濁液を10 μLスポット植菌した。30 °Cで24時間培養後にプレートをスキヤナで撮影した。画像解析ソフトFiji (ver. 2.0.0-rc-65/1.51s) (Schindelin *et al.*, 2012)を用いて撮影した画像の2つの部位のコロニーの半径を測定し(図4)、増殖抑制の有無を確認した。各株のコロニー内側と外側の半径の間でスチューデントの*t*検定を行った。

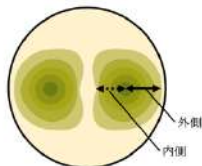


図4：画像解析ソフトFijiで測定したコロニー上の場所の概略図
プレート裏側から見て右側のコロニーの内側、外側の2部位の大きさを測定した。

3 結果

3.1 増殖抑制に関わる候補遺伝子の同定

RNA-seq解析の結果、比較1では78個、比較2では61個の発現変動遺伝子が検出され、48個の遺伝子が比較1と2で重複していた(図4)。これらは全てdoubleで発現量が多く、内18個の遺伝子はシグナルペプチドを有していた(表2)。GOエンリッチメント解析の結果、複数の遺伝子で見られたenriched categoryは10個であった(表3)。生物学的なプロセスに関連するものが6個、分子としての機能に関連するものが4個見つかった。

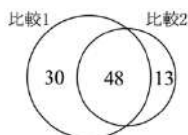


図4：RNA-seqで抽出された発現変動遺伝子の数
左側の円で表された比較1 (single1 vs. double1)と右側の円で表された比較2 (single2 vs. double2)の発現変動遺伝子の数。48個の遺伝子に重複して発現差が見られた。

表2：比較1と2で重複して発現差の見られた遺伝子のリスト

候補遺伝子のKO株を作成した発現差上位3株以外の遺伝子名は非公開とするため、発現差4位以降は割愛した。発現差にはsingleとdoubleのFPKM値の比を、AAにアミノ酸残基数を示した。SPにはSignalPで調べたシグナルペプチドの有無を、有る場合は+、無い場合は-で示した。Blast検索結果には、blastで検索し相同性が95%以上で機能面に即した命名がされているものを示した。

遺伝子名	発現差	AA	SP	Blast検索結果
AO090005000331 (以下AO331)	113.9	160	-	hypothetical protein
AO090003000170 (以下AO170)	84.4	248	+	hypothetical protein
AO090138000195 (以下AO195)	84.1	209	-	alpha-glucosidase related to nicotinamidase

表3：GOエンリッチメント解析の結果

GOエンリッチメント解析の結果、検索した遺伝子内の複数の遺伝子で得られた結果を表にまとめた(genes/input)。GO nameにGO IDが示す機能の名前を記し、p-valueには抽出した遺伝子リストに占めるGOカテゴリーの割合についての検定結果を記した。ここに示したものは全てp-value<0.05であり有意差が見られた。

GO ID	GO name	p-value	genes / input
0052716	hydroquinone: oxygen oxidoreductase activity	3.47E-04	3 / 48
0031177	phosphopantetheine binding	1.69E-02	3 / 48
0009405	pathogenesis	4.08E-02	3 / 48
0006043	glucosamine catabolic process	5.56E-04	2 / 48
0006046	N-acetylglucosamine catabolic process	1.11E-03	2 / 48
0042243	asexual spore wall assembly	2.76E-03	2 / 48
0043324	pigment metabolic process involved in developmental pigmentation	7.86E-03	2 / 48
0042438	melanin biosynthetic process	1.69E-02	2 / 48
0005507	copper ion binding	2.62E-02	2 / 48
0016740	transferase activity	3.02E-02	2 / 48

3.2 候補遺伝子3個のノックアウト株の作成

発現差が高かった上位3位までの遺伝子のKO株を作成した。PCRで増幅しKOの有無を確認したところ、AO331とAO170のKO株は3株、AO195のKO株は2株取得することができた(図5)。

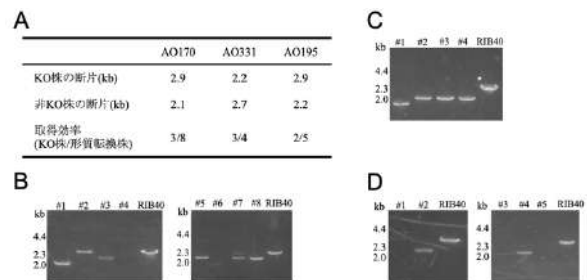


図5：候補遺伝子のノックアウト株

(A) PCRで増幅した際にKO株と非KO株で得られる断片の大きさと、取得した形質転換株の内得られたKO株の数。(B) AO331のKO株の電気泳動結果。#3、#5、#8の3株のKO株を取得した。(C) AO170のKO株の電気泳動結果。#2、#3、#4の3株のKO株を取得した。(D) AO195のKO株の電気泳動結果。#2、#4の2株を取得した。

3.3 ノックアウト株の増殖抑制の有無の確認

作成したKO株を24時間培養し、コロニーを観察した。全ての株で2つのコロニーは接しておらず、2つのコロニーが面している方ではコロニーの外縁が曲線的ではなく直線的に変化していた(図6)。コロニーの大きさを計測したところ、比較に用いたRIB40株、AO331 KO株、AO170 KO株、AO195 KO株のいずれも外側のコロニーの半径に比べて内側のコロニーの半径が小さく、増殖抑制が生じていた(図7)。スチューデントの*t*検定を行った結果、培養した9株は全て内側と外側の半径の間で有意な差が見られた。KO株はそれぞれ複数株を対峙培養したが、

同じ遺伝子をKOした株間では、コロニーの半径に大きな差は見られなかった。

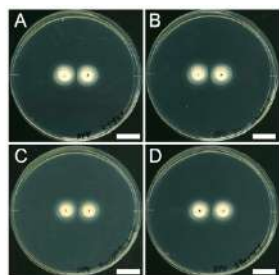


図6：24時間培養したKO株とRIB40株のプレート写真
(A) 24時間培養したRIB40株。(B) AO331のKO株(Δ AO331-#5)。(C) AO195のKO株(Δ AO195-#2)。(D) AO170のKO株(Δ AO170-#2)。スケールバーは15 mm。

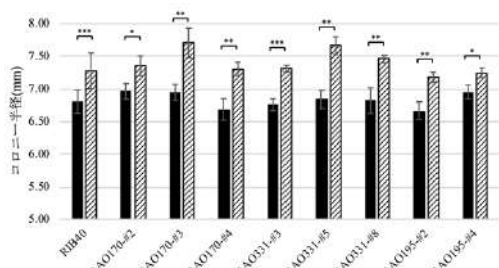


図7：24時間培養したKO株とRIB40株のコロニー半径の比較
RIB40と3種類のKO株をそれぞれ24時間対峙培養した際のコロニーが面している方(内側)と、その180°反対側(外側)の半径を計測した。黒色のグラフは内側、斜線の入ったグラフは外側の半径を示した。KO株はAO170とAO331ではそれぞれ3株、AO195では2株を培養した。グラフのエラーバーは平均値±標準偏差とした。また、学生t検定を行い、有意水準は* $p < 0.05$ 、** $p < 0.01$ 、*** $p < 0.001$ とした。RIB40は $n=9$ 、KO株はそれぞれ $n=3$ とした。

4 考察

今回の研究において、RNA-seq解析によって増殖抑制に関与する可能性のある遺伝子を48個リストアップすることができた。麹菌におけるクリスパー・キャス9技術の適用についても技術を習得し、あとは破壊株の増加、組み合わせの検証をするだけの段階まで到達した。以下、本研究において、特に留意すべき点について議論する。

上記の48遺伝子に対してGOエンリッチメント解析を行った結果、10個の項目が複数の遺伝子で該当した。この項目に含まれるグルコサミン異化作用について、グルコサミンは麹菌の細胞壁成分の一部であり(Ferdouse *et al.*, 2019)、増殖抑制が生じてコロニーの形態が変化する際に、細胞壁の成分や構造も変化している可能性がある。48遺伝子の内、KO株を作成していないものは遺伝子名を非公開とするが、シグナルペプチドを含む遺伝子は18個あり、これらがコードするタンパク質が細胞外に分泌され増殖抑制に関与している可能性がある。シグナルペプチドを有さない遺伝子は、シグナルの受容や、シグナル受容後の増殖抑制の機構に寄与することで増殖抑制に関わっていると思われる。発現差の大きい遺伝

子ほど増殖抑制に関与している可能性が高いと考え、RNA-seq解析で得られた候補遺伝子の発現差上位のものからクリスパー・キャス9でノックアウトを試みた。候補遺伝子上位3遺伝子をノックアウトし、遺伝子の機能を欠損させた株を作成した。これらの株を対峙培養したところ、RIB40株と同様に増殖抑制が生じていた。このことより、少なくともAO170、AO331、AO195は単独で増殖抑制に関与する遺伝子ではないことが示唆された。AO195以下の候補遺伝子は現在KO株の取得を行っており、引き続きRNA-seqで得られた候補遺伝子のKO株を取得・対峙培養を行うことで、増殖抑制に関与する遺伝子を調べていく。

5 謝辞

研究を行うにあたり山岸学生プロジェクト支援制度より支援をいただきました。また、麹菌の遺伝子ノックアウト実験では東京大学の丸山先生をはじめ丸山研究室の方にご指導をいただくとともに、ご協力いただきました。心より感謝申し上げます。

6 参考文献

- Alberti, F., Foster, G. D., Bailey, A. M. (2017) Natural Products From Filamentous Fungi and Production by Heterologous Expression. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 101, p.493-500.
- Ferdouse, J., Miyagawa, M., Hirano, M., Kitajima, M., Inaba, S., Kitagaki, H. (2019) A new method for determining the mycelial weight of the koji-mold *Aspergillus oryzae* by measuring its glycosylceramide content. *J. Gen. Appl. Microbiol.*, 65, p.34-38.
- Katayama, T., Tanaka, Y., Okabe, T., Nakamura, H., Fujii, W., Kitamoto, K., Maruyama, J. (2019) Forced Recycling of an AMA1-Based Genome-Editing Plasmid Allows for Efficient Multiple Gene Deletion/Integration in the Industrial Filamentous Fungus *Aspergillus oryzae*. *Appl. Environ. Microbiol.*, 85, e01896-18.
- Kitamoto, K. (2015) Cell biology of the Koji mold *Aspergillus oryzae*. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 79, p.863-869.
- Leeder, A. C., Palma-Guerrero, J., Glass, N. L. (2011) The Social Network: Deciphering Fungal Language. *Nat. Rev. Microbiol.*, 9, p.440-451.
- Machida, M., Asai, K., Sano M., Tanaka T., Kumagai, T., Terai G., Kusumoto, K., Arima, T., Akita O., Kashiwagi, Y., *et al.* (2005) Genome sequencing and analysis of *Aspergillus oryzae*. *Nature*, 438, p.1157-1161.
- Maruyama, J., Kitamoto, K. (2011) Targeted gene disruption in Koji mold *Aspergillus oryzae*. *Methods Mol. Biol.*, 765, p.447-56.
- Naito, Y., Hino, K., Bono, H., Ui-Tei, K. (2015) CRISPRdirect: software for designing CRISPR/Cas guide RNA with reduced off-target sites. *Bioinformatics.*, 31, p.1120-1123.

災害時におけるメディアコンソーシアムの可能性

武田悠^{1*}（指導教員 清水唯一朗教授^{2**}）

¹慶應義塾大学 総合政策学部 4年

²慶應義塾大学 総合政策学部

*s17525ht@sfc.keio.ac.jp, **yuichiro@sfc.keio.ac.jp

要旨

近年日本では多くの災害が発生している。災害時に被災者が自分の命を守るときに欠かせないものは、たしかな情報である。しかし、災害時には予測不能な通信障害なども想定され個々のメディアでは被災者に必要な情報を届けることが難しい。こうした課題に対応するためには、メディア間の協力体制が必要である。よって本研究では、福岡県にある九州朝日放送による防災パートナーシップ協定を事例に、同局の防災ネットワーク担当者、協定相手であるコミュニティFMのひとつ、FMたんととの担当者に対するインタビュー調査を軸に、災害時におけるメディアコンソーシアムの課題とその解決策を検討していく。

キーワード: 災害、メディア、コミュニティFM、コンソーシアム

1 はじめに

1.1 研究背景

「100年に一度の雨」「最強クラスの台風」といった言葉をニュースで耳にすることが増えている。日本は元々自然災害の多い国だが、近年、台風や豪雨、猛暑、地震と特に災害の多い年が続いている。平成時代を振り返ってみても、1995年の阪神・淡路大震災、2011年の東日本大震災など大震災、大災害の多い時代であった。

平成30年間の災害を振り返るなかで、著しい変化を見せたのは情報伝達手段だろう。かつて、被災現場の状況をいち早く把握するためには、マスメディアによる報道に頼るしかなかった。しかし、平成に入り、1人に1台のスマートフォンを持つ時代となり、ソーシャルネットワーキングサービス（以下、SNS）が普及したこと、被災者が自ら現状を送受信できる環境が整った。

2016年に発生した熊本地震では、積極的なSNS利用によって、物資提供やボランティアの需要、炊き出し、交通などの情報が提供された。

一方で、発信の自由さがデマ情報の流布に繋がっていることが懸念されるようになった。たしかに、細やかな情報がより必要な状況が生まれている。また、災害時には大規模停電によりテレビの視聴はもとより、SNSに欠かせないスマートフォンや携帯電話、パソコンの利用が制限される事態も起こり得る。その場合、これまで以上に現場の混乱は増すことが懸念される。インターネットによる個人発信からマスメディアまで、メディア媒体が重層的に存在する現代においてこそ、こうした問題を克服するためにメディアが協働する仕組みを作る必要がある。媒体それぞれの強みと弱みを補い合い、情報発信体制を組織化することで課題を克服できるのではないかと。本研究では、ある共通の目的を達成するために、

情報を保有する組織（新聞、ラジオ、テレビ、インターネット、自治体）が連携・協力体制をとる取り組みを「メディアコンソーシアム」と名付け、災害時においてメディアコンソーシアムが被災者の情報ニーズに応える情報発信を実現する可能性を見出す。そして、具体的な事例を検討することで、その実現に何が必要か、改善に何が必要かを検討していく。

1.2 本研究で明らかにすること

本研究では災害時においてメディアコンソーシアムが実現した事例を関係者へのインタビュー調査をもとに現状分析をし、課題を見つけ解決策を検討したい。

1.3 本研究の目的・意義

災害時におけるマスメディアの役割は、①被害状況を全国に発信する、②被災者の情報ニーズに応え発信するという2つが挙げられる。本研究では、これまでの等閑視されていた、しかし被災者にとって極めて重要である②に着目し、安否情報や生活情報など被災者の情報ニーズに応えた情報発信のあり方を探る。災害大国ともいわれる日本で、今後起こり得る災害時に、被災者の情報ニーズに応える情報を発信できることが必要だと考えるからだ。

2 現状分析

2.1 災害報道の現状

災害時には、状況の変化に応じて、多様で大量の情報ニーズが発生する。まず、これまでの災害時にメディアの報道と被災者の情報ニーズが一致していたのかを検証するために、被災者がどのような情報を必要としているかを見ていく。代表的なものとして、余震や再発などの災害予知情報、被害や安否などの災害因情報、インフラや生活情報、防災対策

情報がある。時期としては、警戒期、発災期¹、復旧期、復興期と分けられる。変化する被災者にとっての情報のニーズに合わせて、マスメディアは、行政や防災機関と並んで適時適切な情報を的確丁寧に提供していく必要がある。しかし、東日本大震災では、警戒期こそ災害予知情報などの被災者が求める報道がメインであったが、発災期は、ほぼ原発事故の報道に偏り、被災者の需要とマスメディアの供給が一致していない問題が生じた。被災者が求めている情報とは、災害という緊急時に自分の命を守り且つ生活する上で必要な情報であり、マスメディアの偏った報道が被災者の命取りになり兼ねない。発災後における生活情報やインフラ情報など被災者の情報ニーズを反映する報道が必要となるだろう。

一方で、2018年に発生した北海道胆振東部地震のように大規模停電（ブラックアウト）が生じると、電力の喪失とともにテレビの視聴が困難になり、日常生活に欠かせないスマートフォンや携帯電話、パソコンの利用も制限されるため、被災者の情報ニーズを各メディアで補うことは難しくなる。この地震では被災者の主要な情報源はラジオであった。

このように災害時という予測不能な状況下では、情報の偏在や停電、携帯基地局の停波などからテレビやインターネットなどのメディア機能確保が難しい状況が生じる。災害発生後に、被災者に速やかに情報を発信するためにも、この問題を克服する必要がある。

2.2 東日本大震災の経験

災害報道にとりわけ多くの変化と知見をもたらしたのが、2011年に発生した東日本大震災である。当時、テレビ局間で行われたのは系列局の応援である。震災当初、NHKだけでも1500人規模の記者、カメラクルーが全国から集った。公共放送であるNHKだけでなく。例えばテレビ朝日系列では、地震発生からほぼ1時間以内に被災地の3局を除く全国の系列局21局のうち20局が一斉に取材クルーと中継車を東北に向けて出発、もしくは出発態勢を整えていた。テレビ朝日系列24局の総力戦体制が組まれたと言ってよいだろう。震災発生から1年間に被災地に入った全国からの応援スタッフは、宮城県内だけでも3700人を超える。地方局は人出が限られており、被災県のテレビ局員だけでは広い被災地への取材は不可能だ。そうした問題は系列を挙げての応援によって防ぐことができた。取材支援に留まらず、食料や衣類、燃料といった物資面での協力も行われた。

しかし、メディア間の応援は系列内に限られていた。震災当時、宮城県の民放は上空から状況を把握しようと戦略を立てていたが、専用ヘリコプターが地震、津波の影響で飛ばすことができなかった。NHKのヘリコプターだけが唯一離陸し上空からの

中継映像を流すことができていたが、それは民放には共有されなかった。被災者からすれば地震発生後状況が掴めずにいる中で、NHKを見なければ全体の状況を知ることができなかった。この時、テレビ局間でのコンソーシアムが実現していれば上空映像による俯瞰的な状況の理解を全局から伝えることができ、その後の被害を低減させられただろう。ライバル関係であるテレビ局の間では、災害という緊急事態においてさえ、協力することは難しいのだろうか。それはメディアとして望ましいあり方なのだろうか。

2.3 研究方法

東日本大震災を通じて、メディア自身も災害報道の課題に気づき始めている。「災害において犠牲者を一人も出さない」ことを自らの使命とし、それを達成するために、情報を保有する組織間（新聞、ラジオ、テレビ、インターネット、自治体）が連携・協力体制を取り始めている。本研究では、災害時の防災協定を複数の団体と結んでいる福岡県の九州朝日放送の事例を分析し、災害時におけるメディアの連携・協力体制、すなわち、メディアコンソーシアムの課題を明らかにし、解決策を検討する。

3 事例研究

3.1 防災パートナーシップ協定の事例から

九州朝日放送（以下、KBC）は、福岡県にあるテレビ朝日系列のテレビラジオ兼営局である。福岡県内では自社制作率が高く、午前6時から8時まで放送している情報番組「アサデス。」では視聴率14%をとるなど、影響力の大きい番組を制作しているテレビ局である。KBCでは災害発生時、もしくは災害の危険性が高まった際、福岡県民に危険情報や避難情報を速やかに伝えるために、2018年から福岡県の60市町村、5つのコミュニティFM局、3つのタクシー協会などと防災パートナーシップに関する協定を締結し、連携を強化している。

KBCが防災パートナーシップ協定を結んだ経緯は2つある。1つは、2017年に発生した九州北部豪雨であった。41人が亡くなり、報道機関として避難を促すような情報を速やかに伝えることができなかったことである。2つ目は、KBCが進めるふるさと共創プロジェクトである。テレビ、ラジオ、WEBサイト、SNS、イベント、防災を通して60市町村の活性化を目指すこのプロジェクトは、福岡県内の市町村の衰退が放送局の衰退につながるという問題意識から実施されている。町の活力を災害によって削がれることを防ぐためにプロジェクトの一つに防災が含まれている。以上2つの経緯を経て、防災協定が始まった。

協定を結ぶにあたって、一部の自治体からは提案

¹ ここでは、人命救助において極めて重要な震災

段階で警戒されたという。災害が発生した際、自治体の災害対策本部にはマスコミや県から多くの問い合わせがくるといふ。KBCと防災協定を結ぶことで、発災後の問い合わせの頻度が上がるのではないかと推測され警戒心を持たれた。しかし、防災協定の内容を読み合わせることで、誤解はなくなり、結果として全市町村と防災協定を結ぶことができた。

KBCが防災パートナーシップを締結しているコミュニティFM²のひとつであるFMたんとは、福岡県大牟田市、みやま市、熊本県荒尾市を管轄エリアにもつ。コミュニティFMであることから、開局と同時に3市と、ついでKBCを始め同県のテレビ局3局と防災協定を結んでいる。FMたんとは単一の放送局であるため放送を行う場所(演奏所)が被災すれば、放送ができなくなる。KBCと防災協定を結ぶことで、不測の事態に陥った際に管轄エリアの情報を発信してもらう事が可能となり、リスナーにKBCを通しリアルタイムの情報を伝える事ができるのではないかとポジティブに捉え、防災協定締結に応じたという。

3.2 防災パートナーシップ協定の実践

KBCの防災パートナーシップの柱は発災時と常時にそれぞれある。発災時には「住民のいのちを守る」情報の提供である。協定を結んでいる各所は、共通意識である「災害において犠牲者をひとりも出さない」ことを根底に連携をする。KBCは防災協定の機能として、自治体においては、防災担当者やKBC報道部のホットラインを構築し、携帯電話で連絡を取り合える関係を作り、発災後迅速に的確な情報提供が可能になると想定している。コミュニティFMとは、発災時に管轄している地域の情報を寄せてもらうことを想定し、FM局のレポーターにKBCのラジオに電話出演してもらうなどの連携を行っている。タクシー協会とは、発災後道路状況や街の状態を運転手が確認後無線局に上げ、その情報を放送に反映することを想定している。また、ふるさと地域リポーターという各自治体や町の住人にリポーターとして連携し、周辺の状況について情報を提供してもらうことも防災パートナーシップ協定のひとつである。

防災パートナーシップの柱2つ目は、平時における防災意識の向上である。発災後に的確な避難を的確に促すには、発災前の避難誘導が重要になる。そのため、KBC側が自治体や団体の展開する防災活動への協力や過去の災害に関する資料映像を提供し、防災に関する番組企画や講演会、防災教室を開催している。最近では、KBCとNTT西日本が連携をし、県内の小学校に防災出前授業を行っている。

² コミュニティFMは、市町村など限られたエリアを対象に、地域に密着した生の情報を発信する放

加えて、住民の防災意識だけではなく、パートナーシップを結ぶ団体同士の防災意識を向上すべく、KBCと防災パートナーシップを結ぶ団体が一同に集まる「防災ネットワーク会議」を企画し、災害に備えた話し合いや顔を合わせたコミュニケーションの場としている。昨年の会議では、発災時における自治体とマスコミの情報共有についてエルアラートの活用や、首長の声で避難を呼びかける有用性など具体的なことを決めており、防災パートナーシップ協定において大きな意味をもたらしている。

3.3 令和2年7月豪雨への対応と課題

KBCが各所と防災パートナーシップを締結した後、福岡県では令和2年7月豪雨が発生した。災害発生後に防災パートナーシップは機能したのか、改善すべき点は何か。この豪雨災害の事例を読み解いていく。

令和2年7月豪雨は福岡県内では大牟田市周辺が集中的に被害を受けた局所的な災害であった。前日の気象予報を大きく上回る豪雨で状況が急激に悪化したために、KBCは発災時に自治体とコミュニケーションが取れなかった。しかし、災害発災前にコロナ渦における避難所運営について取材していたことが生かされ放送につながった。自治体の防災担当者とは連携が取れなかったものの、自治体の防災以外の部署の人に地域リポーターとして連携していたことで、自治体内の情報をKBCに伝達してもらうこともできた。

一方で、豪雨の被害を受けた大牟田市を管轄するコミュニティFMのFMたんとは、防災パートナーシップ協定で得られた情報は少なかったという。一般的に、被害や避難所など全般の情報は自治体から情報を取得する。しかし、自治体には市民や消防団、警察や海上保安庁などから被害地域の情報が集約するため、情報の整理と情報の裏取りとして現地確認が済むまで情報が公開されない。そのため、自治体と災害協定を締結し、連携をしても、情報の共有までに多くの時間がかかりスムーズな情報の発信に至らなかった。テレビ局との防災協定に関しても、局所的な災害だったため、情報量はテレビ局よりもFMたんが多くを持っていた。テレビ局と電話中継を結び、現場の災害状況を報告することはあったが、FMたんとは側が得られた情報は少なかった。結果として、FMたんとは少人数ながら24時間体制で自ら情報を取りにいったという。

4 考察

この事例の検討を通じて、防災協定の課題が3つ明らかとなった。

送局として平成4年1月に制度化され、多くのコミュニティFMは自治体と災害放送協定を締結している。

1つ目は、災害発災時における情報の収集が困難であることだ。被災地域の情報が一斉に自治体に集まることから、情報の整理やその情報の裏取り作業に多くの時間が割かれ、自治体に集まった情報を効率よくメディアに連携・共有することができていない。この解決には、まず、情報の集約に関する仕組みづくりが欠かせない。情報を提供されたものを全て自治体に取りまとめ整理をするのではなく、警察や海上保安庁など信頼性のある情報に関しては、メディアに直接流すなど情報の分散による情報整理の効率化が図れるのではないだろうか。FMたんとは、消防庁の情報を正の情報とみなし、自治体を経由せずにFMたんへと情報が入るよう自治体と交渉を進めているようだ。加えて、情報の裏取りに対する技術の導入が必要である。令和2年7月豪雨のように被害が甚大で人が現地確認ができない状態の場合には、ドローンの活用などにより人が被害に遭わずに現地確認できる環境を整えることも必要だろう。

課題の2つ目は平時のコミュニケーション不足である。災害という緊急時に、この防災協定を生かすためには、迅速なパートナー同士の連携が必要である。しかし、令和2年7月豪雨では、担当者同士がうまくコミュニケーションを取ることができなかったという。自治体の防災担当者は毎年入れ替わりがあるため、頻繁に、担当者同士が顔を合わせるコミュニケーションをとることが必要になるだろう。常の繋がりによって、災害時に互いの状況を考え情報の共有や協力体制をとることにつながるのではないだろうか。そうすれば、災害時に少人数体制で運営しているコミュニティFMに寄り添った対応をテレビ局側が取れた可能性もある。また、今回は豪雨の例を見てきたが、地震や津波など災害発生要因の違いによって防災協定に求められていることや課題は変わるであろう。どんな緊急時にも連携するためには、常時の担当者同士のつながりが必要不可欠であると考えられる。

課題の3つ目は、地域のテレビ局と地域密着型であるコミュニティFMの使い分けである。局所的な災害時には地域のテレビ局に比べコミュニティFMの方が被災者の情報ニーズが反映されやすいことが分かる。一方で、被災者はコミュニティFMに細かな災害情報が発信されていることを知らないケースが多い。防災協定の一環として、地域のテレビやラジオ放送でコミュニティFMへの誘導を行うことも必要になってくるだろう。

4 おわりに

被災者の情報ニーズに応える情報発信を軸に事例分析を進めたことで、コミュニティFMの有用性が明らかとなった。しかし現在の日本ではラジオを聴く機会が少なくなっており、ラジオがない家庭も多い。アナログラジオの常備とコミュニティFMの

認知度を上げることは思いのほか重要なメッセージとなる。

本研究が取り上げた防災パートナーシップの事例は締結から2年を経ずに大規模災害に直面したものであり、パートナー同士のコミュニケーション不足などにより防災協定の機能を果たせなかった側面がある。しかし、東日本大震災の教訓がその後の対応を変えたように、災害時に協力する経験を重ね、改善を進めることでよりの確な情報の集約と伝達が可能になる。

今後、自治体をはじめとする他のアクターへの調査を行い、現状の課題を見つけると同時に、アクター間の啓発に務め、解決策を模索したい。発展段階にあるメディアコンソーシアムを、調査と分析、啓発を通じて災害時における有用なプラットフォームとすることに寄与していきたい。

5 参考文献

- ・ 総務省「平成29年版情報通信白書」(最終閲覧日：2020年10月31日)
<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h29/pdf/n5300000.pdf>
- ・ 廣井脩『災害情報と社会心理』北樹出版、2004年
- ・ 防衛省「2012年度防衛白書」
http://www.clearing.mod.go.jp/hakusho_data/2012/2012/html/nc3195.html
- ・ NHK放送文化研究所『北海道ブラックアウトのメディアが機能したのか～「北海道胆振東部地震」メディア利用動向インターネット調査から～』入江さやか(最終閲覧日：2020年10月31日)
https://www.nhk.or.jp/bunken/research/domestic/pdf/20190201_10.pdf
- ・ 加藤昌宏『メディアが震えた一東日本大震災を私たち波動伝えたか』東京大学出版社、2013年
- ・ 九州朝日放送『防災への取り組み』(最終閲覧日：2020年10月31日) <https://kbc.co.jp/bousai/>

COVID-19 による外出自粛生活における 看護系大学生の睡眠と精神的健康の実態

松本奈央^{1*} 野末聖香² 福田紀子^{2**}

¹医療法人社団河北医療財団 河北総合病院

²慶應義塾大学看護医療学部

*naoh-814.z5@keio.jp **nfukuda@sfc.keio.ac.jp

要旨

【目的】COVID-19パンデミックにより生活の変化やそれに伴うストレスが生じている。本研究では、外出自粛生活における看護系大学生の睡眠、ストレス、精神的健康の実態を明らかにし、外出自粛生活の睡眠や精神的健康への影響と学生への支援について検討する。【結果】対象者の65.2%が「就寝時刻が遅くなった」、43%が「睡眠の質が悪くなった」と回答し、対象者の10.6%が中等度以上の不眠症に分類された。睡眠の量・質・位相の良好群の割合はそれぞれ15.0%-35.5%-29.7%であった。1年生、経済的な心配の強い学生は、他に比べ精神的健康度が低かった。【結論】外出自粛による生活の変化は、睡眠の質の低下、生活の夜型化をもたらす可能性がある。また、1年生や経済的な心配が強い学生に対する睡眠と精神的健康への支援の必要性が示唆された。

キーワード: COVID-19、看護学生、睡眠

1 背景

COVID-19 のパンデミックにより外出自粛などの生活の変化とそれに伴う様々なストレスが生じている。外出自粛生活にある大学生は、健康への不安や大学生活、就職への不安、対人接触の減少による孤独等にストレスを感じていると報告されている(Sahu, 2020; Altema et al., 2020)。精神的ストレスは不眠を促進し(Kim et al., 2000)、COVID-19 に関連する不安が睡眠障害に影響することが示されている(Rajkumar, 2020)。本研究の目的は、COVID-19 による外出自粛生活における看護系大学生の睡眠、ストレス、精神的健康の実態およびこれらの関連を明らかにし、看護学生に必要な支援について検討することである。

2 方法

2.1 研究対象者およびデータ収集方法

関東圏内の看護系大学1校に在籍する学生1~4年生を対象にウェブアンケートを実施した。調査協力への依頼と説明は各学年のオンライン授業終了時に画面上で行い、協力意思のある学生には画面に表示されたQRコードを読み取りアンケートに回答してもらった。データ収集期間は、COVID-19 のため外出自粛が要請されている2020年6月~8月である。

2.2 調査項目

調査項目は以下の通りである。

① 個人属性

性別、学年、居住形態の3項目から成る。

② COVID-19関連ストレスと日常生活への影響

COVID-19の日常生活への影響、外出自粛生活によるスクリーンタイムの変化、COVID-19に感染すること

への心配の程度、COVID-19を自分が他人にうつす可能性に対する心配の程度、COVID-19に関連する経済的な心配の程度、人とのつながりを持ちづらいことによるストレスについて、5件法で尋ねた。

③ 日常生活ストレス

大学生用日常生活ストレス尺度(嶋,1992)の23項目短縮版を用いた。「実存的ストレス」「対人的ストレス」「大学・学業ストレス」「物理・身体的ストレス」の4つの下位尺度から成る。

④ 精神的健康

General Health Questionnaire12(中川, 大坊, 2013; 以下、GHQ12)を用いた。得点が高いほど精神的健康度が低い。

⑤ 睡眠状態

3次元型睡眠尺度(松本ら, 2014)を用いた。睡眠の量、質、位相の3つの尺度で構成されている。加えて、睡眠時間、睡眠の質、起床時刻、就寝時刻について外出自粛前後の自覚的な睡眠状態の変化を尋ねた。

⑥ 不眠重症度

Insomnia Severity Indexの日本語版である日本語版不眠重症度質問票(宗澤, 2009; 以下、ISI-J)を用いた。得点が高いほど不眠重症度が高い。

2.3 分析方法

SPSS ver. 25を用い、記述統計、Kruskal-Wallisの検定、Spearmanの相関係数、重回帰分析を行った。

2.4 倫理的配慮

本研究は慶應義塾大学看護医療学部研究倫理委員会の承認を得て実施した(受理番号: 迅-11)。口頭での説明に加え、アンケート冒頭に研究内容および倫理的配慮についての説明文を記載し、同意する場

合のみ回答を続けるように説明した。協力は任意であり、アンケートは個人が特定されない方法で回収すること、拒否した場合にも成績評価を含まないかなる不利益も被らないことを強調して説明した。

3 結果

オンライン授業に出席した学生432名中、293名がアンケートに回答した(回答率67.8%、有効回答率100%)。

3.1 対象者の個人属性

個人属性は表1に示す通りである。

項目	n(人)	%
性別		
男	10	3.4
女	283	96.6
学年		
1年生	95	32.4
2年生	80	27.3
3年生	47	16.0
4年生	71	24.2
居住形態		
家族と同居	235	80.2
独居	47	16.0
学生寮	9	3.1
その他	2	0.7

3.2 自覚的睡眠の実態

外出自粛生活により睡眠が自覚的に変化した者の割合を表2に示す。外出自粛前に比べて睡眠時間が増えたと回答した者は159名(54.3%)であったが、睡眠の質が良くなったと回答した者は34名(11.6%)であった。就寝時刻が遅くなったと回答した者が191名(65.2%)、起床時刻が遅くなったと回答した者が181名(61.8%)であった。

表2：外出自粛生活により睡眠が自覚的に変化した者の割合

項目	n(人)	%
睡眠時間		
増えた	159	54.3
減った	67	22.9
変わらない	67	22.9
睡眠の質		
悪くなった	126	43.0
変わらない	133	45.4
早くなった	14	4.8
就寝時刻		
遅くなった	191	65.2
変わらない	88	30.0
早くなった	16	5.5
起床時刻		
遅くなった	181	61.8
変わらない	96	32.8

3.3 3次元型睡眠尺度による睡眠状態の実態

睡眠の量(個々にとって必要な睡眠時間に対する充足度)、睡眠の質(不眠症状の有無と不眠に対する脆弱性)、睡眠の位相(睡眠-覚醒リズムの規則性と、概日リズムと体内リズムの一致性)の得点を良好群

と不良群に分けた。睡眠の量の良好群は44名(15.0%)、睡眠の質の良好群は104名(35.5%)、睡眠の位相の良好群は87名(29.7%)であった(表3)。学年別の比較では、1年生は2年生($p = .004$)、4年生($p = .024$)に比べて睡眠の量の得点が有意に低かった。

表3：睡眠の量、質、位相の良好群、不良群の学年別人数分布

因子	群	1年生 n=95	2年生 n=80	3年生 n=47	4年生 n=71	全体 N=293
睡眠の量	良好群	11(11.6)	18(22.5)	5(10.6)	10(14.1)	44(15.0)
	不良群	84(88.4)	62(77.5)	42(89.4)	61(85.9)	249(85.0)
睡眠の質	良好群	31(32.6)	34(42.5)	16(34.0)	23(32.4)	104(35.5)
	不良群	64(67.4)	46(57.5)	31(66.0)	48(67.6)	189(64.5)
睡眠の位相	良好群	24(25.3)	26(32.5)	15(31.9)	22(31.0)	87(29.7)
	不良群	71(74.7)	54(67.5)	32(68.1)	49(69.0)	206(70.3)

3.4 不眠重症度の実態

不眠症状別の人数分布を表4に示す。不眠症状がある者の割合は、入眠困難204名(69.6%)、中途覚醒131名(44.7%)、早朝覚醒81名(27.5%)、睡眠パターンへの不満足274名(93.5%)であった。

学年別の不眠重症度の人数分布を表5に示す。対象者全体でみると、臨床的な不眠症状のない者が114名(49.1%)、閾値下不眠118名(40.3%)、不眠中等度29名(9.9%)、不眠重度2名(0.7%)であった。学年毎の不眠重症度得点の比較では、1年生は2年生($p = .031$)、3年生($p = .007$)よりも有意に高かった。

表4：不眠症状別重症度の割合

不眠症状	ない	軽い	中程度	重い	深刻
入眠困難	89(30.4)	88(30.0)	70(23.9)	40(13.7)	6(2.0)
中途覚醒	162(55.3)	91(31.1)	25(8.5)	12(4.1)	3(1.0)
早朝覚醒	212(72.5)	47(16.0)	22(7.5)	11(3.8)	1(0.3)
睡眠パターンへの不満足	19(6.5)	37(12.6)	110(37.5)	112(38.2)	15(5.1)
日中の活動への自覚的影響	39(13.3)	127(43.3)	78(27.7)	42(14.3)	7(2.4)
他者からみた日中の活動への影響	111(37.9)	109(37.2)	52(17.7)	16(5.5)	5(1.7)
睡眠の問題への心配	74(25.3)	122(41.6)	62(21.2)	30(10.2)	5(1.7)

表5：学年別不眠症状の分布

学年	臨床的 不眠症状なし (0-7点)	閾値下不眠 (8-14点)	不眠中等度 (15-21点)	不眠重度 (22-28点)
1年生	38(40.0)	46(48.4)	11(11.6)	0(0.0)
2年生	44(55.0)	29(36.3)	6(7.4)	1(1.3)
3年生	28(59.6)	15(31.9)	4(8.5)	0(0.0)
4年生	34(47.9)	28(39.4)	8(11.3)	1(1.4)
合計	144(49.1)	118(40.3)	29(9.9)	2(0.7)

3.5 精神的健康の実態

GHQ12得点をカットオフ値で高得点群、低得点群に分けた学年別人数分布を表6に示す。2年生は3年生より有意にGHQ得点が高く($p = .034$)、1年生は2年生より有意にGHQ得点が高かった($p = .001$)。

表6: GHQ12低得点群、高得点群の学年別人数分布

因子	群	1年生 n=95	2年生 n=80	3年生 n=47	4年生 n=71	全体 N=293
GHQ12得点	低得点群	25(26.4)	31(38.8)	27(57.4)	26(36.6)	109(37.2)
	高得点群	70(73.6)	49(61.2)	20(42.6)	45(63.4)	184(62.8)

3.6 COVID-19関連ストレスおよび日常生活への影響の実態と睡眠、精神的健康との関連

COVID-19関連ストレスおよび日常生活への影響の各項目の結果を表7に示す。外出自粛によるスクリーンタイムの変化について、「少し減った」「かなり減った」と答えた者はいなかった。

学年毎の得点比較では、1年生は2年生($p = .031$)、3年生($p = .007$)よりも人とのつながりが持てないことによるストレスの得点が有意に高かった。

経済的な心配が「全くない群」と回答した者をなし群、「少しある」「ある程度ある」と回答した者を低得点群、「かなりある」「非常にある」と回答した者を高得点群に分類し、3群間での3DSS、ISI-J、GHQ12得点を比較した。高得点群はGHQ12の得点が有意に高く、精神的健康が不良であった($p = .000$)。3群間で3DSS、ISI-Jの得点に有意差は認めなかった。

表7: COVID-19関連ストレスと日常生活への影響

項目	n(%)				
	全くない	少しある	ある程度ある	かなりある	非常にある
COVID-19による日常生活への影響	1(0.3)	50(17.1)	75(25.6)	107(36.5)	60(20.5)
自分がCOVID-19に感染することをどの程度心配しているか	10(3.4)	46(15.7)	128(43.7)	77(26.3)	32(10.9)
COVID-19を他人にうつすことをどの程度心配しているか	6(2.0)	43(14.7)	98(33.4)	81(27.6)	65(22.2)
COVID-19に関連する経済的な心配がどの程度あるか	61(20.8)	108(36.9)	74(25.3)	38(13.0)	12(4.1)
COVID-19によって人とのつながりが持ちづらいことへのストレス	25(8.5)	72(24.6)	65(22.2)	88(30.0)	43(14.7)
外出自粛によるスクリーンタイムの変化	かなり減った 0(0.0)	少し減った 0(0.0)	以前と変わらない 6(2.0)	少し増えた 23(7.8)	かなり増えた 26(9.0)

3.7 日常生活ストレスと睡眠、精神的健康との関連

日常生活ストレスと睡眠、精神的健康について相関係数を算出した(表8)。物理・身体的ストレス得点と、不眠重症度($r = .45, p < .01$)およびGHQ12得点($r = .56, p < .01$)の間に中程度の正の相関を認めた。

表8: 日常生活ストレスと睡眠、精神的健康の相関

	睡眠の量	睡眠の質	睡眠の位相	不眠重症度	GHQ12
実存的ストレス	-.16**	-.16**	-.24**	.33**	.58**
対人的ストレス	-.24**	-.20**	-.21**	.28**	.38**
大学・学業ストレス	-.33**	-.17**	-.28**	.30**	.45**
物理・身体的ストレス	-.38**	-.34**	-.12 *	.45**	.56**

* $p < .05$ ** $p < .01$

3.8 精神的健康への影響因子

GHQ12得点を従属変数、日常ストレス下位因子、COVID-19関連ストレスと日常生活への影響の各項目、睡眠の量、睡眠の質、睡眠の位相、不眠重症度を目的変数とした重回帰分析を行った(表9)。実存的

ストレス($\beta = .30$)、身体的ストレス($\beta = .16$)、人とのつながりが持ちにくいことへのストレス($\beta = .23$)、不眠重症度($\beta = .21$)COVID-19による日常生活への影響の程度($\beta = .14$)、大学・学業ストレス($\beta = .11$)が精神的健康に影響していた。今回投入した変数による精神的健康の説明率は59.3%であった。

表9: 精神的健康への影響因子

独立変数	B	β	p	VIF
実存的ストレス	.21	.30	.00	1.35
身体的ストレス	.20	.16	.00	1.79
人とのつながりが持ちにくいことによるストレス	.66	.23	.00	1.41
不眠重症度	.15	.21	.00	1.39
COVID-19による日常生活への影響	.47	.14	.00	1.32
大学・学業ストレス	.03	.11	.02	1.44
$R^2 = .602(p < .001)$ 調整済み $R^2 = .593(p < .001)$				

4 考察

今回の調査では、看護学生の65.2%が「就寝時刻が遅くなった」、43%が「睡眠の質が悪くなった」と回答し、看護学生の睡眠の量・質・位相の良好群の割合は15.0%-35.5%-29.7%であった。大学生を対象とした他国の先行研究では、外出自粛後は自粛前比べて入床時間が遅れ、ベッドにいる時間が長く、入眠潜時が延長し、睡眠効率が低下した(Romeo-Blanco et al., 2020)、就寝時刻が遅くなり夜型の生活になった、睡眠時間が延長し睡眠の質が低下したことが報告されている(Kaparounaki et al., 2020; Cellini et al., 2020)。本調査においても外出自粛生活に伴い入眠時間や起床時間が遅くなり、入眠困難と熟眠感の欠如を自覚している者の割合が他の項目に比べて高いといった同様の影響が認められている。

外出自粛中の睡眠の質低下の理由として、Morin(2020)は、外出自粛により日光を浴びる時間や通勤や通学、食事や運動、対人交流など体内時計と環境を同期し調整する機会が減少することで睡眠の質や睡眠パターンに変調を来すと指摘し、外出自粛生活中は普段以上に睡眠衛生行動が重要であると述べている。授業がオンライン化し通学時間が減少したという背景と合わせて考えると、調査対象の看護学生は、平常時に比べて睡眠時間を確保しやすくなった一方で、日中の身体活動や対人交流の減少により入眠困難や熟眠感の欠如といった睡眠の質低下を来しやすくなったと推察される。今回の調査で10.6%の学生は中等度以上の不眠を呈していることが示されたことから、看護学生の睡眠衛生を良好に保つための教育的支援が必要だと考える。

看護学生の精神的健康に関する岩永ら(2007)の調査では、精神的に不良な群が34.1%であったと報告されている。筆者らが2019年に行った調査(松本, 野末, 福田, 2020)では55.6%であり、これらに比較し今回の調査では精神的に不良な者の割合が62.8%と高いことが示された。特に注目すべき点として、1年生のGHQ12得点が有意に高く、人とのつながり

が持ちづらいことへのストレスが他の学年と比べて有意に高いこと、そして重回帰分析から、人とのつながりが持てないことへのストレスが精神的健康に影響していることが示された。1年生にとっては、入学後に交友関係を築き、新しい環境へ適応していく時期に外出自粛が要請されており、こうした背景を考慮した支援の必要性が示唆された。また、経済的な心配が強い者は精神的健康が不良であることが明らかになったことから、経済的な不安を抱えた学生を早期に把握し、支援を行うことが必要だと考える。

本研究は1施設での調査研究であり、結果の一般化には限界がある。また、1時点での横断研究のため同集団における外出自粛前後での比較は行っていない。同一集団を対象とした追跡研究により、外出自粛による影響をより詳細に明らかにすることが今後の課題である。

5 結論

外出自粛による生活の変化により、睡眠の質が低下し生活が夜型化しやすいことが示唆された。特に、新入生や経済的な心配が強い学生に対する睡眠と精神的健康への支援の必要性が示唆された。

6 謝辞

本研究は慶應SFC学会(Covid-19対応研究活動支援特別募集)の助成を受けて実施しました。本研究にご協力いただいた学生の皆様はじめ関係者の皆様に心より御礼申し上げます。

7 参考文献

Altena, E., Baglioni, C., Espie, C. A., Ellis, J., Gavrilloff, D., Holzinger, B., . . . Riemann, D. (2020). Dealing with sleep problems during home confinement due to the COVID-19 outbreak: Practical recommendations from a task force of the European CBT-I Academy. *Journal of Sleep Research*, e13052.

Cellini, N., Canale, N., Mioni, G., & Costa, S. (2020). Changes in sleep pattern, sense of time and digital media use during COVID-19 lockdown in Italy. *J Sleep Res*, e13074. doi:10.1111/jsr.13074.

Kaparounaki, C. K., Patsali, M. E., Mousa, D. V., Papadopoulou, E. V. K., Papadopoulou, K. K. K., & Fountoulakis, K. N. (2020). University students' mental health amidst the COVID-19 quarantine in Greece. *Psychiatry Res*, 290, 113111. doi:10.1016/j.psychres.2020.113111.

Kim, K., Uchiyama, M., Okawa, M., Liu, X., & Ogihara, R. (2000). An epidemiological study of insomnia among the Japanese general population. *Sleep*, 23(1), 41-47.

Morin, C. M., Carrier, J., Bastien, C., & Godbout, R. (2020). Sleep and circadian rhythm in response to the COVID-19 pandemic. *Canadian Journal of Public Health*, 111(5), 654-657.

Rajkumar, R. P. (2020). COVID-19 and mental health: A

review of the existing literature. *Asian journal of psychiatry*, 102066.

Romero-Blanco, C., Rodríguez-Almagro, J., Onieva-Zafra, M. D., Parra-Fernández, M. L., Prado-Laguna, M. D. C., & Hernández-Martínez, A. (2020). Sleep Pattern Changes in Nursing Students during the COVID-19 Lockdown. *Int J Environ Res Public Health*, 17(14). doi:10.3390/ijerph17145222

Sahu, P. (2020). Closure of universities due to Coronavirus Disease 2019 (COVID-19): impact on education and mental health of students and academic staff. *Cureus*, 12(4).

中川泰淋, & 大坊郁夫. (1985). 『日本語版 GHQ 精神健康調査票手引き』. 東京: 日本文化科学社, 17-34.

宗澤岳史, Morin, C., & 井上雄一. (2009). 「日本語版不眠重症度質問票の開発」. 『精神科治療学』, 24(2), 219-225.

岩永喜久子, 後藤有紀, 宮崎晴佳, & 増本紘子. (2007). 「学部教育における看護学生のメンタルヘルスと関連要因」. 『保健学研究』, 20(1), 39-48.

嶋信宏. (1992). 「大学生におけるソーシャルサポートの日常生活ストレスに対する効果」. 『社会心理学研究』, 7(1), 45-53.

本田純久, 柴田義貞, & 中根允文. (2001). 「GHQ-12項目質問紙を用いた精神医学的障害のスクリーニング」. 『厚生指針』, 48(10), 5-10.

松本奈央, 野末聖香, 福田紀子. (2020). 「看護学生の睡眠および睡眠衛生行動の実態と日常ストレス、精神的健康との関連」. 日本精神保健看護学会: 第30回学術集会・総会. 口演発表. 2020.8.20-9.19. WEB開催.

松本悠貴, 内村直尚, 石田哲也, 豊増功次, 久篠奈苗, 森美穂子, . . . 石竹達也. (2014). 「睡眠の位相・質・量を測る 3次元型睡眠尺度 (3 Dimensional Sleep Scale; 3DSS)—日勤者版—の信頼性・妥当性の検討」. 『産業衛生学雑誌』, B13012.

松本悠貴, 内村直尚, 石田哲也, 豊増功次, 星子美智子, 久篠奈苗, . . . 石竹達也. (2015). 「3次元型睡眠尺度 (3 Dimensional Sleep Scale: 3DSS)—日勤者版—のカットオフ値について: ピッツバーグ睡眠質問票 (Pittsburgh Sleep Quality Index: PSQI) による睡眠障害判定を用いた検討」. 『産業衛生学雑誌』, C14001.

AI問診票導入等による満足度の変化 ～SクリニックにおけるCS調査とES調査～

佐村紫帆^{1*} 山内慶太^{1**}

¹慶應義塾大学 看護医療学部

*i18084ss@sfc.keio.ac.jp, **keita@sfc.keio.ac.jp

要旨

近年、医療機関ではAI問診票の導入が進み、患者の問診時間の削減、医療スタッフの業務時間削減や業務効率化に役立つとされている。本研究は、SクリニックにおけるAI問診票導入等の施策実施前後の満足度の比較を目的とし、患者満足度（CS）調査と従業員満足度（ES）調査を行った事例である。CS調査の結果、AI問診票導入が外来患者の待ち時間を69分削減させ、それにより待ち時間の満足度が向上した。一方、AI問診票の回答は紙の問診票に比べ大変だと感じる患者が増えたが、クリニックに対する総合満足度に有意な影響は及ぼさなかった。ES調査の結果、従業員のワーク・ライフ・バランスの満足度の向上と、医療従事者同士の連携および患者とのコミュニケーションにおける満足度の低下が明らかになった。本調査で明らかとなった結果を踏まえ患者満足度と従業員満足度の双方を向上させる新たな方策を検討し経営戦略に繋げ、その検証を行うことが今後の課題である。

キーワード: 患者満足度、従業員満足度、AI問診票、待ち時間削減、業務時間削減、業務効率化、残業時間削減、質問紙調査

1 はじめに

医療機関における問診は、患者の身体的情報を得るために重要な役割を果たしている。Sクリニックでは、これまで紙の問診票を用い、患者と医療従事者が対面で問診を行ってきた。しかし、集めた患者情報をデータとして保存する必要があったため、その手間がかかり、作業時間を要していた。このような問題を解決するために開発されたAI問診票は、従業員の業務時間削減と業務効率化を実現するとともに、患者が問診に割く時間や、コロナウイルス等の感染リスクの削減に役立つとされている。

Sクリニックでは、AI問診票を導入する等の施策に合わせて、患者満足度（CS）調査と従業員満足度（ES）調査を実施した。

2 CS調査とES調査

本研究で実施するCS調査とES調査の先行研究を以下にまとめる。

2.1 患者満足度（CS）調査

CS調査とは、Customer Satisfactionの頭文字をとったもので顧客満足調査のことである。本調査では、医療機関における顧客を対象としており、顧客は患者となる。

かつて、医療の評価を行うのは患者ではなく、医療提供者のみで十分であるという論調が強く、患者側からの医療の評価を阻んでいた背景がある^{1)~4)}。その後、CS調査は、患者の治療コンプライアンスの確保や医療訴訟の抑制に役立つという報告が多く

なされ^{5)~13)}、病院管理において質の確保やリスク管理という観点からも重要であると考えられるようになった。近年は、CS調査は患者中心の医療の実現のためにも重要とされている。

2.2 従業員満足度（ES）調査

ES調査とはEmployee Satisfactionの頭文字をとったもので従業員満足調査のことである。ES調査では、フレデリック・ハーズバーグの「衛生・動機づけ要因理論」（Frederick Herzberg's motivation-hygiene theory）を基礎として考えることが多い¹⁴⁾。

「衛生要因」は、一定水準以上の満足度向上は見込めないが、不満の要因にはなる福利厚生などをいう。

「動機づけ要因」は、満足度に強く関与する、仕事のモチベーションに関する要因をいう。「衛生要因」と「動機づけ要因」はどちらも満たしていくことが重要であるといわれている。

3 方法

3.1 CS調査の概要

本CS調査の対象者は、Sクリニックに来院した初診外来患者である。AI問診票導入前は12件、導入後は288件の回答を得た。調査実施時期を2020年1月6日から2020年3月18日までとした。

初診患者がクリニック内でどのように過ごしているのか把握するために、初診患者の行動フローを作成し、それに対応するクリニック側の対応をまとめ、漏れのない質問項目を作成した。そこで分類した「受付との接触」「看護師との接触」「非接触」「医

師との接触」「検査技師との接触」の5つから質問項目を抽出し、受付、待機、問診、診療、検査、結果説明、それに加えて初診患者の属性と総合満足度の8つとした。表1に示す。

これらの調査項目は、属性の項目を除き、7件法(7=とても満足である、6=満足である、5=やや満足である、4=どちらとも言えない、3=やや不満足である、2=不満足である、1=とても不満足である)で評価してもらった。

表1 質問項目と略記の対応表

質問項目	略記	質問内容
プロセス	受1印	来院時、クリニックの第一印象は良かった
	受2接	受付スタッフの接客は親切だった
待機	待1長	待ち時間の長さは負担ではなかった
	待2居	待機場所の居心地は良かった
	待3座	待機場所の座席数には余裕があった
問診	問1記	AI問診票への記入は大変だった
	問2測	体重測定や血圧測定などは自分でできる
診察	診1親	医師の人柄は親切で思いやりがあった
	診2伝	医師に伝えたい症状をうまく伝えることができた
検査	検1納	必要だと納得して検査を受けた
	検2親	検査スタッフは親切だった
	検3説	検査の際の説明はわかりやすかった
	検4苦	検査は思ったより苦痛だった
	検5着	検査着の着心地は良かった
結果説明	結1説	医師は検査後の結果を丁寧に説明してくれた
	結2理	医師の説明により検査結果を理解できた
総合満足度	満1親	スタッフの対応は親切で思いやりが感じられた
	満2納	診療の内容や結果説明に納得できた
	満3解	お身体に関するお困りごとは解決できた
	満4再	何かあればまたクリニックに来たい
	満5推	他の人にもこのクリニックをオススメしたい

3.2 ES調査の概要

本ES調査の対象者は、AI問診票導入前後の期間においてSクリニックで働いていたスタッフ12名である。なお実施時期は2020年2月とした。ES調査の調査項目は、満足度に関する5項目と属性5項目で構成した。満足度については、スタッフ同士の連携、患者とのコミュニケーション、仕事の質、ワーク・ライフ・バランス(残業時間・仕事の量)、仕事のモチベーションの5項目について、AI問診票導入前と後のことをそれぞれ評価してもらった。そして、これらはCS調査と同様に7件法を用いた。また、属性は、性別、年齢、職種、勤続年数、勤務形態とした。

さらに、同時期の調査対象スタッフ12名の勤怠記録を参照し、ES調査結果との比較考察に用いることとした。

3.3 倫理的配慮および利益相反

CS調査に当たっては、配布した質問紙にアンケートの趣旨に加えて回答は任意であり回答しなくても不利益は無いことを記載すると共に受け付けスタッフが説明し、提出をもって同意が得られたものとした。本調査は、患者の個人情報や健康内容・診療内容には触れておらず、「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」の対象の範囲外であるが、更に加えて、調査に協力しなくても不利益にならない

ことを明確にするために、回答者個人が特定されないよう無記名回答とし、自ら回収箱に入れるようにした。ES調査も同様の配慮をした。本研究に関連して開示すべき利益相反関係はない。

3.4 分析

CS調査の分析は、待ち時間の評価については、患者の待ち時間の比較と、待ち時間満足度に対する評価を比較することによって行った。AI問診票の記入に負担を感じていない患者の割合と、スマホなどの電子機器の使用の有無の割合を集計することによって行った。

ES調査の分析は、AI問診票導入前後で従業員満足度がどのように変化したのかを確認するため、評価項目ごとに平均値と標準偏差を求め(表6)、レーダーチャートを作成した(図2)。

4 結果と考察

4.1 待ち時間の削減とそれによる評価向上(CS調査)

患者の待ち時間は、約195分から約126分へ一人当たり69分の削減となった。(図1)それに伴い待ち時間に対する評価は、表2より向上していることがわかる。低評価である「やや不満足である」から「とても不満足である」の割合は33.3%から8.9%に24.4ポイント減少できている。(表2)



図1 AI問診票導入前後の患者待ち時間の比較(単位: 分)

表2 待ち時間の長さに対する満足度の比較(単位: %)

	とても不満足	不満足	やや不満足	どちらとも言えない	やや満足	満足	とても満足	平均値	標準偏差
前	8.3	8.3	16.7	0	8.3	25	33.3	5	2.08
後	1	0.7	6.9	13.5	14.2	26.3	37.4	5.67	1.39

4.2 問診票の回答の大変さの増加(CS調査)

紙の問診票(前)とAI問診票(後)の回答の大変さに関する質問の回答を比較した。(表3)

表3 問診票の記入に対する満足度の比較(単位: %)

	とても不満足	不満足	やや不満足	どちらとも言えない	やや満足	満足	とても満足	平均値	標準偏差
前	16.7	0	8.3	0	16.7	25	33.3	5.08	2.14
後	11.4	10	6.9	12.5	12.1	14.2	32.9	4.79	2.12

この表から、AI問診票導入前の紙の間診票に比べ、AI問診票の方が記入が大変だと感じる方(とても不満足からやや不満足)が増えていることが明らかとなった。次に、スマホなどの電子機器の使用に関しては、使用しないと回答したのは17%と明らかとなった。使用していない方の年代は、60代以下が30%、70代が32%、80代以上が38%であった。このことから、70代以上の患者が16%を占めるクリニックであるので、AI問診票などの電子機器の使用に不慣れな方が少なからず存在することが分かった。一方で、総合満足度は表4に示すように有意な変化はみられていない。(表4)

表4 初診患者の総合満足度の比較

評価項目	AI問診票導入前		AI問診票導入後	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
スタッフの対応	6.75	0.43	6.74	0.51
診療内容への納得	6.92	0.28	6.71	0.55
心配事の解決	6.25	1.09	6.28	1.10
再利用意向	6.75	0.83	6.69	0.61
知人推奨意向	6.75	0.83	6.71	0.61

4.3 ワーク・ライフ・バランスの満足度向上(ES調査)

ワーク・ライフ・バランス(残業時間・仕事の量)の満足度は、AI問診票導入前は平均3.5であったが、AI問診票導入後では平均5.7に変化し、5%水準で有意差がみられた。(図2)

表5に従業員の残業時間の変化を示す。職種によって残業時間の変化が異なっているものの、AI問診票導入によって、どの職種でも業務時間の削減や業務効率化につながり、結果して残業時間が削減された。また、クリニック全体の従業員の残業時間は1か月に53.5時間の削減となった。特に看護師は一人当たり1か月に約6.7時間の削減となった。ES調査結果との関連を考察すると、業務時間の大幅な削減により従業員のワーク・ライフ・バランスの満足度が向上したと考えられる。

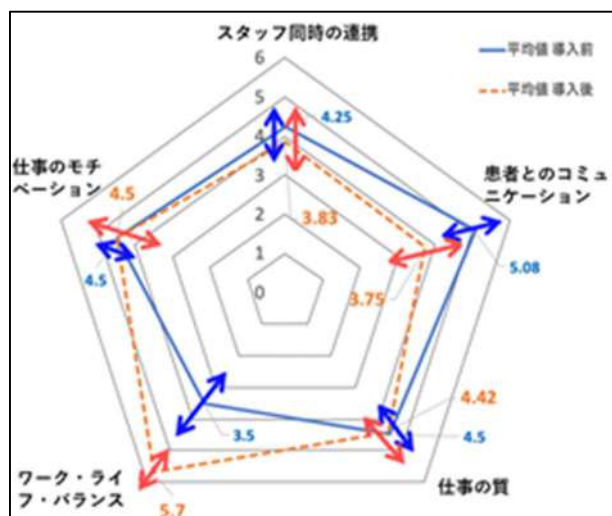


図2 AI問診票導入前後の従業員満足度の比較

表5 AI問診票導入前後の残業時間比較(単位:時間)

職種	AI問診票導入前	AI問診票導入後	差
	R1/11/21-12/20	R2/1/21-2/20	
医事課(7人)	73.75	52.5	-21.25
看護師(4人)	57.75	31	-26.75
放射線技師(2人)	21	15.5	-5.5
合計(13人)	152.5	99	-53.5

表6 5項目の平均値と標準偏差

評価項目	AI問診票導入前		AI問診票導入後	
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
スタッフ同士の連携	4.25	1.14	3.83	1.40
患者とのコミュニケーション	5.08	1.31	3.75	1.66
仕事の質	4.50	1.24	4.42	1.31
ワーク・ライフ・バランス	3.50	1.68	5.67	1.07
仕事のモチベーション	4.50	0.90	4.50	1.62

4.4 医療従事者同士の連携および患者とのコミュニケーション満足度の低下(ES調査)

AI問診票導入前後の平均値を比較すると、スタッフ同士の連携(医療従事者同士の連携)と、患者とのコミュニケーションの質問項目には満足度の低下がみられた(図2、表6)。これらの項目において平均値に有意な差はなかったが、表6から、特に患者とのコミュニケーションは、導入前と比べ導入後の満足度が維持もしくは、低下傾向の回答が多いことが確認できた。医療従事者同士の連携および患者とのコミュニケーション満足度が低下したことについては、AI問診票導入により診察前後の工程(基本的な身体測定や診察結果のフィードバック方法)を見直した影響による可能性がある。しかし、これはあくまでも推測であり、その原因を明らかにすることは今後の課題である。

また、本ESおよびCS調査の結果はレポートにまとめ、その解説付きの動画を作成した上でYouTubeにアップし、オンラインで従業員全員に視聴してもらった形式のフィードバックを行った。その後、医療スタッフの入れ替わりも起きているため、追跡調査の限界もあるが、AI問診票活用の定着により新たなクリニック内のコミュニケーションが生まれている可能性も示唆される。

5. おわりに

本発表では、AI問診票の導入をきっかけに患者満足度(CS)調査と従業員満足度(ES)調査を実施したSクリニックの事例を報告した。

CS調査の結果、AI問診票導入が待ち時間69分削減とそれによる待ち時間の満足度向上が見られた。一方、AI問診票の回答は紙の間診票に比べ大変だと感じる患者が増えたが、クリニックに対する総合満足度に有意な影響は及ぼさなかった。

ES調査の結果、従業員のワーク・ライフ・バランス満足度の向上と、医療従事者同士の連携および患者とのコミュニケーション満足度の低下が明らかになった。また、本事例では調査結果を従業員に対し、オンライン形式のフィードバックを行

った。本調査で明らかとなった結果を踏まえ患者満足度と従業員満足度の双方を向上させる新たな方策を検討し経営戦略に繋げ、その検証を行うことが今後の課題である。

6 謝辞

本研究を進めるにあたり、統計解析の点でご指導いただいた慶應義塾大学大学院健康マネジメント研究科客員教授高橋武則先生に感謝いたします。

7 参考文献

- 1)倉田正一 (1980), 「患者に対する病院サービス—その分析手段—」, 『病院管理』, 17(2),107-112.
- 2)藤咲暹 (1987), 「病院機能評価, その目的と方法」, 『日本病院会雑誌』, 9, 67-75.
- 3)大道久 (1987), 「病院機能評価をめぐる諸問題」, 『日本病院会雑誌』, 12, 87-101.
- 4)倉田正一, 青木陽生, 他 (1981), 「病院の医療法化に関する情報」, 『病院管理』, 8(2),151-166.
- 5)Roter D, Stewart M(1989), Communicating with medical patients, Newbury Park (CA) : Sage.
- 6)Weyrauch KF(1995), Malpractice, patient satisfaction, and physician-patient communication, JAMA, 274(1), 22-3.
- 7)Levinson W, Roter DL., Mullooly JP, Dull VT, et al(1997),Physician-patient communication. The relationship with malpractice claims among primary care physicians and surgeons, JAMA, 277(7),553-9.
- 8)Moore PJ, Adler NE. Robertson PA(2000), Medical malpractice : the effect of doctor patient relations on medical patient perceptions and mal. practice intentions. West J Med. 173(4), 244 50.
- 9)Hickson GB, Federspiel CF, Pichert JW, et al(2002), Patient complaints and malpractice risk, JAMA, 287(22),2951-7.
- 10)Jahng KH, Martin L.R, Golin CE, et al(2005), Preferences for medical collaboration: patient physician congruence and patient outcome, Patient Educ Couns. Jun. 308-14.
- 11)Pleil AM, Coyne KS. Reese PR, et al(2005), The validation of patient-rated global assessments of treatment benefit, satisfaction, and willingness to continue, the BSWValue Health, S25-34.
- 12)Stein K(2006). Communication is the heart of provider patient relationship. J Am Diet Assoc. 106(4), 508-12.
- 13)Kertesz L.(2006), Will better information create more value conscious consumers? Communicating about costs. AHIP Cover, 47(3), 18-22.
- 14)朴容寛, 金壽子 (2014), 「人的資源管理論の歴史とその評価に関する研究」, 『大阪産業大学経営論集』 第 15 巻 第 2・3 合併号,195-204.