

# 琵琶湖を中心とした社会経済圏の再評価にむけた基礎的研究 ～スモール・ビジネスが地域社会にもたらすネットワーク効果に着目して～

## 1. プロジェクトメンバー

中野 桂 経済学系・教授  
近藤 紀章 環境総合研究センター・客員研究員  
柏尾 珠紀 環境総合研究センター・客員研究員

## 2. 研究の目的と計画

本プロジェクトは、移動を伴うスモール・ビジネスによって形成されてきた琵琶湖を中心とした社会経済圏の再評価を試みるものである。本年度は、移動を伴うスモール・ビジネスと地域社会の関係性を把握するために、以下の二つの課題を検討した。

### ①コミュニケーションの特徴把握

文献整理から戦後以降の滋賀県内におけるスモールビジネスの動向を把握し、当事者間のコミュニケーションの特徴をふまえて、今後の調査およびヒアリングの対象事例を選定することを課題とした。

### ②地域社会に与えるインパクトの解明

文献整理からスモールビジネスと地域社会の関係を定着するための概念を整理する。そのうえで、事例調査で得られた結果を分析、比較検討し、スモールビジネスが地域社会に与えるインパクトを明らかにすることを試みた。

以下に今年度の調査の詳細、および、調査と文献研究から明らかになった点について記す。

## 3. 今年度の状況報告

### 1) 文献整理および現地調査の概要

#### ①キッチンカーに対する現地・事例調査

現地調査にあたって、移動を伴うスモールビジネスについて、国立情報学研究所論文情報ナビゲータ (CiNii) を用いて先行研究をふまえた体系的整理をおこなった。移動販売、行商、キッチンカーで検索したところ、キッチンカーに関する検索結果は49件であり、研究としては3件しか確認できなかった<sup>1)</sup>。しかし、プロジェクトメンバーの専門分野や関係者を通じたヒアリングの結果、キッチンカーに関する実践や研究が、徐々に蓄積されつつあるため、現地調査の事例としてとりあげた。

そこで、全国のキッチンカー出店事例を把握した先行研究<sup>2)</sup>をふまえて、県内において行政が主催・実施してい

るキッチンカー事業について現地調査を行った（以下、行政型キッチンカー事業と記す）。本研究では、彦根市（ひこねランチ広場）と滋賀県（滋賀県キッチンカー事業者応援プロジェクト）に赴き、キッチンカーの事業内容や利用者の状況について、観察調査と聞き取り調査を行った。観察調査によって、利用者の来訪の様子や購買の傾向、滞在時間などの状況と特徴を把握できた。



図-1 ひこねランチ広場（彦根市役所）



図-2 滋賀県キッチンカー事業者応援プロジェクト（滋賀県庁）

いずれの調査先においても購入者は、会場である彦根市役所、滋賀県庁の職員が多くを占めており、それ以外は周辺の企業や団体の職員であった。つまり、行政型キッチンカー事業では一般市民の利用は少ない。この背景には、情報伝達と事業者の滞在時間が要因としてあると考えられる。また、行政型キッチンカー事業の場合、購入のピークが昼食時の一回であるという特徴が見られた。

出店店舗やメニュー、販売内容を見ると、彦根市役所は彦根市内の事業者が中心であった（別スペースにて米原市からの出店もみられた）。滋賀県庁は県内全域から事業者が集まっていた。しかし、いずれの場合においても、名産品を提供する店はなく昼食と惣菜がほとんどを占めてい

る。このことから、行政型キッチンカー事業は、通常のイベント型のキッチンカー事業とは異なり、就労者の昼食を提供する、あるいは、昼食の選択肢を拡大する目的が主であると考えられた。

出店者とメニューはWeb等で閲覧、確認することが可能である。また、滋賀県庁には食堂、売店があるものの、彦根市役所にはいずれもない（ただし、隣接する湖東合同庁舎にはある）。

この購買行動に違いが出る要因として、彦根市役所では、出店者は市内が中心であり、その店舗が提供するメニューや特徴をふまえて、当日の選好をあらかじめ絞り込んでおくことができると想定できる。滋賀県庁においても、近江牛など扱う商品や店舗の特徴が認知されている出店者は、彦根市役所と同じ傾向が確認できた。一方で、滋賀県庁では県下全域から集まっているため、店舗のメニューや特徴を理解したうえで、現場の状況をふまえて購入する必要があることが想定される。

また、新型コロナウイルス感染症の影響もあるかもしれないが、購買での滞在時間は2-3分と極めて短時間であり、出店者と購入者双方、購入者同士に特別なコミュニケーションは見受けられなかった。開催場所はある程度の広さが確保された公共のオープンスペースであり、当日は好天であった。その場での飲食、滞留するための椅子や机もなかったものの、その空間で食事を取る人は皆無であった。

以上から、先行研究<sup>1)</sup>で指摘されている「売り上げの悪さ」という課題を、行政職員数（彦根市の市長事務部局職員数620人<sup>3)</sup>、滋賀県庁の一般行政部門職員数3278人<sup>4)</sup>）で補完していることが想定できる。一方で、「顧客定着」や「広報」という点から見ると、行政型キッチンカー事業では、事業者の意図する定期的な出店には、公平性などの課題がある。そのため、店舗や商品のイメージや特徴がすでに定着している出店者にとっては、購買ターゲットを想定して、短時間で売り切ることができると効果的である。

特に、メニュー価格等での調整が可能な既存店舗を持つキッチンカー事業者にとっては有利である。行政型キッチンカー事業では、比較的、固定された対象者への販売が想定されているという特徴が指摘できる。この点も通常のキッチンカー事業とは異なっており、行政型キッチンカー事業の特徴といえるだろう。



図-3 ひこねランチ広場事業 PR チラシ



図-4 滋賀県キッチンカー事業者応援プロジェクト PR チラシ

購買行動の特徴を確認すると、彦根市役所では、出店者の位置を確認した上で、列にならぶ傾向がみられた。これに対して、滋賀県庁では、出店者とメニューを確認して、並ぶ傾向がみられた。いずれの事業においても、その日の

②朝市の調査

新たな事象としてキッチンカーを把握する一方で、滋賀県内および地域社会との関係性をもった事例として、定期的開催される市に対する調査をおこなった。先行研究<sup>5)</sup>をふまえて、道の駅くつき新本陣で開催される朝市を対象として現況調査をおこなった。冬季であったため出店も来

場者もそれほど多くなかったが、それでも多くの来場者があり、定期市としては定着し成熟していることが窺えた。



図-5 朽木朝市の様子

出店者の販売内容は、鯖寿司や特産品のトチ餅、野菜や惣菜、焼きたてパン、漬物、米などの食品から花や手作りの雑貨と多彩で種類も多いという特徴がある。午前8時開始であったにもかかわらず、7時半から並んで購入する人もおり、特にパンは焼き上がり時間に合わせて来訪する人もいた。これらはリピーターの来場者が一定程度存在することを物語っている。

出店者への聞き取りからは、複数の出店者は朝市と直売所や道の駅の複数の出荷先を保有していることもわかった。また、鯖寿司や漬物などを扱う商店は商品の追加はなく、売り切りであるが、パンの出店者は、売れ行きに合わせて焼き上がりを随時持ち込む方式を取っていた。購入者は昼食を求める人もあれば、餅などの保存食を求める人、加工用の野菜を大量に購入する人もあり、多目的な市場として機能していることがわかる。

購入者の来場目的について聞き取りを行った結果、食を購入する目的で来場する人、来場することを目的としている人に分けることができた。また、そのような顧客が滋賀だけでなく、京都、大阪、福井などから来訪していることがわかった。ただし、ここで考慮が必要な点は、朽木地域は日用品を扱う店舗やスーパーだけでなく、コンビニなども少ない。このため、複数の店舗から店を選んで購入するというよりも、ここで買わざるをえないという状況ではある。しかしながら、特産品を中心として、限られた商品のなかで出店者ごとの違いやこだわりなどの多様性が、消費者の選好を支えていると考えられる。

以上から、この定期市は知名度も高く、近隣をはじめ車で往来できる範囲に相当数の固定的な顧客が存在している。また、販売内容や購入者の購買行動からは、朽木の朝市は生活を補完する日常的な購買と、観光のお土産が組み

合わさった定期市の特徴を有していることが明らかである。

### ③行商にまつわる調査

プロジェクトメンバーが、これまで実施したヒアリング調査のなかで得られた「湖北地域において湖魚の行商が愛知や東海方面まで展開している」という内容について検証をおこなった。当時の関係者に対して、内容を確認したところ、実態が確認できなかった。

そこで、湖北地域の道の駅（塩津街道あぢかまの里、浅井三姉妹の郷、伊吹の里、近江母の郷、湖北みずどりステーション）にて湖魚の販売状況を確認した。このうち、湖魚を扱う事業者に対して確認したところ、愛知東海方面までの展開は確認できなかった。しかしながら、複雑な取引先と販売先を含めたネットワーク、特に、同業者間のネットワークや事業者同士のコミュニケーションは業種横断的で、緊密であることがわかった。

また、素材の調達や仕入れに近隣の自然採集が有機的に結合しており、地縁的コミュニティを基にした多様なモノと人のやりとりの構造も確認できた。コロナ禍であり限られた状況であったため、次年度以降、本格的にヒアリング調査にとりかかる予定である。事例数は多いとはいえないかもしれないが、現地での観察調査と詳細な聞き取り調査からは、一定程度の特徴が検出できたと考える。

## 2) 今年度の成果

### ①コミュニケーションの特徴把握について

3つの事例と文献整理から、それぞれのスモールビジネスにおける当事者間のコミュニケーションの特徴は以下の通りである。在来型といわれる行商では、当事者間に密なコミュニケーションが存在したが、昼食を提供する行政型キッチンカー事業では、当事者間のコミュニケーションはほとんどない。その理由として考えられるのは、この形態の販売事業が通常キッチンカー事業とは異なり、昼食の提供という極めて限定的な目的を背景に持っているからである。この形態では、キッチンカーは既存店舗の移動販売や時限的販売のような役割を果たす。事業者同士のコミュニケーションはなく、他方で、購入者はすでに販売内容や店舗の事業内容を熟知している場合が多く、事業者とのコミュニケーションを求めていることが多い。そのため双方の接触時間は極めて短い。

それに対して、朝市では販売者と購入者、事業者同士の

コミュニケーションは比較的ある。滞在時間も行政型キッチンカーよりも長く、購入者は、なんらかのこだわりを持って購入するため事業者とのコミュニケーションは必須のようである。また、そういった小さなコミュニケーションが購入を決める契機になっている可能性もある。

今年度は行商者への調査は叶わなかったが、行商形態から発展した店舗経営での聞き取り調査からは、行商においては、コミュニケーションを基礎にしたネットワークが形成されていたことがわかった。

### ②地域社会に与えるインパクトについて

3つの事例のsmallビジネスが地域社会に与えるインパクトを考えてみる。行政型キッチンカー事業は目的限定であり、地域社会へのインパクトはそれほど大きくはないと考えられる。それに対して、朝市などのようなsmallビジネスでは、来場者はその他の施設や直売所なども同時に訪問することから、地域社会に与えるインパクトは大きく、波及効果もあることがわかった。もっとも、それぞれのビジネスの開催時間も影響すると考えられる。

他方で、行商から店舗販売への展開による事業では、初期の行商時における地域ネットワークやビジネスで形成されたコミュニティそのものが、不可視ではあるが、地域社会に一定程度の波及効果を持つ可能性があると考えられる。

### ③先行研究の整理・分類

なお、今年度の調査と研究を踏まえて、成果の一部を日本都市計画学会の都市計画技術報告集 No.20 (2021年度)に調査速報としてまとめた<sup>1)</sup>。以下その要旨を記す。

本研究では、移動を伴うsmallビジネスの一つの形態としての「行商」に着目した。この「行商」によって構築される社会経済的な世界単位<sup>6)</sup>を解釈するための基礎研究を行うことを目的とした。国内で出版された研究サーベイをふまえて、以下3点が明らかとなった。

a) 行商は交通手段やネットワークの発達、郊外型スーパーの出現により経済活動として衰退の傾向がある。研究としては、流通研究や移動販売研究のなかにテーマそのものが統合、包摂された。

b) 小さな経済活動の意味や内容も変化してきたことである。かつては、生活を支援していた販売行為が、買い物難民の出現にともない「救済型」の移動販売が現れ、さらにそれらは「価値創造型」ともいえるような、新しい移動販

売の活動形態を生み出してきたことである。これは暮らしを補完する「補完型」から分岐してきたものである。

c) この「補完型」の分岐には、キッチンカーやマルシェなどの新しい移動販売が含まれている。これらはより細分化されたニーズに応える移動販売の出現を表している。「価値創造型」の発展形と捉えることもできる。これらは、暮らしを豊かにすることはもちろんだが、コミュニティの形成やコミュニケーションツールとして発展する可能性も併せ持っている。地域社会からの要請に応答する「救済型」がニーズに対して受動的とするならば、「価値創造型」の発展形はニーズに対して能動的な移動販売とも言えよう。

### 引用・参考文献

- 1) 近藤紀章, 柏尾珠紀, 中野桂 (2022): 行商を中心とした社会経済圏の再評価にむけた基礎的研究, 日本都市計画学会, 都市計画報告集, No.20, pp.472-477, [https://www.cpij.or.jp/com/ac/reports/20\\_472.pdf](https://www.cpij.or.jp/com/ac/reports/20_472.pdf)
- 2) 北村夏基, 松本邦彦, 澤木昌典 (2021): 郊外住宅地への自治体主導によるキッチンカー出店事業とその効果, 令和3年度日本建築学会近畿支部研究発表会, pp.289-292
- 3) 彦根市役所, 令和2年度人事行政の運営等の状況について, <https://www.city.hikone.lg.jp/material/files/group/29/3jinjig.pdf>, 2022年3月27日閲覧
- 4) 滋賀県庁, 人事行政の運営状況(給与・定員管理等)の公表について, <https://www.pref.shiga.lg.jp/kensei/jinji/soshiki/306129.html>, 2022年3月27日閲覧
- 5) 伊藤千尋 (2015): 滋賀県高島市朽木における行商利用の変遷と現代的意義, 地理学評論, Vol.88, No.5, pp.451-472
- 6) 高谷好一 (2010): 世界単位論, 京都大学学術出版

## 循環不全による貧酸素水塊が出現した琵琶湖湖底の底生動物の分布

### 1. プロジェクトメンバー

石川 俊之 教育学部・教授  
大八木英夫 南山大学・総合政策学部・准教授  
大高 明史 (元) 弘前大学教育学部

### 2. 研究の目的と計画

2018 年末から 2019 年はじめ、2019 年末から 2020 年はじめにかけての記録的な暖冬により、琵琶湖の冬期全循環が 2 年連続で停止した。2019 年に滋賀大学の呼びかけで(学長裁量経費) 大規模な貧酸素水塊の調査を 2 年継続して行い(図 1)、湖底の水温分布と貧酸素水塊の対応関係が確認された。さらに、貧酸素水塊が出現した水域において、酸素の低下が著しい層が湖底から 10m 前後の厚みで存在し、水温の局所的な分布とよく一致することを示すことができた。

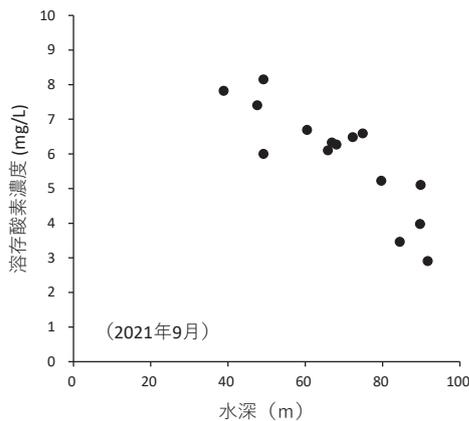


図 1. 各地点の水深と湖底近傍の溶存酸素濃度の関係

出現した貧酸素水塊の生態系への影響については、共同研究者によって栄養塩の増加量、魚類・エビ類の DNA 断片の試料の解析などが進み、量的な評価が進んだ。しかし、評価ができていない生物は湖底に出現する生物の一部であり、特に貧酸素が著しい湖底に生息する底生動物にはエビ類を除いて着手できていなかった。

本プロジェクトは、貧酸素水塊の発生した水域やその周辺の水域において、湖底の底生動物の試料を数年継続して採取し、出現した貧酸素水塊の影響と、貧酸素水塊消失後の底生動物の回復状況を明らかにすることを目的とする。

### 3. 2021 年度の状況報告

底生動物の採集は、2020 年度に引き続き、琵琶湖北湖

の 15 地点において実施した(図 1)。各地点では、15cm 四方のエックマン・バージ型採泥器を用いて各 3 回の底泥試料を採取し、目合い 500 マイクロメートルのサーバネットを用いて底生動物試料を得た。調査地点とした 15 地点は、1984 年から 1998 年にかけて調査された(Nishino *et al.* 1999) 地点のうち水深の深い 15 地点と一致したものであり、このデータと比較することで貧酸素水塊の出現の影響を考察することができる。

調査は 2021 年 9 月 6 日、7 日、9 日、10 日の 4 日間に分けて実施した。

表 1 に底生生物の調査を実施した地点と湖底近傍の溶存酸素濃度を示す。溶存酸素濃度は 2020 年と同様に 3mg/L から 8 mg/L まで幅広い値が見られた。

表 1. 各調査地の調査日時、水深と湖底近傍の酸素濃度

地点名	調査日	水深(m)	湖底直上 1 m の溶存酸素濃度(mg/L)
A	9月7日	91.7	2.9
B	9月9日	84.5	3.5
D	9月9日	79.7	5.2
E	9月10日	65.9	6.1
F	9月9日	89.9	5.1
HA	9月7日	89.7	4.0
HB	9月6日	68.1	6.3
HC	9月6日	49.2	6.0
KA	9月10日	72.3	6.5
KB	9月10日	49.2	8.2
KC	9月10日	38.9	7.8
le	9月6日	74.9	6.6
WA	9月11日	66.9	6.3
WB	9月11日	60.5	6.7
WC	9月11日	47.6	7.4

水深と溶存酸素濃度の関係は 2020 年と同様に、湖底の溶存酸素濃度は水深が深い地点ほど低い値がみられている。2019 年から 2020 年にかけて実施した広範囲の調査の結果からも、同じように水深が深いほど溶存酸素濃度の低下がみられる結果が得られている。

2020 年と 2021 年溶存酸素濃度に違いがあるかを検討するため、湖底近傍の溶存酸素濃度の関係について共分散分析をしたところ、水深と溶存酸素濃度の間には有意な回帰式が得られたのに対し、2020 年と 2021 年は回帰式に影響を与える因子として選択されなかった。このことは、

2020年と2021年の溶存酸素濃度の違いは水深40m以深で一様に起きた現象ではなく、2020年に水深80m以深の場所において酸素濃度の低下が起きたとみる2020年度に報告した見方を裏付けるものである。

実際、鉛直プロファイラーで得られた溶存酸素濃度のデータからは、2020年の溶存酸素濃度の著しい低下は湖底から5mほど上の水深から始まっていたのに対し、2021年はこの低下の規模が小さいことが読み取れる。

さらに、表1や図1で示した湖底近傍の溶存酸素濃度の違いに加え、水深90mの地点(A)では、水深30m以深の深水層に当たる部分での溶存酸素濃度のパターンにも違いが見られた。図2で示すように、水深40mから70mの溶存酸素濃度を比べると、2020年は水深に従って減少がみられるのに対し2021年はほぼ一定であった。これは、2020年には湖底近傍に出現した貧酸素水塊が湖底より離れた層との混合が緩やかに起きていた可能性を示唆している。こういった、貧酸素状態ではないものの酸素濃度が低下することについての知見はあまりなく、今後検討を深めるべきか知見の収集をしていく必要がある。

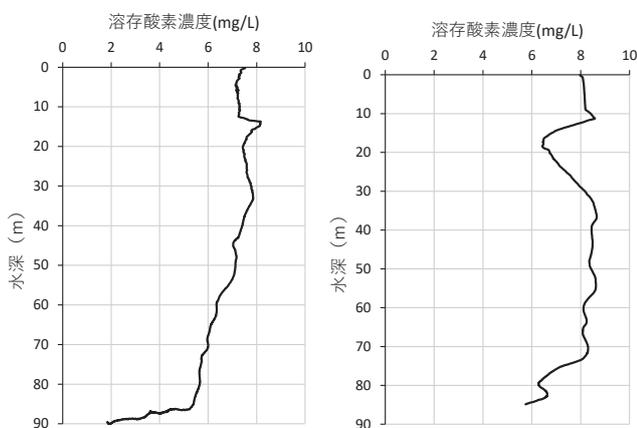


図2 地点Aでの溶存酸素濃度の鉛直プロファイル  
左が2020年、右が2021年

本報告書を執筆する段階で2年分の底生動物の同定作業を継続中であり、詳細なデータの収集に鋭意取り組んでいる。サンプルを見た印象では、深い地点で2020年に比べ2021年に水生ミミズ類の個体数が多く、貧酸素状態の解消によって、個体数の回復がおきた可能性が考えられる。

図3は、地点Aで採泥器を用いて3回採集した試料の1回分を撮影したものであり、2020年に比べて2021年の生物の個体数が明らかに多いことがわかる。

試料中の底生生物の大半はイトミミズであり、一部大型のミミズやヨコエビが含まれていた。

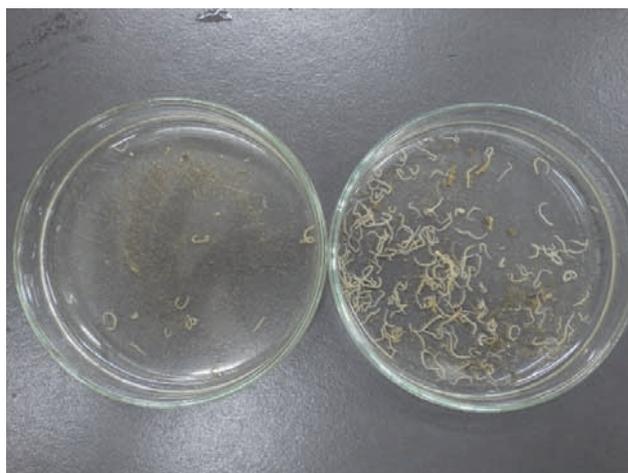


図3 地点Aでの底生生物試料(15cm四方)の様子  
左が2020年、右が2021年

また、2020年の試料には生物の卵が散見されていた。この水深で卵を体外に放出する生物は、ミミズ類カウズムシ類が考えられるが、大きさや色から考えてミミズ類と推測される。

このため、2020年に貧酸素に暴露されたミミズ類が卵の状態では貧酸素状態を乗り越え、酸素の回復した2021年に個体数を回復した、との仮説が立てられるだろう。

#### 4. 次年度以降の計画

2021年に酸素濃度が回復し、イトミミズの個体数の回復を示唆する試料が得られているが、試料の計数や計量をすすめて、十分なデータを得て、どの生物が回復したのか、その地点で回復したのか、詳細に解明していく。

また、回復の期間は生物種ごとの生活史の長さや産卵数の違いに起因して異なるものと予想される。2022年も継続して調査をし、生物ごとの貧酸素出現に対する反応の違いを明らかにすることを計画している。

(文責：石川俊之)

## 滋賀県在来‘伊吹大根’の機能性および加工技術に関する研究

### 1. プロジェクトメンバー

森 太郎 滋賀大学教育学部 准教授  
 久保 加織 滋賀大学教育学部 教授  
 栗津 虹 滋賀大学大学院教育学研究科 M2

### 2. 研究の目的と計画

在来野菜はその土地で古くから作られてきたもので、採種を繰り返していく中で、その土地の気候風土にあった野菜として確立されたものである。野菜の揃いが悪く手間がかかるという理由から一時は生産が減少していたが、在来野菜には今の野菜にはない強い香りやえぐみ、苦み、甘味や旨味といった多様な味が備わっているため、再び注目されている。しかし、認知されている野菜は限られており、栽培している生産者が少ないことから在来野菜は維持・普及が困難になりつつある。このような背景から在来野菜の持つ魅力的な特性を評価し、アピールしていく必要がある。また、在来野菜を普及していくための一つの方向性として、加工品の開発が考えられる。

滋賀県にも在来野菜は多く存在し、‘鮎河菜’（甲賀市土山町鮎河地区）、‘赤丸かぶ’（米原市米原地区）、‘伊吹大根’（米原市伊吹地区）、‘近江かぶら’（大津市）、‘大藪かぶら’（彦根市大藪町）、‘北之庄菜’（近江八幡市安土町下豊浦地区）、‘小泉紅かぶら’（彦根市）、‘坂本菊’（大津市比叡山坂本）、‘下田なす’（湖南市下田地区）、‘杉谷とうがらし’（甲賀市甲南町杉谷地区）、‘杉谷なすび’（甲賀市甲南町杉谷地区）、‘豊浦ねぎ’（近江八幡市）、‘秦荘のやまいも’（愛知郡愛荘町）、‘日野菜’（日野町）、‘水口かんぴょう’（甲賀市水口町）、‘守山矢島かぶら’（守山市矢島地区）、‘弥平とうがらし’（湖南市下田地区）、‘山田ねずみ大根’（草津市北山田地区）の19種が「近江の伝統野菜」として認定されている。そのうちの一つである‘伊吹大根’は、長さが15～20cmの小型の寸胴型で、尻は丸くて根は太短く末端はネズミの尾のように細い（図1）。首の部分と葉は葉柄、葉身ともに赤みを帯び、艶がある。肉質は緻密でしっかりとおり煮崩れしにくい。また、特有の刺激的な辛味があるが、辛すぎず、甘みがある辛味大根で、同地域の在来作物である伊吹そばに欠かせない薬味として利用されている。このような‘伊吹大根’を後世へ受け継いでいくには、特性を科学的に評価してアピールすることや、加工に関する知見を得て加工品の開発につなげていくこと

が必要であると考え。そこで本プロジェクトでは、‘伊吹大根’の科学的な特性として機能性を明らかにするとともに、大根おろしへの加工技術について検討した。

### 3. 今年度の状況報告

#### 1) ‘伊吹大根’の機能性

著者らは、これまで‘伊吹大根’と類似品種を同一条件下で栽培し、辛味成分である4-メチルチオ-3-ブテニルイソチオシアネートおよび、甘味成分である糖含量を分析・比較し、食味に関する特性を明らかにしてきた（未発表）。近年、野菜には健康効果が求められるようになり、生活習慣病などの疾病の発症予防に働くなどの生体調整機能を持つことが野菜の持つ価値を高める一つの要因となっている。そこで本プロジェクトでは、‘伊吹大根’を含むダイコン15品種を同一条件下で栽培し、抗酸化作用をはじめとした数多くの健康機能性に関与しているポリフェノールの含有量および抗酸化性（DPPHラジカル捕捉活性）を調査・比較した。

#### 材料および方法

9月下旬～12月上旬に滋賀大学大津キャンパス内の農場で辛味大根品種である‘伊吹大根’、‘辛いね大根’、‘辛いね大根赤’、‘辛丸大根’、‘辛吉大根’、‘辛之助大根’、‘親田辛味大根’、‘ねずみ大根’、‘味辛大根’、‘辛味大根旭山’、‘灰原辛味大根’、‘たたら辛味大根’、‘四季蒔き倍辛大根’に加えて、近江の伝統野菜である‘山田ねずみ大根’、広く流通している青首大根品種‘耐病総太り’を同一条件で



図1. 伊吹大根

栽培した (図2)。収穫した根部を縮分し、液体窒素で凍結して、 $-80^{\circ}\text{C}$  で保存後、凍結乾燥を行った。凍結乾燥試料に 80% エタノールを加え、60 分間超音波処理を行い抽出した。抽出液を用いて、フォーリン・チオカルト法により総ポリフェノール含量を、沖の方法 (2008) に準じて DPPH ラジカル捕捉活性を測定した。なお、1 品種あたり、4-5 個体を分析に供試した。



図2. ダイコン品種の栽培の様子

#### 結果および考察

ポリフェノール含量、DPPH ラジカル捕捉活性ともに、供試した 15 品種間で一元配置分散分析の結果、有意な品種間差異が認められた ( $p < 0.05$ )。ポリフェノール含量は、'親田辛味大根' が最も高く、次いで '辛いね大根赤'、'辛いね大根'、'灰原辛味大根' の順で高かった。'伊吹大根' は、辛味大根品種の中では比較的 low だったものの、一般的な青首大根品種である '耐病総太り' や近江の伝統野菜である '山田ねずみ大根' より高い値を示した。また、DPPH ラジカル捕捉活性は、'辛いね大根赤' が最も高く、次いで '親田辛味大根'、'灰原辛味大根'、'辛いね大根' の順で高かった。'伊吹大根' はポリフェノール含量と同様に、辛味大根品種の中では比較的 low だったものの、一般的な青首大根品種である '耐病総太り' や近江の伝統野菜である '山田ねずみ大根' より高い値を示した。また、測定した全個体の DPPH ラジカル捕捉活性とポリフェノール含量の間には、Pearson の相関係数において強い相関が認められ、ダイコンの抗酸化性にはポリフェノールが寄与していることが示唆された。

これらの結果より、ダイコンの機能性は品種によって異なること、一般的に利用されている青首大根に比べて辛味大根品種は機能性が高いことが明らかとなった。また、'伊吹大根' に着目すると、辛味大根品種の中では高い機能性

を有していないが、青首大根に比べると機能性が高いことが明らかとなった。著者らは、これまでの研究で、'伊吹大根' は、辛味大根品種の中で中程度の辛味成分含量と糖含量を有することを明らかにしており (未発表)、これらの特性とともに、機能性についてもアピールする科学的な特性となり得ることが考えられた。

#### 2) '伊吹大根' の大根おろしへの加工

'伊吹大根' は辛味大根であるため、大根おろしにして蕎麦の薬味などに用いられることが多い。辛味成分である 4-メチルチオ-3-ブテニルイソチオシアネートは、大根をすりおろすことにより、細胞内のグルコシノレートとミロシナーゼが反応して生成する。しかしながら、イソチオシアネートは揮発性物質であるため時間の経過に伴って減少していくことから、'伊吹大根' の更なる普及のためには、辛味を維持した大根おろしへの加工技術の開発が求められる。著者らは、すりおろさない状態 (細胞を破壊しない状態) で '伊吹大根' を凍結乾燥し、その後、凍結乾燥物を碎き、加水することで辛味を維持した大根おろしへ加工することができるという仮説を立てた。そこで、本プロジェクトでは、凍結乾燥させて加水した大根おろしを製造し、利用の可能性を検討した。

#### 材料および方法

5-10mm の厚さでちょう切りした '伊吹大根' を  $-20^{\circ}\text{C}$  の冷凍庫で凍結し、その後凍結乾燥を行った。凍結乾燥物を手で粗く碎き、水道水を加水した。加水直後および 10 分後に、筆頭著者や生産者を含む 4 名で食味を調査した。

#### 結果および考察

砕いた凍結乾燥物への加水直後では、辛味を示さなかったが、加水 10 分後では辛味を示した。この結果より、'伊吹大根' 凍結乾燥することで、辛味を維持した大根おろしへ加工することが可能であることが示唆された。今後は、辛味成分を測定し、さらに、生の大根おろしの辛味に近づくような凍結乾燥物の破碎や加水条件を検討したいと考えている。

#### 引用文献

沖 智之. 2008. DPPH ラジカル消去活性評価法. 食品機能評価マニュアル集第 II 集, 食品機能性評価支援センター技術普及資料等検討委員会編. 71-78.

# 滋賀県長浜市におけるローカル・サステナビリティのモデル化： 現地フィールドワークをベースにして

## 1. プロジェクトメンバー

森 宏一郎（滋賀大学経済学系教授）  
林 憲吾（東京大学生産技術研究所准教授）  
内山 倫太（神戸大学大学院人間発達環境学研究科助教）

## 2. 研究の目的と計画

長浜市の現地調査を行い、現場情報に立脚した長浜市のローカル・サステナビリティの概念モデル化に取り組む。汎用性の高いサステナビリティ概念を徹底的に長浜市ローカルで考える。このモデル構築を通じて、どのようなプロセスでサステナブルな状態に向かうことができるのか、現状どのようなメカニズムで非サステナブル化が起きているのかを具体的に明らかにすることを目的とする。定性的にローカル・サステナビリティを捉えることに加えて、動学的にサステナビリティを捉えることも目指す。

これまで、都市のサステナビリティについて、概念化と評価指標づくりを行い、人口規模1,000万人を超えるメガシティに適用してきた。構築した概念モデルや評価指標の汎用性は高いと考えており、ある程度はうまくいったと考えている。しかし、モデルの構成要素や評価指標間の関係やサステナブルな状態に向かうときの変数間の相互作用メカニズムの解明に課題を残している。

この課題に取り組むためには、都市域だけで構成されている大都市を研究するだけでなく、市街地などの都市域、管理された農村域、自然地などの多様な土地利用を含んだミクロな地域で、具体的にフィールド観察を行うことが必要になる。このプロセスを通じて、地域特性にカスタマイズしたローカル・サステナビリティの概念化を行い、概念フレームワークを構成する要素間の関係を記述して、モデル化していくことが重要である。このプロセスを経なければ、抽象度の高い概念モデルだけを提示しても、各ローカルで具体的にどのようにサステナビリティを追求していけば良いかを考えることができないだろう。加えて、ミクロな地域でのケース・スタディを蓄積していくこと自体にも価値がある。Think Globally, Act Locally. は言い古されたものであるが、具体的な Act Locally の手段や応用の仕方を示すことができなければ、地球規模で起きている環境問題の解決にはつながらない。

その際、重要なのは、地域ごとのサステナビリティを

考えるのではなく、地球規模のサステナビリティを実現・維持するために、対象地域はどうあるべきかを考えることが求められる。もちろん、その地域自体の持続も含めなければならないが、その地域が持続しても地球規模の問題を悪化させるアクションになるならば、否定しなければならないということになる。この視点がなければ、遅かれ早かれ、地域の持続性も失われることになるだろう。

長浜市は市町村合併を通じて、地理的に広大なエリアになっている。そのため、典型的な都市域としての市街地、工業地帯、広大な水田を中心とした農村域、漁村域、山林、居住者のいない自然地など、多様な土地利用で構成されている。長浜市にとって、少子高齢化が進む中で、未来にわたって、これらの間のバランスをどのように取るかは重要な課題である。加えて、視点のスケールを変えてみれば、長浜市は、地球規模で捉えるべきサステナビリティ、すなわち、環境・経済・社会の相互作用とその最適な状態を考えるのにふさわしいミクロ地域となっている。したがって、長浜市のようなエリアで具体的にローカル・サステナビリティを考察することができれば、その成果は地球規模のサステナビリティに対して大きな貢献となるとともに、具体的なアクションの案を提示することにもなる。

## 3. 今年度の状況報告

### 1) フィールド調査の実施

3回のフィールド調査を実施した。最初に、田根地区の中嶋さん（田根地区地域づくり協議会）へのインタビューを実施した。地域の経済・自然環境・社会的特質の変遷について広範に聞き取りを行った。田根地区はいずれも兼業農業が基本であるが、平野部では集落営農（法人化）が進み集約化されている。十分な規模で集落営農ができていない広大な平野部の地域では、採算が取れているものの、そうではない山に近い地域では採算割れの状態である。社会的に水田環境を維持したいニーズはあるものの、米を作れば作るほど赤字になっていく状態であり、限界が近いという。それでも今のところは、耕作放棄地が地域内に生まれ、景観が悪化することは忌み嫌われている。この点で集落の社会的機能が水田環境の維持に貢献していると考えられる。だが、人口減少と高齢化の波から集落には空き家が増えており、社会的機能や結束は徐々に弱体化しつつある。

オコナイの規模や期間も縮小され、実施形式も公共的な場所に移されるなど、少しずつ衰退の兆しがある。

2回目は新興開発地域と伝統的集落がせめぎ合っている内保町の現地視察および荻下さん（内保町自治会長）、近藤さん（内保町副自治会長）、中川さん（神社の総代）へのインタビューを実施した。社会的機能・結束に焦点を当てて、オコナイに関する話を中心に話を伺った。この地域は新興開発地域があるため、人口が増えているものの、新興地域に新しく居住する人が自治会に入らなかったり、神社の氏子に関心を示さなかったりすることがあり、地域内は分断しつつあるという。少なくとも旧集落では、オコナイは規模や期間を縮小しつつも継続されているが、今後どのように維持していくかは課題となっている。



3回目は長浜市の住民意識調査において地域社会への愛着度が高い地域である余呉地区の各集落の視察を実施した。平日実施だったため、移住者へのインタビューができなかったが、他の地域との地理的違いを視察した。地区内でも、空き家が目立ち疲弊していることが伺える地域と人の気配が強うまく集落が維持されていると思われる集落が混在していた。

フィールド調査を基本とした計画を立てたが、残念ながら新型コロナウイルスの蔓延拡大が起き、予定よりもだいぶ少ない回数しかフィールド調査を実施できなかった。

## 2) 概念モデルの構築へ向けて

当初の目的どおり、環境・経済・社会の3つのファクター間の関係のモデル化に向けて、暫定的な考察を行ってみたい。

経済と環境の間は複雑な非線形の関係となっている。経

済成長し、さまざまなタイプの経済的開発が起きれば、自然環境が悪化する局面が起きる。他方、森林や水田などの管理された自然環境は、経済的採算性が失われると、劣化していくことになる。経済と環境は単純な相互強化的な関係にはなっていない。そのため、単純に経済に介入しても自然環境を保全できるわけではないということになる。

環境と社会の間にはポジティブ・フィードバックがありそうに見える。環境保全によって保たれている豊かな景観と人々の間の社会的つながりには相互強化作用があるが、何らかの社会・経済的ショックによりどちらかに歪みが生じると、双方が弱体化する負のサイクルが発生し得る。例えば、社会的結束があることによって、ある程度経済的に犠牲を払いながらも、美しい水田景観を維持することができてきた。逆に、水田景観を維持してきたことによって、社会的な協働や結束を実現してきた事実もある。社会的に価値観を共有し、結束して協働することによって、経済的要因による環境破壊に対抗してきたと見ることもできる。この意味で、社会はサステナビリティにとって肝になる可能性を秘めている。

他方、経済的变化が社会的協働や結束に影響を与えるベクトルも無視できない。この地域の象徴的な社会的側面であるオコナイは、人口減少や少子高齢化といった社会構造の変化から派生する経済的变化によって、現代的文脈で縮小・形骸化が起きてきている。この縮小・形骸化は、社会的に価値観を共有化し結束・協働する機能を弱める可能性が高い。そうなれば、社会的側面の弱体化が環境配慮の機能も弱めることにつながりかねない。こうして見てくると、長浜市のローカル・サステナビリティの肝は社会的側面になっており、社会的側面を中心に複雑に経済・環境と相互作用が起きていると捉えることができるだろう。

# Raspberry Pi を用いた中山間地河川の簡易観測システムの試作と基礎実験

## 1. プロジェクトメンバー氏名と所属

谷口 伸一 データサイエンス教育研究センター  
川井 明 データサイエンス学部

## 2. 研究の目的と計画

近年、経験したことのない大雨による甚大な自然災害が発生するなか、大雨の影響がすぐに現れる中山間地河川に暮らす住民は「いつ避難すべきか？この川はどのくらいの雨まで持ち堪えられるのか？」ということに強い関心と危機感をもち、リアルタイムな河川観測と水位予測に基づいて避難のタイミングを判断したいと望んでいる。

滋賀県内の河川には 56 基の防災河川カメラが設置されていて河川の画像と水位をリアルタイムに観測することができる。しかし、防災河川カメラの多くは平野部に設置されているため、上流にある複数の中山間地河川のそれぞれの状況まで判断することはできない。さらに、記録的短時間大雨による災害リスクが高まるなか上流と下流のタイムラグも問題となる。従って、観測の対象を中山間地河川まで広げるべきであると考えた。

本研究では、汎用的な IoT (Internet Of Things) 技術による簡易河川観測システムを開発して、中山間地河川の水位データの収集と可視化、さらに Web サーバによるデータ管理とデータ分析により水位の変化を予測して避難のリードタイムを明らかにしたいと考えている。

開発した簡易河川観測システムは、滋賀県米原市河内地区を流れる一級河川梓川に設置して実証実験を行う。梓川が合流する天野川には長岡地先の天野川橋と能登瀬地先の息長橋の 2 か所に防災河川カメラが設置されており、これらの観測データも活用したいと考えている。

## 3. 今年度の状況報告

### 3.1. 簡易河川観測システムの設計

図 1 に示すように Raspberry Pi を用いてセンサデバイスからデータを収集する機能と Web サーバでデータを管理してリアルタイムなデータ観察とデータ分析の機能を実現する。センサデバイスの制御にはプログラム言語 Python を使用する。また、Web サーバは Apache とし、データベースには MySQL、プログラム言語には PHP を使用する。

### センサデバイスの構成

- Raspberry Pi カメラモジュール
- 気温、湿度、気圧センサ (BME280 など)
- 雨検知センサ (LM393+FC37 など)
- 超音波距離センサ (SR04M など)
- 液体圧力センサ (計測レンジ 10psi 以下)
- 電針センサ

カッコ内は使用した Amazon などでも入手可能な製品名あるいは規格を表している。

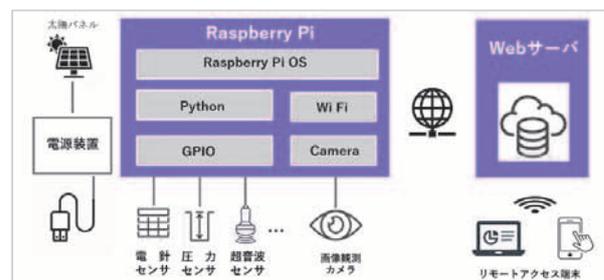


図 1 簡易河川観測システムの構成

### 3.2. センサデバイス制御装置について

制御装置 (図 2) は、次の主要ユニットからなる。

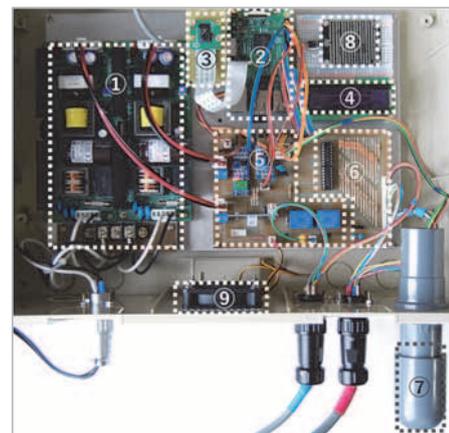


図 2 制御装置

- ① 電源ユニット：DC5V と 12V の電源供給
- ② Raspberry Pi：センサ制御と Web サーバ通信
- ③ Raspberry Pi カメラ：河川の画像観測
- ④ LCD ディスプレイ：IP アドレスと気温の表示
- ⑤ センサ制御ユニット：センサの電源制御と信号処理
- ⑥ A/D 変換ユニット：圧力と電針センサ信号の A/D 変換
- ⑦ 気象センサ：BME280 による気温、湿度、気圧観測

- ⑧ 雨検知センサ：ボックス上面に取付け降雨を検知
- ⑨ 冷却ファン：20℃で動作しボックス内温度を管理

### 3.3. 超音波センサ装置について

直径 40mm の塩ビパイプ下端に整流作用をもつキャップを取り付け、上端に超音波センサを配置する（図3）。パイプ内に水位で上下するフロートを挿入し、これが超音波を反射して TOF（Time Of Flight）で距離を計測する。



図3 超音波センサ

### 3.4. 圧力センサ装置について

塩ビパイプ下端に最大計測レンジが 10psi（約 70kPa）の圧力トランスデューサを取り付け（図4）、水位面までの水圧を 0V から 5V の電圧で計測し A/D 変換する。

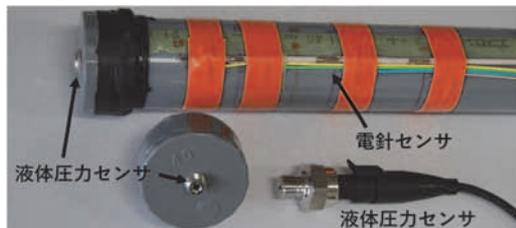


図4 圧力センサと電針センサ

### 3.5. 電針センサ装置について

図4の塩ビパイプ周囲に13段階の水位を計測するリード線を張り付け、これに水位が達すると導通状態になりそのリード線の水位を検知する。

## 4. 基礎実験の結果と水位の計算

深さ 35cm の容器内で水深を変化させて計測した(図5)。

図6は水深を 1cm 刻みで変化させて計測した超音波センサ（第1軸）と圧力センサ（第2軸）のデータである。

それぞれのデータに基づいた単回帰分析の回帰式と R<sup>2</sup> 値をグラフ内に示す。



図5 実験の様子

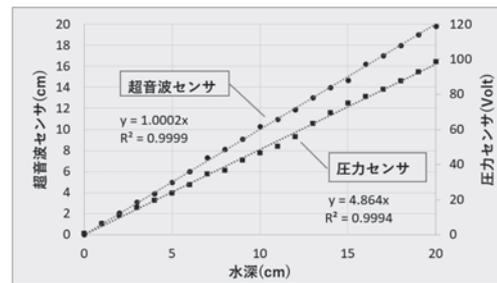


図6 超音波センサと圧力センサの計測結果

実験結果より両センサともに水深と計測データに高い相関が認められた。よって、水位 L を求める式を次のように定義する。

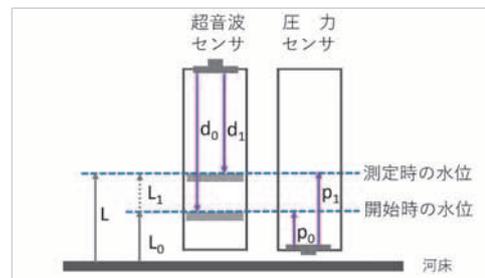


図7 水位計測の方式

- ① 超音波センサの場合

$$L = (d_0 - d_1) + L_0$$

- ② 圧力センサの場合

$$L = (p_1 - p_0) / 4.864 + L_0$$

ここで、

L<sub>0</sub>：測定開始時の水位、

L<sub>1</sub>：水位の変化分、

d<sub>0</sub>：測定開始時の超音波センサの計測距離、

d<sub>1</sub>：水位変化時の超音波センサの計測距離、

p<sub>0</sub>：測定開始時の圧力センサの計測圧力、

p<sub>1</sub>：水位変化時の圧力センサの計測圧力

である。なお、L<sub>0</sub> は装置設置時に実測する。

## 4. まとめと次年度の計画

基礎実験より両センサとも高い精度で計測できることが分かった。しかし、超音波センサについては超音波がパイプ内面に反射して生じるノイズにより、長いパイプでは計測が不安定となる問題が残った。

そこで、次年度はこの問題の解決と梓川におけるシステム全体の実証実験を行いたいと考えている。

# 環境教育及びSDGsの視点から捉えた滋賀県の自然災害と自然景観

## 1. プロジェクトメンバー

藤岡 達也 教育学研究科・教授  
堀 道雄 守山市立河西小学校・教諭  
桑原 康一 栗東市立治田東小学校・教諭  
手島 剛也 草津市立高穂中学校・教諭  
秀熊 宏弥 長浜市立西中学校・教諭  
勝山 正徳 近江八幡市立八幡小学校教諭  
永井 佑子 東近江市立湖東第二小学校教諭

## 2. 研究の目的と計画

滋賀県では、これまでも環境教育、ESD、そして近年ではSDGsについても、各地域や学校、行政、地域等で熱心に取り組まれてきた。しかし、県内においても滋賀県の地質・地形・気象などいわゆる地学的な自然環境と人間活動とを環境教育やESDに関する教材開発、実践、などと結び付けた研究は多いとは言えない。今日、SDGsが注目されているものの、県内の取組は必要性に比べて必ずしも多くない。そこで、本研究では琵琶湖及びその周辺環境を中心とした滋賀県の自然災害、自然環境を取り上げ、地域環境教育資源としての教材の開発と活用を行う。ただ、今年度も新型コロナウイルス感染症の影響もあり、当初の予定を変更せざるを得ないところも生じたことを断っておく。

## 3. 今年度の状況報告

### (1) 河川環境と人間活動について

本研究では題材として、琵琶湖に注ぐ一級河川、野洲川と人間活動との関係を先史時代にまで遡って取り挙げた。野洲川流域は有史以来、重なる水害に見舞われてきた。しかし、弥生時代において、沖積平野の形成とともに日本最大の銅鐸や水田跡など流域遺跡群も多く発見・発掘されており、かつてから稲作が盛んに行われていた地域であることが報告されている（守山市教育委員会、2003）。この点について、野洲川は「危険」に備える防災と地域への「恵み」としての自然の二面性を取り扱う題材となり得るものである。また、児童の生活環境としての野洲川を取扱うことは、SDGs（持続可能な開発目標）のゴール11に記された「都市と人間の居住地を包摂的、安全、強靱かつ持続可能にする」を小学校段階から意識させることができる教育活動として位置付けることができる。

### (2) 滋賀県野洲川流域の水害と遺跡の教材化

本学習プログラムを実践した滋賀県守山市K小学校は琵琶湖の東側に位置し、一級河川の野洲川に隣接する。この野洲川流域は、かつては水害常襲流域であり、特に南流と北流に分岐し、琵琶湖に注ぐ下流部では中世に形成された天井川が大水時に決壊し、何度も氾濫を繰り返してきた。そのため、国の直轄事業として昭和54年に南流と北流に分岐した水流を一本化し、琵琶湖への放水路に通水する工事が行われ、それから現在までは大きな水害が発生していない（国土交通省近畿地方整備局、2019）。しかし、平成25年9月に大型台風が近畿地方を襲い、日本初の「特別警報」が滋賀県に発表されたときは、野洲川流域にある守山市も災害対策本部が設置され、避難準備情報が発令された。守山市K小学校は放水路工事前までは南から北の琵琶湖に流れる野洲川が分岐していた地点に位置し、今後も起こり得る風水害に対する防災教育が求められる地域である。

本学習プログラムは守山市K小学校第5学年の1クラス34名を対象として実施した。野洲川を題材として自然の二面性をテーマとしてプログラムを構想するにあたり、本プログラムの位置づけについて、河川や水害に関する既習の学習内容とこれから学習する内容の中でカリキュラム・マネジメントの視点から作成した。本学習プログラムを第5学年に設定したのは、水害のメカニズムを理科で学習しており、社会科では人々の暮らしと地理的な要因から学習していたことによる。理科の空間的・時間的な見方、人々の暮らしと地理的要因など社会的な見方、どちらも獲得していると考えた。そのことを踏まえ、自然の二面性の視点を捉えることを目的とした2時間の学習プログラムを作成した。学習プログラムは①、②の二つの学習活動からなる。①では野洲川の氾濫によってできた沖積平野に、服部遺跡など多くの遺跡が発見されていることから弥生時代以降多くの人々が米作りのために定住したことを理解する。②では第5学年で学習した水のはたらきとしての三作用を想起したうえで、野洲川のモデルに水を流し氾濫の様子を確かめる。学習を通じて野洲川が氾濫することによって水害は発生するが、同時に野洲川は恵みももたらしているという自然の二面性を認識できるかどうかを検証することにした。

まず、縄文時代と弥生時代の野洲川周辺の遺跡の分布図

を示し、それらを比較することでなぜ弥生時代の方がより多くの遺跡が存在するのかということを考える活動を行った。考えを交流する中で、ヒントとして遺跡から発掘された鍬などの出土品を示したり、当時の食生活の様子や集落のイメージ図を示したりすることによって、弥生時代以降にコメ作りのため「利水」の面から野洲川を利活用していたことに気付けるようにした。

本学習プログラムで児童が自然の二面性についてどのように捉えたか、事前・事後の変容を確かめるため、授業を受けた34名の児童を対象に学習の事前・事後にイメージマップ調査を行った。イメージマップとは「比較しあうことを通して、自分の『ものの見方』を客観的に分析したり、多様な『ものの見方』に気付いたりすることができる」ための方法である。本学習プログラムでは野洲川についてどのような印象をもっているか学習の事前と事後にイメージマップを描かせそれらを児童自身が比較し、自分の変容を自覚できるようにした。事前と事後のイメージマップを比較すると、出現した語数は事前の全員の合計が182語であるのに対して、事後は159語と減っていた。しかし、総文字数をカウントすると事前は1,186であるのに対して、事後は1,278と増えていた。語数は減ったものの、一つの言語の書く内容が量的に増えていたことが分かる。イメージマップに書き込んだ野洲川をイメージする言語について、【恵み】（「水」「きれい」「米作り」などの言語）、【危険性】（「水害」「暴れ川」「争い」などの言語）、【自然の二面性】（恵みと危険性を同時に書いている）、【野洲川】（「広い」「長い」「遺跡」など）、【水害対策】（「堤防」「工事」などの言語）、【その他】（補足する言語、直接関係しない言語など）の6つのカテゴリーに分けて語数をカウントして割合で表すと、事前には漠然と野洲川をイメージしていたが、事後には野洲川に関する「恵み」と「危険性」についての言語の割合が増えていることが分かる。また、事前にはなかった自然の二面性についての言語も事後には出現していることが明らかになった。それぞれのカテゴリーに該当し、5人以上が記述している代表的な言語を取り挙げると明らかに変化していた。特に、【恵み】と【危険性】のカテゴリーを見ると、【恵み】については、事前では野洲川の自然環境という視点からの言語が多いのに対して、事後調査では米や水など人間にとって実利的な内容の言語に変化していることが分かる。また、【危険性】についても、事後調査では歴史上で野洲川の水利を巡って争いが生じたことに言及する記述があり、学習した内容が反映されていることが

明らかになった。

#### 4. 成果と今後の課題

本研究では、学習者にとって身近な野洲川の河川環境を題材として、河川の氾濫についての理科的な側面と、野洲川流域に存在する遺跡から人間活動を考える社会科的な側面、いわゆる教科等横断的な学習プログラムを開発し、小学校第5学年の児童に実施した。学習の事前・事後のイメージマップの記述の変化、また児童自身がイメージマップを比較した記述から、野洲川が水害の原因であるから怖いというイメージだけでなく、自然の恵みをもたらしてくれるという自然の二面性を学習後に意識することができたということが推察できる。このことから、現学習指導要領解説総則編で現代的な諸課題に関する教科等横断的な教育内容として示されている「防災を含む安全に関する教育」の一つのカリキュラム・マネジメントを取り入れたアプローチ方法として示すことができた。さらに、本学習プログラムはSDGsと関連させると、17のゴールのうち、11「都市と人間の居住地を包摂的、安全、強靱かつ持続可能にする」に接続できるものとして考えられる。特に、居住している地域が河川の危険性と恩恵と両面から、今後の持続可能な居住の在り方を考えるという点で、ターゲット11.3「2030年までに、包摂的かつ持続可能な都市化を促進し、全ての国々の参加型、包摂的かつ持続可能な人間居住計画・管理の能力を強化する。」に繋がるものとして期待できる。また、防災教育はESD（持続可能な開発のための教育）で取り組むべき分野の一つとして位置づけられており、現学習指導要領で謳われている持続可能な社会の創り手を育成するという理念にも照らし合わせると、本学習プログラムはSDGsやESDに寄与できるものと捉えられる。

#### 文献

国土交通省近畿地方整備局琵琶湖河川事務所（2019）『野洲川放水路通水40周年「これまで」と「これから」』  
守山市教育委員会（2003）『弥生のなりわいと琵琶湖一江の稲作漁労民一』サンライズ出版、164-171。

## 非負値行列因子分解の時空間データへの適用

### 1. プロジェクトメンバー

佐藤 健一 滋賀大学データサイエンス学系 教授

### 2. 研究の目的と計画

本研究では経時測定データからなる観測行列を個体ごとの観測時点別頻度表とみなして、非負値行列因子分解にもとづくトピックモデルを適用し、経時変化の類似性を探索するためのソフトクラスタリングを考える。また、非負値行列因子分解には、個体ごとの観測データをいくつかの基底ベクトルの線形一次結合で近似する回帰モデル的な側面もある。解析例として、回帰分析などが困難な個体数よりも観測時点数が多い場合について紹介する。

なお、本研究での理論的な成果などは論文「経時測定データに対する非負値行列因子分解によるソフトクラスタリングについて」としてまとめて投稿し、応用統計学雑誌に採択された。2022年度中に印刷される予定である。

### 3. 今年度の状況報告

#### 1) はじめに

正值の観測値からなる行列に対して、Paatero and Tapper (1994) は正值行列因子分解 (Positive Matrix Factorization : PMF) を提案し、Lee and Seung (1999, 2000) によって、非負値観測行列に対して非負値行列因子分解 (Non-negative Matrix Factorization : NMF) が、実装が容易なアルゴリズムとともに開発された。NMF は非負値の成分からなる  $K$  変量を持つ  $N$  個体の観測行列  $Y_{\{K \times N\}} = (y_1, \dots, y_N)$  に対して、適当な  $M$  ( $\leq K$ ) を考え、非負の成分を持つ基底行列  $H_{\{K \times M\}} = (h_1, \dots, h_M)$  と、同じく非負の成分からなる係数行列  $U_{\{M \times N\}} = (u_1, \dots, u_N)$  の積による近似を行う：

$$Y \approx HU = X.$$

したがって、個体  $n$  の観測ベクトル  $y$  は、長さ  $N$  の基底ベクトルの線形一次結合によって近似できる：

$$y_n \approx u_{1,n}h_1 + \dots + u_{M,n}h_M$$

ただし、 $u_n = (u_{1,n}, \dots, u_{M,n})'$ 。

特異値分解がトピックモデルの原型になったように、NMF もテキストデータに適用され、主にソフトクラスタリングを目的として利用されている (例えば、Berry et al. (2009)、岩田 (2015)、安川 (2015))。NMF をトピックモデルとして用いるときには、基底行列の列和が 1 にな

るように正規化する必要がある。

このような正規化を行うことで、分解の一意性が保てるとともに、観測行列と係数行列の各列の和が近似的に等しくなる。さらに、求められた係数行列  $U$  は個体ごとの列和が 1 になるように正規化することで、個体ごとのトピック確率として解釈できる。そして、トピック確率にもとづくソフトクラスタリングが可能になる。

このようにして、NMF は  $K$  次元の観測値を、それよりも少ない  $M$  個の基底によって回帰する。また、単に加法モデルであるだけでなく、その回帰係数および基底ベクトルがすべて非負で求められるため、その解釈や特徴づけが非常に容易になっている。これらの利点から、NMF は観測ベクトルの次元  $K$  が個体数  $N$  に比べて高くなる傾向がある画像データ、音声データ、テキストデータなどのいわゆるビッグデータに広く利用されている。

#### 2) NMF の計算アルゴリズム

観測行列  $Y$  を、基底行列  $H$  と係数行列  $U$  の積で近似する NMF の計算アルゴリズムについては、その理論的な背景を含めて Lee and Seung (2000)、亀岡 (2012) あるいは安川 (2015) によって非常に詳細に述べられている。

初期値を与えた後、 $H$  と  $U$  は繰り返し更新することで求められるが、目的関数によって更新式が若干異なる。まず、 $Y \approx X$  の近似精度を各成分の平方ユークリッド距離で測る場合を紹介する。観測行列  $Y$  と近似行列  $X$  の平方ユークリッド距離、

$$D_{EU}(Y, X) = \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K (y_{k,n} - x_{k,n})^2$$

を最小化するための更新式は、

$$h_{k,m} \leftarrow h_{k,m} \frac{\sum_{n=1}^N y_{k,n} u_{m,n}}{\sum_{n=1}^N x_{k,n} u_{m,n}},$$

$$u_{m,n} \leftarrow u_{m,n} \frac{\sum_{k=1}^K y_{k,n} h_{k,m}}{\sum_{k=1}^K x_{k,n} h_{k,m}},$$

で与えられる。この他にも、Kullback-Leibler 型ダイバージェンスにもとづく更新式などがある。いずれの場合もトピックモデルとして用いるときには、基底行列の列和が 1 になるように正規化する必要がある。なお、最小化する目的関数の使い分けとしては、観測値が正規分布であれば平方ユークリッド距離、ポアソン分布であれば Kullback-Leibler 型ダイバージェンスを使えば  $H$  および  $U$  に関する

最尤法と等価であることが亀岡 (2012) で述べられている。

3) 位置情報を持つ経時測定データへの応用

図1にカナダの35の観測地点における1月1日から12月31日までの365日の気温データを示す。なお、気温データは厳密には非負でないが、最小値を引くことで非負としている。本データを月ごとにまとめ、3月から8月の経時測定データとした回帰分析については、佐藤 (2020) を参考して頂きたい。

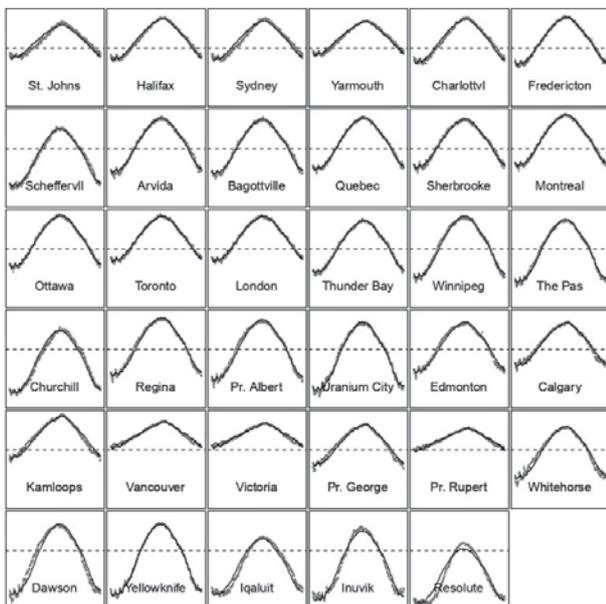


図1. カナダの35の観測地点における365日の気温データ。観測値を灰色の円で、M=2のNMFによる近似値は実線で示す。相関係数はR=0.993、決定係数はR<sup>2</sup>=0.985と近似精度は高い。

観測行列Yに対して、トピック数M=2個のNMFを適用した。目的関数として平方ユークリッド距離を用いた。N=35の観測地点での長さK=365の観測ベクトルが、M=2個の基底ベクトルの線形一次結合でよく近似できていることがわかる。

そして、観測値の位置情報を利用して、観測値ごとのトピック確率を図2に示す。図2から、ほとんどのすべての観測地点においてトピック1の確率が一定程度あることがわかる。これは各観測ベクトルの近似値が、1) 2つの基底ベクトルの重み付きの和になっている、2) 図1の観測値の形状はトピック1の基底ベクトルが基本となってトピック2で調整している、と考えれば矛盾なく解釈できる。また、図2から、北緯が高くなるほどトピック1の確率が高くなり、最北のResoluteでは、トピック2の確率が0に近い。逆に、南下するにつれてトピック1の確率は低く

なる傾向があり、南西部、あるいは、南東部の海岸付近の観測地点ではトピック1の確率がかなり低いことがわかる。このように、トピック確率が地理的に緩やかに変化する様子が見え、各観測地点が1つのクラスターにのみ所属するハードクラスタリングとは異なり、複数のクラスターへの所属確率にもとづき、観測地点やトピックの特徴に関してより詳細な考察が可能であることがわかる。

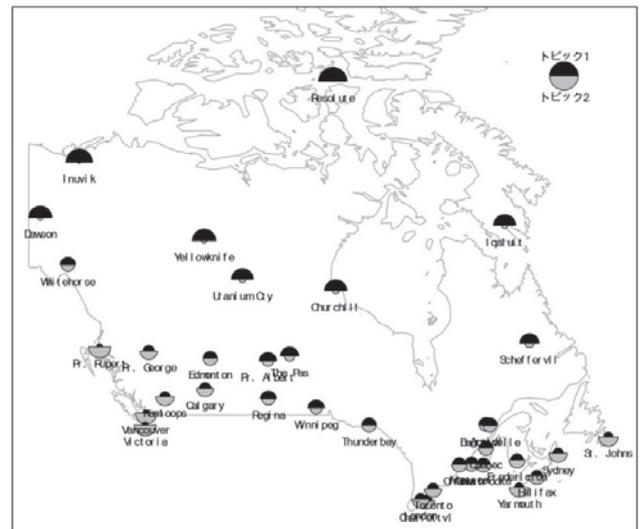


図2. カナダの35の観測地点における365日の気温データに対して、M=2のNMFを行ったときの観測地点ごとのトピック確率による星形図。

引用文献

佐藤健一：時空間データに対するバランス型成長曲線モデルの適用，応用統計学 49 (2)，71-84，2020。  
 佐藤健一：経時測定データに対する非負値行列因子分解によるソフトクラスタリングについて，応用統計学，2022 (印刷中)

## 全国各地の降水量の時系列解析と多変量解析

### 1. プロジェクトメンバー

水上 善博 教育学部・教授

### 2. 研究の目的と計画

地球温暖化による気候変動は重要な環境問題の一つである。世界の主要国は2050年におけるカーボンニュートラルの達成を目指して二酸化炭素の排出を削減する方向で進み始めている。一方で環境問題の解決のためには基礎的研究を着実に進めていくことが必要である。滋賀大学教育学部では川嶋宗継教授（現名誉教授）を中心に大津キャンパス（大津市平津）に降る雨の化学分析を1991年から2009年まで19年間継続して行い、その結果を報告してきた。（Mizukami and Kawashima (2016)、水上、川嶋 (2016)）。その中で、我々が測定した雨量と気象庁が大津市萱野浦に設置している無人観測施設のAMeDAS (Automated Meteorological Data Acquisition System) で測定された雨量のデータの比較を行ったところ、良い一致が見られた。近年、ゲリラ豪雨や線状降水帯の発生など、降雨に関する異常を感じることが多い。そこでAMeDAS（通称アメダス）のデータを利用して降水の研究を行うことを計画した。日本における気象に関するデータは気象庁が国内の約1300か所に設置している「地域気象観測システム」アメダスで自動的にデータが収集されており、1970年代から今日まで集められた大量のデータが気象庁から公表されている。アメダスでは、降水量、気温、日照時間、風向・風速などの気象データを観測し収集しているが、日本各地に降る雨の降水量については、10分毎から各時間、各月、各年のデータが公表されている。

本研究では全国47都道府県の県庁所在地における1980年から2019年までの40年間の月毎の降水量のデータを取得して、時系列解析を行い、主成分分析による多変量解析によってデータの特徴を調べた。

### 3. 今年度の状況報告

#### 1) アメダスの気象データの取得

気象庁のホームページ「過去の気象データ検索」(<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/>)から月毎の降水量のデータを収集して解析を行った。収集したのは47都道府県の県庁所在地に設置されているアメダスのデータで1980年1月から2019年12月までの40年

間480か月分である。47地点でそれぞれ480個、合計22,560個のデータを取得した。

#### 2) ハースト指数

ハースト指数は時系列データの特徴を見るための方法で、以下のように定義される。ある与えられた時系列データ $x(t)$ の時間間隔 $T$ での大まかな変化の大きさ $X$ を次の式で表す。

$$X = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^T (x_i - \langle x \rangle)^2} \quad \langle x \rangle = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T x_i$$

$x_i$ は時刻 $t = i$  ( $i = 1, 2, \dots$ )での $x$ の値であり、 $X$ と $T$ の間には、

$$X = aT^H \quad (0 < H < 1)$$

の関係が成り立つ。ここで、 $a$ は定数であり、 $H$ が時系列曲線 $x(t)$ のハースト指数となる。

ハースト指数 $H$ の値は、完全にランダムな動きをするブラウン運動からの逸脱の度合いを示す指標となる。 $H = 0.5$ の曲線は完全にランダムなブラウン曲線である。 $H = 0.8$ のように、ハースト指数が0.5より大きい曲線の場合、いったん上昇するとその傾向が続き、また、下降し始めると、さらに下がる傾向が続くという特徴をもつ。この傾向を“持続性”と呼ぶ。持続性を持つ曲線は変動幅が大きくなる。一方で、ハースト指数が0.5より小さい曲線の場合、上昇してもそれを引き戻して下降に転じる傾向が見られ、また逆に、下降するとそれに反して上昇する傾向がみられる。この傾向を“反持続性”と呼ぶ。反持続性を持つ曲線の変動幅は小さくなる。

各都道府県の県庁所在地の40年間の月毎の480個のデータについてハースト指数を求めたところ、最も小さい値となったのは福井県 (0.499)、次いで鳥根県 (0.500)、沖縄県 (0.501)、石川県 (0.504)、福島県 (0.513) となった。いずれも、0.5に近い値なので、これらの県の月毎の降水量はランダムな変動を示していることがわかる。一方、ハースト指数が最も大きい値だったのは、熊本県 (0.602) で、以下、千葉県 (0.594)、宮崎県 (0.594)、群馬県 (0.590) の順となった。これらは、いったん雨が降るとさらに降り、降らないとさらに降らないという“持続性”の傾向を示している。これら以外の都道府県のハースト指数の値は、0.53以上0.59未満の値となった。

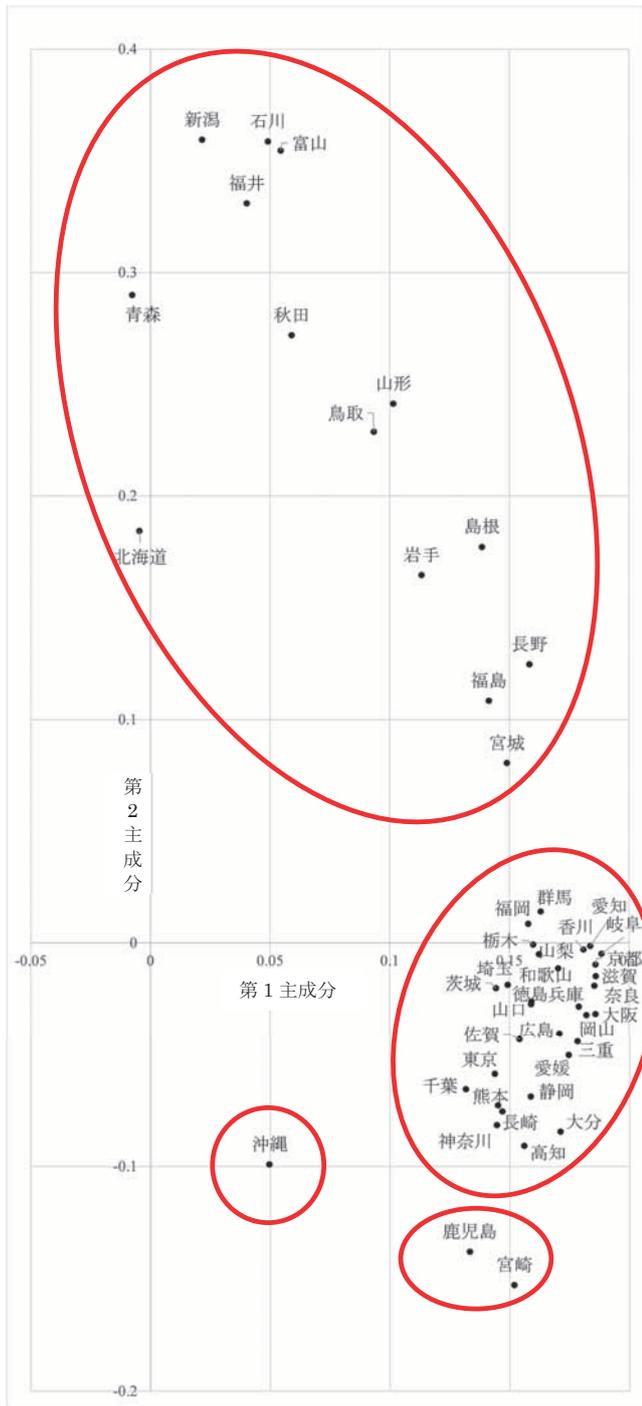


図 47 都道府県の県庁所在地における 40 年間（1980 年～2019 年）の月毎の降水量のデータの主成分分析における第 1 主成分（x 軸）と第 2 主成分（y 軸）の各都道府県の係数をプロットしたもの。

### 3) 主成分分析

47 都道府県 × 480 個のデータに関して主成分分析による多変量解析を行った。主成分分析はデータ群の持つ特徴を抽出するために有効な多変量統計解析の手法の一つである。本研究では統計解析ソフトの R を用いて解析を行った。

標準化したデータの相関行列を対角化して固有値と固有ベクトルを求めた。固有値が最も大きい第 1 主成分を横軸に固有値が 2 番目に大きい第 2 主成分を縦軸に固有ベクトルの係数をプロットしたものを図に示す。主に 4 つのグループに分けられることがわかる。図の上部の大きな楕円で囲まれたグループには、北海道、東北、北陸、山陰の各道府県と長野県が含まれる。冬に降雪の多い地域と考えられる。図の下部には、小さなグループが 2 つある。一つは、沖縄県であり、もう一つのグループには、鹿児島県と宮崎県の 2 県が含まれる。沖縄県は亜熱帯海洋性気候に属し、高温多湿な気候である。鹿児島県と宮崎県は温帯あるいは亜熱帯の気候に属し、比較的雨量が多い県である。40 年間の降水量の合計によると、宮崎県が全国で 2 番目に降水量が多い県で、鹿児島県が全国で 4 番目に降水量が多い県であった。図の右端のグループには残りのすべての都府県が含まれるが、グループの中には近畿 6 府県（京都府、滋賀県、奈良県、大阪府、和歌山県、兵庫県）のように近隣が集まる状況も見られる。各主成分の意味づけは主観的に判断することになるが、第 1 主成分は全国の総雨量の指標を、第 2 主成分は降水の種類（降雨や降雪）の多様性の指標を表しているように思われる。ただし、第 1 主成分と第 2 主成分をあわせた累積寄与率が約 60% とあまり大きくないので、この 2 つの軸を合わせて全国の降水の特徴を表現しているとも考えられる。

今後の課題としては、40 年分の月毎の平均気温のデータと雨量のデータとの相関を調べ、地球温暖化との関連も含めて考察していきたいと考えている。

### 文献

Yoshihiro Mizukami, Munetsugu Kawashima “Chemical Study of Precipitation by Lake Biwa at Otsu, Shiga, Japan II. Trends of Chemical Compositions from 1991 to 2009”, *Memoirs of the Faculty of Education, Shiga University*, vol. 66, 119-133 (2016)

水上善博, 川嶋宗継, 「滋賀大学教育学部（大津市平津）における降水の特徴—1991 年 1 月～2009 年 12 月のデータに関する考察—」, *滋賀大学 教育学部紀要*, vol.66, 135-141 (2016)