



2020

地域イノベーション研究 vol.8

Regional Innovation Research

巻 頭 言

2050年。日本政府が打ち出した「CO2排出量を0にする」という目標はこの年が期限です。またこの年あたりで、シンギュラリティ (singularity) が起こるのではないかという人もいます。「特異点」と翻訳されるこの語は、主に物理学で使用される言葉で、従来の基準 (物理法則) が通用しなくなるポイントを意味しますが、最近では技術的特異点として革新的な技術の実用化により、従来の社会、経済、環境が激変するポイントとして使用される例が多いようです。その中でも「AI (Artificial Intelligence、人工知能) が人間の知的生産活動の能力を超える時点があるのか、またそれはいつか」が最大の関心事となっています。

30年。今年には2050年までの30年の最初の年になります。まだ遠い未来のようでもあり、また私は既にこの世にいないかもしれないですが、現在学業に励んでいる児童・生徒・学生の多くは社会の中核を担っていると思われます。予想のつきにくい30年後を頭におきながら教師の多くは日々、「今、伝えるべきことは何か、身につけるべき資質や技能は何か」を問うています。30年後の未来を考える時、過去の30年間を振り返ることは有用です。そこで今から30年前 (1990年) を振り返ってみます。インターネットを通じたe-mailが使われ始めました。またwww (world wide web) プロトコルを用いて世界の人々の発信する情報をキーワードで検索・閲覧できるようになったのもこの頃です。しかしその使用は、大学や研究所などの一部の人間に限られていました。私もe-mailで作った文書を相手先のFaxに送信していました。通信もアナログ回線のトーン信号でしたので極めて遅く、この文章の容量でも数十秒かかりました。その後、1995年のWindows95の発売を経てインターネットは一般化し、通信もまずは電話からラジオ・テレビへとデジタル化されて高速になっていきました。固定電話が主流だった通信デバイスも今では携帯型のスマホとなりました。日本においては気付きにくいですが、世界最貧国と言われる国々でもスマホは普及しています。思えば過去30年間にも大きな変革があり、その中で新しい技術が基盤となる産業界も激変しました。

30年。これは人間という種の1世代です。一つの個体が子供を生み出し育み、その子供がまた新たな子供を生み出すサイクル (生活環, Life Cycle) に必要な時間です。私の専門の海洋分野でも、様々な海洋生物の生活環を基に保護・保全策を立案しなければなりません。そのように考えると、まだ若い次の世代の担い手への指針を示すことは現世代の義務でもあります。これまでの30年間の経験や知識は参考にはなりますが、それだけでは次世代が露頭に迷ってしまうかもしれません。我々はこれからの

30年間をできる限り見通し、その中で必要な資質・能力を若い世代が身につけるお手伝いをしなければなりません。今、公立鳥取環境大学地域イノベーション研究センターではこの難しい課題に正面から対峙しているつもりです。

2050年。その時にはAIが人間を管理し、人間はAIが指示するように行動しているでしょうか。今の日本では、生涯の伴侶をAIに決めてもらうビジネスも流行っていると聞きます。しかし私は、人間の情感や不合理な行動をAIが完璧にフォローできるとは考えていません。それは私が長年研究してきた海洋生態学の中で、生物が必ずしも科学的合理性に基づいた形態や行動をとらないことを経験したうえでの考察です。現在生きているすべての生物は、生物進化の壮大な実験場の中で個体の些細な違いからくる思いがけない行動を通して、予測が不可能（いわゆる想定外）な事態に対処して生き残ってきたのですから。

本年度の地域イノベーション研究センターの報告では、次の30年間に立ち向かうための何らかのヒントを与えてくれるテーマが並んでいます。ぜひ、ご参考にして下さい。

令和3年5月

地域イノベーション研究センター長 吉永 郁生

【目次】

食のみやこ鳥取づくり連携支援計画に基づく地域事業者支援の基盤構築 ～化学分析による栄養・機能性成分の総合的評価～ 環境学部環境学科 山本 敦史……………	1
広がれ!!プロジェクト・ヘルシュ!! —食のみやこ鳥取づくり連携支援計画に基づく地域事業者支援の基盤構築— 経営学部経営学科 竹内 由佳……………	12
有機質資材の投入が酒造好適米の生産環境に与える影響 環境学部環境学科 角野 貴信……………	22
千代川水系における水生生物の生息環境の地理情報化にむけた取組 —調査手法の確立と地理情報化の基本設計について— 環境学部環境学科 太田 太郎 松原 潤……………	27
鳥取県沿岸域に分布するスズキの資源生物学的基礎情報について 環境学部環境学科 太田太郎 大西智元・別役 龍・三輪拓也……………	34
地域で発生する廃棄物系バイオマス（廃石膏ボード剥離紙）の混合メタン発酵特性調査 およびリサイクル畜産敷料としての利用可能性検討 環境学部環境学科 戸苅 丈仁……………	40
伝統工芸産業を構成する事業者の経営とその技術継承 経営学部経営学科 磯野 誠……………	48
古民家「終活」の時代 —持続可能性に潜む諸行無常の理— 環境学部環境学科 浅川 滋男……………	49
星取県の星空ガイドを育てる体験型教材の開発 環境学部環境学科 足利 裕人……………	55

食のみやこ鳥取づくり連携支援計画に 基づく地域事業者支援の基盤構築 ～化学分析による栄養・機能性成分の総合的評価～

環境学部環境学科 山本 敦史

1. はじめに

1.1. 食品の表示と食品表示法

食は人間が生きていく根幹をなすものである。一般消費者がその安全性を理解し、自主的かつ合理的な食の選択を行う上で、食品に表示される情報は十分かつ信頼できるものでなくてはならない。食の安全の問題については残留農薬等の有害物質に限らず、近年は特定の食物が原因でアレルギー症状を示すケースが増加する等、多様化している。また、食品の産地偽装や廃棄食材の転売、消費期限の改ざんが問題となることもあった。国内では食品表示法に基づく食品表示基準が平成27年に施行され、経過措置期間が終わり令和2年4月から完全施行となった。事業者・販売者は定められた必要事項を食品に表示しなくてはならないとともに、景品表示法による不当な表示規制にも従う必要がある。優良誤認等禁止される表示の対象は容器及び包装による広告に限らず、チラシ・ポスター・出版物・放送・インターネット、更には口頭による広告も含み大変幅広い。そのため、事業者・販売者は自らの食品表示の信頼を高めるために、優位性の根拠についても正しく理解していることが期待される。しかしながら、中小規模の事業者にとってそれは容易なこととはいえない。

1.2. 鳥取県令和新时代創生戦略

鳥取県は平成27年に策定された「鳥取県元気づくり総合戦略」に基づき、地域資源を活かし永続的に発展するための取組を行っている。230の取組のうち、4年間で224項目で順調な進捗がみられており、農林水産業においても、「農林水産物のトップブランディング」等の取組により、輸出に取り組む事業者数、年間出荷額が増加している。農業所得の向上は今後も重要な課題であり、「鳥取県元気づくり総合戦略」の経緯を踏まえて策定された第2期総合戦略「鳥取県令和新时代創生戦略」においても県育成品種のブランド化、付加価値を創出する6次産業化が方向性として盛り込まれている。環太平洋連携協定、日欧経済連携協定に続き、日英経済連携協定が令和3年1月に発効し、特定産地のブランドを保護する地理的表示（GI）も注目されているが、その前提ともなる国際的に通用する科学的根拠の重要性は増しているといえる。

1.3. 連携支援計画

地域の特性を活用した事業を支援するための国の取り組みに平成29年に制定された地域未来投資促進法がある。地域未来投資促進法は、地域の特性を活用した事業を支援するために地域が策定した連携支援計画を国が承認する形となっている。二十世紀梨やラッキョウが鳥取の農産物として有名であるが、他にも白ネギや日本きのこセンターが開発した「鳥取茸王」等多くの食材が県内に存在している。事業者からは、製品のブランド化・高付加価値化のために、食味や機能性成分の見える化に対す

る要望がある一方で、それらを実現するための化学分析の環境やデータに基づくマーケティング戦略などの支援体制は十分ではない。そのため、環境大学を中心とした8機関が事業支援を行う「食のみやこ鳥取づくり連携支援計画」を策定し、令和元年12月に承認を得ることができた。今年度令和2年度は環境大学内の複数の教員が計画に参加する体制を構築し、計画に基づく支援件数は令和2年度2件、3年度3件として実績を作る。

1.4. 化学分析による栄養・機能性成分の総合的評価

食品のブランド化、差別化において生活習慣病等の疾患の発症リスクを低減するといったはたらきを持つものが注目されるようになり、多くの特定保健用食品や機能性表示食品が開発され、市場に並んでいる。食品に含まれる成分の数は膨大であるために、その全てを知ることは極めて困難である。すべての成分を分析することができる技術は存在しないが、非常に多くの成分を同時に分析できる手法には質量分析法等有力とされるものがあり、生命科学系の分野ではすでにタンパク質や低分子代謝物を包括的に評価するプロテオミクスやメタボロミクスといった手法が確立されつつある。疾患の診断や医薬品の開発にも活用されることが期待されており、データ解析等関連する分野の進歩も著しい。近年膨大なデータをデジタル技術の活用により解析しイノベーションに繋げることが期待されることが多いが、実際には十分な良質のデータを集めること自体大変難しいものである。質量分析は文字の通り、含まれる成分の質量を測定する技術であり、他の技術に対して、同時に多くの成分が含まれていてもそれぞれの成分の質量を測定できる特長がある。また、測定できる質量の精密さも大きく進化しており、測定できた成分が何であるか事前に分かっても質量の情報からそれが何であるかを明らかにできることも多い。質量分析データは素性の明確な良質のデータであり、新しい解析技術との相性が良い面がある。昨年度からの継続的な研究により解析手法を高度化できている、今年度はこの手法も用いて食品に含まれる栄養・機能性成分の総合的評価の実績を作る。

2. 実験

2.1. 分析機器と測定条件

分析機器にはサイエックス社の液体クロマトグラフExionLC ADと質量分析計X500R（以下LC/MS）を用いた。液体クロマトグラフィーのカラムは化学物質評価機構のL-Column2 ODSおよび、昭和電工のHILICpak VG-50 2D、インタクトのScherzo SM-C18を用いた。L-Column2は疎水性の高い成分の分析に、VG-50とSM-C18は親水性の高い成分の分析に用いた。質量分析計のイオン化はエレクトロスプレーイオン化を用い、正イオンモード、負イオンモードそれぞれで測定した。X500Rは二ヶ所の質量分離部をもつタンデム質量分析計であり、前段の質量分離部で成分の質量を測定した後、質量分析計内で窒素ガスと衝突させることにより、分子を断片化することができる。断片の質量も後段の質量分離部で測定することができる。分子は原子が結合することでできているが、その結合の強さは同じではなく、弱いもの強いものが必ず存在する。衝突により、弱い結合から切断されることから、分子内のどこに弱い結合があるかがわかる。分子を構成する原子の質量は炭素を除いて整数ではないために、端数を持つ。これを精密な質量で解析すると、それぞれの断片にどの原子がいくつ含まれているかを導くことができ、分子式を決定できた断片を組み合わせることで元の分子の構造を推定する

ことができる。取得した質量分析データをサイエックスのソフトウェアSCIEX OS及び理化学研究所のTsugawaraら（2015）が開発したMS-DIALにより解析した。

2.2. 試薬と器材

厚生労働省が「大豆イソフラボンを含む特定保健用食品等の取扱いに関する指針について」（食安発0823001号）の別紙に示す試験方法で入手可能な分析対象としている12種類のうち、ダイゼインは東京化成、ゲニステインはナカライテスクより購入した。その他のイソフラボンとソヤサポニンIは長良サイエンスより購入した。昨年度の研究でエリンギに含まれていると推定されたL-カルニチン、L-アルギニン、L-オルニチン、ベタインはナカライテスクから、アセチル-L-カルニチンは東京化成から、L-エルゴチオネインはケイマンケミカルから、UDP-グルコースはシグマアルドリッチから、トリゴネリンはAdooQバイオサイエンスから購入した。メタノール、エタノールは関東化学のLC/MSグレード、または残留農薬分析グレードのものを購入した。アセトニトリルはLC/MSグレードのものを林純薬工業より購入した。実験に用いた水はエルガの超純水製造装置PURELAB flex3により製造したものをを用いた。

豆の粉碎にはニッピのバイオマッシャー SPを用いた。その他の食材の粉碎にはロボクーブ製R-3Dを用いた。柔らかい食材には福島DI工業製のドライアイス製造機雪うさぎにより製造したスノー状ドライアイスを用い粉碎した。遠心分離機はhimac 製 CR22Nを用いた。

2.3. 大豆製品の取組

昨年度の研究結果により評価の対象物質と定めたイソフラボン類、ソヤサポニンについて分析法を検討した。大豆イソフラボンを含む食品について、厚生労働省の試験方法を参考にした。対象化合物およびその略称は付録表A2に示す通りである。鳥取県、長野県、広島県で製造された3検体のみそ5gを25mLの70%エタノール水溶液で1500rpmで30分間振盪した後、2000×g 4℃で15分間遠心分離により上清と残渣に分けた。上清は別容器に移し、残渣に再度25mL 70%エタノール水溶液を加え、振盪した後、遠心分離により上清をとり出し別容器の上清とまとめた。まとめた抽出液を70%エタノール水で希釈し100mLとした。0.2μmのメンブレンフィルターでろ過し、メタノールで100倍に希釈したのについてLC/MSを用いてイソフラボン類とソヤサポニンIの含有量を測定した。

昨年度黒豆茶について、ティーバックタイプの製品7種類（米国产、北海道産、丹波篠山市産、北海道産（有機）、岡山県産、兵庫県産、鳥取県産）を購入し、ティーバックのまま熱水により抽出を行った。製品によって、挽かれているものや全く挽かれていないものがあり、熱水による抽出効率も違っていると考えられたため、今年度はバイオマッシャー SPにより同程度の粒径まで挽いた黒豆を用いた。挽いた豆1gを10mL 試験管にとり、80-85℃の熱水で5分間抽出した。これを0.2μmのメンブレンフィルターでろ過し、LC/MSでイソフラボン類とソヤサポニンIの含有量を測定するとともに、鳥取県産の黒豆に特徴的に含まれる成分の探索を行った。

2.4. エリンギの取組

昨年度の研究結果により評価の対象物質と定めたベタイン、トリゴネリン、カルニチン、アセチルカルニチン、エルゴチオネイン、アルギニン、オルニチン、UDP-グルコースについて分析法を検討した。長野県産、新潟県産、鳥取県産のエリンギについて、2～3個を賽の目切りにし、予冷の後ス

ノー状ドライアイスとともにロボクープで粉碎した。粉碎試料 1 g を 10 mL の試験管にとり、メタノール 10 mL を加えて 20 分間超音波抽出を行った。抽出液を 0.2 μ m のメンブレンフィルターでろ過し、超純水で希釈し LC/MS により分析した。また、同じく鳥取県内で生産されている栽培条件と同じ条件で別品種のエリンギを栽培し、同様に分析を行った。

2.5. エゴマの取組

エゴマ（荳胡麻）は東南アジアを原産とするシソ科植物であり、日本では古くから種子を食用としてきた。近年鳥取県内でも盛んに栽培されるようになり、エゴマの種子を加工した食用油が製品化されている。エゴマ油には α -リノレン酸に代表される不飽和脂肪酸が多く含まれていることが知られている（Raoら 2008）。東北地方では「じゅうねん」とも呼ばれ、十年品質が持つ、十年長生きすることから来ているとも伝えられている。 α -リノレン酸以外にも有効成分が含まれていることから、5 件のエゴマ生産者から得たエゴマ種子および、製品のエゴマ油について LC/MS により分析した。エゴマ油はアセトンで 10 倍に希釈した後、さらにメタノールで 100 倍に希釈したものを測定用溶液とした。エゴマ種子は 5 g 量り取り、スノー状ドライアイスとともにロボクープで粉碎し、粉碎試料 1 g を 10 mL 試験管にとり、メタノール 10 mL を加え、10 分間超音波抽出した。これを 0.2 μ m のメンブレンフィルターでろ過し、メタノールで 100 倍に希釈したものを測定用溶液とした。

2.6. ラッキョウの取組

ラッキョウは中国を原産とするユリ科植物であり、日本では平安初期には栽培されていたとされる。927 年の「延喜式」から薬用として、1697 年の「農業全書」から食用とされていることが窺い知れる。乾燥地での栽培が可能であり、鳥取でのラッキョウ栽培は江戸時代に始まったとされている。今では鹿児島県、宮崎県と並んで主要な産地の一つとなっている。日本薬局方には収載されていないが、ラッキョウの鱗茎を乾燥させたものは生薬、薤白（がいはいく）として知られる。鳥取県産のラッキョウに含まれる有効成分を探索するために、県内産のラッキョウの皮をむき、5 mm 角に細断して、スノー状ドライアイスとともにロボクープで粉碎した。その中から、1 g を 10 mL 試験管に量り取り、10 mL の超純水、あるいは 10 mL のメタノールを加え、20 分間超音波抽出した。また、ラッキョウの乾燥粉末についても同様に抽出した。0.2 μ m のメンブレンフィルターでろ過の後、さらにメタノールで 100 倍に希釈したものを LC/MS 測定用溶液とした。

3. 結果と考察

3.1. 大豆製品の検討結果

3.1.1. イソフラボン類、ソヤサポニン I の量的評価

みそ 3 検体について、イソフラボン類、ソヤサポニン I 量を表 1 に示す。1998 年の厚生科学研究「食品中の植物エストロゲンに関する調査研究」で、みそ 8 検体について含まれるイソフラボンが報告されている。その中ではみそ 1 g あたりアグリコン換算で 143-814 μ g、平均含有量 497 μ g となっている。また、Kamoら（2014）は大豆製品のソヤサポニンの含有量を調査している。Kamoらの手法は配糖体のソヤサポニンを加水分解してソヤサポゲノールとして測定する手法である。合田ら（2002）はソヤサポニン 4 種について、Taniら（1985）は 5 種について個別に大豆含有量を調べている。こ

の中でソヤサポニン I はソヤサポニンの中でも最も多く含まれているものとされている。Kamoらのデータをソヤサポニン I に換算すると9種類のみそについて1gあたり187-655 μg 、平均含有量332 μg となる。今回量的に評価したイソフラボン類、ソヤサポニン I はこれまでの報告例に比較して遜色ないものと言える。年間での品質の変動や仕込みの条件によって違いがどの程度表れていくかを今後評価していくことが必要となる。

また、アグリコン、グルコシド型、アセチルグルコシド型、マロニルグルコシド型の比率は図1のようであった。アグリコンの種類での比率はほぼ一定であるが、生産者によって結合している状態は大きく変化するように見える。詳細な組成の報告例は少ないが、図1にはYanakaら(2012)のみその分析結果の組成も示している。鳥取県産のみそでは明らかにアグリコンの比率が高くなっているといえる。生産者によって仕込みの条件は違うはずであり、どのように影響しているかを明らかにすることができれば、今後の商品開発においても有効と考えられる。一般的にはアグリコン

としての形の方が生体への活性が高い一方で、配糖の状態によって体内への吸収・利用能が変化すると言われている。Manachら(2005)の報告ではアグリコンのダイゼイン、ゲニステイン、グリシテイン、配糖体のダイジン、ゲニスチンについては利用能には大きな差がないとしている。

黒豆茶についてのイソフラボン量、ソヤサポニン I 含有量を表2に、イソフラボン組成を図2に示した。北海道産の2商品は同一の製造者のものであり、量、組成ともに似通った値であった。みそに比較して、含有量は低くなっていることは黒豆茶の抽

表 1. 試料 1 g 中の含有量 (μg) (イソフラボンはアグリコン換算)

	鳥取県産	広島県産	長野県産
総イソフラボン	590	1000	330
De	230	150	20
Ge	310	220	42
Gle	34	7.4	5.1
D	0.06	0.97	13
G	1.1	19	29
GI			0.11
AD	0.07	0.29	0.55
AG	2.9	3.7	1.6
AGI	0.12	0.02	0.06
MD	1.5	220	90
MG	3.3	350	110
MGI	0.27	33	24
ソヤサポニン I	510	340	380

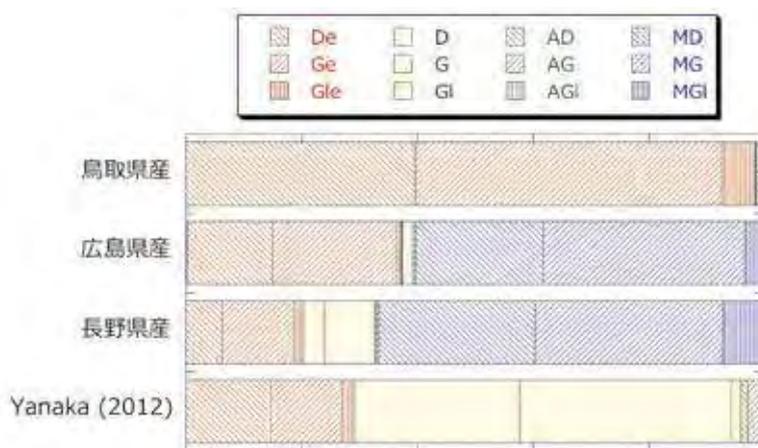


図 1. みそに含まれるイソフラボンの組成

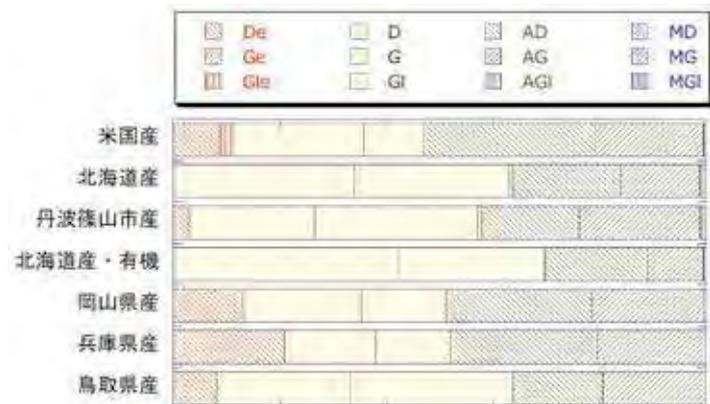


図 2. 黒豆茶に含まれるイソフラボンの組成

出方法がエタノール水溶液ではなく熱水によるものであることが影響していると考えられる。組成はみそと同様に製造者によって大きく異なっていた。焙煎の条件も違うと考えられ、今後焙煎条件の影響も明らかにしていくことができれば、それを踏まえた商品開発に繋がれると考えられる。

表 2. 試料 1 g 中の含有量(μg) (イソフラボンはアグリコン換算)

	米国産	北海道産	丹波篠山市産	北海道産・有機	岡山県産	兵庫県産	鳥取県産
総イソフラボン	59	79	45	89	20	14	33
De	5.3		1.3		2.5	2.9	2.6
Ge							
Gle	1.4						
D	14	27	11	38	4.3	2.4	8.4
G	6.6	23	14	24	3.1	2.0	10
Gl		0.51	0.41	0.26			
AD	19	16	8.2	17	5.3	3.9	5.6
AG	12	12	10	9.3	4.1	2.9	6.5
AGI	0.34	1.0	0.51	0.45	0.1		
MD							
MG							
MGI							
ソヤサポニン I	110	150	61	160	40	38	48

3.1.2. 鳥取県産黒豆茶中に特徴的に含まれる成分の探索

イソフラボン以外の成分も2000成分以上検出されており、一部のシグナル強度を比較すると検体によって差が見られるものが多くあった。米国産黒豆は他と違う成分が多くあるように見られた。米国産と兵庫県産は検出される成分が似ていた。同じ北海道の生産者による黒豆茶は良く似ており、イソフラボン12種、ソヤサポニン I の量が多いだけでなく、ソヤサポニン II、ソヤサポニン III、ソヤサポニン V と見られるシグナルの強度も強かった。米国産で特徴的に見られたのはサイクリックAMPなどの一連の核酸成分、鳥取県産で特徴的に見られたものに9,10-DiHOME (12) 等の脂質酸化成分と見られるもの、イノシトールリン酸に関連する成分と見られるものがあった。図3に質量が329.2330である成分の分析データを示す。この質量は脂質酸化成分トリヒドロキシオクタデセン酸TriHOME (C₁₈H₃₄O₅) に対応するものと考えられた。脂質酸化成分はビールの製造工程において、収斂味および泡持ちを悪化させる成分として知られている。ビール製造では忌避される傾向がある一方で、脂質酸化成分の一つであるピネリン酸 (C₁₈H₃₄O₅) には免疫賦活作用等機能性があることが知られている (Nagaiら 2002)。また、イノシトールリン酸に関連する成分と見られるものがあった。好熱菌の代謝で報告例のある物質であるが、推定された構造との関連は今の段階では分からなかった。含まれていることが推定された化合物の構造を図4に示した。

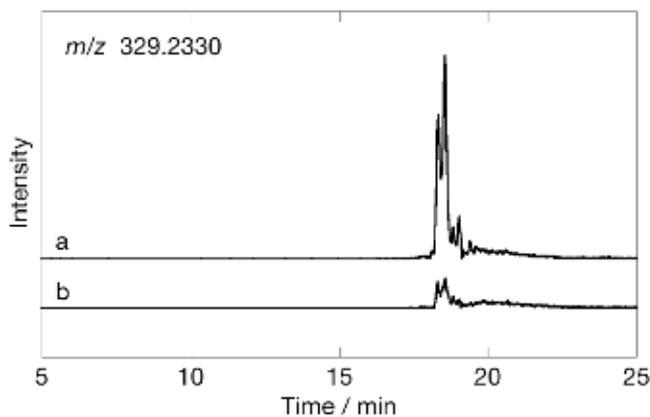


図 3. 鳥取県産に特徴的にみられたシグナル例
a: 鳥取県産 b: 北海道産

3.2. エリンギの検討結果

エリンギに含まれると推定された8種類の分析法を検討したところ、UDP-グルコースを除く7成分が同時分析可能であった。UDP-グルコースは別途個別分析が必要であった。標準試薬を用いて、これらの成分がエリンギに含まれていることを確認できた。新潟県産、長野県産、鳥取県産について試料100g中の含有量を表3に示した。鳥取県産のものは品種の違う2種類について測定した。エリンギに含まれるアミノ酸について報告例があり、Tagkouliら(2020)らは3つの栽培方法について乾燥重量で1gあたりオルニチンが0.31-1.63mg含まれたとしている。エルゴチオネインもエリンギに豊富に含まれるものとして報告例がありRodriguez Estradaら(2009)は乾燥重量で1gあたり1.8-3.0mg含まれるとしている。今回の報告例はこれらの報告例と遜色ないものといえる。昨年度の検討でも含有量が大きく異なると示唆されたベタインについて、二桁以上の差がでることが明らかになった。ベタインはアミノ酸のグリシンから誘導される天然物であり、医薬品の成分としても用いられる。エリンギ種の違いより、栽培方法によって含有量が大きく変わることを示す結果であり、今後より詳細に栽培方法との関連を解明する必要がある。

3.3. エゴマの検討結果

エゴマ油の分析では、遊離脂肪酸はリノレン酸の含有量が最も多いと考えられた。トリグリセリド(脂肪)もリノレン酸が結合したトリリノレンが主要な成分であった。種子抽出液からはエゴマ油に見られなかった成分も検出されていた。最も特徴的にみられたものは質量が359.0776である成分であった。これをLC/MSで分子を壊し、生じた断片の質量も測定することにより、分子構造を解析したところ、ポリフェノールの一種であるロスマリン酸(C₁₈H₁₆O₈)

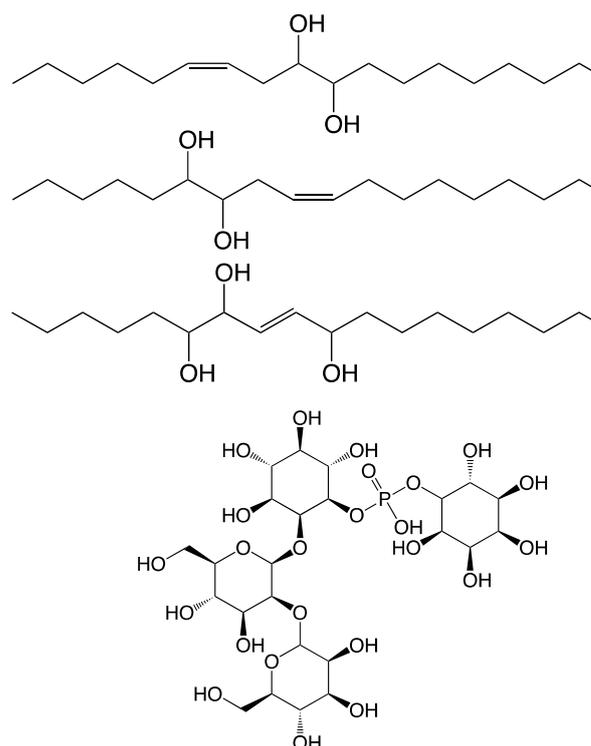


図 4. 鳥取県産黒豆茶に特徴的に含まれると推定された分子

表 3. エリンギ 100 g (湿重量) 中の含有量 (mg)

	新潟県産	長野県産	鳥取県産 A	鳥取県産 B
アセチルカルニチン	0.28	0.21	0.11	0.22
アルギニン	7.9	23	28	11
ベタイン	0.26	0.06	57	68
カルニチン	1.9	1	0.94	1.5
エルゴチオネイン	21	20	12	16
オルニチン	77	23	30	30
トリゴネリン	3	2.6	1.3	1未満

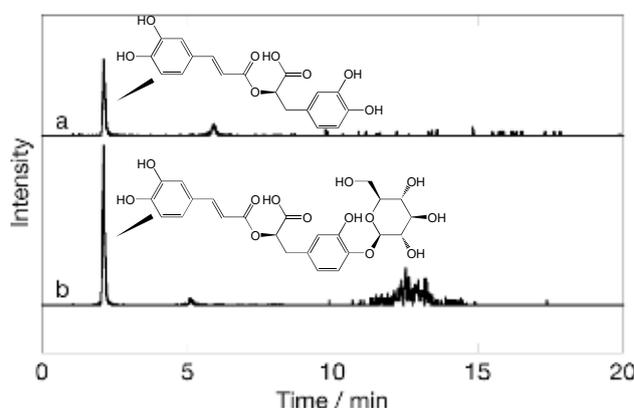


図 5. エゴマ種子抽出液に特徴的に見られたシグナル
a: ロスマリン酸 b: ロスマリルグルコシド

と考えられた。また、ロスマリン酸の配糖体であるロスマリルグルコシド ($C_{24}H_{26}O_{13}$) に相当する質量にも強いシグナルがみられ、推定と矛盾しない結果であった (図5)。このシグナルはエゴマ油の試料にはみられなかった。種子抽出液にはロスマリン酸の他にも、フラボノイドであるアピゲニン、ルテオリンの存在が示唆された。5件の生産者によるエゴマ種子抽出液のロスマリン酸、アピゲニン、ルテオリンのシグナル強度を比較したが、明確な差は見られなかった。ポリフェノール類には一般に抗酸化作用が知られているが、Haseら (2019) はロスマリン酸にアルツハイマー病の原因とされるアミロイド β タンパク質の凝集を抑制する作用があることを報告している。今後、エゴマの葉や種子などの部分に豊富に含まれるかを明らかにするために標準試薬を用いた検討に移る必要がある。

3.4. ラッキョウの検討結果

ラッキョウ抽出液に含まれる成分として、アミノ酸や小さい糖類等が多く見られたが、強いシグナル強度が得られたもののひとつに質量291.0996のシグナルがあった。構造を解析したところ分子式 $C_{11}H_{19}N_2O_5S$ に相当すると考えられ、これは N- γ -グルタミル-S-アリルシステイン (GSAC) であると考えられた。GSACはネギ属の有機硫黄化合物の主要な成分である。ニンニクには重量比で0.2-0.6%含まれ、アリインやアリシンといった硫黄化合物に変換される。これらの有機硫黄成分には抗酸化作用があるとされている。ガンのリスクや血圧上昇を抑えることなどが提案されているが、効能を示すデータは現時点では十分ではない (Banerjeeら 2003)。漢方として使われる薤白 (Xiebai) はノビルやラッキョウから作られる。日本薬局方には収載はされていないが、狭心症等に使用されるとされる。有効成分としてキシエバイサポニン等が知られているが、今回測定した試料からは強いシグナルで検出されてはいなかった。一方で、同様なサポニンである、キネノシドII (Chinenoside II) やキネノシドIIIが見られた。これも乾燥粉末からも検出できた。アブラナ科植物にはグルコシノレート (カラシ油配糖体) という化合物群が含まれている。今回、分析したデータの中には他にも、グルコシノレート様の構造が推定される質量を持つ成分が含まれていた。物質の推定には至らないものの、何らかのグルコシノレート成分が含まれている可能性がある。これは、粉末試料からあまり検出されず、乾燥の過程で失われるように考えられた。他、特徴的なものとしてパプラジンとみられるシグナルが粉末試料からのみ見られた。パプラジンは植物ホルモンの働きがある成分であり、加工処理に関して生成するものと推定された。

4. まとめ

本研究は、大豆製品、エリンギについて他県産のものとイソフラボン類やベタインといった有効成分の量的な評価を行った。ベタインでは明確に他県産のものに比べて含有量が多くなっており、これは品種の違いより栽培方法の違いによることが主な要因であると考えられた。今後、より詳細な栽培方法とベタイン含有量の関連について明らかにすることが求められる。この他にも、黒豆茶、エゴマ、ラッキョウについて差の見られる成分の探索を行い、ロスマリン酸等が含まれることを推定した。ロスマリン酸は特に注目の高まっているポリフェノールであり、今後、量的な評価を進めていくことが必要である。中小の生産者にとって、他の製品との差別化によるブランド力向上は取り組みたいとこ

るであるが、栄養成分についてどこから手を付けるべきか判断に難しさを伴うことも多い。今回、県内の事業者と有効成分の探索から量的な評価に進めた実績を作ることができ、経過をさらに他の事業者に示し関心を得ることで地域事業者支援の基盤づくりが進められていると言える。

付録 フラボノイド・ポリフェノールについて

食品に含まれる有用成分として日常的にフラボノイド、ポリフェノールといった言葉を耳にすることは多い。しかしながら、十分に理解されて使われているとは思えない広告物も多く目にする事から、それらの分類について解説する。ベンゼンから水素原子を一つ取り去ってできる構造をフェニル基とい

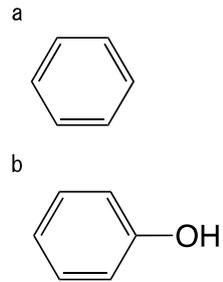


図 A1. ベンゼン (a) とフェノール (b) の構造式

い、これが -OH (水酸基) と結合したものをフェノール (図 A1) という。ベンゼンに限らず、芳香族性を示す類似の構造について同様に水酸基と結合した化合物の総称も広義にフェノールという。広義のフェノールについて、複数の水素が水酸基に置換されたものが多価フェノール (ポリフェノール) である。

ポリフェノールは植物に幅広くみられるもので、8000種類以上が確認され (Tijjaniら 2020) 植物自身を酸化ストレスから守っている。分類は多くあるが、現在広く受け入れられている分類を表 A1 に示した。

表 A1. ポリフェノールの分類と代表例

分類	細分類	主な化合物名
単純フェノール類	水酸化安息香酸類	没食子酸
	フェルラ酸類	フェルラ酸
	クマル酸類	クマル酸
	カフェ酸類	カフェ酸
フラボノイド	アントシアニン類	シアニン
	フラバノール類	カテキン
	フラバノン類	ナリンギン
	フラボン類	ルテオリン
	フラボノール類	ケルセチン
	イソフラボン類	ダイゼイン
タンニン類	加水分解型タンニン	エラグ酸
	縮合型タンニン	プロシアニン
スチルベン類		レスベラトロール
リグナン類		セサミン

表 A1に示したように、フラボノイドはポリフェノールの一分類である。フラボンという名前の分子があり、図 A2に示すような構造をしている。分子内にフラボン様の構造を持つ一連の分子をフラボノイドという。植物を構成する主要な化合物群であり、これまでに6000種類以上報告されており (Pancheら 2016)、果物・野菜に紫～赤色の彩りを与え、味にも影響している。多くの場合、水酸基が様々な位置に結合して多様な化合物群となる。結合位置は図 A2に示した数字を使って表す。フラボノイドには、フラボン・フラボノール・フラバノン・フラバノール・アントシアニン・イソフラボンという6つの大きな分類がある。初めて食品に含まれるフラボノイドの有効性に着目したRusznyakらはこれらをビタミンP、生物の正常な発育と栄養を保つ上で外部からの摂取が必要なビタミンの一つとして1936年に提案したが、現在ではフラボノイドはビタミンとは考えられていない。フラボノイドは植物内に蓄えられる時、糖の構造が結合した状態で存在していることが多くある。図 A3は抗酸化機能や筋肉、運動に対して有用な機能が報告されているルチンの構造である。フラボンの3, 5, 7, 3', 4' の位置に水酸基が5つ結合したものをケルセチンといい、ルチンではさらにケルセチンにルチノースという糖が結合している。糖が結合したものを配糖体、結合し

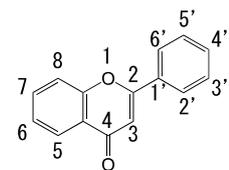


図 A2. フラボンと結合位置を表す番号

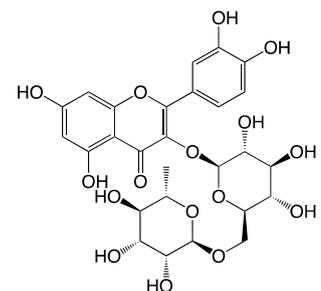


図 A3. ルチンの構造式

ていない構造（この場合はケルセチン）をアグリコンという。

大豆に含まれるフラボノイドはイソフラボンという分類に属する。基本のアグリコンはダイゼイン、ゲニステイン、グリシチンの3種類であり、それに糖構造であるグルコース、O-アセチルグルコース、O-マロニルグルコース、O-サクシニルグルコースと結合したものが大豆イソフラボンとされている。厚生労働省からの通知「大豆イソフラボンを含む特定保健用食品等の取扱いに関する指針について」において標準試薬が入手可能とされている12種類について分子構造と略号を表A2に示した。

表 A2. 大豆イソフラボンの構造

アグリコン	<p>ダイゼイン De</p>	<p>ゲニステイン Ge</p>	<p>グリシテイン Gle</p>
グルコシド型	<p>ダイジン D</p>	<p>ゲニスチン G</p>	<p>グリシチン Gl</p>
アセチルグルコシド型	<p>6''-O-アセチルダイジン AD</p>	<p>6''-O-アセチルゲニスチン AG</p>	<p>6''-O-アセチルグリシチン AGl</p>
マロニルグルコシド型	<p>6''-O-マロニルダイジン MD</p>	<p>6''-O-マロニルゲニスチン MG</p>	<p>6''-O-マロニルグリシチン MGl</p>

参考文献

- [1] Banerjee, S. K., Mukherjee, P. K., Maulik, S. K. : Garlic as an antioxidant: the good, the bad and the ugly, *Phytother Res*, 17: 97-106, 2003.
- [2] 合田幸広、穂山浩、酢山恵美子、高橋敏、金城順英、野原稔弘、豊田正武：遺伝子組換え、非組換え大豆中のソヤサポニン及びイソフラボン量の比較、*日本食品衛生学雑誌*、43: 339-347, 2002.
- [3] Hase, T., Shishido, S., Yamashita, R., Nukima, H., Taira, S., Toyoda, T., Abe, K., Hamaguchi, T., Ono, K., Noguchi-Shinohara, M., Yamada, M., Kobayashi, S.: Rosmarinic acid suppresses Alzheimer's disease development by reducing amyloid β aggregation by increasing monoamine secretion, *Nat Sci Rep*, 9: 8711, 2019.
- [4] Kamo, S., Suzuki, S., Sato, T. : The content of soyasaponin and soyasapogenol in soy foods and their estimated intake in the Japanese, *Food Sci Nutr*, 2: 289-297, 2014.
- [5] 厚生労働省：大豆イソフラボンを含む特定保健用食品等の取扱いに関する指針について、食安発

第 0823001 号、2006

- [6] Panche, A. N., Diwan, A. D., Chandra, S. R. : Flavonoids: an overview, *J Nutr Sci*, 5: e47, 2016.
- [7] Manach C., Williamson, G., Morand, C., Scalbert, A., Rénésy, C. : Bioavailability and bioefficacy of polyphenols in humans. I. Review of 97 bioavailability studies, *Am J Clin Nutr*, 81: 230S-242S, 2005.
- [8] Nagai, T., Kiyohara, H., Munakata, K., Shirahata, T., Sunazuka, T., Harigaya, Y., Yamada, H. : Pinellin acid from the tuber of *Pinellia ternate* Breitenbach as an effective oral adjuvant for nasal influenza vaccine, *Int Immunopharmacol*, 2: 1183-1193, 2002.
- [9] Rao, S. Abdel-Reheem, M., Bhella, R., McCracken, C., Hildebrand D. : Characteristics of High α -Linolenic Acid Accumulation in Seed Oils, *Lipid*, 43: 749-755, 2008.
- [10] Rodriguez Estrada, A. E., Lee, H., Beelman, R. B., Jimenez-Gasco, M. dM., Royse, D. J.: Enhancement of the antioxidants ergothioneine and selenium in *Pleurotus eryngii* var. *eryngii* basidiomata through cultural practices, *World J Microbiol Biotechnol*, 25: 1597-1607, 2009.
- [11] Rusznyak, S. P., Szent-Gyorgyi, A. : Vitamin P: flavonols as vitamins, *Nature*, 138: 27, 1936.
- [12] Tani, T., Katsuki, T., Kubo, M., Arichi, S., Kitagawa, I. : Histochemistry. V. Soyasaponins in Soybeans, *Chem Pharm Bull*, 33: 3829-3833, 1985.
- [13] Tijjani, H., Zangoma, M. H., Mohammed, Z. S., Obidola, S. M., Egbuna C., Abdulai, I. : Chapter 19 Polyphenols: Classifications, Biosynthesis and Bioactivities, *Functional Foods and Nutraceuticals*, Springer, Berlin, 2020.
- [14] 外海康秀、中村優美子：食品中の植物エストロゲンに関する調査研究、平成10年度厚生科学研究費補助金（生活安全総合研究事業）分担研究報告書、1998.
- [15] Tsugawa, H., Cajka, T., Kind, T., Ma, Y., Higgins, B., Ikeda, K., Kanazawa M., VanderGheynst, J., Fiehn, O., Arita, M. : MS-DIAL: data-independent MS/MS deconvolution for comprehensive metabolomics analysis, *Nat Methods*, 12: 523-526, 2015.
- [16] Yanaka, K., Takebayashi, J., Matsumoto, T., Ishimi, Y. : Determination of 15 Isoflavones Isomers in Soy Foods and Supplements by High-Performance Liquid Chromatography, *J Agric Food Chem*, 60: 4012-4016, 2012.

広がれ!!プロジェクト・ヘルシュ!!

一食のみやこ鳥づくり連携支援計画に基づく

地域事業者支援の基盤構築

経営学部経営学科 竹内由佳

概要

本研究は、昨年度から続けている、筆者の研究である社会を変えていくことが可能なマーケティングに関する研究（竹内2019；竹内2020b）で得られた知見をもとに、ゼミナール活動を通じて産官学連携PBL（Project Based Learning、課題解決型学習）を行い、学生たちの教育を行う中で、結果として地域の抱えている問題を解決し、地域活性化に貢献することを目的としている。そしてそれと同時に、この公立鳥取環境大学の知名度や認知度を上げるという「大学そのもの」をマーケティングしていくということ、さらには、「鳥取県自体」を魅力的な製品とみなし、全国そして世界に対して積極的にマーケティングを行っていくことを展望として描いている。そのため、本研究のほとんどが実践報告である。2019年夏から竹内ゼミナール3年生の行ってきた、社会を変えるマーケティング活動「プロジェクト・ヘルシュ」の第2期目の内容を報告していく。

1. 「社会を変える」マーケティング¹

今日、企業はただ利益を得て、株主のみに説明責任があれば良いというわけではなく、社会的な存在でなければならないとされている。すなわち、今日では、企業の社会的責任（Corporate Social Responsibility、以下CSR）を果たさないで良いと考えている企業は、数少ないと推測される。特に、SDGsの観点から考えると、企業に対して社会から寄せられている期待はとても大きい。つまり、SDGs達成のためにも、企業が積極的に関わっていくことこそが、社会から求められている企業の役割であり、かつ、それがビジネスとして成立することも期待されていると言える（竹内2020a）。社会の中に生きる多くの人々の中には、「満たされていない何か」であるニーズが存在しており、それを解決するために企業がノウハウや技術などを利用して能動的に関わっていくことが期待されている。

マーケティングの学術分野において、1970年代よりマーケティングのツールを用いて社会的な「満たされない何か」を解決していくことに関して、ソーシャル・マーケティング（Social Marketing）として研究がなされている。特にその中でも、寄付付き商品の販売（Cause-related Marketing、以下CRM）のように、企業がNPO法人や行政とパートナーシップを結び、共に消費者一人ひとりの行動にアプローチする、すなわち行動変革を促すことに関して研究を進め、実践も行ってきたと言える（竹内2019；竹内2020b）。しかしながら、消費者一人ひとりの行動にアプローチするだけでは、そのプログラムを組んだ企業やNPOの期待した意味において、社会的大義を訴求することは難しい（竹内2019；竹内2020b）。例えばCRMを用いた際、プログラムを組んだ企業やNPO法人が期待した目的を達成した消費者がどれだけいるかを考える必要がある。例えば、CRMによって寄付金額が多く

寄せられたことと、消費者一人ひとりがそのCRMプログラムの本来の意味を理解しているかどうかはリニアには繋がらない。そのように寄付金額や行動の変化の数字のみを追いかけた場合、企業やNPO法人は、果たしてCRM本来の目的を達成できたと判断しにくい。

一方で、ソーシャル・マーケティングについて、マーケティングのツールを社会的大義の訴求することに用いることに焦点を当てるのではなく、マーケティングそのものが社会に対してどのような存在であるのかを考えるものも存在している（竹内2019；竹内2020b）。目的は、製品やサービスを売ることでの消費者一人ひとりの行動の変革ではなく、マーケティングの考え方をを用いての構造や組織規範の変革にある。つまり、それは「社会を変える」マーケティングであると考えられる。

竹内（2020b）では、このマクロ・マーケティング視点からのソーシャル・マーケティングを行うだけでなく、新しいビジネスや社会的大義のさらなる広がりにつながるような活動に結びついている企業や団体の事例を取り上げた。その中でそのような活動を行うことが可能となる要件として事業性に焦点をあてた。事業性があることにより、「共感する同志」以上の繋がりを導き出すことが可能となるため、新しいビジネスや社会的大義のさらなる広がりを見出し導き出していることが説明できた。つまり、社会的大義を訴求するためには、ただそれだけを追求するのではなく、事業性を果たしていくほうがより良い結果を得られるということになる。この結論を実践に用いているのが、3年生の竹内ゼミナールの実践する「社会を変える」マーケティング活動「プロジェクト・ヘルシュ（project healsch、以下ヘルシュ）」である。

2. プロジェクト・ヘルシュⁱⁱ

2.1. 概要説明

ヘルシュは、竹内ゼミナール3年生が行う社会を変えるマーケティング活動ⁱⁱⁱとして、2019年の夏よりスタートした。公立鳥取環境大学が抱える問題（地元における知名度の低さ、経営学部への積極的理由からの入学の少なさ）を解決すると同時に、シカの獣害問題（農作物・鉄道ダイヤへの被害の甚大さ、ジビエとしての利用が進まないこと）の解決を図り、それ自体によって、鳥取県自体の魅力作りへと繋げていく活動である。

この活動は、ただ単に社会に対して良いことをするボランティア活動ではない。シカ肉をジビエとして、適切なターゲットに対して美味しく美しい料理として提供していくことで、大学の名前、鳥取県をマーケティングするだけでなく、シカの獣害問題の解決を図っていくというものである。ヘルシュとは、ドイツ語でシカを意味している「hirsch」と英語の「health」を組み合わせた造語であり、シカを食べて健康になってほしいという願いがこもっている。

コンセプトとして、「良い体を作りたい人へ」というものを挙げている。「良い体」とは、各々の目指す「良い体」であり、「良い体」を目指している、すなわち健康志向や美容に対して興味がある20代～40代の女性をターゲットとし、そのターゲットの好むようなシカ肉料理を作り、提供していくことを目的としている。

ゼミナール学生9名を3つにわけ、食材班、デザイン班、広報班で活動を行う。将来的には、何かしらの形で事業化することも視野に入れており、竹内（2020b）で説明したような事業性を保ち、（何

かしらの形で小さなことからでも構わないので) 社会を変えていくことに重点を置いている活動である。

2.2. 2019年プロジェクト・ヘルシュの活動について

2019年度よりヘルシュの活動はスタートしたため、2019年度の活動を第1期ヘルシュの活動とすると、そこで行われた活動は以下の表1の通りである。

- ・ネーミングの決定

- ・ロゴのデザイン

- ・イベントにおいて着用するロゴを配置したエプロンの作成

- ・10回を超える試作会の実施と提供する料理レシピの決定

- ・エシカルマルシェにおけるテスト販売

- ・消費者市民まつりの実施計画

表1 第1期ヘルシュの活動 (筆者作成)

2019年12月6日のエシカルマルシェにおいてテスト販売されたシカ肉ローストナンドッグは、テスト販売の際のヒアリングの結果を反映し、再びレシピ開発に携わってくださった料理研究家の西本敦子先生の力を借りてより良いレシピへと改良を加えた。そのナンドッグと、子ども向けにレシピが作成されたカレーハンバーグは、2020年3月1日の消費者市民まつりにおいての販売が決まっていた。さらに、この消費者市民まつりにおいて、ヘルシュの番外編として、幼稚園～小学校低学年向けのエシカル消費の講義、フェアトレードの刺繍糸を用いたミサンガ作りのワークショップ、地産地消の景品が当たるビンゴ大会などを企画していた。しかしこのイベントは、新型コロナウイルス感染症への対策のため、中止となった。

その後も11月に実施をすることを考えてはいたものの、最終的には鳥取市消費生活センターの側がイベント実施の許可を得ることができないことなどもあり、未だに実施できない状況にある。そのため、ヘルシュの番外編におけるワークショップなどの内容も含め、ヘルシュの活動内容も盛り込んだ子ども向けの動画コンテンツ作成に切り替えることとなった。このことは3.3.3において説明する。

2.3. 卒業生対象のインタビュー調査

第1期ヘルシュに関わったゼミナールの学生9名は、2021年3月に卒業を迎えている。PBLに取り組んできた学生がどのような成長を迎えているのかについて調査するために、その9名のうちの男子1名、女子4名について、2021年2月末から3月にかけて、インタビューを行った。インタビューは、事前に直接面談もしくはLINEにて申し入れを行い、インタビュー対象学生(以下学生)と共に、インタビュー日時、場所、インタビュー調査時間などを決定した。

インタビュー場所については、Tian & Belk (2005)を参考として、「(対象者の勤めるオフィス)近くのレストラン」のような場所をできるだけ指定したかったが、現在の社会情勢も考え、学内の

私の研究室で行った。うち1名は、オンラインでのインタビューとなった。また、どの学生の場合も、インタビュー時間は1時間程度である。しかし、ある程度学生の方での話が長く続いたためインタビュー時間が延長してしまったり、彼ら彼女らの都合により早く終わってしまったりということもあった。

インタビュー内容についてだが、学生に対して、①ヘルシュの活動を行ってきてどのように感じているか。②ヘルシュの活動の結果が自身の生活に何か影響しているところはあるのか。という2点は必ず含めて質問したが、基本的には、こちらから誘導することは避け、対象者に自由に語ってもらう形態にした。

この調査の中で、結果として、2つのことを読み取ることができた。

1つが、学生たちにとってのマーケティングの捉え方である。ヘルシュの活動に参加した学生の全員が、筆者の担当科目である「マーケティングI」を受講している。それ故にマーケティング自身に興味を抱き、筆者のゼミナールに所属することとなったということは容易に推測できるが、彼ら彼女らがマーケティングを「どのように捉えて」ゼミナールに所属するに至ったかについては、筆者も伺ったことはなかった。しかしながら、学生のうち4名が、そもそものゼミナール選択について触れており、特に、マーケティングの考えが企業の利益獲得のために用いられるだけでなく、地域を元気にすることや、社会の何かを変えることに用いることができるという点について興味を湧き、ゼミナールへの所属を考えたと述べていた。例えば、地域に関連する活動を行うゼミナールは他にもいくつか存在しているが、そちらでの活動よりも、実際に地域にとって利益になるものを創り出すことができるのがマーケティングであると考え、そちらのほうが面白いと感じたといったことを述べる学生もいた。ほとんどの学生たちにとってマーケティングは、大学の経営学部の講義において初めて知る言葉であるはずであるが、それと同時に、魅力的かつそれを用いることが面白いと捉える傾向があると、限りなく限定的ではあるが推察することができる。

そして、ヘルシュの活動を通じて、自身の就職先に影響が生まれた学生も存在していた。学生のうちの1名は、このゼミナールで行っているような地方の魅力的な食材を独自のルートで集め、その食材を中心とした独創的な飲食店をプロデュースしている企業への就職を決めている。その学生は、もともとマーケティングや企画に関する仕事に就きたいと考えていたようだが、ゼミナール活動を通じて六次化産業や食からの地方創生のアプローチに興味を抱くようになり、将来は自分なりに特産物の六次化に携わった事業を行いたいということで、現在の就職先に決めたということ述べている。PBLは、学生自らが課題を立て、それを解決していくプロセスで実践的に学ぶことに重きを置いているが、ヘルシュの活動を通じて得られた実践経験から、将来の自分像を明確にすることができた学生がいたことには素直に驚かざるを得ない。

3. プロジェクト・ヘルシュの広がり

3.1. ヘルシュの活動と農業

2020年度、すなわち第2期ヘルシュの活動は、オンラインでのゼミナール活動からのスタートとなる。軒並みイベントは中止が決まっていく中、消費者市民まつりのようなイベントにおいてのシカ

肉料理の販売とPRは現実的に行うことが不可能であることも決定していたと言える。しかしながら、ヘルシュの活動の前後において、2つの企業と繋がることができた。それが有限会社田中農場（以下、田中農場）と有限会社北村きのご園（以下、北村きのご園）である。もともとヘルシュの活動はシカの獣害問題をスタートとしていたものの、その社会的課題の根幹には農業も存在しており、その農業における困りごとの解決を図ることもヘルシュの活動の1つとして包括的にとらえる必要がある。

田中農場は、鳥取県八頭町において稲作を中心に豆類や野菜類などの農産物を有機質肥料で栽培している^{iv}。田中農場の活動や取り組みの中で注目すべきところとして、農家の働き方改革がある。田中農場のHPにもあるように、農業は本来一般的な企業のように土日を休みにすることや、ある一定の就業時間以降は仕事をせずプライベートを守るようなことを行うことは難しいとされる。一方で、人間が生きていくためには必要不可欠な職業であることは自明である。田中農場では、作業の細分化と土日休みを導入し、さらに加工品の販売や六次化を進めることで、安心して農業そのものに従事するための環境づくりに取り組んでいる^v。

北村きのご園は、鳥取県八頭町において日常づかいの生鮮食品の1つであるきのこの栽培、販売を行っている^{vi}。特にエリンギの栽培・販売に力を入れており、他の大手企業よりも先んじてエリンギの栽培に取り組んだ企業である。その栽培には農薬や化学肥料を一切使用せず、純国産のおが粉（おがくず）を、栄養剤としてはふすまと米ぬか、竹炭を使用している。また、栽培後に不要となったおが粉は、敷料や土壌活性剤に再利用することで、地球にやさしい循環型社会への取り組みを行っている^{vii}。

この2つの企業において共通しているのは、企業の取り扱っている商品が農産物であることと、その生産において「こだわり」を持っているということである。しかしながら、長らく農産物においてはその「こだわり」を表に出し販売に至ることが難しかったとされる。端的に言えば、マーケティングの観点があまりなかった。

3.2. 農産物とマーケティング

マーケティングを語る上で差別化は当然行われるものである。農産物の差別化について、桂（1981）では、工業製品の差別化とほとんど変わらないと述べられている。しかしながら、桂（1981）は社会が急激なICTの進歩を迎える前の論文である。そのため、どうしても農産物を流通させるには、流通業者を介する必要がある点や消費者が自身で農産物を事前にどのような質のものか知ることなどが難しいといった点に触れることから、農産物はその差別化が消費者に対して伝わりにくいと説明している。つまり、逆説的にこの桂（1981）は、農産物のマーケティングは難しいもの「であった」と説明していることになる。他にも、流通業者の役割としての農業協同組合の存在が過去には大きかった^{viii}と考えられることも、農産物のマーケティングを難しくしていた要因であるとも捉えられる。

ICTの急激な進歩を迎えた今日では、単に小売業者への販売を担っているような意味での卸売業者ではなく、有機野菜をあらゆる農家より集めて販売している株式会社坂ノ途中^{ix}が生まれている。他にも、それこそ田中農場や北村きのご園のように、直接消費者に向けて販売を行うような農業従事者も増えており、それをできるだけ簡便に行うシステムも存在している。そして、消費者も事前にど

のような野菜や果物などといった農産物が今流行っているのかをインターネット上の情報、さらにはInstagramといったSNSを利用することで、簡単に収集することができる。さらには、受発注システムの発達により、SNSで知った可愛い果物などがあればそれをワンクリックで簡単に手に入れることが可能となっている。

さらには、平成27年4月から、機能性や安全性に関する科学的根拠などを消費者庁に届けることで一般の農林水産物にも機能性を表示できる制度がスタートしている。このような機能性表示の農水産物はターゲットが狭いものの、それらターゲットの農水産物の機能への関与が高いため、高価格で販売していくことが可能であると考えられる。それが実現するならば地方創生にさらに一歩近づくこととなるが、機能性表示がなされた農水産物が消費者にとってどのように受け入れられているのか、そして、どのような成分をどのように訴求することで、ターゲットから購買してもらえるのかについての研究知見は乏しいのが現状である。

3.3. 第2期プロジェクト・ヘルシュの活動

3.3.1. 田中農場との取り組み

ヘルシュの活動において、田中農場の黒豆茶と味噌の販売促進支援（パッケージ変更やPR）を行っている。その両方の商品の販売促進のために、環境学部の山本先生に成分分析を行っていただいている。その成分分析の結果をどのように「田中農場」というブランドの販売促進に用いていくのかについて、学生たちと思案しているのが第2期のヘルシュである。

まず、学生と田中農場とのミーティングにより、田中農場の味噌と黒豆茶の販売量をただ増やすのではなく、味噌と黒豆茶の購買が田中農場のその他の商品、ひいては鳥取県の農産物の購買へと繋がるようなマーケティング活動にしていきたいということで方向性を定めた。

その後、そもそもの田中農場の黒豆茶と味噌の味について確認するため、試食会を2度行った。特に、味噌については、最初の試食会において、田中農場の味噌以外に別の企業の味噌2つとの比較を行うため、3つの異なる味噌汁と焼きおにぎりを作り、試食を行った。その結果として、味噌汁より用いるよりもコゲや焼き色が入り香りのたつ焼きおにぎりに用いる方が、田中農場の味噌の風味や味が美味しく表現されているのではないかという意見が大多数をしめた。そこから、田中農場の味噌は調理して火を通した際の美味しさをPRしていくと、消費者の方からより認知されやすいのではないかという意見が出てきた。さらに、調理に用いるのであれば、汎用性の高い肉味噌を作り、調味料ではなくそれ自身を売の方が消費者のニーズ（忙しい主婦などの夕食に用いるなど）に合うのではないかという意見が出てきた。

そして、3つの異なる肉味噌を作製し、試食会を行った。その際に肉味噌をただご飯に乗せるだけではなく、ジャガイモと片栗粉を混ぜて作った生地の中にチーズと共に入れ、フライパンでこんがり焼き目をつけた芋もちを作製した。この芋もち（肉味噌単体も）を株式会社サンマートにおいて販売していくことを、現在進めている途中となっている。

なぜ芋もちなのかということ、現在中食市場が伸びていることと、株式会社サンマートのお惣菜売り場を観察していた際の発見から、おやつにもお弁当の具材にも夕食にも用いることが可能な汎用性の

高い芋もちが消費者のニーズに適していると感じたからである。

黒豆茶については、新型コロナウイルス感染症の中在宅ワークが増えており、そこでの安らぎの1つとしてノンカフェインの黒豆茶の需要があると考えている。ターゲットを20代から40代の女性として、黒豆茶のパッケージや形状の変更を提案したいと考えている。

3.3.2. 北村きのご園との取り組み

ヘルシュの活動において、北村きのご園のエリンギの販売促進支援（情報発信やPR方法の提案）を行っている。その販売促進のために、環境学部の山本先生に成分分析を行っていただいている。特に、成分分析結果として現れた肝機能に良いとされるベタインが存在することを、どのように販売促進に用いていくのかについて、学生たちと思案しているのが第2期のヘルシュである。

まず学生と北村きのご園のミーティングにおいて、ホームページにおける情報発信のアイデアやブログというツールをどのように位置付けるかなどについての話し合いが行われた。ブログや情報発信についてはcocoto+とも共同でアイデア出しが行われた。

また、学生の中にはエリンギを食べたことがない、意識して食べたことがないといった学生も存在していた。大石他（2019）では、人工栽培マツタケの潜在需要を知ることに関連し、食用きのこに対する消費者の意識について調査を行っている。それを基にして、エリンギについてどのように消費者は意識しているのかの調査を行うことを考えた。大石他（2019）を参考に質問項目を作り、2020年12月にまずプレテストとして33名分の回答データを集めることができた。プレテスト上、食用きのこを好む学生は約半数で、食用きのこ嗜好は高くともエリンギへの嗜好が高いわけではないことも読み取れたとされる。また、産地や製法にこだわりを持って購入しているわけではないことも確認されたが、この点に関しては学生対象のため、本調査が行われた際には、結果が変わる可能性がある。

本調査はまだ行われていないが、現在仮定としてエリンギを意識していない消費者はいまだ多く、そのような消費者にエリンギの味や効能を知ってもらう必要があることが推察される。つまり、「野菜炒めにエリンギが入っている」という状況ではなく「エリンギ主体の料理」を必要とすることがわかる。さらに、ベタインという肝機能に良いとされる成分が入っているのであれば、居酒屋のお通しメニューとしてレシピを提案し、「鳥取県では居酒屋でエリンギが定番」といった文化を作ることで、鳥取県のPRにもつながるのではないかと考えられた。そこで、2020年2月21日には、北村きのご園のびっくりエリンギや間引いたエリンギを用いた料理の試作会が行われた。そこで作った料理は「エリンギと小松菜の蟹あんかけ」「帆立風エリンギのバター醤油焼き」「旨からトッポギ風エリンギ」の3つである。どれもアルバイトの学生でも作れるようにレシピをできるだけ簡略化し、手順も最低限に、調味料も厳選して作りやすさを重視したものとなっている。

3.3.3. エシカル消費に関する動画コンテンツ作成への取り組み

消費者市民まつりの開催がいまだに危ぶまれる中、提案していたエシカル消費に関する子ども向けの授業やワークショップの内容を動画コンテンツにできないかという依頼があり、それに取り組んだ。取り組んだのは学生有志7名である。まず、2020年3月1日開催の消費者市民まつりにおいて披露す

る予定であった、地産地消に関する参加型の劇やミサンガ作りのワークショップを動画コンテンツにしている。他にも、大学内でのSDGsの取り組みと関連づけ、「みんなで選ぼうマイバッグ」という動画を作製した。

4. 課題と展望

本研究は、昨年度から続けている、筆者の研究である社会を変えていくことが可能なマーケティングに関する研究で得られた知見をもとに、ゼミナール活動を通じて産官学連携PBLを行い、学生たちの教育を行う中で、結果として地域の抱えている問題を解決し、地域活性化に貢献することを目的としている。そしてそれと同時に、この公立鳥取環境大学の知名度や認知度を上げるという「大学そのもの」をマーケティングしていくということ、さらには、「鳥取県自体」を魅力的な製品と見做し、全国そして世界に対して積極的にマーケティングを行っていくことを展望として描いている。

結果として、一つは卒業生へのインタビュー調査により、ヘルシュによる影響が、部分的に、限定的にはあるが、発見することができた。マーケティングを利益獲得のツール以上のものとして地域のために用いることができるということ自体、筆者にとっては当たり前のことであるが、確かにあまり一般的ではないのかもしれない。その点について、講義や高校への出前授業、公開講座などで情報発信していくことが必要であるとも感じられた。そしてそれに魅力を感じた学生が、PBLを通じて自身の将来像を見つけていた点には素直に驚くしかない。上記の内容は、全て未だ感想めいているが、第2期ヘルシュのメンバー9名にも同様の調査を今年度末には行い、より精緻化した説明ができるようにしていきたい。

次に、農産物のマーケティング支援活動への取り組みにはそもそも鳥取県においてニーズがあることが確認される。ヘルシュの活動はシカの獣害問題を最初としているが、社会的な大義は根底において密接に絡まり繋がっているため解決が難しいとされる。シカの獣害問題の奥には山林の手入れが行き届かない問題や、ハンターの不足などもある。その問題の奥にはさらに、農業においては収益があまり出ることができず農業就業者が減少していることも隠れていると考えられる。農業就業者の減少は農村の人口減に、そして山林などの手入れが行き届かない問題にも直結してくると考えられる。農産物にマーケティングの観点を取り入れることが、農業就業者の未来を明るくすることにも繋がってくると考えられる。また、機能性表示といった農産物の差別化をより明確に伝えるためのツールをどのように効果的に用いるかについては、マーケティングや消費者行動においても知見が乏しいため、鳥取県において取り組むことで先見的な知見を得ることも可能となると考えられる。

そして最後に、この活動と研究そのものの今後の展望について述べたい。

これからも、マーケティングの持つ力を用いて、社会構造やその背景そのものに隠れている小さな社会的な大義の歯車を回すことで、いつの日か大きな歯車が回り始める日を夢見て、地道に活動を続けていきたい。そして、そこで得られた知見を生かし、学生指導だけではなく、自身の研究テーマである「社会を変えるマーケティング」とはどのように学生だけでなく企業や団体、社会に広がっていくのかについて長期にわたる研究となるが続けて観察していきたい。

謝辞

この研究は、ゼミナールの学生18名、学生有志7名の頑張りがなければ出来上がらなかった研究です。私自身が至らないところがたくさんあったことも承知しています。本当にありがとうございます。このような状況ですが、できることはあるはずと信じて、やれることからコツコツと挑戦していければと思います。

有限会社田中農場様、有限会社北村きのご園様、株式会社サンマート様、cocoto +様、鳥取市消費生活センター様におかれましては、学生たちの活動や調査に対してご協力いただきましたこと、感謝の意を申し上げます。学生とともに大学教員としてというよりは、一社会人として学ばせていただくことがたくさんあったように感じられます。そして、これからもご指導ご鞭撻のほど、何卒よろしくお願い申し上げます。

最後に、産官学連携コーディネーター川上浩一様をはじめとした、研究交流推進課、地域イノベーション研究センターの職員の皆様、学生共々昨年度に引き続き、本当にお世話になりました。試食に付き合っただき貴重なご意見を賜るなど、ありがとうございました。

-
- ⁱ いわゆるソーシャル・マーケティングの詳細については2019年度の事業報告書である竹内（2020a）、竹内（2020b）にて詳しく説明しているため、ここではある程度の説明は省略させていただいている。
- ⁱⁱ ヘルシュの活動のきっかけといった背景については、2019年度の事業報告書である竹内（2020a）、竹内（2020b）にて詳しく説明している。そちらを参考にさせていただきたい。
- ⁱⁱⁱ 昨年度までは「社会的課題解決型マーケティング活動」としていたが、筆者自身の研究が進むにつれて、こちらの名称も変更している。
- ^{iv} 田中農場HPを参照（<https://www.farm-tanaka.jp/html/company.html>、2021年4月29日アクセス）
- ^v 田中農場HPを参照（<https://www.farm-tanaka.jp/html/company.html>、2021年4月29日アクセス）
- ^{vi} 北村きのご園HPを参照（<https://kinoko.co.jp/pages/48/>、2021年4月29日アクセス）
- ^{vii} 北村きのご園HPを参照（<https://kinoko.co.jp/pages/48/>、2021年4月29日アクセス）
- ^{viii} 竹内（2020b）において、コープこうべの事例を取り扱った際、インタビューより生活協同組合という形の限界について説明がなされている。協同組合という形そのものの存在とその意味について問い直す時期が来ているのではないかと推察される。
- ^{ix} 坂ノ途中HPを参照（<https://www.on-the-slope.com/>、2021年4月29日アクセス）

参考文献

- [1] Dholakia, R. R. & Dholakia, N. "Social Marketing and Development", Bloom, P. & Gundlach, G. *"Handbook of Marketing and Society"*, Thousand Oaks CA: Sage Publications, 2001, pp.486-505.
- [2] Lazer, W. & Kelly, E. *"SOCIAL MARKETING Perspectives and viewpoints"*, Richard D. Iriwin, Inc., 1973.
- [3] Tian, K. & Belk, R. W. "Extended Self and Possessions in the Workplace", *Journal of Consumer Research*, Vol.32, No.2, September, 2005, pp.297-310.

-
- [4] 大石卓史・福田泰久・白坂憲章「消費者の食用きのこに対する価値認識と人工栽培マツタケへの潜在的な需要－アンケート調査を用いたセグメンテーションによる分析－」、『日本きのこ学会誌』、Vol. 27(1)、2019年、13－20頁。
- [5] 桂瑛一「農産物の商品特性と販売促進」、『農林業問題研究』、第62号、1981年、8－14頁。
- [6] 竹内由佳「社会的な大義を訴求するマーケティングの成立過程とその要因」、『神戸大学大学院博士論文』、2019年。
- [7] 竹内由佳「環大経営学部がやるしかない!!－鳥取における鳥取のための産官学連携シカ肉によるPBL教育－」、『地域イノベーション研究センター事業報告書』、Vol.7、2020年a、pp.14-22。
- [8] 竹内由佳『社会を変えるマーケティング』、千倉書房、2020年b。

有機質資材の投入が酒造好適米の 生産環境に与える影響

環境学部環境学科 角野 貴信

外村 翔吾・牛木のどか・栗栖 哲・津村 宏章

1. 緒言

1.1. 鳥取県における酒米生産

日本における酒造好適米（酒米）の総生産量96,438トン（2019年産）のうち、山田錦が占める割合は35.7%であり（農林水産省2021a）、日本で最も多く生産されている酒米といえる。山田錦生産の約59%を担う兵庫県は、日本における酒米の最大の生産地であり、かつ醸造用玄米生産量の約55%を「特上」と「特等」が占めるなど、酒米の品質も高い。鳥取県は、日本全体の酒米生産量の1%未満を占めるにすぎず、その品質についても「1等」以下が約98%とあまり高品質とはいえない（農林水産省2021b）。鳥取県において酒米の品質向上やブランド化を図るためには、その生産環境が品質・収量に及ぼす影響を明らかにし、改善の余地を探る必要がある。角野ら（2019）は、鳥取県八頭町の山田錦生産水田の生産環境を兵庫県北播磨地域の値（角野ら2011）と比較し、その品質や収量構成要素に与える影響を調べた。兵庫県において高品質な酒米を生産する水田の多い流域では、交換性カルシウム含量や粘土あたりの陽イオン交換容量（CEC）が高い傾向がみられたものの、鳥取県内の圃場においては、これらの指標は品質や収量構成要素との関係が明らかではなく、さらなるデータの蓄積や解析が必要であることが分かった。

1.2. 水稻生産における有機質資材の利用

一般に、堆肥等の有機質資材を土壤に施用すると土壤中の腐植含量が増加するため、土壤の物理性や化学性の改善といった生産基盤の改良技術として期待されるだけでなく、大気中の二酸化炭素を土壤中に隔離する環境保全技術として有用である。しかしながら、日本において有機JAS認証を受けた圃場面積は、国内の全耕地面積のうち0.28%（2020年度概算値）と非常に少なく、田地面積に限ると、0.07%とその割合はさらに小さくなる。化学肥料や化学合成農薬の使用を原則5割以上削減した圃場に対して助成を行う、環境保全型農業直接支払交付金制度の実施面積で見ると、水稻を作付した面積は実施面積全体の約3分の2を占め（農林水産省2020）、田地面積全体の約2%に及ぶものの、日本における今後のカーボンニュートラル実現や、脱炭素目標に対する国際的なコミットメントを考慮すると、これらの面積割合を向上させる必要性は非常に高い。中国四国地域の耕地面積は日本全体の8.4%を占めるのに対し、上記交付金の支払い実施面積において中国四国地域は5%しか寄与していないことから明らかにおり、本地域において有機質資材の利用促進を図る必要がある。

1.3. 研究の目的

本研究の目的は、有機質資材による水稲生産を行う鳥取県八頭町の生産圃場において採取された土壌データを他地域の水田土壌のデータと比較することにより、生産圃場の特徴を明らかにし、本県における潜在的な品質向上の課題を抽出することである。

2. 試料と方法

2.1. 土壌試料の採取

鳥取県八頭町に位置するA農場において、堆肥の連用期間の異なる5圃場（A1～A5）を選定した。各圃場の連用期間と、2020年における作付け水稲の種類を表1に示す。

各圃場から、土壌を2種類の方法で採取した。すなわち、2020年1月15日に各圃場の表層土壌（0～10cm）を採取したものと、2020年10月2日・11月13日の両日に各圃場毎に5カ所採取ポイントを決め、採土円筒（100mL）を用いて深さ0～5cm、10～15cmから各圃場毎に10個ずつ計50点採取したものである。採取した土壌は室内で風乾、または40℃の乾燥機で乾燥し、2mmで篩別することにより礫と細土に分けた後、分析に供した。

表1 各圃場の堆肥連用年数と作付け水稲

圃場番号	堆肥連用年数	2020年作付け水稲
A1	40	コシヒカリ
A2	20	山田錦
A3	15	山田錦
A4	5	飼料米
A5	1	飼料米

2.2. 土壌理化学性の測定

土壌試料を105℃で絶乾し、風乾土重量含水率を測定した。

上記測定後の土壌試料をめんのう乳鉢で細かく砕いた後に再度絶乾し、全炭素・窒素計（住化分析センター SMIGRAPH NC-TRINITY）を用いて乾式燃焼法により全炭素・窒素含有量を測定した。

土壌pHおよび電気伝導度（EC）は、土液比1：5で土壌に脱塩水を添加し、1時間振とうした後、ガラス電極法により測定した。

砂（2～0.02 mm）、シルト（0.02～0.002 mm）、粘土（<0.002 mm）含量は、篩別法およびピペット法により測定した。

交換性塩基含量は、土壌を1 mol/L酢酸アンモニウム溶液で抽出した後、抽出液中に含まれるナトリウム、カリウム、カルシウム、マグネシウム含量を、原子吸光分光光度計（Agilent 240FS AA）を用いて測定した。

陽イオン交換容量（CEC）は、交換性塩基の抽出後の土壌試料を用い、エタノールによる洗浄を含む簡易抽出法により測定した。

2.3. 統計解析

任意の群間の平均値に対する検定は、SYSTAT8.0 (SPSS Inc.) を用いて分散分析 (Tukeyのpost hoc test) で行った。

3. 結果

3.1. 他地域と比較したA農場の土壌理化学性

A農場は、千代川水系の主要な支流である八東川の流域ブロックに含まれるが、比較のため、角野ら (2019) における八東川流域とA農場のデータを別群として、各流域群の平均値に対する分散分析を行った (表2)。

表2 兵庫県北播磨地域の各流域と鳥取県八頭町 (八東川流域・A農場) の土壌理化学性

	砂含量	シルト含量	粘土含量	全窒素含量	全炭素含量	C/N比
	----- % -----					
加古川流域	57.2 b	25.3 a	17.6 ab	0.167 bc	1.95 b	11.8 ab
杉原川・野間川流域	53.8 b	26.9 a	19.4 ab	0.191 ab	2.40 b	12.7 a
千鳥川・三草川流域	58.9 ab	25.3 a	15.8 bc	0.152 bc	1.85 b	12.3 ab
東条川流域	63.2 ab	21.5 ab	15.2 bc	0.152 bc	1.82 b	12.0 ab
美囊川流域	67.7 a	17.7 b	14.7 c	0.138 c	1.66 b	12.0 ab
八東川流域	55.5 b	22.5 ab	22.0 a	0.283 a	2.85 a	10.1 c
A農場	57.4 ab	26.4 a	16.2 ab	0.170 bc	1.87 b	11.0 bc

	pH	電気伝導度	交換性Na含量	交換性K含量	交換性Ca含量	交換性Mg含量
		$\mu S/cm$	----- cmol _c /kg絶乾土 -----			
加古川流域	5.63 b	57.2 ab	0.159 b	0.309 abc	4.14 b	0.801 bc
杉原川・野間川流域	5.82 ab	50.1 b	0.161 b	0.279 bc	4.90 b	0.748 c
千鳥川・三草川流域	5.68 b	57.7 ab	0.129 b	0.210 bc	3.74 b	0.708 c
東条川流域	5.94 ab	56.9 ab	0.184 b	0.235 abc	7.61 ab	1.581 b
美囊川流域	6.37 a	90.4 ab	0.406 a	0.555 a	9.84 a	2.556 a
八東川流域	5.53 b	105.7 a	0.139 b	0.046 c	4.60 b	0.712 c
A農場	6.21 ab	66.6 ab	0.158 b	0.524 ab	6.88 ab	0.742 bc

	全交換性塩基含量	CEC	塩基飽和度	CEC/粘土	全窒素/粘土	全炭素/粘土
	----- cmol _c /kg絶乾土 -----		----- % -----	cmol _c /kg粘土	gN/kg粘土	gC/kg粘土
加古川流域	5.41 b	12.5 b	43.3 bc	72.6 cd	9.6 a	113.0 a
杉原川・野間川流域	6.08 b	14.3 b	41.5 bc	74.4 c	9.8 a	123.9 a
千鳥川・三草川流域	4.79 b	12.5 b	37.6 c	80.0 bc	9.7 a	118.3 a
東条川流域	9.61 ab	16.2 ab	58.1 abc	107.5 ab	10.2 a	122.0 a
美囊川流域	13.36 a	19.0 a	69.2 a	132.2 a	9.9 a	118.4 a
八東川流域	5.50 b	10.9 b	58.6 abc	51.1 d	13.2 a	133.8 a
A農場	8.31 b	11.9 b	69.4 ab	73.4 cd	10.6 a	117.0 a

同一の小文字は、群間に危険率5%で有意差がないことを示す。CEC:陽イオン交換容量、CEC/粘土:粘土あたり陽イオン交換容量、全窒素/粘土:粘土あたり全窒素含量、全炭素/粘土:粘土あたり全炭素含量。

A農場の土壌は、周辺の八東川流域の土壌とほとんどの特性値において有意差が見られなかったものの、交換性カリウム含量はA農場の土壌試料の方が有意に高かった。兵庫県北播磨地域では、東条川流域と美囊川流域において高品質な山田錦が生産できるとみなされてきた「特A地区」の圃場が多く、これらの土壌に比べてもA農場の土壌は大きな差異はみられなかったものの、粘土鉱物の陽イオンに対する吸着性の指標である粘土あたり陽イオン交換容量（CEC/粘土）の値は、A農場の土壌が有意に低かった。粘土含量と土壌有機物の比を表す、粘土あたり全炭素含量あるいは粘土あたり全窒素含量の値は、すべての群間で有意差は見られなかった。

3.2. 堆肥の連用が土壌に与える影響

A農場において、異なる堆肥連用年数の圃場から得られた同一地点の0～5cm、10～15cmの深さからの採土円筒試料は、その平均値から0～15cm深の値を推定し、さらに各圃場5地点の平均値について、分散分析を行った（表3）。

表3 堆肥連用年数の異なる圃場における0～15cm深の土壌特性値

	連用年数	仮比重		細土含量		礫含量		窒素量		炭素量		C/N比	
		g/cm ³	kg/m ³	kg/m ² /15cm	kg/m ² /15cm	kgN/m ² /15cm	kgC/m ² /15cm						
A1	40	1.20	ab	178.5	ab	2.0	b	0.378	a	3.60	a	9.5	b
A2	20	1.12	b	151.3	c	17.4	ab	0.309	b	3.08	ab	9.9	ab
A3	15	1.31	a	191.0	a	4.8	b	0.297	b	2.74	b	9.2	b
A4	5	1.32	a	191.8	a	5.8	b	0.309	b	3.46	a	11.2	a
A5	1	1.25	a	163.4	bc	24.5	a	0.280	b	2.53	b	9.0	b

同一の小文字は、群間に危険率5%で有意差がないことを示す。細土：2mm以下の粒径の土壌。

仮比重は、20年連用の圃場がそれより短い年数の圃場に対して有意に低い値を示した。1年連用の圃場の礫含量は、20年連用の圃場以外の圃場に対し、有意に高い値を示した。40年連用の圃場は、15年と1年連用の圃場に対して炭素量が有意に高い値を示し、窒素量は、他のすべての連用年数の圃場に対して有意に高い値を示した。

表3で示したそれぞれの土壌特性値を、連用年数に対して全ての試料について散布図で示し、回帰分析を行った。有意な関係性が得られた特性値の散布図を図1に示す。連用年数が長くなるほど土壌中の炭素量や窒素量が増加し、仮比重が減少していた。

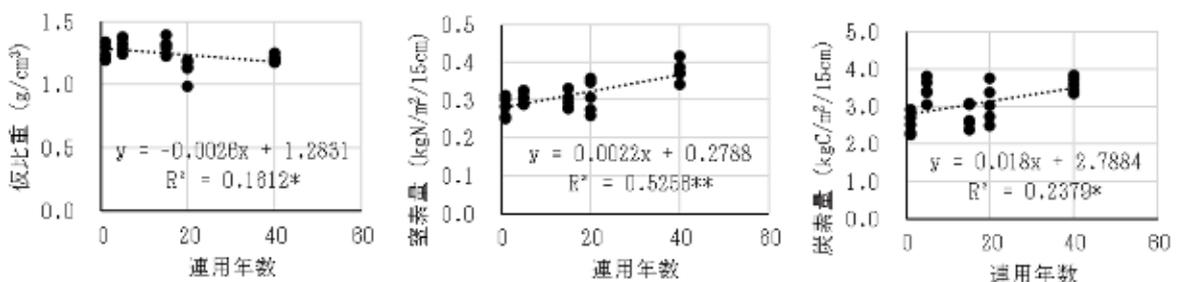


図1 連用年数と土壌特性値の関係

4. 考察

A農場の水田表層土壌は、八頭町の他の地域や、兵庫県北播磨地域の加古川流域等の水田表層土壌と同様に、粘土あたりCECが約70cmol_c/kg粘土であった(表2)。一般に、2:1型ケイ酸塩粘土鉱物であるスメクタイトのCECは60~150cmol_c/kg、1:1型ケイ酸塩粘土鉱物であるカオリナイトは2~15cmol_c/kgであること(佐藤2001)を考慮すると、A農場の土壌は東条川や美囊川流域の土壌よりもスメクタイト質粘土鉱物に乏しいことが示唆される。一方、粘土あたり全窒素、全炭素含量に地域間差が見られなかったことから、地域間の土壌有機物含量の違いは、粘土含量の違いに起因していることが示唆された。

A農場においては、堆肥連用期間が長くなるほど、単位面積当たりの炭素量と窒素量が増加し、仮比重が減少していた(図1)。堆肥の連用により、土壌有機物が増加したことによって密度が減少し、仮比重の低下につながったと考えられる。

堆肥が連用されて地力窒素や窒素供給量が増加することにより、粒数の増加など収量構成要素が改善する効果が期待できるものの、品質の点では玄米中タンパク質含量の増加は食用米の食味の低下(近藤2007)や酒米品質の低下(吉沢ら1973)につながる。そのため、特に玄米中タンパク質含量の増加に直結する、出穂期以降の過剰供給を抑えるような管理が必要であり、堆肥の分解速度がイネの成長速度に同期し、かつ余剰な分解が発生しないよう、葉色やバイオマス中の窒素含量に基づいた施用量の調整が求められる。

一般に、腐植酸のカルボキシ基などは変異荷電を持つため、土壌有機物の蓄積はCECを増加させるが、各地域の土壌全炭素含量とCECの間には相関関係が見られなかった。堆肥の連用により保肥力を向上させるためには、水田環境で安定的に荷電が発現するよう、pHや酸化還元状態の管理も必要であると考えられる。

引用文献

- [1] 角野貴信、井ノ口光祐：P6-1-5 鳥取県における酒造好適米「山田錦」の品質および収量規定要因の解析、日本土壌肥料学会講演要旨集 65：91-91、2019
- [2] 角野貴信、本田武義、矢内純太、岩井香泳子、小崎隆：兵庫県北播磨地域における酒米「山田錦」の生産環境解析、観光科学研究、4：9-14、2011
- [3] 近藤始彦：コメの品質、食味向上のための窒素管理技術(1)、農業および園芸、82：31-34、2007
- [4] 佐藤努：粘土の特性と利用、粘土科学 41：26-33、2001
- [5] 農林水産省：令和元年度 環境保全型農業直接支払交付金の実施状況、2020
- [6] 農林水産省：(3) 酒造好適米の生産量、米に関するマンスリーレポート(令和3年2月号)、2021a
- [7] 農林水産省：令和元年産米の農産物検査結果(確定値)(令和2年10月31日現在)、2021b
- [8] 吉沢淑、石川雄章、浜田由紀雄：酒造米に関する研究(第3報) 精白米の諸性質間の相関、日本醸造協会雑誌、68：767-771、1973

千代川水系における水生生物の生息環境の 地理情報化にむけた取組 － 調査手法の確立と地理情報化の基本設計について －

環境学部環境学科 太田 太郎
松原 潤*

1. はじめに

鳥取県東部を流れる千代川は鳥取県八頭郡智頭町の沖の山（標高1,319m）より北方へ流れ、八東川、袋川などの支川と合流し、鳥取平野を経て日本海に注ぐ一級河川である（国土交通省河川局 2006）。千代川水系の流域面積は1,190km²（国土交通省河川局 2006）で、1市3町（鳥取市、八頭町、智頭町、若桜町）の住民約20万人の生活に深く関わっている。

一方、千代川本川の流程は52km（国土交通省河川局 2006）と短く急峻な河川であるため、かつては大雨や台風時の洪水による浸水被害に流域住民は悩まされてきた。現在では、国、県の整備計画に基づく改修が進捗し、千代川の流路と景観は戦後と比べ大きく変化している。中でも特筆されるのは大正末期～昭和50年代にかけて段階的に行われた河口部の改修である。かつての千代川は河口付近で大きく蛇行していたため、湾曲部の堤防の崩落や、鳥取砂丘の漂砂の影響による河口閉塞による排水不良が浸水被害の原因となっていた。昭和58年に河口部の付替工事が完了し、現在のような直線的な形状となった。これらの取り組みの成果もあり、2018年7月上旬の豪雨（通称：西日本豪雨）の際には河口付近の観測点で戦後第2位の3,700m³/sの流量を記録したが（国土交通省中国地方整備局鳥取河川国道事務所 2018）、一部地域の小規模な浸水被害はあったものの大規模被害は発生せず、流域住民の生活は守られた。

このような千代川水系の改修による住民の安全確保の反面、河川環境の大きな変貌により、魚類等の水生生物の生息環境が変わりつつ、或いは失われつつある。その一例として、河川中下流域に生息するアユ*Plecoglossus altivelis*の近年における顕著な減少が挙げられる。アユは我が国の内水面漁業の最重要対象種であると同時に、その存在が豊かな河川を象徴する魚種ともなっている。アユは漁業法に基づく第5種共同漁業権の対象種ともなっており、千代川水系でも放流による積極的な増殖のみならず、魚道の改善、産卵場造成など環境整備も進められている。にもかかわらず、千代川水系におけるアユの資源水準は低迷から脱する兆しがなく、資源回復対策が行政課題ともなっている（水辺の環境保全協議会 2020）。水産資源として利用され、ある程度情報が蓄積しているアユのみならず、魚類を含む水生生物全体で同様の事象が起きていることは、流域の住民や漁業関係者の意見からも窺い知ることが出来る。また、河川管理の現場においても生物環境への関心が高まる一方で、生物的な情報

* 公立鳥取環境大学環境学部環境学科2020年度卒業生

現 京都府 丹後広域振興局 農林商工部 森づくり振興課 林業振興係

の圧倒的な不足が顕在化しており、知見の集積と整理の必要性が高まっている。

そこで、本研究では現在不足している千代川水系における生物分布情報、特に魚類に主眼を置いた現場調査を行い、河川環境の情報と併せ、地理情報としてデータベース化を目指す。その第一段階として、2020年度には千代川水系中流から下流域において、魚類相調査の手法の確立及び地理情報データベースの基本設計を行ったので報告する。

2. 材料と方法

2-1. 調査水域

本研究では人工構造物（堰堤や大型の橋）を目安とし、河口点から流路延長約18km上流付近の千代川下流域～中流域と八東川に6つの区域（Area）を設定した（図1）。Area1を河口～秋里堰堤（流程3.6km）、Area2を秋里堰堤～因幡大橋付近（流程4.0km）、Area3を因幡大橋付近～円通寺堰堤（流程5.9km）、Area4を円通寺堰堤～大井手堰（流程4.0km）とした。次に八東川合流地点～永野堰区間をArea5（流程0.6km）、永野堰～高瀬堰をArea6（流程1.9km）とした。

調査定点は、Area1にSt. 1、St. 2、St. 3、Area2にSt. 4、Area3にSt. 5、St. 6、Area4にSt. 7、Area5にSt. 8、Area6にSt. 9を設定した（図1）。

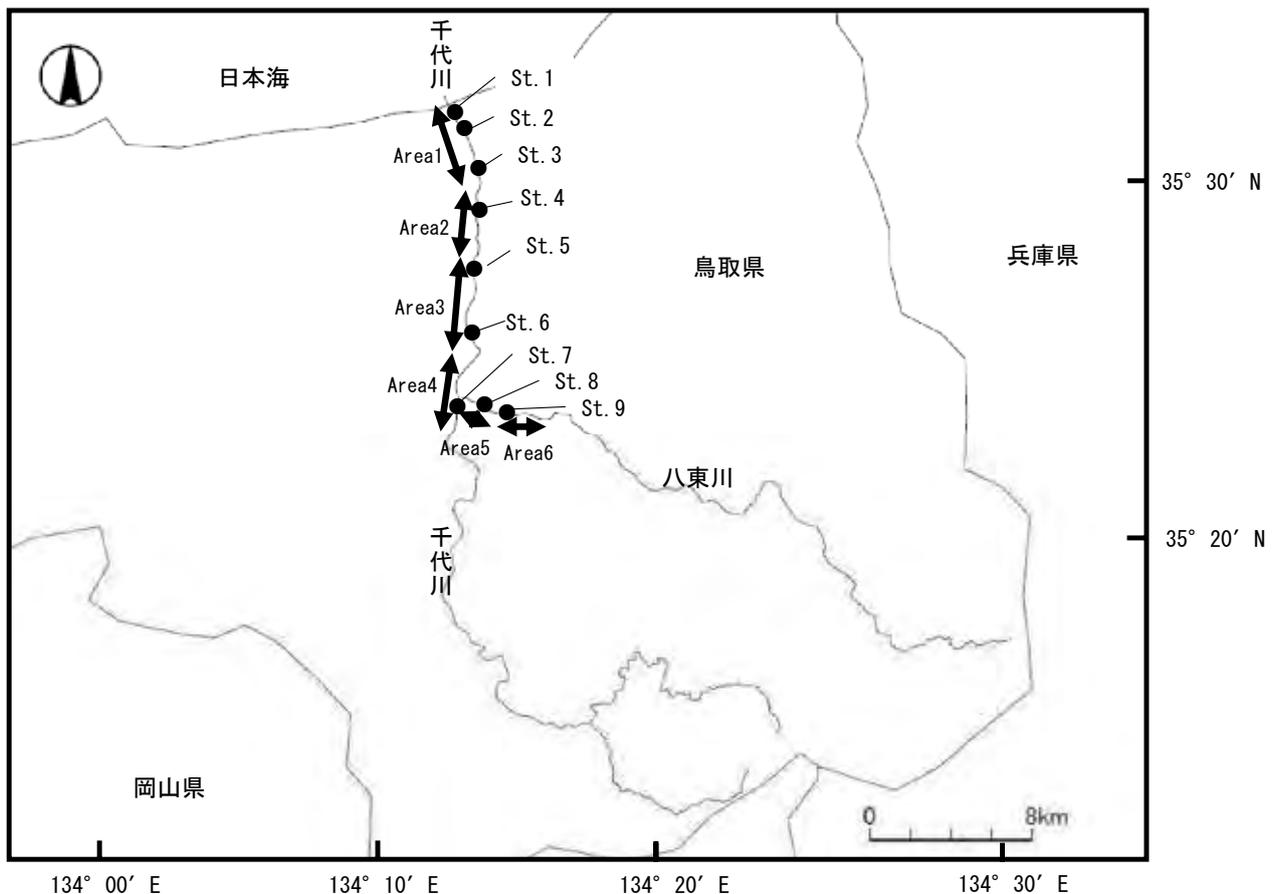


図1 千代川水系の地図（矢印は調査区域（Area）、黒丸は魚類採集調査の定点（St.）を示す）

2-2. 魚類採集調査

魚類の採集調査を2020年3月17日～12月19日に実施した。採集には電気ショッカー（Smith-Root

社製：最大電圧990Vまたは末松電子製作所製：最大電圧450V）とタモ網を用いた。電気ショッカーを使用する場合は、佐川ら（2006）を参考にし、通電箇所にはタモ網を構え、石を退かせながら水を網に押し入れるようにして採集した。一部の調査地点では電気ショッカーと同時に潜水調査による魚類の採集もおこなった。また、Arealは汽水域のため電気ショッカーによる魚類採集ができなかった。そのため、St. 1では人力によるソリネット（網口幅1m、目高0.4m、目合2mm）の曳網及び、投網を用いて採集をおこない、St. 2及び、St. 3ではタモ網のみでの採集もおこなった。採集した魚類は基本実験室に持ち帰り、種の同定後、体長を測定した。なお、種の同定は原則、中坊（2013）の魚類検索に従ったが、一部の種（ニシシマドジョウ *Cobitis* sp. BIWA type B）については斎藤（2015）を参考に査定した。

2-3. 河川環境の測定

河川環境はAreaごとに主要な5項目の測定をおこなった。測定は現地測定とGoogle map、Google earth（写真の更新日2018年5月21、22日）を用いて行った。

現地測定ではArea内の各調査定点で、①河川形態、②河床の2項目を測定した。①河川形態は可児（1944）の分類に従い、判断した。②河床は1mものさしで計測し、砂、小礫（1～5cm）、中礫（5～10cm）、大礫（10～15cm以上）に分類した。

Google map及びGoogle earthを用いた測定ではAreaごとに③中州、④河岸構成、⑤周辺の土地利用の3項目を測定した。③中州は大きさ別（流程に沿って長さ100m以上・500m以上）に個数を計測した。④河岸構成は河岸を植生・礫・護岸の3形態に分類し、それぞれの距離を右岸、左岸で計測した。計測した距離は河岸距離に占める割合に変換し、右岸、左岸の平均を求め河岸構成の数値とした。⑤周辺の土地利用は河岸周辺の土地を市街地・農地・林野の3つに分類し、河岸構成と同様の方法で数値化した。また、上記5項目以外の基本項目として、各Areaの流程、川幅（各Area内で等間隔に5カ所を選定し、その平均値を採用）、各Areaの両端の標高、及び流程と標高より算出した傾斜を求めた。

2-4. データベース化

2-2の魚類採集調査によって得られた魚類の分布に関するデータ及び2-3の河川環境測定により得た河川環境のデータをMicrosoft社のExcelに入力し、河川環境及び魚類相のデータベースとした。なお、魚類の分布情報については、各Area内でのすべての調査で採集された魚種別の個体数を合計し、その出現個体数頻度から優占的出現（出現頻度が10%以上）、一般的出現（出現頻度10%以下、ただし稀少的出現の条件に合致する種を除く）、稀少的出現（出現頻度2%以下、または全地点での採集個体数が3個体以下）に分類した。ただし、Arealについては、採集方法が他のAreaとは異なるため、採集された魚種を全て一般的出現として取り扱った。

3. 結果と考察

3-1. 魚類の分布データ

合計9日間、延べ14回の調査で、合計33種以上547個体の魚類を採集した。各Areaの魚種別の出現

については、表1に示す。オイカワ*Opsariichthys platypus*は、調査範囲全体で優占的出現または一般的出現となり、カワムツ属*Nipponocypris* sp.はArea4、5、6で優占的出現または一般的出現となったが、Area1、2、3では出現しなかった。また、ギギ*Tachysurus nudiceps*は、Area1を除くAreaで優占的出現または一般的出現となった。ハゼ科魚類について、淡水種であるカワヨシノボリ*Rhinogobius flumineus*はArea3より上流で出現し、特にArea5、6で優占的出現となった。一方、同属で両側回遊性のゴクラクハゼ*Rhinogobius giurinus*はArea3より下流で出現した。このように、近縁種間で分布傾向が異なっており、特にArea3付近を境界に、魚類相が変化する傾向が認められた。

本研究では、主に電気ショッカーを使い魚類出現状況の把握を試み、この手法により概ね網羅的に生息種を把握出来るものと判断された。ただし、Area1では塩分があり(Area1の上流端の秋里堰堤が、千代川水系の潮止め堰堤として機能している)、魚類に対する電気ショッカーの効果がなく、この水域での網羅的な魚類相把握が今後の課題として残された。

表1 各Areaで出現した魚種の出現頻度区分

和名	学名	Area1	Area2	Area3	Area4	Area5	Area6
スナヤツメ	<i>Lethenteron</i> sp. S		++				
ギンブナ	<i>Carassius</i> sp.		+				+
オイカワ	<i>Opsariichthys platypus</i>	++	+++	+++	++	+++	+++
カワムツ属 sp.	<i>Candidia</i> sp.				+++	++	+++
ウグイ	<i>Tribolodon hakonensis</i>			++			
ムギツク	<i>Pungtungia herzi</i>			+	+++	++	+++
タモロコ	<i>Gnathopogon elongatus elongatus</i>						+
カマツカ	<i>Pseudogobio esocinus esocinus</i>		+++			++	+
ニゴイ	<i>Hemibarbus barbus</i>					+	
スゴモロコ属 sp.	<i>Squalidus</i> sp.		+				
ニシシマドジョウ	<i>Cobitis</i> sp. BIWA type B			+	++	+	++
ギギ	<i>Tachysurus nudiceps</i>		++	++	+++	++	++
ナマズ	<i>Silurus asotus</i>		+			+	
アユ	<i>Plecoglossus altivelis altivelis</i>				+		
マゴチ	<i>Platycephalus</i> sp.2	++					
シマイサキ	<i>Rhynchopelate oxyrhynchus</i>	++					
カマキリ(アユカケ)	<i>Cottus kazika</i>			+			
カジカ(大卵型)	<i>Cottus pollux</i>				+		
カジカ(中卵型)	<i>Cottus</i> sp. (middle-egg type)			+++			
ドンコ	<i>Odontobutis obscura</i>			+	++	+	+
オオミミズハゼ	<i>Luciogobius grandis</i>	++					
ヌマチチブ	<i>Tridentiger brevispinis</i>		++	++	++	+	
チチブ	<i>Tridentiger obscurus</i>	++					
チチブ属 sp.	<i>Tridentiger</i> sp.	++					
カワヨシノボリ	<i>Rhinogobius flumineus</i>			++	++	+++	+++
シマヨシノボリ	<i>Rhinogobius nagoyae</i>		+	++			
オオヨシノボリ	<i>Rhinogobius fluviatilis</i>			++		+	
クロヨシノボリ	<i>Rhinogobius brunneus</i>			++			
ゴクラクハゼ	<i>Rhinogobius giurinus</i>	++	+++	+++		+	
ヒメハゼ	<i>Favonigobius gymnauchen</i>	++					
スミウキゴリ	<i>Gymnogobius petschiliensis</i>	++		+++	++		
クロウシノシタ	<i>Paraplagusia japonica</i>	++					
クサフグ	<i>Takifugu niphobles</i>	++					

+++ : 優占的出現 ++: 一般的出現 +: 稀少的出現

※ Area1については、全て一般的出現として取り扱った

3-2. 河川環境のデータ

各Areaの河川環境の情報を表2に示す。Area1は改修され直線化された水域であるため、河岸はほぼすべてコンクリート護岸であった。その他のAreaの河岸は植生の割合が高かった。周辺の土地利用については、Area1とArea2では市街地の割合が高く、Area3より上流では農地の割合が高くなった。今回の調査範囲では林野の占める割合は全体的に低かった。

本調査により、川幅、流程等の基本情報に加え、川岸の構造や周辺の土地利用についてはGoogle map及びGoogle earthの情報により概ね把握が可能となり、河床や河川構造などの情報について現地での簡便な調査で補足することにより、本研究の目的に即した河川環境の情報を十分に得られると判断された。ただし、水深については、特に下流部では河岸から徒歩で流心部へのエントリーが困難であるため、測定が出来なかった。今後は橋上からの測定などを試み、データを取得する予定である。

表 2-1 各 Area の河川環境の情報

Area	下流北緯			下流東経			上流北緯			上流東経			流路延長 (km)	流程 (km)	川幅 (m)
	'	''	'''	'	''	'''	'	''	'''	'	''	'''			
Area1	35	32	33.1	134	11	41	35	30	49.6	134	12	44.1	3.6	3.6	173.91
Area2	35	30	49.6	134	12	44.1	35	28	42.7	134	12	52.3	7.6	4.0	68.94
Area3	35	28	42.8	134	12	52.4	35	25	44.6	134	12	52.4	13.5	5.9	68.55
Area4	35	25	44.6	134	12	52.4	35	23	50.4	134	12	8.7	17.5	4.0	75.25
Area5	35	24	25.7	134	12	17.0	35	24	18.3	134	12	38.1	0.58	0.58	37.36
Area6	35	24	18.3	134	12	38.1	35	23	54.4	134	13	45.4	2.46	1.88	57.28

※Area5、6の流路延長（背景灰色）は千代川と八東川の合流点からの距離、その他は河口点からの距離

表 2-2 各 Area の河川環境の情報（続き）

Area	河川 形態	河川構造 物の数	中州の個数 (100m)	中州の個数 (500m)	河床	河岸の構造 (%)			水深 (m)
						植生	礫	護岸	
Area1	4	1	0	0	1	0.0	0.0	100.0	—
Area2	3	1	4	1	2	72.0	17.9	10.1	—
Area3	2	2	1	2	3	60.3	27.4	12.3	—
Area4	2	1	2	0	3	56.6	29.9	13.6	—
Area5	2	1	2	0	3	52.6	39.2	8.2	—
Area6	2	1	1	0	2	85.9	12.1	2.1	—

※河川形態の分類は可児（1944）に従いAa、Bb、Bc、コンクリートをそれぞれ1、2、3、4と表す

※河床は砂、小礫、中礫、大礫をそれぞれ1、2、3、4で表す

※水深については未測定

表 2-3 各 Area の河川環境の情報（続き）

Area	下流標高 (m)	上流標高 (m)	標高差 (m)	勾配 (%)	周辺の土地利用 (%)		
					市街地	農地	林野
Area1	0	2	2	0.05	92.8	0.0	7.2
Area2	2	7	5	0.12	81.9	18.1	0.0
Area3	7	14	7	0.13	6.3	90.4	3.3
Area4	14	29	15	0.43	32.3	56.3	11.4
Area5	22	23	1	0.17	0.0	50.0	50.0
Area6	23	26	3	0.16	0.0	83.3	16.7

※勾配は標高差÷流路延長×100

3-3. データベース化と地図情報化（今後の課題）

3-1.及び3-2.で得られたデータについては図2に示す流れで、データベース化した。さらに、得られた結果については、試行的にGISソフトMANDARA（谷 2011）を用いて地図情報化した（一例を図3に示す）。

今後は、今回の調査範囲を拡大し上流域での調査実施し、千代川水系全体の魚類生息環境の情報を収集する。さらに、今回実施した調査範囲でも、さらなる調査により厚みのある情報を蓄積し、特に魚類の分布生態に関しては、季節性なども考慮したデータを収集する必要がある。

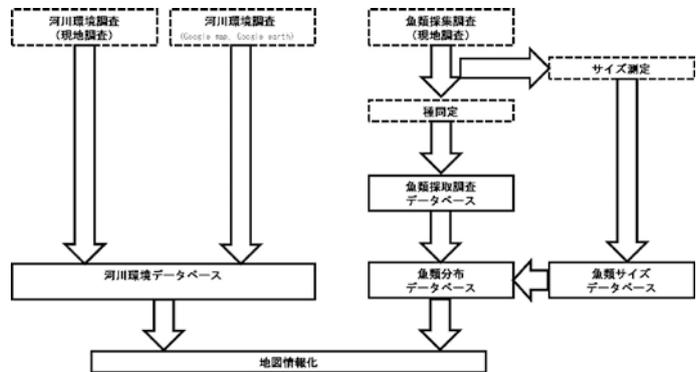


図2 千代川水系における魚類生息環境調査に係る調査から地図情報化に向けたフロー

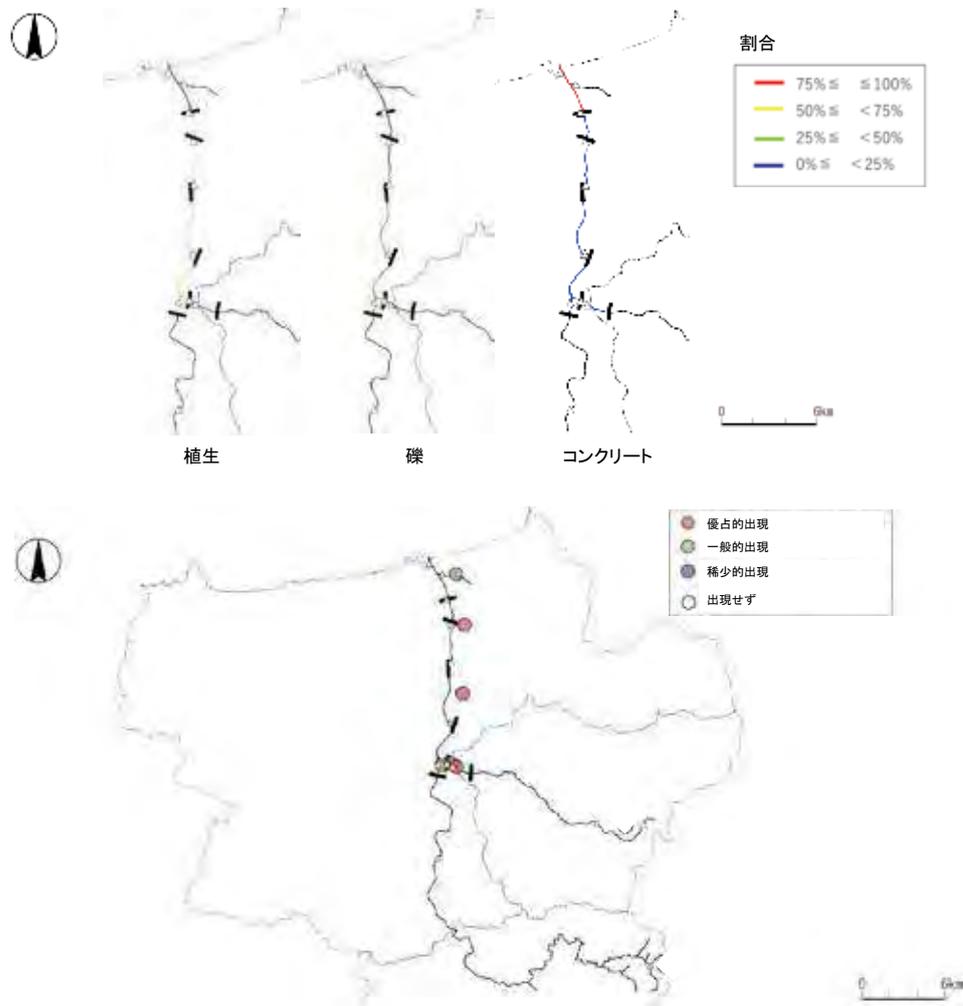


図3 地図情報化した河川環境データ及び魚類の分布データの例（上：河岸の構造、下：オイカワの分布）

謝辞

本研究は2020年度の公立鳥取環境大学特別研究費により実施しました。また、本研究を遂行するに

あたり、多くの方々のご支援とご協力を賜りました。(株)末松電子製作所の山下貴司様と植山靖彦様には、調査用の電気ショッカーの開発に際し多大なるご協力をいただきました。鳥取県栽培漁業センターの田中靖研究員を始めとする職員の皆様には、電気ショッカーの貸与など、多くのご支援を賜りました。千代川漁業協同組合の寺崎健一組合長を始めとする組合員と職員の皆様には、調査にご理解を賜り、多くの有益なご助言をいただきました。また、公立鳥取環境大学環境学部環境学科2019年度卒業生の大津裕平氏、2020年度卒業生の小野凌氏、並河由佳子氏、武坂亮氏、公立鳥取環境大学大学院2年生の森光建太氏、公立鳥取環境大学環境学部環境学科4年生の加藤大寛氏、小林健太郎氏、須藤小雪氏、三輪拓也氏には調査に際し多大なるご協力をいただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 可児藤吉 (1944) 「溪流棲昆虫の生態」『可児藤吉全集全1巻 (1970)』思索社, 東京, 3-91 (再録)
- 国土交通省河川局 (2006) 『千代川水系河川整備基本方針』 https://www.cgr.mlit.go.jp/tottori/river/sisin/index_file/honbun.pdf (最終閲覧日: 2021年3月13日)
- 国土交通省中国地方整備局鳥取河川国道事務所 (2018) 『平成30年7月豪雨における洪水の規模について (千代川)』 <https://www.cgr.mlit.go.jp/tottori/info/press/2015/180724press1.pdf> (最終閲覧日: 2021年3月13日)
- 中坊徹次 (編) (2013) 『日本産魚類検索 全種の同定, 3版』東海大学出版会, 秦野, xlix + xxxii + xvi + 2428 pp.
- 水辺の環境保全協議会 (2020) 『鳥取県アユ不漁対策プラン』 <https://www.pref.tottori.lg.jp/secure/1203210/200330ayuplan.pdf> (最終閲覧日: 2021年3月13日)
- 斎藤健司 (2015) 『くらべてわかる淡水魚』山と溪谷社, 東京, 126pp.
- 佐川志郎・萱場祐一・皆川朋子・河口洋一 (2006) 「実験河川におけるエレクトリックショッカーによる6魚種の捕獲効率」応用生態工学, 8 (2) : 193-199,

鳥取県沿岸域に分布するスズキの 資源生物学的基礎情報について

環境学部環境学科 太田太郎
大西智元*・別役 龍**・三輪拓也***

1. はじめに

スズキ *Lateolabrax japonicus* は北海道以南の日本各地の水域に分布し（落合・田中 1986）、河川や湖沼の淡水域にまで進入する広塩性海産魚類である。本種はゲームフィッシングの対象としても人気が高く、鳥取県では刺網、小型底びき網、釣り、定置網などの沿岸漁業により年間30トン前後が漁獲される（鳥取県農林水産部水産振興局水産課）。本種の資源生態に関する知見については、日本各地で多くの報告があり（例えば、安田・小池 1950、畑中・関野 1962、小坂 1969など）、中でも近年の耳石による年齢査定を用いた研究では、Jiang *et. al* (2019) が京都府の丹後海と宮城県の仙台湾で成長比較を行っており、その違いについて海域の特性に着目し論じている。本種は、内湾や河口域などを主要な分布域とすることから、資源生態学的な研究についても内湾域での報告が多い。一方、鳥取県の海岸線は極めて単調で、そのほとんどが外海に直接面した形状となっており、内湾的な環境が少ない。本種のような幅広い環境に適応した魚種の成長や成熟は、海域により異なる可能性も示唆される。そこで、本稿では鳥取県海域におけるスズキについて、生殖腺の発達状況より産卵期を推定し、耳石の輪紋解析により年齢と成長の関係について調べたので報告する。

2. 材料と方法

本研究では2016年5月から2020年5月にかけて収集した合計127個体のスズキを供試魚とした（表1）。これらは、主に鳥取県の沿岸漁業（刺網：35個体、定置網：52個体）により漁獲されたスズキの買い取りにより収集したが、一部は著者らが釣獲及び採集したもの（22個体）や公的試験研究機関（鳥取県栽培漁業センター）の試験操業で得られたもの（18個体）も含まれる。得られた供試魚は、メジャーを使用して標準体長（SL: mm）と全長（TL: mm）を1 mm単位で測定し、測りを用いて体重（BW: g）を1 g単位で秤量した。さらに、生殖腺を摘出して雌雄判別を行い、電子天秤（HL-100L, ASONE）を用いて生殖腺重量を0.1g単位で秤量した。体重及び生殖腺重量の値より、雌雄別に生殖腺指数（GSI: Gonad Somatic Index、生殖腺重量/体重）を求めた。その後、年齢査定のため耳石（扁平石）を摘出した。摘出した耳石はポリエステル樹脂（エポック社）に包埋し、PCBカッター（HOZAN K-111）により耳石の中心部が含まれるよう薄く切断し、横断切片を作成した。作成した耳石の横断切片は回転砥石を使用して研磨した後、粒度の異なる複数のサンドペーパーにより研磨し、耳石の輪

* 公立鳥取環境大学環境学部環境学科2016年度卒業生

** 公立鳥取環境大学環境学部環境学科2018年度卒業生

*** 公立鳥取環境大学環境学部環境学科4年生

表1 成長及び成熟の分析に供したスズキの採集時期とサイズ及び収集方法の概要

年	期間	個体数	体長範囲 (cm)	収集方法
2016年	4-12月	53	8-71	岩美町浦富沖の定置網 釣獲 (鳥取市及び岩美町) 投網 (岩美町: 当歳魚のみ)
2017年	12月	20	25-35	大山町御来屋沖の定置網
2018年	1-2、11月	29	22-48	鳥取市及び東伯郡湯梨浜町沖の刺網 東伯郡湯梨浜町及び境港沖での小型底 びき網 (試験操業)
2019年	12月	15	30-40	境港沖での小型底びき網 (試験操業)
2020年	5月	10	34-59	湯梨浜町沖の刺網 釣獲 (鳥取市)

紋を表出させた。表出した耳石輪紋を実体顕微鏡 (Nikon SMZ1270) で透過光により観察し、装着したデジタルカメラ (Nikon DS-Fi2) を用いて撮影した。

耳石の横断切片の画像から輪紋数を計測し満年齢を求めた後、核から各輪紋の距離 (輪紋径: r_n) 及び縁辺部までの距離 (耳石径: R と記す)

を測定した (図1)。さらに耳石の輪紋の形成期及び年周性を確認するため、式 (1) により縁辺成長率 (MI: Marginal growth index) を求めた。

$$MI = (R - r_n) / (r_n - r_{n-1}) \cdots (1)$$

R : 耳石の中心 (核) から縁辺部までの距離 (耳石径)

r_n : 耳石の中心 (核) から最も外側の輪紋までの距離 (n本目の輪紋径)

r_{n-1} : 耳石の中心 (核) から、一つ内側の輪紋までの距離 (n-1本目の輪紋径)

次に、Fraser-Lee法により (渡邊 1997)、個体毎に輪紋形成時の体長を推定し、得られた結果に基づき、雌雄別及び雌雄合わせた全個体で成長曲線を求めた。成長曲線にはvon Bertalanffyの式 (式 (2)) を用いた。

$$L_t = L_\infty \{1 - e^{-K(t-t_0)}\} \cdots (2)$$

t : 満年齢

L_t : t 歳時の標準体長

L_∞ : 最大到達時の標準体長

K : 成長係数

t_0 : $L_t=0$ とした時の年齢

なお、各係数 (L_∞ , K , t_0) は、エクセルのソルバー機能を用いて最小二乗法により推定した。

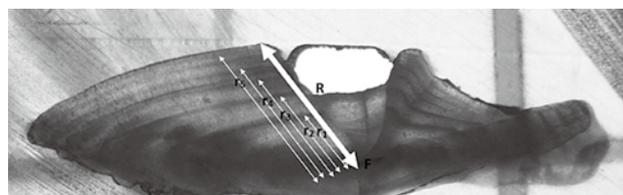


図1 スズキの耳石の横断切片の写真
 R : 耳石径 (中心から縁辺部までの距離)
 r_n : 中心からn本目の輪紋までの距離

3. 結果と考察

3-1. 標準体長、全長、体重の関係

標準体長と全長の関係は式 (3) (図 1)、標準体長と体重の関係は式 (4) (図 2) で表された。

$$TL = 1.14 SL + 0.94 \quad (R^2 = 0.99) \quad \dots (3)$$

$$BW = 0.0247 SL^{2.84} \quad (R^2 = 0.99) \quad \dots (4)$$

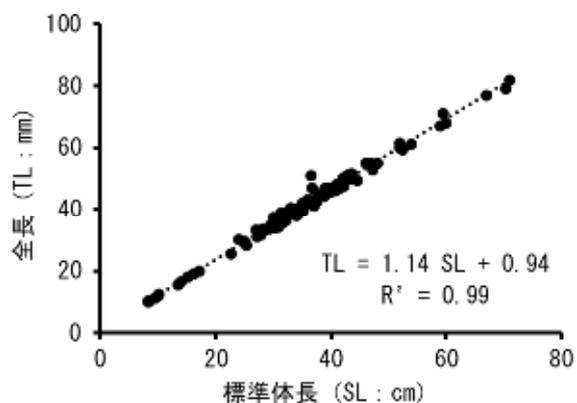


図2 鳥取県におけるスズキの標準体長 (SL) と全長 (TL) の関係

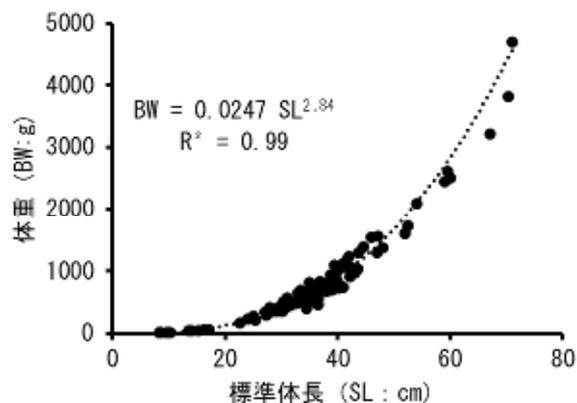


図3 鳥取県におけるスズキの標準体長 (SL) と体重 (BW) の関係

3-2. 成熟

雄のGSI値は5月から9月にかけて低い値で推移した。10月から上昇傾向が認められ、冬季には高い値を示す個体が出現し、最大値は12月に採集された個体の4.6であった。雌も同様に4月から9月にかけて低い値で推移し、10月より増加傾向が確認された。12月と2月には3.0を超える個体も出現し、最大値は2月に採集した個体の4.6であった。雌雄ともに11月のデータが少なく、かつ小型個体が中心であったためGSI値が低くなっているが、12月から2月の冬季には、他の季節と比べて高いGSI値を示した。これらの結果より鳥取県海域におけるスズキの産卵期は冬季と推定された。ただし、既往の報告 (小坂 1969) より、スズキのGSIの値は最大で10を越えるが、本研究では雌雄とも最大で5以下であった。本研究で収集したスズキには産卵直前または産卵盛期の個体が含まれていなかった可能性もあり、今後さらなる検証の余地が残された。

なお、他海域におけるスズキの産卵期については、概ね冬季 (10月～3月) が盛期とされており (水

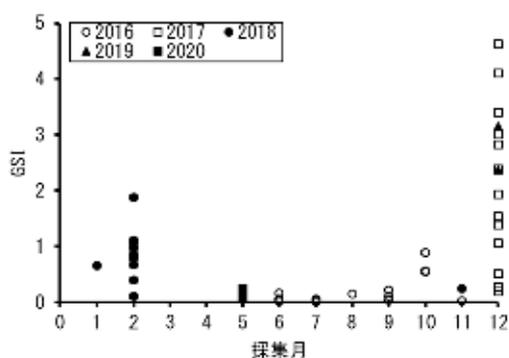


図4 鳥取県における雄のスズキの月別GSI

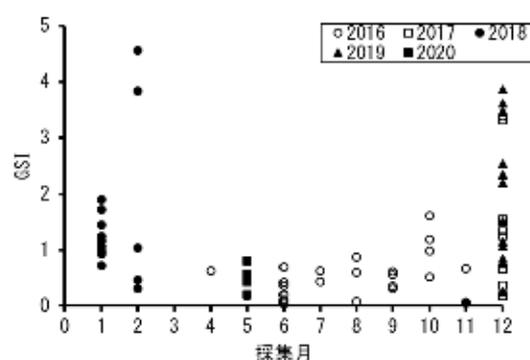


図5 鳥取県における雌のスズキの月別GSI

戸 1957、渡邊 1965、小坂 1969、落合・田中 1986)、本研究で得られた鳥取県沿岸におけるスズキの産卵期は、この範囲に含まれている。

3-3. 耳石輪紋の形成期と年周性

耳石の縁辺成長率 (MI) の値は、夏季から秋季にかけて増加傾向を示し、冬季 (12 ~ 2月) は値が高い群と低い群に二極化した (図6)。この結果から、鳥取県海域に分布するスズキの耳石の輪紋は冬季に形成されている可能性が高いと推察された。なお、耳石輪紋の年周性については、Jiang *et. al* (2019) により明らかにされているほか、Iseki *et. al* (2010) が近縁種であるタイリクスズキ *Lateolabrax maculatus* で明らかにしている。これらのことから、耳石に形成される輪紋は年輪として取り扱うことに問題はないと判断した。また、輪紋形成時期は産卵期と一致することから、輪紋形成時の体長は満年齢時の体長として扱うこととする。

3-4. 鳥取県海域におけるスズキの成長

耳石径 (R) と標準体長 (SL) は直線的な関係にあり、式 (5) により表された (図7)。

$$SL = 23.63 R + 0.41 \quad (R^2 = 0.85) \quad \dots (5)$$

式 (5) により得られた y 切片の値 (0.41) を用い、

Fraser-Lee法により個体毎に満年齢時 (輪紋形成時) の標準体長を推定した (図8)。この関係について、von Bertalanffy の成長曲線で近似した結果、式 (6) で表された。

$$L_t = 93.55 \{1 - e^{-0.11(t+1.27)}\} \dots (6)$$

これにより、鳥取県沿岸に分布するスズキの満年齢時の標準体長は、満1歳で20.1cm、満2歳で27.5cm、満3歳で34.2cm、満4歳で40.2cm、満5歳で45.6cmと推定された。

安田・小池 (1950) による、鱗を用いたスズキの年齢査定の結果、播磨灘 (兵庫県) 及び房総近海 (千葉県) におけるスズキの成長は、満1歳で約20cm、満2歳で約30cm、満3歳で約40cmであることが報告されている。推定手法の差による影響の可能性もあるが、播磨灘、房総近海と比較し、鳥取県海域では満2歳以降では、成長が遅い傾向が認められた。

鳥取県におけるスズキは、夏場を中心に河川内で遊漁者により釣獲される。また、海域では主に定置網、刺網などの極沿岸の漁場で漁獲されるが、水深200m前後を主漁場とする沖合底曳き網でも一定量漁獲されている。このことは、本種が極めて多様な環境に適応していることを示唆している。今

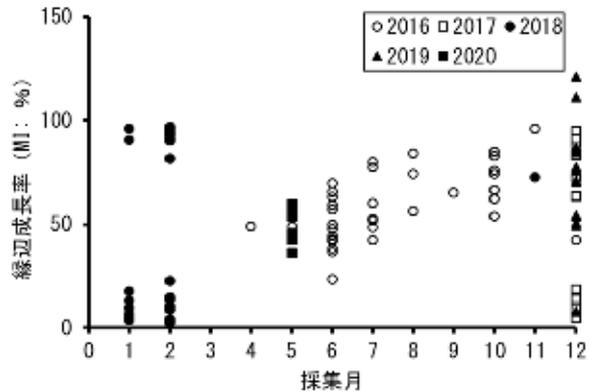


図6 鳥取県におけるスズキの月別縁辺成長率
※各凡例は採集年に対応している

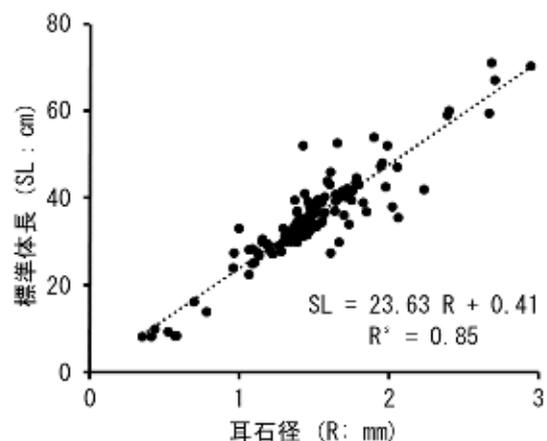


図7 鳥取県におけるスズキの耳石径 (R) と標準体長の関係

後は採集水域別に食性解析と併せて成長を調べることで、本種の生活史の多様性についてさらに検証を深めていく必要がある。

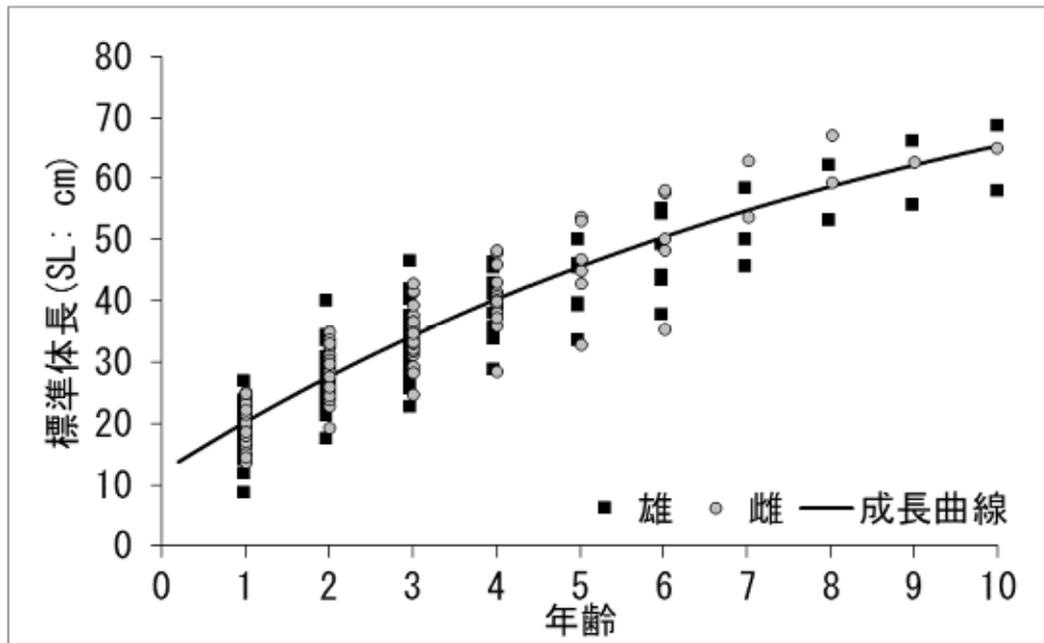


図8 鳥取県におけるスズキの年齢と標準体長の関係。曲線は、von Bertalanffyの成長曲線による近似の結果（本文参照）

謝辞

本研究は2016年度、2017年度及び2020年度の公立鳥取環境大学特別研究費により実施しました。また、スズキの収集に際しては、鳥取県栽培漁業センターよりサンプルを提供いただきました。また、鳥取県漁業協同組合浦富支所の定置網漁船開幸丸の皆様、鳥取県漁業協同組合JFかろいち直販店の皆様にはサンプルの収集に際しご理解を賜りました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 畑中正吉、関野清成（1962）「スズキの生態学的研究－Ⅱ」日本水産学会誌, 28 (9) : 857-861
- Iseki T., Mizuno K., Ohta T., Nakayama K. and Tanaka M. (2010) “Current status and ecological characteristics of the Chinese temperate bass *Lateolabrax* sp., an alien species in the western coastal waters of Japan” ICHTHYOLOGICAL RESEARCH 57 (3) 245 - 253.
- Jiang W., Lavergne E., Kurita Y., Todate K., Kasai A., Fuji T. and Yamashita Y. (2019) “Age determination and growth pattern of temperate seabass *Lateolabrax japonicus* in Tango Bay and Sendai Bay, Japan” Fisheries Science 85:81-98
- 小坂昌也（1969）「仙台湾産スズキの生態」東海大学海洋学部紀要, (3) : 67-85.
- 水戸敏（1957）「スズキの卵発生と幼期」九州大学農学部學塾雑誌, 16 (1) : 115-124.
- 落合明、田中克（1986）「スズキ」『魚類学（下）』p. 675-681, 東京：恒星社厚生閣.
- 鳥取県農林水産部水産振興局水産課『漁獲情報提供システム』<https://gyokaku.pref.tottori.lg.jp/>（最

終閲覧日：2021年3月9日)

渡部泰輔 (1965) 「東京湾におけるスズキの卵の分布生態について」日本水産学会誌, 31 (8) : 585-590

渡邊良朗 (1997) 「2. 年齢形質の有効性の検討」『水産動物の成長解析 (赤嶺達郎、麦谷泰雄 編)』p.17-27, 東京：恒星社厚生閣.

安田英明・小池篤 (1950) 「日本産主要魚類の成長, 第2報 スズキ」日本水産学会誌, 16 (6) : 256-258

地域で発生する廃棄物系バイオマス (廃石膏ボード剥離紙) の混合メタン発酵特性調査 およびリサイクル畜産敷料としての利用可能性検討

環境学部環境学科 戸 莉 丈 仁

1. はじめに

近年、様々な有機性廃棄物の混合処理とエネルギー回収が可能なシステムであるメタン発酵が再注目されている。本研究では、地域で発生する廃棄物として畜産敷料に着目した。畜産敷料にはこれまでは主としておが粉が用いられてきたが、木材加工の現象や木質バイオマス発電用燃料の需要増大などにより、中四国ではおが粉の価格が1,681円/m³ (H25) →1,965円/m³ (H27)、¹⁾ となるなど、供給量減少や価格の上昇がみられている。しかし、製材所等における針葉樹おが粉の販売量(敷料利用)は1,690千m³ (H26) ¹⁾ とおが粉製造量の70%近くで推移しており、敷料として求められるおが粉の量は減少していない。

鳥取県境港市の三光㈱ではおが粉の代替敷料として、現在、廃棄物として処理されている廃石膏ボード剥離紙に着目し、リサイクル敷料の製造開発および使用済みリサイクル敷料からのエネルギー回収に取り組んでいる。廃石膏ボードは2009年に109万t/年の発生量だったものが2037年には284t/年に増加すると推計されており²⁾、中間処分場で分別されて発生する廃石膏ボード剥離紙も、それに伴って発生量が増加すると考えられる。近年、廃石膏ボードのリサイクルは多くの検討が行われているが、その際に発生するセルロース系バイオマスである剥離紙に関しては、石膏ボード成分の混入もあり、リサイクルは進んでいない。これを敷料として利用できれば、敷料の大幅なコスト削減に繋がる。加えて、使用済みのリサイクル敷料を回収し、メタン発酵により処理することができれば、牛糞および廃石膏ボード剥離紙からのエネルギー回収も可能となる。しかし、廃石膏ボード剥離紙には紙成分だけでなく、廃石膏ボード由来の硫酸カルシウムの含有が想定される。既往の研究では、硫酸塩をメタン発酵槽に添加した際に、バイオガス生成の減少、停止が報告されている³⁾。嫌気状態での硫酸塩還元菌の働きにより、硫化水素が生成され、その阻害による影響が考えられる。硫酸塩還元菌には酢酸や水素を利用するものがあり、メタン生成菌は基質となる水素や酢酸を巡って競合する⁴⁾。酢酸律速の条件では、基質に対する親和性の高い硫酸塩還元菌が主に酢酸を消費するとの報告がある⁵⁾。

そこで、本研究では、上記の廃石膏ボード剥離紙を用いて製造されたリサイクル敷料を、畜産現場で使用後に、牛糞が混合された状態で回収し、メタン発酵に利用してバイオガス回収を行うシステムを想定し、牛糞と廃石膏ボード剥離紙のメタン発酵特性および混合メタン発酵による影響を調査した。

2. 研究方法

2.1 牛糞および廃石膏ボード剥離紙の性状調査および組成分析

図1に本研究で用いたバイオマスを示す。廃石膏ボード剥離紙は廃棄物として収集後、破碎・洗浄したものをを用いた。牛糞は鳥取県西部地区の農家より収集したものをを用いた。それぞれについて、蒸発残留物 (TS)、強熱減量 (VS) を測定し、灰分の組成分析を行った。



図1 対象地域バイオマス (左：牛糞、右：廃石膏ボード剥離紙)

2.2 各基質のバイオガス生成ポテンシャル測定および混合影響検討実験 (回分式メタン発酵実験)

回分式メタン発酵実験により、バイオガス生成ポテンシャルを測定した。実験は容積100mLのプラスチック製シリンジを用いて、高温条件 (53℃) で行った。実験ではシリンジ内に各基質と種汚泥30mLを投入し、先端に取り付けた弁を閉じることにより嫌気状態とした。振とう恒温水槽により約20日間150rpmで振とう培養した。発生したバイオガスをガラスシリンジで引き抜いて発生量の測定を行った。混合影響の検討実験では、牛糞と廃石膏ボード剥離紙を混合投入し回分式メタン発酵実験を行った。混合比率を変化させることで廃石膏ボード剥離紙混合による影響を確認した。

全ての実験において、ブランクとして種汚泥のみを投入した系も準備し、バイオガス生成量を補正した。

2.3 連続式メタン発酵実験

有効容積2Lの嫌気性反応器を2系列準備し、高温条件 (53℃) で連続式実験を行った。基質投入および消化汚泥の引抜きは1日1回の頻度にて手動で実施し、90日間の実験を行った。Run7は基質として牛糞のみを投入した。Run8はRun7と同量の牛糞に加えて廃石膏ボード剥離紙を混合して加えた。混合比率は期間1で牛糞：廃石膏ボード剥離紙が1：0.13 (TSベース)、期間2で1：0.25 (TSベース) とした。HRTはいずれの期間も30日と設定し、期間1は69日間、期間2は21日間の実験を行った。週に1回程度の頻度で引き抜いた消化汚泥のTS、VS、COD_{Cr}、溶解性COD_{Cr} (S-COD_{Cr})、揮発性脂肪酸濃度、アンモニア性窒素濃度を測定した。また、各期間におけるVS分解率は、投入VS量 (g) と引抜き後の残存VS量 (g) の合計を全液量で除すことにより、メタン発酵が全く起こらないと想定した場合の反応器内のVS理論値を算出し、引き抜いた消化汚泥VS実測値との差を分解量とし、投入VS量 (g) で除すことによって算出した。生成したバイオガス発生量はガス流量計 (ミリガスカウン

ター) で測定した後、アルミニウム製ガスバックで補修し、ガス組成分析を行った。実験条件を表1に、連続式実験器を図2に示す。

表1 実験条件 (連続式実験)

開始	期間	終了		牛糞(g)					廃石膏ボード剥離紙					希釈水(g)	混合物					HRT	有機物負荷(gVS/(L・day))
				投入量(g)	TS濃度(%)	TS(g)	VS濃度(%)	VS(g)	投入量(g)	TS濃度(%)	TS(g)	VS濃度(%)	VS(g)		投入量(g)	TS濃度(%)	TS(g)	VS濃度(%)	VS(g)		
2021/1/12	期間1-1	2021/2/17	RUN7	33.0	14.1	4.7	12.1	4.0						61.0	94.0	5.0	4.7	4.3	4.0	30	1.43
			RUN8	33.0	14.1	4.7	12.1	4.0	0.7	90.3	0.6	61.3	0.4	61.0	94.7	5.6	5.3	4.7	4.4	30	1.58
2021/2/18	期間1-2	2021/3/22	RUN7	33.0	14.5	4.8	13.0	4.3						61.0	94.0	5.1	4.8	4.5	4.3	30	1.53
			RUN8	33.0	14.5	4.8	13.0	4.3	0.7	90.3	0.6	61.3	0.4	61.0	94.7	5.7	5.4	5.0	4.7	30	1.68
2021/3/23	期間2-1	2021/4/12	RUN7	33.0	14.5	4.8	13.0	4.3						61.0	94.0	5.1	4.8	4.5	4.3	30	1.53
			RUN8	33.0	14.5	4.8	13.0	4.3	1.3	90.3	1.2	61.3	0.8	61.0	95.3	6.3	6.0	5.3	5.1	30	1.81



図2 連続式実験機

2.4 分析方法

TS、VS、pH、揮発性有機酸濃度、各種イオン濃度は下水試験方法⁶⁾により測定した。アンモニア性窒素濃度は電量滴定式アンモニア計(AT-2000、セントラル科学)を用いて測定した。COD_{Cr}の分析は吸光度計(DR2400、HACH)およびCOD_{Cr}試薬(HACH、クロム酸法)により行った。

連続式メタン発酵実験におけるバイオガス生成量はガス流量计(ミリガスカウンター、日本フローコントロール)を用いて行った。灰分の組成分析は蛍光X線分析装置XRF(NEX-DE、リガク)を用いた。ガス組成分析はガスクロマトグラフィー(310GC、SRI、TCD検出器、キャリアガスHe)を用いて測定した。

3. 結果および考察

3.1 牛糞および廃石膏ボード剥離紙の性状調査および組成分析

実験に用いた牛糞および廃石膏ボード剥離紙のTS、VSの測定結果を表2に示す。牛糞は期間中4回、廃石膏ボード剥離紙は期間中5回の測定を行った。廃石膏ボード剥離紙は保管方法や乾燥の状態によって水分量に差がみられた。牛糞についてはTS、VSともに比較的安定しており、サンプリングによる大きな差は確認されなかった。また、廃石膏ボード剥離紙についてはVS/TSが0.66と牛糞に比べて小さく、牛糞に比べ無機分を多く含んでいる結果となった。

灰分の組成分析結果を表3に示す。廃石膏ボード剥離紙についてはCaOとSO₃で合計85%程度となっており、石膏ボード由来の硫酸カルシウムによる影響と考えられる。一方、牛糞についてはCaOが72.9%と大きな値であった。

表2 TS、VSの測定結果

	牛糞	廃石膏ボード剥離紙
TS (%)	15.5±2.0	81.9±11.2
VS (%)	13.3±1.4	54.3±9.5
VS/TS	0.86	0.66

表3 灰分組成分析の結果

	P ₂ O ₅ (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	K ₂ O (%)	その他 (%)
牛糞	3.2	3.2	3.4	2.6	72.9	0.0	0.2	10.9	3.8
廃石膏ボード 剥離紙	0.0	7.1	6.6	0.5	40.6	0.0	44.6	0.0	0.6

3.2 各基質のバイオガス生成ポテンシャル測定および混合影響検討実験

3.2.1 各基質のバイオガス生成ポテンシャル

回分式実験による牛糞および廃石膏ボード剥離紙のバイオガス生成ポテンシャルを表4に示す。投入VS 1gあたりの廃石膏ボード剥離紙からのバイオガス生成量は牛糞に対して1.45倍と大きい結果となった。

表4 各基質のバイオガス生成ポテンシャル

	牛糞	廃石膏ボード剥離紙
TS1gあたり バイオガス生成量 (NL/g-TS)	0.25 ± 0.09	0.29 ± 0.06
VS1gあたり バイオガス生成量 (NL/g-VS)	0.29 ± 0.11	0.42 ± 0.05

3.2.2 混合影響検討実験

廃石膏ボード剥離紙の混合による影響を検討するため、回分式実験を行った。混合比率は湿重量ベースで牛糞：廃石膏ボード剥離紙が1：0.5、1：1.0、1：1.5、1：2.0となる4条件とした。また、牛糞のみ、廃石膏ボード剥離紙のみのポテンシャル測定も行い、ポテンシャルから求めたバイオガス発生量の計算値との比較を行った。実験結果を表5に示す。混合比1：0.5では計算値とほぼ同等のバイオガス発生

量が得られたが、混合比1：1.0では9.6%、混合比1：1.5では25.1%、混合比1：2.0では35.5%の低減がみられた。硫酸塩の混合による影響と考えられる。湿重量ベースでの混合比1：0.5をTSベースに換算すると1：2.0となり、回分式実験においてはTSベースでの混合比率1：2.0（牛糞：廃石膏ボード剥離紙）までは影響がみられなかった。

表5 混合影響検討実験の結果

		牛糞のみ	剥離紙のみ	1:0.5(WET)	1:1.0(WET)	1:1.5(WET)	1:2.0(WET)
消化汚泥量	g	30	30	30	30	30	30
牛糞投入量	g	0.5	0	0.5	0.5	0.5	0.5
剥離紙投入量	g	0	0.5	0.25	0.5	0.75	1
バイオガス発生量	NmL	27	88	71	104	119	131
ポテンシャルからの計算値	NmL	-	-	71	115	159	203

3.3 連続式メタン発酵実験

期間1、および期間2における連続式実験の実験結果を図3～図6に示す。また、実験結果のとりまとめを表6に示す。

牛糞のみを基質として投入したRun7では、各期間を通じて安定的なバイオガス生成を確認した。期間1では投入VS 1gあたりのバイオガス発生量は、回分式実験で求めたポテンシャルと比較して3%の増加、期間2では7%の減少と、大きな差は確認されなかった。アンモニア性窒素濃度は期間1の1.09g/Lが最も大きかった。高温条件のメタン発酵においては2.0g/L～2.5g/L以上の濃度で障害が起きるとの報告^{7),8)}があるが、それらの濃度に達することはなかった。揮発性有機酸については、実験開始初期に酢酸、プロピオン酸の蓄積が見られたが、その後蓄積は解消した。pHも中性域で安定していた。硫化水素濃度は200ppmであった。下水汚泥のメタン発酵では一般的に発生バイオガス中の硫化水素濃度は200～800ppm⁹⁾であり、ほぼ同等の値となった。

牛糞に廃石膏ボード剥離紙を混合して基質として投入したRun8では、期間1において、それぞれの基質のバイオガス生成ポテンシャルから求めた計算値0.31NL/g-VSに対して、実験結果では0.30NL/g-VSとなっており、ほぼ同等の値となった。期間2では、計算値に対して24%の低減が見られた。しかし、アンモニア性窒素濃度についてはRun7同様に、大きな蓄積はみられず、揮発性有機酸についても大きな蓄積は確認できていない。発生バイオガス中の硫化水素濃度は期間1で2,700ppmとRun7に比べて大きく増加しており、槽内で硫酸塩還元反応が進行したことが確認できた。期間2でのバイオガス生成量の低減については、条件変更後の経過日数が少なく、アンモニア性窒素や揮発性有機酸の蓄積、硫化水素濃度の上昇などを測定し、増量した廃石膏ボード剥離紙に対して順応できるかどうかを今後確認する必要がある。

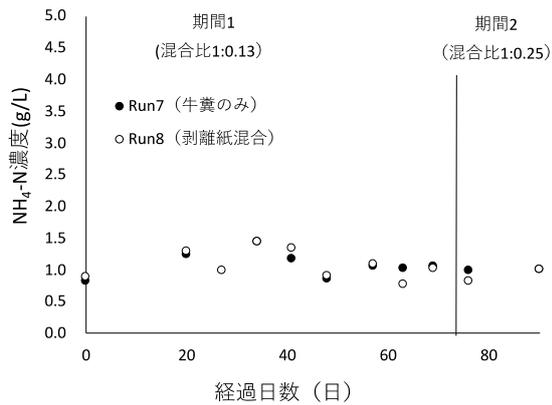


図3 アンモニア性窒素濃度の経日変化

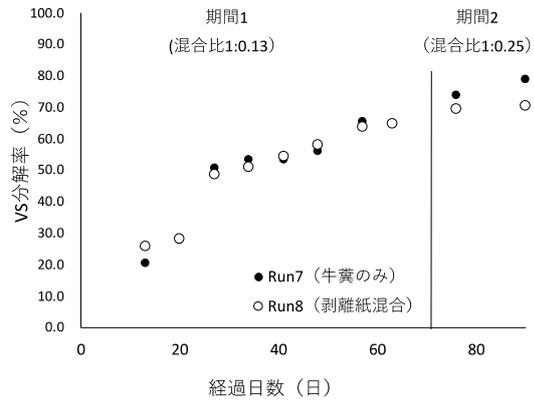


図4 VS分解率の経日変化

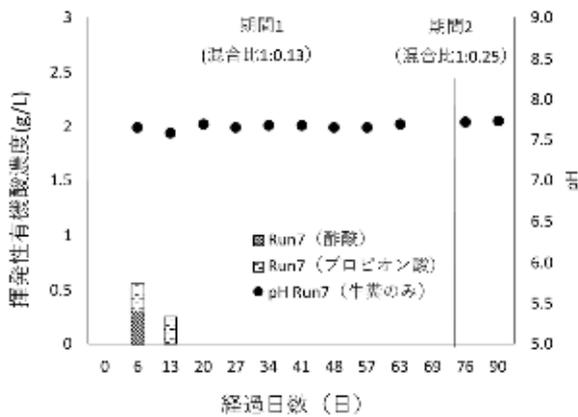


図5 揮発性有機酸濃度・pHの経日変化 (Run7)

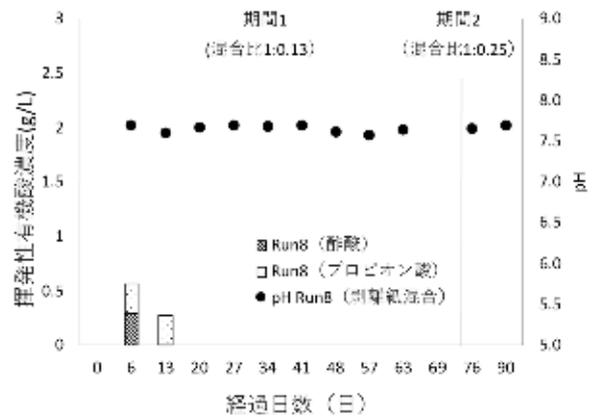


図6 揮発性有機酸濃度・pHの経日変化 (Run8)

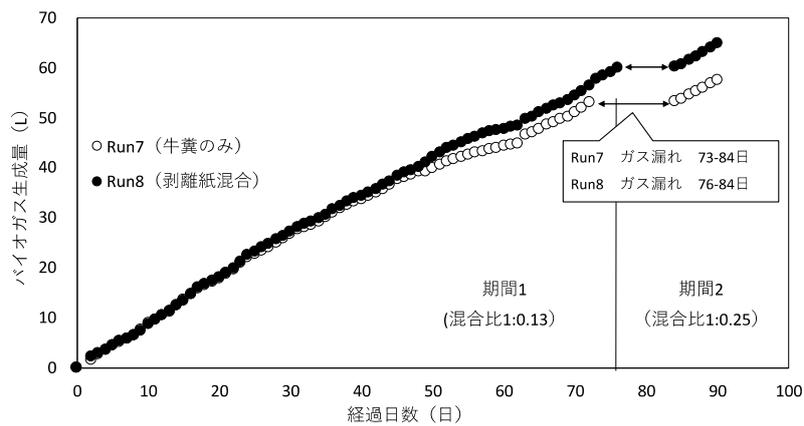


図7 バイオガス発生量の経日変化

表6 連続式実験結果のとりまとめ

項目	Run 7		Run 8	
	期間1	期間2	期間1	期間2
廃石膏ボード剥離紙混合比率(TSベース)	—	—	1:0.13	1:0.25
平均有機物負荷(g-VS/L/day)	1.17	1.33	1.33	1.58
投入TS1gあたりバイオガス発生量(NL/g-TS)	0.27	0.23	0.26	0.20
投入VS1gあたりバイオガス発生量(NL/g-VS)	0.30	0.27	0.30	0.24
投入TS1gあたりメタンガス発生量(NL/g-TS)	0.16	0.14	0.16	0.12
投入VS1gあたりメタンガス発生量(NL/g-VS)	0.18	0.16	0.19	0.15
メタン濃度(%)	57.8	59.2	63.8	61.0
pH	7.7±0.03	7.7±0.01	7.7±0.05	7.7±0.03
VS分解率(%)	57.4±6.3	53.1±4.1	76.4±3.5	70.2±0.8
NH ₄ -N濃度(g/L)	1.09±0.20	1.00±0.02	1.09±0.23	0.93±0.13
揮発性酸濃度(g/L)	0.08±0.19	0	0.08±0.19	0
H ₂ S濃度(ppm)	200	-	2700	-

*Run1の73~84日, Run2の76~84日はガス漏れのためバイオガス発生量未計測

4. まとめ

本研究では、牛糞のメタン発酵に対して廃石膏ボード剥離紙の混合による影響の検討を行った。以下に得られた成果を記す。

- 1) 廃石膏ボード剥離紙の性状調査および組成分析の結果から、廃石膏ボード剥離紙は牛糞に比べてTS成分中のVS成分の量が少なかった。また、灰分中のCaOとSO₃の含有率がそれぞれ40.6%と44.6%と大きかった。
- 2) 回分式メタン発酵実験の結果から、廃石膏ボード剥離紙のバイオガス生成ポテンシャルは0.42NL/g-VSであり、牛糞の0.29NL/g-VSと比べても大きな値であった。また、混合比率影響検討実験より、回分式の実験では、湿重量ベースで牛糞：廃石膏ボード剥離紙が1：0.5（TSベース1：2.0）の混合比率まではポテンシャルからの計算値と同等のバイオガス発生を確認した。
- 3) 連続式メタン発酵実験の結果から、廃石膏ボード剥離紙混合比率1：0.13（TSベース）、有機物負荷1.33g-VS/L/dayまでは安定的にメタン発酵反応が進行することを確認した。各基質のバイオガス生成ポテンシャルからの計算値とほぼ同等の値であった。また、硫化水素濃度は牛糞単独系に比べて13.5倍に増加した。

今後は、期間2の混合比での実験を継続し、評価するとともに、微生物菌叢の変化、硫酸イオンの挙動およびシステムにおけるSの収支についての検討をすすめ、硫酸カルシウムを主成分とする廃石膏ボード剥離紙をどこまで混合すると障害が生じるのかを確認したい。

謝辞

本研究の実施にあたり、鳥取市環境下水道部下水道管理室、公益)鳥取市環境事業公社および三光(株)の皆様には実験試料の提供等において多大なるご理解とご協力を賜りました。また、本研究の一部は公立鳥取環境大学特別研究費により実施いたしました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- [1] 高橋博人：畜産環境情報第64号平成28年6月号、pp.1-10、2016
- [2] ㈱日本能率協会総合研究所：平成25年度廃石膏ボードの再資源化促進方策検討業務調査報告書、2014
- [3] Lawrence AW、McCarty PL、Guerin FJA. 1964. The effects of sulfides on anaerobic treatment. Proc of the 19th Purdue Industrial Waste Conf.、May、1964
- [4] 松井三郎、立脇征弘：硫酸塩還元菌、環境技術、18巻、4号、1989
- [5] 依田元之、北川幹夫、宮地有正：嫌気性生物膜における酢酸資化性硫酸塩還元菌とメタン生成菌の競合に関する動力学的考察、2018
- [6] 日本下水道協会、下水試験方法2012年版、2012
- [7] Y.Y.Li、I.B.Ko、T.Noike、K.Funaishi、H.Sasaki：Comparison of ammonia inhibition between the mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of municipal solid wastes、The Proceedings of 10th World Congress on Anaerobic Digestion、pp. 507-510、2004
- [8] W.Zhang、S.Heaven、C.J.Banks: Continuous operation of thermophilic food waste digestion with sidestream ammonia stripping、Bioresour. Technolgy、Vol.244、pp.611-620、2017
- [9] 野池達也：メタン発酵、技報堂出版、2009

伝統工芸産業を構成する事業者の経営と その技術継承

経営学部経営学科 磯野 誠

要約

本研究は、伝統工芸産業を構成する事業者に注目し、そこにおける伝統技術の継承と経営の成立との関係について、経営学で議論されるドメイン概念に依拠することで理解することを目的とした。伝統工芸産業である絣織産業で、かつそれぞれドメイン定義と経営状況の異なる久留米絣、弓浜絣、倉吉絣を扱う事業者を対象とした事例調査をおこなった。その結果から、ドメイン定義のテクノロジー次元における生産効率の程度と、提供サービス次元における製品意味づけの程度のバランスと、経営成立可能性の因果関係を説明する仮説的モデルを導いた。

本研究の知見をもとにすれば、伝統工芸産業に携わる事業者は、その経営成立を第一としたとき、伝統技術による製品の生産コストを正当化するだけのより難易度の高い製品意味づけが必要となり、そのための資源が必要となる。技術を更新すればそれによる製品生産コストは下がることになり、それを正当化するだけの製品意味づけの難易度は下がる。その場合、その技術更新のための資源と、そのより難易度の低い製品意味づけのための資源が必要となる。

ただし、この知見は、あくまでも今回取り上げた絣織産業の3事例からのものである。今後はより多様な産業のより多様な事例を対象とした調査を行うことにより、その妥当性を高める必要がある。また、経営成立に求められる製品意味づけ（製品価格正当化）とは具体的に、今回取り上げたものだけでなく、幅広い仕方があることが考えられる。今後は製品意味づけとしてどのような仕方があり、どのような仕方が効果的かについて検討する必要がある。

本文は、磯野誠：伝統工芸産業を構成する事業者の経営とその技術継承、地域デザイン学会誌、17、213-231、2021年 に掲載。

古民家「終活」の時代

—持続可能性に潜む諸行無常の理（ことわり）—

環境学部環境学科 浅川 滋 男

1. 日本が最も元気だった時代

昭和48年度末、全国緊急民家調査成果の一作として『鳥取県の民家』（鳥取県教育委員会1974）が刊行された。田中角栄の『日本列島改造論』（1973）が旋風を巻き起こし、国土開発が勢いよく進む時代ではあったけれども、同年には中東危機が勃発して高度成長も一段落し、安定成長期に足を踏み入れつつあった。ギネス記録を誇る映画「男はつらいよ」シリーズの山田洋次監督が「日本が最も元気だったころ」と回顧する古き良き時代である。昭和49年に最も注目されたニュースは、V10を逸した読売巨人軍の長嶋茂雄三塁手の引退である。世界的にみると、フランツ・ベッケンバウアー率いるドイツがヨハン・クライフ主将のオランダを決勝で下したサッカーワールドカップ・ドイツ大会に注目が集まった。敗れはしたものの、オランダのトータル・フットボールがその後のサッカー界を席卷してゆく。

芸能音楽の世界では、演歌が依然として主流ではあったけれども、吉田拓郎や荒井由実などの若い世代が台頭しつつあった。米子出身の岡本おさみが作詞し、吉田拓郎が作曲した森進一の「襟裳岬」が昭和49年のレコード大賞である。映画では「ゴッドファーザー」や「仁義なき戦い」などのヤクザ映画に人気があり、渥美清主演の「男はつらいよ」シリーズもヤクザ映画のパロディとして誕生し、国民的映画に成長していく。

2. 『鳥取県の民家』その後

鳥取県の場合、こうした変革期にあっても、相変わらず交通インフラ未整備のため距離的には近いはずの京阪神とは隔てられた「陸の孤島」であり、町も村も民家も旧態をよくとどめていたと記憶する。『鳥取県の民家』には、文化財指定候補となる39件の民家調査成果が掲載されている。これに、同時期の日本海新聞に連載された「失われゆく古民家」（木島幹世1973～74）掲載49例（図1）のうち県東部の15件、広瀬安美『兵庫の民家』（1974）のうち但馬の3件を加えて追跡調査した。その結果、45年の時を隔てた在方農家の変容パターンを以下のように大別されることが分かった（町方・武家については紙幅の関係上割愛する）。

《A類》指定による民家の保全（16件）

《B類》未指定だが茅葺き屋根を維持（4件）

《C類》未指定のまま茅葺き平屋建から中2階和風住宅へ改修（4件）

《D類》未指定のまま撤去（16件）

民家変容4パターンのうち、未指定B～D類については、当然のことながら、滅失・更新が急速に進んでいる。問題は指定済みのA類であり、これを《A1》現地保存、《A2》移築保存、《A3》指

定解除に細分し、それぞれの問題点を考察した。

3. 河本家住宅—公開活用の模範例

《A1》現地保存(11件)のうち公開活用がなされているのは5例のみである。琴浦町の河本家住宅(重文)が公開活用の模範例であり、湯梨浜町の尾崎家住宅(同)、大山町の門脇家住宅(同)などの成功例は県中西部に集中している。そもそも、いま執筆している研究内容は、2019年秋の河本家公開時に開催された講演会『鳥取県の民家』その後」に端を発する(図2)。当時のゼミ生7名と私のリレーで講演し、終了後、激励の感想をメールや手紙でいただき、勇気づけられた。ちなみに、河本家は『鳥取県の民家』と新聞連載の両方に掲載されており、やがて県指定から国重要文化財へと格上げされて今に至る。一方、前者に掲載された分家の河本家の屋敷はすでに撤去され、宅地の奥側に新しい住まいを建設している(D類)。未指定なのだから現状変更の制限はなく、是非もない。

一方、県東部には、八頭町の矢部家住宅(重文)、鳥取市の福田家住宅(同・図3)、木下家住宅(県指定)、奥田家住宅(同)など17~18世紀に遡る文化財価値の高い民家が集中するにも拘わらず、公開活用はなされていない。唯一の例外は有料公開されている智頭町の石谷家住宅(重文)であるが、こちらは『鳥取県の近代化遺産』(1998)で発見された大正期の超大型住宅である。なお、後述する近代化遺産追跡調査で訪問した秋田県では、「税金を投入して維持修理しているからには公開せざる



図1. 『鳥取県の民家』掲載39件及び新聞連載「失われゆく古民家」掲載49件民家の分布図 (井上裕太作成)



図2. 2019年秋の河本家住宅公開に伴う講演会



図3. 重要文化財「福田家住宅」(鳥取市紙子谷) 空撮

を得ない」という行政の方針が行き届いており、8割前後の指定民家が公開活用されている。因幡地域の保守性が浮き彫りになった感がある。

公開活用を常態化するには保存会の存在が不可欠だが、石谷家を除けば、東部の指定民家にその種の支援団体は存在しない。民家1件に一つの保存会に対応するのはなかなか難しいので、複数の近隣指定民家をカバーする保存会ネットワークの組織化を提言したい。



図4. 内藤家跡地(日野町板井原内井谷) 空撮

4. 指定解除の衝撃

《A2》移築保存（4件）についてみると、若桜町屋堂羅の「若桜郷土の里」に移設された三百田家主屋（県指定）は維持管理・公開活用已成功しているが、倉吉市関金宿の鳥飼家主屋（同）は市町村合併が災いして維持・公開とも不振に陥っている。日野郡江府町の車家主屋は奥大山農林業資料館に寄付・移築（1976）の後、町指定有形民俗文化財になったものの、資料館閉鎖に伴い、2002年に指定解除・撤去された珍しい事例である。関金宿の鳥飼家も楽観的な状況にあるとは言えないであろう。《A3》指定解除の例はさらに3件ある。伯耆町の生田家住宅（県指定）は1991年、日野町の内藤家住宅（同・図4）は2001年、三朝町の小椋家住宅（町指定）は2016年に指定を解除された。文化財保護にとって深刻な問題である。

5. 古民家「終活」の時代

私が1991年度に自ら調査・編集した『秋田県の近代化遺産』（秋田県教育委員会1992）の重要物件を2020年8月下旬に再訪した（図5・6）。近代化遺産とは「幕末～戦前における産業・交通・土木の遺産」であり、民家とはジャンルが異なるけれども、ここでも同じような変化を確認できた。ただし、近代化遺産の場合、阪神・淡路大震災（1995）直後の文化財保護法改正で導入された「登録」の制度が採用される。秋田県は全国で最初に近代化遺産調査をおこなった自治体であり、多くの登録有形文化財を輩出したが、すでに調査対象30件が消滅し、うち10件以上の登録抹消を含む。指定解除・登録抹消の最大の要因は過疎による後継者不在である。加えて、地震・豪雪・洪水等の被災、財政難、アメニティ（住み心地の良さ）の欠如が背景にある。深刻な過疎が指定・登録文化財まで巻き込んでいる状況を鑑みるならば、過疎地における新規の指定・登録には慎重にならざるをえない。むしろ指定・登録済み建造物の維持保全に全力を尽くすべきであり、その他の民家等については、安寧な「終活」



図5. 秋田県近代化遺産の分布図と変容（池田憲和氏作成原図を浅川研究室浄書）



図6. 院内油田31号跡地空撮（秋田県にかほ市・経産省「近代化遺産」）

を考えるべき時代を迎えている。現地での保存は一部の例外を除いてほぼ不可能であり、すでに民間業者が実践しているように、建造物を丁寧に解体して主要な部材・煤竹・建具などを骨董品店・工務店等に売却し、再利用を図る循環システムを洗練させてゆく必要があるだろう。

6. 持続可能性に潜む諸行無常の理

映画「男はつらいよ」シリーズの第44作「寅次郎の告白」(1991)は、鳥取現代史上の「風景の定点」として位置付けられる。倉吉の打吹玉川地区や打吹鉢屋川地区、上方往来河原宿(図7)、若桜鉄道安倍駅(図8)など、スクリーンに写しだされる風景は甲乙つけ難い質の高さを誇っている。しかしながら、平成の30年を経て、町並みの明暗はくっきり分かれてしまった。重要伝統的建造物群保存地区(重伝建)や登録文化財になったロケ地(打吹玉川・安部駅)の風景はほぼ変わらない反面、選定・登録から漏れたロケ地(打吹鉢屋川・河原宿)の町並みは激変している。すでに歴史的景観は崩壊したと言って過言ではない。

民家集落の場合も同じであり、空き家・空き地が著しく増加し、「限界集落」から「廃村」への道筋を急ぎ足で歩んでおり、全県的に「持続可能」な状態にあるとはとても言えない状況にある。極端な言い方をすれば、ほぼすべての市町村が「終活」の時代を迎えていることを民家等歴史的建造物(群)の追跡調査により確認できたと思っている。

終活論は一種の仏教論でもある。仏教の本質的思想は「空」にある。般若心経にいう「色即是空・空即是色」とは、物質的なもの(色)はじつは実体性をもたない「空」であり、また実体性をもたない「空」のままで物質的なもの(色)として存在することを意味している。人間を取り巻く世界とすべての存在は、人間が想定しがちな不変で固有の性質をもって存在するのではない。すべては「空」でありながら、さまざまな原因・条件によって眼前に「色」として現象している。歴史的建造物がこの例に漏れるはずもなく、それらを文化遺産として保存しようとする行為自体が、諸行無常の理(ことわり)にあらがおうとするものである。毛沢東の遺体を化学的にミイラ化して天安門広場の記念堂



図7. 「寅次郎の告白」再現撮影
(上方往来河原宿新茶屋前)



図8. 「寅次郎の告白」再現撮影
(若桜鉄道安部駅)

に展示する行為と本質的に変わるところはない。文化財保護制度によって担保されたと思われがちな持続可能性の内側にも諸行無常の理が潜んでいる。過疎の嵐が吹きすさぶ地域にあって、指定・登録などの文化財保護制度が機能していない現実が露わになり、改めて「色即是空・空即是色」の教えを実感した次第である。

県内有数の重要文化財として、理想的な公開活用を進めている河本家や尾崎家の場合でも、詰まるどころ、《A3》指定解除パターンと同じ問題を孕んでいることを敢えて指摘し、本稿の結びとしたい。

《附記》 本稿は令和2年度公立鳥取環境大学特別研究「文化遺産報告書の追跡調査からみた過疎地域の未来像－民家・近代化遺産・町並みの持続可能／不可能性をめぐって」の成果の一部であり、報告書『古民家「終活」の時代』（浅川編2020）の論旨をいま一步深めて考察したものである。末文ながら、調査研究に携わったすべての学生に感謝の気持ちを表したい。とりわけ、報告書の編集を積極的に補助してくれた佐藤亨成君、井上裕太君、藤井鈴花さんの3名には御礼の言葉すら見当たらない。

《参考文献》

白木小三郎編（1974）『鳥取県の民家』鳥取県教育委員会

木島幹世（原著1973～74新聞連載・木島史雄編2013）『失われゆく民家』あるむ

広瀬安美（1974）『兵庫県の民家』コーベブックス

浅川滋男（1987）「都市近郊における街村型集落の変容（その1～2）」『日本建築学会東海支部研究報告集』25号：pp.445-452

奈良国立文化財研究所（浅川編1992）『秋田県の近代化遺産』秋田県教育委員会

奈良国立文化財研究所（浅川・箱崎和久編1998）『鳥取県の近代化遺産』鳥取県教育委員会

浅川編（2005a）『河本家住宅－建造物調査報告書－』琴浦町教育委員会：100p.

浅川編（2005b）『倉吉の町家と町並み－重伝建地区外側の景観をいかに保全するか』八橋往来まちなみ研究会：24p.

浅川編（2020）『古民家「終活」の時代－文化遺産報告書の追跡調査からみた過疎地域の未来像』令和2年度公立鳥取環境大学特別研究成果報告書：158p.

星取県の星空ガイドを育てる体験型教材の開発

環境学部環境学科 足利裕人

1. はじめに

「星取県」をうたう鳥取県の一番の課題は、一般市民に星空の案内や観察の楽しさを伝えることのできるガイドが少ないことである。星空の美しさとは裏腹に天体教育そのものが難しい印象を与えており、小中学校理科の星空単元は、理解度の最も低い分野の一つになっている。特に上弦、下弦の月や、内惑星である金星の満ち欠け等は高校入試に頻繁に出題されるが、理解を助ける適当な体験型教材に乏しく、イメージが形成しづらい単元である。

月は地球の衛星であり、地球から見える月の姿は、日ごとに29.5日の周期で満ち欠けが変化する。この変化の理解には、月の公転軌道上の位置と太陽光の方向を認識する必要がある。金星も満ち欠けがあるが、地球からの距離が遠いため、肉眼での満ち欠けが把握できないことと、内惑星のため夕方か明け方にしか観察できないという困難さがある。地球から見える天体の日周運動は、地球の自転によって生じる見かけの現象であるが、その理解には、地球上の観測地点と天体の位置関係を把握し、地球の自転にともなう天体の相対的運動をイメージする困難さがある。

本研究では肉眼の観察と同じ感覚で、カメラを通して満ち欠けや日周運動を体験できる等身大の太陽系シミュレーションモデルを構築し、同時に実際の夜空で撮影した月や金星の画像を確認しながらリンクさせ、一つずつ知識を獲得できる教材の開発を行った。また、星の光を分光するスペクトル解析は、星の成分元素の同定や、星が遠ざかる速さや地球からの距離などの情報を得ることができる。機材を揃え、恒星のスペクトル解析を行い、さらなる発展的研究体制を作った。また、紫外線撮影のできる冷却CCDカメラを準備し、金星表面の雲の移動が撮影できるようにした。金星は6月に宵の明星になるため、継続観察を行っている。

2. 体験型教材開発

本研究では、体験型の太陽系を模した学習者の等身大の、大型太陽系シミュレーション装置を製作した。この装置を学習者が自分で動かしながら学び、天体の運行イメージを形成する。さらに、学習者自身で撮影した動画やそれらを加工した静止画等と見比べることにより、地球の自転・公転と関連付けた高い教育効果の天体教材となった。

2.1. 月と金星の満ち欠け

月の満ち欠けは、月が地球の周りを公転することで発生する見かけの現象である。地球の公転により、太陽と地球の位置が相対的に変化することで、太陽の光が月の表面を照らす範囲が変わる。その周期は、約29.5日である。

金星の満ち欠けは、金星と地球の公転により、太陽との位置関係が変化することで、その光が金星の表面を照らす範囲が変化するために起こる。金星は内惑星のため、金星が太陽の東側にある時には夕方西の空に見え、西側にある時には明け方東の空に見える。

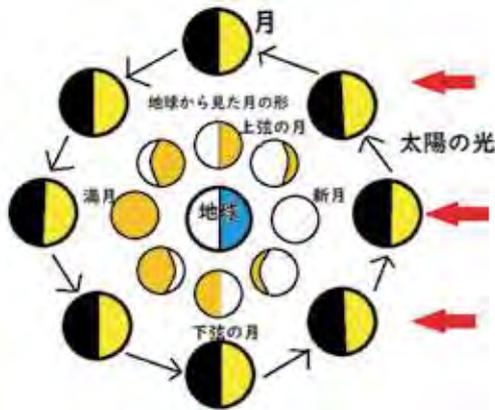


図1 月の満ち欠け

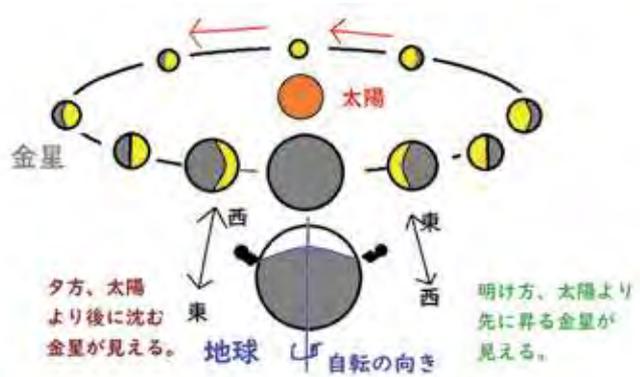


図2 金星の満ち欠け

2.2. 装置の製作

2.2.1 月の満ち欠けモデル

アルミアングルの両端に木板を固定し、一方の板の下にキャスターを取り付け、月の模型を搭載した。もう一方の板の下には回転台を取り付け、この上に鉄製スタンドを固定し、さらに地球の観測者に見立てたWebカメラを搭載した。このカメラを通した月の映像が、パソコンのモニター画面に満ち欠けを示す。



図3 月の満ち欠けモデル

2.2.2 金星の満ち欠けモデル

角材を、長さが地球と金星の公転半径の比になるようにし、一端を回転できるように固定する。その回転軸付近に、太陽に見立てたLEDリングライトを置く。2本の角材の回転軸から近い方には内



図4 金星の満ち欠けモデル

惑星の金星のモデルを設置し、もう一つの端が観測者のいる地球になる。ここには自転する回転雲台にWEBカメラを取り付け、パソコンのモニター画面上に、観測者が体験する映像として満ち欠けの様子が映し出される。

2.2.3 日周運動の観測装置

装置は、金星の満ち欠け装置で用いたものを活用した。地球の位置に、地面を表す黄色いプラスチックダンボールと観測者の人形を設置する。人形と地面、天体（月、金星）を同一画面に撮影し、地面に対する天体の相対位置で日周運動を示す。次に、回転雲台に一眼レフカメラを設置し、レンズには対角魚眼レンズを装着し、地球から見える天体の位置をリアルに体験できるようにした。



図5 月の日周運動モデルと撮影の様子



図6 金星の日周運動モデル（左：明けの明星、右：宵の明星）

2.3. シミュレーション教材による映像

2.3.1 月の満ち欠け装置で得た写真と実際の月との比較

月の満ち欠けの装置による写真と実際との比較をした。写真は理科ネット⁽⁸⁾とASA⁽⁷⁾のものを用いた。図7は月齢0の新月の例である。月は太陽と同じ方角に位置するため、太陽の光を反射する面は地球からは見えない。図8は月齢4の月である。新月から次第に右側が満ちていく。図9は月齢7の月である。月の右半分が輝く上弦の月となる。図10は月齢11の月である。月は、太陽の反対側へ向かい、それにつれてその姿は丸みを帯びていく。図11は月齢15の月である。月が、太陽の反対側にあるため、表面全体が輝く満月となる。図12は月齢17の月である。満月から新月に向かうにつれ、月の右

側が暗くなる。図13は月齢22の月である。月の左半分が輝く下弦の月となる。図14は月齢25の月である。次第に新月の姿に戻っている。



図7 月齢0の新月の比較



図8 月齢4の月の比較



図9 月齢7の月の比較



図10 月齢11の月の比較



図11 月齢15の月の比較



図12 月齢17の月の比較

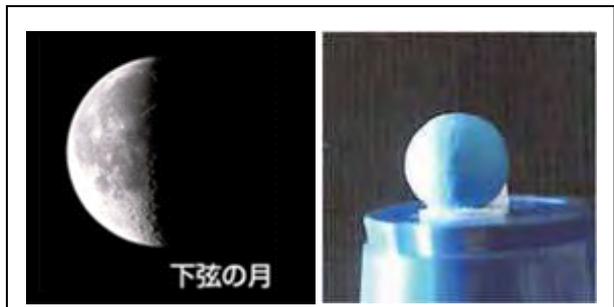


図13 月齢22の月の比較

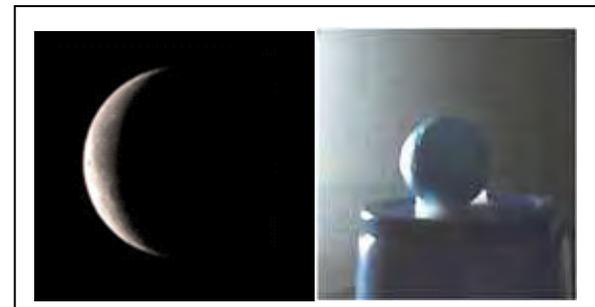


図14 月齢25の月の比較

2.3.2. 月の日周運動装置の改良と結果

図5の対角魚眼レンズで撮影した画像では、地面の位置が分かりにくく、眼視との差が大きい。そこで、図15のような装置を考案し、地面を基準にした月の日周運動がリアルに再現できた。月が東の空から登り、夕方南中し、西の空へ下がっていき地平線に沈む様子が、人形を中心として地面を基準に映し出されている。

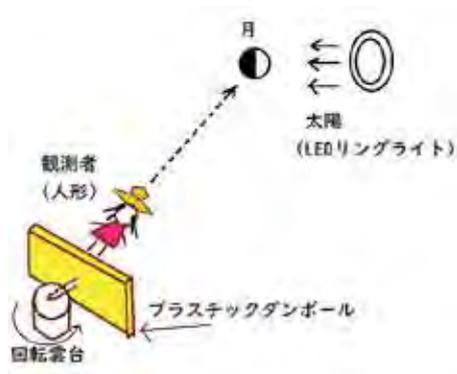


図15 月の日周運動の装置の改良



図16 月の日周運動の改良結果

2.3.3. 金星の満ち欠け装置で得た写真と実際の金星との比較

製作した金星の満ち欠け装置で撮影した写真を、実際の金星の写真⁽⁹⁾と比較した。その時の地球と金星の位置関係を知るために天文年鑑を利用した。図17は2020年2月11日の金星の例である。宵の明星なので右側面が照らされる。図18は2020年3月17日の金星の例である。東方最大離角周辺であり、半月状に欠けた金星を見ることができる。図21は2020年5月13日の金星で、三日月上の宵の明星である。図22は2020年11月13日の金星である。VIXEN A62SS望遠鏡にiPhone 10rを取り付けて、実際に撮影した写真である。明けの明星なので左側面が輝いている。

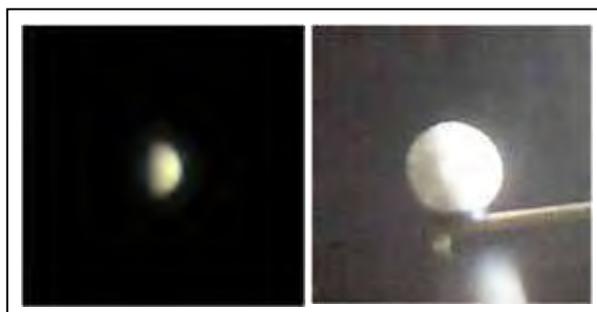


図17 2020年2月11日の金星の比較



図18 2020年3月17日の金星の比較



図19 2020年4月14日の金星の比較

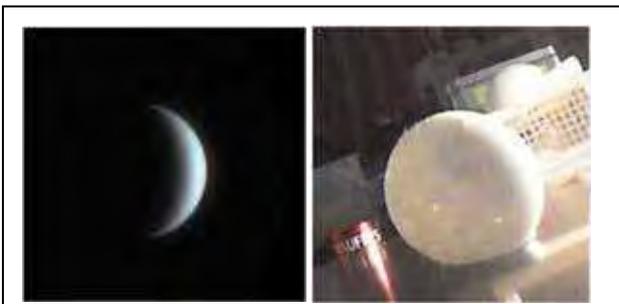


図20 2020年4月30日の金星の比較



図21 2020年5月13日の金星の比較

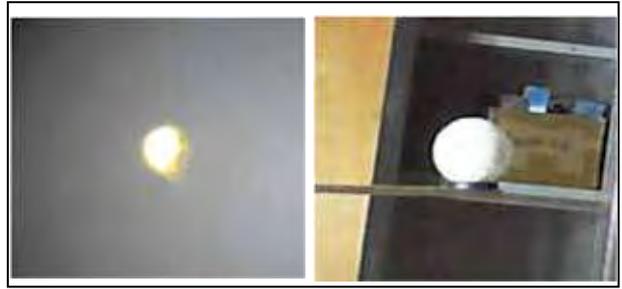


図22 2020年11月13日の金星の比較

図23は、明けの明星の日周運動を再現した動画を、コマ送りで示したものである。一番左側が明け方のちょうど金星が東の空から現れたばかりの写真で、時間とともに太陽が現れている。



図23 明けの明星の日周運動

図24は宵の明星の日周運動を再現した動画を、コマ送りで示したものである。強調のために矢印で金星の場所を示した。夕方、太陽がカメラの視界から切れることで、西の空に金星が現れる、時間とともに金星がカメラの視界から切れる。

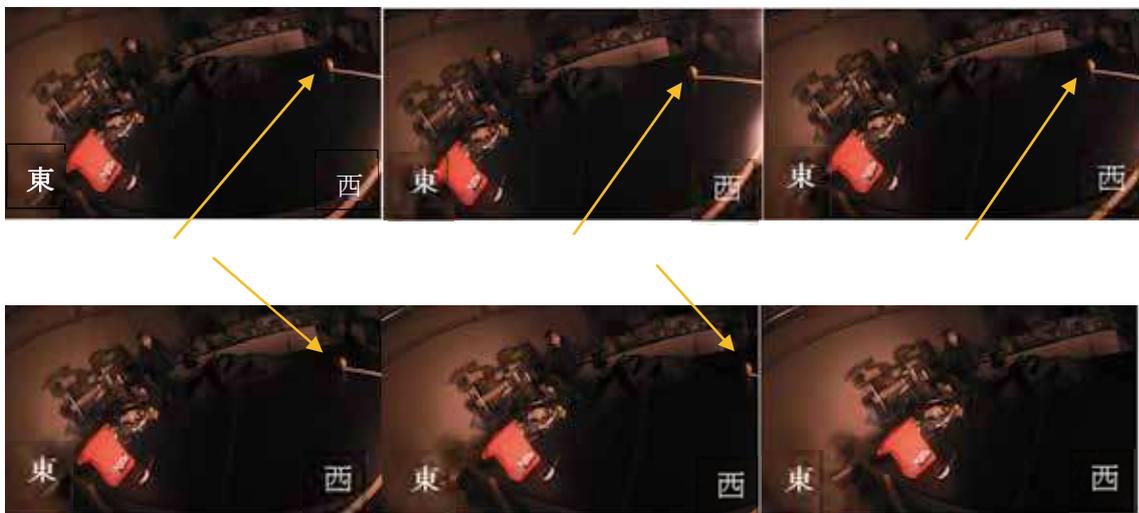


図24 宵の明星の日周運動

3. 星のスペクトルの教材化等

天体写真では、星の色からその表面温度は推測できるが、さらにその光を分光することで、星の成分元素を同定したり、星が遠ざかる速さやその距離などの情報を得たりすることができる。本研究では、五藤 Telescope 株式会社のスペクトル観測入門キットを用い、その分光による解析を身近なものにした。

3.1. 装置

この製品には、回折格子としてSTARANALYSER100を用いる。これは、1mmに100本の溝が刻まれた透過型回折格子である（図25右前）。

一眼レフのカメラレンズに取り付けるため、オプションのAD-58（58mmフィルター径対応、図25左）とステップUP・DOWNリング（図25右後）を用い、図26のようにNIKONのD5500に使用した。また、アメリカンサイズのCMOSカメラにはアダプターを使うことなく、先端にねじ込んで使用できる。

3.2. スペクトルの撮影

図27はこと座のベガを、カメラを三脚に固定して撮影した写真である。レンズは焦点距離50mm程度がAPS-Cサイズの一眼レフ画面に適している。スペクトルは直線ではなく、縦に幅ができるように星の日周運動を利用し、30秒間露出した。STARANALYSER100はカメラレンズに対して回転できるため、日周運動の方向に幅ができるように微調節可能である。ベガの左右に1次の回折光が見られるが、通常は明るい方の左側のスペクトルを使う。この回折格子はブリーズ型（断面が三角形のプリズム状）で、明るさを稼ぐことができる。

この写真から、図28のように、星（この位置が0次の直接光のスペクトルである）とスペクトルの両方が含まれるように切り取る。



図25 回折格子とリング群



図26 回折格子をカメラレンズへ装着



図27 撮影したベガのスペクトル



図28 切り取った星像とスペクトル

3.3. スペクトルの解析

分光解析ソフトRSpecを起動し、図28の写真を読み込み、回転補正と傾き補正を行う。さらにバックグラウンドを減算し、キャリブレーションを行う。図29はその画面であり、左端の星の位置が0次の回折光の位置になるので、波長0の基準になる。波長を決める2番目の点は、水素原子のバルマー系列の吸収スペクトルH β になる。

これら2点をマウスで指定し、RSpecに取り込む。H β の位置がわかりにくいときは、元素や各天体の吸収線を指し示すリファレンスが用意されているので、それをスペクトルのグラフ上に表示して決めることができる。

スペクトルの色をシミュレーションする機能もあり、グラフの下にスペクトルがカラー表示されるので、実際に撮影したものと比較して確認することができる。

図31はこうして得られたベガのスペクトルである。A型星なので、水素原子のバルマー系列のスペクトル吸収線がはっきり出る。図32はオリオン座の低温の赤い星ベテルギウスのスペクトルである。ベガに比べ青い光の成分が少なく、M型星の特徴として、TiO（酸化チタン分子）による吸収線も確認できる。

3.4. サンプル例と高度な応用

青っぽい惑星である海王星のスペクトルを観察すると、海王星の大気に含まれるメタンの540nmと620nmの吸収が見られる。星雲を構成するガスは、特定の波長だけで輝く輝線スペクトル（例えば酸素は500nmの緑色のO III、水素は656.3nmの赤色のH α ）を示す。

彗星は2つの炭素原子が結合したC₂やNH₂などの有機物を含むことが分かる。とりわけ興味深いのは、キューサー（非常に離れた距離に存在し、極めて明るく輝いているために、光学望遠鏡では内部構造が見えず、恒星のような点光源に見える準恒星状天体）の距離がドップラー効果による赤方偏

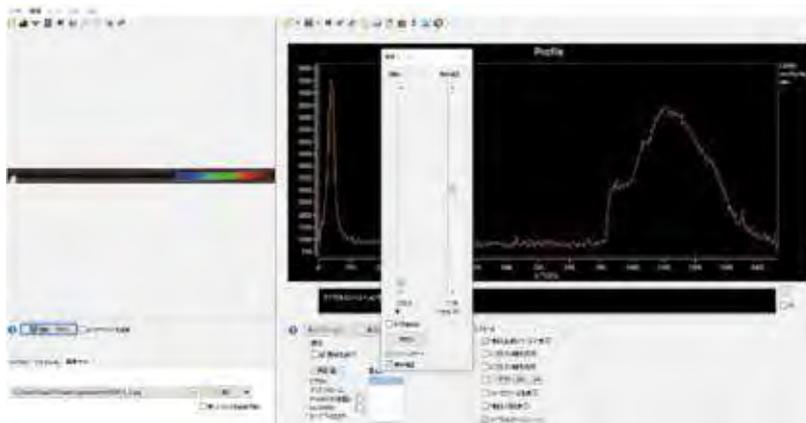


図29 RSpecにスペクトルを読み込む

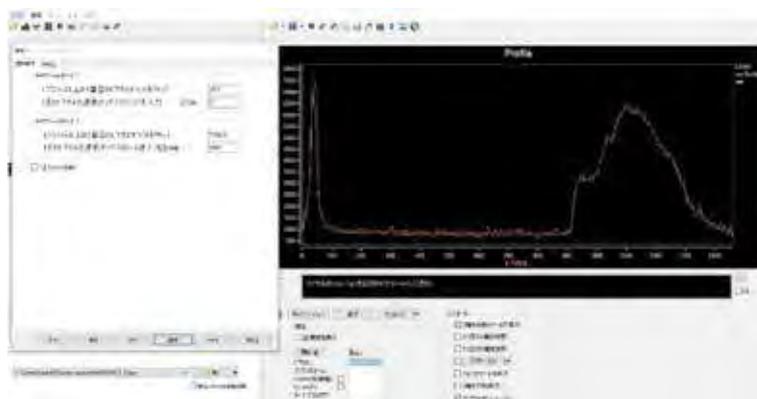


図30 波長のキャリブレーション

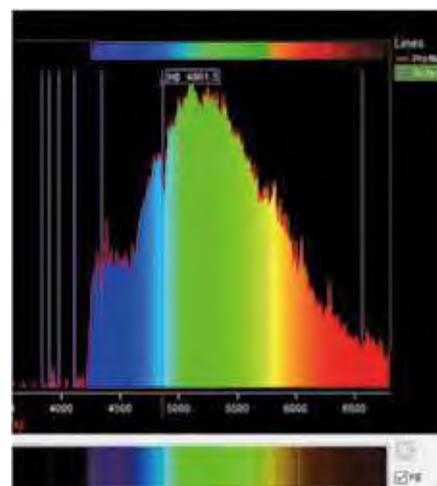


図31 ベガのスペクトルとバルマー系列

-
- [4] 中学校理科3年板書とワークシートで見る全単元・全時間の授業のすべて2分野 金井恭裕・瀬戸治夫・山口晃弘編、2009
- [5] はじめての分光観察、五藤テレスコープ株式会社

2020地域イノベーション研究 vol.8

令和3(2021)年6月

発行 公立鳥取環境大学

地域イノベーション研究センター

〒689-1111 鳥取市若葉台北1丁目1-1

サステイナビリティ研究所内

TEL (0857) 32-9105(代)

FAX (0857) 32-9108

印刷 中央印刷株式会社



Regional Innovation Research 2020

Totteri University of Environmental Studies
Regional Innovation Research Center