

令和4年度「学内競争的研究経費」【グループ研究助成】

No	所属学系	代表者	研究(事業)課題
1	健康・運動・心理学	高原 円	統合失調症長期入院患者における睡眠覚醒リズムと健康の関連
2	経済・経営学	遠藤 明子	高齢者のモバイル決済サービスに関する都市と農村の比較研究
3	自然科学・情報学	大橋 弘範	キノコ廃菌床を活用した避難解除区域内の耕作放棄地の土壌改良に関する研究
4	自然科学・情報学	脇山 義史	人為的影響を受ける「ため池の放射性セシウム観測」から見る福島の再生と課題
5	生物・農学	原田 茂樹	積雪・融雪と蒸発散影響を考慮した水資源動態予測モデルの開発についての研究
6	生物・農学	吉永 和明	キノコ松太郎の香りと機能性成分に関する研究

研究代表者	所属学系・職名 健康・運動・心理学系・准教授 氏名 高原 円
研究課題	統合失調症長期入院患者における睡眠覚醒リズムと健康の関連 Study on sleep-wake pattern of long-term schizophrenia patients
成果の概要	<p>福島県における精神科在院患者の早期退院の促進は喫緊の課題となっている。石田ら(2019)は、精神科病院長期入院患者の身体活動量や体組成について検討し、42.1%が厚生労働省の基準値に比べて身体活動量不足であることを報告した。これは、入院生活の長期化で生活行動範囲が制限されることが原因と考えられ、全ての対象者で不眠症や便秘症など複数の合併症を有していた。不眠症に対して、病院では睡眠薬が投与されることが多いが、これが更なる身体活動レベルの低下を招き、睡眠覚醒リズムの乱れやそれに伴う排便リズムの乱れを悪化させている可能性がある。これまで数多くの知見で、高齢者でも身体活動が高いほど良好な睡眠をとれていることが報告されている (e.g. 橋本ら, 1996)。</p> <p>そこで我々は、統合失調症長期罹患患者における身体活動レベル、睡眠覚醒パターン、健康度および障害程度の評価の関連を検討する。精神症状や健康度の改善、スムーズな退院移行に対する睡眠覚醒リズムの規則性の関与を客観的データにより示す。将来的には、患者の地域への移行過程について、同様に活動レベルの観点から検討し、統合失調症長期入院患者の地域移行を促進する新たな介入プログラムを確立することを目指している。本研究はその足がかりとなる。</p> <p>【調査対象者】 統合失調症長期入院患者における身体活動レベル、睡眠覚醒パターン、健康度および障害程度の評価の関連を検討する。調査対象は、統合失調症に1年以上罹患している統合失調症患者3名 (40代男性, 50代男性および女性)であった。なお、調査の実施にあたってはヒトを対象とする実験及び調査研究等に関する指針に従い、医療創成大学研究倫理審査委員会の承認を得て実施した。</p> <p>【調査内容】</p> <p>(1)基本情報 年齢、性別、主病名、その他の治療中の疾患、入院病棟(開放病棟・閉鎖病棟)、精神科病棟への入院回数(現在・過去)、入院期間・入院歴、作業療法参加頻度、院外への外出頻度、就労経験、喫煙、過去および現在のスポーツ経験、3日以上 の便秘</p> <p>(2)主観的な睡眠指標の評価 アテネ不眠尺度、ピッツバーグ睡眠調査票 (睡眠障害の調査)</p> <p>(3)客観的な身体活動量および睡眠の質の評価 身体活動量の測定には、特定のアプローチで睡眠を判定する機器を使用する(活動量計およびSleepSign Act2)。対象者の腰部に活動量計 (アコース社) を装着して測定する。日中および就寝中の夜間を含め1週間継続して測定を行う。一部の対象者に対しては、マットレス下設置型の睡眠評価装置 (パラマウント社製SleepScan, 申請者数台所有) を追加で使用し、脈拍の測定値を自律神経系評価に用いる。</p> <p>(4)身体測定、体組成評価について 体重, BMI, 体脂肪率, 筋肉量, 内臓脂肪, 基礎代謝量, 体内年齢を得る。(体組成計)</p> <p>(5) 健康および障害の評価 (WHODAS)</p>

世界保健機関による健康および障害の評価である。①認知-理解とコミュニケーション ②可動性-動き，移動して回ること ③セルフケア-自身の衛生をケアし，着衣し，摂食し，自立すること ④人との交わり-他の人々と関わること ⑤生活-家庭の責務を担い，レジャー，職場や学校の場を持つ ⑥参加-コミュニティ活動に加わり，社会へ参加するの6項目。

【結果】

お願いした研究参加者のうち，50代男性については，最後までデータ取得を継続することができなかつたため，残る2名のデータを図1に示す。青地部分が夜間睡眠とアルゴリズムにより推定された部分であり，睡眠中に活動量の上昇が見られるのは，中途覚醒を示している。

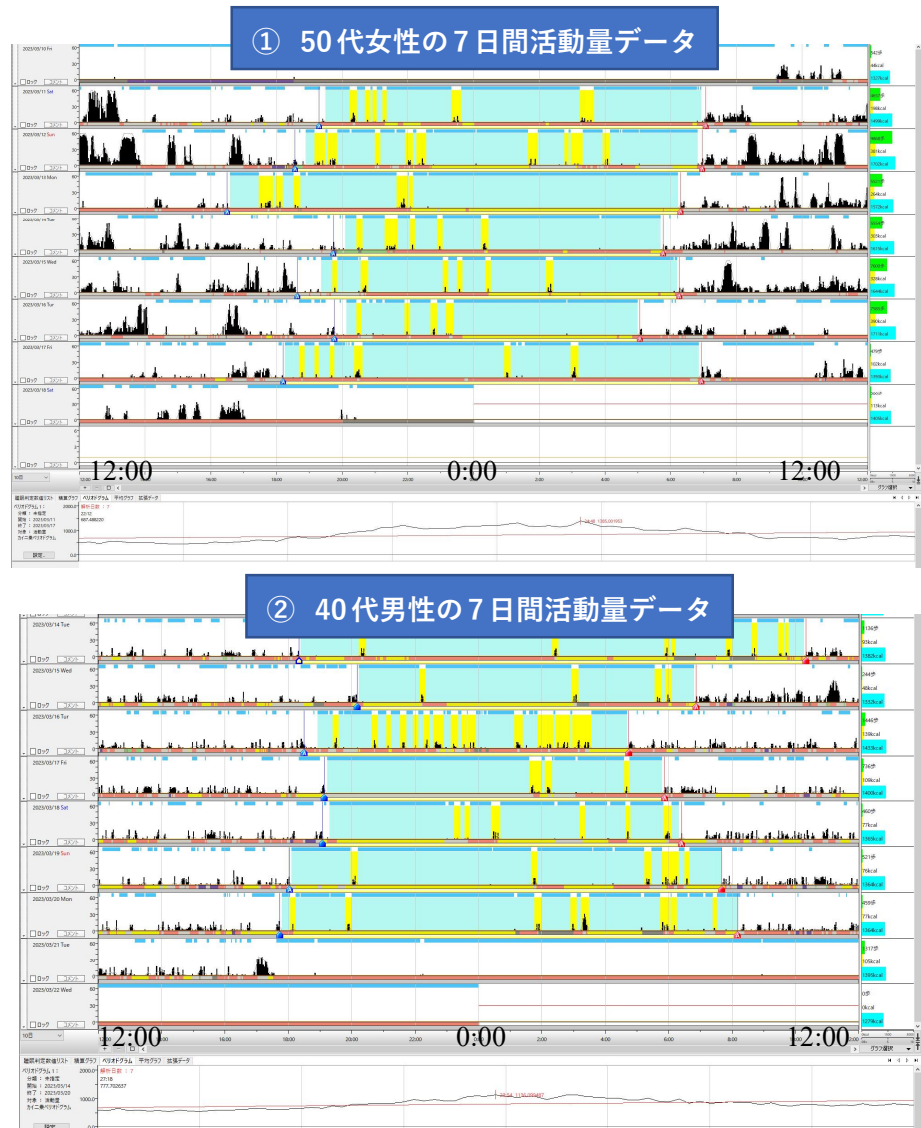


図1 長期統合失調症罹患患者の一週間の睡眠覚醒リズム2例

ピッツバーグ睡眠質問票の得点はそれぞれ，女性0点男性9点となり，カットオフ値を超える睡眠障害を有することが示唆された。活動量の記録を見ても，全体的に活動量の低さが目立ち，睡眠と覚醒の区別が付きにくい状態で，中途覚醒の多い日もあることがわかる。この方は地域で訪問看護を受けている患者で，入院患者と比較すると健康状態は良好であると予測されたが，少なくとも

睡眠覚醒リズムの点では、重大な課題を抱えていることが示唆された。また、どちらの患者についても、カイ二乗ペリオドグラムにより活動の規則性を評価したところ、24時間と一致しない様子が確認された。特に男性患者の方で振幅が低く、ピークがワイドで不明瞭になっていることが示された。

【考察】

本研究の結果から、先行研究(Kodaka et al., 2010; Meyer et al., 2022)でも指摘されている統合失調症患者における睡眠覚醒リズムの異常の存在が改めて示唆された。一方で、女性患者は良好な睡眠がとれていたが、男性患者の場合は就床時間が10時間にもわたっており、入眠するまでに120分かかると報告されていた。こうした事例に対しては、睡眠の認知行動療法で用いられる「睡眠制限」を施し、かつ規則的な睡眠覚醒スケジュールを意識させることで症状が改善し、中途覚醒が減る可能性があると考えられた(岡島・井上, 2012)。このことから、統合失調症患者や看護者に対しても適切な睡眠教育を施す必要性がある可能性があり、しかも、ある程度有効性が示されるのではないかと予測された。

本研究により、患者本人が自覚しているよりも深刻な睡眠障害の存在や、背景に潜む睡眠覚醒リズム障害もまた客観的な活動量データにより示された。今後、さらにデータを追加して、健康状態との対応関係を明らかにしていく予定である。

【引用文献】

橋本聡子・本間研一, 2. 生物リズム, 鳥居鎮夫(編), 睡眠環境学, Pp.23-36, 朝倉書店, 1999.

石田沙織・加藤拓彦・田中真・澄川幸志, 精神科病院長期入院患者の身体活動量および体組成に関連する因子の検討保健科学研究, 10(1): 31-38, 2019.

Kodaka, M., Tanaka, S., Takahara, M., Inamoto, A., Shirakawa, S., Inagaki, M., Kato, N., and Yamada, M. : Misalignments of rest-activity rhythms in inpatients with schizophrenia, *Psychiatry and Clinical Neurosciences*, 64, 88-94, 2010.

Meyer N, Harvey AG, Lockley SW, and Dijk D.; Circadian rhythms and disorders of the timing of sleep, *Lancet*, 400, 1061-78, 2022.

岡島義・井上雄一, 認知行動療法で改善する不眠症, すばる舎, 2012.

研究代表者	所属学系・職名 経済・経営学系・教授 氏 名 遠藤 明子
研究課題	高齢者のモバイル決済サービスに関する都市と農村の比較研究 Comparative Study on the Use of Mobile Payment Services by the Elderly in Urban and Rural Areas
成果の概要	<p>背景</p> <p>社会生活におけるデジタル化/スマート化は、大都市圏だけでなく、地方都市・農村部においても喫緊の課題である。少子高齢化が一層進む地方都市・農村部では、生活インフラを、人手ではなく技術によって維持する必要性により迫られているからである。</p> <p>その呼び水の一つがスマートフォン（スマホ）を用いたモバイル決済サービスの導入・普及である。なぜなら決済は誰もが日常的に行うため、生活のデジタル化/スマート化の先鞭として重要な位置を占めるからである。</p> <p>他方、スマホの普及に伴い世界的にモバイル決済が広がっているにもかかわらず、日本でのモバイル決済の普及は未だ充分でない。とりわけ技術に慣れにくい高齢者にとって導入のハードルが高いことは容易に想像できる。</p> <p>しかし日本の高齢者のモバイル決済利用が進まない要因は、学術的に十分検討されたわけではない。現時点で最新データとなる、2021年のスマホ普及率は、60代約70%、70代約40%、80代以上で約12%に及んでおり（総務省、2022「令和3年 通信利用動向調査」）「高齢者はフィーチャーフォン（いわゆるガラケー）だからモバイル決済を使えない」とはもはや言い難い状況にある。さらに、日本の高齢者の中にもモバイル決済利用のリードユーザー（先端使用者）が存在する（はずだ）が、その特徴は学術的にはほぼ手つかずの状態である。</p> <p>目的</p> <p>そこで本研究では、スマホを日常利用する日本在住の中高年を対象に、モバイル決済受容群と非受容群で比較し、モバイル決済の採用条件を探索的に明らかにすることを目指す。ここでスマホ利用者に限るのは、スマホを利用するか否かではなく、スマホを日常的に利用するにも関わらずモバイル決済を利用しないユーザーの特徴をより浮き彫りにするためである。また高齢者だけでなく中年層も加えたのは、年齢階層で比較することによって、高齢者の特徴がより明確になるためである。</p> <p>方法①</p> <p>1つ目は、2次データ（政府統計、業界団体統計、各社プレスリリース等）の収集と整理である。</p> <p>方法②</p> <p>2つ目は、1次データとなる質問紙調査である。</p> <p>データ収集ではインターネット調査会社のパネルを利用した。その理由は、①モバイル決済の利用者はスマホが必須であること、②若者世代だけでなく60歳以上のパネルも有しており、年齢階層、居住地、所得水準などの比較が可能だからである。</p> <p>回答者の絞り込みは、スクリーニング調査と本調査の2段階式で行った。スクリーニング調査では、年齢階層（40代、50代、60代以上）と性別をかけた6グループ各500名ずつ計3,000名に回答してもらった（居住地は日本全国）。その上で、(A)「キャッシュレス決済を、日常的に利用している」、(B)「キ</p>

キャッシュレス決済を、利用経験があるが日常的に利用していない」、(C)「キャッシュレス決済を、利用したことがない層」を、年齢階層(40代、50代、60代以上)にほぼ同数(33-34名)ずつ割り当て、計9グループ(計300名)を抽出した(図1)。

図1：年齢階層×キャッシュレス決済利用度による回答者割り当て

	全 体	代A ： 日 常 利 用 × 4 0 代	代A ： 日 常 利 用 × 5 0 代	代A 以 上 ： 日 常 利 用 × 6 0 代	非B ： 利 用 経 験 × 4 0 代	非B ： 利 用 経 験 × 5 0 代	以 上 非B ： 利 用 経 験 × 6 0 代	4 0 代 ： 利 用 経 験 な し	5 0 代 ： 利 用 経 験 な し	6 0 代 ： 利 用 経 験 な し
全 体	300 100.0	33 11.0	33 11.0	34 11.3	33 11.0	33 11.0	34 11.3	33 11.0	33 11.0	34 11.3
【A】日常利用	100 100.0	33 33.0	33 33.0	34 34.0	-	-	-	-	-	-
【B】利用経験あり、非日常利用	100 100.0	-	-	-	33 33.0	33 33.0	34 34.0	-	-	-
【C】利用経験なし	100 100.0	-	-	-	-	-	-	33 33.0	33 33.0	34 34.0
【A】日常利用／40代	33 100.0	33 100.0	-	-	-	-	-	-	-	-
【A】日常利用／50代	33 100.0	-	33 100.0	-	-	-	-	-	-	-
【A】日常利用／60代以上	34 100.0	-	-	34 100.0	-	-	-	-	-	-
【B】利用経験あり、非日常利用／40代	33 100.0	-	-	-	33 100.0	-	-	-	-	-
【B】利用経験あり、非日常利用／50代	33 100.0	-	-	-	-	33 100.0	-	-	-	-
【B】利用経験あり、非日常利用／60代以上	34 100.0	-	-	-	-	-	34 100.0	-	-	-
【C】利用経験なし／40代	33 100.0	-	-	-	-	-	-	33 100.0	-	-
【C】利用経験なし／50代	33 100.0	-	-	-	-	-	-	-	33 100.0	-
【C】利用経験なし／60代以上	34 100.0	-	-	-	-	-	-	-	-	34 100.0
40代	99 100.0	33 33.3	-	-	33 33.3	-	-	33 33.3	-	-
50代	99 100.0	-	33 33.3	-	-	33 33.3	-	-	33 33.3	-
60代以上	102 100.0	-	-	34 33.3	-	-	34 33.3	-	-	34 33.3
男性	145 100.0	16 11.0	18 12.4	12 8.3	15 10.3	16 11.0	15 10.3	18 12.4	16 11.0	19 13.1
女性	155 100.0	17 11.0	15 9.7	22 14.2	18 11.6	17 11.0	19 12.3	15 9.7	17 11.0	15 9.7

結果①

収集した2次データによって、日本市場で利用可能なキャッシュレス決済(モバイル決済を含む)の市場規模(図2)、サービス分類(図3)、業界年表(紙幅の都合で割愛)を体系的に整理した。日本市場ではキャッシュレス決済の種類や参入企業・規格が複雑化しており、その事自体が普及を妨げる要因の1つとなっている。まずこれをわかりやすく整理することは、モバイル決済普及に関する論点を明確にし、適切な政策立案を行ううえで有益である。

結果②

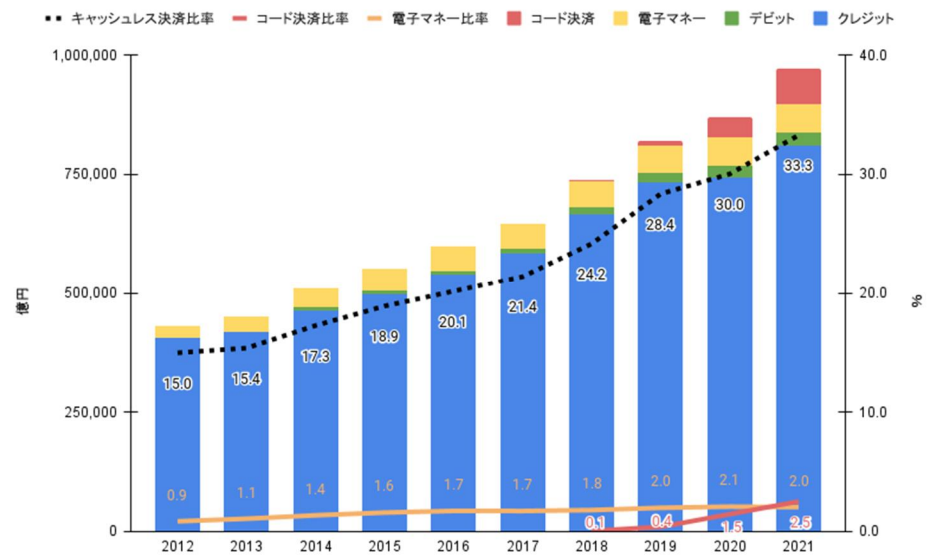
本研究で実施した質問紙調査によって、モバイル決済の高齢者(リードユーザーを含む)による各サービスの認知度および利用度、そして技術トラブルシューティング時の相談相手の有無と種類を明らかにした。日本のキャッシュレス決済(モバイル決済を含む)サービスは年齢階層別データが一般に公表されておらず、高齢者に焦点を当てた研究もほぼ行われていない。したがってとりわけ高齢者のモバイル決済採用行動とその促進条件を明らかにする上で、この調査結果は貢献を期待できる。

今後の課題

大きくは2つある。1つ目は、質問紙調査のデータ分析は現時点では記述統計に留まっているため、推理統計による分析に進め、論文発表に繋げることである。

第二に、都市部と農村部での高齢者対象の聞き取り調査の実施である。本研究は2022年度学内競争的研究資金により進められてきたが、コロナ禍の影響で聞き取り調査については、同資金の研究期間内では当初の予定と比べてわずかししか実施できなかった。そのため2023年度へ持ち越しとなるが、今回の質問紙調査の結果を踏まえることで、よりの確な聞き取り調査を実施したい。

図2：日本のキャッシュレス決済の種別市場規模動向とキャッシュレス決済比率



出典：日本クレジット協会公式サイト、日本銀行決済機構局「決済動向」、キャッシュレス推進協議会「コード決済利用動向調査」、内閣府「国民経済計算」をもとに筆者作成。

図3：日本で利用可能なキャッシュレス決済サービスの種類

種類	コード決済	電子マネー決済	電子マネー決済	EMVコンタクトレス決済	EMVコンタクトレス決済	伝統的カード決済
形態	モバイル	モバイル	カード	モバイル	カード	カード
技術	バーコード/QRコード	NFC Type F (Felica)	NFC Type F (Felica)	NFC Type A/B	NFC Type A/B	磁気または接触型IC
定義	スマートフォンのコード表示/読み取りアプリを用いた、電子的小売決済手段	スマートフォンのNFC Type F (Felica) を用いた、電子的小売決済手段	非接触型ICカードのNFC Type F (Felica) を用いた、電子的小売決済手段	スマートフォンのNFC Type A/Bを用いた、電子的小売決済手段	非接触型ICカードのNFC Type A/Bを用いた、電子的小売決済手段	磁気または接触型ICカードを用いた、電子的小売決済手段
前払い (プリペイド)	ICT系：PayPay/LINEペイ、楽天ペイ、d払い Smart Code (JCB) 連携：au PAY、メルペイ、FamiPay、pring、ANA Pay、EPOS PAY、K PLUS (カシコン銀行)、ギフトテレモ Plus、Payどん、ララ Pay、Lu Vit Pay 銀行系：J-coin Pay (みずほ銀行：43行)	交通系：モバイルSuica、モバイルPASMO、モバイルICOCA 流通系：nanacoモバイル (セブン&アイグループ)、モバイルWAON (AEONグループ) ICT系：楽天Edu；楽天ペイ、メルペイ (ID利用) *いずれもApple PayまたはGoogle Payに登録して使用	交通系：Suica (JR東日本)、PASMO (バスモ)、ICOCA (JR西日本)、SUGOCA (JR九州)、Kitaca (JR北海道)、TOICA (JR東海)、nimoca (西日本鉄道)、manaca (名古屋交通開発機構)、はやかけん (福岡市交通局) 流通系：nanaco (セブン&アイグループ)、WAON (AEONグループ) ICT系：楽天Edu	VISAタッチ決済 (国際的にはVISA Contactless) (VISAプリペイド)、Mastercard Contactless (プリペイド Mastercard) *いずれもApple PayまたはGoogle Payに登録して使用	VISAタッチ決済 (国際的にはVISA Contactless) (VISAプリペイド)、Mastercard Contactless (プリペイド Mastercard)	プリペイドカード
後払い (ポストペイ)	ICT系：PayPay/LINEペイ、メルペイ 携帯キャリア系：d払い	ID (NTTドコモ)、QUICPay+ (JCB) *いずれも前払いと即時払いにも対応しているが主流は後払い *いずれもApple PayまたはGoogle Payに登録して使用	交通系：PiTaPa (スルッとKANSAI) ID (NTTドコモ)、QUICPay (JCB) *IDとQUICPayは前払いと即時払いにも対応しているが主流は後払い	VISAタッチ決済 (国際的にはVISA Contactless) (VISAプリペイド)、Mastercard Contactless *いずれもApple PayまたはGoogle Payに登録して使用	VISAタッチ決済 (国際的にはVISA Contactless) (VISAプリペイド)、Mastercard Contactless、American Express Contactless、JCB Contactless、Diners Club Contactless	クレジットカード
即時払い (リアルタイムペイ)	Smart Code (JCB) ・銀行Pay (GMOペイメントゲートウェイ：ゆうちょ銀行、沖縄銀行、広島銀行、横浜銀行、北海道銀行、北陸銀行、熊本銀行、十八親和銀行、福岡銀行、三井住友銀行) Bank Pay (日本電子決済推進機構：132行)	(なし)	(なし)	VISAタッチ決済 (国際的にはVISA Contactless) (VISAデビット) *Apple PayまたはGoogle Payに登録して使用	VISAタッチ決済 (国際的にはVISA Contactless) (VISAデビット)、JCB Contactless (JCBデビット)	デビットカード (キャッシュカード付属J-Debit含)

出典：各社プレスリリースより筆者作成。

<p>研究代表者</p>	<p>所属学系・職名 自然科学・情報学系・准教授 氏名 大橋 弘範</p>
<p>研究課題</p>	<p>キノコ廃菌床を活用した避難解除区域内の耕作放棄地の土壌改良に関する研究 Study on soil improvement of abandoned farmland using mushroom bed</p>
<p>成果の概要</p>	<p>【本研究の背景・目的】 キノコ栽培は、原発事故復旧後の福島を想定した場合において、森林面積が大きいことから考慮すべき作物である。しかし、キノコ栽培に使用される菌床は、キノコ収穫後に大量に廃棄されることが大きな問題となっている。キノコ業者を含めた多くの研究者において、この廃棄すべき菌床（廃菌床）の利活用について研究がなされている。</p> <div data-bbox="794 510 1417 981" data-label="Diagram"> </div> <p>図1. 私たちの研究の構造図.</p> <p>私たちはこの部分について図1のような構想を抱き、研究を始めた。その中で、私たちが研究で出会ったキノコの廃菌床を熟成・発酵させると、良質な土壌改良剤となる可能性があることがわかってきている。これまでの我々の予備研究では、荒廃した畑に熟成・発酵させたこの廃菌床を肥料のように土壌に投与することにより、それまで作物品質評価Cランクだったものが最高のAランクの作物を収穫できるようになった。熟成（発酵）廃菌床を利用し、避難解除区域耕作放棄地や除染造成によって荒廃した土壌を良質な畑作土壌に改良することを目的としこの実験における評価方法の模索をした上で実験を行った。</p> <p>【研究の成果】 研究を始めるにあたり、作物栽培においてどのような作物が本研究に適しているかを調べる必要があった。耕作放棄地の土壌は、原発事故から10年以上経過しており、追肥の必要があったが、追肥の効果に幅があるため、安易な作物では効果が見えない可能性があった。私たちは、①比較的過酷な環境でも育てることができ、②天候に左右されない、すなわち比較的短期間で収穫できる作物であり、③他の研究結果と比較しやすい、すなわち日本でよく食されている作物の選定を行った。その結果、小松菜にたどり着いた。 次に、評価方法の選定を行った。評価方法は、作物ごとに成分が変わるため当然に変化される。この場合、小松菜に含まれる栄養素として有名な、鉄、カルシウム、βカロテン、アスコルビン酸（L体、ビタミンC）、レチノール活性当量（ビタミンA）に加え、収穫重量を調べることにした。 実験に必要なキノコの廃菌床を有志より分けいただき、これを発酵させた。耕作放棄地の土壌は、福島県の避難解除区域のものをを用いた。土壌と発酵廃菌床を任意比率（10、20%）で混合し、これらに小松菜を播種した。これを福島大学構内のビニルハウス内で育成し、成分の比較を行った。 小松菜の収穫の結果、廃菌床20%混合土壌については通常土壌と変わらない結果が多かったが、廃菌床10%混合土壌については違いが出る結果となった。</p>

数値は割愛するが、鉄やβカロテン、レチノール活性当量や収量については増加した。特に鉄は、土壌のみと比較して、廃菌床を混合した土壌で生育した場合に1.5倍の量となった。収量も10%以上増加していることから、単位株あたりの増加が顕著であったと考えられる。微増であった成分もあるが、収量の増加との相乗効果が見込めた。

一方でカルシウム量や総アスコルビン酸量については減少に転じた。カルシウムの減少は、アクが少なく食べやすいとされている小松菜を生で食すことの可能性を示している。また、総アスコルビン酸量の減少も、生食での可能性を持たせている。このような結果は、同時に行ったSPAD（葉緑素計）のデータによって支持されている。すなわち、土壌のみと比較して、廃菌床を混合した土壌で生育したSPADの値は35%も減少している。青々とした小松菜と比較してやや薄い色であるとSPAD値は主張しており、この場合は若芽と同様柔らかい場合が多い。

ではなぜこのような変化が起きたのか。この理由について、考察を行った。

図2にXRDパターンを示す。土壌は典型的な成分であるが、廃菌床混合土壌については回折ピークは見られなかった。これは、廃菌床自体の粒が大きいことも原因の一つである。生育が促進された一つの要因として、廃菌床による土壌間隙が考えられる。

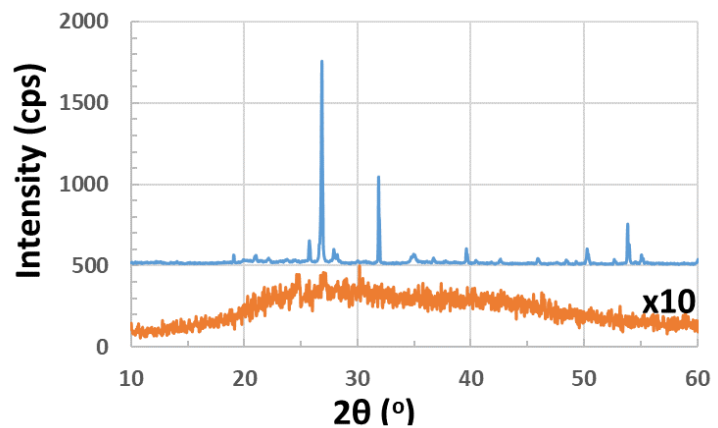


図2. XRDパターン（上）今回使用した土壌、（下）今回使用した廃菌床と土壌の混合物(10倍拡大).

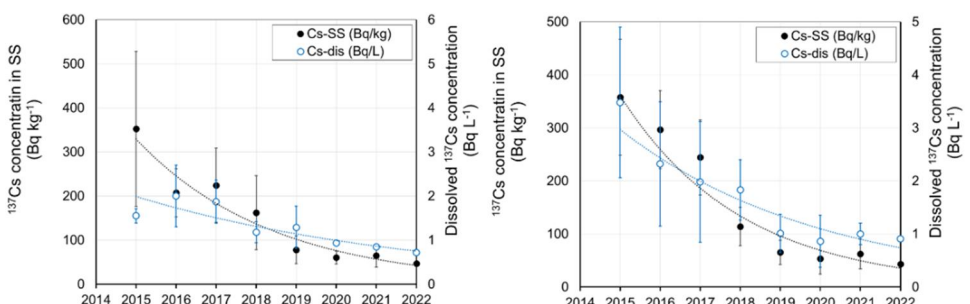
以上をまとめると、発酵廃菌床を用いることで、収量や一部の成分について成分量を増加させることができた。一方、生食への可能性も拓けた。同じ種から、違った効果の野菜を作ることができることで、簡便な成分調整野菜の育種の可能性が見えた。今回、発酵廃菌床自体がまだ完全分解に至らず分解後の効果については調査できなかったが、長い期間をかけて実験することで、効果が表れるのではないかと期待している。

【研究組織】

大橋 弘範（代表者）役割：研究総括

深山 陽子（分担者）役割：栽培手法の検討とその評価方法の構築

杉森 大助（分担者）役割：キノコ廃菌床の調達と特許出願の検討

研究代表者	所属学系・職名 自然科学・情報学系・准教授 氏 名 脇山 義史
研究課題	人為的影響を受ける「ため池の放射性セシウム観測」から見る福島再生と課題 Revitalization and future issues in Fukushima, discovered through radiocesium observation on ponds affected by human activity
成果の概要	<p>【背景と目的・概要】</p> <p>福島県には約3800個のため池があり、水資源として重要な位置を占めている。福島第一原子力発電所の事故によりため池の多くに放射性セシウムが沈着・流入した。放射線によるリスクを抑え、営農や内水面漁業に活用するためには放射性セシウム濃度の現状把握とそれに基づく将来予測が必要である。また、高度に汚染されたため池では除染が実施されてきた。除染の一環として行われる底質除去は効率的に放射性セシウムを取り除く方法であるが、貯留水も含めた底質除去の効果や事後の放射性セシウム蓄積量の変化を追跡した研究は少ない。</p> <p>本研究では、都市域にある除染済ため池1か所、帰還困難区域内のため池3か所（隠居坂、鈴内、下深沢）、復興再生拠点内にあるため池2か所（鮎沢新ため、鮎沢第二）を対象として貯留水および底質の¹³⁷Cs濃度の測定を行い、①ため池貯留水¹³⁷Cs濃度の長期的変化の観測、②底質の¹³⁷Cs深度分布に基づく原発事故直後の貯留水¹³⁷Cs濃度推定、③都市ため池における底質除去の効果および除去後の¹³⁷Cs蓄積量の評価を行った。</p> <p>【方法と結果・成果】</p> <p>① ため池貯留水¹³⁷Cs濃度の長期的変化の観測</p> <p>大熊町内の4か所のため池（隠居坂、鮎沢新ため、鮎沢第二、鈴内）において6月まで2か月間隔、除染が行われた鮎沢新ためを除く3か所では9月以降1か月間隔で採水を行った。2022年度の懸濁態¹³⁷Cs濃度平均値は隠居坂で47 kBq kg⁻¹、鮎沢新ためで36 kBq kg⁻¹、鮎沢第二で36 kBq kg⁻¹、鈴内で43 kBq kg⁻¹であった。溶存態¹³⁷Cs濃度平均値は隠居坂で0.72 Bq L⁻¹、鮎沢第二で0.41 Bq L⁻¹、鈴内で0.91 Bq L⁻¹であった。2022年度に得られたデータを含めて、2015年から観測を継続している隠居坂ため池と鈴内ため池について年平均値の長期変化を図1に示した。2015年から堅調に低下しており、2015年/2022年比で、懸濁物質の¹³⁷Cs濃度は隠居坂と鈴内ため池でそれぞれ83%と87%、溶存態¹³⁷Cs濃度は同じく55%と70%低下していた。</p>  <p>図1. 帰還困難区域内のため池2ヶ所における懸濁物質（SS）の¹³⁷Cs濃度および溶存態¹³⁷Cs濃度の年平均値の長期変化。左図が隠居坂ため池、右図が鈴内ため池における結果を示す。</p> <p>② 底質の¹³⁷Cs深度分布に基づく原発事故直後の貯留水¹³⁷Cs濃度推定</p> <p>隠居坂、鮎沢第二、下深沢において2019年11月に採取した底質コアの分析結果から、底質の¹³⁷Cs深度分布のデータを取得し、Konoplev et al. (2021: Environmental Research, 206, 112307)に記載された計算方法を用いて事故後初期における貯留水</p>

の ^{137}Cs 濃度の推定を行った。推定によって得られた原発事故初期の ^{137}Cs 濃度は、懸濁物質の ^{137}Cs 濃度で $116\text{--}429\text{ kBq kg}^{-1}$ 、溶存態 ^{137}Cs 濃度は $0.906\text{--}8.19\text{ Bq L}^{-1}$ であった。しかし、これらの推定値は過小評価されている可能性がある。図2に示した鮎沢第二ため池の例では、懸濁物質の ^{137}Cs 濃度・溶存態 ^{137}Cs 濃度の実測値と推定値の濃度レベルは概ね一致していたが、図1に示したような原発事故以降の明瞭な濃度低下傾向が再現できていなかった。このような過小評価の原因としては、貯留水中の懸濁物質と底質の粒径の違いや、降水量の年変動に起因する推定値と実測値の時間分割の不一致が考えられた。これらの可能性を検証し、今後より精度の

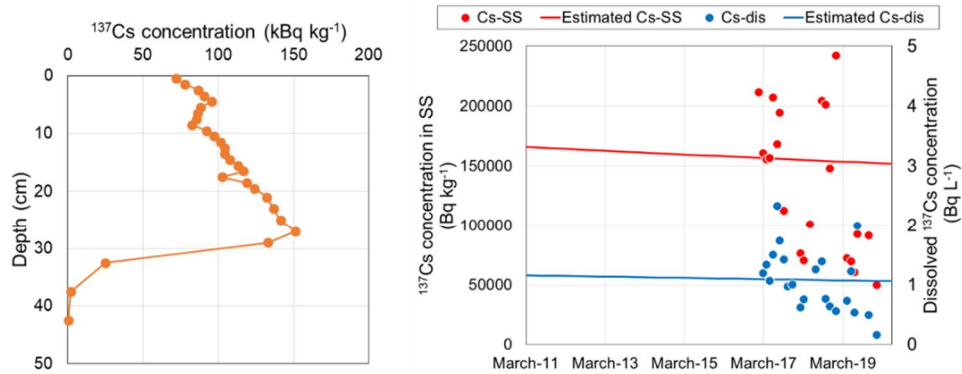


図2. 鮎沢ため池の底質における ^{137}Cs 深度分布（左）と貯留水の懸濁物質の ^{137}Cs 濃度（Cs-SS）・溶存態 ^{137}Cs 濃度（Cs-dis）の時間変化（右）。右図の実線は深度分布に基づく推定値を示す。

高い推定につなげる予定である。

③ 都市域ため池における底質除去の効果および除去後の ^{137}Cs 蓄積量の評価

調査対象地は郡山市の市街地に位置するため池であり、2015年から観測を開始し、2017年に除染の一環として底質除去が行われ、その後2018年に観測を再開した。過去に取得したデータを解析し、底質除去による貯留水・底質の ^{137}Cs 除去効果についての評価を行った。2017年に行われた除染（底質除去）により、底質における ^{137}Cs インベントリーは対2015年比で78%減少し、同じく貯留水の懸濁態 ^{137}Cs 濃度が52%、溶存態 ^{137}Cs 濃度が5%低下した。貯留水の ^{137}Cs 濃度を集水域の平均 ^{137}Cs 沈着量で除して正規化 ^{137}Cs 濃度を算出したところ、阿武隈川などの河川水と比べて、底質除去後も3.8倍高い値となった。これらの結果から、都市域から高濃度の放射性セシウムをもつ懸濁物質が流入していることが示唆された。以上の結果をまとめ、国内学会での1件の発表を行い（黒澤ほか, 2022, 2022年日本地球惑星連合大会@千葉）、国際論文1報を公表した（Kurosawa et al., 2023, Land, 12, 519）。

2022年度は、6月、7月、9月、11月に貯留水・流出水・流入水の採取・分析を行い、11月にはため池内7か所で底質の柱状コアを採取・測定した。貯留水における懸濁態・溶存態 ^{137}Cs 濃度の平均値は、それぞれ 0.37 Bq L^{-1} 、 0.029 Bq L^{-1} であった。同じく底質の ^{137}Cs インベントリー平均値は 0.32 MBq m^{-2} であった。2022年度に得られた値を含めて、対象としたため池における底質 ^{137}Cs インベントリーと貯留水の ^{137}Cs 濃度の長期的変化を図3に示した。前述のように2017年の底質除去により ^{137}Cs が相当量除去されており、除去後は概ね 0.3 MBq m^{-2} でほぼ一定しており、明瞭な蓄積量の増加は見られなかった。貯留水の ^{137}Cs 濃度は底質除去後の2018年に一時的な上昇が見られたが、2019年以降は変動を伴いながらも除去前に比べて低い値で推移している。ただし、依然として阿武隈川などの主要河川と比べて貯留水の ^{137}Cs 濃度が高い値を示しており、 ^{137}Cs の流入・流出量の観測や高濃度の ^{137}Cs の起源推定が今後の課題として挙げられる。以上の結果を取りまとめ、国際学会での発表1件（Kurosawa et al., 2023, European Geoscience Union General Assembly 2023@Vienna）、国内学会での発表1件（黒澤ほか, 2023, 2023年日本地球惑星連合大会@千葉）を予定しており、並行して投稿論文の作成を進めている。

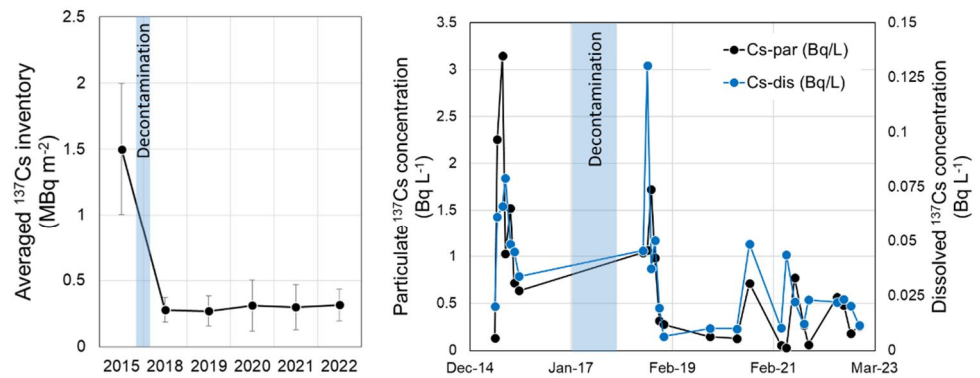
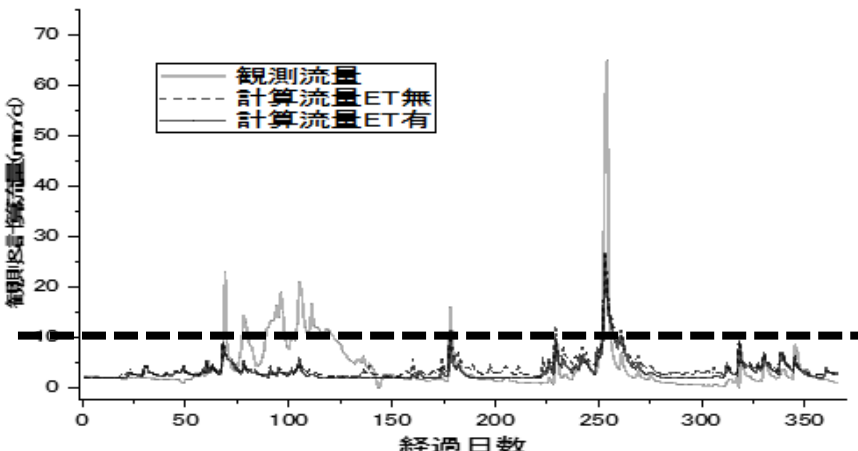


図3. 都市域ため池における底質の¹³⁷Csインベントリー年平均値の変化（左）と懸濁態・溶存態¹³⁷Cs濃度の変化（右）。2017年に除染（底質除去）が実施された。

【まとめ】

ため池貯留水に¹³⁷Cs濃度の長期的な変化を定量的に評価することができた。帰還困難区域内のため池では原発事故初期に比べて¹³⁷Cs濃度は着実に低下していることが確認された。その低下の割合は、溶存態よりも懸濁態で大きいことがわかった。また、底質除去により相当量の¹³⁷Csが除去されること、貯留水の¹³⁷Cs濃度が低下することが確認された。一方で、都市域のため池では底質・貯留水とともに¹³⁷Cs濃度が主要河川に比べて高いという結果が得られており、集水域からの流入や底質に残存した¹³⁷Csの溶脱や巻き上がりが原因になっている可能性がある。今後、¹³⁷Csの供給源や輸送プロセスに着目した研究を展開することにより、¹³⁷Csの動態の理解深化や放射性物質汚染対策の効率化に資する知見の提示が期待される。

研究代表者	所属学系・職名 生物・農 学系・教授 氏 名 原田 茂樹
研究課題	積雪・融雪と蒸発散影響を考慮した水資源動態予測モデルの開発についての研究 Study on the runoff behavior of water from the forestry area considering the effects of snowcovering, snowmelting and evapotranspiration
成果の概要	<p>1. 長期流出モデルの構築：蒸発散と融雪影響の検討</p> <p>仙台市近郊の大倉川において、降雨量、観測流量データを保持しており、タンクモデルによる流出解析を続けてきた。定義流量観測所の後背地は、そのほぼ全面を森林が占め、流域一括モデル（Lumpedモデル）の適用に適した流域であることを確認した。降雨量は後背地近傍の新川と泉ヶ岳の2点での計測値から算出した値を与えることとした（泉ヶ岳と新川の高度差は降雨割増係数により考慮している）。2011~2016年の6年分のデータセットを用いタンクモデルのパラメータを同定した（3年分をキャリブレーションに用い、残りの3年分で検証した）。蒸発散（以下、ETとする）を考慮しないときのRMSE（Root Mean Square Error）は6年間の平均で4.93であった。月平均ETを可照時間と気温により計算できるHamon式で求め、マイナスの降雨としてタンクモデルに与えた場合にはRMSEは4.03に改善された。2015年の流量観測値、ETを考慮しない計算値と考慮する計算値（それぞれRMSE=4.80と3.55）を図1に示す。</p>  <p>図1 大倉川における2015年の観測河川流量と計算流量（2015年）</p> <p>点線で示した5mm/日の流量以下の低流量時（年間283日）において、ETを考慮した計算値が観測値に近づいている。これらより、長期流出解析は用いたタンクモデルで実施可能であり、特に低流量時の予測精度はHamon式によるETの導入で上がることがわかった。一方、経過日数75~135日（3月半ばから5月半ば）は降雨が記録されていないのに、観測流量が計算流量を大きく上回っている。これは融雪流出であり、その考慮の必要性が確認された。気候変動により積雪・融雪の動態は大きく変化することが予測され、東北地方の流出解析を行うモデルにおいては融雪挙動を考慮することが必要であることがわかった。</p> <p>2. ET（蒸発散）の導入方法検討</p> <p>Hamon式よりもPenman-monteith式が精度よくETを予測するとされているが、東・岡（植生の高さや風速影響を考慮している）式による計算値の方が実測値</p>

に近いことが示されている。しかしここで対象としている長期流出解析のために、日変動よりも月変動に注目した場合、東・岡の式で計算した月間ET量はHamon式による月間ET量と同等であった。したがって簡易式としてとらえられることが多いHamon式は長期流出解析においては十分な精度をもっているといえる。そのほか、提案されているいくつかのET算定式に準じて、土壌水分量の影響を考慮することも試みた。タンクモデルを構成する1段目タンクの水位を地表面の体積含水率に換算し、流量変動への影響を考察した。体積含水率が大きい時にはET値に与える土壌水分量の影響はない。しかし体積含水率が小さい時にはET値を律するという影響がある。しかしその結果としてETは小さくなるため流量変動に与えるETの影響そのものが大きくないという結果が得られた。これらのことから、図1に示される観測流量と計算流量が一致していない場合の対策としては、ET値の与え方の改善よりも、後背地近傍のもう一点の降雨量を何らかの方法でもとめ、3地点のデータによる面雨量を求め、タンクモデルに用いる降雨量の与え方を改善する方が効果的であることが推察された。

3. 安定同位体比による融雪期判定について

大倉川での2013~2016年、2019年の硝酸イオンの酸素安定同位体比 ($\delta^{18}\text{O}-\text{NO}_3$) の計測結果 (山梨大学国際流域研究センター) を図2に示す。値の高まる時期が、融雪水依存度が高いことを示しており、その変動は年ごとに異なる。しかし河川水量の変動とよく一致しており、安定同位体比によって大倉川後背地の融雪期を判定できる可能性が高いことを示している。

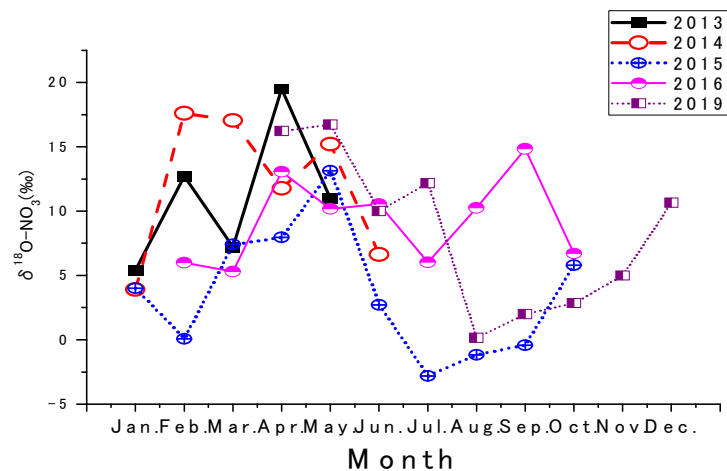


図2 大倉川での5年間分の硝酸態窒素中酸素の安定同位体比 ($\delta^{18}\text{O}-\text{NO}_3$)

一方、油井川の下流部に設けた採水定点での硝酸態窒素中酸素の安定同位体比 ($\delta^{18}\text{O}-\text{NO}_3$) は、図2に示されたような2-5月の値の高まりを示さなかった。この原因として、安達太良山から距離がありかつ採水定点の上流に山の入ダムがありバッファーとなっていること、生活排水や農業用水の流入があり融雪の情報をもったもの以外の硝酸態窒素が流入している可能性があること、月一度の計測が月の平均的特性を表さないこと、などが考えられる。硝酸態窒素の窒素安定同位体比 ($\delta^{15}\text{N}-\text{NO}_3$) も同時に計測しており、上述した流入汚濁の挙動が解析できる可能性があることから、改善策として、今後、月一度よりも採水頻度を上げること、山の入ダムに近い地点での採水を行うことを検討している。

4. 油井川でのタンクモデル構築について

前項での解析から、ダムでの滞留効果と生活排水や農業用水の流入の可能性

が示唆されていることから、この地点での流量予測にタンクモデルを適用することは適切ではないと判断した。しかし河川下流部での流出負荷量算定には意義があることから採水時の水質データと流量から負荷量変動を求めることを目的として、流量データの蓄積を試みた。採水地点の下流で福島県による水位計測が行われており10分おき及び1時間おきのデータが得られることから、水位-流量換算式を求めるために流速の浮子法および電磁流速計(農業総合センター)計測法による把握を行い、河川断面積との積により流量データ取得を開始した。今後、流量データの蓄積により、水位-流量式を構築し負荷量算定を行うことを検討している。なお、タンクモデル構築を行うために、安達太良山よりの山の入ダムにおける降雨データ・流入流量・放流流量を収集中である。

5. 低頻度採水データの活用を目的とした新しい負荷量算定式の提案

先行降水量による流出負荷量に推定について検討を行った。融雪、積雪、乾燥状態など地表面状態が違う場合には流出機構(タンクモデルで言えば、表面流出・速い中間流出・遅い中間流出・地下水流出の4つの流出成分の挙動)が変化する。このとき、地表面状態によりデータ集団を分割する考えをもてば、先行降雨量は「土壌の湿潤状態」と「流出成分を構築する森林へのインプット」の2つの意味をもっていることから、先行降雨量による流出負荷量の算定が可能になる。先行期間としては7日間が大倉川の後背地では最適であることが明らかとなり、先行7日間降水量-流出負荷量の散布図を溶存態シリカ、COD、TNについてプロットしたところ、地表面状態の違いにより分割データ集団が構築できることが示された。先行7日間降水量を変数として負荷量を予測するという方法とすることができる可能性が示唆された。一般的には瞬間流量を変数として負荷量を予測するL-Q式が用いられるが、先行7日間降水量は各プロットにおける瞬間流量よりも変化幅が小さいため、L-Q式に比べて、低頻度データへの応用性が高いと考えられ、負荷量算定における採水の高頻度化という制約が解決できる可能性がある。

別途、流量による負荷量算定手法についても検討を行った。指数型L-Q式(負荷量-流量式)を用いた期間内平均流出負荷量算定法について、指数値が算定結果にあたるセンシティブリティについて統計学的な検討を行い、以下の発表論文1に示した負荷量算定プロトコルの有効性を確認した。

主な発表論文：

- 1) Tanno, A, Harada, S, Takahashi, N (2022) Examination of bias of dry weather spot flow rates compared to the mean flow rates of four periods in three mountain streams with different characteristics: verification of the usage of spot-flow rates to estimate mean discharge loads and implications for appropriate sampling strategies, Hydrological Research Letters, DOI: 10.3178/hrl.16.47, pp.47-53
- 2) 原田茂樹、岸本拓之、越川海 (2022) 仙台市近郊大倉ダムにおける溶存態シリカの放流と滞留についてのダム放流濃度の推定手法の検討を通じた解析、用水と廃水、64(2)、39-46
- 3) 原田茂樹、及川瞳、中村高志 (2023) 地表面状態の違いを考慮した溪流への流出負荷量推定手法の提案：低頻度・長期間データ活用のための先行降水量データの利用 応用水文、35、47-56

研究組織(職位は研究期間中のものを示す)

代表者 原田 茂樹 福島大学 食農学類 生産環境学コース教授
分担者 牧 雅康 福島大学 食農学類 生産環境学コース准教授
分担者 深山 陽子 福島大学 食農学類 農業生産学コース准教授
分担者 五十嵐康記 福島大学 環境放射能研究所 特任講師

研究代表者	所属学系・職名 生物・農学系・准教授 氏名 吉永 和明
研究課題	キノコ松太郎の香りと機能性成分に関する研究 Study on flavor of Matsutaro mushroom.
成果の概要	<p>【背景・目的】 椎茸と松茸の細胞融合によって作成されたハイブリッドキノコ「松太郎」は、優れた旨味と食感、松茸の香りを持つキノコで人工栽培され市販されている。ところが、松茸の香りが安定しない点が大きな課題となっている。香りの安定化ができれば、さらに販売量が伸び、地域貢献にも繋がる。 そこで本研究では、「松太郎」の香り成分を解析し、香り成分合成に関与する遺伝子を推定することを目的とする。</p> <p>【方法】 サンプルとして、松太郎の傘と柄に分離しそれぞれの香り成分をSPMEファイバー法にて捕集し、GCMSにて測定した(図1)。</p> <p>装置</p> <ul style="list-style-type: none"> ・多機能オートサンプラ：AOC-6000 ・トリプル四重極型GC-MS：GC-8050NX <p>分析条件</p> <ul style="list-style-type: none"> ・注入法：スプリットレス ・注入口温度：250℃ ・カラム：InertCap Pure-WAX (30 m × 0.25 mm, 0.25 μm) ・オープン温度：40℃ (3 min保持) → 10℃/min昇温 → 250℃ (10 min保持) ・カラム流量：1.0 mL/min (キャリアガス：ヘリウム) ・トランスファーライン温度：250℃ ・イオン化モード：EI (電子エネルギー：70eV) ・イオン源温度：200℃ ・測定モード：スキャン (<i>m/z</i> 50-550) <p>SPME</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ファイバー：DVB/Carbon/PDMS (RESTEK) ・ヘッドスペースバイアル容量：20 mL ・試料：検体 1 g ・加熱温度：40℃ ・抽出時間：10 min <p>【結果・考察】 松太郎の傘と柄について香り成分分析を行った。測定を行った香り成分は、松茸の香り成分として知られる3-オクタノン、1-オクテン-3-オン、3-オクタノール、1-オクテン-3-オール、1-オクタノール、桂皮酸メチルの6成分である。図2にそれぞれの測定結果をまとめた。</p>

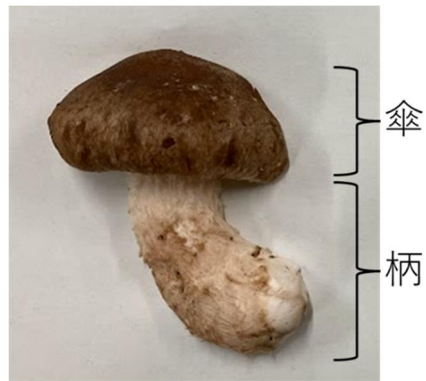


図1 松太郎の写真

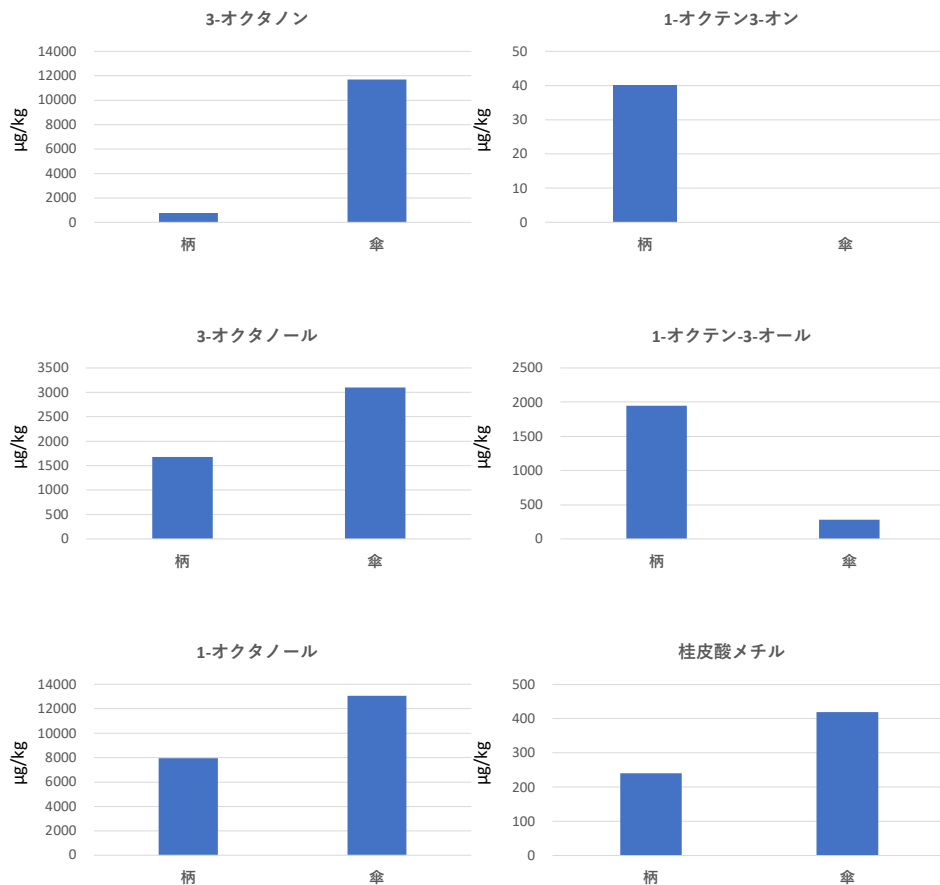


図2 松太郎の傘と柄の各種香気成分 (µg/kg)

測定値より、柄に多く含まれる香気成分は、1-オクテン-3-オン、1-オクテン-3-オールであり、傘に多く含まれる香気成分は、3-オクタノン、3-オクタノール、1-オクタノール、桂皮酸メチルであった。

香気成分の中でも1-オクテン-3-オールは、別名マツタケオールともよばれる松茸の香りのキーフレーバーの一つでもある。キノコの香気生成を調査した過去の研究(参考文献1)では、1-オクテン-3-オールの合成経路を図3のように提唱している。この合成経路中の酵素リポキシゲナーゼ (LOX) は、キノコの傘よりも柄において強い活性を示すという研究もあることから、本研究において、1-オクテン-3-オールが柄の部分で多く含まれるという結果は、松太郎の1-オクテン-3-オール生成にLOXが関与している可能性が示唆された。

また、桂皮酸メチルも、1-オクテン-3-オールと同様に松茸の香りのキーフレーバーである。過去の研究(参考文献2)では、L-フェニルアラニンから桂皮酸メチルが生合成されることが報告されており、また、桂皮酸カルボキシルメチルトランスフェラーゼなどの酵素が働いていることが示唆されている。そのた

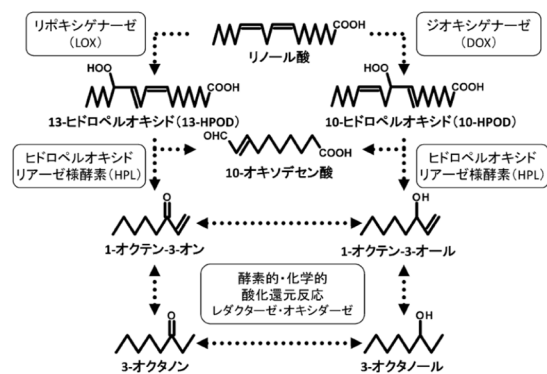


図3 キノコ香気成分の合成経路 (参考文献1)

め、先述の酵素が松太郎の傘と柄のどちらで強い活性を示すのか精査することで桂皮酸メチル生成メカニズムを推定できると考えられる。

これらの結果から、松太郎が持つ松茸香の元となる香気成分の合成経路に関わる酵素が推定できた。今後も、松太郎の松茸香向上に向けた研究を進めていく予定である。

【組織】

- ・生物・農学系・教授 平 修
- ・応用理工学系・教授 杉森 大助

【参考文献】

1. 城 斗志夫, 工藤 卓伸, 田崎 裕二, 藤井 二精, 原 崇. キノコの香気とその生合成に関わる酵素. におい・かおり環境学会誌 (2013).
2. Takefumi Hattori, Hiromitsu Tsuzuki, Hiroe Amou, Kumio Yokoigawa, Masanori Abe, Akira Ohta. A biosynthetic pathway for (*E*)-methyl cinnamate formation in the ectomycorrhizal fungus *Tricholoma matsutake*. *Mycoscience* (2016).