

# 生涯健康科学ジャーナル

## Journal of Lifelong Well-being Sciences

No. **5** 2026年 3月

- ◆論文 静岡多目的コホート研究事業の歩みと展望  
田原 康玄 .....1
- 米国オレゴン州におけるコンセプトを基盤にした学習活動の視察報告  
長野 弥生・細田 泰子・片山 由加里・勝山 愛・古川 亜衣美・根岸 まゆみ.....5
- 低強度運動と軽度の体温上昇が CO<sub>2</sub> に対する呼吸化学感受性に  
及ぼす影響  
林 恵嗣・杉山 康司 .....12
- 野菜加工残渣のアップサイクルによる飼料用ミズアブ  
(*Hermetia illucens*) の生産と水産飼料としての利用検討  
酒井 麻衣・大原 裕也・井戸 篤史・三浦 猛・小林 公子.....20



## 静岡多目的コホート研究事業の歩みと展望

田原 康玄<sup>1)</sup>

1) 静岡社会健康医学大学院大学

**抄録** 地域住民を対象としたコホートは、電気、瓦斯、水道と同じく社会のインフラである。国民の健康状態、生活習慣、疾病の状況を適時適切に把握し、リスク因子と疾病との関連を知ることなくして国民の生命を守ることはできない。また、日本人の特徴は常に変化しており、健康課題も時代ごとに異なる。従って国内のどこかで常に最新のコホートが走っていなければ、社会からの要請や国民の負託に応えることはできない。静岡多目的コホートは国内で最後発のコホートである。言い換えれば、現在の日本人の特徴を良く反映している我が国で最新のコホートであり、コホートから導かれる知見には全国から大きな期待が寄せられている。本稿では、この5年間で我が国のコホート研究の一翼を担うまでに成長した静岡多目的コホートについて概説する。

**キーワード:** 地域住民コホート、循環器疾患、フレイル、サルコペニア、認知症

### 静岡多目的コホート研究事業とは

静岡多目的コホート研究事業（静岡コホート）は、静岡県内の複数の市町をフィールドに2万人規模を目標に取り組み大規模コホート研究である。2021年度に伊豆半島南部の1市5町を対象に開始した賀茂コホート（かもけん!）を皮切りに、2023年度からは袋井市（ふくけん!）へ、2025年度から島田市（しまけん!）へと順次規模を拡大している。静岡県では健康課題に東西格差があり、東部では血圧が高く、西部では血糖が高いといわれている。そのため県内各地でコホートを設定することで、代表性の高いコホートを構築する計画とした。

### ベースライン調査

コホート研究では、ベースライン調査で様々な臨床情報や生体試料を収集し、その後に発症するアウトカムとの関連を解析することでリスク因子を解明する研究手法である。そのためベースライン調査でどのよう

な情報や試料を収集するかがコホートの成否を決める重要なポイントであり、数十年先を見越して調査項目を設定する必要がある。ただし、項目を増やせば対象者の負担も増え、かつ原資の確保や調査を担うスタッフを揃えることも難しくなる。当然ながら侵襲性の高い検査や高コストな検査は困難である。そのような条件を勘案しつつ、現在から近未来において社会から必要とされる知見を導出し続けるコホートを築くためには、様々な学術成果を俯瞰的に勘案しつつ、極めて慎重かつ大胆にベースライン調査をデザインしなければならない。

静岡コホートでは、他県に比して静岡県で標準化死亡比の高い脳血管障害、人口構造の変化に伴う新たな健康課題である高齢者のフレイルや認知症をターゲットに据えた。当該目的を達成するため、ベースライン調査では循環器疾患のリスク因子について情報を収集するとともに、身体機能や認知機能の検査なども充実している（表1）。フレイルや認知症は、ある日、突然

に発症するのではなく、生活習慣病への長期的な罹患が一因でもあることから、生活習慣病、循環器疾患、フレイル、認知症を包括して検討できる環境を整える

ことは、個々の疾患の研究からは捉えることができない知見を得ることができると期待している。

分類	検査項目
身体組成	内臓脂肪量(CT法)・ウエスト(臍部・最大値)・身長・体重
筋量・筋力	四肢骨格筋量(BIA法)・大腿部筋面積および筋内脂肪蓄(CT法・超音波法)・骨密度(超音波法)・握力・歩行速度・下肢筋力(膝伸展・股関節内転等)・足底感覚・横隔膜厚・片脚立位時間
脳血管障害	頭部MRI:無症候性脳梗塞・白質病変・微小出血・VBMによる領域別体積
循環器	血圧(随時血圧・起立性血圧変化・24時間自由行動下血圧)・脈波伝搬速度・頸動脈肥厚・心エコー
血液・尿	耐糖能(血糖/HbA1c/インスリン)・アディホカイン(アディポネクチン/レプシン)・臓器障害(BNP/微量アルブミン/シスチンC)・炎症(高感度CRP・TNFα)・終末糖化産物(AGEs/RAGE)・脂質亜分画(sdLDL)・その他一般検査
身体活動	重心動揺・日常生活活動(3次元ジャイロ活動計)
眼科	屈折率・網膜動静脈径・網膜光干渉断層撮影・角膜曲率・加齢黄斑変性・眼圧・視力
歯科	歯数・咬合・咀嚼能力・顎運動
呼吸器	睡眠呼吸障害・睡眠(睡眠時間/睡眠中断/入眠・起床潜時等)・ピークフロー
認知機能	軽度認知障害(MoCA-J)
その他	食塩摂取量(24時間蓄尿法)・栄養調査(質問紙法)・電力使用量

表1 静岡コホートで収集している主な臨床情報（一般的な検査項目以外）

一般的なコホートでは、服薬の情報は質問票調査、お薬手帳を参照することで把握することが多い。ただし、前者の方法では思い出しバイアスが避けられず、後者の方法では手帳の情報をデジタル化するために膨大なコストがかかる。本学では、県内の全ての市町から国民健康保険、または後期高齢者医療制度に加入している方の2012年度以降の医療・介護レセプトと特定健診データの提供を受け、個人ごとにユニークなIDで長期縦断的にデータを連結している(Shizuoka Kokuho Database: SKDB)。静岡コホートは、対象者をこれらの健康保険加入者に限定することで、服薬の情報を正確かつ容易に把握できるようにデザインした。また、対象者の病歴や併存症などもSKDBの情報から把握可能である。このように、コホートと医療ビッグデータとを連結するスキームを事前に整えた上でスタートしたコホートは全国的にも極めて少ない。

このような臨床情報に加え、ゲノムの分析も進めている。末梢血からDNAを抽出し、まずはゲノム網羅的な一塩基多型解析を進めている。来年度中には、まずは数千人規模で全ゲノムシーケンスも行う計画であり、いわゆる体質と疾患との関わりについても研究を進めていく。静岡コホートは市町の特健診も兼ねているため、ベースライン調査では健診に必要な分も

含め、42ccの採血を提供して頂いている。一般的な血液検査項目や当面の研究に必要な項目を分析した残りの試料は、小分けにして凍結保存しており、将来、新たな分析手法が確立された場合に備えている。

### 追跡調査

静岡コホートでは、まずは循環器疾患(脳血管障害・虚血性心疾患)、要介護認定、総死亡をアウトカムとして追跡調査を実施している。このうち総死亡については、市町の協力を得て、住民基本台帳に基づいて死亡日を特定している。加えて人口動態統計の目的外利用を申請し、死亡小票を参照することで死因を把握している。かつて、死亡小票は保健所でしか閲覧できず、かつ複写が禁じられていたため手書きで転記していたが、近年では電子データとして提供を受けることが可能になったため、利便性が格段に高まった。

一方、循環器疾患については、SKDBと連携することで発症疑い例を特定している。一般的なコホートでは、対象者が治療を受けることが想定される医療機関におけるカルテ調査から発症を特定する方法を採用している。しかし、静岡コホートは対象地域が広範であり、かつ居住市町外の医療機関を受診することも想定されるため、上記のような方法でなければ循環器疾患の発症

を網羅的に特定することは難しい。このスキームは、循環器疾患だけでなく他の疾患にも応用できる点もメリットである。ただし、レセプトデータだけでアウトカムを精度良く特定することは困難であるため、疑い例が特定された場合は当該医療機関において採録を行う段取りを整えている。

### 実施体制

本学は社会健康医学研究科のみの単科の大学院大学であり、1学年の定員は修士課程が10名、博士課程が2名である。学生数に比して教員数は恵まれているが、

それでもコホートを維持するためのマンパワーが不足していることは否めない。そこで静岡コホートでは、本学以外の大学や研究機関の研究者、企業にも門戸を開き、全国から多くの協力者を得て事業を運営している（図1）。コホートへの関わり方は様々であるが、多様な専門性を持つ人材が集うことでデータの分析や研究にも深みが増している。また、研究者同士の横の繋がりが広がることも、静岡コホートに参加するメリットといえよう。それぞれの研究者が静岡コホートでの研究で外部資金を獲得することも多くなり、静岡コホートが知と人材の拠点となりつつあることを実感している。



図1 静岡コホートの連携機関

### 情報管理

大学内にコホート事務局専用の部屋を確保し、情報を一元管理している。具体的には、事務局に専用のサーバーを置き、閉じた（外部に接続していない）ネットワークを構築して、情報を管理している。紙情報も含めて情報は全て電子化し、4重にバックアップすることで情

報の遺失を防いでいる。事務局には専用のICカードがなければ入室できない。また、大学の入り口からIC認証を2回通過しなければ事務局まで辿りつけないため、外部から物理的に侵入することも極めて難しい。

クリーニングを終え、仮名化された解析用データセットは、Amazon Web Services (AWS)上に構築した仮想

デスクトップで解析を行う環境を構築した。このような環境を整えることで、データの遺失や散逸を防ぎつつ、全国の共同研究者が本学以外の場所からも分析を行うことができるようにしている。自前のPCで分析する場合と比べればやや不便であるが、安全性と利便性を両立する最適解と考えている。

## 研究成果

静岡コホートはスタートして間もなく、まだ横断面での研究しか実施できないが、幾つかの研究論文を発表するに至った。一例として、家庭での血圧管理に室温が極めて重要であることを報告したり、高血圧は循環器疾患の最大のリスク因子であり、高血圧の対策や予防には減塩、増カリウム、減量、節酒が有効であることは論を待たない。このような生活習慣要因に比し、環境要因、特に室温を整えることで不要な血圧上昇を抑制することの大切さに注目が集まっている。しかし、過去の同種の研究では外気温との関連を検討した成績が殆どであり、血圧を測定したその時点での室温の影響は十分に明らかになっていなかった。静岡コホートでは、対象者に家庭血圧計を配付し、朝と晩、および睡眠時の血圧測定を依頼している。この血圧計には温度計が内蔵されており、血圧を測定した時点での室温も同時に測定できる。779人を対象に1~2月に実施した1週間の測定値を分析すると、室温が1℃低下するごとに収縮期血圧が1 mmHg 上昇し、測定した室温の範囲(9~21℃)では12 mmHgの差が生じることが判明した。国民の平均血圧が2 mmHg 低下すれば脳卒中死亡者は約1万人、循環器疾患死亡は約2万人予防できると試算されている。家庭での血圧管理において、生活習慣を適正に保つことはもとより、暖房や断熱などで環境を整えることも循環器疾患予防に重要であることをメッセージとして発信した。

フレイル研究では、咀嚼力の低下と体格やサルコペニアとの関連を報告した<sup>2)</sup>。静岡コホートでは、咀嚼グミを用いて咀嚼力を判定している。具体的には、市販品(菓子)よりやや固いグミを30回咀嚼してもらい、その断片数を咀嚼力の指標としている。咀嚼力には残存歯数や噛み合わせ、歯周疾患など様々な要因が関連するが、原因はともかく、個人の咀嚼力を総合的に評価す

る指標として断片数は有用であると考えている。1,440人を対象とした分析の結果、咀嚼グミを用いた客観的な咀嚼力と本人の自覚とは大きな乖離があり、グミを殆ど粉碎できない集団において、約4割は「なんでも噛める」と回答した。客観的な咀嚼力が低い群の特徴として、女性では体重やウェスト周囲径が大きく、男性では四肢骨格筋指数が少なく、握力が弱く、歩行速度が遅いことが明らかになった。このような関連は、自己申告の咀嚼力には認められなかったことから、高齢者のサルコペニアリスクの評価において、客観的な咀嚼力の評価が有用であることを提示した。

## おわりに

本学や他大学の研究者・スタッフのみならず、コホート設定した市町の方、県健康福祉部の多大なる協力を得て、静岡コホートは順調に船出した。国内に静岡コホートに匹敵する規模と情報量を持つコホートを新たに立ち上げることは当面難しいであろう。コホートは、ベースラインの情報を集める上でも多くの人材が必要であるが、それを長期的に維持していくためにはさらに多くの人材が必要であり、次の世代を担ってくれる若手も必要である。気がつけば私も50代後半に差し掛かり、今の大学生は私がコホート研究を始めた後に生まれた子ども達である。本稿を読まれた方が静岡コホートに興味を持ち、次世代、次々世代を担う高い志をもってドアをノックして下さることを心待ちにしている。

## 引用文献

- 1) Tabara Y, Kushida O, Ozaki E, Kuriyama N, Urano T (2026), Effects of room temperature on home morning, evening, and sleep blood pressure: the Shizuoka study. *J. Hypertens.*, 44, 109–115.
- 2) Nagao-Sato S, Kushida O, Kurita Y, Ozaki E, Kuriyama N, Kato M, Akamatsu R, Goda T, Tabara Y (2025), Sex Differences in the Association Between Masticatory Function and Sarcopenia Components: The Shizuoka Study. *Nutrients*, 17, 968.

## 米国オレゴン州におけるコンセプトを基盤にした学習活動の視察報告

—A Report on Concept-Based Learning Activities in Oregon, USA—

長野 弥生<sup>1)</sup> 細田 泰子<sup>1)</sup> 片山 由加里<sup>2)</sup> 勝山 愛<sup>1)</sup> 古川 亜衣美<sup>3)</sup> 根岸 まゆみ<sup>4)</sup>

1) 大阪公立大学大学院看護学研究科 2) 同志社女子大学看護学部  
3) 園田学園大学人間健康学部 4) 静岡県立大学看護学部

**抄録** 本稿は、米国オレゴン州におけるオレゴン健康科学大学において実践される「コンセプトを基盤とした学習活動」を視察し、その概要と特徴を報告するものである。「コンセプトを基盤とした学習活動」は主要な看護概念を中心に、理論と実践を結びつけながら学ぶ学習活動であり、学生の主体的思考や臨床判断を促進する学習方略である。本視察では、この学習活動が講義および演習に体系的に組み込まれている実際を観察した。授業では、教員が問いかけを通して学生の思考を深め、臨床判断能力の育成に寄与していた。視察を通じ、「コンセプトを基盤とした学習活動」は教育者の支援体制と学習者の主体性の双方を必要とする実践的手法であり、日本の看護学教育における臨地実習の制約を補う有効なアプローチとなる可能性が示唆された。

**キーワード:** 看護学教育、CBLAs、臨床判断

**Abstract** This paper reports on a visit to the Oregon Health & Science University in the United States to observe Concept-Based Learning Activities (CBLAs) and describe their structure and characteristics. CBLAs are learning activities that focus on key nursing concepts and promote integration of theory and practice, thereby fostering students' independent thinking and clinical judgment. In the observed classes, instructors encouraged students' deeper thinking through questioning, which contributed to the development of clinical judgment.

The visit revealed that CBLAs are a practical educational approach that requires both faculty support and learner autonomy. Such an approach may offer useful insights for addressing challenges related to clinical practicum in Japanese nursing education programs.

**Key words:** Nursing Education, CBLAs, Clinical judgement

## 1. はじめに

近年の大学教育では、学生が何を学び、身に付けることができたのかを明確にし、学習の成果を学生が実感できる教育の実現が求められている<sup>1)</sup>。学習成果を可視化することが重視され、特に看護学教育では知識の獲得にとどまらず、臨床判断を含む実践能力の育成が求められている。さらに、知識・技術・態度・価値観を統合し、状況に応じて判断し行動できる人材の育成が必要とされ、「思考力・判断力・表現力を用いたパフォーマンス」の可視化が教育成果として期待されている<sup>2)</sup>。Tannerの臨床判断モデルは看護における判断の枠組みを示したものであり、学生の思考過程を理解する上で重要である。Tannerら<sup>3)</sup>は、看護における臨床判断を「患者のニーズ、関心事、または健康問題についての理解や推論」と定義している。また、臨床判断とは「行為をやるかどうかの決断、つまり、その人の反応によって、広く認められているアプローチを用いるか、変更するか、新しいものを創出するか、あるいは何も行為をしないかを選択すること」を意味している。臨床判断能力の育成を目的として開発されたのが、「コンセプトを基盤とした学習活動 (Concept-Based Learning Activities: 以下、CBLAs)」である。

CBLAsは、臨地実習において、学生が患者の状況や看護ケアの基本的な原理を概念的に探究することを目的としており、理論と実践のつながりを促進し、深い学びや臨床判断能力の育成を支援する教育的アプローチである<sup>4)</sup>。

米国オレゴン州にあるオレゴン健康科学大学 (Oregon Health & Science University: 以下、OHSU) では、CBLAsを取り入れた教育実践を行っている。OHSUは、オレゴン州内の複数のコミュニティカレッジと連携したOregon Consortium for Nursing Education (以下、OCNE) に参画しており、OCNEは共通カリキュラムとコンピテンシー基盤型教育の実現を目指して設立されたものである。

今回、著者らはOHSUでCBLAsの教育実践への活用を視察する機会を得た。本稿では、視察から得られた米国オレゴン州における看護学教育の現場で実践されているCBLAsの実際を報告し、その教育的背景と特徴を整理した上で、臨床判断能力の育成支援の視点から

考察を述べ、日本の看護学教育におけるCBLAs導入の示唆を検討する。

## 2. CBLAsに関する視察

著者らは、2024年11月4日～8日の米国滞在中、OHSUの3名の教員よりCBLAsについて説明を受けた。説明の概要は大きく3点にまとめられる。1点目はOHSUの教育およびOCNEのカリキュラムについて、2点目はOHSUでのCBLAsの活用について、3点目はCBLAsを用いた教育実践についてであった。以下に、滞在中に受けた説明について述べる。

### 2.1 OHSUでの教育およびOCNEのカリキュラムについて

OHSUでは、臨床実践への円滑な移行を重視し、学生が実践に備えた状態で卒業できるように、教育設計全体が構成されている。トラウマインフォームド教育の視点に加え、学生の成長志向および主体的参加を促す戦略の活用も教育ビジョンにあり、具体的な教育方法としてペアでの共有、グループディスカッション、事例開発、ゲームを用いた学習、オンラインフォーラムでの投稿と応答などがある。

また、看護学部への支援として教育・学習支援センター (Teaching and Learning Center: TLC) を中心に、学生の学習・成長を支援する多様なリソースが整備されている。具体的なリソースは、Train Your Brain、Assessment Academy、Fundamentals of Teaching and Learning、Consultations、The Wy'east Nursing Pathwayの5つである。

Train Your Brainは、試験の設計、教育および学習戦略、カリキュラム・マッピングなど幅広い教育トピックを取り扱っている。Assessment Academyは、実践的な学習スキルを高め、生涯学習を促進する効果的な教育実践に参加する機会を提供することを目的としたワークショップを開催している。Fundamentals of Teaching and Learningは、教育経験の浅い教員や再学習を希望する教員を対象に、ファシリテート付きの非同期型セッションで、年間を通じて定期的に提供されている。Consultationsはカリキュラム・マッピングや成績評価などの相談・支援を行っている。The Wy'east Nursing

Pathway は、アメリカ先住民およびアラスカ先住民で看護職を志す人々を対象とした学士後プログラムであり、文化的背景に配慮した包括的な支援体制により、学生がキャリアを継続できるよう支援している。

OHSU での教育は、州全体で推進されている教育改革の枠組みである OCNE と深く関係している。OCNE のコア・コンピテンシーには、看護における共通の価値観に基づき、個人として、また専門職として行動すること、振り返りや自己分析、セルフケアを通じて洞察を深めること、意図的な学習に主体的に取り組むこと、妥当な臨床判断を下すことなどがある。これらのコア・コンピテンシーを育成するためには、学生が看護師のように考えることを支援する必要がある。具体的にはコンピテンシー基盤型教育、フィードバックの機会および方法、形成的および総括的アセスメント、学生への配慮などである。

OCNE ではこれらに対応するため、同じ概念やテーマを、学年や段階に応じて段階的・反復的に深めていくスパイラル型のカリキュラムを構成している。OHSU の看護カリキュラムは、健康増進、慢性疾患、急性期ケア、看護研究、リーダーシップといった各領域を1年次から3年次にかけて段階的に学ぶ構造となっている。さらに、トラウマインフォームドケアや健康の社会的決定要因、エビデンスに基づく実践、臨床判断、看護過程、多様性に配慮したケア（性的マイノリティ、障害のある人々）などは、いずれの学年においても繰り返し取り上げられ、理解と実践力を段階的に深めていくスパイラル型のカリキュラムである。そのため、学生が段階的に理解を深めながら臨床判断能力や倫理的思考、社会的視野を統合的に育む仕組みとなっている。

## 2.2 OHSU での CBLAs の活用

OHSU では、学生が看護の主要なコンセプトに焦点を当てて学習することを目的とした CBLAs が活用されている。CBLAs は学生の臨床技術の習得と臨床判断能力の発達に向けた学習プロセスの改善を目指す教育手法である。

例えば「疼痛」をテーマとした CBLAs の学習活動では、学生はまず、教室において疼痛管理について教科書や最新の文献を読み、疼痛の生理学的側面、薬理的お

よび非薬理的な管理方法などの内容について教員と議論する。その後、実習で疼痛管理に関する問題を抱える患者の記録を確認し、1名以上の患者に関してアセスメントを行う。そして、教員と面談し、記録から得た情報や自らの観察内容について話し合う。この活動において、学生は実際の患者ケアを提供することはなく、患者の直近の問題について学んだことを教員に伝えることが求められる。

OHSU における CBLAs は実際の看護実践に根ざした文脈的な学習活動として設計されており、知識、実践的スキル、倫理的態度に焦点を当てた概念的アプローチで展開されている。また、CBLAs では、自己学習と体験的学習を組み合わせた多様な学習方法も用いられている。慢性疾患の科目では、長期ケアにおける生活の1日をテーマに、複数の概念を取り扱っている。具体的には、栄養に関する内容として、さまざまな食事の試食を含む栄養士による講義、栄養アセスメント、口腔アセスメントが行われている。加えて、日常生活動作、老年期うつ、スピリチュアリティといった概念も取り上げられており、スピリチュアリティのセッションではチャプレンによる講義が実施されている。

## 2.3 CBLAs を用いた教育実践

ここでは、OHSU で実施された3つの研究<sup>5)~7)</sup>の概要およびそれらの研究から得られた知見や、OHSU での教育実践について受けた説明を報告する。

CBLAs の教育的有効性を検証するための研究が2007年にOHSU で実施された。これは、2006年に新カリキュラムと旧カリキュラムが並行して運用されていた状況を活用したものである。研究結果では、CBLAs を活用したグループの方が、活用していないグループよりも臨床判断の得点が有意に高かった<sup>5)</sup>。CBLAs は、学生のディープラーニングを促進する可能性を持つ。ディープラーニングを支えるアプローチとして、一つの概念に集中して学ぶこと、協働学習の活用、理論と実践を即時に結びつける機会の提供、教員と概念について議論する時間の確保、教員による問いかけなどがある。CBLAs における教育・学習の主な焦点は、理論と実践の結び付けと臨床判断能力の育成であり、これらの学びを効果的に促進するためには、学習環境の整備、教員

の概念理解、学生の事前準備、そして学ぶべき概念を具体化した患者や状況の割り当てなどが前提条件として重要である。

また、卒業前の最終学年でも CBLAs は活用されている。急性期ケアの領域では、小児看護学実習への準備として CBLAs が用いられており、体液・電解質バランス、酸素・二酸化炭素交換、栄養、成長と発達といった概念が取り上げられている。正看護師として臨床で働き、学士取得のために編入・進学している学生に対しては、現代的な概念の理解を深めることを目的に CBLAs が用いられており、性的マイノリティを含む健康の公平性、ケアの調整と移行管理、トラウマインフォームドケア、組織開発、災害対策、緊急時対応といったトピックが扱われている。このような CBLAs の活用は、プライマリ・ケア領域におけるカリキュラムの設計にも活用されている。取り上げられている概念には、チームベースのケア、慢性疾患管理における看護師の役割、ケアの調整、プライマリ・ケアにおける健康の公平性、集団健康管理、財政管理と方針、品質管理、患者の安全、情報学、電話でのトリアージなどが含まれている。また、最終学年の各学期においては、集団健康、リーダーシップ、統合実習の3つの概念が各コースで取り上げられている。

CBLAs の評価においては、さまざまなアプローチが用いられているが、そのすべてが臨床判断に特化しているわけではない。OHSU では、学習ガイドに基づくフィードバックの中で、臨床判断の要素に沿って構成された形式的評価が行われている。各要素に対するフィードバックにはラサター臨床判断ルーブリック (Lasater Clinical Judgment Rubric : 以下、LCJR) が用いられており、学生が自身の思考の現時点のレベルを把握することができるよう工夫されていた。また、CBLAs における学習を振り返るために、学生に対して「この経験を通じて拡張されたケアスキル」「今後似た状況でどのように行動を変えるか」「次の臨床経験で活用する学び」「経験による価値観や感情の変化」などについて言語化する問いかけをしている。

CBLAs における評価の考え方として、形成的評価と総括的評価がある。形成的評価は結果に大きな影響がなく、進級や単位に直結せず、採点ではなくコメントやフィードバックが中心である。申し送りやケア介入の

前後に行われる対話などが具体例として示されていた。形成的評価では、学生と教員の相互的なコミュニケーションが基本であり、学生が何を考えているのかを確認し合い、共通の言語を用いることが求められる。また、学生の背景や視点を理解し、それに応じた関係性を築くことも重要である。さらに、ルーブリックのようなクリアな学習成果の提示によって、相互的なコミュニケーションが促進され、次のステップへのつながりが生まれる。加えて、形成的評価が行われる場が安全で安心できる学習空間であることも大切な要素である。総括的評価は、特定の時点における学生のパフォーマンスを評価するものであり、結果が重要な意味を持ち、採点で評価される。具体例としては、最終試験や国家試験などがある。一方、形成的評価は、学習と教育の過程で計画的かつ継続的に実施されるものであり、学生の学習成果に関する理解を深めることや、学生を自己主導的学習者として支援することを目的としている。CBLAs を評価するための基本的な戦略は、学生に対して質問を投げかけること、振り返りを促すこと、フィードバックを提供することである。これらの方法を通じて、CBLAs における学生の学びが支援・評価されていることが示されていた。

### 3. CBLAs を活用した講義への参加

著者らが参加した講義は、Accelerated Bachelor of Science with a Major in Nursing (看護学以外の分野で学士号を取得した学生を対象に、約15か月で看護学士を取得し、看護師国家試験の受験資格を得ることができるプログラム) の履修生を対象とした病態生理学の講義であった。授業は約30名の履修生に対して実施されており、社会人経験のある学生であった。著者らは「ストレス反応の生理」および「血管および血圧の病態生理」に関する内容を聴講した。これらの授業は、CBLAs と反転授業の手法を組み合わせたものであり、学生の主体的学びと臨床判断能力の育成を意図した構成であった。

例えば、血管・血圧の病態生理学の単元では、学生はアテローム性動脈硬化症、血栓・塞栓、動脈・静脈系の血流障害、ショックなどの病態に関する講義動画を事前に視聴して講義に臨む。講義では、長距離バス運転手の

下肢痛と呼吸苦の事例から何が起きているのかを2人で議論し、議論した内容を全体で共有していた。講義では5つほどの事例から、病態生理、危険因子、緊急対応の要否、医療者間の説明方法、生活指導内容などが学生に問われ、学生の解釈・判断が求められていた。これらは教員との対話を通じて解剖、病態、症状、看護の関連性を深める構成となっていた。講義の最後には学習目標の理解を確認し合う時間が設けられていた。

本講義ではCBLAsの枠組みに基づき、学生が実践的なケースに能動的に取り組み、病態生理の概念を臨床状況に結びつけて学ぶ構成となっていた。学生が自ら考え、他者と意見を交換しながら、Noticing (気づき)、Interpreting (解釈)、Responding (反応)、Reflecting (省察) といった臨床判断の過程を経験的に学べるよう設計されていた。

#### 4. 考察

視察から得られた知見をもとに、関連文献を参照しながらOHSUにおけるCBLAs導入の背景と教育的特徴を整理し、CBLAsと臨床判断について以下に考察を述べる。

##### 4.1 OHSUにおけるCBLAs導入の背景

OHSUにおけるCBLAs導入の背景には、オレゴン州における深刻な看護師不足と、それを支える看護学教育体制が抱えていた構造的課題があった。レポート<sup>8)</sup>によると、2000年前後のオレゴン州では、特に集中治療室、手術室、救急、長期療養施設などでの人材確保が困難であり、高齢化や人口増加により看護師の需要が急激に増加していた。一方、看護師の供給を担う教育機関では、教員の高齢化や臨地実習先の確保が困難であり、入学定員の拡大が難しく、卒業生の臨床実践能力のばらつき、職場環境や待遇の問題による若年層の離職、性的マイノリティや男性看護師の参入率の低さなど、教育体制上の課題が指摘されていた。このような状況に対応するため、Oregon Nursing Leadership Council (ONLC) は2001年に戦略計画を策定し、2002年にはOCNEイニシアティブが発足、2006年にはOHSUを中心とした11のコミュニティカレッジとの連携による教育コンソーシアムが始動した<sup>9)</sup>。そのため、OCNEの教育背景に

はオレゴン州における医療や医療人材育成の課題が背景にあり、その中で導入されたCBLAsは単なる教育方法の選択という範囲を超えた、看護職の供給体制全体をめぐる課題が存在していたことがわかる。

OCNEでは、「看護師が何を知り、何ができるようにすべきか」という分析に基づき、コンピテンシー基盤型教育が導入されている<sup>8)</sup>。すべての学習活動と評価は、明確に定義されたコンピテンシーに照らして構成されており、カリキュラム全体の一貫性と学習成果の可視化が図られている。OCNEカリキュラムは、「健康増進」「慢性疾患管理」「急性期治療」「終末期ケア」など、看護のケア領域ごとの焦点に基づいたコースで構成されており、学生はそれぞれの領域で臨床判断やケアの特性を段階的に学ぼう設計されている。加えて、OHSUでは「リーダーシップ」「アウトカムマネジメント」「ポピュレーションヘルス」といった横断的能力の育成も重視され、看護師として求められる多様な力の体系的な習得が促進されている。

##### 4.2 CBLAsと臨床判断

CBLAsは臨床推論の指導と非常に相性が良く、まるでジグソーパズルのように、ピースが増えるにつれて全体の写真がより鮮明になるように、複雑な内容を、共通する要素がどのようにつながるかを示すことで単純化する助けとなる<sup>10)</sup>。また、CBLAsは、理論と実践の即時的かつ適切なつながりを促進し、学生の臨床判断能力を育成する教育的手法<sup>4)</sup>であり、主要な看護概念に焦点を当てた構造的な学習活動として位置づけられ、知識・技術・態度を結びつけながら学ぶことを可能にしている。CBLAsを用いることで臨床判断能力は向上し、臨床的思考を深める<sup>9)</sup>とされている。そのため、OHSUでの導入は、実習環境の制約や教育資源不足といった現実的課題への対処であると同時に、臨床判断能力の育成に資する教育的アプローチであると考えられる。

OHSUでの実践に加え、他大学におけるCBLAsの活用事例からも、CBLAsが臨床判断能力の育成に寄与する実践的手法であることが示唆されている。移行期ケアに焦点を当てた教育実践にCBLAsを導入した研究<sup>11)</sup>では、学生がシステムレベルの課題やケア移行の断絶

に気づき、患者中心の支援における看護師の役割を再考する視点を獲得していた。また、知識と実習をつなぐカンファレンスにより、学生は自らの判断を振り返る機会を得ており、臨床判断能力や倫理的熟考といった看護師としての思考様式が促進されたと記載されている。CBLAsは、学生の思考や行動に対するフィードバックを可能にし、学習成果の可視化に寄与する点においても有用である。

#### 4.3 CBLAsの形成的評価と学習支援

今回の視察を通して、CBLAsを活用した教育実践では学生への問いやフィードバック、振り返りが重要であると感じた。参加した講義では教員が最初から最後まで学生に問いを投げかけ続けており、CBLAsについて受けた説明においても、深い思考を促す問いを投げかけ、言語化させることが必要であると聞いた。CBLAsを導入するにあたって重要なことは、学生が思考を深めることができるように教員が問いかけることである<sup>12)</sup>。

問いの性質には、知識や理解を問う低次の問いと、応用、分析、統合、評価を問う高次の問いがある<sup>13)</sup>。臨床推論と批判的思考の発達には高次の問いが必要であり、これらは低次の問いでは開発できない<sup>14)</sup>と言われており、学生に深い思考を促す問いも高次の問いが必要であると考えられる。

臨床判断モデル<sup>15)</sup>は日本語にも訳されている<sup>16)</sup>。臨床判断モデルに応じた深い思考と学習を刺激する質問例として、Lasater<sup>15)</sup>は以下のものを挙げている。「効果的な気づき」の〈焦点を絞った観察〉では、その人について最初に気づいたことは何か、〈予期されるパターンからの逸脱〉では、気づいたことが予想とどう違うのか、〈情報探索〉では、他に知っておくと役に立つ情報は何か、「解釈」の〈データの優先順位付け〉では、その人が最も必要としているものは何か、〈データの意味づけ〉では、その人についてどのようなエビデンスに基づいて結論を出しているのか、などである。

CBLAsを活用する際に、臨床判断モデルを使用し、そのプロセスの中で学生に問う内容も考慮することで、CBLAsの効果を発揮することできると考える。

#### 5. 結語

今回の視察では、CBLAsを活用している教員から話を聞き、実際に講義に参加することで、CBLAsを活用するには学習者である学生の理解力や主体性も必要であるが、教育者側の十分な準備もかなり必要であることや、CBLAsとは何かを理解し、その実践の背景や方法を知ることができた。OHSUでの事例は、学生の臨床判断能力を高めるための教育設計や評価方法について多くの示唆を与えてくれる。我が国の看護学教育においても、臨地実習における課題に対応する一つの有効なアプローチとして、CBLAsの導入を検討する必要があると考える。

#### 謝辞

視察にあたり、ご協力いただきました Oregon Health & Science University の関係者の皆様に心より感謝申し上げます。

#### 著者資格

長野は視察への参加および論文の作成を行った。細田と根岸は学部長への依頼、講師依頼、論文執筆へのアドバイスならびに推敲に関与した。片山、勝山、古川は視察への参加および論文執筆へのアドバイスならびに推敲に関与した。また、すべての著者が最終原稿を読み、承諾した。

#### 利益相反

本研究における利益相反は存在しない。

#### 付記

本研究は、科学研究費助成事業 基盤研究(B) (JSPS 科研費 Grant Number 24K02725) の助成を受けたものである。

#### 引用文献

- 1) 中央教育審議会 (2018), 『2040年に向けた高等教育のグランドデザイン (答申)』 [https://www.mext.go.jp/content/20200312-mxt\\_koutou01-100006282\\_1.pdf](https://www.mext.go.jp/content/20200312-mxt_koutou01-100006282_1.pdf) (最終アクセス日:2025年7月8日)

- 2) 文部科学省 (2024), 『看護学教育モデル・コア・カリキュラム 令和6年度版改訂版』  
[https://www.mext.go.jp/content/20250317\\_mxt\\_iga-ku-000040938\\_1.pdf](https://www.mext.go.jp/content/20250317_mxt_iga-ku-000040938_1.pdf) (最終アクセス日:2025年7月8日)
- 3) Tanner C., Messecar D., Delawska-Elliott B. (2022), *Advanced Practice Nursing: Essentials for Role Development 5th ed*, F. A. Davis Company (Philadelphia).
- 4) Nielsen A. (2016), Concept-based learning in clinical experiences: Bringing theory to clinical education for deep learning. *Journal of Nursing Education*, 55 (7), 365-371.
- 5) Lasater K., Nielsen A. (2009), Reflective journaling for development of clinical judgment. *Journal of Nursing Education*, 48, 40-44.
- 6) Nielsen A., Garner A., Lanciotti K., Brown L. (2021), Concept-based learning for capstone clinical experiences in hospital and community settings. *Nurse Educator*, 46(6), 381-385.
- 7) Northwest Health Foundation (2001), Oregon's nursing shortage: A public health crisis in the making (Issue Brief No. 1). <https://www.northwesthealth.org> (Last Accessed : 2025.7.1)
- 8) Oregon Consortium for Nursing Education. (n.d.). About OCNE. <https://www.ocne.org/about/> (Last Accessed : 2025.7.1)
- 9) Gonzalez L. (2018), Teaching clinical reasoning piece by piece: A clinical reasoning concept-based learning method. *Journal of Nursing Education*, 57 (12), 727-735.
- 10) Mood L. C., Neunzert C., Tadesse R. (2014), Centering the concept of transitional care: A teaching-learning innovation. *Journal of Nursing Education*, 53 (5), 287-290.
- 11) 喜吉テオ紘子, Nielsen A., Lasater K. (2016), 「臨床判断モデルに基づいた学習の内容と評価について—コンセプトを基盤にした学習とラサター臨床判断ルーブリック評価」『看護教育』57(9), 720-726.
- 12) Phillips N. M., Duke M. M., Weerasuriya R. (2017), Questioning skills of clinical facilitators supporting undergraduate nursing students. *Journal of Clinical Nursing*, 26 (23-24), 4344-4352.
- 13) Jameel S., Gul R., Ishtiaq M. (2025), The complexity of questioning strategy in clinical teaching from the perspective of nurse educators. *Teaching and Learning in Nursing*, 20, e520-e527.
- 14) Lasater K. (2011), Clinical judgment: The last frontier for evaluation. *Nurse Education in Practice*, 11 (2), 86-92.
- 15) 細田泰子, 根岸まゆみ, キャシー・ラサター (2018), 「臨床判断を拓く評価に向けて: ラサター臨床判断ルーブリック日本語版の作成」『看護教育』59(1), 4.

## 低強度運動と軽度の体温上昇がCO<sub>2</sub>に対する呼吸化学感受性に及ぼす影響

Effect of light intensity exercise and mild hyperthermia on respiratory chemosensitivity to CO<sub>2</sub>

林 恵嗣<sup>1)</sup> 杉山 康司<sup>2)</sup>

1) 静岡県立大学短期大学部 2) 静岡大学グローバル共創科学部

**抄 録** 運動中の換気量調節には、様々な要因が関与すると考えられている。その中の一つに呼吸化学受容器反射が考えられている。呼吸化学受容器の感受性は、運動によって高まることや、体温上昇によっても高まること報告されている。しかし、低強度の運動と軽度の体温上昇の組み合わせが呼吸化学受容器反射にどのように影響を及ぼすかはよく分かっていない。このことを検討するため、安静時および体温上昇のない条件での低強度運動中、体温上昇のある条件での低強度運動中のCO<sub>2</sub>に対する呼吸化学感受性を評価した。CO<sub>2</sub>に対する呼吸化学感受性は、安静条件で $2.7 \pm 0.9$  L/min/mmHg、運動条件で $2.5 \pm 0.9$  L/min/mmHg、運動+体温条件で $2.5 \pm 1.0$  L/min/mmHgであり、条件間に有意差はなかった。これらの結果は、低強度運動も軽度の体温上昇も、CO<sub>2</sub>に対する呼吸化学感受性にあまり影響しないことを示唆する。

**キーワード:** 呼吸、換気、化学受容器反射、体温

**Abstract** Various factors are thought to be involved in the regulation of ventilation during exercise. One of them is the respiratory chemoreflex. It has been reported that the sensitivity of respiratory chemoreceptors increases with exercise and increases with rises in body temperature. However, it is not well known how the combination of low-intensity exercise and mild hyperthermia affects respiratory chemoreflexes. To investigate this, we assessed hypercapnic ventilatory responses at rest and during light intensity exercise, with and without a rise in body temperature. Respiratory chemosensitivities were  $2.7 \pm 0.9$  L/min/mmHg at rest,  $2.5 \pm 0.9$  L/min/mmHg during exercise without rising body temperature, and  $2.5 \pm 1.0$  L/min/mmHg during exercise with a rise in body temperature, and there were no significant differences among them. These results suggest that neither light intensity exercise nor mild hyperthermia significantly affect on respiratory chemosensitivity to CO<sub>2</sub>.

**Key words:** Respiration, Ventilation, Chemoreflex, Body temperature

### 1. 背景

運動中、代謝需要を満たすために毎分換気量 (V<sub>E</sub>) が増加する。この運動時の換気調節については、これまで多くの研究がなされており、中枢からの運動指令 (セントラルコマンド)、呼吸化学受容器からの入力、グループIIIおよびIV求心性神経を介した筋肉からの入力など、いくつかの要因によって調節されると考えられて

いる<sup>1)</sup>。呼吸化学受容器の影響に関して、McConnellら<sup>2)</sup>は、若年者において、運動時の呼吸の亢進の程度がCO<sub>2</sub>に対する呼吸化学受容器の感受性 (呼吸化学感受性) と強く関連していることを報告している。また、CO<sub>2</sub>に対する呼吸化学感受性は、運動によって高まることも報告されている<sup>3,4)</sup>。Weilら<sup>4)</sup>は、低強度運動 (最大酸素摂取量の19%、26%、および34%) が安静時と比

受理日: 2026年1月20日  
採択日: 2026年3月4日  
オンライン公開日: 2026年3月20日

連絡先: 林 恵嗣  
静岡県立大学短期大学部  
e-mail: khayashi@u-shizuoka-ken.ac.jp

較してCO<sub>2</sub>に対する呼吸化学感受性を高めることを報告している。

一方で、運動は体温を上昇させる。そして、体温上昇は、CO<sub>2</sub>に対する呼吸化学感受性を高めることが報告されている<sup>5,6)</sup>。Bakerら<sup>5)</sup>は、鼓膜温の上昇(+1.5°C)がCO<sub>2</sub>に対する呼吸化学受容器反射に及ぼす影響について検討し、体温上昇によってCO<sub>2</sub>に対する呼吸化学感受性が高まることを報告した。同様に、Natalinoら<sup>6)</sup>は0.7°C以上の直腸温の上昇によってCO<sub>2</sub>に対する呼吸化学感受性が高まることを報告している。一方で、我々は、舌下温が0.7°C上昇した程度ではCO<sub>2</sub>に対する呼吸化学感受性は変化しないことを報告した<sup>7)</sup>。直腸温の変化は食道温や舌下温などよりも鈍いこと<sup>8)</sup>から、Natalinoらの結果を他の体温指標で評価した場合には、0.7°Cよりも高くなる可能性も考えられる。これらのことから、0.7°C以上の直腸温上昇、つまり他の体温指標では0.7°Cよりも大きな体温上昇と運動によってCO<sub>2</sub>に対する呼吸化学感受性が高まる可能性が考えられる。しかしながら、我々の知る限り、CO<sub>2</sub>に対する呼吸化学感受性に対する低強度運動と軽度の体温上昇の複合効果を検討した研究はない。さらに、V<sub>E</sub>は一回換気量(V<sub>T</sub>)と呼吸回数( $f_R$ )に分けて考えることもでき、低強度運動と軽度の体温上昇の複合効果がCO<sub>2</sub>の増加に対するV<sub>T</sub>と $f_R$ の変化にどのように影響を及ぼすかも不明である。これらの疑問を明らかにすることを目的として、安静時、体温上昇を伴わない低強度運動中、軽度の体温上昇を伴う低強度運動中のCO<sub>2</sub>に対する呼吸化学感受性を評価した。

## 2. 方法

### 2.1 研究参加者

健康な男性12名(平均年齢:22±1歳、身長:176.1±4.9cm、体重:73.7±6.8kg)が測定に参加した。参加者は全員非喫煙者で、日常的に薬を服用している者はいなかった。参加者は週に2、3回程度の運動をしていたが、持続的なトレーニングは行っていない者であった。この研究は、静岡県立大学研究倫理審査委員会(#27-55)によって承認されており、全ての参加者から書面によるインフォームドコンセントが得られた上で実施した。

### 2.2 実験デザイン

研究参加者全員に、実験前12時間に激しい運動とアルコールの摂取を控えるよう依頼した。実験は、室温25°C、相対湿度40~60%に設定された実験室で行った。研究参加者は、実験室に到着後、体重を測定した。その後、水循環スーツ(Med-Eng社製)を着用して、椅子に座って30分間安静を保った。この安静時に、心拍数センサー(WearLink31C、Polar社製)を胸部に装着し、赤外線温度センサー(BL100、テクノネクスト社製)を右耳に装着した。心拍数は心拍数モニター(S810i、Polar社製)を用いてセンサーからの入力を実験中5秒毎に記録し、30秒間の平均値を測定値として用いた。赤外線温度センサーから外耳道温を測定した。外耳道温は実験中1秒毎に記録し、30秒間の平均値を測定値として用いた。

図1に実験プロトコルを示す。実験では、最初に、安静条件での再呼吸試験を行い、安静時のCO<sub>2</sub>に対する呼吸化学感受性を評価した(安静条件)<sup>7,9,10)</sup>。この間、水循環スーツには33°Cに設定した水を循環させた。安静時の測定15分後から、研究参加者は90Wの負荷で自転車運動を行った。自転車運動は、セミリカンベント姿勢での運動用にカスタマイズされた自転車エルゴメーター(828E、モナーク社製)を用いて行った。運動開始から5分後、運動を継続しながら再度、再呼吸試験を行いCO<sub>2</sub>に対する呼吸化学感受性を評価した(運動条件)。運動開始直後から再呼吸試験終了まで、水循環スーツに循環する水の温度を20~25°Cに下げ、体温の上昇を抑制した。運動時の測定後、研究参加者は5分間休憩し、再び運動を行った。この2回目の運動では、体温を上昇させるために、水循環スーツに循環する水の温度を35°Cに設定した。運動を30分間行った後、もしくは外耳道温が1°C上昇した後、運動を継続しながら再呼吸試験を行いCO<sub>2</sub>に対する呼吸化学感受性を評価した(運動+体温条件)。

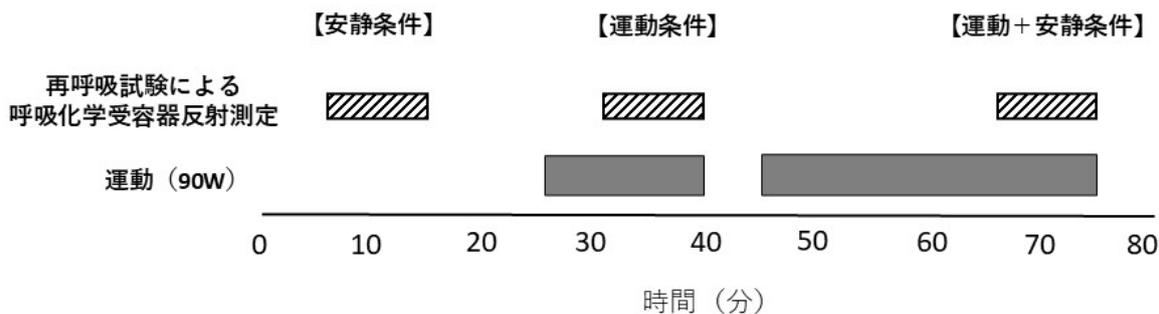


図1 実験プロトコル

斜線入りの四角は呼吸化学受容器反射測定を示し、グレーの四角は運動を示す。

### 2.3 再呼吸試験による呼吸化学感受性の評価方法

図2に再呼吸試験時の研究参加者の状況を示す。一方向に気体が流れるT型バルブをマスクとリザーバーバッグに接続し、呼気と吸気が混ざらないようにした。また、吸気側と呼気側の両方に三方バルブを接続した。三方バルブのコックを回転させることで開放回路と閉鎖回路を切り替えられるようになっており、再呼吸時

には、閉鎖回路にすることでリザーバーバッグ (Non-diffusing gas collection bag Series 6015、Hans Rudolph 社製) 内の気体を再呼吸するようにした。リザーバーバッグの容量は15 Lであり、この中に混合ガス (4% CO<sub>2</sub>、46% O<sub>2</sub>、50% N<sub>2</sub>) を充填した。再呼吸試験では、研究参加者は、開放回路の状態、最初の5分間、室内の空気を吸い込む通常の呼吸を行った後、自発的な過呼吸

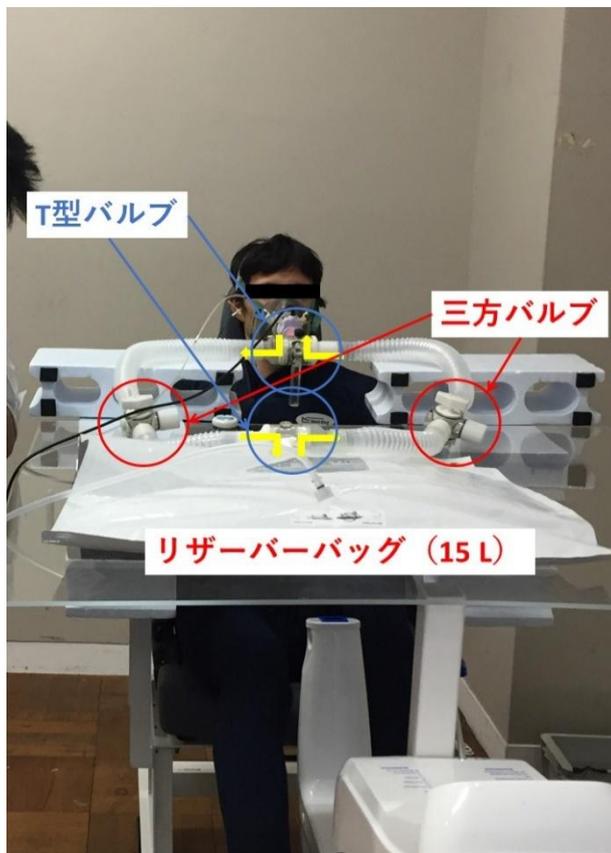


図2. 再呼吸試験の状況

黄色の矢印は気体の流れる方向を示す。

を5分間行って呼気終末二酸化炭素分圧 (P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>) を40 mmHg 以下に減少させた。これによって、運動時の測定の際、運動によってすでに高まっている P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> を低下させて再呼吸に十分な時間を確保した。P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> を低下させた後、三方バルブのコックを回転させて閉鎖回路にし、研究参加者は混合ガスを再呼吸した。再呼吸は、P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> が60 mmHg に達したところで終了した。換気パラメーター (V<sub>E</sub>、V<sub>T</sub>、f<sub>R</sub>) とガス濃度は、呼気ガス分析器 (AE-310S、ミナト医科学社製) を用いて一呼吸毎に測定した。CO<sub>2</sub> に対する呼吸化学感受性は、V<sub>E</sub>、V<sub>T</sub>、f<sub>R</sub> を P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> に対してプロットし、両者の回帰直線の傾きとした。いくつかの測定では、P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> が45 mmHg 付近で V<sub>E</sub> が急増する閾値が見られたが、ほとんどの場合、P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> は運動中の再呼吸の最初の2~3呼吸でこの閾値を超えたため、P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> が50 mmHg 以上のデータを用いた。

## 2.4 統計分析

各条件でのベースライン値は、自発的な過呼吸前1

分間の平均値とした。また、データは全て平均値±標準偏差で示した。統計分析は、IBM SPSS Statistics (バージョン 24.0、IBM 社製) を用いて行った。一元配置分散分析を用いて、再呼吸前のベースライン値と、CO<sub>2</sub> に対する呼吸化学感受性を比較した。主効果が認められた場合、Bonferroni 法を用いて多重比較を行った。統計学的有意水準は0.05未満とした。

## 3. 結果

表1は、各パラメータのベースライン値を示す。運動条件では、外耳道温と呼気終末酸素分圧を除くすべてのパラメータが安静条件よりも有意に高く (P<0.05)、呼気終末酸素分圧は有意に低かった (P<0.05)。運動+体温条件では、呼気終末酸素分圧を除くすべてのパラメータが安静条件よりも有意に高くなり (P<0.05)、呼気終末酸素分圧は有意に低かった (P<0.05)。また、V<sub>T</sub>、呼気終末酸素分圧と P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> を除くすべてのパラメータが運動条件よりも有意に高く (P<0.05)、P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> は有意に低かった (P<0.05)。

表1 測定条件における各パラメータのベースライン値

	安静	運動	運動+体温
外耳道温 (°C)	35.9 ± 0.4	35.8 ± 0.4	36.7 ± 0.5 * #
心拍数 (beats/min)	71 ± 11	111 ± 9 *	137 ± 14 * #
酸素摂取量 (mL/min)	273 ± 41	1467 ± 90 *	1609 ± 96 * #
二酸化炭素排出量 (mL/min)	253 ± 47	1329 ± 59 *	1443 ± 97 * #
毎分換気量 (L/min)	11.1 ± 1.8	40.5 ± 4.3 *	46.1 ± 3.7 * #
一回換気量 (mL)	850 ± 211	1554 ± 294 *	1495 ± 158 *
呼吸回数 (breaths/min)	14 ± 4	27 ± 6 *	32 ± 4 * #
呼気終末酸素分圧 (mmHg)	112 ± 5	104 ± 3 *	105 ± 3 *
呼気終末二酸化炭素分圧 (mmHg)	41 ± 3	49 ± 2 *	47 ± 2 * #

Values are means ± SD. \*P < 0.05 vs. 安静条件、#P < 0.05 vs. 運動条件.

表2 CO<sub>2</sub>に対する呼吸化学感受性

	安静	運動	運動+体温
$\dot{V}_E$			
Slope, L/min/mmHg	2.7 ± 0.9	2.5 ± 0.9	2.5 ± 1.0
$V_T$			
Slope, mL/mmHg	62 ± 43	62 ± 38	65 ± 34
$f_R$			
Slope, breaths/min/mmHg	0.9 ± 0.6	0.3 ± 0.6	0.3 ± 0.5 *

Values are means ± SD. \*P < 0.05 vs. 安静条件.

表2に、CO<sub>2</sub>に対する呼吸化学感受性を示す。V<sub>E</sub>の呼吸化学感受性は、安静条件で2.7 ± 0.9 L/min/mmHg、運動条件で2.5 ± 0.9 L/min/mmHg、運動+体温条件で2.5 ± 1.0 L/min/mmHgであり、主効果に差は認められなかった (P = 0.79)。V<sub>T</sub>の呼吸化学感受性は、安静条件で62 ± 43 mL/mmHg、運動条件で62 ± 38 mL/mmHg、運動+体温条件で65 ± 34 mL/mmHgであり、主効果に差は認められなかった (P = 0.95)。一方、f<sub>R</sub>の呼吸化学感受性は、安静条件で0.9 ± 0.6 breaths/min/mmHg、運動条件で0.3 ± 0.6 breaths/min/mmHg、運動+体温条件で0.3 ± 0.5 breaths/min/mmHgであり、主効果に有意差が認められた (P < 0.05)。多重比較検定の結果、安静条件と運動条件間には有意差は認められなかった (P = 0.11) が、安静条件と運動+体温条件間では、有意差が認められた (P < 0.05)。

#### 4. 考察

呼吸化学感受性に対する運動の影響について検討した先行研究では、結果は一貫していない。Asmussen と Nielsen<sup>11)</sup>は、運動が換気反応に及ぼす影響について検討し、V<sub>E</sub>と肺泡二酸化炭素分圧間の回帰直線は、運動によって左にシフトしたにもかかわらず、安静条件と運動条件(酸素摂取量が3.2 L/min以下)間で傾き(呼吸化学感受性)に差がなかったことを報告した。また、Masson と Lahiri<sup>12)</sup>は、V<sub>E</sub>と動脈血二酸化炭素分圧間の

回帰直線の傾きは、運動条件(酸素摂取量は約1 L/min)と安静条件間で差がなかったことを報告した。McConnell と Semple<sup>13)</sup>は、持久性競技のアスリートでは、運動(最大酸素摂取量の30%強度)によってCO<sub>2</sub>に対する呼吸化学感受性が高まったが、短距離走者や非アスリートの対照群では変化しなかったと報告した。一方、Weil ら<sup>4)</sup>は、低強度運動時(最大酸素摂取量の34%強度以下)には安静時と比較してCO<sub>2</sub>に対する呼吸化学感受性が高まることを報告し、Miyamura ら<sup>3)</sup>は、CO<sub>2</sub>に対する呼吸化学感受性が75 W 負荷での運動の方が安静時よりも高いと報告している。Miyamura ら<sup>3)</sup>は、彼らの研究結果と Masson と Lahiri<sup>11)</sup>の結果との違いが、Masson と Lahiri は安静時と運動中の呼吸化学感受性を1回の測定で評価し、測定時のV<sub>E</sub>がMiyamura ら<sup>3)</sup>よりも高いレベルに達したためであると示唆している。本研究では、安静時と運動中の呼吸化学感受性は1回の測定で評価しており、Masson と Lahiri<sup>11)</sup>と同様である。また、研究参加者は90 Wの負荷で運動し、酸素摂取量は1.6 L/min以下であったが、これはMasson と Lahiri<sup>12)</sup>や Miyamura ら<sup>3)</sup>よりも高く、Asmussen と Nielsen<sup>10)</sup>よりも低かった。McConnell と Semple<sup>13)</sup>の研究で用いられた運動強度は、相対負荷として最大酸素摂取量の30%と設定し、持久性競技のアスリートでは70.5 W (35 - 95 W)、短距離走者では61.5 W (40 - 100 W)であった。本研究の研究参加者はアスリートレベル

ではないことから、相対負荷で考えると最大酸素摂取量の30%より高かったと推測される。以上より、我々の結果は、Asmussen と Nielsen<sup>10)</sup>や Masson と Lahiri<sup>11)</sup>と一致し、Miyamura ら<sup>3)</sup>や Weil ら<sup>4)</sup>の先行研究結果とは異なる結果となった。このことは、運動強度の違いが結果を一致させていないのではないことを示唆し、実験プロトコルの違いや、参加者が持久性競技のアスリートではなかったことによると示唆される。

体温の上昇が呼吸化学感受性を変化させることは、いくつかの研究から報告されている<sup>5,6)</sup>。我々は、軽度の体温上昇(舌下温上昇が0.7°C以下)ではCO<sub>2</sub>に対する呼吸化学感受性は変わらないことを以前に報告しており<sup>7)</sup>、Natalino らは、0.7°C以上の直腸温上昇でCO<sub>2</sub>に対する呼吸化学感受性が高まることを報告している<sup>9)</sup>。しかしながら、Natalino らは深部体温の指標として直腸温を測定しており、直腸温の温度変化が鈍い<sup>8)</sup>という特徴を考えると、実際には0.7°Cよりも高くなっていた可能性が考えられる。本研究での運動+体温条件では、外耳道温は安静条件から0.8°C上昇し、運動条件からは0.9°C上昇しているが、Natalino ら<sup>9)</sup>以外の先行研究では、深部体温を約1.5°C上昇させ、CO<sub>2</sub>に対する呼吸化学感受性が高まったことを報告している<sup>5,14)</sup>。したがって、1°C程度の体温上昇ではなく、より大きく体温を上昇させなければCO<sub>2</sub>に対する呼吸化学感受性には影響がみられない可能性が考えられる。本研究と Natalino ら<sup>9)</sup>の研究との体温指標以外の違いは、彼らが安静状態での呼吸化学感受性を評価したのに対し、我々は運動中に呼吸化学感受性を評価した点である。本研究結果は、運動と体温上昇の両方の影響を反映していると考えられるが、運動自体が代謝、心肺応答、酸塩基バランスなどを変化させることから、運動と体温上昇の組み合わせはより複雑な条件であったと考えられる。上述した通り、本研究では、Asmussen と Nielsen<sup>11)</sup>や Masson と Lahiri<sup>12)</sup>の研究と同様に、運動によってはCO<sub>2</sub>に対する呼吸化学感受性が変化しなかった。これらのことから、本研究での体温上昇の程度がCO<sub>2</sub>に対する呼吸化学感受性を変化させるには十分ではなかった可能性が考えられ、また、運動時には、体温上昇による影響よりも運動による影響の方が強く反映される可能性も考えられる。

本研究では、再呼吸の前に自発的な過換気を行って、P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>を低下させた。これは、運動によって高まったP<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>を低下させて再呼吸に十分な時間を確保するためであるが、このことによって、研究参加者がアルカローシス状態で再呼吸試験を開始したことを意味する。Oren ら<sup>15)</sup>は、酸塩基の変化が再呼吸反応に及ぼす影響について検討し、V<sub>E</sub>とP<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>の関係はアシドーシスによって左に、アルカローシスによって右にシフトしたが、V<sub>E</sub>とP<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>間の回帰直線の傾き(CO<sub>2</sub>に対する呼吸化学感受性)は酸塩基の状態によって変化しなかったことを報告した。さらに、再呼吸前の過換気の持続時間(1、3、または5分)も、CO<sub>2</sub>に対する呼吸化学感受性に影響しないことが報告されている<sup>16)</sup>。したがって、本研究で行った、再呼吸前の過呼吸によるアルカローシス状態が本研究結果と先行研究結果との違いに影響した可能性は低いと考えられる。

興味深いことに、運動+体温条件の $f_R$ に対する呼吸化学感受性は安静条件よりも低いことが明らかとなった。運動は $f_R$ を増加させることはよく知られており、運動+体温条件での $f_R$ のベースライン値は、安静条件や運動条件よりも有意に高かった。したがって、このベースラインレベルの $f_R$ の増加が、運動+体温条件での $f_R$ に対する呼吸化学感受性の低下をもたらしたと原因の一つと考えられる。さらに、 $f_R$ は運動中の自覚的運動強度と高い正の相関関係があることが報告されている<sup>17,18)</sup>。自覚的運動強度を中枢からの運動指令(セントラルコマンド)の信号伝達の指標とすると、運動中の $f_R$ はセントラルコマンドによって強く影響されていると考えられる。Bell と Duffin<sup>19)</sup>も、運動開始時と運動停止時に $f_R$ が素早く反応することを報告しており、運動中の $f_R$ にセントラルコマンドが強く影響することを支持する。したがって、 $f_R$ はセントラルコマンドの影響を強く受けており、運動時には呼吸化学受容器反射は $f_R$ にあまり影響しない可能性が考えられる。

本研究では、体温の指標として外耳道温を測定した。Ganio らは、歩行運動中の外耳道温が直腸温よりも低いことを報告し、運動中の外耳道温の変化の大きさも直腸温の変化よりも小さかったことを報告している<sup>20)</sup>。このことは、本研究における深部体温の実際の変化が、外耳道温の測定値の変化よりも大きかった可能性がある

ることを示唆する。しかし、本研究で用いた運動は、セミリカンベント姿勢での自転車運動であり、歩行運動ほど頭部の動きが大きいことから、Ganioら<sup>20)</sup>が示したほどの大きな誤差はみられなかった可能性も考えられる。その一方で、Natalinoら<sup>9)</sup>の研究結果とは一致していないことから、彼らの研究ほどには体温が上昇していなかった可能性も考えられる。体温変化の影響について、先行研究との比較が難しい点は本研究の限界と言える。運動時の体温の変化に素早く追従する食道温を測定するなど、体温測定については再検討する必要がある。また、本研究では、安静状態で体温を上昇させた条件での測定を行っていない。我々は、過去に軽度の体温上昇ではCO<sub>2</sub>に対する呼吸化学感受性が変わらないことを報告している。このときは深部体温の指標として舌下温を測定し、舌下温の上昇は0.7°Cまでであり、本研究よりは少し体温上昇の程度が小さい<sup>7)</sup>。したがって、本研究と同程度まで体温を上昇させて、同様の方法で呼吸化学感受性を評価する必要がある。

## 5. 結論

本研究結果は、低強度運動（90 W 強度）および低強度運動と軽度の体温上昇の組み合わせは、 $f_R$ への影響を除いて、CO<sub>2</sub>に対する呼吸化学感受性を変化させないこと、また、 $f_R$ に対してはセントラルコマンドの影響が強く、CO<sub>2</sub>に対する呼吸化学受容器反射の影響が比較的小さいことを示唆する。

## 利益相反

本研究において申告すべき利益相反はなく、適切にコントロールされ、実施した。本研究は JSPS 科研費（15K01641）の助成を受けたものです。

## 謝辞

本研究に研究参加者として参加していただいた皆様に感謝申し上げます。また、医学的サポートの面でご協力いただいた鈴江毅教授（姫路大学）と測定に協力していただいた金田拓也氏（当時静岡大学教育学部学生）に感謝申し上げます。

## 引用文献

- 1) Ward SA (2014), Ventilatory control. Granger DN and Granger J. *Control of breathing during exercise*. pp. 27–70, Morgan & Claypool Life Sciences (San Rafael, Calif., USA).
- 2) McConnell AK, Semple ESG, Davies CTM (1993), Ventilatory responses to exercise and carbon dioxide in elderly and younger humans. *Eur J Appl Physiol*, 66, 332–337.
- 3) Miyamura M, Folgering HT, Binkhorst RA, Smolders FDJ, Kreuzer F (1976), Ventilatory response to CO<sub>2</sub> at rest and during positive and negative work in normoxia and hyperoxia. *Pflügers Arch*, 364, 7–15.
- 4) Weil JV, Byrne-Quinn E, Sodal IE, Kline JS, McCullough RE, Filley GF (1972), Augmentation of chemosensitivity during mild exercise in normal man. *J Appl Physiol*, 33, 813–819.
- 5) Baker JF, Goode RC, Duffin J (1996), The effect of a rise in body temperature on the central-chemoreflex ventilatory response to carbon dioxide. *Eur J Appl Physiol*, 72, 537–541.
- 6) Natalino MR, Zwillich CW, Weil JV (1977), Effects of hyperthermia on hypoxic ventilatory response in normal man. *J Lab Clin Med*, 89, 564–572.
- 7) Hayashi K, Ogawa T, Sugiyama K (2015), Effect of rising body temperature on respiratory chemosensitivity to CO<sub>2</sub>. *Extrem Physiol Med*, 4 (Suppl 1), A152.
- 8) Taylor NAS, Tipton MJ, Kenny GP (2014), Considerations for the measurement of core, skin and mean body temperatures. *J Therm Biol*, 46, 72–101.
- 9) Hayashi K, Suekuni M, Sugiyama K (2019), Effect of food intake on respiratory chemosensitivity to CO<sub>2</sub> in young adults. *J Physiol Anthropol*, 38, 8.
- 10) Ogawa T, Hayashi K, Ichinose M, Nishiyasu T (2007), Relationship between resting ventilatory chemosensitivity and maximal oxygen uptake in moderate hypobaric hypoxia. *J Appl Physiol*, 103, 1221–1226.
- 11) Asmussen E, Nielsen M (1957), Ventilatory response to CO<sub>2</sub> during work at normal and at low oxygen tensions. *Acta Physiol Scand*, 39, 27–35.
- 12) Masson RG, Lahiri S (1974), Chemical control of ventilation during hypoxic exercise. *Respir Physiol*, 22, 241–262.

- 13) McConnell AK, Semple ESG (1996), Ventilatory sensitivity to carbon dioxide: the influence of exercise and athleticism. *Med Sci Sports Exerc*, 28, 685–691.
- 14) Beaudin AE, Walsh ML, White MD (2012), Central chemoreflex ventilatory responses in humans following passive heat acclimation. *Respir Physiol Neurobiol*, 180, 97–104.
- 15) Oren A, Whipp BJ, Wasserman K (1991), Effects of chronic acid-base changes on the rebreathing hypercapnic ventilatory response in man. *Respiration*, 58, 181–185.
- 16) Boulet LM, Tymko MM, Jamieson AN, Ainslie PN, Skow RJ, Day TA (2016), Influence of prior hyperventilation duration on respiratory chemosensitivity and cerebrovascular reactivity during modified hyperoxic rebreathing. *Exp Physiol*, 101, 821–835.
- 17) Nicolò A, Bazzucchi I, Haxhi J, Felici F, Sacchetti M (2014), Comparing continuous and intermittent exercise: an “isoeffort” and “isotime” approach. *PLoS ONE*, 9, e94990.
- 18) Nicolò A, Marcora SM, Sacchetti M (2016), Respiratory frequency is strongly associated with perceived exertion during time trials of different duration. *J Sport Sci*, 34, 1199–1206.
- 19) Bell HJ, Duffin J (2006), Rapid increases in ventilation accompany the transition from passive to active movement. *Respir Physiol Neurobiol*, 152, 128–142.
- 20) Ganio MS, Brown CM, Casa DJ, Becker SM, Yeargin SW, McDermott BP, Boots LM, Boyd PW, Armstrong LE, Maresh CM (2009), Validity and reliability of devices that assess body temperature during indoor exercise in the heat. *J Athl Train*, 44, 124–135.

## 野菜加工残渣のアップサイクルによる飼料用ミズアブ (*Hermetia illucens*) の生産と水産飼料としての利用検討

Upcycling of vegetable processing residues for the production and aquafeed  
utilization of the black soldier fly (*Hermetia illucens*)

酒井 麻衣<sup>1)</sup> 大原 裕也<sup>1,2)</sup> 井戸 篤史<sup>3)</sup> 三浦 猛<sup>3)</sup> 小林 公子<sup>1,2)</sup>

1) 静岡県立大学大学院 薬食生命科学総合学府 食品栄養環境科学研究所

2) 静岡県立大学 食品栄養科学部 食品生命科学科

3) 愛媛大学 大学院農学研究科

**抄録** 近年、限りある天然資源である魚粉に代わる飼料資源の候補として昆虫が注目されている。なかでもミズアブ (*Hermetia illucens*) は、野菜加工副産物などの未利用資源を乾燥させることなくそのまま餌として利用できるため、効率的に飼料原料として生産することができる。本研究では、静岡県内の食品工場で恒常的に発生する野菜加工副産物であるバイオソリッドとジャガイモ加工残渣を主原料としてミズアブ幼虫の生産の条件検討を行った。その結果、これらの素材を 1:3 の比で配合した際にミズアブ幼虫の生産効率が最も高くなった。さらに、この条件で得られたミズアブ幼虫が魚粉を代替する飼料原料として有用かを評価するため、モデル魚類であるゼブラフィッシュ (*Danio rerio*) を用いて飼育試験を行った。その結果、ミズアブ幼虫脱脂粉末を 45% 配合した飼料で飼育した群は、魚粉を 45% 含む対照飼料群と同等かそれ以上の成長を示した。以上の結果から、本研究で生産したミズアブ幼虫は、魚粉の代替原料として有望であることが示唆された。

**キーワード:** 昆虫配合飼料、資源循環、アメリカミズアブ、ゼブラフィッシュ

**Abstract** In recent years, insects have attracted increasing attention as promising alternative feed ingredients to fishmeal. The black soldier fly (BSF) (*Hermetia illucens*) is particularly suitable for efficient feed insect production, as it can utilize residues of vegetable processing and other unused biomass directly as feed substrates without the need for drying. In this study, we examined the optimal conditions for producing BSF larvae using vegetable processing by-products, bio-solids and potato residues. The highest production efficiency was achieved when these two substrates were mixed at a 1:3 ratio (bio-solids:potato residues). Furthermore, to evaluate the potential of the produced BSF larvae as a fishmeal alternative, a feeding trial was conducted using zebrafish (*Danio rerio*) as a model species. Fish fed a diet containing 45% BSF meal exhibited growth performance comparable to or greater than that of fish fed a control diet containing 45% fishmeal. These results suggest that BSF valorized from food processing residues is a promising alternative protein source to fishmeal for aquaculture feeds.

**Key words:** Insect-based feed, Resource circulation, Black soldier fly, Zebrafish

受理日: 2025年12月8日

採択日: 2026年3月4日

オンライン公開日: 2026年3月20日

連絡先: 大原 裕也

静岡県立大学食品栄養科学部食品栄養科学科

e-mail: y-ohhara@u-shizuoka-ken.ac.jp

## 1. 序論

世界的に養殖漁業の生産量は増加し続けており、2033年には全食用魚の約60%が養殖由来になると予測されている<sup>1)</sup>。このような潮流に対応するため、水産飼料の主要なタンパク質源である魚粉の安定的供給体制を確立する必要があるが、気候変動や世界的な魚粉需要の増大などを背景に、魚粉の持続的な確保が危ぶまれている。わが国においても、カタクチイワシ等の輸入魚粉の価格は上昇傾向で推移している<sup>2)</sup>。そのため、養殖漁業を持続可能なものにするためには、魚粉を代替する新規飼料資源の開発と実用化が急務となっている。

魚粉の配合率を低下させるアプローチとして、大豆粕などの植物性原材料の配合率を増加させる取り組みが進められてきた<sup>3)</sup>。しかしながら、肉食性の養殖魚を対象とした場合、植物性原料をベースとした飼料では成長効率が低下するケースがあるため、部分的な代替にとどまっている。そこで近年、魚粉を代替する新たな飼料資源の探索・開発が活発化し、その候補として昆虫由来のタンパク質が注目されている。国際連合食糧農業機関 (FAO) が2013年に発表した、持続可能な食料生産における昆虫の潜在的な有用性を示した「Edible insect」<sup>4)</sup>により、食料・飼料資源としての昆虫の可能性が世界的に注目されるようになった。昆虫はタンパク質が豊富であり、乾燥重量に占めるタンパク質の割合は魚粉や食肉に匹敵する<sup>4,5)</sup>。昆虫のアミノ酸組成は種により異なるが、魚粉とのアミノ酸組成の類似性の点において植物性原料より優れている<sup>4,5)</sup>。昆虫の飼育に必要な土地面積は小さく、ミールワーム (*Tenebrio molitor*) やアメリカミズアブ (*Hermetia illucens*) (以下ミズアブとする) などの雑食性昆虫は、野菜加工副産物などの未利用食資源を栄養源として生産が可能である<sup>4,6,7)</sup>。すなわち、未利用食資源から水産用動物性原料として利用可能な昆虫への変換 (アップサイクル) が可能である。また、ミールワームの飼育には乾燥した環境が適しているのに対し、ミズアブは水分含有量が高い餌が適している。そのため、ミズアブの生産においては、乾燥のコストを発生させることなく、水分の多い野菜加工副産物をそのまま餌として利用可能である。

これまでに、モデル魚類であるゼブラフィッシュ (*Danio rerio*) や、ブリ、マダイといった養殖魚を対象

に、ミズアブミール (乾燥・脱脂・粉末化したミズアブ) の栄養価や有効性に関する研究が行われてきた<sup>8-12)</sup>。さらに、未利用食資源を栄養源としてミズアブ幼虫を生産するための研究開発も進められている。未利用食資源の栄養価が、ミズアブ幼虫の発育タイミングや体サイズに影響することや、ミズアブ生産には複数の未利用食資源を組み合わせることが不足する栄養を補う上で有効であることが示唆されている<sup>6,7)</sup>。そのため、利用検討する食資源ごとにミズアブ幼虫生産に最適な配合条件を見出す必要がある。また、未利用食資源を餌料として生産したミズアブ幼虫が、実験用の高栄養餌料で育成したミズアブ幼虫と比較しても飼料原料として遜色がないかどうかを検証する必要がある。

本研究では、静岡県内の食品工場で恒常的に発生する野菜加工副産物をモデル資源として、小規模生産が可能な閉鎖飼育方法を用い、効率的にミズアブ幼虫を生産するための条件の検討を行った。さらに、生産したミズアブ幼虫を用いてゼブラフィッシュを対象とした飼育試験を実施し、魚粉代替飼料としての有用性を評価した。

## 2. 材料および方法

### 2.1 野菜加工副産物を用いたミズアブ幼虫生産条件の検討

本研究では、静岡県内の食品工場で発生する「ジャガイモ加工残渣」と、野菜の洗浄で発生した排水を微生物処理し沈殿させた「バイオソリッド」を所定の組成で混合し、ミズアブ幼虫の餌として使用した。これらは、分譲元の食品企業において主たる野菜加工副産物であり、ミズアブの生産モデルを検討する上で適した資源であると判断し使用した。これらの野菜加工副産物の粗タンパク質含有量をケルダール法により測定し、二種類の残渣の配合により粗タンパク質の組成が15-20%となるように調整した。ミズアブ若齢幼虫は、試験開始までグルコース・コーンミール・酵母餌 (GCY 餌) (表1) で飼育した。幼虫は室温28-30°C・湿度約60%の環境で飼育した。

配合組成を最適化するために、各種閉鎖型容器を活用し以下の試験を行った。50 mL 容量のバイオリアクターチューブ (グライナー、227-245) に餌20gを入れ、

そこへ産卵後 6 日の若齢幼虫 100 個体を投入した。7 日後に各容器から無作為に 10 個体ずつ取り出して重量を測定した。その後、80g の餌を入れた 730mL 容量の飼育容器 (ジップロック R スクリューロック : 通気用の穴とフィルターを導入) (旭化成) に幼虫を餌ごと移した。産卵後 16、19、22、および 26 日において各容器から無作為に 10 個体ずつ取り出して重量を測定した。産卵後 26 日では、摂食期の幼虫 (1-6 令) と外骨格が黒化した非摂食期の個体 (7 令・前蛹・蛹) の個体数をカウントした。

個体密度の検討は以下の手順で実施した。730mL 容量の飼育容器に餌 120g を入れ、そこへ産卵後 5 日の若齢幼虫を約 600 個体投入した。産卵後 12 日に幼虫を餌から一度洗い出し、幼虫 100 個体の総重量が均等 (1 ケース約 2g、1 匹あたり約 20mg) になるように新しい飼育容器に分け、飼育容器に餌を 100g または 150g 入れた。産卵後 26 日には、ミズアブ幼虫を容器から回収し水洗後、個体の総重量、摂食期の幼虫、および非摂食期の個体数を計測・カウントした。

最終的に、上記研究で見出した飼育条件をスケールアップしミズアブ生産試験を行った。730mL 容量の飼育容器に、コーンミール・酵母を原料とする「CY 餌」(表 1) 100g、または、ジャガイモとバイオソリッドを原料とする「PB 餌」100g を入れ、そこへ産卵後 7 日の若齢幼虫を 2.5g ずつ投入した。産卵後 10 日に、CY 餌 1kg または野菜加工副産物の餌 1.5kg を入れた 20L 容量のウォータータンク (大澤ワックス社) に幼虫を餌ごと移し、通気メッシュを挟んで蓋をした。産卵後 19 日に、ミズアブ幼虫を水洗し総重量を測定したのち、1 日絶食させ餌抜きを行った。翌日、水洗したのち再度総重量を測定し、これを後述する方法で加工し、ゼブラフィッシュの飼育試験に用いた。

## 2.2 ミズアブミールの加工

上記の実験で生産したミズアブ幼虫を 1 分間煮沸処理した。煮沸処理したミズアブ幼虫を恒温乾燥機により 60°C で一晩乾燥させたのち、スピードミルを用いて破碎した。破碎したミズアブ粉末を 4 倍量のヘキサンに加え攪拌し脱脂を行った。脱脂の操作を 2 回行ったのち、ドラフト内でミズアブ粉末を静置し、残存するヘ

キサンを揮発させた。ミズアブ脱脂粉末を目開き 500 および 250  $\mu\text{m}$  のふるいに 1 回ずつかけ、250  $\mu\text{m}$  のふるいを通過したものをゼブラフィッシュ飼育試験に使用した。粗タンパク質および粗脂質の含有量は、それぞれ、ケルダール法およびソックスレー抽出法により分析した。

## 2.3 ゼブラフィッシュ飼育試験

魚粉を 45% 配合した対照飼料と、魚粉を全て CY ミズアブ脱脂粉末または PB ミズアブ脱脂粉末に置き換えた飼料の 3 種類を設計した (表 2)。各飼料の粗タンパク質を同等にするために、動物性原料以外の素材を配合した「植物性飼料」を作製した (表 3)。混合した原料に餌がまとまるように水を加えて重量 40mg の練り餌を作製し、給餌まで 4°C で保存した。保存期間は最長 1 週間とした。

ゼブラフィッシュ飼育実験は、静岡県立大学動物実験委員会の承認を得て実施した (承認番号 F235425)。実験に用いた野生型ゼブラフィッシュ (RIKEN WT) は、産卵後 59 日までゾウリムシ、ブラインシュリンプ、および市販の配合飼料・Gemma Micro ZF (スクレッティング社) を与え、水温 28-29°C、14・10 時間の明暗サイクルで飼育した。産卵後 55 日の時点で、ゼブラフィッシュを 9 個の水槽に 20 匹ずつ分け飼育した (1 種類の飼料につき水槽 3 基)。試験開始前日である産卵後 60 日は給餌を行わなかった。産卵後 61-120 日の 60 日間、1 日あたり練り餌を 1 粒 (産卵後 61-81 日)、2 粒 (産卵後 82-95 日)、3 粒 (産卵後 96-104 日)、4 粒 (産卵後 105-120 日) を目安に給餌した。それぞれのタイムポイントにおいて、一尾ずつ体長測定用のケースに入れ写真を撮影し、ImageJ を用いて標準体長を測定した。産卵後 123 日に重量の測定を行った。

## 2.4 統計解析

各種統計解析 (One-way ANOVA、Tukey's test、t-test、カイ 2 乗検定) は R を用い実施した。

表 1. GCY 餌および CY 餌の組成

原料	使用量		単位
	GCY 餌	CY 餌	
コーンミール	70	180	g
粉末酵母	40	130	g
グルコース	100	-	g
寒天	5.5	-	g
おがくず	-	60	g
プロピオン酸	-	3.8	mL
水	1000	630	mL
粗タンパク質 (% in dry weight)	12	22	

表 2. ミズアブ幼虫配合飼料の組成

原料	原料の栄養組成 (% in dry weight)			配合率 (%)	
	粗タンパク質	粗脂質	対照飼料	CY ミズアブ 配合飼料	PB ミズアブ 配合飼料
魚粉 (新東亜交易)	65	7.8	45	-	-
CY ミズアブ脱脂粉末	66	3.4	-	45	-
PB ミズアブ脱脂粉末	57	2.9	-	-	45
植物性飼料 (対照飼料用)	36	2.8	45	-	-
植物性飼料 (CY ミズアブ配合飼料用)	35	2.5	-	45	-
植物性飼料 (PB ミズアブ配合飼料用)	44	3.9	-	-	45
魚油 (タラ肝油) (新東亜交易)	0	100	10	10	10
合計	-	-	100	100	100
練り餌 1 粒当たりの重量 (mg)			40	40	40
粗タンパク質 (% in dry weight)			45	45	45
粗脂質 (% in dry weight)			15	13	13

表 3. 植物性飼料の組成

原料	原料の栄養組成 (% in dry weight)		配合率 (%)	配合率 (%)	
	粗タンパク質	粗脂質		対照飼料用	CY ミズアブ 配合飼料用
大豆粕	46	1.2	44	44	44
コーングルテンミール	61	8.7	22	18.6	37.1
小麦粉	11	1.2	26	29.4	10.9
ビタミンミックス	-	-	1	1	1
ミネラルミックス	-	-	0.6	0.6	0.6
塩化コリン	-	-	0.1	0.1	0.1
安定化ビタミンC	-	-	0.3	0.3	0.3
第一リン酸カルシウム	-	-	1	1	1
カルボキシメチルセルロース	-	-	5	5	5
合計	-	-	100	100	100
粗タンパク質 (%)			36	35	44
粗脂質 (%)			2.8	2.5	3.9

### 3. 結果

#### 3.1 野菜加工副産物を用いたミズアブ生産の最適化

ジャガイモ加工残渣とバイオソリッドを用い、乾燥重量に対する粗タンパク質量が 10、15、20%となる餌を作製し、これらの餌で飼育したミズアブ幼虫の成長効率を比較した(図 1)。各群 3 つの飼育容器で構成し、各飼育容器に 100 個体を使用した(総個体数は各群 300 とした)。産卵後 13 日(残渣投与 7 日)の時点では、粗タンパク質量の多い餌ほど重量が大きくなった。その後、産卵後 16 日から 19 日にかけてミズアブ幼虫の重量が増加し、産卵後 22 日でピークに達した。産卵後 16-22 日の間は、餌の粗タンパク質量によってミズアブ幼虫の重量に有意差はなかった。産卵後 26 日目になると、粗タンパク質 10 および 15%の群と比較し、粗タンパク質 20%の群ではミズアブ幼虫の重量が有意に小さくなった。このタイムポイントにおける致死個体数を比較すると、粗タンパク質 15%および 20%の群では致死個体は 300 個体中 21 個体(7%)であったのに対し、粗タンパク質 10%の群では致死個体が 300 個体中 48 個体(16%)となり有意差がみられた。また、粗タンパク質量 20%の餌を摂取した群では、生存個体のうち 75 個体(27%)が非摂食期に移行していた一方で、粗タンパク

質量 15%および 10%の餌を摂取した群では非摂食期の個体の割合がそれぞれ 18 個体(6.5%) および 3 個体(1.2%)であった。粗タンパク質 10%と 15%の餌を摂取した群を比較すると、どのタイムポイントにおいても粗タンパク質 15%の群において重量が高い傾向が見られたことから、以後のミズアブ生産試験では、粗タンパク質量が 15%となる、ジャガイモ加工残渣 75%とバイオソリッド 25%を混合した餌・PB 餌を使用した。

PB 餌で飼育したミズアブ幼虫の平均重量は、最も大きい群でも 100mg にとどまっておらず(図 1)、最大 200mg を超える重量にまで到達するミズアブ幼虫のポテンシャルを十分に活かしてきれていないことが課題となった。そこで次に、産卵後 12-26 日の間に、若齢幼虫 100 個体を 100g(餌 1g/個体)または 150g の餌(餌 1.5g/個体)で飼育し、1 個体あたりの餌を多くすることで重量が増加するか調べた(図 2)。各群 3 つの飼育容器を用いて総個体数を 300 とした。産卵後 12 日において総重量 2g であった幼虫は、産卵後 26 日まで飼育すると、ミズアブの総重量は餌 100g の群で 11g となった一方で、餌 150g の場合は総重量が 14g に到達していた。また、産卵後 26 日目において生存個体数と非摂食期の個体をカウントすると、餌 100g の群でそれぞれ平

均 98%および 9.5%、餌 150 g の群で平均 99%および 8.4%となっており、どちらも群間で有意差はなかった。以上の結果から、PB 餌を使用する場合、幼虫に対する餌の量を 1.5 倍に増やすことで重量を大きくすることができることが分かった。

次に、上記研究で見出した飼育条件をスケールアップし、ミズアブ幼虫生産試験を行った (図 3)。比較対象として、ミズアブの系統維持・研究に用いられる CY 餌 (粗タンパク質約 20%) を用いた。各群 3 つの飼育容器で構成し、各飼育容器に産卵後 7 日目の若齢幼虫を 2.5 g 投入した。また、非摂食期への移行による重量減少を最小限にとどめるために、生産試験は受精後 20

日目までとし、ゼブラフィッシュでの飼育試験に用いることを考慮して受精後 19-20 日の間に餌抜きを行った。その結果、産卵後 20 日の時点で PB 餌 1.6 kg から平均総重量 110 g のミズアブ幼虫が得られた一方、対照区である CY 餌 1.1 kg の群では、平均総重量 150 g のミズアブ幼虫が得られた。見かけの飼料効率 (増加した重量/使用した飼料の重量) を算出すると、PB 餌を摂取した群では見かけの飼料効率が平均 0.067 であったのに対し、CY 餌を摂取した群では平均 0.13 となった。この結果は CY 餌と比べ PB 餌はミズアブ幼虫の生産効率が低いことを示している。

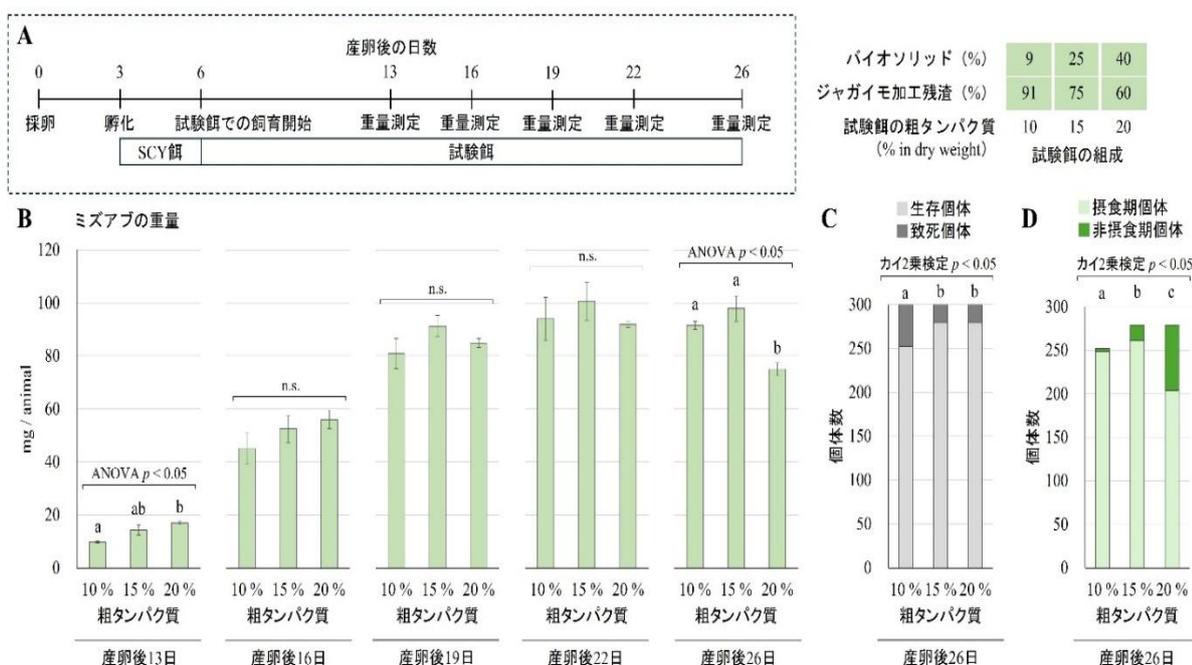


図 1. ジャガイモ加工残渣およびバイオソリッドの配合率の検討

(A) 飼育試験のタイムスケジュールを示す。1つのバッチにつき 100 g の餌で 100 個体を飼育し、1群あたり 3 つのバッチを試験した。産卵後 6 日から試験餌で飼育した。(B) 産卵後 13、16、19、22、および 26 日におけるミズアブ幼虫の重量を示す。各群 3 つのバッチの平均値と標準誤差を示す。各バッチにおいて、無作為に選抜した 10 個体の平均値を算出した。各タイムポイントで統計学的解析を実施した (ANOVA および Tukey's test)。異なるアルファベット間で有意差があることを示す (Tukey's test) ( $p < 0.05$ )。n.s.: 統計学的有意差なし (ANOVA、 $p > 0.05$ )。

(C and D) 産卵後 26 日における生存個体数と致死個体数 (C)、および、摂食期個体の数と非摂食期に移行した個体の数 (D) を示す。3 群のカイ 2 乗検定後、2 群間総当たりのカイ 2 乗検定を実施した。異なるアルファベット間で有意差があることを示す ( $p < 0.0167$ : Bonferroni 補正後)。

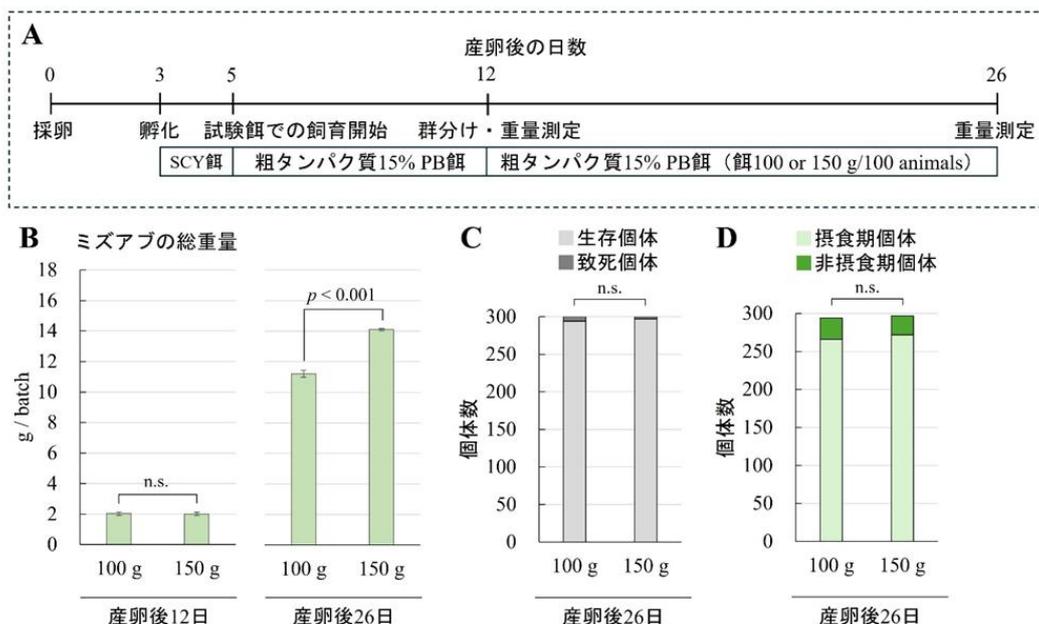


図2. ミズアブ個体数と餌の比率の検討

(A) 飼育試験のタイムスケジュールを示す。1つのバッチにつき100個体を飼育し、1群あたり3つのバッチを試験した。産卵後5-12日の間、100個体の幼虫を20gのPB餌で飼育したのち、100個体を100gまたは150gのPB餌で飼育する条件に切り替えた。(B) 産卵後12および26日におけるミズアブ幼虫の総重量を示す。各群3つのバッチの平均値と標準誤差を示す。各タイムポイントで統計学的解析を実施した (*t*-test)。n.s.: 統計学的有意差なし ( $p > 0.05$ )。(C and D) 産卵後26日における生存個体数と致死個体数 (C)、および、摂食期個体の数と非摂食期に移行した個体の数 (D)を示す。n.s.: 統計学的有意差なし (カイ2乗検定、 $p > 0.05$ )。

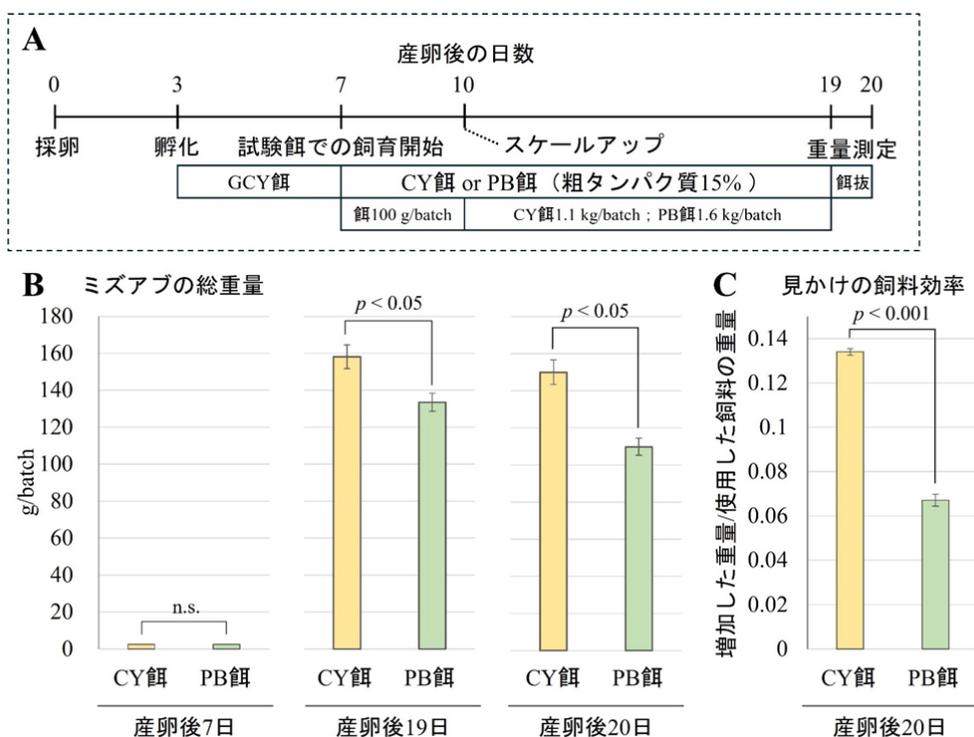


図3. 飼料用ミズアブの生産

(A) 飼育試験のタイムスケジュールを示す。1群あたり3つのバッチを試験した。産卵後7日において総重量2.5gの幼虫を100gのCY餌またはPB餌に投入し飼育したのち、産卵後10日において1kgのCY餌または1.5kgの

PB 餌を追加し飼育した。産卵後 19-20 日に餌抜きを行った。(B) 産卵後 7、19、および 20 日におけるミズアブ幼虫の総重量を示す。各群 3 つのバッチの平均値と標準誤差を示す。各タイムポイントで統計学的解析を実施した (*t*-test)。n.s. : 統計学的有意差なし ( $p > 0.05$ )。(C) 産卵後 20 日における見かけの飼料効率 (増加した重量/使用した飼料の重量) を示す。*t*-test を実施した。

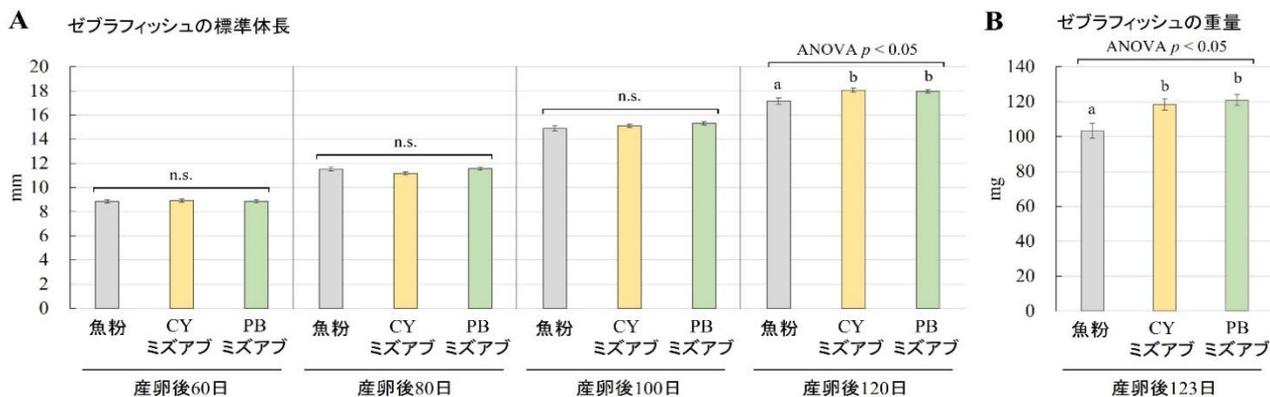


図 4. ミズアブミール配合飼料によるゼブラフィッシュ飼育試験

魚粉を主体とする飼料を投与した対照区 (魚粉) と、CY 餌および PB 餌で生産したミズアブを配合した飼料を投与した群 (それぞれ、CY ミズアブおよび PB ミズアブと示す) の飼育試験の結果を示す。飼育試験は受精後 60-123 日に実施した。(A) 産卵後 60、80、100、および 120 日目における標準重量を示す。各群のサンプルサイズは 56-60 であり、平均値と標準誤差を示す。各タイムポイントで統計学的解析を実施した (ANOVA および *t*-test)。n.s. : 統計学的有意差なし (ANOVA、 $p > 0.05$ )。異なるアルファベット間で有意差があることを示す (Tukey's test) ( $p < 0.05$ )。(B) 産卵後 123 日における重量を示す。各群のサンプルサイズは 56-60 であり、平均値と標準誤差を示す。統計学的解析として ANOVA および Tukey's test を実施した。異なるアルファベット間で有意差があることを示す (Tukey's test) ( $p < 0.05$ )。

### 3.2 ゼブラフィッシュ飼育試験

野菜加工副産物から生産したミズアブ幼虫の、水産飼料としての有効性を明らかにするために、魚粉を 45% 配合した対照飼料と、魚粉を全て CY ミズアブ脱脂粉末 (CY 餌で生産したミズアブの脱脂粉末) または PB ミズアブ脱脂粉末 (PB 餌で生産したミズアブの脱脂粉末) に置き換えた飼料を 60 日間ゼブラフィッシュに給餌し、成長効率を解析した (図 4)。各群 3 つの水槽で構成し、各水槽に 20 個体を使用した (各群の総個体数は 60 とした)。試験開始時の受精後 60 日は 3 群の体長に有意差はなく、受精後 80 および 100 日時点においても 3 群の体長に有意差はなかったが、受精後 120 日の時点では、対照群と比べ CY 餌および PB 餌の群で体長が有意に大きくなっていった。対照群では平均体長が 17.1 mm であったのに対し、CY ミズアブ脱脂粉末および PB ミズアブ脱脂粉末で飼育した群では平均体長が 18.0

mm であった。また、試験終了後にゼブラフィッシュの重量を測定したところ、対照群では平均重量が 103 mg であったのに対し、CY ミズアブ脱脂粉末および PB ミズアブ脱脂粉末で飼育した群では平均重量がそれぞれ 118 および 121 mg であり、統計学的有意差が認められた。この結果は、ゼブラフィッシュに対してミズアブ脱脂粉末は魚粉と同等以上の成長作用を有することを示している。

## 4. 考察

### 4.1 野菜加工副産物がミズアブの発育タイミングに及ぼす影響

本研究では、野菜加工で発生する未利用資源であるバイオソリッドとジャガイモ加工残渣を栄養源として、ミズアブ幼虫の生産の最適化を試みた。この中で、バイオソリッド配合量ならびに粗タンパク質の割合が高い

餌の場合、ミズアブの非摂食期への移行が早まり収量が低下することが分かった (図 1)。タンパク質・アミノ酸レベルの高い富栄養状態では、Target of rapamycin (TOR) シグナルやインスリンシグナルといった栄養シグナルが活性化し、全身の成長が活性化する<sup>13)</sup>。さらに、成長期終盤では、これらのシグナル伝達経路は摂食を停止させ蛹への変態を惹起する鍵ホルモンである「エクジステロイド」の産生を活性化させる<sup>13)</sup>。このことから、一つの可能性として、バイオソリッドの配合率が高い場合、ミズアブ体内のアミノ酸レベルが上昇することで栄養シグナルとエクジステロイド産生が活性化し、結果として非摂食期への移行が早まったことが考えられる。別の可能性として、バイオソリッドに含まれる微生物群によるエクジステロイド産生促進作用が予想される。ショウジョウバエでは、腸管内の乳酸菌が、成長シグナルの制御を介してエクジステロイド産生ならびに非摂食期への移行を促進することが報告されている<sup>14)</sup>。これらの可能性を検証するために、今後、ミズアブ幼虫餌中のアミノ酸組成・含有量や、加熱による微生物の不活性化の有無が、栄養シグナル、エクジステロイド産生、および発育タイミングに及ぼす影響を明らかにしていく必要がある。しかし、ミズアブにおける栄養シグナルの活性指標やエクジステロイド合成経路などは明らかにされていないため、まずはショウジョウバエでの知見をもとに、ミズアブ発育過程の栄養依存性に関する分子生物学的知見を積み重ねていく必要がある。

#### 4.2 飼料資源としてのミズアブの有用性と課題

ゼブラフィッシュ飼育試験の結果から、PB 餌で生産したミズアブ幼虫は、CY 餌で生産したミズアブ幼虫と同様に、魚粉と同等に飼料として利用できることが分かった (図 4)。魚粉すべてをミズアブ脱脂粉末に置き換えたが、ゼブラフィッシュの発育効率を低下させることはなかった。よって、ミズアブ幼虫生産に使用する食資源によらず、ミズアブ幼虫は魚粉を代替するタンパク質源として利用可能であることが示唆される。しかし、PB 餌で生産したミズアブ幼虫は、CY 餌で飼育したミズアブ幼虫と比較し粗タンパク質の割合が低く (表 3)、タンパク質含有量の観点では CY 餌で生産し

たミズアブ幼虫に劣る。PS 餌で生産したミズアブ幼虫の粗タンパク質は 57% となり魚粉よりやや低く (表 2)、魚粉代替率の増加に伴い他の飼料原料で不足するタンパク質を補う必要がある。実際、本研究においても、PB 餌で生産したミズアブ幼虫をゼブラフィッシュ用の飼料に配合する際に植物性タンパク質の割合を増やし、餌全体の粗タンパク質を底上げしている (表 2)。より粗タンパク質の割合が高いミズアブ幼虫を生産するためには、ミズアブ幼虫生産用の餌の粗タンパク質を 20% 程度に高める必要があると予想される。しかし、本研究で用いた野菜加工副産物の場合、粗タンパク質を 20% にすると収量が低下した (図 1)。そのため、ミズアブ幼虫の粗タンパク質と収量のバランスを考慮した生産条件の調整が求められる。

ゼブラフィッシュを用いた先行研究においても、全魚粉をミズアブ脱脂粉末に置換することによりゼブラフィッシュの成長は阻害されず、むしろ成長効率が向上傾向となることが報告されている<sup>15)</sup>。しかし、ミズアブ幼虫を含む飼料用昆虫は、魚の正常な発育と健康維持に重要なタウリンを欠いているため<sup>16)</sup>、タウリン要求性の高い魚種の場合はタウリンの添加が必須であると予想される。さらに、ミズアブなどの昆虫類は、特に海水魚において栄養要求性の高い必須脂肪酸・ドコサヘキサエン酸 (DHA) やエイコサペンタエン酸 (EPA) などの長鎖オメガ 3 脂肪酸を欠いているため<sup>16)</sup>、ミズアブ幼虫を水産飼料として使用する場合、DHA や EPA が豊富な魚油の添加は必須である。本試験においても、ミズアブ幼虫配合飼料には魚油が添加されている。魚油もまた限りある天然資源であるため、持続可能な養殖漁業を目指すうえでは、魚粉だけでなく魚油を代替する資源についても今後の更なる研究開発が望まれる。ミズアブに EPA を蓄積させるために、海藻を配合した餌でミズアブを生産する試みはなされているが、総脂肪酸のうち EPA が 6% 含まれる海藻で飼育した場合であってもミズアブの総脂肪酸に占める EPA の割合は 1% にしか到達しない<sup>17)</sup>。このように、現段階ではミズアブを介して長鎖オメガ 3 脂肪酸を濃縮させることは難しく、目的に応じて、カイコなどの長鎖オメガ 3 脂肪酸の蓄積能力の高い昆虫種<sup>18)</sup>の利用を検討することが望ましい。

今後、ミズアブを水産飼料用原料として社会実装するためには、生産効率を高めるための研究や飼料研究だけでなく、社会受容性の改善も重要な課題として挙げられる。昆虫は東南アジアを中心に食料として利用されており<sup>4)</sup>、自然界では昆虫類は淡水魚の主要な栄養源となっている<sup>19)</sup>。しかし、欧米やわが国では、昆虫を食資源とみなし利用することに対して根強い抵抗感がある<sup>20,21)</sup>。このことを解決するためには、飼料原料としての昆虫の栄養特性や安全性について科学的エビデンスを積み重ね、その成果を発信し続けることが必要である。また、飼料として昆虫特有の機能性を見出し、それを最大限高める技術を開発することも、飼料資源としての昆虫の価値・地位を高めることに繋がる。これらの課題に一つ一つ取り組んでいくことにより、水産養殖におけるミズアブ配合飼料の社会実装への道筋が見えてくるものと期待される。

以上、本研究では、2種類の野菜加工副産物を栄養源としてミズアブを生産する条件を最適化するとともに、ゼブラフィッシュをモデルに魚粉代替飼料としての有効性を検証した。本研究で活用した閉鎖型ミズアブ生産系は、小規模でのミズアブ生産の検討に有用であり、ミズアブ生産研究の新たな選択肢となり得る。さらに、本研究で得られた成果は、昆虫を核とした資源アップサイクル研究を応用基盤的な段階から社会実装へと推し進める基盤となるものであり、この点において発展性を有する。特に、ゼブラフィッシュの飼育において魚粉を完全にミズアブで代替できたという結果は、養殖魚でのミズアブの利用検討を進めるうえで重要な知見となる。

## 謝辞

野菜加工副産物を提供くださいました株式会社ヤマザキ様に御礼申し上げます。また、野生型ゼブラフィッシュ系統を分譲くださいました、ナショナルバイオリソースプロジェクト・理化学研究所脳神経科学研究センターに感謝申し上げます。

## 引用文献

1) OECD/FAO (2024), OECD-FAO Agricultural Outlook 2024-2033, Paris and Rome,

<https://doi.org/10.1787/4c5d2cfb-en>.

2) Fisheries Agency, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries. (2025, June 6). Annual report on the developments in Japan's fisheries in FY2024 (令和6年度水産白書).

[https://www.jfa.maff.go.jp/j/kikaku/wpaper/r06\\_h/index.html](https://www.jfa.maff.go.jp/j/kikaku/wpaper/r06_h/index.html)

3) Hussain SM, Bano AA, Ali S, Rizwan M, Adrees M, Zahoor AF, Sarker PK, Hussain M, Arsalan MZ, Yong JWH, Naeem A (2024), Substitution of fishmeal: highlights of potential plant protein sources for aquaculture sustainability. *Heliyon*, 10(4), e26573.

4) van Huis A, Van Itterbeeck J, Klunder H, Mertens E, Halloran A, Muir G, Vantomme P (2013), Edible insects: future prospects for food and feed security. (FAO forestry paper; No. 171). Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations.

5) Tang C, Yang D, Liao H, Sun H, Liu C, Wei L, Li F (2019), Edible insects as a food source: a review. *Food Prod Process and Nutrition*, 1, 8.

6) Eggink KM, Lund I, Pedersen PB, Hansen BW, Dalsgaard J (2022), Biowaste and by-products as rearing substrates for black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae: effects on larval body composition and performance. *PLoS One*, 17(9), e0275213.

7) Nguyen TT, Tomberlin JK, Vanlaerhoven S (2013), Influence of resources on *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larval development. *Journal of Medical Entomology*, 50(4), 898–906.

8) Vargas A, Randazzo B, Riolo P, Truzzi C, Gioacchini G, Giorgini E, Loreto N, Ruschioni S, Zarantoniello M, Antonucci M, Polverini S, Cardinaletti G, Sabbatini S, Tulli F, Olivotto I (2018), Rearing zebrafish on black soldier fly (*Hermetia illucens*): biometric, histological, spectroscopic, biochemical, and molecular implications. *Zebrafish*, 15(4), 404–419.

9) Hirayasu H, Yamamoto T, Tsujimura H, Seyama T, Ido A, Hashizume A, Miura T, Yamamoto K (2023), Growth experiment of juvenile red sea bream *Pagrus major* fed low or non-fish meal diets formulated with black soldier fly

- Hermetia illucens* meal. *NIPPON SUISAN GAKKAISHI*, 89(5), 414–423.
- 10) Daifuku T, Tsujimura H, Hirayasu H, Yamamoto K, Seyama T (2024), Effect of long-term feeding diet containing defatted black soldier fly *Hermetia illucens* larvae meal on the growth of red sea bream *Pagrus major*. *NIPPON SUISAN GAKKAISHI*, 90(6), 551–553.
- 11) Ido A, Ali MFZ, Takahashi T, Miura C, Miura T (2021). Growth of yellowtail (*Seriola quinqueradiata*) fed on a diet including partially or completely defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal. *Insects*, 12(8), 722.
- 12) Tran HQ, Nguyen TT, Prokešová M, Gebauer T, Doan HV, Stejskal V (2024), Systematic review and meta - analysis of production performance of aquaculture species fed dietary insect meals. *Reviews in Aquaculture*, 14(3), 1637–1655.
- 13) Texada MJ, Koyama T, Rewitz K (2020), Regulation of body size and growth control. *Genetics*, 216(2), 269–313.
- 14) Storelli G, Defaye A, Erkosar B, Hols P, Royet J, Leulier F (2011), *Lactobacillus plantarum* promotes *Drosophila* systemic growth by modulating hormonal signals through TOR-dependent nutrient sensing. *Cell metabolism*, 14(3), 403–414.
- 15) Zarantonello M, Randazzo B, Gioacchini G, Truzzi C, Giorgini E, Riolo P, Gioia G, Bertolucci C, Osimani A, Cardinaletti G, Lucon-Xiccato T, Milanović V, Annibaldi A, Tulli F, Notarstefano V, Ruschioni S, Clementi F, Olivotto I (2020), Zebrafish (*Danio rerio*) physiological and behavioural responses to insect-based diets: a multidisciplinary approach. *Scientific Reports*, 10(1), 10648.
- 16) Rossi G, Psarianos M, Ojha S, Schlüter OK (2025), Review: Insects as a novel feed ingredient: processing technologies, quality and safety considerations. *Animal*, 3, 101495.
- 17) Liland NS, Biancarosa I, Araujo P, Biemans D, Bruckner CG, Waagbø R, Torstensen BE, Lock EJ (2017), Modulation of nutrient composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae by feeding seaweed-enriched media. *PLoS One*, 12(8), e0183188.
- 18) Yu XB, Shen YY, Cui QM, Chen Y, Sun W, Huang XZ, Zhu Y (2018), Silkworm (*Bombyx mori*) has the capability to accumulate C20 and C22 polyunsaturated fatty acids. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 120(2), 1700268.
- 19) Ueda R, Kanaiwa M, Terui A, Takimoto G, Sato T (2025), Seasonal timing of ecosystem linkage mediates life-history variation in a salmonid fish population. *Ecology*, 106(5), e70114.
- 20) Kröger T, Dupont J, Büsing L, Fiebelkorn F (2022), Acceptance of insect-based food products in western societies: a systematic review. *Frontiers in Nutrition*, 8, 759885.
- 21) Ngo HM, Moritaka M (2021), Consumer attitudes and acceptance of insects as food and feed: a review. *Journal of the Faculty of Agriculture, Kyushu University*, 66(2), 259–266.

## 生涯健康科学ジャーナル

Journal of Lifelong Well-being Sciences

ISSN 2759-1700

No.5

2026年3月20日発行（年2回 9月・3月発行）

編集 生涯健康科学ジャーナル編集委員会  
発行 静岡県公立大学法人 静岡県立大学  
〒422-8526 静岡市駿河区谷田 52 番 1 号  
Shizuoka Prefectural University Corporation  
University of Shizuoka  
52-1 Yada, Suruga-ku, Shizuoka City  
Tel: 054-264-5801, Fax: 054-264-5899  
E-mail: [lifelongwell-being@u-shizuoka-ken.ac.jp](mailto:lifelongwell-being@u-shizuoka-ken.ac.jp)

# Journal of Lifelong Well-being Sciences

No.5 March, 2026

---

## CONTENTS

### ◆Research Paper

Progress and Perspectives of the Shizuoka Study

Yasuharu TABARA ..... 1

A Report on Concept-Based Learning Activities in Oregon, USA

Yayoi NAGANO, Yasuko HOSODA, Yukari KATAYAMA,

Ai KATSUYAMA, Aimi FURUKAWA, Mayumi NEGISHI ..... 5

Effect of light intensity exercise and mild hyperthermia on respiratory chemosensitivity to CO<sub>2</sub>

Keiji HAYASHI, Koji SUGIYAMA ..... 12

Upcycling of vegetable processing residues for the production and aquafeed utilization of the black soldier fly (*Hermetia illucens*)

Mai SAKAI, Yuya OHHARA, Atsushi IDO, Takeshi MIURA, Kimiko KOBAYASHI ..... 20

---

University of Shizuoka