

未来社会創造事業（探索加速型）

「持続可能な社会の実現」領域

年次報告書（本格研究）

令和 3 年度採択研究開発代表者

[研究開発代表者名:中山 一郎]

[国立研究開発法人水産研究・教育機構・理事長]

[研究開発課題名:日本型持続可能な次世代養殖システムの開発]

実施期間 : 令和 5 年 4 月 1 日～令和 6 年 3 月 31 日

§1. 研究開発実施体制

(1)「飼料」グループ(国立大学法人京都大学)

①主たる共同研究者:小川 順 (京都大学農学研究科、教授)

②研究項目

- ・植物資源を活用した魚粉・魚油代替機能性飼料の生産
- ・必須栄養素の新規代謝物を活用した新規飼料の開発
- ・新規代謝物を誘導する腸内細菌を活用した新規飼料の開発
- ・飼料調製、成分解析ならびに給餌試験

(2)「飼料」グループ(国立研究開発法人理化学研究所)

①主たる共同研究者:有田 誠 (理化学研究所生命医科学研究センター、チームリーダー)

②研究項目

- ・必須栄養素の新規代謝物を活用した新規飼料の開発
- ・新規代謝物を誘導する腸内細菌を活用した新規飼料の開発
- ・飼料調製、成分解析ならびに給餌試験

(3)「飼料」グループ(日本水産株式会社)

①主たる共同研究者:畑中 晃昌 (株式会社ニッスイ中央研究所、研究室長)

②研究項目

- ・飼料調製、成分解析ならびに給餌試験

(4)「育種」グループ(東京海洋大学)

①主たる共同研究者:吉崎悟朗 (東京海洋大学 生殖工学研究所、所長)

②研究項目

- ・ゼロ歳魚成熟誘導
- ・不妊魚の大量生産
- ・生殖細胞の超低温保存

(5)「育種」グループ(東京大学)

①主たる共同研究者:菊池 潔 (東京大学 水産実験所、教授)

②研究項目

- ・ゲノミックセレクション

(6)「育種」グループ(長崎県総合水産試験場)

①主たる共同研究者:山田 敏之 (長崎県総合水産試験場 科長)

②研究項目

- ・ゲノミックセレクション

(7)「日本型養殖システムの開発」グループ(東京大学)

①主たる共同研究者:北澤 大輔 (東京大学生産技術研究所、教授)

②研究項目

- ・半閉鎖式養殖システムの水槽実験
- ・自然エネルギーを活用した養殖システムの水槽実験

(8)「日本型養殖システムの開発」グループ(水産研究・教育機構)

- ① 主たる共同研究者: 中山 一郎 (水産研究・教育機構、理事長)
- ② 研究項目
 - ・半閉鎖式養殖システムでの飼育魚のストレス応答の把握
 - ・養殖システム開発に向けたシンポジウム等の開催と情報収集

§2. 研究開発成果の概要

(1)「飼料」グループ

植物資源を原料とし、魚を原料とせず(魚粉・魚油代替餌料)、魚の健康を維持でき(魚粉・魚油代替機能性餌料)、環境適合性・経済性をともなった「資源循環型飼料」の開発を目的としている。

令和5年度は、各研究項目において、以下の成果を得た。

- 1) 植物資源を活用した魚粉・魚油代替機能性飼料の生産については、発酵脱脂大豆、グルコースを用いる固体発酵 DHA 生産において、固体発酵時の DHA 生産量の増加を再現性良く確認するとともに、固体発酵 DHA 生産量 15 mg/g DW(総脂質(55 mg/g DW)中の DHA 含量 27%)を達成した。また、デンプンを炭素源として利用できる液体培養系を確立し、発酵 DHA 生産の低コスト化につながる知見を得た。
- 2) 必須栄養素の新規代謝物を活用した新規飼料の開発については、これまでに見いだしていたサバの必須脂肪酸代謝物を生産しうる微生物から、本代謝物の生成に関与する酵素の特定を試み、新規酵素を見いだした。
- 3) 新規代謝物を誘導する腸内細菌を活用した新規飼料の開発については、新規 EPA 代謝物を生産する魚類腸内細菌の代謝物生産を効率化する培養条件ならびに反応条件を確立した。
- 4) 飼料調製、成分解析ならびに給餌試験を実施し、発酵脱脂大豆におけるサバ生育促進効果の一因として、遊離アミノ酸量の変化が関与する可能性を示した。さらに、開発飼料において、植物残渣由来飼料による魚粉代替 20%、発酵 DHA による魚油代替 50%を達成した。また、試験に用いたサバの中に、低 DHA 飼料、発酵 DHA 飼料に適した個体がいることを認めた。

(2)「育種」グループ

0 歳魚成熟誘導とゲノミックセレクション(GS)法を融合した新たな選抜育種をサバ類で実践する。これにより、「高成長」および「高飼料効率」といった養殖業者の要望が強く、循環養殖に求められる複数形質の同時改良をマサバで可能にすることを目的としている。

令和5年度は、各研究項目において、以下の成果を得た。

- 1) ゼロ歳魚成熟については、これまでに雄では4か月齢で、雌では9か月齢で機能的な配偶

子の生産に成功しているが、人為的な環境制御により、雌においてこれまでよりさらに短い、8 か月齢で成熟させ、次世代を得ることに成功した。

- 2) マサバにおけるゲノミックセレクション(GS)法については、昨年度に作出した養殖集団の 993 個体をゲノムシーケンシングに供して、遺伝的多様性の高い次世代集団の作出に利用する親魚候補 107 個体を選定した。そのうち年度末まで生残した個体(メス 48 個体とオス 50 個体)について血縁度を算出して交配可能なペアを選定した。これらの親魚から生産される 2 世代目の養殖集団は、成長性等の表現型の評価に用いることが可能となり、今後の生育の早い個体のセレクションに繋がる。
- 3) また、マサバの全ゲノム概要を 24 本の染色体レベルにまとめることに成功し、詳細な遺伝子注釈情報を得た。これらの情報を用いて、マサバの性分化期の網羅的遺伝子発現解析を行った結果、性染色体上に遺伝子で発現量に雌雄差のある性決定関連遺伝子をいくつか発見した。
- 4) マサバにおける不妊魚の作出に関して、繁殖に必須と考えられる遺伝子のホモノックアウト(KO)個体の作出に成功した。
- 5) 生殖細胞の超低温保存による品種バンクの構築について、これまでに条件検討したガラス化法により保存したマサバ精巣を一部が不妊となるゴマサバとマサバの F_1 交雑魚を宿主として、生殖細胞移植を実施した。今後、これらの宿主が成熟し、ドナー由来の次世代を生産可能か確認する。

(3)「日本型養殖システムの開発」グループ

サバ類をモデルとした沿岸半閉鎖循環式養殖システムの開発と実証、および沖合養殖システムも含め、多様な環境、魚種に応用可能な養殖システムパッケージの開発を目的としている。

令和5年度は、各研究項目において、以下の成果を得た。

- 1) 柔軟体生簀の実現可能性をより詳細に調査するため、シートの安全性評価を行ったところ、1 枚のシートの実験では生簀枠とシートの間で顕著なスナップ張力は発生しないこと、生簀模型の実験ではシートの剛性が生簀の運動に大きな影響を及ぼさないことが示された。スロッシングによる振動流の魚群行動への影響を調べたところ、生簀が動揺している場合は魚が中央部かつ底付近に集まることが示されたので、シート生簀を用いる場合には飼育密度を低く設定する必要がある可能性がある。内部流れについては、育種グループから提供されたサバの排泄物の再懸濁実験結果をもとに、模型実験に着手するとともに、生簀内部循環システムの設計を行った。令和 6~7 年度の実海域実証実験の海域と実施方法が概ね固まった。
- 2) 一辺 10m、網丈 6m で最大深さ 8m の角型生簀で、サバに加えて、日本の主要な養殖魚種であるブリ、マダイ等の養殖を行うため、柔軟体生簀を用いた半閉鎖循環式養殖システムを作成した。システムの各構成要素については、それぞれ専門とする企業と設計を行い、同システムを常時使用するのに加えて、高水温、赤潮、寄生虫等による被害が発生する季節にのみ半閉鎖循環式養殖システムを導入する可能性も示唆された。令和 5 年 12 月 12 日

に開催されたシンポジウム「持続可能な次世代養殖システムの開発：サバ養殖の新たな展開に向けて」において、養殖システムに関する様々な意見を得た。沖合養殖システムパッケージについては、荒天時にバージ船を係留システムから容易に切り離す方法を構想するとともに、サーモン類養殖用の生簀として、ヒーププレートを設けた海面生簀の動揺特性を調べ、いくつかの波周期条件下では動揺を抑制できることが示された。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Ip C H, et al. (2024) Production of docosahexaenoic acid by a novel isolated *Aurantiochytrium* sp. 6-2 using fermented defatted soybean as a nitrogen source for sustainable fish feed development. Biosci Biotechnol Biochem, in press, <https://doi.org/10.1093/bbb/zbae035>
- 2) Morita and Yoshizaki (2023) Germline stem cells: Basic studies and applications in conservation and aquaculture. Encyclopedia of Fish Physiology, Second Edition
- 3) Tani et al., (2023) Polymerase chain reaction-based species identification of chub mackerel (*Scomber japonicus*), blue mackerel (*Scomber australasicus*), and their hybrids using a species-specific InDel marker. Fish Genetics and Breeding Science
- 4) Zhao et al. (2023) A physical model approach to mooring forces and motion responses of a closed fish tank including internal free water. Proceedings of the ASME 2023 42nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, OMAE2023-105129, 8 pp.