

令和 6 年 6 月 12 日現在

機関番号：82708

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H03069

研究課題名（和文）底質汚染の視点で考える環境調和型養殖システムの構築 養殖環境の抜本的解決のために

研究課題名（英文）Developing an environment-friendly aquaculture system for the remediation of bottom sediment pollution: a sustainable solution to conserve the aquaculture environment.

研究代表者

伊藤 克敏（ITO, Katsutoshi）

国立研究開発法人水産研究・教育機構・水産技術研究所(廿日市)・主任研究員

研究者番号：80450782

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,500,000円

研究成果の概要（和文）：養殖環境問題の「底質汚染」に着目し課題に取り組んだ。底質汚染の影響について、マダイ及びクルマエビを対象にして検討した結果、底質汚染が生育・行動に重大な影響を及ぼすことが立証された。養殖環境の診断法として、電位連続測定、及び底質メタボローム解析を検討した結果、両手法共に、底質汚染の指標である硫化物と相関が認められ、診断法としての可能性が示唆された。天然マダイは底生生物を主な餌資源としていることから、底質まで自由に潜れる飼育装置を開発し、試験を実施した。その結果、底質に沈んだ残渣を食べ、効率よく成長し且つ、底質汚染も軽減された。この新規養殖法から、養殖環境の抜本的解決につながる可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

世界的に広がる環境に対する意識の高まりから、水産従事者もAEL（養殖エコラベル）やASC（水産増殖管理協議会）等各種認証制度を積極的に取得する傾向になりつつあるものの、認証の取得には環境への配慮が必須であり、特に底質環境が問題となるケースが多い。今後増加するであろう国内外の需要を見据えた水産生産の拡大のためにも、底質汚染改善に向けた本研究課題の実施により得られた研究成果の社会的意義は大きい。また底質汚染が養殖魚に与える影響を科学的に明らかにすると共に、養殖現場において、養殖場の環境全体を診断する技術を開発することは、環境診断技術としての汎用性も高く、学術的意義も大きいと考えられる。

研究成果の概要（英文）：We focused on sediment pollution as an alarming issue that has evolved due to aquaculture practices. The effect of sediment pollution was examined by exposing the sea bream and shrimp. Individuals of both species were found to be significantly affected in terms of growth and behavior. Aquaculture environments were diagnosed using a continuous potentiometer and sediment metabolome analysis in which both inhibited correlation with sulfide as an indicator of sediment pollution, suggesting the potential of those methods for assessing the polluted sediment. Since sea bream feeds mainly on benthic organisms in nature, we developed and tested a rearing device that allows fish individuals to access the sediment freely. As a result, the sea bream fed on the residues that settled on the sediment could grow and reduce the sediment pollution. This new approach could dramatically change the remediation progress of sediment pollution and the global advancement of sustainable aquaculture practices.

研究分野：環境保全学

キーワード：環境電位 底質汚染 メタボローム解析 底生動物 硫化物量

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

養殖業を主とした持続可能な水産資源に大きな期待がかかっている。しかしながら、養殖場の環境は漁網防汚剤等の化学物質汚染及び、過剰な有機物（飼料）負荷に伴う富栄養化が問題になっている。こうした汚染物質の多くが底泥に蓄積し、底質汚染を起因とした養殖場全体の環境汚染が、養殖の生産性を下げるだけでなく、養殖生物の生育に悪影響を及ぼすことが指摘されている（図1）。しかしながら、因果関係の詳細は明らかにされていない。

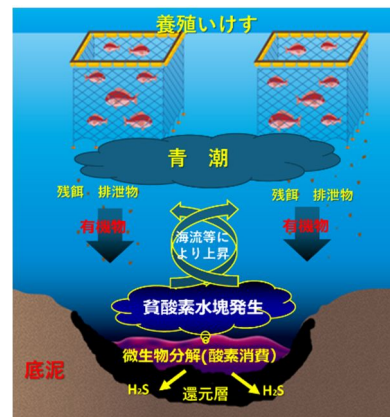


図1. 養殖漁場の底質汚染

2. 研究の目的

本研究課題では、養殖環境問題の抜本的な解決に向け、「底質汚染」に着目し養殖魚への汚染底質の『影響評価』、養殖環境の『健全性の診断』、そして『改善』までパッケージ化した革新的な技術開発を提案する。具体的には、底質汚染の異なる実験水槽にて飼育試験を実施し、各水槽内の底質を用いたメタボローム解析ならびに底質環境電位の連続計測という、養殖現場には馴染みのなかった先端技術を導入し、養殖場の環境を診断する。さらに、改善の必要性が認められた際、底生動物の環境浄化能を用いて、積極的な底質改善を実施し、持続可能な環境調和型養殖技術の開発を目的とした。健全な養殖環境は国際基準の養殖魚の創出にもつながり、海に囲まれる日本の一次産業のポテンシャルを大きく高めるものである。

3. 研究の方法

本課題では、以下の3つの課題に取り組んだ。

- 1) 環境汚染が養殖生物に及ぼす影響
- 2) 養殖環境の診断技術の高度化
 - 2)-1 メタボローム解析を用いた環境診断
 - 2)-2 環境電位を指標にした環境診断
- 3) 底生動物を用いた積極的な環境修復技術の開発

4. 研究成果

- 1) 環境汚染が養殖生物に及ぼす影響

・マダイ

国内の重要養殖対象種であるマダイ (*Pagrus major*) を試験生物として、底質汚染の及ぼす影響を評価した。平均体重 1.0g のマダイ稚魚を、酸揮発性硫化物量 (AVS) を基準とした3段階 (試験区 1 : 0.04 mg/g、試験区 2 : 0.24mg/g、試験区 3 : 1.2 mg/g) の底質を敷設した条件にて4週間飼育した (n=7/処理区)。マダイは1尾ごと専用容器に収容し、マダイを収容しない区を各試験区について設け、それぞれを対照区とした。試験水温は 20℃、海水かけ流し条件下で、対照区を含む全ての容器に1日に平均体重当たり4%の餌を与えた。試験の結果、底質汚染濃度が最も高い試験区3で飼育13日後に、中程度の試験区2では20日後に全てのマダイが死亡した。試験区1では20日後に1個体死亡したが、残りの個体は28日間生存した。また、試験区1のマダイは試験区2のマダイに比べ有意に体重が増加した。これらの結果は、底質汚染がマダイの生育に影響を与えることを示唆している。この結果から、底質汚染はマダイの生残に重大な影響を及ぼすことが改めて立証された。

・クルマエビ

クルマエビ (*Marsupenaeus japonicus*) はその生活様式から底質汚染がより直接的に影響を及ぼすことが想定される。平均全長 46 mm のクルマエビを、マダイの試験と同様に AVS を基準とした3段階 (AVS : 試験区 1 : 0.04 mg/g、試験区 2 : 0.17 mg/g、試験区 3 : 1.20 mg/g) の底質にて4週間飼育した。クルマエビは1尾ごと収容し、クルマエビを収容しない区を各試験区について設け、それぞれを対照区とした。試験水温は 20℃、海水かけ流し (2回転/日) 条件下で、対照区を含む全ての容器に1日に平均体重当たり5%の餌を与えた。実験開始から4週間後のクルマエビの全長・体重に各試験区間で有意な差は認められなかったが、試験区2及び3の体重増加量は試験区1に比べ低い傾向が認められた。クルマエビのストレスマーカーを測定した結果、AVS濃度の最も高い試験区3ではSOD活性が試験区1に比べ有意に増加するとともに、GSHが有意に減少しており、底質汚染がクルマエビに酸化ストレスを与えていることが示唆された。また試験区3では、1/3の個体で底質に潜らず全身を露出し、汚染底質からの忌避行動が観察された。この結果から、底質汚染がクルマエビの生育・行動に影響を与えていることが明らかとなった。

2) 養殖環境の診断技術の高度化

2)-1 メタボローム解析を用いた環境診断

養殖場の底質のメタボローム解析から底質の健全性を診断する技術を構築するため、汚染度合いの異なる底質を敷設した水槽にてクルマエビの飼育試験を実施し、底質のメタボローム解析を行い、差次的に検出される物質の特定を試みた。クルマエビを収容しない区を各試験区について設け、それぞれを対照区とした。クルマエビ飼育水槽及び対照区の底質メタボローム解析により 70 の代謝物が同定された。同定された代謝物に、汚染度合いの違い及びクルマエビの有無により差異が認められた。また、底質汚染の指標である AVS と各代謝物の相関を検討した結果、全体の 50% の代謝物に相関が認められ、底質メタボローム解析の新たな底質診断技術としての可能性が示唆された (図 2)。

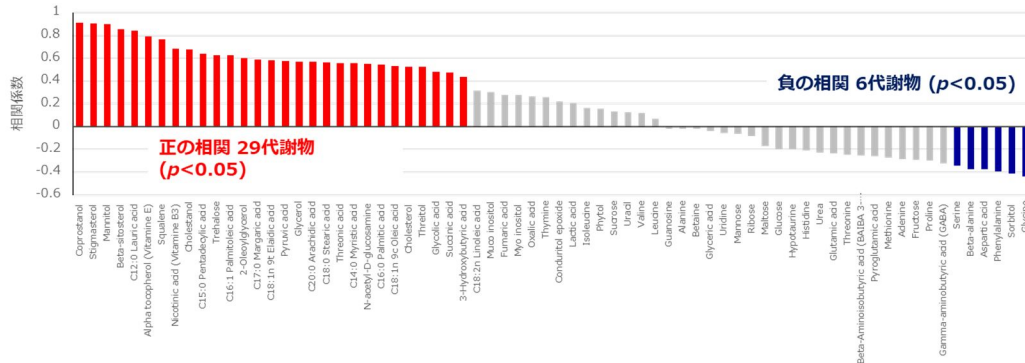


図 2. クルマエビ飼育底質から検出した各代謝物と酸揮発性硫化物量との関係

2)-2 環境電位を指標にした環境診断

有機物負荷に伴う底質汚染について海水かけ流し水槽に、電位測定器を設置した新たな試験系を作成し、マダイの飼育試験を実施した。試験は一日にマダイの体重当たり 1%、3%、5% の餌料を与える区をそれぞれ設けた。その結果、マダイの成長に関して 1%区に比べ 3%区、及び 5%区は有意に高い値を示したが、3%区及び 5%区に有意な差は認められなかった。一方、底質電位は 5%区では還元的な状態で推移し、1%区及び 3%区は酸化的な環境で推移した。さらに、5%区においては試験開始から 1 週間で AVS の上昇が確認された。これらの結果は、底質電位の連続測定により、底質汚染の指標である AVS の上昇をある程度類推可能であることを示唆している。

3) 底生動物を用いた積極的な環境修復技術の開発

上記 1) の試験において、マダイ有無により、底質 AVS の値が大きく異なることが明らかとなった (図 3)。マダイは自然界においてはベントスを主な餌資源としている。実際にマダイが底質を掘り返す様子や残餌を食べる様子が観察されたことから、マダイの行動がマダイ飼育区における底質汚染抑制につながったものと推察した。そこで、養殖環境の抜本的解決に向け、マダイを底質浄化生物として捉えた、新たな養殖手法の開発に取り組んだ。マダイを 1 個体ごとに飼育する円柱状の装置を開発し、底質の上に網を被せ、マダイが接触できないようにした区 (底質非接触区 : 通常海面養殖場を再現)、底質の上に網を被せずマダイが自由に底質まで潜れる区 (底質区) を設けて飼育実験を行った。その結果、底質非接触区のマダイは底質区のマダイに比べ有意に成長が悪く、AVS が有意に高い値を示した。マダイは底質に沈んだ残餌を食べ、効率よく成長し且つ、底質汚染も軽減されることが明らかとなった。さらにマダイの腸内菌叢を調べた結果、底質区においては腸内菌叢が良好に保たれることが明らかとなった。この結果は、マダイが底質中の有用菌を取り込むプロバイオティクス効果の可能性を示唆している。この新規養殖法は、マダイ自ら飼育環境を改善し環境にやさしく、且つ、健康的な住処も担保されるというフィッシュウェルフェア、及び給餌された餌を余すことなく成長に使い、環境負荷を軽減していることから SDGs にも貢献する可能性を秘めている。

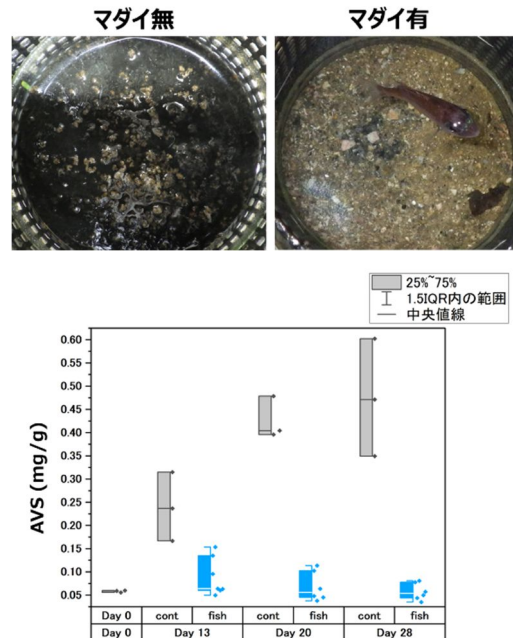


図 3. マダイ有無による AVS の推移の違い

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 0件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 伊藤克敏	4. 巻 8
2. 論文標題 ベントス共生系の資源循環能を活かした底質環境ホメオスタシス	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 アグリバイオ	6. 最初と最後の頁 9-14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 伊藤克敏、伊藤真奈、中村龍平	4. 巻 59
2. 論文標題 養殖場底質環境のリアルタイムモニタリング	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 月刊養殖ビジネス	6. 最初と最後の頁 28-31
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 伊藤克敏	4. 巻 -
2. 論文標題 成長のカギは研究にあり！水産機構 7 養殖漁場環境を見える化 汚れ確認しミミズで清浄へ	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日刊水産経済新聞	6. 最初と最後の頁 2
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 1件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Katsutoshi ITO, Mana ITO
2. 発表標題 Application of benthic animals to bioremediation for polluted sediments.
3. 学会等名 Global Sustainable Aquaculture Advancement Partnership（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 伊藤克敏、伊藤真奈、羽野健志
2. 発表標題 マダイと底質汚染をめぐる相互影響関係の検証
3. 学会等名 令和6年度 日本水産学会春季大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 伊藤克敏、伊藤真奈、羽野健志
2. 発表標題 クルマエビの底質汚濁軽減効果と汚染底質が生理機能に与える影響 - 底質メタボローム解析およびストレスマーカーを指標に -
3. 学会等名 令和3年度 日本水産学会秋季大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	中村 龍平 (Nakamura Ryuhei) (10447419)	国立研究開発法人理化学研究所・環境資源科学研究センター・チームリーダー (82401)	
研究分担者	羽野 健志 (Hano Takeshi) (30621057)	国立研究開発法人水産研究・教育機構・水産技術研究所(廿日市)・主任研究員 (82708)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------