

電位操作によるベントスの活性変化の把握及び底質改善効果

水産技術研究所 環境・応用部門 環境保全部 化学物質グループ
共同研究機関 理化学研究所 環境資源科学研究センター

研究の背景・目的

1. 人口の増加に伴う食料危機を回避する切り札として、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ます。
2. 一方で、過剰な飼料投与による養殖環境の悪化は、深刻な問題になっています。特に、残餌や排泄物が蓄積する底質環境への負荷は大きく、底質のヘドロ化や富栄養化状態を作り出し、貧酸素水塊が形成されるだけでなく、赤潮や魚病の発生につながる懸念されています。
3. そのため、底質環境の健康度を評価するための環境評価技術や実用性のある底質改善技術の開発が求められています。
4. これまで、国立研究開発法人理化学研究所及び民間企業と共同で、底質環境指標の一つである酸化還元電位（環境電位）のリアルタイムモニタリングに成功しました。本課題では外部からの電位操作による底質改善効果及び底生動物（ベントス）の活性変化を検証し電気化学的手法を活用した底質浄化法の有効性を検証しました。

研究成果

1. 重度の有機汚濁底質（酸揮発性硫化物量*¹（以下、硫化物量）：11.2 mg/g-dry）を、電位操作が可能なリアクター内に入れ、底質の電位を人為的に正の電位（0.30 mV vs. Ag/AgCl）に操作し、60日間、20℃で培養しました。作用極にはガラス電極（フッ素ドープ酸化スズ（FTO）電極）を用い、電位操作を行わないリアクターを対照区とし各試験区には4つの繰り返し区を設けました。試験開始から、10日、30日及び

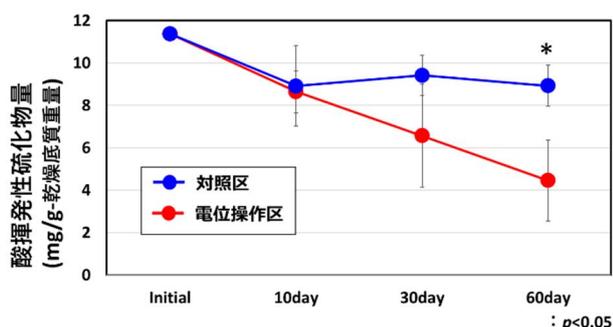


図1. 電位を酸化的に操作した際の硫化物量の変化

60日後に、底質中の硫化物量及び硫酸還元菌*²の遺伝子コピー数（菌数）を経時的に解析しました。その結果、人為的に電位を0.30 mVに操作した試験区の硫化物量は、30日目に平均6.6 mg/gまで減少し、60日目には平均4.6 mg/g（6割減少）となり、対照区と比較して有意な差が認められました（図1）。硫酸還元菌数は、硫化物量と同様に、30日目から対照区と比較して低い値を示し、60日後には有意な差が認められました。（図2）

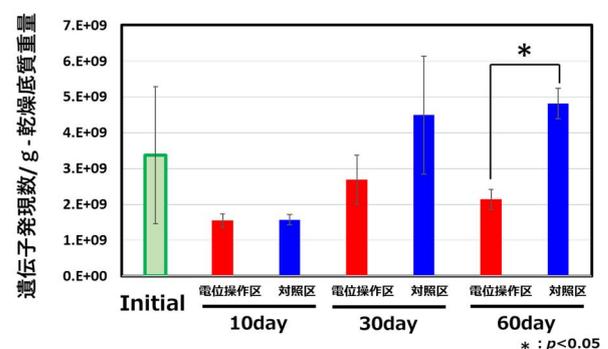


図2. 定量PCR法による硫酸還元菌数の推移

以上の結果から、汚染底質の電位を人為的に操作することで、電気化学的に硫化物量が減少するほか、硫酸還元菌の活性を抑えることが可能であることが明らかとなりました。

2. ゴカイやミミズなどのベントスは底質中の有機物質を分解したり、自らが動き回ることによって底質を攪拌し底質環境を浄化する能力を持っています（Ito et al., 2016）。海産ミミズ（*Thalassodrilides cf. briani*）はベントスの中でも汚染に対して耐性が高く、有害な化学物質も浄化する能力があることが明らかになっています（Ito et al., 2022）。底質浄化を効率よく行うには、ベントスが底質中で活発に動き回ることが重要です。そこで、底質電位の変動に伴うベントスの活性変化を検証するため、環境電位を計測しながら、海産ミミズの行動を調べました。飼料を投与する前は、およそ半数の海産ミミズが尻尾を海水に突き出していました。飼料の投与により電位が低下すると、ほぼ全ての海産ミミズは底質に潜り出し、体全体を底質に埋めま

した。数日後、電位が回復し出すと、尻尾を海水に突き出した元の行動に戻りました(図3)。このことから、海産ミミズの行動も、底質電位を計測することで評価できることが示唆されました。さらに、核磁気共鳴(NMR)法を用いて、異なる環境電位に置かれた海産ミミズの代謝解析を行いました。その結

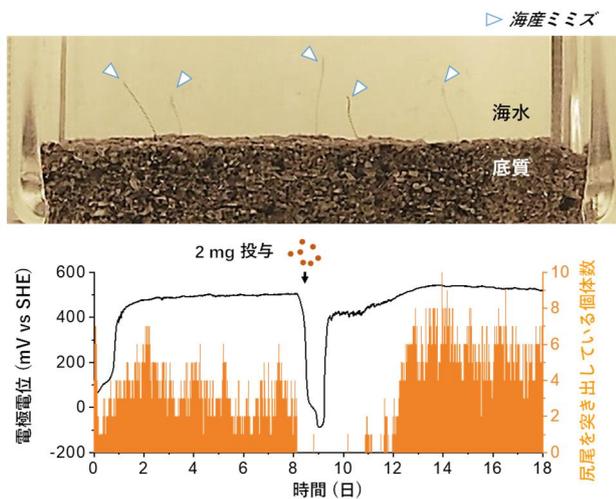


図3. 電位に応じた海産ミミズの行動変化

果、海産ミミズは環境電位が高く、酸化的な環境(酸素が比較的多い環境)では尻尾を海水に出し好気呼吸を行い、一方、環境電位が低いときには底質の中に体を沈めフマル酸呼吸^{*3}を行っていることが分かりました。

これらの結果は、海産ミミズが、飼料の投与により大きく変動する環境電位に対して、行動と代謝を切り替えながら適応していることを示しています。

波及効果

1. 環境電位は給餌量に応じて変化することから、同手法を用いることで養殖場での適切な給餌量を見積もることが可能になります(特許 WO2018/127989)。人為的に電位を操作することで海産ミミズの代謝活性さらには運動性までも制御が可能であることから、養殖場の環境診断のみならず、微弱電気を利用した環境浄化法としての利用が期待されます。
2. 以上の成果は、環境負荷を抑えた持続的な水産養殖業や、汚濁した底質の浄化法の確立に向けた進歩であり、国際連合が2016年に定めた17項目の「持続可能な開発目標(SDGs)」のうち「2.飢餓をゼロに」「6.安全な水とトイレを世界中に」「14.海の豊かさを守ろう」に貢献する成果です。

プレスリリース

「電気を使った海産ミミズの観察と制御—養殖場の環境診断と浄化技術への応用に期待—」令和4年8月9日 理化学研究所—水産研究・教育機構 共同プレスリリース

水産研究・教育機構ウェブサイト

<https://www.fra.affrc.go.jp/pressrelease/pr2022/20220809/20220809press.pdf>

本成果が記された論文

Shono *et al.* (2022) *Frontiers in Microbiology*

<https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.907703>

本研究は、農林水産省委託プロジェクト研究脱炭素・環境対応プロジェクトのうち「有害プランクトンに対応した迅速診断技術の開発 研究代表者：五條堀孝」JPJ005317の課題にて行われました。

用語説明

*1 底質の環境評価する指標の一つ。値が高いほど底質環境が悪いことを示し、水産用水基準で示されている底質基準値は0.2 mg/g-dryである。

*2 嫌氣的環境において有機物を分解し、硫黄化合物を還元する微生物の総称。硫化水素などの還元物質を生成することで、底質の環境電位は低下する。

*3 低酸素濃度環境で進行する呼吸の一種。酸素の代わりに、コハク酸が最終電子受容体として働く。

参考文献

Ito, K., *et al.* (2022). *Sci Total Environ*, 153969.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153969>

Ito, M., *et al.* (2016). *Chemosphere*, 163, 392-399.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.08.046>