

令和 5 年 6 月 14 日現在

機関番号：82708

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K21871

研究課題名（和文）自然界に存在する汚染耐性底質のメカニズム解明 海洋底質を鍛錬する方法を学ぶ

研究課題名（英文）Elucidation of the mechanisms of naturally occurring pollution-resistant bottom sediments: learning how to forge marine sediments.

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） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：産業活動の盛んな沿岸域の一部では、深刻な底泥汚染が進行している。故に海底環境の状態を迅速に把握し汚染の進行を食い止めることが重要である。

本研究では底生動物の代謝や運動性と連動する環境電位という指標を用いて、有機物を負荷した際の底質及び、人為的に底質を正の電位に操作した際の底質環境因子の変動についてそれぞれ検討した。その結果、有機物付加直後から電位および細菌叢の変動が認められた一方で、環境基準でもある酸揮発性硫化物量（AVS）は遅れて増加し24時間程度のタイムラグがあった。人為的に電位を操作した実験では、底質菌叢が改変されると共に、AVSの値を対照区に比べ有意に低下させることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の実施により、有機物による環境負荷は、環境を汚染させる原因という固定観念を覆すだけでなく、適切な、有機物負荷は、底質の自浄作用を増加させる。この結果は、過剰な有機物負荷により、深刻化している養殖場底質の汚染問題解決の糸口となるばかりでなく、電気化学の最大の利点である「任意のタイミング」で「任意の大きさ」の電流を底質環境に作り出せるという特徴を利用した、革新的かつ実践的な環境改善技術開発に向けた多くの『芽』を含んでいる。

研究成果の概要（英文）：Bottom sediments undergo pollution in coastal areas that are surrounded by industries; therefore, the state of the seafloor environment must be quickly assessed to halt the progression of pollution. We investigated the changes in bottom sediments after organic matter addition and artificial manipulation of bottom sediments to a positive potential, using the environmental potential as an indicator that changes in tandem with the metabolism and motility of benthic animals. Results showed that environmental potential and bacterial flora changed immediately after the addition of organic matter, while the quantity of acid volatile sulfide (AVS), which is also a standard environmental parameter, increased after a time lag of approximately 24 h. We successfully altered benthic bacterial flora and significantly reduced AVS values compared to those of the control through the artificial manipulation of the environmental potential of the bottom sediment.

研究分野：環境保全学

キーワード：環境電位 底質汚染 電位操作 底生動物 硫化物量 硫酸還元菌 細菌叢解析

1. 研究開始当初の背景

産業活動の盛んな沿岸域では、深刻な底泥汚染が進行している。当該研究グループでは、従来の薬剤投下などを用いた生体親和性の低い浄化技術に対して、生物や生態系が有するそのものの力を引き出し、永続的かつ環境に負荷をかけない浄化技術の開発に取り組んでいる(Ito et al., 2022; Ito et al., 2016)。特に、近年になり底生動物の代謝や運動性と連動し変化する「環境電位」という新たな指標を用いて浄化技術の革新を行っている(Ito et al., 2019; Shono et al., 2022)。環境電位は、複雑な底質生態系の健康状態を包括的に記述する物理量であり、リアルタイム計測によるその場診断が可能となる。この新しい指標を用いることにより、今後の底質浄化技術の躍進に繋がる2つの新規現象をとらえた。

「浄化能が強化される底質」、「電位操作により浄化が著しく促進される底質」である。具体的にはリアルタイム電位モニタリング系を用い、有機物付加に伴う電位の変動を解析した結果、一定量の有機物負荷を与えるごとに、汚染に対する耐性を増していく底質が存在することを突き止めた。強制的に底質に微弱電流を流し正の電位に操作した際、同一条件にもかかわらず、飛躍的に底質浄化が進む底質が存在することを発見した(図1)。

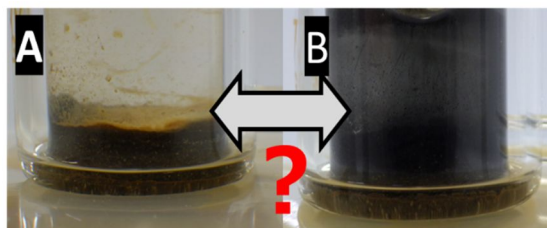


図1 同一条件で電位操作した底質

同一底質、同一処理の施工にも関わらず、高い底質浄化能を有した底質が構築されたことは、生物の環境適応能の向上、さらには微弱電流を用いた環境浄化能を最大限に引き出すための新たな方法論の確立という観点から非常に興味深い現象である。しかしながら、上記現象の、メカニズムは全く明らかとなっていない。そこで、本研究では、本事象のメカニズムを解明し、このように浄化機能が賦活化される底質の条件を特定する。この現象を、自在に再現することが出来れば、環境が有する浄化ポテンシャルを最大化した画期的な環境浄化手法の開発が期待される。

2. 研究の目的

本研究では、(1)「浄化能が強化される底質」、(2)「電位操作により浄化が著しく促進される底質」のメカニズムを解明することを目的とする。本事象の条件には底質の物理・化学・生物的特性の絶妙なバランスが重要となることが想定されることから、様々なパラメータを取得し、浄化能賦活化の条件を特定する。

3. 研究の方法

(1) 海面養殖場下より採取した底質を、底面にガラス電極(フッ素ドープ酸化スズ(FTO)電極)を設置した電気化学リアクターに入れ、20℃で培養した(図2)。底質電位が酸化的な環境で安定した後、有機物として養殖餌料を底質20g当たり50mg添加した。有機物負荷前から経時的に底質を採取し酸揮発性硫化物量(AVS)を測定するとともに、細菌叢を16SrRNA遺伝子V3-V4領域を対象としたアンプリコンシーケンスにより解析した。有機物負荷後からエアレーションを止める区を設け、エアレーションの有無による浄化能の違いについて解析した。

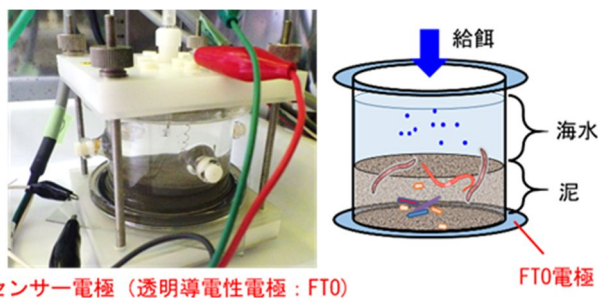


図2 環境電位測定システム

(2) 大坂湾内大正内港にて採取した重度の有機汚濁底質を、電位操作が可能なりアクター内に入れ、人為的に正の電位(0.30mV)に操作し、60日間、20℃で培養した。作用極にはガラス電極を用い、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た。試験開始から、10日、30日、および60日後に、底質を採取し、硫化物量および硫酸還元菌数の経時変化を解析した。なお、硫酸還元菌数は定量PCR法により測定した。

4. 研究成果

(1) 有機物負荷後からエアレーションを止める区を設け、エアレーションの有無による浄化能の違いについて解析した。有機物負荷後、エアレーションの有無にかかわらず電位は大きく低下し、24時間後に還元的な環境まで低下した(図3(a))。エアレーション止めた区では6日後まで継続的に低い値を示した(図3(a)赤線)。細菌叢も同様に、有機物負荷24時間後には変化が

認められ有機物負荷前とは異なる菌叢を示した。AVS の値は電位・菌叢とは異なり 24 時間後での変動は無く、48 時間後から徐々に増加し 7 日後に最大値が計測された(図 3 (b))。硫酸還元菌の割合は AVS の値と相関しており AVS 上昇を裏付ける結果であった。またエアレーションの有無により従属栄養の好気性細菌・通性嫌気性細菌の増殖割合が異なっており、底質浄化能には酸素濃度が大きく影響していた。

(2) 対照区の硫化物量は試験開始時の 11.4mg/g から 60 日目には硫化物量の値が 2 割減少した。人為的に電位を 0.30mV に操作した試験区の硫化物量は、30 日目から減少しはじめ、60 日目には平均 6 割減少となり、対照区と比較して有意な差が認められた(図 4)。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た(図 5)。さらに同一操作を行った試験区においても硫化物量削減効果に大きな違いが認められ、削減効果が高い区では紅色硫黄細菌の増殖が確認された。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、硫化物量を削減すると共に、硫酸還元菌を減少させることが可能であることが明らかとなった。

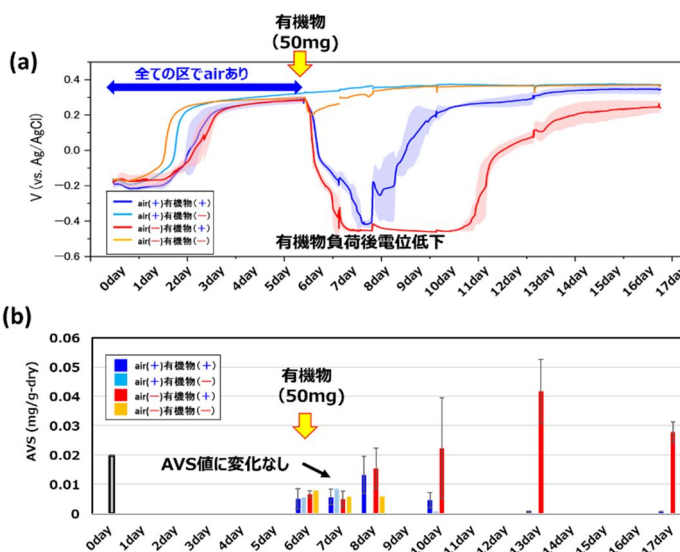


図 3 底質電位(a)及び硫化物物量(b)の経時的変化

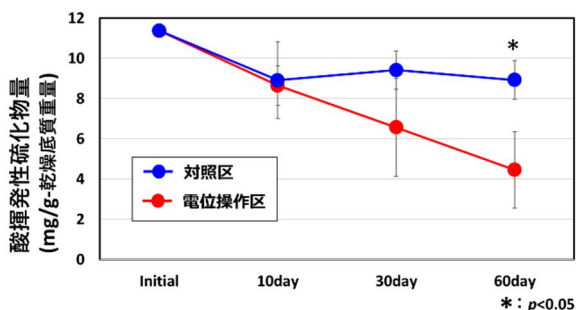


図 4 電位を酸化的に操作した際の硫化物量の変化

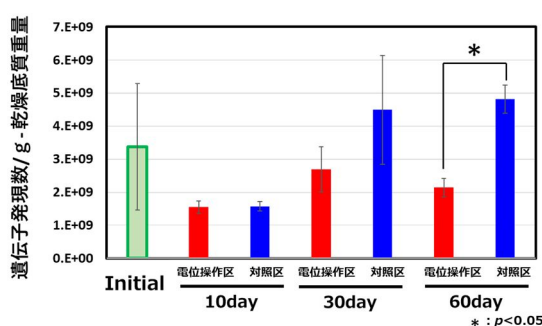


図 5 定量 PCR 法による硫酸還元菌数の推移 電位を酸化的に操作した際の硫化物量の変化

本研究課題の実施により、底質電位を経時的にモニタリングすることで硫化物量の増加を事前に予測することが可能であることが示唆された。さらに、底質の電位を人為的に操作することや、エアレーションにより、底質菌叢を改変し、底質浄化能を促進することが可能であることが明らかとなった。本成果は、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」「14. 海の豊かさを守ろう」に貢献する成果です。

References

Ito, K., Hano, T., Ito, M., Onduka, T., Ohkubo, N., & Mochida, K. (2022). Integrated transcriptomic and metabolomic analyses reveal mechanism underlying higher resistance of the marine oligochaete *Thalassodrilides cf. briani* (Clitellata: Naididae) to heavy contamination of sediments with polycyclic aromatic hydrocarbons. *Sci Total Environ*, 153969. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153969>

Ito, K., Ito, M., Hano, T., Onduka, T., Mochida, K., Shono, N., & Nakamura, R. (2019). Marine sediment conservation using benthic organisms. *Bull. Jap. Fish. Res. Edu. Agen.*, 49, 45-51.

Ito, M., Ito, K., Ohta, K., Hano, T., Onduka, T., Mochida, K., & Fujii, K. (2016). Evaluation of bioremediation potential of three benthic annelids in organically polluted marine sediment. *Chemosphere*, 163, 392-399. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.08.046>

Shono, N., Ito, M., Umezawa, A., Sakata, K., Li, A., Kikuchi, J., Ito, K., & Nakamura, R. (2022). Tracing and regulating redox homeostasis of model benthic ecosystems for sustainable aquaculture in coastal environments. *Front Microbiol*, 13, 907703. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.907703>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1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、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 Ito K, Hano T, Ito M, Onduka T, Ohkubo N, Mochida K.	4. 巻 827
2. 論文標題 Integrated transcriptomic and metabolomic analyses reveal mechanism underlying higher resistance of the marine oligochaete <i>Thalassodrilides cf. briani</i> (Clitellata: Naididae) to heavy contamination of sediments with polycyclic aromatic hydrocarbons.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sci Total Environ	6. 最初と最後の頁 153969
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.scitotenv.2022.153969	査読の有無 有
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2件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 伊藤 克敏, 伊藤 真奈, 中村 龍平
2. 発表標題 人為的電位操作による底質中の硫化物削減効果
3. 学会等名 令和3年度日本水産学会春季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊藤 克敏, 伊藤 真奈, 中村 龍平
2. 発表標題 有機物負荷に伴う底質電位の推移と 硫化物量・細菌叢との関係
3. 学会等名 令和5年度日本水産学会春季大会
4. 発表年 2023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	伊藤 真奈 (Ito Mana) (60735900)	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
---------	---------