

B-3 ダム底泥から溶出する鉄が 海藻の生長・増殖に及ぼす影響

○濱崎 祥大¹・荒武 久道²・山田 和也³・齋藤 剛⁴・鈴木 祥広^{5*}

¹宮崎大学工学部土木環境工学科 (〒889-2192 宮崎県宮崎市学園木花台西 1-1)

²宮崎県庁 (〒880-8501 宮崎県宮崎市橘通東二丁目10番1号)

³宮崎県水産試験場 (〒889-2162 宮崎県宮崎市青島 6-16-3)

⁴西日本技術開発株式会社 (〒810-0004 福岡市中央区渡辺通1-1-1)

⁵宮崎大学工学部 (〒889-2192 宮崎県宮崎市学園木花台西 1-1)

* E-mail: suzuki@civil.miyazaki-u.ac.jp

1. はじめに

九州地方の日向灘沿岸域において、海藻群落・藻場の衰退が急速に進行している¹⁾²⁾。その要因として、水温上昇による植食性魚類の回遊域の変化や陸域からの濁質流入などが報告されている³⁾⁴⁾。さらに、日向灘に注ぐ各河川には、水力発電をはじめとする多目的ダムが多数建設されており、森林で生産された物質の輸送経路が遮断され、鉄をはじめとする必須元素の沿岸域への供給量も著しく減少した可能性がある。一方の河川・ダム流域管理では、ダムの運用を長期間継続することによって、貯水池内には大量の土砂やシルト・粘土が堆積し、これらの堆積物すなわち堆砂が進行すると、ダムの貯水機能および安全性が著しく低下する。したがって、ダムの運用・管理において堆砂対策は必須事項であり、浚渫やバイパスなどの対策が計画・実施されている。しかしながら、浚渫によって発生する大量の土砂、特にシルトや粘土を含む底泥の処理・処分に関する有効な方法・技術は見あたらない。ところが、森林から沿岸域への物質輸送の観点から水系を見ると、この問題となるダム底泥には、森林起源の腐植物質や鉄などの海藻増殖に必須の有用成分が高濃度に蓄積している場合が多い。ダムに不要な大量の底泥が、海藻の生長・増殖の促進、そして藻場の再生・創出ための有用な資源として利用できる可能性は非常に高い。

そこで本研究では、九州地方南部の耳川水系耳川の河口沿岸域で極小規模な藻場を形成する褐藻ヤツマタモクについて、最下流に位置する大内原ダムの底泥の抽出液の添加によるバイオアッセイを実施し、ダム底泥含有成分による海藻の生長促進効果に関する基礎的知見を得る

ことを目的とした。

2. 実験方法

(1) ダム底泥の抽出方法

2011年5月18日に、堆砂の進行している大内原ダム左岸の地点から底泥を採取した。ダム底泥 50g、ダム底泥 50g と腐葉土 10g 混合試料、または腐葉土 100g は、滅菌濾過海水 100mL と混合し、それぞれの抽出液を回収した。腐葉土は市販の園芸用腐葉土(落葉 100%)を使用した。その後、鉄濃度(分光光度計 UV-2450, 島津製作所)、全有機炭素濃度、全窒素濃度(全有機炭素・窒素計 TOC-V, 島津製作所)、および三次元励起・蛍光スペクトル⁵⁾(RF5300PC, 島津製作所)を測定した。これらの抽出液は、海藻を供試体とするバイオアッセイの各試験区に用いた。

(2) バイオアッセイ

a) ヤツマタモクの卵

2011年5月に、耳川河口域において藻体試料を採取した。その後、藻体から卵を放出させた。卵の直径は 300 μ m 程度であり、卵放出は目視で確認できる。回収した卵は、滅菌濾過海水に懸濁させ、卵を対象としたバイオアッセイに供した。卵のバイオアッセイは、ヤツマタモクの卵に各鉄試料を強化することによって生じる増殖応答から評価した⁶⁾。無添加(コントロール)、Fe-EDTA (12) 溶液、および各抽出液を栄養塩強化海水に各添加物の最終鉄濃度が 100 μ g-Fe/L になるように添加し、試験液の最終容積は滅菌ろ過海水で 2.5mL に調整し、静置培養で実験を開始した。また、液体培地は 5 日毎に半

量を入れ替える半連続培養を 20 日間行った。培養条件は、温度 15℃、照度 5000-6000lux、明暗期 12h:12h に設定した。

卵は、ウェル底面に着生した後、5-10 日目で発芽し、複数の枝を伸張させ、さらに新たな枝と葉を形成して生長・増殖する。そこで、バイオアッセイの生長量の増殖応答は、各ウェル当たりのクロロフィル a の蛍光強度 (Infinite M200, TECAN 製) を測定後、有意差検定 (t テスト) で評価した⁷⁾。蛍光強度は、試験開始後 10 日目と 20 日目に測定した。

b) ヤツマタモクの主枝

2010 年 5 月に、耳川河口域から採取したヤツマタモクの卵を海水 (PES 海水) 中で、送気しながら約 20cm に生長するまで培養した。培養条件は、温度 22℃、照度 2000lux、明暗期 11h:13h である。主枝のバイオアッセイは、ヤツマタモク的主枝から伸張した葉を含む主枝 (以下、主枝と称する) に各鉄試料を強化することによって生じる湿重量の変化から増殖応答を評価した。液体培地は、無添加 (コントロール)、Fe-EDTA (1:2) 溶液、および各抽出液を栄養塩強化海水に添加し、最終鉄濃度が 10μg-Fe/L になるように調整した。供試体は、単離培養によって約 20cm に生長したヤツマタモク藻体から湿重量約 5g に切り分けた主枝とし、各試験容器に 1 つの主枝を投入した。試験容器内に空気を通気して主枝が緩やかに流動するように調節し、5 日毎に半量を入れ替える半連続培養を 30 日間行った。培養条件は、温度 15℃、照度 5000-6000lux、明暗期 12h:12h である。また、試験開始後 5 日毎に湿重量を測定した。

バイオアッセイ (3 フラスコ/区) の生長量の増殖応答は、試験区に対する対照区の主枝の湿重量について相対生長量 (%) から評価した。

相対生長量 (%) = { (試験終了時の試験区湿重量) - (初期の試験区湿重量) } ÷ { (試験終了時の対照区湿重量) - (初期の対照区湿重量) } × 100

3. 結果と考察

(1) ダム底泥抽出液の各成分

表 1 には、抽出液の鉄、全有機炭素および全窒素の各濃度を示す。鉄の溶出濃度は、ダム底泥単独の場合が最も高く、2,730μg-Fe/L であり、底泥からの鉄の単位溶出量は 54.6μg-Fe/g-湿重量となる。これに対して、ダム底泥 50g と腐葉土 10g を混合した場合の抽出液の鉄濃度は、ダム底泥単独と比較して大幅に低く、367μg-Fe/L になった。実験計画時において、腐葉土からの溶存腐植有機物質が溶出することによって鉄の溶出と錯体化が促進されることが考えられた。しかしながら、ダム底泥単独の場合よりも

腐葉土を混同した方が溶存有機物濃度は高くなったにもかかわらず、鉄濃度は低くなった。この原因として、腐葉土自身が鉄の吸着材に機能し、溶出する鉄が吸着され、その結果として抽出液中の鉄濃度も低下したと考えられる。この鉄濃度低下の原因については、今後、詳細に検討する予定である。腐葉土のみ 100g の抽出液からは極めて高濃度の溶存有機物が測定されたが、鉄濃度は最も低くなった。

図 1 に、ダム底泥抽出液における三次元励起・蛍光スペクトルを示す。ダム底泥抽出液には、ピーク A (励起波長 340nm/ 蛍光波長 435nm) とピーク B (励起波長 275nm/ 蛍光波長 340nm) に強いピークが確認された。ピーク A は、フルボ酸/フミン酸様物質、ピーク B はタンパク質特有のピーク領域⁹⁾と一致する。ピーク A が認められたことから、ダム底泥抽出液には鉄が高濃度に存在し、溶存有機炭素濃度も 6.7mg-C/L で測定されており、フルボ酸やフミン酸等の溶存腐植有機物質と鉄が錯体を形成して存在したと考えられる。

表 1 各抽出液の鉄、全有機炭素、全窒素濃度

試料	溶存鉄 (μg-Fe/L)	溶存有機炭素濃度 (mg-C/L)	溶存全窒素濃度 (mg-N/L)
ダム底泥 (50g)	2730	6.7	5.8
ダム底泥 (50g) と腐葉土 (10g)	367	26	8.4
腐葉土 (100g)	243	275	32

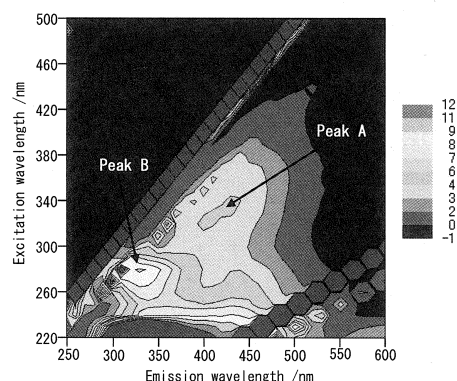


図 1 ダム底泥抽出液の三次元蛍光・励起スペクトル

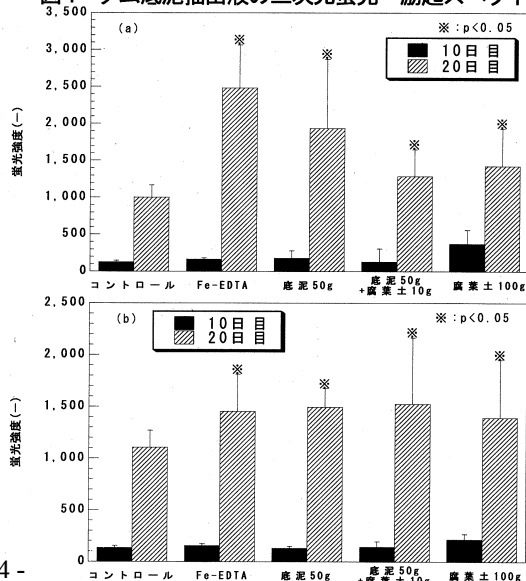


図 2 ヤツマタモク卵の蛍光強度

(2) 卵の生長に及ぼすダム底泥抽出液の効果

図2に、卵を対象としたダム底泥抽出液のバイオアッセイにおける蛍光強度の測定結果を示す。図2aと図2bは、異なる時期に採取した卵を供試体として、その他は全て同一の材料、条件で実施した2回の繰り返し試験のそれぞれの結果である。図2aと図2bのいずれの試験においても、10日目では蛍光強度に大きな差は見られなかった。しかしながら、20日目では、対照区と比較して、各抽出液を添加した試験区において蛍光強度は有意に高くなった。ダム底泥試験区の蛍光強度は、Fe-EDTAのそれと同等の高い値を示した。この結果から、ダム底泥抽出液のFeは、藻類培養液の必須成分の試薬として利用されているFe-EDTAと同等の卵の生長を促進する機能があることが明らかとなった。一方、図2aにおいて、ダム底泥と腐葉土の混合、ならびに腐葉土のみの試験区がダム底泥の試験区よりも有意に低い結果を示した。しかしながら、図2bでは、このような結果は得られていない。腐葉土抽出液による生長制限の可能性については、次項において主枝を対象としたバイオアッセイの結果も含めて議論する。

(3) 主枝の生長・増殖に及ぼすダム底泥抽出液の効果

図3に、主枝を対象としたダム底泥抽出液のバイオアッセイにおける相対生長量(%)の測定結果を示す。各試験区において、主枝の生長量はばらつきが大きく、15日目まではFe-EDTAの試験区を除く各試験区の相対生長量の増加は認められなかった。しかしながら、20日目以降では、ダム底泥抽出液ならびに、ダム底泥と腐葉土の混合の試験区では、主枝の生長が確認され、相対生長量が増加した。一方の腐葉土のみの試験区は、相対生長量の増加が30日間にわたって認められず、対照区と同等であった。30日目における相対生長量の平均値から各試験区の生長・増殖促進の効果を評価すると、高い順にFe-EDTA、ダム底泥、ダム底泥と腐葉土の混合、腐葉土のみとなった。

腐葉土を含む試料の抽出液は溶存有機物濃度が高く、鉄濃度に対する溶存有機物濃度が高い(表1)。腐葉土から溶出する溶存有機物は、フルボ酸やフミン酸などの鉄とキレートを形成する腐植物質が主体と考えられる。この過剰に存在する溶存腐植物質が、鉄イオンとキレ

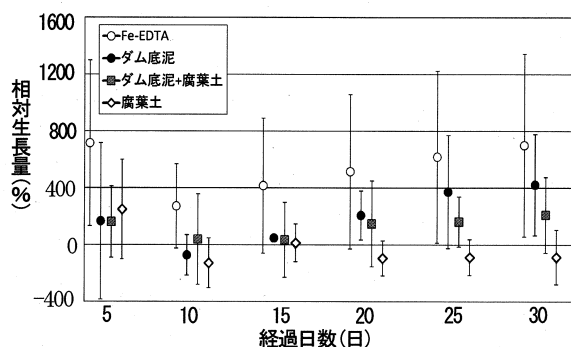


図3 ヤツマタモク主枝の相対生長量

トを形成して鉄を安定的に培養液の液相に保持することによって、鉄イオンとしての卵や主枝への摂取を制限した可能性が考えられる。本研究の調査対象水系である耳川流域においては、大内原ダム底泥から溶出する鉄は、その河口・沿岸域の藻場で形成するヤツマタモクの生長・増殖に効果的に利用されると考えられる。

4. 結論

- 1) ダム底泥からは、海水との混合抽出操作によって高濃度の鉄が溶出した (54.6 μ g-Fe/g-湿重量)。この鉄は、フルボ酸やフミン酸等の溶存腐植物質と錯体を形成していると推察された。
- 2) ヤツマタモクの卵を対象としたバイオアッセイにおいて、ダム底泥抽出液を添加することによって、卵の生長促進に著しい効果が認められた。ダム底泥抽出液に含まれる鉄は、藻類の培養液成分として必須成分である Fe-EDTA に匹敵する形態であることがわかった。
- 3) ヤツマタモクの主枝のバイオアッセイにおいて、対照区と比較して、ダム底泥抽出液は主枝湿重量が有意に増加した。
- 4) 大内原ダム底泥は、ヤツマタモク等の藻場の再生・創出のための有用な資源として利用可能である。

参考文献

- 1) 百合野定, 内田為彦, 黒木勝, 工藤基善, 緒方得生: 宮崎県沿岸海域の藻場調査. 沿岸海域藻場調査. 瀬戸内海関係海域藻場調査報告, 藻場の分布, pp. 211-231, 1979.
- 2) 寺脇利信, 新井章吾: 藻場の景観模式図9. 宮崎県門川湾乙島地先, 藻類, Vol. 50, pp. 21-23, 2002.
- 3) 荒武久道, 佐島圭一郎: 岩礁域における大規模磯焼け対策促進事業 - 植食性魚類の来遊時期特定調査 -, 平成 21 年度宮崎県水産試験場事業報告書, pp. 85-93, 2009.
- 4) 坂本龍一: クロメ藻場衰退原因調査結果, pp. 62-77, 南西海ブロック藻類研究会誌 14 号, 南西海区水産試験所, 1995.
- 5) 福島武彦, 中島俊之, 今井章雄, 松重一夫, 尾崎則篤: EEMS による水中溶存有機物の特性解析, 水環境学会, Vol. 24, No. 10, pp. 686-692, 2001.
- 6) 高見 徹, 丸山 俊朗, 鈴木 祥広, 三浦 昭雄: スサビノリの殻胞子と発芽体を用いた毒性試験法, 土木学会論文集, Vol. 566, pp. 71-80, 1997.
- 7) 鈴木祥広, 黒沢津翔, 金丸祐加, 高見徹, 鬼束幸樹: マイクロプレートを用いたバイオアッセイによる宮崎県五ヶ瀬川水系の藻類増殖制限物質の検索, 用水と廃水, Vol. 53, No. 2, pp. 134-141, 2011.