

都市河川流域における小さな自然再生による

豊かな海の実現に向けた社会実装

神戸市立工業高等専門学校 都市工学科 教授 宇野宏司

1. はじめに

近年、過度の水質改善により水産資源の枯渇が目立ち始めており、神戸市沖でも、春の風物詩“いかなご漁”や、“須磨のり”で有名な海苔養殖などは、近年不漁が続いている。(図-1)。

流域には富栄養状態の調整池や農業用ため池が多数点在し、流入負荷源としての活用が期待できるが、回収土砂の有効利用には至っていない。

海域への流入負荷低減による水質の大幅改善と水産資源の枯渇を受けて、「きれいな海」から「豊かな海」への転換を目的に、瀬戸内海環境保全特別措置法が平成27年に改正され、各海域に応じた施策が展開できるようになった。一方、流域に点在する富栄養状態の調整池や農業用ため池の堆積泥、土砂は流入負荷源としての活用が期待できるが、有効利用には至っておらず、下流への土砂・栄養塩の供給が寸断されたり、経年的に池の環境機能が劣化する悪循環を招き、流域全体の環境機能が低下したりしている。

こうした社会的背景から、本研究では、瀬戸内海に流入する典型的な都市河川で、慢性的な水質改善の課題を抱えた二級河川・福田川流域(神戸市)及びその流入先の海域を対象に、地域の環境保全活動団体・漁協・水利権者・研究機関(高専)の4者が連携し(図-2)、都市水辺空間の改善と水産資源の回復を目的とした流域スケールでの社会実装を実施し、同様の課題を抱えた他の地域に適用しうる市民主体の環境保全活動スキームを提示する。



図-1 イカナゴの不漁を伝える新聞記事 (2020年3月10日神戸新聞朝刊)

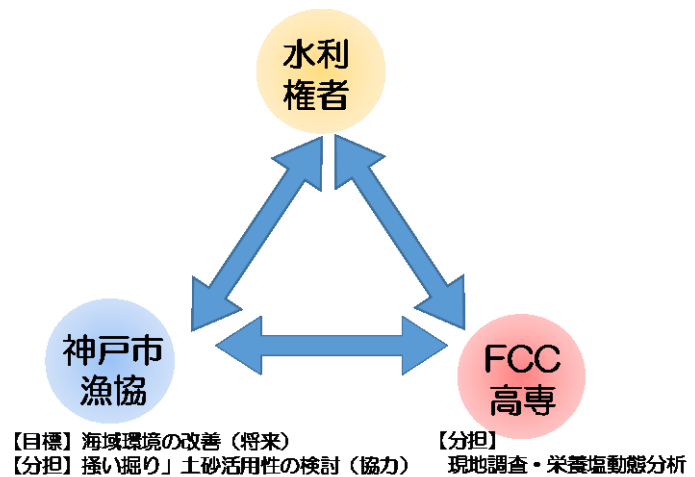


図-2 本社会実装の担い手

神戸市・福田川流域(神戸市)及びその流入先の海域を対象に、地域の環境保全活動団体・漁協・水利権者・研究機関(高専)の4者が連携し(図-2)、都市水辺空間の改善と水産資源の回復を目的とした流域スケールでの社会実装を実施し、同様の課題を抱えた他の地域に適用しうる市民主体の環境保全活動スキームを提示する。

2. 調査対象流域及びステークホルダー

本章では本プロジェクトに関わるステークホルダーと研究対象流域の概要を紹介する。

2.1 流域環境保全団体

福田川クリーンクラブは垂水区・須磨区に流れる福田川を市民に親しまれる安心な美しい川として守り育てることを目的に 2002 年に設立された。毎週日曜日の午前中には、週替わりで、流域 4ヶ所でクリーン活動を行っているほか、川を活用した地域おこし活動や、流域の幼稚園・小学校を対象とした環境学習のサポート、環境保護啓発イベントなどを行っている。また、季節ごとに流域数か所の地点で、動植物、土質、水質の状況などを継続的に調査・記録する環境保全活動も実施している（図-3）。

2.2 水利権者

福田川上流の奥畑地区に位置する奥池・口池（図-4、図-5）は、西神戸ニュータウン開発に取り残された灌漑用のため池である。神戸市総合運動公園内の管理道路よりアプローチ可能であるが、一般には解放されていないため、ごみ等の流入は極めて少なく良好な自然環境を保っている。両池は、長年地元で耕作を営む住民の手で管理されてきた。田畑等に導かれた用水の余りは、福田川中上流域で本川に流入している。近年は離農化・高齢化が進み、この水源を利用するのは 5 世帯程度となっている。現在は 80 歳を越える地域住民の手によって細々と管理されている状況で、水抜きの機会も年数回に限られている。そのため、落葉落枝が堆積してできた富栄養な底質がため池内にトラップされたまま、下流域や海に流達しないという状況となっている。

2.3 漁業協同組合

神戸市漁業協同組合は、市の西端に位置し、明石海峡大橋を望む舞子地区（垂水区）から駒ヶ林地区

クリーン活動の様子

■コープ福田店～福田小学校前



樹木に雑草とゴミが絡みついています（5月）



公園内のゴミ拾いも活動の一つです（9月）

岩場にも大量のゴミが引っかかっています（1月）

(c) 2020福田川クリーンクラブ

■あじさい公園



川の中にジャブジャブ入ってゴミ回収です（10月）

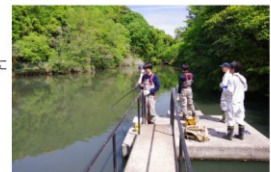


福田川生物多様性確保プロジェクト

■滝ヶ谷口池・奥池



水抜きがなされず水がよどみ、水質が落合池並に悪い奥池（左側写真）と、管理がなされて良好な口池（右側写真）（5月）



奥池下の水路には無数のタニシ（5月）



もんどりによる捕獲で、生き物はザリガニとスジエビのみで魚は掛からず（5月）



(c) 2020福田川クリーンクラブ



川原橋ビオトープの補強工事（7月16日）

- ・2018年に河口・汽水域の高水敷に、高丸地区からの清水を引き込んでせき止め、ビオトープを構築
- ・メダカ、モクズガニ、ウズムシなどの生物が市街地で観察できる施設を構築しました
- ・2018年のたび重なる大型台風で、水をせき止める境界ブロックが流失したため、7月に補強工事実施
- ・今年度内に兵庫県・神戸土木事務所により、清水を引き込む恒久的な水路建設予定です



2019年の台風でもびくともしなかった改修後のビオトープ（11月）

(c) 2020福田川クリーンクラブ

図-3 流域環境保全団体の取り組み
（福田川クリーンクラブ）

(長田区) までの大阪湾に面した地区を対象に昭和 34 年に市内 7 つの漁協が合併できた漁業組合である。当初から海苔養殖漁業に着手し、漁船漁業と海苔養殖漁業の 2 本立てで周年操業を行っている。また、神戸市の名産となっている「イカナゴくぎ煮」のイカナゴを船曳網漁業で漁獲している。船曳網漁業では、この他にイワシシラス(チリメン)も漁獲している。このほか、底曳網・刺網・1 本釣り・籠漁業・たこつぼ漁等の漁船漁業を周年営んでいるが、「1. はじめに」で紹介したとおり、近年は不漁に悩んでいる。



図-4 位置図 (奥池・口池)

2.4 研究機関

福田川中上流域近郊にある神戸研究学園都市内に立地する神戸高専は福田川流域にも近く、地域貢献の場や都市河川流域圏の研究フィールドとして、学生、教員が活用している。



図-5 掻い掘り前の奥池

2.5 対象河川

本研究では、福田川という何の特色もない典型的な都市河川を研究対象とした。全国各地には同じような課題を抱えている都市河川も多く、地域住民の手による環境改善の取り組み、行政主導によらない流域環境改善スキームの構築を目的とした社会実装は、兵庫県内のみならず瀬戸内海地方をはじめとする全国各地の先駆的な事例となり、同様の課題を抱えた他の流域における展開のヒントを示唆できるものと考えている。

福田川は神戸市須磨区白川台に源を発し、ニュータウン開発が行われている上流域を経て、途中、小川(おがわ)と合流して南下し、扇状地から市街地へと流れ、垂水区平磯で大阪湾に注ぐ、流域面積約 16.9km²、法定河川延長 7,410m(本川)の 2 級河川である(図-6)。その流域は神戸市西部の

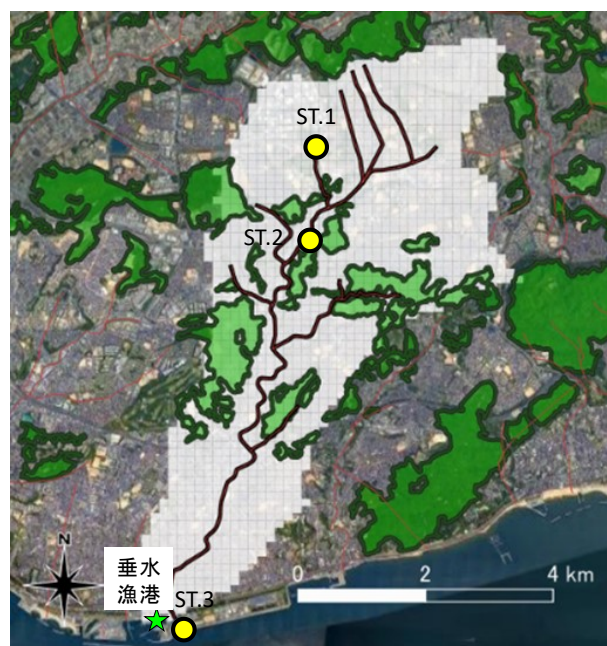


図-6 福田川流域

須磨区、垂水区に位置し、上流域のニュータウン開発、海岸埋立地におけるショッピングゾーン、垂水駅前の再開発等により、西神戸地区における社会・経済の基盤を成している。また、流域の地形は第2神明道路を境に上流が山地、下流が平地に分かれる。以前は上流側山地の大部分が森林であったが、昭和40年代以降に宅地開発が進み、現在の土地利用は市街地が全体の70%、山地が30%となっている。神戸市の都市計画では、流域の大部分が市街化区域として定められており、さらに市街化が進行する可能性がある。



図-7 掻い掘り実施後の奥池

3. 研究方法

本研究は、高専（申請者）、流域の環境保全団体、水利権者、漁協関係者が連携し、地域住民の手による環境改善の取り組み、行政主導によらない流域環境改善スキームの構築を目指す社会実装である。本助成期間では、実際に以下の事項について取り組んだ。

3.1 海域への栄養塩供給を目的とした灌漑用のため池の環境改善

前節で述べたように、福田川上流域（図-6 St.1）に位置する灌漑用ため池の奥池・口池には落葉落枝による栄養塩豊富な土砂が堆積している。これを海域に流達させるには、洪水出水等の機会を利用して「水抜き」を行う方法が有効であると考えられる。しかし、周辺の開発が進んだ福田川では流域全体の保水力が弱く、そのような状況下ではパルス的な出水形態となり、増水状態が継続しないことが予想される。その結果、灌漑用のため池からの供給土砂は、一度のイベントで海域まで到達することは困難である。むしろ、中流域に残された供給土砂によって河川環境がさらに悪化する可能性も高いと考えられる。そこで、



図-8 掻い掘り時に回収された土砂



図-9 多様な主体による掻い掘り実施の様子（奥池）

これを陸送して、海域に直接投入することとした。そのために、水利権者の理解と協力のもと、段階的に「水抜き」を行い、さらに「掻い掘り」を実施した(図-7)。この「掻い掘り」で得られた土砂(図-8)を、次節で述べる海域設置コンテナ充填材の一つとした。

人海戦術的な「掻い掘り」を実施するには、多大なマンパワーを必要とするが今回は、水利権者や流域住民のほか、神戸市内の外国人留学生のボランティアらの手によった(図-9)。欧米ではこうした環境保全に係るボランティア活動に参加することで、大学での履修単位として認められる文化がある。本社会実装を持続可能なものとするためには、今後こうした参画を制度化していくことが重要である。

3.2 海域への栄養塩供給を目的とした灌漑用のため池の環境改善

水産資源の回復を目的として、福田川河口に隣接する垂水漁港(図-6 St.3)内のいけすに陸域負荷源を充填したコンテナを吊り下げ(図-10)、コンテナ内充填材の栄養塩等の保持状況や、コンテナ内への生物の蟻集状況等を観察した。

コンテナ充填物(図-11)には前節の「掻い掘り土砂」(図-6 St.1にてスコップ採取)、奥畑親水公園前の福田川堆積土砂(同図 St.2にてスコップ採取)、福田川河口沖の堆積土砂(同図 St.3付近にてエクスマンバージ採泥器で採取)のほか、鉄鋼スラグ(転炉スラグ)も取り扱った。これは環境修復材としての利用可能性が期待されるもので、本研究では粒径 15 mm 以下、エージング処理(出荷前にスラグを屋外に山積みし、適当な期間大気中に保持すること、または蒸気等によってスラグ内の消化反応を促進させること)はされていないものを用いた。

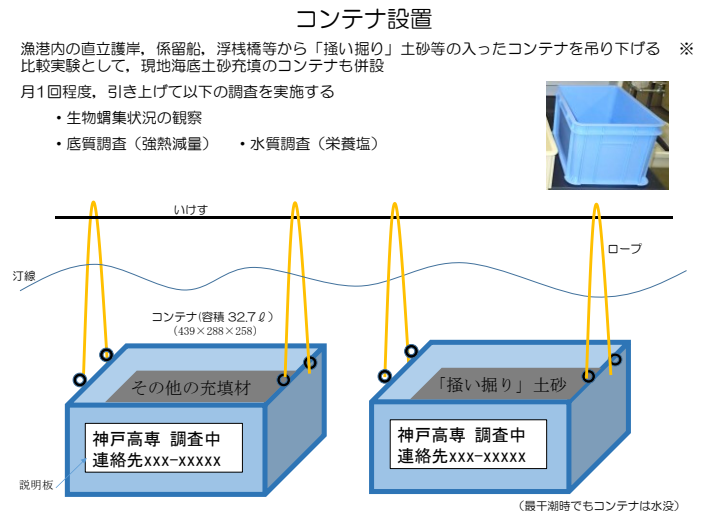
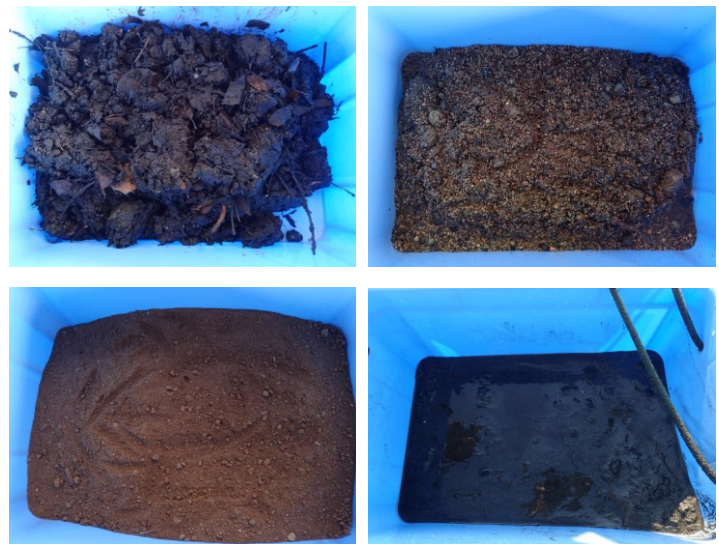


図-10 コンテナ設置のイメージ図



(左上より時計回りに St.1「掻い掘り土砂」、St.2「奥畑親水公園前の福田川堆積土砂」、St.3「福田川河口堆積土砂」、「鉄鋼スラグ(転炉スラグ)」)

図-11 コンテナ内の充填材



図-12 コンテナ設置の検証の様子

コンテナの設置にあたっては予め、ダミーの川砂を入れた状態で安定するかどうか、充填物が波浪等によって流失することがないか等、設置方法について検討した。当初は、コンテナを完全に着底させての実験も考えたが、短期的には有光層内に設置する方が状況変化を把握しやすいと考え、水面下 3m の位置に吊り下げることとした (図-12)。

コンテナ設置後は、月 1 回のペースで引き上げ、各コンテナ内の生物の蝟集状況を目視で観察した。また、各コンテナ内の充填剤の一部を採取して実験室に持ち帰った。持ち帰った試料は一定量を蒸留水中に入れた状態で十分に攪拌した後、一昼夜静置した上澄み溶液 (図-13) の水質分析を実施した。なお、いけす周辺の表層水についても持ち帰り、同様に水質分析を実施した。

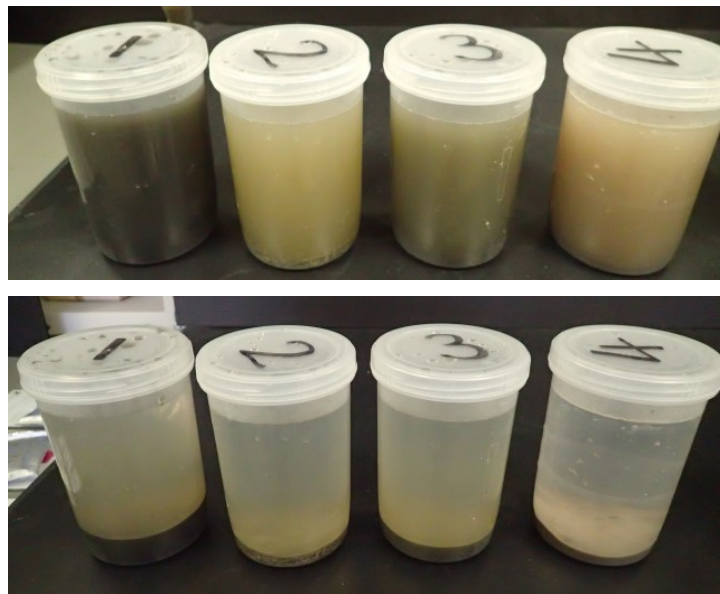


図-13 底質からの栄養塩溶出実験
(上：攪拌直後，下：24 時間後)

4. 結果と考察

4.1 コンテナ充填試料内有機物量の経時変化

図-14 にコンテナ充填試料内有機物量の経時変化を示す。ここでの有機物量は土壌や鉱物中に含まれる揮発性物質の質量を求めたものである。St.1～St.3 及び鉄鋼スラグの値を比較すると、St.1 (奥池掻い掘り土砂) が有機物量を最も多く含んでいることがわかる。また投入から約 4 か月経過した時点での有機物の消失は約 2 割に留まっており、高い保持率を有しているといえる。同様の傾向は他の充填材においても確認された。

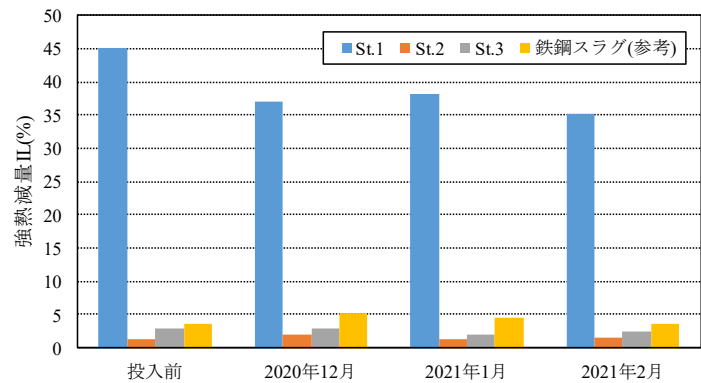


図-14 コンテナ充填試料内有機物量の経時変化

4.2 現場海域における水質の経時変化

神戸市の公共用水域水質調査では、本調査地点近傍の沖合での水質調査結果

(令和 2 年度) の平均値は、pH=8.14, COD=2.53 [mg/L], DO=8.27 [mg/L], TN=0.2 [mg/L], TP=0.02 [mg/L], NH₄-N=0.01 [mg/L], NO₃-N=0.007 [mg/L], NO₂-N=0.05 [mg/L], PO₄-P=0.01 [mg/L]であった。また、流入河川 (測定点: 福田川福田橋) での水質平均値は、pH=8.59, BOD=1.32 [mg/L], DO=10.3 [mg/L],

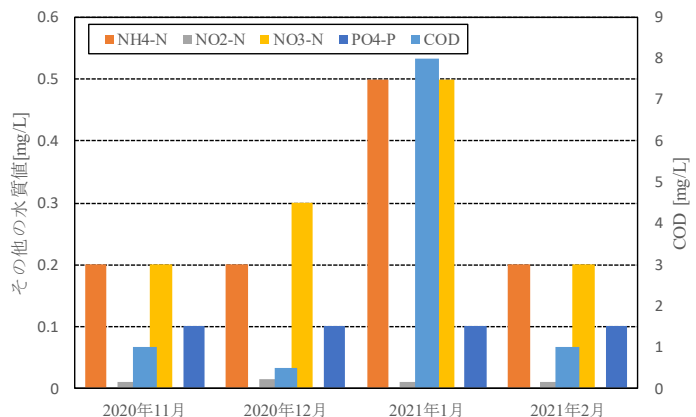


図-15 現場海域における水質の経時変化

TN=0.5 [mg/L], TP=0.03 [mg/L], NH₄-N=0.01 [mg/L], NO₃-N=0.0085 [mg/L], NO₂-N=0.22 [mg/L], PO₄-P=0.02 [mg/L]であった(いずれも速報値)。福田川の環境基準の水域類型は最低ランクのEに区分されているが、各水質の環境基準値(pH=6.0~8.5, BOD=10[mg/L]以下, DO=2[mg/L]以上)を満たしており、近年は水質改善の傾向にあることがわかる。

図-15に現場海域における水質の経時変化を示す。オーダー的には、公共用水質測定結果と大きく変わらないが、海域にも関わらず、水質変動は大きくなっている。これは隣接する下水処理場からの排水の影響を受けている可能性が考えられる。

4.3 充填材からの溶出試験

図-16に充填材からの溶出試験における水質測定結果を示す。投入前(同図上)の各地点のCOD値を比較すると、「掻い掘り」土砂の値が最も高く、流下するにつれて値が下がっている様子が見られる。また、St.1~St.3では投入後4カ月の時点(同図下)では、投入前に比較して値が低下しており、有機物が消費・分解する結果が示された。硝酸態窒素(NO₃-N)については、St.2で高い値を示していたが、投入後4カ月後には消費されていた。リン酸態リン(PO₄-P)については、いずれの充填材とも投入前より定量下限値未満という結果であった。有機物や栄養塩(窒素)に関しては、定期的に充填剤を補充することが必要であることがわかった。比較のために投入した鉄鋼スラグについては、投入前ではCODや栄養塩はほぼ検出されなかったが、投入後4カ月経過した試料からは溶出が確認される結果となった。これは、海水中の有機物や栄養塩が鉄鋼副産物に

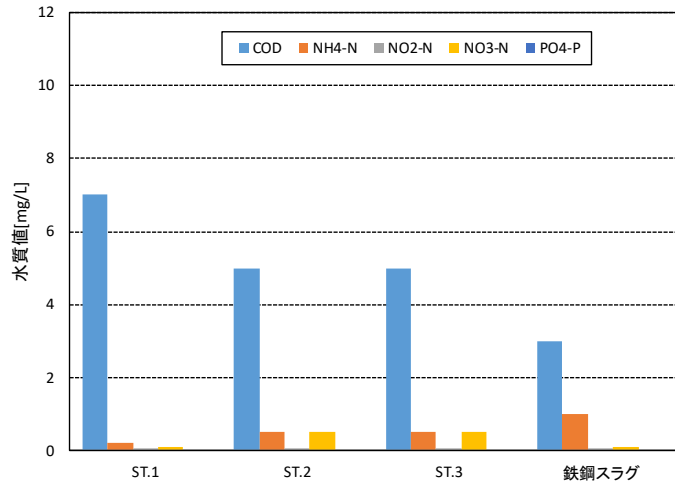
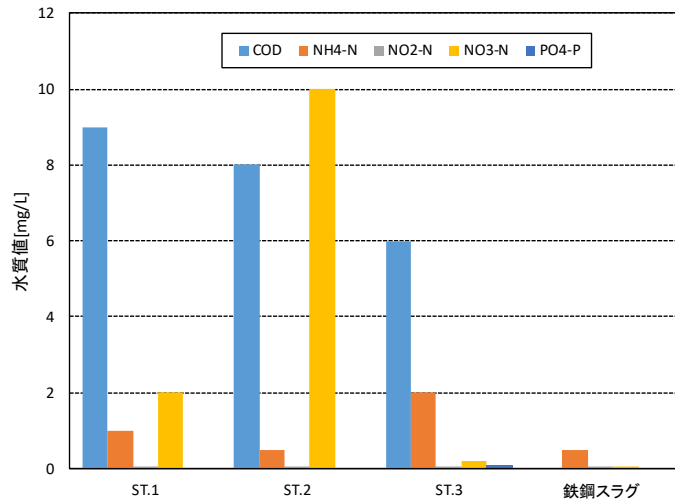


図-16 充填材からの溶出試験結果
(上：投入前，下：2021年3月(投入後4カ月))

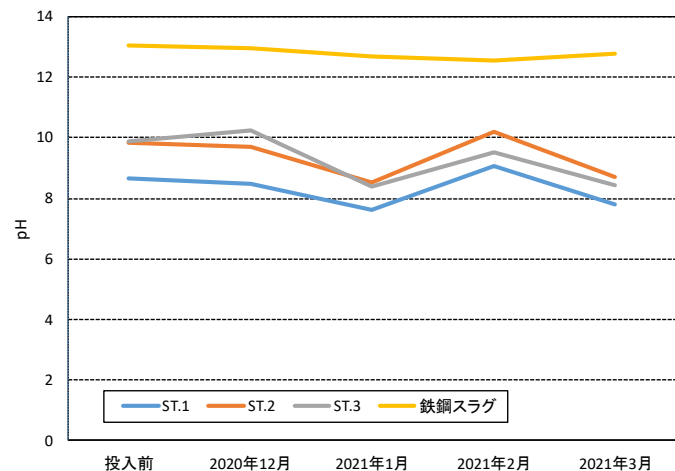


図-17 充填材からの溶出試験結果
(pHの経時変化)



図-18 水硬化した鉄鋼スラグ
(2021年3月)

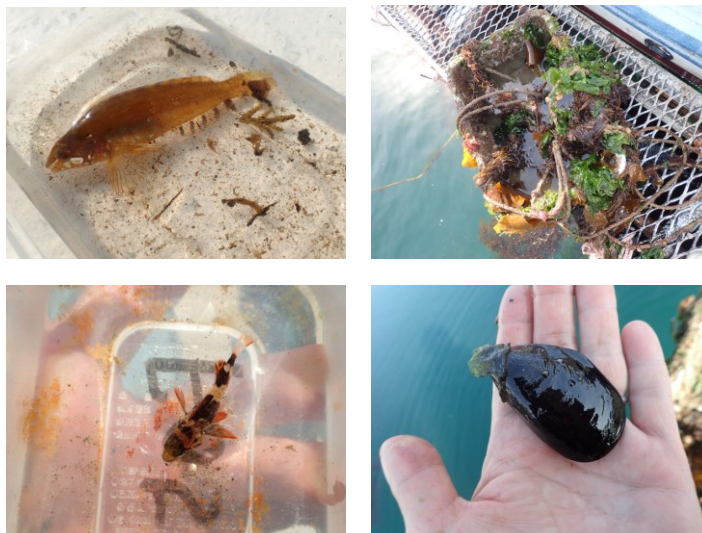


図-19 生物の蝟集状況 (2021年3月)

吸着したためであると考えられる。

図-17 に充填材からの溶出試験における水質測定結果(pH の経時変化)を示す。鉄鋼スラグ(転炉スラグ)については、他の充填材よりも高アルカリの溶出が認められ、底生生物の生息にはマイナス効果であると考えられる。しかし、この値はいずれもサンプル瓶の中で密閉した実験で得られたものである。宮崎らの報告³⁾によると水の希釈や拡散等の物理的作用、緩衝作用により、現地の底質直上では実験値と同様の pH 値にはならないとされている。現地海域でも、その点は確認されており、現時点で大きな問題はない。一方で、鉄鋼スラグ(転炉スラグ)は、スラグ材に含まれる生石灰(CaO)が水(H₂O)と反応して消石灰(Ca(OH)₂)に変化し硬くなる水硬性²⁾があり(図-18)、底生生物の造巢環境としては他の充填材よりも不向きであるように思われる。

図-19 にコンテナ内の生物の蝟集状況を示す。設置から4カ月経過した時点ではまだ水温が低い時季であったが、「掻い彫り」土砂投入コンテナを中心に、仔稚魚や貝類の生息が確認された。

5. おわりに

本研究では瀬戸内海に流入する典型的な都市河川で、慢性的な水質改善の課題を抱えた二級河川・福田川流域(神戸市)及びその流入先の海域を対象に、地域の環境保全活動団体・漁協・水利権者・研究機関(高専)の4者が連携し、都市水辺空間の改善と水産資源の回復を目的とした流域スケールでの社会実装を実施した。その結果、設置コンテナ内の充填物による生物の蝟集効果などが確認され、スポット的には効果がある可能性が示唆された。ただし、設置からの日が浅いこともあり、充填材の違いによる水質や生物蝟集状況の特性を把握するには至っていない。「掻き掘り」を実施した奥池は、淡水域ブルーカーボンの実証実験地として水草の移植等が計画されている。今後、継続的なモニタリングを進めるとともに、他地域への展開も検討していきたい。

参考文献

- 1) 福田川クリーンクラブ：2019年の福田川クリーンクラブの活動，2020。
- 2) 宮崎哲史・肴倉宏史・水谷聡・高橋克則・木曾英滋・平井直樹・武田将英・倉原義之介：海域における鉄鋼スラグ製品からのアルカリ溶出に関する大規模水槽実験，土木学会論文集 B3 (海洋開発)，Vol.69, No.2, pp.I 1042-I 1047, 2013。
- 3) 鉄鋼スラグ協会：鉄鋼スラグの特性と用途，冊子『環境資材鉄鋼スラグ』，p.12, 2015。