

山下公園前海域における鉄鋼スラグ製品による生物生息環境の改善

Restoration of Marine Environment for Various Organisms in Sea Adjoining Yamashita Park Using Steel Slag Products

宮田 康人 MIYATA Yasuhito JFE スチール スチール研究所 スラグ・耐火物研究部 主任研究員(副部長) Ph. D.
松本 剛 MATSUMOTO Takeshi JFE スチール スラグ事業推進部長(理事)
浦垣 直子 URAGAKI Naoko 横浜市環境創造局政策調整部環境科学研究所
市川 竜也 ICHIKAWA Tatsuya 横浜市環境創造局政策調整部環境科学研究所
堀 美智子 HORI Michiko 横浜市環境創造局政策調整部環境科学研究所

要旨

横浜市と JFE スチールは、鉄鋼スラグ製品を活用した海域の生物生息環境の改善手法の検討を目的とし、2013 年 9 月から共同研究を実施している。この研究では、生物付着基盤の効果が期待される鉄鋼スラグ製品などを用いたつき磯を横浜市の山下公園前海域に造成して生物の生息環境を創出し、その効果を検証するためのモニタリング調査を実施している。2016 年 1 月までに行ったモニタリング調査の結果より、濾過食性のホヤや二枚貝などの水質浄化能力を有する動物が増えたことから、生物生息環境が改善され、海域の水質浄化能力が回復しつつあることが確認され、鉄鋼スラグ製品などを用いた生物付着基盤を構築することが生物の豊かな海域環境形成に有効であることが示唆された。

Abstract:

JFE Steel Corporation and Yokohama City have been conducting collaborative research for the purpose of studying improvement of the environment for various organisms since September 2013. In this research, artificial reefs, which are expected to function as bases for adherence of organisms, were built using steel slag products in the sea adjoining Yamashita Park and monitoring has been conducted to verify their effect. From the monitoring results until January 2016, it was found that sea squirts, bivalves, which have the capacity to purify water, and other animals increased. This implies that developing adhesion bases for organisms using slag products is an effective measure to improve marine environments.

1. はじめに

横浜市と JFE スチールは、山下公園前海域において鉄鋼スラグ製品を用いた生物の生息環境改善と、生物による水質浄化能力の回復と向上を検討するための共同研究(以下、共同研究)を 2013 年 9 月に開始した。本共同研究では、同年 10 月に、鉄鋼スラグ製品などを用いたつき磯を造成し、生物の生息環境を創出し、その効果を検証するためのモニタリングを定期的実施している¹⁾。

山下公園が面している横浜港では春から夏にかけて、赤潮発生や降雨に伴う水質悪化がたびたび起こり、横浜港の水質をさらに改善するためには、流入汚濁負荷を削減するとともに、底質の改善や海洋生物の水質浄化能力が活用できるような環境の修復・創出することの重要性が示唆されている²⁾。山下公園は国内外から多くの来訪客で賑わう観光地

であるほか、世界トライアスロンシリーズ競技会場としても利用されている。今後もウォーターフロント型の観光地として、また海洋スポーツの地として、海域環境のさらなる改善が求められている場所である。

本報では生物付着基盤の設置後、モニタリングを開始した 2013 年 10 月から 2016 年 1 月までの調査より、生物生息状況について得られた結果について報告する。

2. 共同研究の概要

共同研究の正式名称は「山下公園前海域における水質浄化能力の回復に向けた生物生息環境の改善手法に関する共同研究」であり、内容は以下の通りである。①山下公園前海域において、生物付着基盤や底質改善の効果が期待される鉄鋼スラグを原料とする再生資材を沿岸域に配置し、つき磯を造成する。②造成したつき磯の定期的なモニタリング調査を行い、生物による水質浄化能力の回復に向けた生物

生息環境の改善手法を検討する。

3. 試験海域および試験方法

3.1 試験海域

試験場所の山下公園（横浜市中区）前の氷川丸左舷側の海域を試験場所とした。図1に対象海域の写真を示す。

事前調査によって山下公園前海域の海底等の特性を把握した後、表1に示す鉄鋼スラグ製品および天然資材（自然石および山砂）を生物付着基盤として用いた。各製品の特性についてはこれまでに報告されている^{3,4,5)}。図2に、試験区と対照区の配置イメージの平面図を示す。つき磯の試

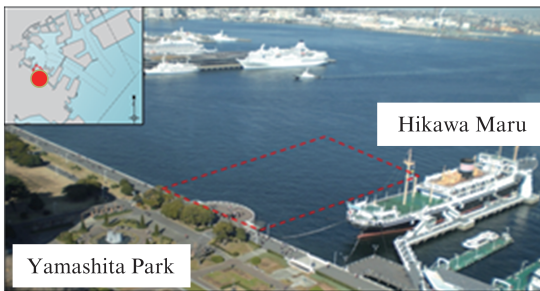


図1 対象海域の横浜市山下公園前海域¹⁾

Fig. 1 Experimental area, the sea adjoining Yamashita Park in Yokohama¹⁾

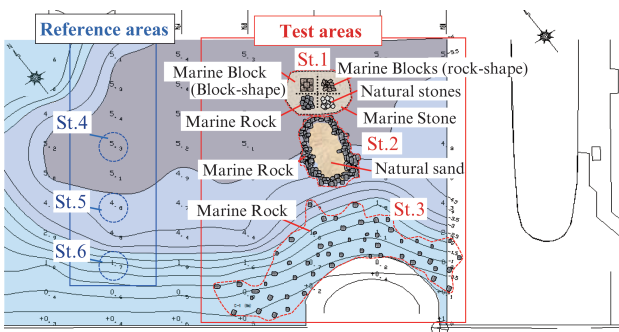


図2 試験海域の平面図

Fig. 2 Plain view of test area

験区 St. 1, 試験区 St. 2, および試験区 St. 3 の造成を行った。

3.2 試験区の造成

これまでの横浜市の調査⁶⁾より、横浜港において夏季の貧酸素等の影響を受けにくい部位は水深-3mより浅い部分と考えられたため、つき磯造成の際の天端の水深は-3m程度またはそれ以上とした。

各試験区は敷設後の波浪による波の打ち上げ、潮流による生物付着基盤の流出、船の航行への影響、護岸の破損、生物再生の見込み、および公園からの風景に影響を与えないかなどに配慮した。

試験区 St. 1 を設置した部位の海底（水深約5~7m）はシルト・ヘドロ層であった。敷設物が埋没することを防ぐため、まず粒径30~80mmの『マリンスターン[®]』（以下、マリンスターン）を敷設し、その上に鉄鋼スラグ製品として、『マリンプロック[®]』（以下、マリンプロック）、マリンプロック破砕物および『マリロック[®]』（以下、マリロック）を、比較対象として自然石をそれぞれ配置した。

試験区 St. 2 は、貝殻礁とシルト・ヘドロが混在する海底（水深4~5m）に、マリロックで円形の潜堤を形成し、その内側に山砂を敷設した。

試験区 St. 3 は、貝殻や転石が分布する海底（水深4m以浅）に、マリロックを転石として設置した。

上記試験区と同等の水深および海底環境を有する位置に、対照区 St. 4, St. 5, および St. 6 をそれぞれ設定した。

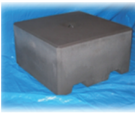





3.3 モニタリング方法

試験区 St. 1~St. 3 および対照区 St. 4~St. 6 を対象として、潜土による付着生物の目視観察を行った。観察範囲は1m×1mのコドラート4面とし、動物および海藻類の種類及び被度を測定した。

事前の試験海域のモニタリングとして2013年10月に、つき磯造成後のモニタリングとして2013年11月、2014年2月、5月、8月、11月、2015年2月、5月、8月、11月および2016年1月にそれぞれ実施した。

表1 つき磯造成に使用した鉄鋼スラグ製品と天然材

Table 1 Steel slag products and natural materials which were used to build artificial reefs

Products						
	"Marine Block TM "		"Marine Rock TM "	"Marine Stone TM "	Natural rocks	Natural sand
Shape	Block	Rock	Rock	Stone	Rock	Sand
Size	1 m × 1 m × 0.5 m	φ100 mm~	φ100 mm~	φ30 mm~80 mm	φ100 mm~	Median diameter > 0.3 mm
Gravity	2.0-2.4	2.0-2.4	2.4-2.6	2.0-	2.2-2.9	1.8
Amount to use (t)	10		640	440	5	90

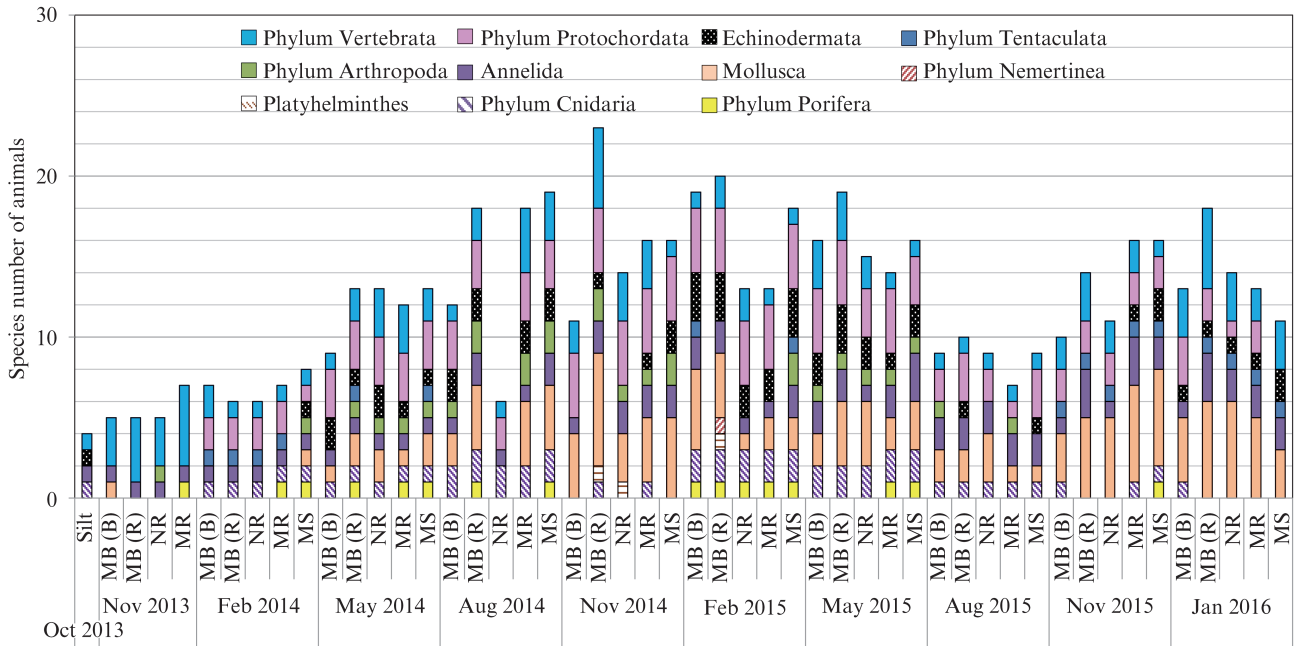


図3 St.1の動物の種類数の推移, MB (B): マリンブロック, MB (R): マリンブロック破砕物, NR: 自然石, MR: マリンロック, MS: マリンストーン

Fig. 3 Temporal changes of number of animal species observed in St. 1. MB (B): “Marine Block” (block-shape), MB (R): (rock-shape), NR: Natural rocks, MR: “Marine Rock”, MS: “Marine Stone”

4. 結果および考察

4.1 試験区 St. 1 および対照区 St. 4

試験区 St.1の各基質で観察された動物の種類数を基質ごとに図3に、St. 4にて観察された動物の種類数を図4に示す。季節による増減が見られたが、St.1で観察された動物の種類数は、St.4と比較して全てのモニタリング時期で上回った。基質敷設前の事前調査ではSt.1で4種類の生物が確認された。基質敷設後は徐々に増加し、2014年11月には11~23種類まで増加し、以降は横ばい傾向となったが2015年8月には7~10種類まで減少した。しかし、その後回復し、直近の2016年1月には11~18種類まで回復した。

2015年8月に種類数が減少した原因として、海底環境が

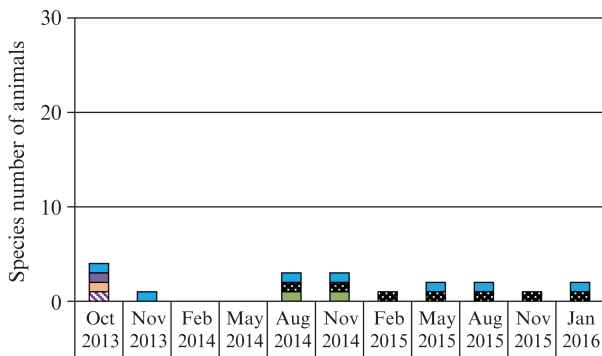


図4 St.4の動物の種類数の推移 (凡例は図3を参照)

Fig. 4 Temporal changes of number of animal species observed on St. 4. See Fig. 3 for the legend

悪化し、貧酸素水塊が発生した可能性が考えられる。一般的に、夏季は海水の鉛直方向の混合が起こりにくいことや水温上昇により有機物分解が活発化し、底層水が貧酸素化しやすいことから、試験海域においても同様な影響があったと推察される。また、その後の調査にて動物の種類数が増大したことから、いったん種類数が減少しても回復することが示された。今後、生物相が安定するか否かについては、今後の経過を継続して調査して検証する必要がある。

基質別では、2013年11月から2014年8月には、観察された種類数の基質ごとの差異は小さかった。2014年11月以降は、マリンブロック破砕物で最も多く観察されたが、他の鉄鋼スラグ製品においても自然石と同等の種類数が確認された。

St. 1とSt. 4の動物の被度の推移を図5に示す。St. 1では、2014年5月から2015年2月にかけて増加傾向がみられ、エボヤ等の原索動物門、カンザシゴカイ科等の環形動物門、ミドリイガイ等の軟体動物門が優占していた。2015年2月にはホヤ綱、棘皮動物門が減少した。一方、St. 4では1%未満~10%と低い値で推移した。

以上の結果から、試験区 St. 1において、各鉄鋼スラグ製品は、自然石と遜色なく生物が付着したことから、自然石と同等の生物付着機能を有していると考えられる。また、St. 1はSt. 4と比較して、動物の種類数および被度が顕著に優位であったことから、つき磯造成により動物生息環境が大幅に改善されたと考えられる。

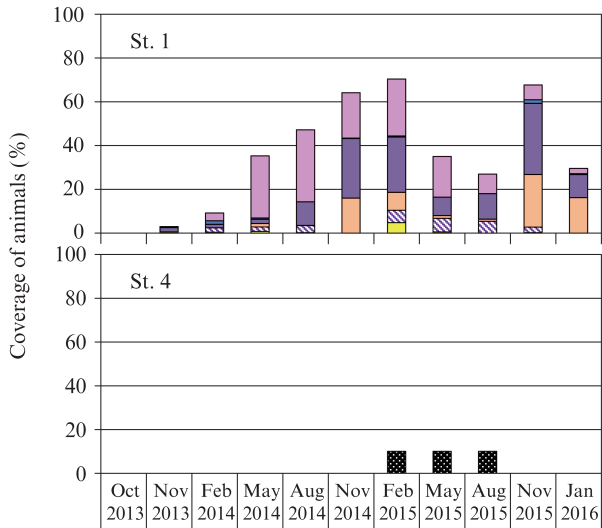


図5 St. 1 と St. 4 の動物の被度の推移 (凡例は図3を参照)

Fig. 5 Temporal changes of coverage of animals observed in St. 1 and St. 4. See Fig. 3 for the legend

4.2 試験区 St. 2 および対照区 St. 5

試験区 St. 2 において観察された基質ごとの動物の種類数を図6に示す。動物の種類数は、マリンロック潜堤部では軟体動物門(二枚貝)や原索動物門(ホヤ類)などの着生が見られたほか、イシダイ、メジナ、ウミタナゴ、メバル属等遊泳魚の蛸集がみられた。2014年8月まで種類数は増加傾向であったが、それ以降は15~16種類で推移したが、2015年8月には11種類まで減少した。しかし2016年1月には22種類と顕著に回復した。2015年8月に種類数が減少した主原因は、St. 1と同様に貧酸素水塊の影響と考えられる。

自然砂部においては、種類数は2~10種類で推移しており、

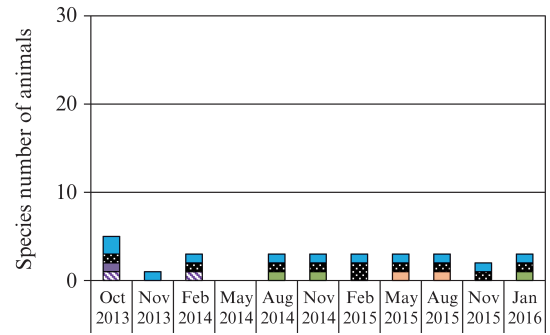


図7 St. 5 の動物の種類数の推移 (凡例は図6を参照)

Fig. 7 Temporal changes of number of animal species observed in St. 5. See Fig. 6 for the legend

被度は10%未満であったが、マリンロック潜堤部とは異なる種類が観察された。このことから、多様な生物を生息させるには、覆砂と潜堤などの異なる付着基盤を整備することが有効な手段となりうることを示唆される。

対照区 St. 5 において観察された動物の種類数の推移を図7に示す。0~5種類で推移しており、St. 2と比較して全期間において低位であった。

St. 2にて観察された動物の被度を図8に示す。St. 2は2015年2月まで増加傾向であったが、以降は増減し、14~65%の範囲で推移した。一方、St. 5では、1%以下~10%とSt. 2と比較して著しく低位で推移した。

4.3 試験区 St. 3 および対照区 St. 6

試験区 St. 3 および対照区 St. 6 にて観察された動物の種類数を図9に示す。St. 3では、2015年2月以降20種類以上で安定的に推移した。一方、St. 6では、10~23種類で推移し、

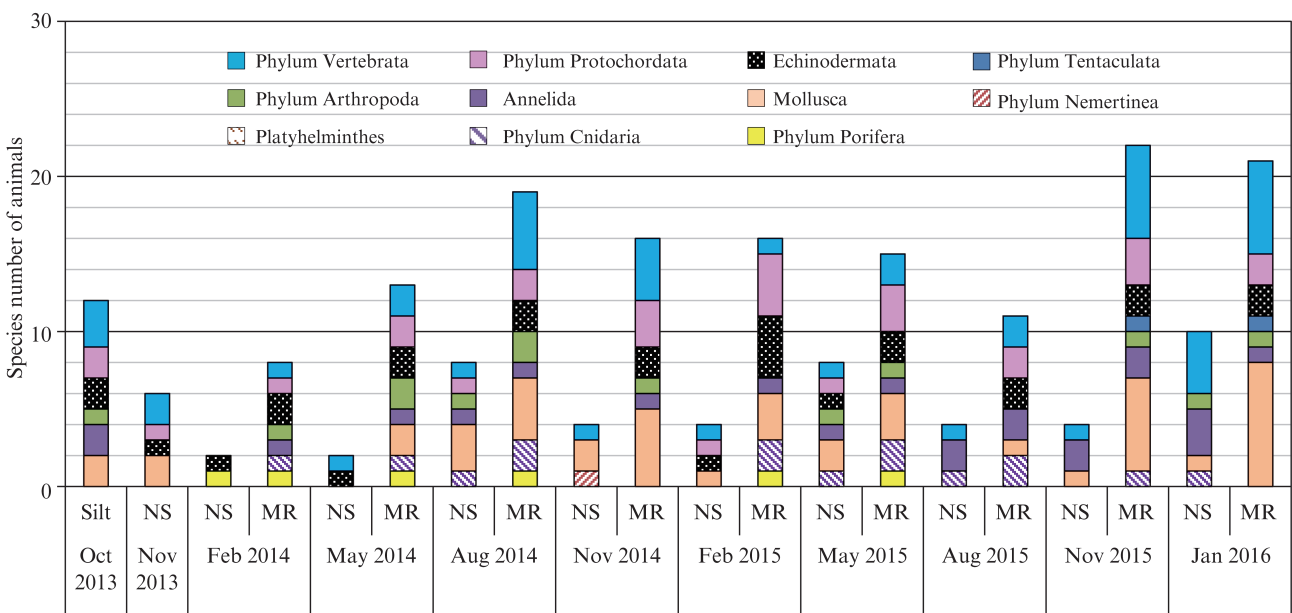


図6 St. 2 の動物の種類数の推移

Fig. 6 Temporal changes of number of animal species observed in St. 1. MR: "Marine Rock", NS: Natural Sand

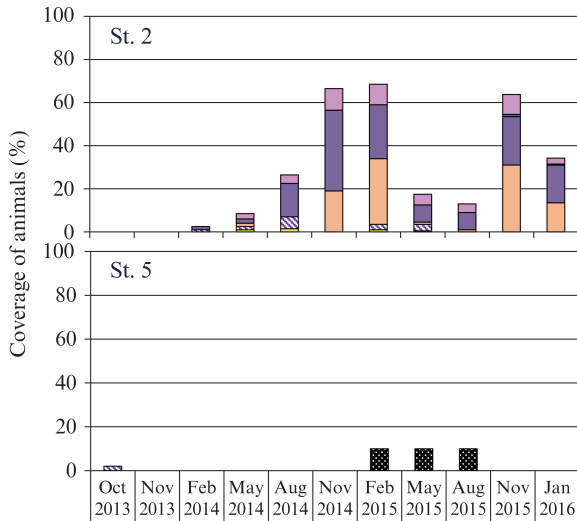


図8 St.2とSt.5の動物の被度の推移（凡例は図6を参照）

Fig. 8 Temporal changes of number of animal species observed on each product in St. 2 and St. 5. See Fig. 6 for the legend

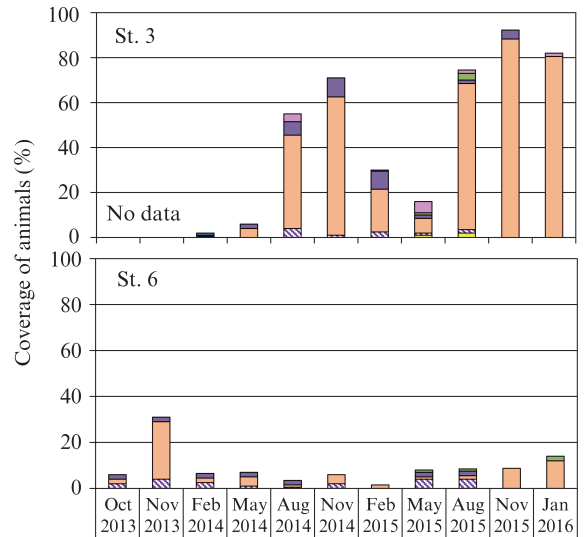


図10 St.3とSt.6の動物の被度の推移

Fig. 10 Temporal changes of coverage of animals observed in St. 3 and St. 6

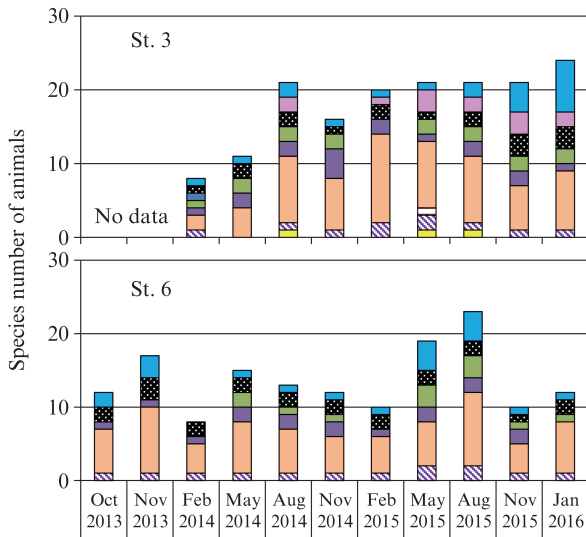


図9 St.3とSt.6の動物の種類数の推移（凡例は図10を参照）

Fig. 9 Temporal changes of number of animal species observed in St. 3 and St. 6. See Fig. 10 for the legend

試験区と同等または劣位であった。

St. 3およびSt. 6の動物の被度を図10に示す。試験区St. 3では、2015年11月に92%まで増加し、2016年1月でも82%となるなど高い値を示した。いずれもムラサキガイの被度が70%以上と優占した。一方、St. 6では、被度は概ね10%前後の低い値で推移した。

以上の結果から、St. 6のようにすでに生物が生息していた浅場においても、St. 3のように生物付着基盤を増設することで、さらに生物多様性が改善されることが示唆される。

5. おわりに

横浜市と当社は、2013年9月から山下公園前海域におい

て鉄鋼スラグ製品を用いた生物の生息環境改善と、生物による水質浄化能力の回復と向上を検討するための共同研究を実施している。2013年10月に、鉄鋼スラグ製品などを用いたつき磯を造成して生物の生息環境を創出し、その効果を検証するためのモニタリング調査を継続中である。これまでの結果では、以下のような知見が得られた。

水深5~7mのシルト質の海底にマリストーンを基盤材として敷設し、その上に鉄鋼スラグ製品および天然石を配置したSt. 1において、生物付着基盤の設置前と同様の水深や底質環境を有する対照区と比較した。その結果、試験区において観察された生物の種類数の増加が認められた。一方、対照区ではほとんど変化がなく、低位であった。これらのことから、鉄鋼スラグ製品などを用いた生物付着基盤を構築することが、生物の生息環境改善手法として有効であることが示唆された。さらに、濾過性の生物（ホヤ類や二枚貝類等）が増加していることから、水質の改善に寄与することが期待される結果を得た。

水深4~5mの海底にマリロックで潜堤を構築し、その内側に自然砂を配置したSt. 2では、覆砂した場所と周囲の潜堤では付着する生物の種類に違いが生じた。このことから、多様な生物を生息させることを目的とした場合、異なる付着基盤の整備が有効な手段となりうることが示唆された。

最も岸壁に近い水深4m以下の海底の転石帯に施工したSt. 3試験区においては、既存の転石に付着していた生物と類似の生物が付着したことから、生物付着基盤として既存の転石と遜色ないことが示された。さらに種類数が増加したことから、すでに生物が生息していた浅場においても、生物付着基盤を増設することで、海域の生物多様性が改善されることが示唆された。

今後、生物付着基盤を設置することによって増えた二枚

貝類やホヤ類等の生物について、どの程度の水質浄化能力を有しているのかを濾水量の算定等により検証を行っていく予定である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、様々な視点からご助言を頂きました。横浜国立大学大学院環境情報研究院・臨海環境センター・理工学部 菊池知彦教授、横浜国立大学大学院都市イノベーション研究院 中村由行教授、および国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所港湾空港技術研究所沿岸環境研究領域沿岸環境研究グループ長桑江朝比呂氏に厚くお礼申し上げます。

参考文献

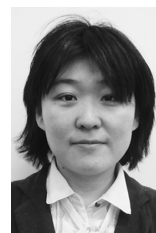
- 1) 浦垣直子, 市川竜也, 堀美智子, 山下理絵, 松本剛, 宮田康人. 横浜市環境科学研究所報. 2016, vol. 40, p. 30.
- 2) 上原直子, 石井彰. 横浜市環境科学研究所報. 2012, vol. 36, p. 17.
- 3) 小山田久美, 渡辺圭児, 岡本峰雄, 岩田至. JFE 技報. 2008, no. 19, p. 6.
- 4) 宇田川悦郎, 松永久宏. JFE 技報. 2008, no. 19, p. 18.
- 5) 宮田康人, 佐藤義夫, 清水悟, 小山田久美. JFE 技報. 2008, no. 19, p. 1.
- 6) 上原直子, 小市佳延, 村岡麻衣子, 七里浩志, 川田攻, 阿久津卓, 渾川直子, 内藤純一郎. 横浜市環境科学研究所報. 2013, vol. 37, p. 54.



宮田 康人



松本 剛



浦垣 直子



市川 竜也



堀 美智子