

## I 調査課題名

鉄鋼スラグ等による藻場の再生技術の検討

## II 実施機関及び担当者名

株式会社 アルファ水工コンサルタンツ 綿貫 啓

## III 目的

海藻類は海水中の栄養塩を葉面から吸収して生長する。暖流系の海水は栄養塩濃度が低く、暖流の勢力が強い年はコンブ類の現存量は低下し、逆に、水温が低い年は身入りのよいコンブ類が生産されることが知られている。

近年、藻場再生を目的とした施肥が検討されており、窒素肥料等の海域への供給が試験的になされている。また、窒素の吸収を促進させる微量元素の鉄分の供給が特に注目され、各地で実験的な試みがなされている。しかしながら、どの程度の鉄分（二価の鉄イオン）濃度であれば海藻の生長が促進されるのか、また、鉄イオンを供給する素材は継続的に溶出態の鉄イオンを溶出できるのか、それらの素材は水産生物にとって安全なものなのか等、未解明な課題が多い状況である。

そこで本調査では、「海藻類に対する施肥の手引き」の作成を最終目標とし、栄養塩や鉄分等の施肥に関する論文や報告書を収集し、鉄イオン溶出素材の磯焼け海域での影響や素材の毒性試験を実施し、その効果や安全性を検証することとした。

本年度は大分県の磯焼け海域で鉄分供給による海藻の生長促進効果を把握する実験を実施し、その成果をもとに、他の海域（北海道を予定）でも同様の調査を行うための計画を作成することとした。

### (1) 業務実施に当たっての体制

本業務の実施体制を図 1.1 に示す。また、この業務では、「施肥に関する専門部会」をつくり、専門家や行政担当者を中心として、業務の進め方、結果の評価等について3回の検討会を実施した。

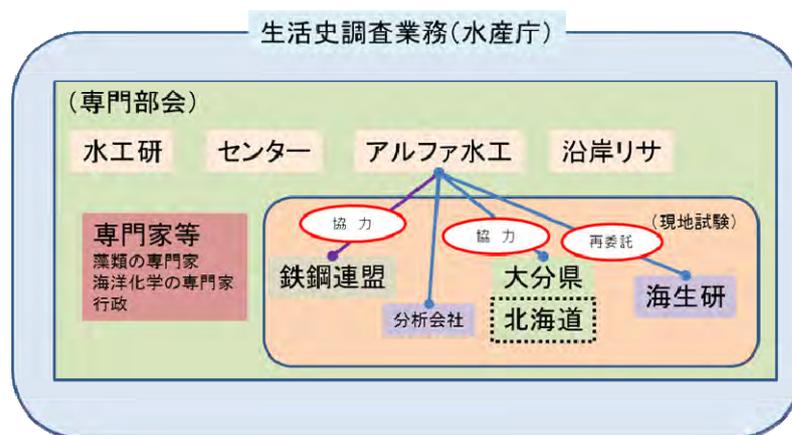


図 1.1 本業務の実施体制

表 1.1 施肥に関する専門部会の委員

氏名	所属	専門
藤田大介（委員長）	東京海洋大学 准教授	水産植物、磯焼け
山本光夫	東京大学 特任准教授	環境化学工学、磯焼け
小畑 元	東京大学 准教授	海洋無機化学
尾上静正	大分県	行政、藻場造成
南 貴子	北海道	行政、藻場造成

#### IV 調査の内容

##### 1 概要

###### 1.1 平成 22 年度の探索試験から得られた課題

平成 23 年度から鉄鋼スラグの海藻増殖効果を本格的に検証することとしたが、1 年前の平成 22 年度に大分県の佐伯市地先において、鉄分供給ユニットの探索試験が行われた。その結果によると、鉄分供給ユニットから溶出している鉄分が対照区に比べ多い傾向はなく、海藻類の生育に差が見られない結果が得られた。この結果の課題としては、

- ①採水方法に問題があるのではないか。
  - ②鉄分の分析方法に問題があるのではないか。
  - ③鉄分供給の影響はそれほど広範囲には拡がらないのではないか。
- などが上げられた。

###### 1.2 平成 23 年度の試験にあたっての基本的事項

平成 23 年度の当初計画では、初夏にはテングサを対象とした実験を開始する予定であったが、平成 22 年度と同様な手法で実験をすると、鉄分の効果が明瞭にならないことが予想された。そこで、すでに鉄分供給ユニットが設置され、その効果が観察されている他の現場（函館、寿都）において、鉄分供給ユニットの極近傍から採水し、2 価の鉄イオンを分析した実績のある他の分析機関で鉄分を分析し、鉄分の溶出していることを検証してから、本実験を実施することとした。

本実験は磯焼け対策としてウニ除去を実施し、食害の影響がない大分県佐伯市の名護屋湾で実施することとした。また、施肥に関する専門部会において、鉄分供給ユニットが鋼製なので、その鉄分が溶出している可能性があり、実験に当たっては、鉄製品を極力避けることとの指摘があった。そこで、本実験は鋼製の鉄分供給ユニットではなく、大型土嚢を利用することとした。

###### 1.3 平成 23 年度の業務の概要

###### 1.3.1 既往施設における鉄分溶出の検証

平成 22 年秋に設置された鉄分供給ユニット（函館、寿都）を対象に平成 23 年 7 月に鉄

分の溶出を確認する調査を実施した。その結果、鉄分供給ユニットの極近傍では鉄分の溶出が確認されたが、その影響範囲は小さく、1 m程度離れると対照区の鉄分濃度と同様な値に減少することが判明した。海藻類はウニが分布していない場所ではコンブ類が繁茂しており、ウニが分布する場所では、鉄分供給ユニットの周辺にわずかに海藻が分布していた。このことから、磯焼け対策としては、ウニ除去が最も効果的であり、鉄分供給の効果はわずかに見られる程度と推察された。

### 1.3.2 大分県佐伯市名護屋湾における鉄分供給実験

大分県佐伯市の名護屋湾において、鉄製品を使用しない化学繊維製の大型土嚢 (D-BOX) に鉄鋼スラグと腐植土および腐植土のみを入れて実験区を設置した。対照区としては、実験区から約 40m離れた地点を設定した。現地実験に先立ち、電磁流速計で実験場所の流速を十五昼夜測定し、流動特性を把握したが、実験場所は非常に静穏で潮流の流速も小さく、拡散係数も小さな海域であることから、溶出した鉄分は移流拡散しにくい環境であることが判明した。

本実験では、対象とする海藻を秋に成熟するクロメおよびノコギリモクとし、クロメについてはモルタルプレートに孢子液に浸漬し、ノコギリモクではモルタルプレート上に播種し、これらのプレートを鉄分供給用 D-BOX の周辺に設置した。鉄分の溶出は D-BOX 設置してから毎月測定した。D-BOX 設置後は鉄分の濃度は実験区で高くなり、腐植土のみの実験区でも高い濃度であった。しかし、1ヶ月後以降は対照区よりわずかに高い程度であり、溶出量は小さいものと推察された。海藻の幼体の葉長は鉄鋼スラグと腐植土を設置した実験区では対照区に比べ長い傾向にあった。

主な作業を表 1.1 に示した。

表 1.1 主な作業内容

日付	内容
5/20	第1回施肥専門部会
7/13-16	函館、寿都の鉄分供給ユニット調査、余市踏査
9/22	第2回施肥専門部会
9/28	佐伯の適地選定、流速計設置
9/29	大分水試と意見交換
10/18-21	クロメ用スラグ、腐植土設置、巻貝除去、採水
11/9-11	ノコギリモク用スラグ、腐植土設置、巻貝除去、採水
12/5	余市にて協議
12/16	D-BOX側面にキリで穴空け、巻貝除去、採水
1/25	採水、pH・ORP測定
2/3	第3回施肥専門部会
2/19	採水、pH・ORP・DO測定、海藻の幼体の葉長計測

### 1.3.3 鉄鋼スラグの毒性試験

鉄鋼スラグについては、開発者が実施した毒性試験の結果が公表されている。本調査では、使用者側の観点で、鉄鋼スラグの毒性試験を実施した。毒性試験としては、手法がほぼ完成しており、水産庁で推薦しているマダイ仔魚急性毒性試験、動物プランクトン（シオダマリミジンコ）急性毒性試験を実施すると共に、ベントスが直接餌料として摂餌した場合を想定し、ガンガゼに鉄鋼スラグを食べさせ、その状況を観察することとした。試験の主体は財団法人海洋生物研究所が担当し、平成23年の8月～平成24年の2月まで室内試験を実施した。

試験結果としては、マダイ仔魚急性毒性試験では、スラグ+腐植土区、スラグ区、腐植土区および対照区のいずれにおいても生残率は90%以上であり、溶出液の影響は見られなかった。また、シオダマリミジンコを対象にした毒性試験では、スラグ+腐植土区、スラグ区、腐植土区および対照区のいずれにおいても遊泳阻害率は0%であり、各溶出液の影響は見られなかった。最後に、ガンガゼの稚ウニへの影響は、餌料海藻に30%の鉄鋼スラグ粉末を混合させても30日後、全ての個体が生存しており、致命的な影響は見られなかった。ただし、鉄鋼スラグの添加量を多くするとガンガゼの成長量が低下する傾向が見られた。

## 2 既往施設の現地調査

### 2.1 鉄分供給ユニットの概要

#### 2.1.1 既存の鉄分供給ユニット

海域に鉄分を供給し、海藻類を増殖させる目的で鉄分供給ユニットが開発されている。沿岸域への鉄分は、森の腐植土に含まれる鉄分が河川を通じて沿岸域に供給されているという現象に着眼し、鉄分を多く含む鉄鋼スラグと廃木材チップを発酵させた人工腐植土を組み合わせ、生物が吸収しやすい鉄分を人工的に海に供給し、藻場の再生と漁場環境の改善を図るとしている。

図 2.1 に示すように、鉄分供給ユニットは、転炉系製鋼スラグと人工腐植土を体積で 1 : 1 に混合し麻袋に入れ、その麻袋を鋼製のボックスに入れたものである。ボックスの天端には直径 1 cm 程度の孔が空いており、海水が出入りする。この製品は天端の鉄板を溶接しているため、ボックス内のスラグや腐植土は交換できない構造である。



図 2.1 鉄分供給ユニット（新日本製鐵株式会社の HP より複写）

## 2.1.2 転炉系製鋼スラグの特徴

### 1) 概要

鉄鋼スラグは鉄鋼の製造過程で発生する粒状の副産物である。鉄鋼スラグは、鉄鉱石から銑鉄を生成する際に生成する高炉スラグと、製鋼工程で生成する製鋼スラグに大別される。

製鋼スラグは、銑鉄やスクラップから成分を調整し、靱性・加工性に優れた「鋼」を製造する製鋼工程で副生される。製鋼スラグには、転炉から生成する転炉系スラグと、スクラップを原料とする電気炉製鋼工程で生成される電気炉系スラグがある。転炉系スラグは、高炉徐冷スラグと同様に冷却ヤードで放冷や散水により徐冷処理された後、加工され各種製鋼スラグ（転炉系）用途に利用されている。転炉鋼 1t あたり約 110kg 生成される。近年では転炉精錬の前工程でリン（P）や硫黄（S）を除去する溶銑予備処理が普及し、ここで生成するスラグも転炉系スラグに分類される<sup>1</sup>。

### 2) 転炉系製鋼スラグの物理化学的特徴

転炉系製鋼スラグは高炉スラグに比較して SiO<sub>2</sub> や Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> が少ないが、T-Fe や MnO が多い特徴を持つ。CaO を含むことから溶出水の pH は高くなり、スラグ自体は弱い水硬性、膨張性がある。密度は鉄分を含むことから 2.2～3.7g/cm<sup>3</sup> と天然砂に比べ大きい。粒度は製造所によって多少異なるが、中央粒径で 2mm～10mm である。単位体積重量は含水比 5% で 20.2～26.7kN/m<sup>3</sup>、水中では 13.5～18.0 kN/m<sup>3</sup> である<sup>2</sup>。

転炉系製鋼スラグは底質間隙水中のリンや硫化物の濃度を減少させる。カルシウムを有するので、pH ≧ 6 では溶解性の非常に低いヒドロキシルアパタイト（Ca<sub>5</sub>OH(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>）が形成され、リンは不溶化する<sup>2</sup>。

表 2.1 鉄鋼スラグの化学成分の一例<sup>1</sup>

成分 種類	高炉スラグ	転炉系スラグ	電気炉系スラグ		安山岩 (参考)	普通セメント
			酸化スラグ	還元スラグ		
CaO	41.7	45.8	22.8	55.1	5.8	64.2
SiO <sub>2</sub>	33.8	11.0	12.1	18.8	59.6	22.0
T-Fe	0.4	17.4	29.5	0.3	3.1	3.0
MgO	7.4	6.5	4.8	7.3	2.8	1.5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.4	1.9	6.8	16.5	17.3	5.5
S	0.8	0.1	0.2	0.4	-	2.0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<0.1	1.7	0.3	0.1	-	-
MnO	0.3	5.3	7.9	1.0	0.2	-

<sup>1</sup> 鉄鋼スラグ協会の HP

<sup>2</sup> 社団法人日本鉄鋼連盟（平成 20 年 9 月）「転炉系製鋼スラグ 海域利用の手引き」

表 2.2 製鋼スラグの特性とリサイクル用途<sup>2</sup>

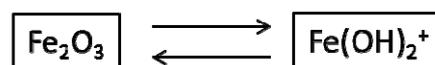
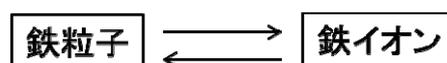
製鋼スラグの特性	用途
硬質・耐摩耗性	アスファルトコンクリート用骨材
水硬性	路盤材
内部摩擦角大	土工用材、地盤改良材(サンドコンパクションパイル)
FeO、CaO、SiO <sub>2</sub>	セメントクリンカー原料
肥料成分 (CaO、SiO <sub>2</sub> 、MgO、FeO)	肥料および土壌改良材

### 2.1.3 海藻類の生長と鉄分の関係

海藻類の生育に必要な三大栄養素は窒素、リン、カリであることは陸上植物と変わりがないが、それと共に、鉄、マンガン、コバルトなどの微量元素やビタミン類 (B 1、B12、ビオチン) が必要である。微量元素はイオン状態で海水に溶存していないと海藻には吸収できない。藻類が窒素 (硝酸塩) を体内に取り込むには、硝酸塩還元酵素が必要であり、鉄はこの酵素に大きく関与している<sup>3</sup>。鉄は光合成生物には不可欠な元素であるが、通常、海水中では鉄はイオンではなく粒子状であり、海藻の細胞膜を通り抜けれられない。粒状鉄 (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) と鉄イオン (Fe(OH)<sub>2</sub><sup>+</sup>) は平衡で海水中に溶解しており、イオンが海藻などに摂取されると、平衡がくずれて粒子がイオンに変わるが、この平衡に達するまで極めて長い時間がかかり、イオンが無くなると 10 日以上かからないと元のイオン濃度に達しない<sup>3</sup>。沿岸域における鉄の供給源は森の腐植土層とされ、腐植物質は水に溶けるフルボ酸と水に溶けないフミン酸に分けられる。フルボ酸は鉄など多くの金属を結びつける機能があり、無酸素部位で生成した鉄イオンはフルボ酸と結合し、鉄の粒子状化が起きない。フルボ酸鉄は河川を通り、海に出ると植物プランクトンに直接利用されている<sup>3</sup>。

コンブなどを培養する場合、培地 (例えば Provasoli 海水補強培養液) には硝酸ナトリウムなどと共に、Fe.EDTA や金属混液 (FeCl<sub>3</sub>、H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>、MnCl<sub>2</sub>、ZnCl<sub>2</sub> など) やビタミンを入れている。ここで、EDTA (エチレンジアミン四酢酸) は人工的に合成した試薬であるが、この試薬は鉄と結合し、鉄が粒子になるのを防ぎ、鉄を海水に溶けた状態に保つ役割をしているので、フルボ酸と同様な働きをしている。

鉄鋼スラグは通常の海水には溶けにくいですが、溶存酸素 DO が低い環境や pH が低いと溶出する。この時、腐植土からフルボ酸が溶け出して、鉄と結合することができれば、フルボ酸鉄として藻類に鉄分を供給することができる可能性がある。そのようなメカニズムに着目して、鉄分供給ユニットが開発されている。



鉄粒子と鉄イオンとの関係<sup>3</sup>

<sup>3</sup> 松永勝彦(1993) ; 森が消えれば海も死ぬ、ブルーバックス 977, 講談社

### 2.1.4 海藻類に必要な鉄濃度とは

海水中の鉄は粒状、コロイド、有機物（フルボ酸）と結合した鉄および鉄イオンがある。藻類には溶存鉄（鉄イオンやフルボ酸鉄）の形でないと体内に取り込めない。粒状と溶存鉄の区別は $0.4\mu\text{m}$ の孔径の濾紙で濾過し、濾紙上に残った鉄を粒状鉄、濾紙を通過したものを水に溶けた溶存鉄といているが、濾紙を通過した鉄でも光合成生物が直接利用できないコロイド鉄が含まれるので、現状では、藻類の利用可能な鉄イオンを測定する手段はなく<sup>3</sup>、便宜的に、上記の溶存鉄濃度を測定することで溶存態の鉄濃度が高い可能性があるかと判断することとなる。

### 2.1.5 海域による鉄濃度の分布

松永は河川から鉄分が海域に供給されるとし、北海道の太平洋側と日本海側で鉄濃度を測定している。これによると、寒流の親潮の影響が強い北海道の太平洋沿岸では $10\sim 160\mu\text{g/l}$ の濃度であるが、暖流の対馬海流の影響が強い日本海側では $10\mu\text{g/l}$ 以下で鉄濃度は小さい<sup>3</sup>。

海藻類の生長には無機態の窒素やリンなど多量栄養素が重要であり、鉄濃度は微量でよいとされている。対馬暖流域より親潮寒流域の方が窒素やリンの濃度が高い。また、これらの成分の取り込みは濃度だけでなく、流速も大きく影響する。海藻への取り込みはフラックス（流速×濃度）が重要であり、貧栄養で鉄濃度の低い海域であっても、流速が大きいと海藻に取り込まれる。波当たりの強い海岸では海藻の生長が良いことは以前から指摘されているが、栄養塩フラックスが高いものと推察される。このように、鉄濃度の分布は地域により異なっているが、鉄の濃度が低いから磯焼けになるという単純な現象ではないことは注意しなければならない。

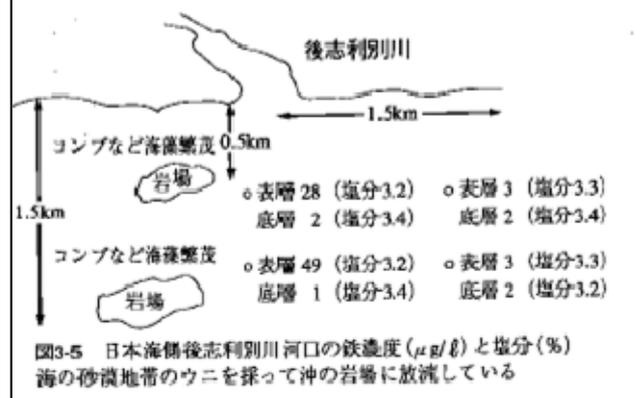
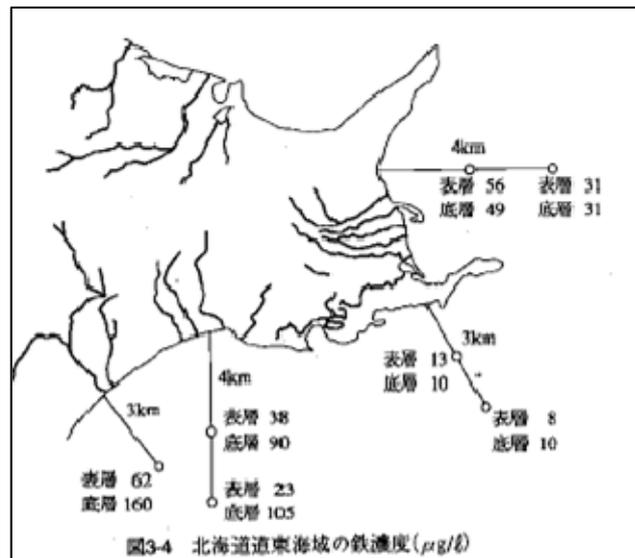


図 2.2 沿岸域の鉄濃度の分布<sup>3</sup>

## 2.2 採水位置の変更

本調査を実施する1年前の平成22年秋に、図2.1に示された鋼製の鉄分供給ユニットが大分県の名護屋湾に設置された。この時は企業サイドで海域中の鉄分の濃度を測定したが、鉄分供給ユニットの天端上の約50cm浅い場所で採水したとのことである。企業側の開発担当者によると、各地で調査を実施しているが、鉄分供給ユニットの開口部であるユニットの天端上の50cm～1mで採水しているとのことであった。

海水は水平方向には拡散しやすいが、鉛直の方向には拡散しにくく、特に夏季では温度成層によって、下層の海水は上層には上がりにくくなる。鉄分供給ユニットからの鉄分の溶出を確認するなら、鉄分供給ユニットの開口部およびその周辺で開口部と同じ水深帯で測定することが望まれる。

そこで、既往施設の現地探査にあたって、採水する場所を下図のように変更した。まず、調査時には流れをよく把握し、流れの下流側で採水することとした。また、鉄分供給ユニットから溶出した鉄分は大量の海水に希釈混合されるので、効果範囲は狭いと予想され、高濃度と予想される鉄分供給ユニットの開口部では注射器で採水し、周辺では50cm下流側、150cm下流側および対照区で採水することとした。また、過去の調査方法を検証するため、開口部の50cm上方でも採水することとした。

なお、分析については、大分県が沿岸域ですでに鉄分の濃度を測定しており、溶存態の鉄分分析の実績を有する大分県薬剤師会検査センターに依頼することとした。誘導結合プラズマ発光分光質量分析計（ICP-MS）による分析である。

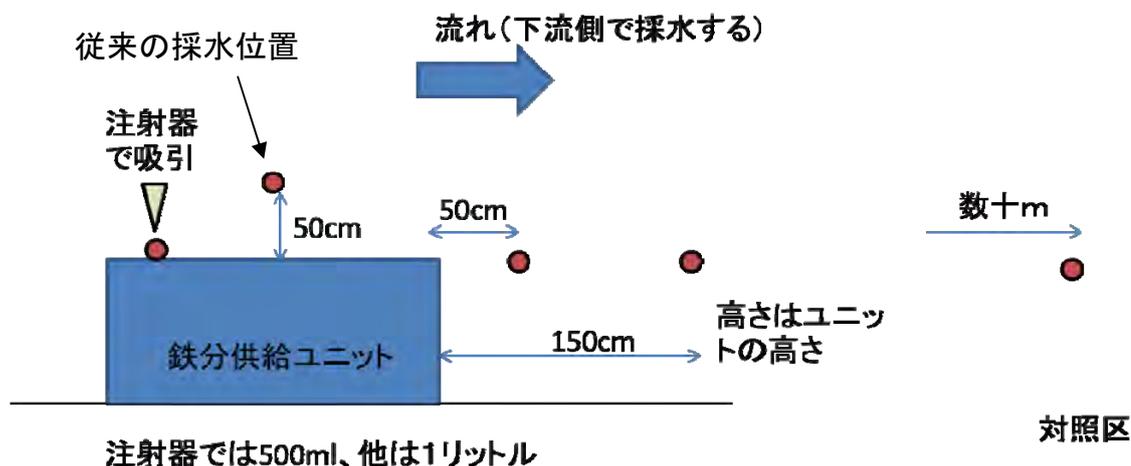


図 2.3 既往施設の現地調査における採水箇所

## 2.3 函館の既往施設での調査

### 2.3.1 施設と調査の概要

函館空港に近い銭亀沢漁協の管轄内に藻場造成のために数カ所に投石が実施されている。投石された築磯にはウニ類が分布しており、海藻類は少ない。また底質が砂質土であることから、砂質土上に疎に分布する転石上はウニが分布できず、コンブ類が分布している。

図 2.4 に示すように、沖側と岸側の砂地（ウニなし区）には鉄分供給ユニットを設置した実験区とその対照区、また、築磯箇所（ウニあり区）のうち、西側が対照区、東側が鉄分供給ユニットが設置してある。これらの設置は平成 22 年の秋であり、平成 22 年度に設置した大分県佐伯市名護屋湾と同じような時期に施工された。

調査では図 2.3 に示す各位置で採水し、周辺の藻場の状況を観察した。調査は平成 23 年 7 月 13 日に実施した。



図 2.4 函館地区での実験区の配置状況

### 2.3.2 ウニあり実験区での藻場の状況と採水場所

東側の築磯上に鉄分供給ユニットが2基設置されていた。1基は鉄分供給ユニットの天端面だけでなく、側面にも開口部があったので、採水の対象としたのは、側面に開口部のない標準型を対象にした（図 2.5 の上のユニット）。図 2.5 に示すように、鉄分供給ユニット間の投石上にはコンブが分布していた。

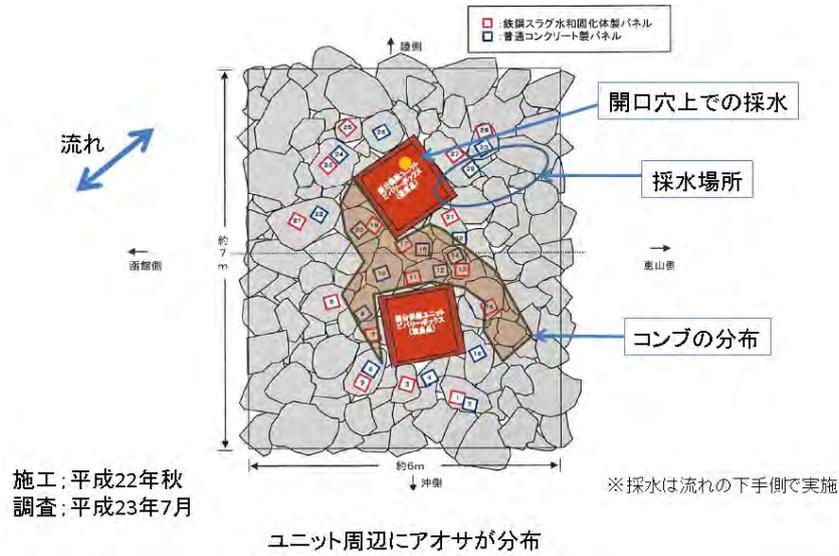
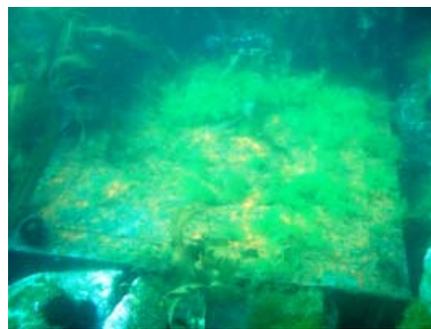


図 2.5 函館地区の鉄分供給ユニットの周辺の状況



ユニット間の海藻類



鉄分供給ユニットの上面(アオサが分布)



開口部(閉塞し始めたものもある)



ウニも分布するがコンブが着生

図 2.6 ウニあり区の鉄分供給ユニット周辺部

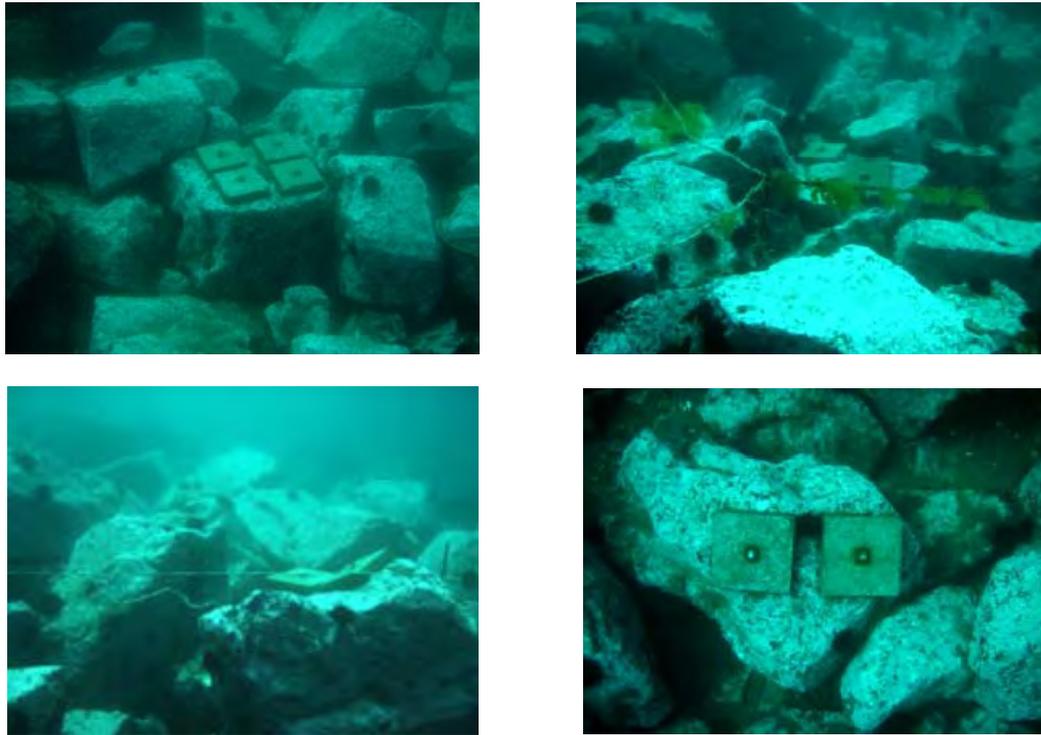


図 2.7 ウニあり区の対照区

### 2.3.3 ウニなし実験区での藻場の状況

ウニあり区で鉄分供給ユニットの設置してある築磯はアオサやコンブが着生しているが、対照区では測量用に残したロープにアオサの着生が見られるものの、海藻類はウニによって摂餌され、ほとんど着生していない。



図 2.8 ウニなしの実験区

ウニなしの対照区の写真は撮影していなかったが、状況は図 2.8 とほぼ同様であり、ウニ類が分布していないとコンブは大量に繁茂している。したがって、鉄分よりもウニ除去の方がコンブの生長効果が良いといえる。鉄の濃度については○に記載する。

## 2.4 寿都地区の既往施設での調査

### 2.4.1 施設と調査の概要

寿都町においては、築磯が造成されており、六条町の築磯には分散して4基の鉄分供給ユニットが設置されている。対照区としては岩崎町に類似の築磯が造成されているので、この2箇所で海藻の植生と採水を行った。施工は平成22年秋に実施され、調査は平成23年7月14日に実施した。



図 2.9 寿都地区の調査区の位置図

### 2.4.2 六条地区（施肥区）

六条地区では築磯の周辺に4基の鉄分供給ユニットが設置されている。この内、No.1のユニットについて採水を行った。

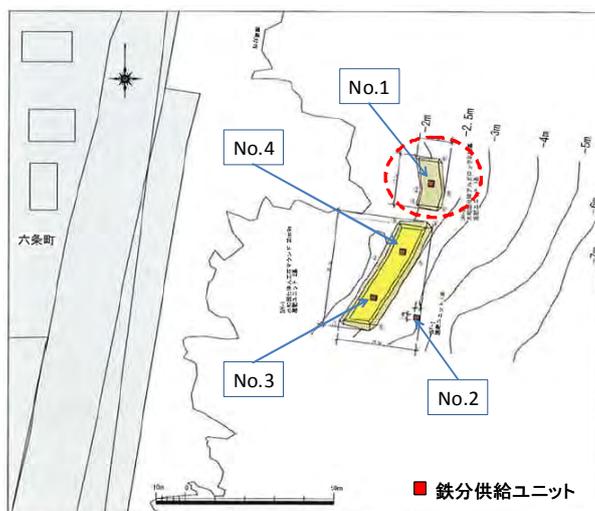


図 2.10 六条地区の築磯と鉄分供給ユニット

No.1の鉄分供給ユニット（採水地点）ではアオサとフクロノリの生育が確認された。ユニットの周辺ではアオサがやや多く分布していたが、鉄板部分は錆びていて海藻が付きにくいようであり、塞がっている穴もあった。また、天然岩盤（左）と鉄鋼スラグを利用した人工石（右）は色に差があった。天端水深は1m以下と浅く、近くを流れる小河川からの淡水の流入も影響しているようである。

No.2～4については、鉄分供給ユニットの天端にアオサが分布するだけで、周辺の海藻が増えている傾向は確認できなかった。ユニットの天端にアオサが分布しているのは、ウニ類がユニットの上面まで上りやすく、摂餌残しがあるように見える。

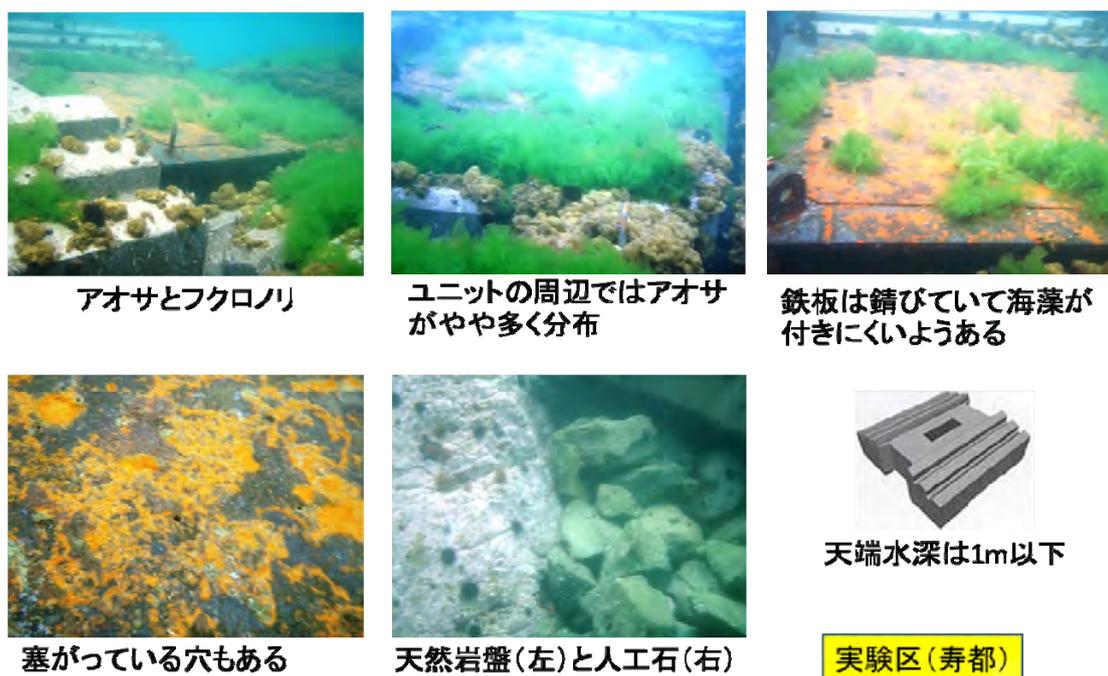


図 2. 1 1 六条地区の No. 1 の鉄分供給ユニット（採水地点）

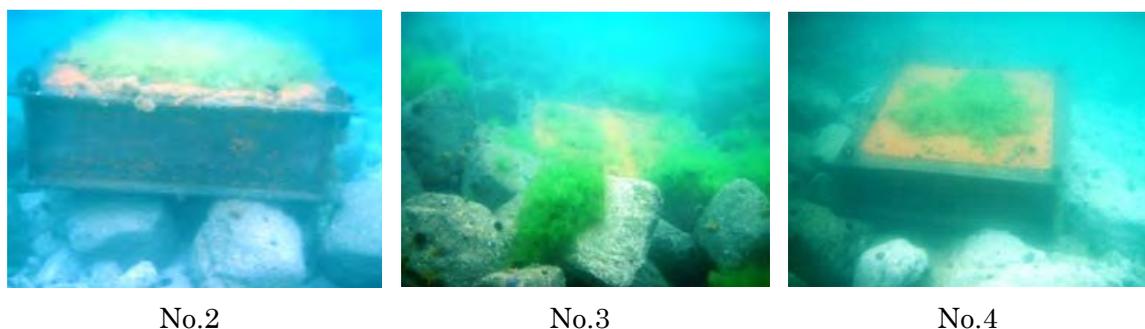


図 2. 1 2 No. 2～No. 4 の状況

### 2.4.3 岩崎地区（対照区）

天端水深が浅いブロック上にはアオサやフクロノリが着生していた。水深が深い場所は無節サンゴモとウニが優占し、水深が浅い天然岩盤上にワカメとコンブが繁茂していた。これは、ウニによる食べ残しで、藻場が維持されているためと考えられる。

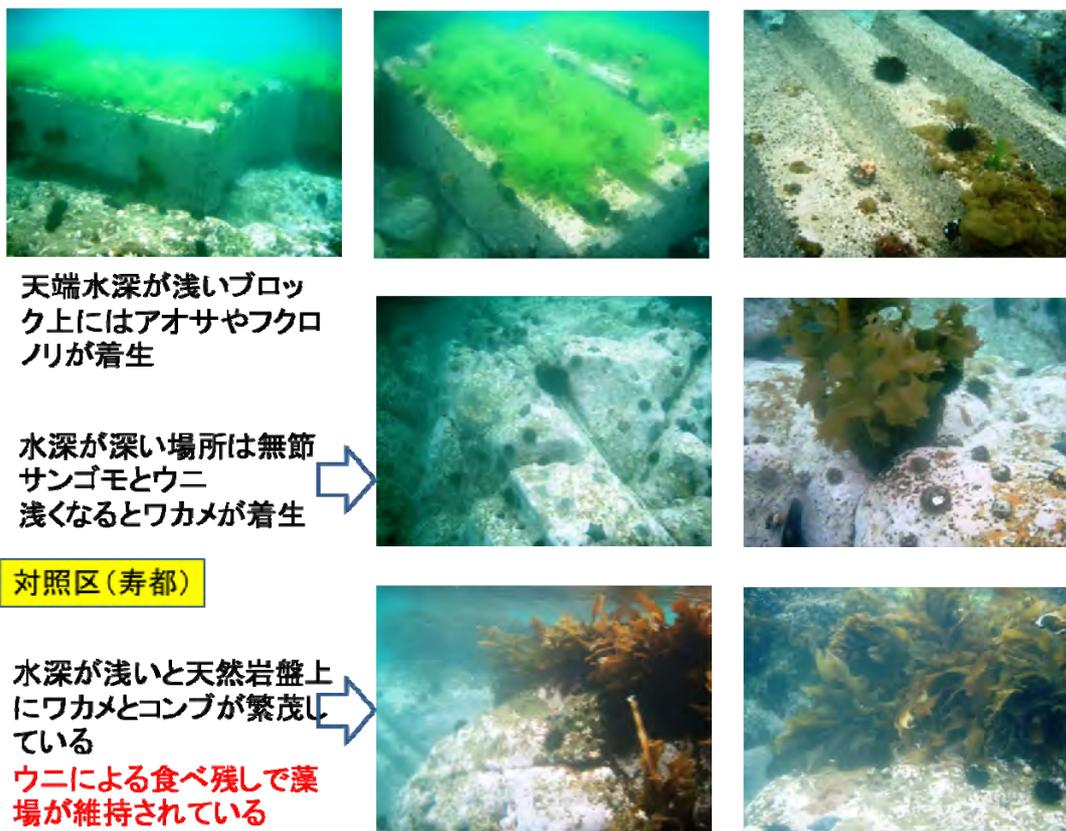


図 2.13 岩崎地区（対照区）の状況

## 2.5 鉄濃度の測定結果

函館と寿都において採水し、冷蔵状態で大分県薬剤師会へサンプルを送り、鉄分の分析を行った。ここで、採水瓶については鉄分が入らないように、予め薬剤師会で硝酸処理したポリビンを送っていただき、瓶に海水を入れた後、直ちに冷蔵し、クール宅急便で送った。到着まで3日間を要したが、到着後、直ちに濾過し、濾過海水について ICP-MS で鉄分の分析を行った。したがって、コロイド状の鉄分が含まれている可能性はあるが、溶存態の鉄を分析したものと考えている。

ここで、距離0 mでの採水は、鉄分供給ユニットの天端の上面の開口部の約1 cm上の部分から注射器でゆっくり採水し、注射器毎船上に運搬後船上で500mlのポリビンに移し替えた。この作業を数回実施して所要の採水量を確保した。ユニットから0.5m、1.5mおよび対照区については、ポリビンを所定の場所まで空気の入った状態で持参し、採水場所でポリビンの蓋を開けて採水した。

結果を図4.14に示す。鉄分供給ユニットの開口部では30~60  $\mu\text{g/l}$ の濃度であるが、0.5m離れると極端に濃度が低下し、1.5m離れると対照区と同程度の濃度になってしまうことが判明した。採水は静穏時に実施しているので、多少、波があれば、鉄分供給ユニット内の鉄分が周辺に出てくる可能性があるが、波があると移流拡散も大きくなる可能性がある。なお、対照区は100m以上離れた地点で海水を採取しているが、対照区と1.5m地点での濃度に差がないことから、個々では便宜的に同じ図に記載した。

なお、図2.2と比較すると、鉄分供給ユニットの開口部から出てきた鉄分の濃度は北海道の太平洋岸で観察された濃度に匹敵し、対照区の鉄分の濃度は日本海で観察される低濃度に合致している。

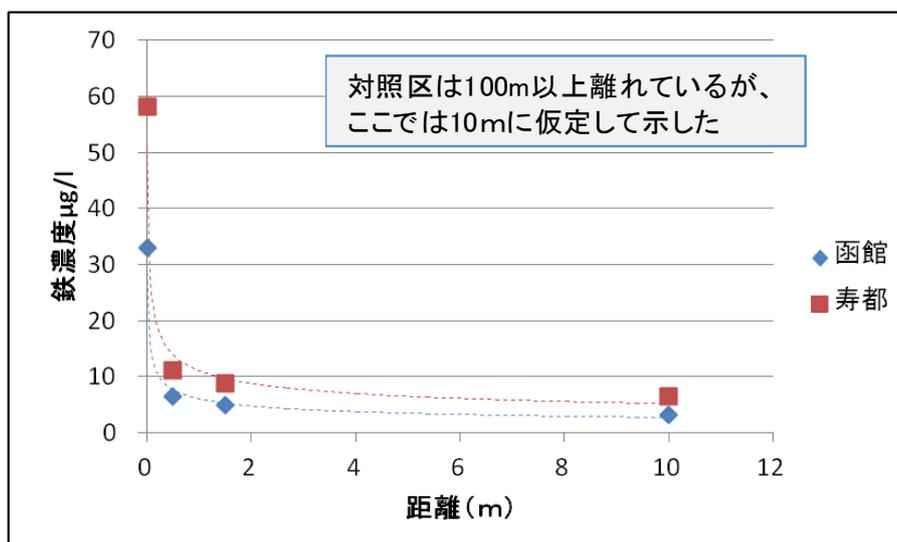


図 2.14 鉄分供給ユニットからの距離と溶存態鉄の濃度

## 2.6 既往施設の調査のまとめ

函館と寿都の調査をまとめると、以下のようになる。

- ①沈設後半年以上経過したユニットから鉄分の溶出が認められた。
- ②鉄分供給ユニットからの鉄分は開口部（孔部）周辺では濃度が高い。
- ③1ユニットからの鉄分溶出の影響範囲は数mで大きくない。

この結果から、鉄鋼スラグと腐植土を混入した鉄分供給ユニットから、鉄分は溶出していることから、大分において実験を進めることが可能と判断された。ただし、委員会で指摘がされたように鋼製のボックスからの鉄分の溶出も考えられるので、実験に当たっては、製品化されている鋼製のボックスではなく、鋼板を使用しない方法で実験することとした。