

## 海域施肥時のコンブ等の生育に関する実海域実験 — 転炉系製鋼スラグ等を用いた藻場造成技術開発 (1) —

木曾 英滋	新日本製鐵(株)技術開発本部環境・プロセス研究開発センター
堤 直人	新日本製鐵(株)技術開発本部環境・プロセス研究開発センター
渋谷 正信	(株)北海道オーシャングリーン
中川 雅夫	新日本製鐵(株)スラグ・セメント事業推進部

### At-sea Experiment of Influence of Marine Fertilizing on Growth of *Laminaria religiosa*. Development for Recovery from Barren Ground using Steelmaking-slag et al.-1

KISO,Eiji	Nippon Steel Corporation
TSUTSUMI,Naoto	Nippon Steel Corporation
SHIBUYA,Masanobu	Hokkaido Ocean Green Corporation
NAKAGAWA,Masao	Nippon Steel Corporation

#### Abstract

Purpose of this study is to inspect the effect of algal bed creation when the fertilizer unit (Steelmaking slag including the iron content and humus soil made of wood tip are filled) applied to sea area. By the experiment that fertilizer units were buried in the shoreline in Oct. 2004, the following result was confirmed.

1) One year later from starting this experiment, algal bed of the *Laminaria religiosa* is confirmed. And the *Laminaria religiosa* in the experiment site was about 226 times the quantity of *Laminaria religiosa* in control site.

2) The durability of effects on creation of algal bed for three years was confirmed by monitoring for three years until 2007. In addition, the creation area of the algal bed is spreading more.

Furthermore, additional experiment that fertilizer steel-boxes were sunk into the sea was started from 2006. In 2007, the *Laminaria religiosa* in the experiment site was 18.5 times the quantity of *Laminaria religiosa* in control site, and the supply such as the iron content was confirmed more.

By the above-mentioned result, effect of the fertilizer application on creation of algal bed became clear.

#### 1 緒言

わが国の沿岸域、とりわけ北海道日本海側の沿岸域においては、コンブやホンダワラ等の有用海藻類が生育できない磯焼けと呼ばれる現象<sup>1)</sup>が進行し、漁獲高の減少という深刻な問題をもたらしている。

磯焼けは、海水温の上昇や、ウニや魚類の過剰な食圧といった諸原因が複合して発生すると考えられており、<sup>2)~4)</sup>後者については食害に遭いにくい基質を投入する方法や、食害動物を直接駆除する方法等、種々の対策がはかられている。さらに、北海道日本海側の磯焼け海域では、栄養塩である硝酸塩の還元や、光合成等、藻類の生長に必要な要素である鉄分の濃度が極端に低く<sup>5)</sup>、この鉄濃度低下が磯焼け減少へ影響を及ぼしている可能性<sup>6)</sup>も示唆されている。

本研究において、鉄分等の栄養素の施肥とコンブ等の海藻生育の関係を調査してきた北海道増毛町舎熊の海域では、食害動物であるウニの個体数は多いとはいえないことから、当該海域での海藻生育には、鉄分等の供給が効果的となる可能性が考えられた。さらに、海藻の生育に必須とされる鉄分の

形態は、一般的には海水中に溶存する二価鉄と考えられるが、この二価鉄は海水中の溶存酸素により速やかに三価鉄に酸化されて水酸化コロイドとして沈殿してしまうことから、増毛町舎熊海域での海藻生育には、海水への鉄分供給、特に溶存二価鉄をいかに安定的に増加(供給)させるかが重要なポイントであった。

本研究では、二価鉄を多く含有する転炉系製鋼スラグ(以下製鋼スラグと略す)と、廃木材チップを発酵させて製造した人工腐植土を混合した藻場造成材料から、海域へ鉄分を供給し、磯焼け海域で藻場(コンブ林)を造成する効果について、実海域実験を行ってきた。

ここでは、平成16年10月より北海道増毛町にて実施している実海域実験について、以下を報告する。

- ① 汀線部埋設施肥実験での3年間に亘る定量的モニタリングによる藻場造成効果の持続性調査結果(平成16年10月に実験区設置)
- ② 沖合への鋼製施肥ボックス沈設による施肥効果の確

認結果（平成 18 年 10 月に実験区設置）

なお、本実海域実験において確認した藻場造成効果と施肥との関係については、続報にて、検討結果を示す予定である。

第二報：施肥（鉄分供給）の寄与の可能性について、実海域における水質調査により検討

第三報：水槽実験による、鉄分のコンブ生育促進効果および生育メカニズムの検討

## 2 鉄分供給施肥ユニット

### 2.1 鉄分供給材料

森林の腐葉土中に存在する腐植と、無機鉱物層に存在する二価鉄が結合し、酸化に対して安定的な「二価鉄が錯体化された腐植物質（以下、二価鉄-腐植物質錯体と略す）」を形成し、河川等を介して海域に供給されるという知見に着目し、鉄分供給材料としては、廃木材チップを発酵させた人工腐植土と、二価鉄を多く含有する製鋼スラグを含有して袋詰めした鉄分供給ユニット（以下ユニットと略す）を使用することとした。

「人工腐植土」は、伐採木などの廃木材粉碎チップを嫌気性細菌で発酵分解したものである。実海域実験に使用した人工腐植土は、発酵温度を 50～60℃、発酵期間を約 3 ヶ月として製造したものであり、NAGOYA 法による腐植の抽出により、2,000ppm あまりの腐植が含まれていることが確認されている。<sup>7)</sup>

製鋼スラグは、銑鉄を鋼に精錬する際に発生する鉄鋼副産物であり、実海域実験に使用した製鋼スラグ（新日鐵名古屋製鉄所製）の成分は、Table. 1 に示すとおりである。製鋼ス

Table1 Component of Steelmaking Slag(%)

Component	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	MnO	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	T·S	F
Content	41.2	20.8	2.09	2.26	2.84	21.9	4.32	3.08	0.24	0.03

ラグは、天然の石材に比べて鉄分含有率が高い（安山岩＝3.1%程度）とともに、全鉄分に対する二価鉄比率が高い材料である。なお、粉碎試料を用いた鉄の溶出実験により、増毛海域での海流速度程度の震盪による鉄分の溶出は、90 日が経過した後も一定であり、その溶出速度は 2.5～5.8×10<sup>-8</sup>g/g-slag・day であることが確認されている。<sup>8)</sup>

### 2.2 ユニットからの二価鉄溶出特性

製鋼スラグと人工腐植土の混合物からなるユニットの二価鉄溶出特性については、室内試験により、混合することで製鋼スラグからの鉄の溶出量、特に二価鉄の溶出量が大幅に増加することがわかっている。全鉄の溶出量に対する二価鉄溶出量の比率は、製鋼スラグのみの場合には約 5%であるのに対し、人工腐植土との混合により 30～40%に増加する。<sup>9)</sup>

これより、人工腐植土の混合が、鉄の溶出の促進、および溶存状態の保持に対して有効と考えられた。これは、二価鉄が人工腐植土中の腐植物質と錯体を形成して安定化するという理論によれば説明が可能であり、実験によっても、二価鉄と腐植物質との結合の可能性が示唆されている。

## 3 実海域実験の概要

### 3.1 実験海域について

北海道増毛町舎熊の海域にて実施した。当該海域は、粒径が 200～500mm 程度の玉石で形成される遠浅の海岸であり、汀線より沖側 50m 程度までは、水深が 1.5m 以下である。なお、実験着手前は、玉石の大部分が石灰藻に覆われた状況で

あった。(Photo1)

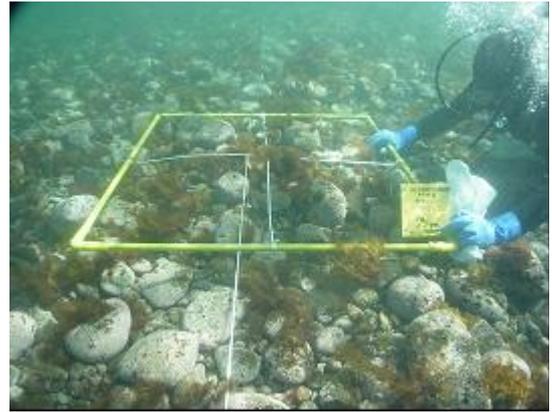


Photo1 The bottom of the sea before experiment (25m from the shoreline in Jun.2004)

### 3.2 実験区の設定

平成 16 年 10 月に、汀線部にユニットを埋設する実験区(汀線部埋設施肥実験区)を設置した。また、平成 18 年 10 月には、施肥効果の再確認を目的として、汀線から沖合いへ約 90m の地点に鋼製施肥ボックス（波浪からの保護のため、鋼製箱に施肥ユニットを詰めたもの）を沈設した実験区（以下、鋼製施肥ボックス沈設実験区と呼ぶ）を設置した。実験区の設定平面図を Fig.1 に、設置断面図を Fig.2 に示す。以下に、両実験区の設定について詳細を述べる。

#### 3.2.1 汀線部埋設施肥実験区（平成 16 年 10 月設置）

汀線部に施肥ユニットを埋設し、その前面海域に側線を設けた 2 つの実験区と、1 つの対照区を設置した。

実験区 A には、製鋼スラグと人工腐植土を容積比 1:1 で混合したものをヤシガラ繊維製の袋に入れたユニット (Photo 2 を参照) が、そして実験区 B には、製鋼スラグのみを同じくヤシガラ繊維性の袋に入れたユニットが埋設されている。なお、実験開始時期が異なるため、本論文には成果等を示さないが、上記実験材料の他にも、製鋼スラグと発酵魚かすを容積比 1:1 で混合したものを、平成 16 年 10 月に実験区 F として実験区 A と B の中間部に埋設している。



Steelmaking Slag + Humus

Fertilizer unit

Photo2 Unite A

ユニットの埋設は、汀線に沿って、幅 1m×深さ 0.8m×長さ 26m の溝を掘削し、そこへ各種ユニット（φ 0.3m×L2.0m）を 3 列で 39 個投入し、被り厚 0.5m で埋め戻すことを行った。Photo3 に埋設時の状況写真を示すが、この写真からもわかるように、実験海域の海岸は玉石で構成されており、前面海域と通水している。よって、ユニットから溶出した物質は、間隙水を通じて前面海域に容易に供給されると推測された。

なお、実験区および対照区の間は、影響が及びあわないよう、108m の距離をとっている。また、実験区 A と F、F と B との間もそれぞれ 130m と 135m の間隔を設けた。さらに、波当りの向き等の諸条件も極力同じとなるようにした。

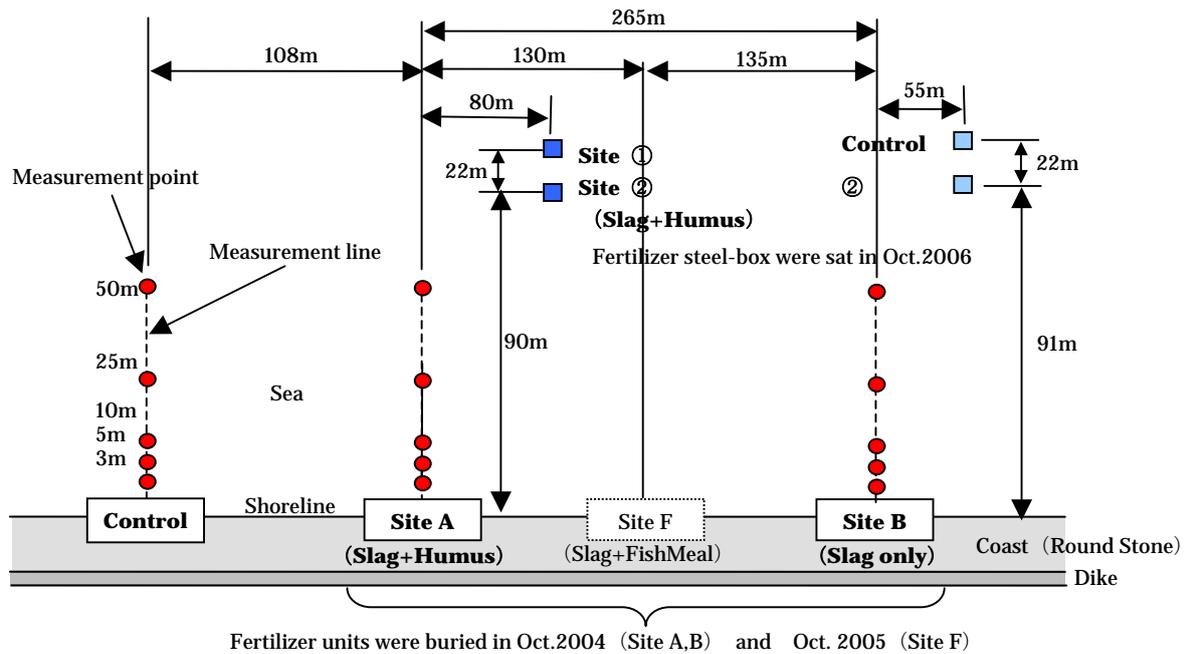


Fig.1 Ground plan of at-sea experiment

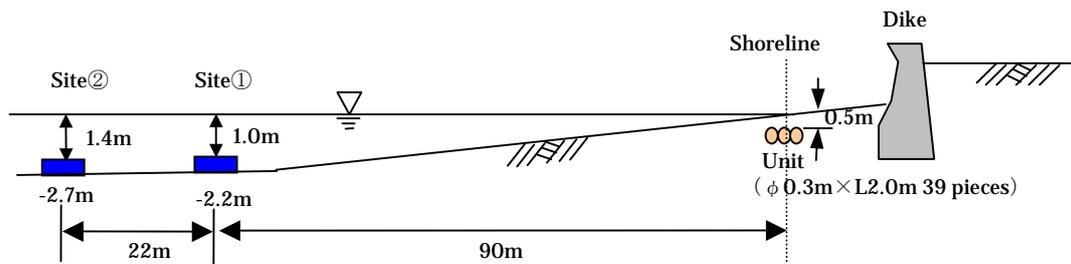


Fig.2 Cross section of at-sea experiment



Photo3 Situation that fertilizer units are buried

### 3.2.2 鋼製施肥ボックス沈設実験区 (平成 18 年 10 月設置)

詳細は次章にて後述するが、汀線部埋設施肥実験では、実験区における藻場の造成が確認され、対照区との間には海藻類の生育湿重量や分布についての明確な差が見られた。しかし、一度の実験の結果であることや、実験区間で海象条件や地形条件を正確に揃えることが困難な大規模な実海域実験では、藻場造成が二価鉄供給によるものであると断定するのが困難であった。

そこで、平成 18 年 10 月より、実験区と対照区との間の

条件をより揃えた施肥実験を、同じく北海道増毛町の含熊海岸にて行うこととした。なお、本実験では、海藻類の湿重量比較のみならず、海水の溶存鉄の分析を行い、鉄分供給と藻場造成との関係を明確にすることも試みた。

実験は、汀線部埋設施肥実験の影響が及んでおらず、依然として磯焼けが顕著な沖合い (汀線から約 90m) にて実施することとし、ユニット (製鋼スラグと人工腐植土を容積比 1:1 で混合したものを麻袋に詰めたユニット) を沈設する実験区と沈設しない対照区を、それぞれ 2 箇所ずつ、水深が同一となるように設置した (Fig. 1, 2 参照)。なお、波浪に対するユニットの保護策としては、これまでの埋設による保護に代わり、ユニットを Photo4 に示すような鋼製ボックス (1.7m x 1.7m x h0.5m) に収納する方策をとった。鋼製ボックス内のユニットから溶出した物質は、ボックスの上面および側面に設けられた孔部より海域に供給されるようになっている。

さらに、実験区と対照区での海藻着生基質の条件 (形状や表面粗度等) を揃えるため、実験区、対照区共に、同じ 8t ビーハイブブロックを基質として用いている。実験区では、鋼製ボックスを取り囲むようにブロック 4 基を沈設し (Photo5 参照)、また、対照区ではブロックのみを、2 基が接するように沈設した。なお、設置位置は、ビーハイブブロックの天端水深が実験区と対照区で同じとなる位置を選定した。



Photo4 Fertilizer steel-box

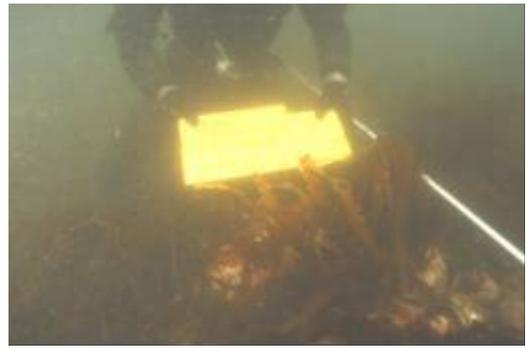


Photo6 The bottom of the sea in Jun.2005<sup>10)</sup>



Photo5 Situation of experiment site



Photo7 The bottom of the sea in Jun.2006<sup>11)</sup>

### 3.3 藻場造成効果のモニタリング

#### 3.3.1 汀線部埋設施肥実験区

施肥による藻場造成効果の持続性を確認するため、実験区設置の翌年の平成17年6月から3年間に亘り、海藻類の生育状況をコドラート法により調査した。調査は年1回、毎年6月に実施し、実験区および対照区の汀線から前面の海域に向けて設けた測線にて、汀線から3,5,10,25,50m地点の生育海藻の種類と単位面積当たりの湿重量を記録した。

また、ベルトトランセクト法による調査も合わせて実施し、各側線において汀線から沖合い50m、幅2mの範囲を目視観察することにより、海藻類の生育状況のマッピングを行った。

#### 3.3.2 鋼製施肥ボックス沈設実験区

実験区設置の翌年の6月(平成19年6月)に、コドラート法により、実験区と対照区との間の海藻類湿重量を比較した。コドラート法は50cmの方形枠を8tビーハイブブロックの水深および形状が同じとなる位置に当て、枠内の海藻類を刈り取ることにより実施した。

また、二価鉄供給による藻場造成効果をより明らかにするため、海水の溶存鉄濃度についても分析を行い、コドラート法にて調査した海藻類湿重量との比較を行った。

### 4 藻場造成効果の持続性に関するモニタリング結果(汀線部埋設施肥実験区)

#### 4.1 海藻生育状況変化の観察結果

Photo6からPhoto8は、実験区Aの、汀線から25m地点における3年間の(平成17年6月~平成19年6月)海底状況を示すものである。実験区の海底は3年間に亘り、ホソメコンブに覆われていた。

実験開始前は、ほとんどが石灰藻に覆われていた海底(Photo1)が、実験開始後はコンブに覆われる状況に変化し、コンブの藻場が3年後も維持されている。これより、当該海域においては、製鋼スラグ等の材料により、藻場の造成が可



Photo8 The bottom of the sea in Jun.2007

能であること、そして少なくとも3年以上に亘って藻場が持続されることが確認された。

#### 4.2 コドラート法による定量的モニタリング結果

実験区での藻場造成効果の持続性を定量的に評価するため、実験区設置から3年間に亘ってコドラート調査を実施した結果を示す。

Table3は、実験区A,Bおよび対照区にて、汀線から3,5,10,25,50m地点における単位面積当たり海藻類湿重量を測定した結果を示したものである。

Table3より、実験区設置から1年後の平成16年6月の調査では、実験区A,Bにコンブが生育したことがわかる。実験区Bでは、全海藻類の単位面積当たり湿重量は対照区と同程度であるが、コンブの湿重量は約70倍となっている。さらに、実験区Aでは、海藻類の湿重量が実験区Bや対照区の1.9倍にのぼり、その81%がコンブであることがわかる。実験区Aのコンブの湿重量は、実験区Bの3.2倍、対照区の225.9倍にのぼる。

Table3 Result of monitoring by Quadrat Method for 3 years

Jun.2005 (1m × 1m flame) (g/m <sup>2</sup> ) <sup>10)</sup>																
Kind of Seaweed	Position	Control					Site A					Site B				
		3m	5m	10m	25m	50m	3m	5m	10m	25m	50m	3m	5m	10m	25m	50m
<i>Desmarestia ligulata</i>		12	425	670	1100	115	26	160		340	5		30	30	30	465
<i>Nemalion vermiculare</i>					10											
<i>Dasya sessilis</i>					100			25	40							
<i>Scytosiphon lomentaria</i>							25	35	32			30	160	25	32	
<i>Ptilota filicina</i>			20				160	30		5			35			
<i>Desmarestia viridis</i>							110									
<i>Laminaria</i>	<i>religiosa</i>			20	15		465	2,390	2,491	2,300			1,250	1,000	70	
	<i>ochotensis</i>							150	75	35		135				
<i>Chondrus yendoii</i>			40	1			25									
<i>Laurencia nipponica</i>			10													
<i>Chondrus ocellatus</i>							15									
<i>Delesseria serrulata</i>			50		1,100						306			35	35	
<i>Chondrus pinnulatus</i>		5	35	10	10							18		40		
<i>Gelidium elegans</i>		250	370	750	100		400		110		185	745	430	35	400	
<i>Chorda filum</i>																
<i>Carpopeltis affinis</i>																
<i>Ptilophora subcostata</i>																
Fresh weight of seaweeds (bottom : Average of 5 points)		267	880	1,521	1,335	1,215	491	3,435	2,656	2,857	316	203	940	1,945	1,125	1,002
		1,044					1,951					1,043				
Fresh weight of Laminaria (bottom : Average of 5 points)		0	0	20	15	0	465	2,540	2,566	2,335	0	0	135	1,250	1,000	70
		7					1,581					491				
Jun.2006 (0.1m × 0.1m flame × 3) (g/m <sup>2</sup> ) <sup>11)</sup>																
<i>Desmarestia ligulata</i>																
<i>Nemalion vermiculare</i>																
<i>Dasya sessilis</i>																
<i>Scytosiphon lomentaria</i>																
<i>Ptilota filicina</i>					2,900											
<i>Desmarestia viridis</i>																
<i>Laminaria</i>	<i>religiosa</i>		15,167	32,333	13,767		5,000	28,333	24,500	43,333	9,667	39,000	3,600	14,367		
	<i>ochotensis</i>							4,933	33,333	33,333						
<i>Chondrus yendoii</i>			200	1,133												
<i>Laurencia nipponica</i>																
<i>Chondrus ocellatus</i>				867				367				2,233				
<i>Delesseria serrulata</i>																3,433
<i>Chondrus pinnulatus</i>		2,833			2,833										867	1,0433
<i>Gelidium elegans</i>		1,933	1,100			2,233	1,400		867	767	7,033	2,333	6433	2933	1,133	
<i>Chorda filum</i>		100					433					6,367		400	1,333	
<i>Carpopeltis affinis</i>					500											
<i>Ptilophora subcostata</i>																
Fresh weight of seaweeds (bottom : Average of 5 points)		4,866	16,467	34,333	17,100	5,133	6,833	33,633	58,700	77,433	16,700	47,700	12,266	17,700	3,333	13,866
		15,580					38,660					18,973				
Fresh weight of Laminaria (bottom : Average of 5 points)		0	15,167	32,333	13,767	0	5,000	33,266	57,833	76,666	9,667	39,000	3,600	14,367	0	0
		12,253					36,486					11,393				
Jun.2007 (0.5m × 0.5m flame) (g/m <sup>2</sup> )																
<i>Desmarestia ligulata</i>																
<i>Nemalion vermiculare</i>																
<i>Dasya sessilis</i>																
<i>Scytosiphon lomentaria</i>							92									
<i>Ptilota filicina</i>																
<i>Desmarestia viridis</i>					208											984
<i>Laminaria</i>	<i>religiosa</i>			1600	6800		3140	284	6960	10000		2400	2000	4000	12400	620
	<i>ochotensis</i>															
<i>Chondrus yendoii</i>																
<i>Laurencia nipponica</i>			420													
<i>Chondrus ocellatus</i>			44													
<i>Delesseria serrulata</i>																
<i>Chondrus pinnulatus</i>																
<i>Gelidium elegans</i>		1424						1256		48		104	372			
<i>Chorda filum</i>																
<i>Carpopeltis affinis</i>		624														
<i>Ptilophora subcostata</i>							12									
Fresh weight of seaweeds (bottom : Average of 5 points)		2048	464	1600	7008	0	3244	1540	6960	10048	0	2504	2372	4000	12400	1604
		2024					4358					4576				
Fresh weight of Laminaria (bottom : Average of 5 points)		0	0	1600	6800	0	3140	284	6960	10000	0	2400	2000	4000	12400	620
		1680					4077					4284				



さらに1年後の平成19年6月時点においては、平成18年6月(Fig.4)より、コンブ群落の確認範囲が大きく増加した。実験区Aのコンブ群落確認範囲は前年と同様に汀線から40m付近までであったが、実験区Bでは汀線から50m付近までにおよび、さらに対照区においても汀線から35m付近にまでコンブが確認された。

前節にて述べたコドラート法による生育質量モニタリング結果では、平成18年から平成19年にかけての大きな海藻類生育質量の減が見られたが、コンブの分布範囲については逆に、実験海域全体に亘って拡大傾向にある。コドラート法によるモニタリング結果とベルトトランセクト法によるモニタリング結果を合わせると、実験開始から2年程度までは施肥位置周辺のコンブ量が著しく増加し、その後は適度な密度を保ちながら分布範囲を拡大して行く傾向が示された。

## 5 施肥効果の確認モニタリング結果(鋼製施肥ボックス沈設実験区)

### 5.1 海藻生育状況の観察結果

Photo9に、実験区①におけるビーハイブブロックへの海藻着生状況を示す。また、比較としてPhoto10に、対照区①における、同じくビーハイブブロックへの海藻着生状況を示す。



Photo9 Situation of experiment block (Site①) in Jun.2007



Photo10 Situation of control block (control①) in Jun.2007

Photo9およびPhoto10より、実験区には大量のホソメコンブが繁茂し、対照区との藻場造成効果の違いは明らかであった。

### 5.2 コドラート法による海藻類湿重量および溶存鉄濃度のモニタリング結果

コドラート法(0.5m×0.5m枠を使用)により、実験区と対照区との間の海藻類湿重量を定量的に比較した。結果をTable4に示す。なお、Table4には、同時に行ったウニの生息密度調査と、溶存鉄の濃度分析(実験区、対照区とも、①

にて実施)の結果を合わせて示す。溶存鉄の濃度分析は、実験区、対照区ともにブロック表面から1m上の海水を清澄なポリ瓶で採取し、速やかに冷蔵輸送した後、キレート型固層充填カラムを用いて分離濃縮し、誘導結合プラズマ質量分析法にて測定した。

Table4 Result of monitoring in Jun.2007 (g/m<sup>2</sup>)

		Experiment Site		Control	
		①	②	①	②
Seaweed	<i>Laminaria religiosa</i>	10,000	13,200	1,200	8
	<i>Petalonia fascia</i>				48
	<i>Scytosiphon lomentaria</i>				100
	Seaweeds total	10,000	13,200	1,200	156
	bottom : average of ①&②	11,600		628	
	Only <i>Laminaria religiosa</i>	10,000	13,200	1,200	8
bottom : average of ①&②	11,600		604		
Sea urchin in flame		2	2	1	2
Fe dissolved (μg/L)		15.8	—	1.6	—

Table4より、実験区の単位面積当たり海藻生育湿重量は、対照区の18.5倍にのぼることが確認された。なお、実験区では生育海藻の100%がホソメコンブであった。

食害動物であるウニについては、各実験区において生存密度は同程度であったことから、結果に対する食害の影響はほぼ無いと考えられる。

また、実験区の溶存鉄の濃度は、対照区の9.9倍となった。酸化された三価鉄は粒状となり速やかに沈降すると考えると、溶存鉄のほとんどが二価鉄であると考えられる。

Fig.6に、溶存鉄濃度と単位面積当たり海藻類湿重量との関係を示す。

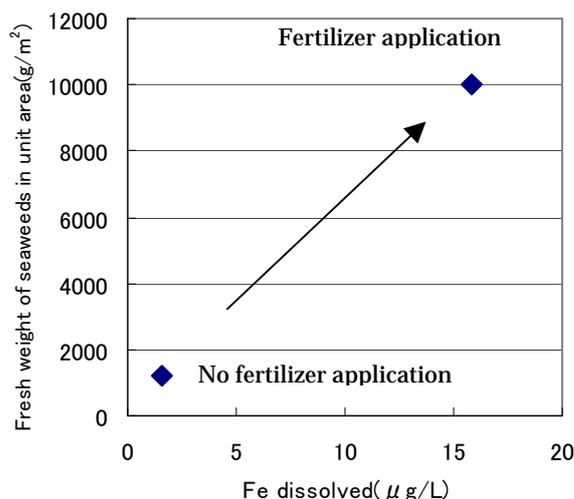


Fig.6 Relation of Fe dissolved and wet-weight of seaweed

Fig.6より、北海道増毛町の舎熊海域においては、鉄分の供給が藻場の造成、特にホソメコンブの藻場造成に効果的である可能性が明確になった。

## 6 結論

本研究では、磯焼け現象が進行した北海道増毛町沿岸における藻場造成を目的に、地元漁業協同組合の協力の下、二価鉄を含んだ製鋼スラグと、廃木材チップを発酵させた人工腐植土からなる施肥ユニットを設置する実験を行ってきた。

平成16年10月より開始した汀線部への施肥ユニット埋設実験では、翌年（平成17年）の調査において、実験区海域の単位面積当たりコンブ生育量が対照区の約226倍となった。

さらに平成19年までの3年間に亘るモニタリングにより、藻場造成効果、特にコンブの藻場造成効果が少なくとも3年に亘り維持されること、および、藻場造成範囲はさらに拡大を続けていることが確認できた。

また、施肥による効果をより明確にするため、平成18年10月には、施肥ユニットと基質ブロックを共に沈設した実験区と、同一基質ブロックのみを沈設した対照区による比較実験を開始した。翌年（平成19年）のモニタリングでは、実験区のコンブの着生量が対照区の18.5倍にのぼる結果となり、さらに溶存鉄濃度の分析結果からも、鉄分の供給が藻場造成に効果的である可能性が明確に確認された。

## 参考文献

- [1] 藤田大介, 堀輝三, 大野正夫, 堀口健夫「21世紀初頭の藻学の現況」日本藻類学会 山形, pp. 102, 2002
- [2] Harrold, C., Reed, D. C. 「Ecology 66」 11160, 1985
- [3] 桑原久実, 川井唯史, 金田友紀, 38(2), pp. 159, 2001
- [4] 堀江秀夫, 菊池伸一, 阿部龍雄, 清水光弘, 小川尚久, 東智則「林産試験場報」
- [5] Matsunaga, K., Kawaguchi, T., Suzuki, Y., Nigi, G., J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 241, p. 193, 1999
- [6] Suzuki, K., Kuma, K., Kudo, I., Matsunaga, K., Phycologia, 34, p. 201, 1995
- [7] 沖田伸介, 荒巻寿宏, 辰巳憲司, 上田成, 堀家茂一, 渋谷正信, 篠原亮, 山本光夫, 定方正毅「石炭灰中の鉄分と廃木材からの腐植物質を用いた磯焼け回復法」日本エネルギー学会第40回石炭化学会議, 73, 2003
- [8] 山本光夫, 濱砂信之, 福嶋正巳, 沖田伸介, 堀家茂一, 木曾英滋, 渋谷正信, 定方正毅, Journal of the Japan Inst. Enagy, 85, pp. 971-978, 2006
- [9] 沖田伸介, 松本研吾, 辰巳憲司, 上田成, 松本啓吾, 定方正毅「腐植物質と製鋼スラグを用いた海の環境修復技術に関する研究」第20回日本腐植物質学会講演会要旨集, 2004
- [10] 木曾英滋, 山本光夫, 福嶋正巳, 沖田伸介, 堀家茂一, 長谷部廣行, 定方正毅, 日本沿岸域学会全国大会, 2006
- [11] 木曾英滋, 長谷部廣行, 渋谷正信, 堀家茂一, 定方正毅「豊かな沿岸を造る生態系コンクリートー磯焼けを防ぎ藻場を造るー に関するシンポジウム」土木学会, pp. 182-187, 2007