

原 著

ノリの生育に対するスラグ系施肥材の効果実証実験

植木知佳*¹ 加藤敏朗*¹ 三木 理*¹

*1 新日本製鐵株式会社, 〒293-8511 千葉県富津市新富20-1

2011年6月27日受付, 2011年8月19日採録

Abstract

Discoloration of *nori*, *Porphyra yezoensis*, is a terrible economic problem for the fisheries. One of the reasons for the discoloration of *nori* is suggested the decreasing concentrations of nutrients, nitrogen and phosphorus. The red tide by some diatom, rainfall, and so on cause the bad balance of water quality. Recently, it was showed that iron is important for the color maintenance of *nori*. Sea desertification, *isoyake*, can be seen in some Japanese coastlines. It is suggested that one of the reasons for this phenomenon is the decreasing concentrations of nutrients and iron. Against this backdrop, the fertilizer has been produced using steel-making slag and humus soil, which can stably supply iron and some nutrients. We have demonstrated the effect of the fertilizer on algal growth in Japan. In this study, we studied the effect of the fertilizer to the growth of *nori* by the mesocosm experiment. Both of experimental tanks for the mesocosm were set up nori-meshes, and 60 kg fertilizer in one side, while the other tank was no fertilizer as a control. We surveyed the concentration of nutrients and trace metals, and the growth of *nori*. As a result, in the fertilizer containing tank the concentration of nitrogen, phosphorus and iron were raised, in brief the nutrients and iron eluted from the fertilizer. And only in the fertilizer containing tank, *nori* grew up over 10 cm in length. On the other hand, we could not identify the growth of *nori* by visual observation in the control tank, fertilizer not containing tank.

Keywords : steelmaking slag, humus soil, *Porphyra yezoensis*, *nori*, mesocosm

1. はじめに

ノリの色落ち現象は、養殖現場では毎年のように起こっている。被害が大規模に及ぶと数十億円以上の損失となり、漁業者の生活を圧迫する。ノリの色素が減少する原因として、珪藻赤潮 (*Chaetoceros* や *Eucampia*) の発生によるノリ養殖漁期での主要な栄養塩(窒素, リン)の低下や降雨による塩分低下などが考えられている(藤原ら 2009; 松岡ら 2005; 西川・堀 2004; 石井ら 2008)。

著者らは、実験室内でノリの色落ちを再現し、色落ち藻体の光合成色素を測定したところ、不足した栄養塩類の種類によって減少する光合成色素が異なり、ノリの色彩維持には、窒素、リン以外に鉄も重要であることを明らかにした(植木ら 2010)。

また、沿岸域の窒素、リン、鉄の濃度低下は、藻場の衰退現象、すなわち「磯焼け」の一要因として考えられている(Matsunaga *et al.* 1994, 1999)。著者らは、鉄分供給源として炭酸化処理した転炉系製鋼スラグと、廃木材チップを発酵させて製造した人工腐植土(鉄のキレーターとなる腐植酸を含有)を混合した施肥材(以下、スラグ系施肥材)の開発を行っている。スラグ系施肥材からは、窒素、リン、鉄の供給が期待されており、現在、北海道をはじめとした全国約20ヶ所の実海域での実験から、効果が実証されつつある(Yamamoto *et al.* 2010)。しかし、これまでの実海域実験ではノリの繁茂を対象にしたことはなく、ノリの生育にスラグ系施肥材が効果的であるかどうかは不明なままである。

そこで、本研究では、ノリの生育に対するスラグ系施肥材の効果を検証するために大型水槽設備(メソコスム)でノリの栽培実験を行った。メソコスムは、大規模

に実海域の環境を模擬し、水質の連続的なデータといった実海域では取得不可能なデータを蓄積できることから、水質環境が及ぼす生物への影響を調べた包括的な研究例がいくつかある(細川ら, 2006; 畑ら, 2007)。本研究では、実験水槽2槽を用い、一方にスラグ系施肥材を投入した実験区とし、もう一方はスラグ系施肥材を加えない対照区とした。さらに、スラグ系施肥材からの溶出とその効果を明らかにするために、実海水のかけ流しではなく閉鎖循環で実験を実施した。本実験に使用したメソコスムが水温、室温など実環境をいかに模擬できているかを判断するために、千葉県水産総合研究センターや東京湾島しょ農林水産総合センターが公開する水温、pHデータとの比較を行った。また、水質については、千葉県水産総合研究センター公開の東京湾富津岬沖の窒素、リン濃度と比較した。

2. 実験方法

本実験は、実験水槽(内寸;幅1 m×奥行5 m×深さ1.6 m, FRP製)および貯水槽(内寸;幅2 m×奥行2 m×深さ1.7 m, FRP製)からなるメソコスム水槽2組((実験水槽+貯水槽)×2)を擁する海域環境シミュレーター設備(以下、メソコスム水槽)内で行った(Fig. 1)。2009年10月6日に実験水槽、貯水槽に計約10 m³の東京湾の実海水を引き入れた。その水質は、T-N;1.2 mg/L, T-P;0.07 mg/L, Si;0.75 mg/L, Fe;5.0 μg/Lとなっており、窒素、リン濃度が水産用水基準(社団法人 日本水産資源保護協会 2005)で定めるノリ生産における基準を上回っており、スラグ系施肥材による施肥の効果検証を十分に行えないと判断した。そのため、実験水槽



Fig. 1 The outside of the mesocosm plant (left) and the experimental tanks (right).

と貯水槽との間の潮汐(12時間周期, 干潮0.6 m, 満潮1.2 m)で閉鎖循環を行い, 約1ヵ月間かけて海水中に混入していた植物プランクトンに栄養塩類を摂取させた。その結果, スラグ系施肥材投入直前(2009年11月中旬)の東京湾内湾の海水は, 無機態窒素が約0.3 mg/L, リン酸態リンが約0.03 mg/Lと報告されており(千葉県水産総合研究センター <http://www.pref.chiba.lg.jp/lab-suisan/suisan/kaikyoujouhou/index.html>), 窒素は下回っていたが, リンは僅かに濃度が高かった。鉄に関しては約1ヵ月間で0.5 μg/L減少しており, 急激な減少, つまり植物プランクトンによる大量の摂取は確認されなかった。一方, ケイ素については, -0.63 mg/Lと大幅に減少した(Table 1)。また, ノリ養殖に最低限必要な無機態窒素は0.05~0.1 mg/L, リン酸態リンは0.007~0.014 mg/Lであるため(社団法人 日本水産資源保護協会 2005), 本実験における実験開始(施肥材投入)直前の海水は, ノリの生育にとって完全な貧栄養海水とは言い難かった。

Table 1 The seawater conditions of the just beginning of the experiment in the mesocosm experimental tank.

	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P	Si	Fe
	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[μg/L]
Fertilizer addition tank	0.01	<0.01	0.07	0.05	0.12	4.5
Fertilizer not addition tank	<0.01	<0.01	<0.01	0.05	0.16	4.6

海水を引き入れてから32日後の2009年11月17日に2槽ある実験水槽のうち, 一方にのみ60 kg スラグ系施肥材を投入した。この日を実験開始日とした。今回用いたスラグ系施肥材は, 炭酸化処理をした転炉系製鋼スラグ40 kg(粒径0~25 mm)に廃木材チップを発酵させて製造した人工腐植土20 kgを混ぜ合わせたもので, 12 kgずつナイロン製のメッシュ袋に入れて(12 kg×5袋), 水槽の底に沈設した(実験区)。もう一方の実験水槽には, スラグ系施肥材を入れなかった(対照区)。

ノリの殻胞子を着生させ, 冷凍保存されたノリ網を第一製網株式会社より入手した(幅70 cm, 長さ100 cmに加工)。ノリ網を各実験水槽に1枚ずつ設置し, 干潮の前後2時間干出するように水槽の底から80 cmの高さに吊した。これは, ノリ網に付着する珪藻をはじめとした雑藻類の繁殖を抑えるためである(Fig. 2)。0.5~1.0

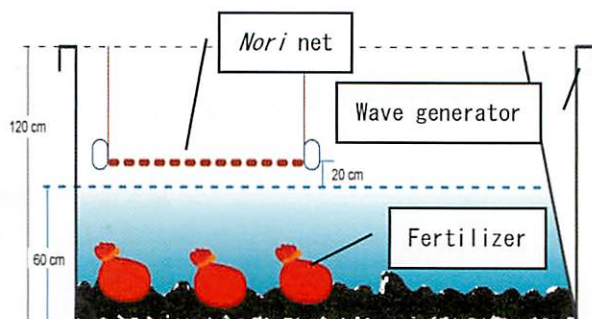


Fig. 2 The diagram of the mesh of *nori*, the fertilizer and the wave generator in the experimental tank.

回/秒の造波と海水の満ち引きによって水槽内に水流を起こした。また, ノリ藻体の生育程度(葉長)や色彩に合わせて, 酸処理や施肥材の追加(追肥)を行った。

水槽には, 各種計器類(室温, 水温, pH)を設置し, 連続計測値を収集した。また, あらかじめ決めた箇所から海水を週3回採取し, 1 μm ニトロセルローズ製メンブラン(アドバンテック社製)によってろ過したものを以下の分析に供した。無機態窒素(NH₄-N, NO₂-N, NO₃-N), リン酸態リン(PO₄-P)は, オートアナライザー(プランルーベ社製 TRAACS2000), ケイ素, 鉄はICP発光分析法(島津製作所製 ICPE-9000)で分析した。特に鉄に関しては, 0.45 μmのフィルターでろ過し, 外気からの混入を防ぐために, 作業を一貫してクリーンルーム内で行い, ICP-MSで分析した(相本ら2010)。

また, スラグ系施肥材が藻類に及ぼす効果の評価は, ノリの葉長を計測するだけでなく, 水槽内に生育する浮遊性の植物プランクトンの量をクロロフィル *a* 濃度[μg/L]として測定した。クロロフィル *a* 測定は多波長励起蛍光光度計(bbe社製, Algae Online Analyzer)を用いた。本分析装置は, 6種の励起波長(370, 450, 525, 570, 590, 610 nm)をサンプルに照射し, 680 nmの蛍光強度を検出する。このときのスペクトルパターンから, サンプル中の植物プランクトンを緑藻, 主に珪藻(不等毛植物, ハプト藻, 渦鞭毛藻), ラン藻(ラン藻, 灰色藻), クリプト藻の4種に判別することができる。

3. 結果と考察

3.1 メソコスム水槽設備内の実験環境(水温, pH, 植物プランクトン量)

海水の引き入れ時(2009年10月6日)から実験終了時までの実験区の水温の変化をFig. 3に示した。実験区と対照区では, 同調的に水温が変化した。海水を引き入れてから5日目の2009年10月11日に最高水温22.3℃を記録した後は, 室温同様に徐々に低下していき, スラグ系施肥材の投入直前の11月15日には, 約17℃となり, ノリ栽培に適した水温まで低下していた。実験後期の2月には10℃を下回る日も増え, 2月19日には最低水温4.4℃を記録した。実験期間中の東京湾富津沖の水温と比較すると, 11月で約20℃, 2月で11~12℃

と近似していた(東京湾島しょ農林水産総合センター, <http://www.ifarc.metro.tokyo.jp/20.html>).

pHは、終始安定し、実験区および対照区共に約8.3で推移した(Fig. 4)。東京湾内湾のpHは千葉県水産総合研究センターが公表しており、pH8.1~8.3(2009年11月~2010年2月)であることから、メソコスム水槽が東京湾とほぼ同程度であることが分かる。メソコスム水槽を用いた本実験での水温、pHの変動は実海域並であり、実海域の環境を再現できたと判断した。

海水中の浮遊性植物プランクトン(クロロフィルa)の量をFig. 5に示した。海水引き入れからスラグ系施肥材を投入するまでの約1ヵ月間は、実験区、対照区共に約1 μg/Lで推移し、クロロフィルa量変動はほとんど見

られなかった。しかし、スラグ系施肥材を投入すると、実験区では1週間で約3倍に増加し、スラグ系施肥材からの溶出成分の効果によるものと考えられた。一方、対照区では、クロロフィルa量の変化は約3ヶ月間の実験期間を通してほとんど見られなかった。また、実験区および対照区では、優占した植物プランクトンの種類に明らかな違いがみられた。対照区では、実験期間を通してラン藻が優占していたが、実験区ではスラグ系施肥材投入後は珪藻類、クリプト藻類が優占していた。実海域では栄養塩濃度が高い冬季や夏季でも突発的な栄養塩の増加がみられた場合には珪藻が卓越することが知られていることから(Maita and Odate 1988)、施肥によって珪藻類が増殖しやすい環境に変化したと考えられる。

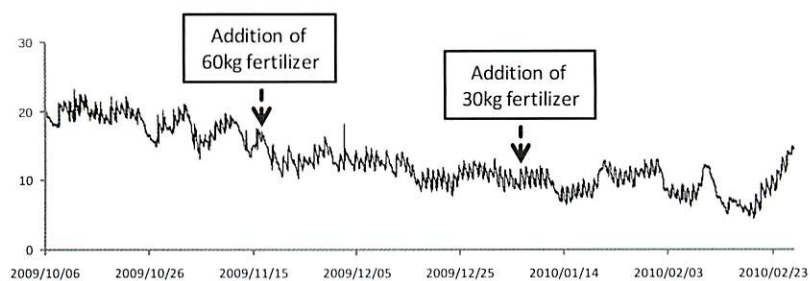


Fig. 3 Water temperatures of the fertilizer addition tank from 6, Oct., 2009 to 26, Feb., 2010.

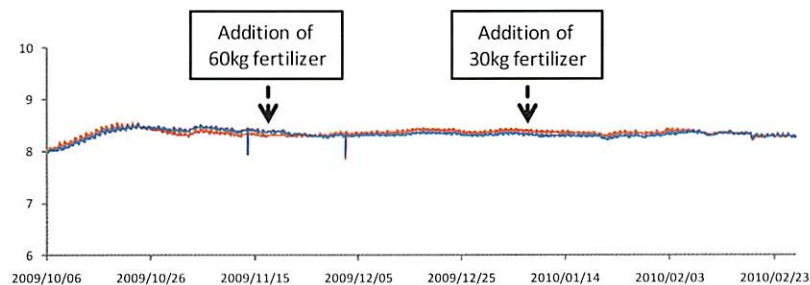


Fig. 4 pH (blue, fertilizer containing tank; red, fertilizer not containing tank) from 6, Oct., 2009 to 26, Feb., 2010.

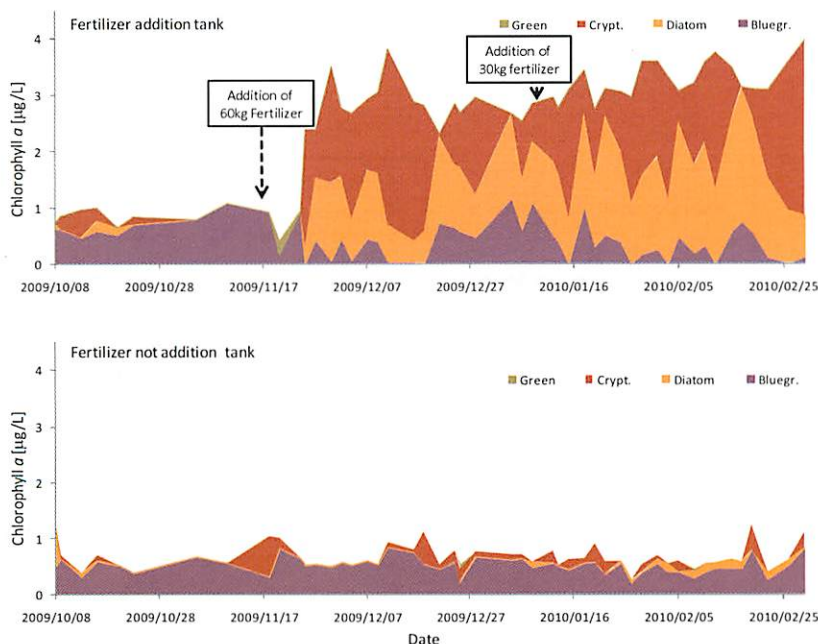


Fig. 5 The time course changes of the chlorophyll a concentration (upper one, fertilizer containing tank; bottom one, fertilizer not containing tank) from 6, Oct., 2009 to 26, Feb., 2010.

3.2 メソコスム内の水質の変化

ノリ網設置後の実験期間中(2009年11月~2010年2月)の実験区および対照区の窒素(無機態窒素),リン(リン酸態リン),ケイ素,鉄に関する濃度変化をFig. 6~9に示した。

無機態窒素は,施肥材投入から15日目(2009年12月2日)まで濃度の上昇が確認された(Fig. 6)。その後は減少し,2009年12月24日(37日目)には検出限界以下までになった。また,ノリ藻体の生長を促進させるために行った30kgの追肥(2010年1月8日実施)の後も濃度の上昇は見られなかった。これは,ノリ藻体および水槽中の植物プランクトンによる窒素の摂取量が施肥材からの溶出量を上回ったためであると推察された。一方,施肥材を入れていない対照区では,実験開始から終始,窒素濃度は検出限界以下で推移していた。

リン酸態リンに関しては,実験区において実験開始日(スラグ系施肥材投入日)から20日目(2009年12月7

日)までに上昇した(+0.06 mg/L, Fig. 7)。その後,追肥までに0.09 mg/Lと減少したが,実海水と比較して高濃度であった。追肥後は,僅かに上昇した(+0.02 mg/L)。対照区では,実験期間約100日間で緩やかに減少した(-0.03 mg/L)。

スラグ系施肥材の投入によって窒素濃度は上昇し,水産庁が定めるノリ養殖に十分なレベル(0.1 mg/L)を上回った。前述したように,リンはスラグ系施肥材の投入前から濃度は基準値(0.014 mg/L)以上であった(実測値0.05 mg/L)。ノリ養殖において高品質のノリを収穫できるには,海水のN/P比は7~9が理想とされている(社団法人 日本水産資源保護協会 2005)。本実験では,施肥材投入10日目の時点でN/P比は2.9,20日目には1.5,30日目には0.7となり,ノリの栽培には終始リンが高濃度であり,実験を進めるにしたがって,その傾向は強まった。

ケイ素に関しては,実験区において実験開始から

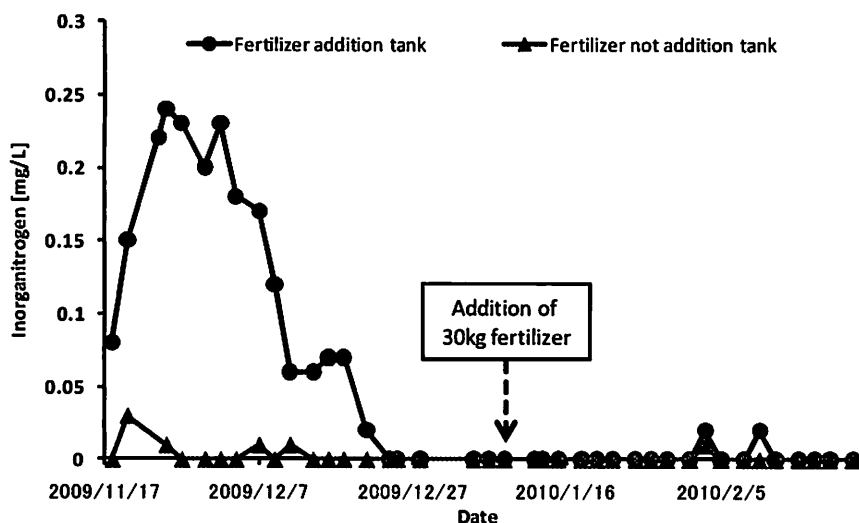


Fig. 6 The time course changes of inorganic nitrogen concentration.

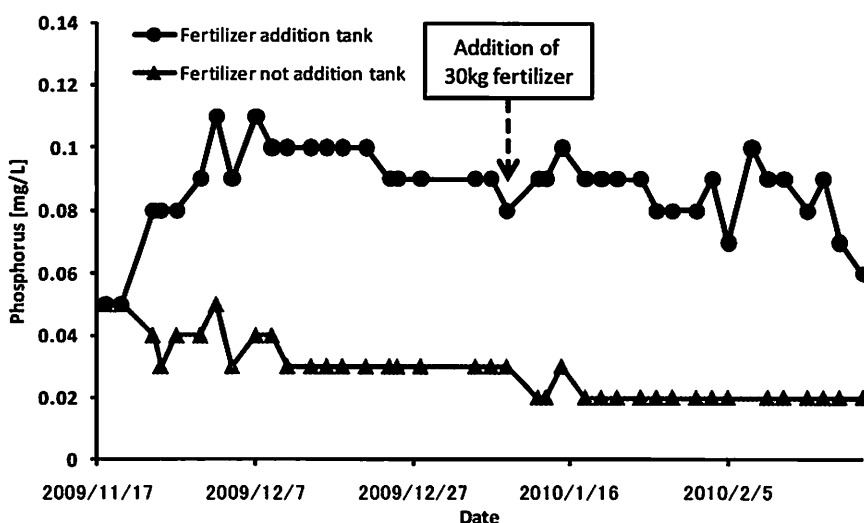


Fig. 7 The time course changes of phosphorus concentration.

10日間(2009年11月27日)まで濃度が高まった(0.12 mg/L → 0.52 mg/L, Fig. 8). その後, 追肥直前までに減少し(0.05 mg/L), 2010年1月8日の追肥以降は僅かに濃度が上昇した. ケイ素に対するノリの要求性に関して知見はほとんどないが, 本実験におけるケイ素の減少は, スラグ系施肥材の投入によって珪藻が増殖したことから, 珪藻をはじめとした植物プランクトンによる摂取が大きいと考えられる. 対照区では, 実験開始から濃度の減少が見られ, その後も低濃度で推移した.

鉄に関しては, 実験区において施肥材の投入直後から急激に濃度が上昇し(2009年11月30日 13日目, +8.1 μg/L), その後も緩やかな上昇傾向で2010年1月8日(58日目)に13 μg/Lとなった(Fig. 9). 追肥によって濃度はさらに上昇し, 2010年2月5日(80日目)で最高値22 μg/Lで, 本実験に使用した実海水(2009年10月6日, 富津地先より採水)の初期濃度(5.0 μg/L)の4倍以上となった. また, 実験期間を通じて, 顕著な濃度低下

が見られなかったことから, 本実験ではスラグ系施肥材から十分な鉄の供給があったと考えられた. 一方, 対照区では, 実験期間を通して終始, 緩やかな減少傾向であり, 最終的には低濃度の1.2 μg/Lまで低下していた(実験開始時4.6 μg/L).

今回のメソコスム実験によって, スラグ系施肥材からの栄養塩類(窒素, リン, ケイ素, 鉄)の溶出特性として, 20日目頃までに多量の溶出が起こることが明らかとなった. これは, 追肥をした場合でもリン, ケイ素, 鉄について同様の傾向が確認された.

3.3 ノリの生育

実験開始日(施肥材投入日)から16日目(2009年12月3日)に実験区および対照区において葉長100 μm未満のノリ藻体を観察し, 発芽を確認した. この時点で実験区と対照区における成長の違いはほとんどなかった. しかし, 藻体の色彩は, 実験区では鮮やかな赤で, 健全であることが明らかであったが, 対照区では葉緑体が僅か

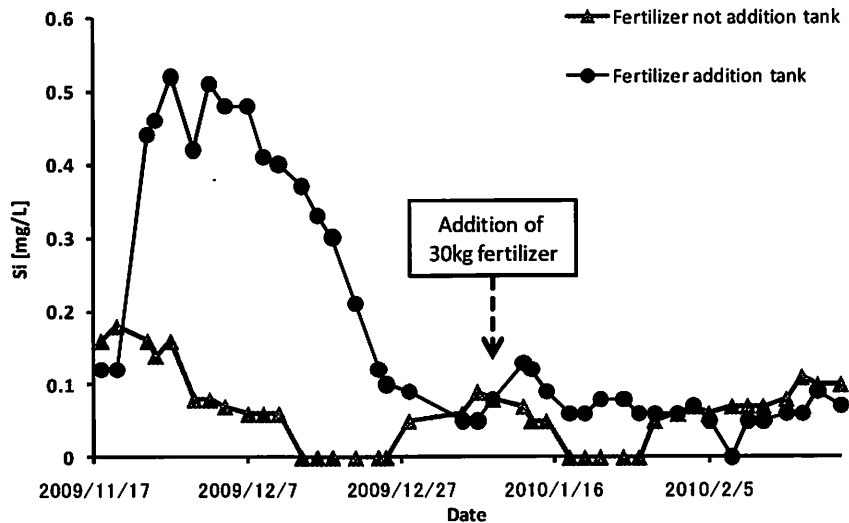


Fig. 8 The time course changes of silicate concentration.

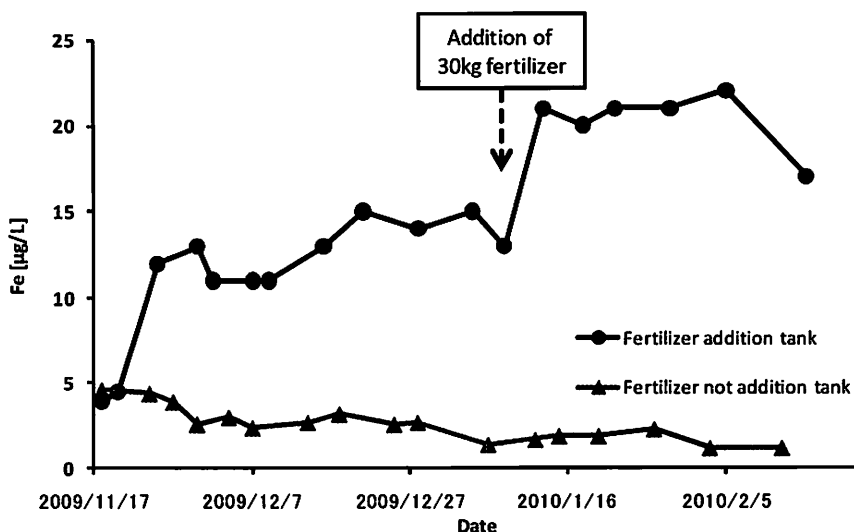


Fig. 9 The time course changes of iron concentration.

に薄茶色で、実験区と比較して全体的に薄く、海水の貧栄養化が影響していると考えられた (Fig. 10)。1ヶ月経過頃になると毎日干出を行っていても網全体が茶色に着色し、珪藻類をはじめとした雑海藻の付着が目立ってきたため、酸処理 (第一製網社製 グローゲン 0.5%, 5分) を行った。実験区では、酸処理による藻体の影響はほとんど見られなかったが、対照区では白化した藻体が多く見られ、その後も対照区において目視できるほどの藻体を確認することはできなかった。

48日目 (2010年1月4日) には、実験区の水槽においてノリ藻体が目視できるほどまで成長した (葉長1~2.5 cm)。追肥直後の2010年1月14日 (58日目) には3.5~8.5 cm、65日目に約10 cmとなった。追肥直前には、藻体の色落ちが目立ったが、追肥後、色彩の回復が見られた。しかし、その後、藻体の成長に伴い再び退色した。海水の成分分析の結果から、リンおよび鉄は十分な濃度が維持されていた一方で、無機態窒素が明らかに欠乏していたことから、本実験におけるノリの色落ちは窒素欠乏によるものと考えられた。これまでの溶出実験によってスラグ系施肥材からの窒素およびリンの溶出は、腐植物質由来、ケイ素、鉄は転炉系製鋼スラグ由来であることが分かっている (データ未掲載)。本実験では、転炉系製鋼スラグと腐植物質の配合割合は2:1 (重量比) であったことから、今後、メソコスム水槽でノリ栽培を行う場合には、腐植物質を増やし、窒素の供給を促進させることによって、スラグ系施肥材がよりノリに適したものになると期待できる。

実験開始から73日目 (2010年2月8日) に一部を刈り取って秤量し、それに基づいて、ノリ網全体の湿重量を推算したところ936 gであった。乾ノリ (20 cm × 20 cm) の場合、1枚3 g、含水率が約10%であることから、実験区において収穫できたノリは、乾ノリ約30枚分に相当すると推定され、31.6枚/m²となった。全国海苔貝類漁業協同組合連合会 (www.zennori.or.jp/index.html) で公開する1 m²当たりの共販ノリ枚数と比較すると、

全国平均で158枚 (平成17年度) で、ノリ網1枚当たり5回の収穫を行うことから、1回、1枚あたりの収穫量では、31.6枚/m²となり、本実験における収穫量とはほぼ同程度であることが分かった。

本研究において、メソコスム水槽を用いて、約3ヶ月間海水を入れ換えることなく、ノリの栽培をすることができた。実験区では、スラグ系施肥材による植物プランクトンの増殖が確認された。しかし、ノリ網は常に水面上にあり、日光が十分に照射されていたこと、潮汐および造波によって水流が常にあったこと、そして、ノリ藻体の生育状態、および色彩に合わせた追肥を行ったことが、植物プランクトンとの栄養塩類の摂取競争に負けることなく、ノリ藻体が十分に生育できた理由であると思われる。今後、実海域への適用を想定する場合、本研究のように追肥を行うのでは漁業者の負担が大きく現実的ではないため、ノリ藻体が著しく生長する時期に限定して施肥を行うことで、収穫までの日数を短縮することが効果的であろう。それによって、ノリ養殖漁期の赤潮の主原因となる *Eucampia* や *Rhizosolenia* などの大型珪藻との栄養塩の摂取競争を避けることができると考える。一方、対照区では窒素、リン、ケイ素、鉄が極めて低濃度であるにもかかわらず、水槽内の植物プランクトンが全滅することはなかった。これは、水質の分析濃度の下限値以下でも生育可能な植物プランクトンが生育していただけでなく、実験期間中に水槽内で繁茂した植物プランクトンの死骸の分解によるターンオーバーが起こっていたと推察できる。

今後は、水槽内に繁茂した植物プランクトンを定量的に把握することで、メソコスム水槽系内の大型藻類、植物プランクトン両者に及ぼすスラグ系施肥材からの溶出成分が及ぼす効果を総合的に評価することを考えている。それによって、ノリ養殖現場における効果的な施肥方法を提案するだけでなく、広く沿岸域の環境に及ぼす施肥の影響を定量的に評価する方策へとつなげていきたい。

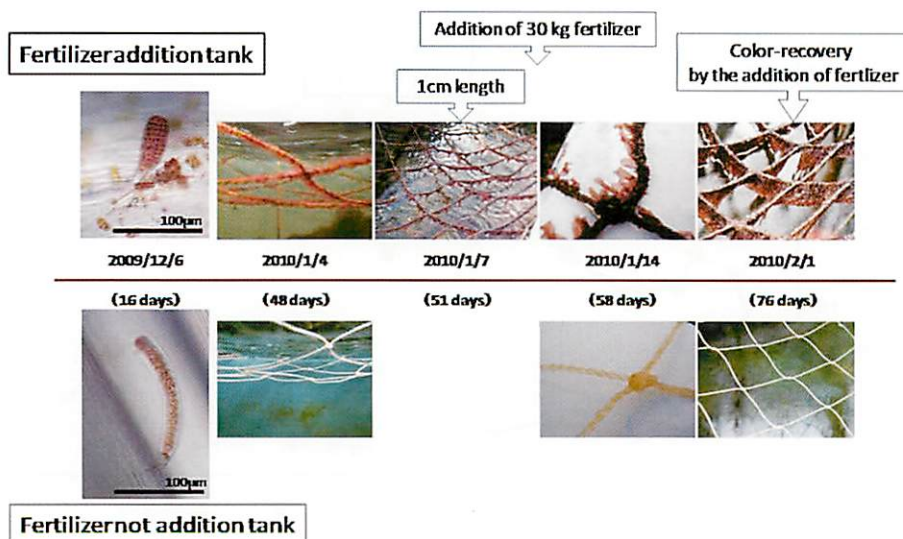


Fig. 10 The time course changes of the growth of nori (upper one, containing fertilizer tank; bottom one, not containing fertilizer tank).

3.4 まとめ

本研究では、実海域の環境を模擬できる大型水槽設備（メソコスム水槽）でノリの栽培実験を行った。2槽ある実験水槽に一方をスラグ系施肥材を投入した実験区、もう一方をスラグ系施肥材を入れない対照区とし、両区の海水の水質変化、ノリの生育状態について調査した。その結果、スラグ系施肥材投入後の実験区において10日目までに窒素、リン、ケイ素、鉄の溶出を実験区で確認した。対照区では、各種栄養塩類は緩やかに減少した。実験開始16日目に葉長100 μm 未満のノリ藻体を実験区、対照区で確認した。48日目頃から実験区でノリ藻体を目視（葉長1~2.5 cm）できるようになったが、対照区では目視できるほどの藻体の生長は見られなかった。また、実験区における植物プランクトンは、スラグ系施肥材の投入および追肥によって増殖し、スラグ系施肥材の植物プランクトンに対する増殖効果が確認された。しかし、ノリの生育を上回ることはなく、スラグ系施肥材からの栄養塩類（窒素、リン、鉄）の供給は、ノリの生育促進に効果的であることが明らかとなった。

参考文献

相本道宏, 加藤敏朗, 木曾英滋, 堤直人, 三木理, 2010. 固相キレート抽出-誘導結合プラズマ試料分析法による海水中極微量 Fe の分析. 新日鉄技報, 390, 89-95.

石井光廣, 長谷川健一, 松山幸彦, 2008. 東京湾のノリ生産に影響を及ぼす環境要因: 栄養塩の長期変動及び細菌の珪藻赤潮発生. 水産海洋研究, 72, 22-29.

藤原建紀, 渡邊康憲, 樽谷賢治編, 2009. 海の貧栄養化とノリ養殖. 海洋と生物, 181, 111-172.

畑 恭子, 青山裕晃, 鈴木輝明, 2007. メソコスムによる干潟生態系モデルの検証と三河湾一色干潟域の物質循環解析. 水産工学, 44, 53-58.

細川真也, 三好英一, 内村真之, 中村由行, 2006. メソコスム水槽におけるアマモ地上部の現存量と成

長・脱落速度の季節変動. 港湾空港技術研究所報告, 45, 25-45.

Maita, Y. and Odate, T., 1988. Seasonal changes in size-fractionated primary production and nutrient concentrations in the temperate neritic water of Funka bay, Japan. J. Oceanogr. Soc., 44, 268-279.

Matsunaga, K., Suzuki, Y., Kuma, K. and Kudo, I., 1994. Diffusion of Fe (II) from an iron propagation cage and its effect on tissue iron and pigments of macroalgae on the cage. J. Appl. Phycol., 6, 394-403.

Matsunaga, K., Kawaguchi, T., Suzuki, Y. and Nigi, G., 1999. The role of terrestrial humic substances on the shift of kelp community to crustose coralline algae community of the southern Hokkaido island in the Japan sea. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 24-, 193-205.

松岡 聡, 吉松定昭, 小野 哲, 一見和彦, 藤原宗弘, 本田恵二, 多田邦尚, 2005. 備讃瀬戸東部(香川県沿岸)におけるノリ色落ちと水質環境. 沿岸海洋研究, 43, 77-84.

西川哲也, 堀 豊, 2004. ノリの色落ち原因藻 *Eucampia zodiacae* の増殖に及ぼす窒素, リンおよび珪素の影響. 日本水産学会誌, 70, 31-38.

社団法人 日本水産資源保護協会, 2005. 水産用水基準(2005年度版). 16pp.

植木知佳, 村上明男, 加藤敏朗, 嵯峨直恆, 本村泰三, 2010. 紅藻スサビノリの光合成色素と葉緑体微細構造における栄養欠乏応答. 日本水産学会誌, 76, 375-382.

Yamamoto, M., Fukushima, M., Kiso, E., Kato, T., Shibuya, M., Horiya, S., Nishida, A., Otsuka, K. and Komai, T., 2010. Application of iron humates to barren ground in a coastal area for restoring seaweed beds. J. Chem. Eng., 43, 627-634.

* * * * *

Mesocosm Experiment for Fertilizer Made from Steel-making Slag and Humus Soil with Growth of *Porphyra yezoensis, nori*.

Chika Ueki ^{*1}, Toshiaki Kato ^{*1} and Osamu Miki ^{*1}

^{*1} Nippon Steel Corporation, 20-1, Shintomi, Futtsu, Chiba, 293-8511, Japan

Received : June, 27, 2011. Accepted : August, 19, 2011