

6. 藻場再生に関する調査研究（経常研究）

担当者 調査研究部 赤池 章一・奥村 裕弥
 共同研究機関 中央水産試験場資源管理部
 協力機関 ひやま漁業協同組合，上ノ国町，
 檜山南部地区水産技術普及指導所，
 檜山振興局，北海道水産林務部

（1）目的

北海道日本海沿岸における磯焼けの発生要因の一つと考えられる海域の貧栄養状態を緩和する手法として、磯焼け漁場への無機栄養塩の添加（施肥）試験を行う。施肥の藻場再生への効果を把握することにより、磯焼け対策に資する。なお、本研究は平成21年度から北海道水産林務部が開始した「磯焼け対策総合推進事業」の一環として実施した。

（2）経過の概要

ア 施肥・ウニ類除去試験

施肥施設は、平成21年10月に上ノ国町原歌「海洋牧场」の作業岸壁上に建設された（図1）。施設は、取水ポンプにより混合用水槽に海水を常時汲み上げるとともに、肥料タンクに蓄えられた化学肥料（硫酸アンモニウム、以下「硫安」）を一定時間間隔で混合用水槽に添加し、海水に溶けた肥料（液肥）を配水ポンプで海中に設置したホースを通じて海底に放出するものである。

施肥位置は、平成21年度は作業岸壁から西側へ約100m離れた岩礁（暗礁）上に、平成22～24年度は作業岸壁から西側へ約150m離れた汀線付近に設けた（図2）。

施肥量の変化による施肥効果の違いを把握するため、平成23年度は施肥期間を変化させず、単位時間当たり

の施肥量をそれまでよりも約25%に減少させたが、平成24年度は単位時間当たりの施肥量は変化させず、施肥期間を10月から2月までと短縮し、試験期間を通じた施肥量をそれまでより約40%に減少させた（表1）。すなわち、平成21年度から23年度にかけては、特にコンブ類の遊走子着底期～胞子体発芽期及び胞子体の初期伸長成長期への施肥の効果を期待したが、平成24年度は遊走子着底期～胞子体発芽期へ限定した施肥の効果を期待した。対照区は、平成23年度と同じ場所とし、変更しなかった（図2）。

平成22年度と同様、施肥区及び対照区の汀線付近から沖合方向に70m（水深約3mまで）、海岸線沿いに80mの範囲について、ダイバーが徒手等（熊手等使用）でウニ類をすべて除去した（図2「ウニ除去区」）。作業は、平成25年1月21日に実施した。ウニ類は、一部を測定用の試料として持ち帰った他は、沖側の生け簀付近に放流した。作業にあたったダイバーは4名であった。

イ 生物分布調査

施肥区、対照区において、生物の分布状況を把握するとともに、施肥が海藻及び動物（ウニ類）に及ぼす影響とその範囲を把握するため、施肥開始前の平成24年11月6日に「事前調査」を、平成25年5月21日に「事後調査」を実施した*。調査にあたっては、平成23年度と同様、施肥区及び対照区に沖側に向かって70mの調査測線を配置し（施肥区ウニ除去区内L-1～L-5、ウニ除去区外L-6、対照区ウニ除去区内L-7～L-9、ウニ除去区外L-10）、調査測線上の水深0、1、2、3m地点で、1/4㎡方形枠内の写真撮影と海藻被度計測、ならびに方形枠を用いて1㎡枠内の動物、及び1/4㎡枠内の海藻を採集した（図3）。海藻（草）類は、種類別湿重量、個体数が分かるものは個

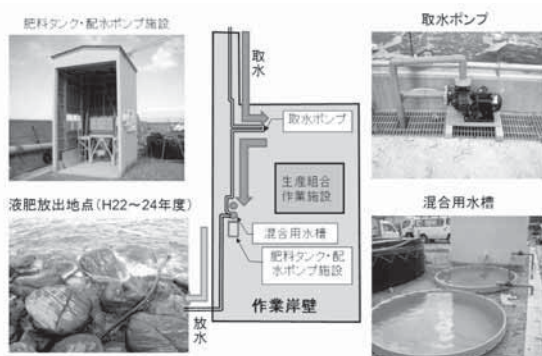


図1 栄養塩添加の仕組み

*調査を実施した5～6月までを前年度に含め、結果を示した。

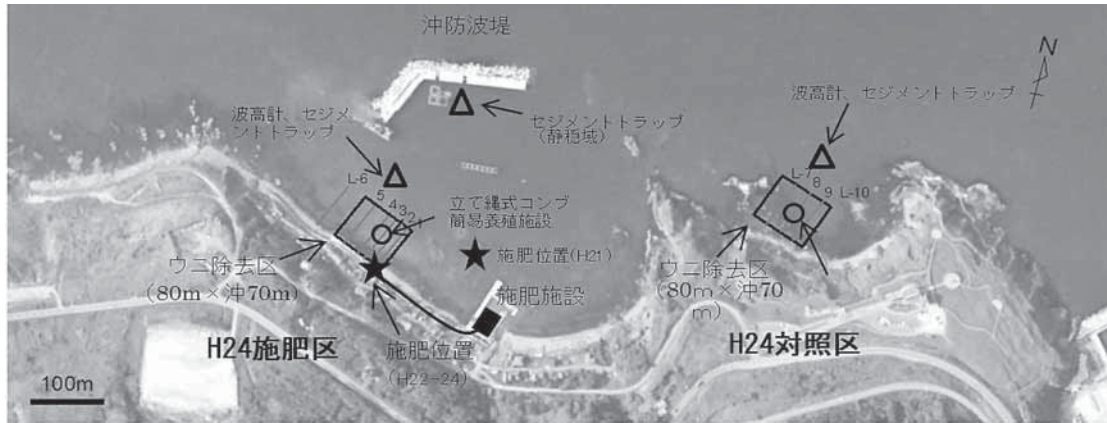


図2 調査位置図(上ノ国町原歌「海洋牧场」)

体数, ホソメコンブは, 葉長, 葉幅, 葉重量, 根茎重量を測定した。動物は, 種類別個体数, 全重量を測定した。事前調査とウニ除去時に採集されたウニ類の殻径, 重量を個体ごとに測定し, 施肥区, 対照区ごとに各30個体を目途に生殖巣重量も測定した。

ウ 海藻(草)類被度調査

施肥区(L-1)及び対照区(L-8)の水深0m, 1m, 2m, 3mにおいて(図3), 1/4m²方形枠内を各3枠写真撮影し, パーソナルコンピュータの画面上で海藻(草)類の被度を計測し(ImageJ 1.44p使用), 平均値を算出した。調査は, 平成25年1月21日(施肥開始3カ月後), 2月18日(4カ月後), 3月27日(5カ月後), 4月24日(6カ月後), 5月21日(7カ月後, 事後調査)に実施した。

エ コンブ発芽への施肥効果調査

施肥区, 対照区におけるコンブ胞子の分布と胞子体の発芽・成長への施肥の効果を明らかにするため, ホソメコンブの胞子付けをした基質(以下「胞子付け基質」と)と胞子付けをしていない基質(以下「胞子なし基質」)を試験海域に設置した。平成24年12月12日に試験海域において成熟したホソメコンブを採集し,

12月13日に上ノ国町栽培漁業総合センターにおいて「胞子付け基質」(木製浮子, 長さ×幅×厚さ=20×6×3.6cm)に遊走子を付着させ, 施肥区15地点, 対照区3地点, 合計18地点に, 「コンブ胞子付け基質」と「胞子なし基質」を各3組(合計108基)設置した(図3, 図4)。平成25年5月21日にすべての基質を回収し, 着生しているホソメコンブの個体数を計数し, 重量を測定した。

オ コンブ成長への施肥効果調査

施肥区, 対照区におけるコンブ胞子体の成長への施肥の効果を明らかにするため, 平成24年12月13日に, 施肥区(L-1水深2m地点)及び対照区(L-8水深2m地点)にホソメコンブの「立て縄式コンブ簡易養殖施設」を各5基設置した。これは, 松前産ホソメコンブの種苗糸を巻き付けた長さ約2mのロープを重りて海底に固定し, 浮子で立ち上げたものである(図5)。平成25年5月21日に設置していた施設をすべて回収し, ロープに着生したコンブ個体数を計数, 重量を測定した。施肥区, 対照区の各1基に着生していたホソメコンブ30個体の葉長, 葉幅, 葉重量を測定し, 肥大度(葉重量/葉長×葉幅)を算出した。

カ 調査海域の波浪・流動環境, 懸濁物調査

平成24年12月13日に, 施肥区及び対照区の水深約5mの海底に, 自記式波高計(アイオーテックWAVE HUNTER94 WH-102:施肥区, WAVE HUNTER08-Σ:対照区)と, セジメントトラップ(塩化ビニール製, 長さ×内径=50×6.5cm, 3本設置)を設置した(図2, 図6)。また, 施肥区静穏域の懸濁物量を把握するため, 沖防波堤陸側の水深3mにもセジメントトラップ

表1 施肥実施概要

調査年度*	施肥期間	硫安施肥量(kg)	窒素量換算(kg)
平成21年度	平成21年10月24日～平成22年6月18日	36,700	7,707
平成22年度	平成22年10月22日～平成23年6月17日	35,800	7,518
平成23年度	平成23年10月27日～平成24年5月31日	9,000	1,900
平成24年度	平成24年10月21日～平成25年2月28日	3,520	739

* 調査年度は施肥及び調査を実施した5～6月までを前年度に含めた。

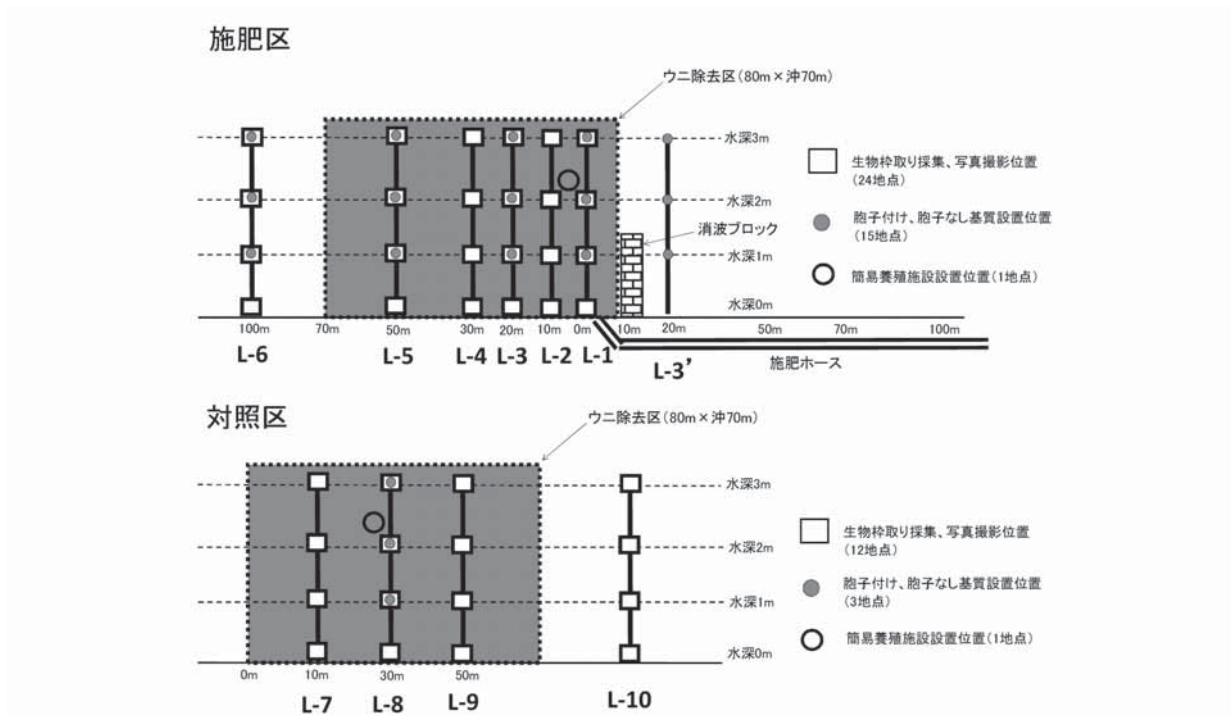


図3 平成24年度施肥区, 対照区調査地点位置図

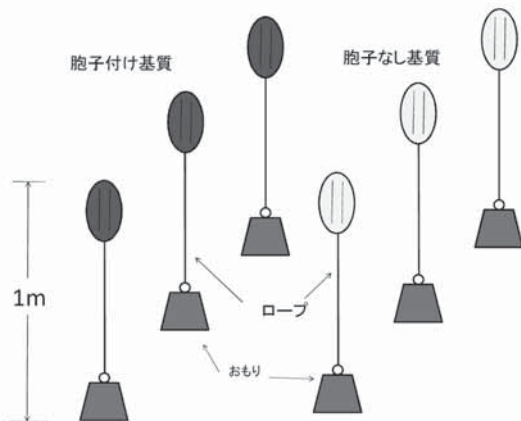


図4 孢子付け, 孢子なし基質

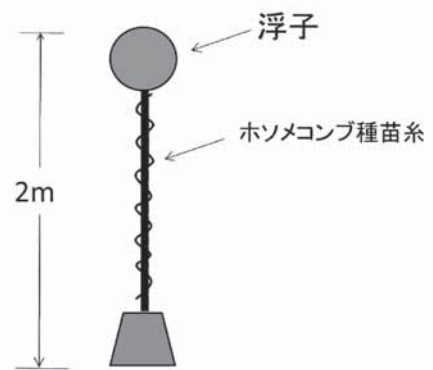


図5 立て縄式コンブ簡易養殖施設

を設置した。セジメントトラップは、2月18日、3月27日、4月24日に交換し、最終的に5月21日にすべて回収した。自記式波高計も5月21日に回収した。セジメントトラップで捕捉された堆積物は、80℃で48時間乾燥後、ふるい分けし(目合い63μm, 125μm, 250μm, 500μm, 1mm, 2mm, 4mm), 重量を測定した。

(3) 得られた結果

ア 施肥・ウニ類除去試験

今年度除去したウニ類の総数は、施肥区1,499個体、対照区2,161個体で、98.8%はキタムラサキウニであっ

た(表2)。今年度の施肥区, 対照区は, 前年度から場所を変更しなかったためウニ類の密度はある程度低く保たれており, ウニ除去総数は, 施肥区では前年度の35.1%, 対照区では昨年度の12.5%と少なかった。ウニ除去数から算出したキタムラサキウニ分布密度は, 施肥区が0.3個体/m², 対照区が0.4個体/m²であった(表3)(最初に除去した年の密度: 施肥区(H22)3.4個体/m², 対照区(H23)3.1個体/m²)。

イ 生物分布調査

事前調査(平成24年11月6日)及び事後調査(平成

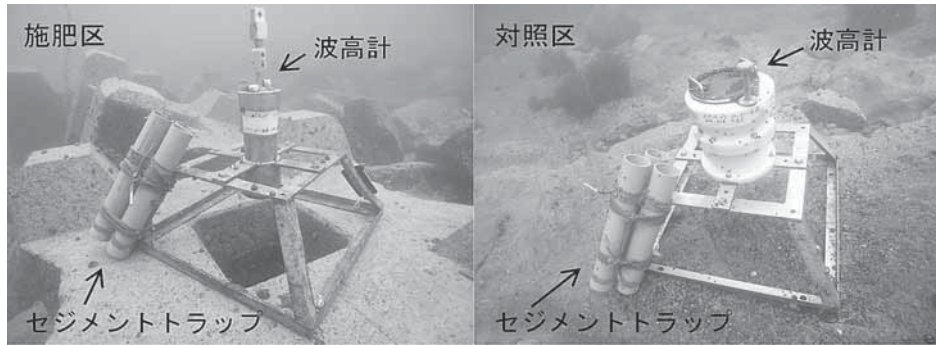


図6 自記式波高計とセジメントトラップの設置状況

25年5月21日)におけるキタムラサキウニ、海藻(草)類の調査測線上の現存量の分布を図7に示した。

キタムラサキウニは、事前調査では施肥区で主に水深3mで、対照区でL-7, L-8を中心に比較的現存量が大きかった。事後調査では、施肥区の沖側及び対照区の特L-7で現存量が増加したが、それ以外の現存量は低く抑えられていた。事前、事後とも、昨年度と同様の傾向であった。

海藻(草)類は、事前調査では、施肥区で水深0~2mで、対照区で水深0m及びL-10の水深0~2mで、やや現存量の大きい所が見られた。事後調査では、施肥区、対照区とも、水深0~2mで現存量が大きくなり、施肥区では、施肥地点近傍とL-4, L-5の水深1m付近で現存量が大きくなり、施肥の影響と、波浪の影響により現存量が大きくなった可能性が示唆された。

小型植食性巻貝(クボガイ、コシダカガンガラ)の現存量の分布を図8に示した。クボガイは主に水深2m以浅に、コシダカガンガラは水深2m以深に分布し、これまでと同様の傾向であったが、今年度は、事後調査で現存量が大きくなる傾向は見られなかった。

表2 平成24年度施肥区、対照区ウニ類除去個体数

	キタムラサキウニ	エソバフンウニ	バフンウニ	合計
施肥区	1480	6	13	1499
対照区	2131	3	27	2161
合計	3611	9	40	3660
%	98.8	1.1	0.1	100

表3 ウニ類分布密度(個体数/m²)

	キタムラサキウニ	エソバフンウニ	バフンウニ	全体
施肥区	0.3	0.0	0.0	0.3
対照区	0.4	0.0	0.0	0.4

ウ 海藻(草)類被度調査

施肥区(L-1)及び対照区(L-8)の水深0m, 1m, 2m, 3mにおける海藻(草)類被度の推移を、図9に示した。

平成25年1月21日には、施肥区、対照区の海底は、ともに大部分が無節サンゴモ類と基質のみであった。2月18日には、施肥区、対照区ともに水深2m以浅で緑藻類(主にエゾヒトエグサ)と紅藻類(主にモロイトグサ)が岩上に繁茂し、3月27日、4月24日にはさらに被度が増加し、昨年度と同様の傾向で推移した。5月21日には、施肥区、対照区ともエゾヒトエグサが枯死し、施肥区では緑藻類(主にアナアオサ)と紅藻類(主にモロイトグサ)が、対照区では褐藻類(主にホソメコンブ)が優勢に繁茂した。しかし、施肥区の水深0~2mにおける緑藻類の被度は、昨年度は54.5~68.9%の範囲にあったが、今年度は20.4~33.8%と減少し、施肥期間を短縮した影響である可能性が示唆された。また、水深3mで海藻が繁茂しなかった原因として、ウニ類の密度が高かったことと、何らかの阻害要因が働いていることが考えられた。

エ コンブ発芽への施肥効果調査

コンブ「孢子付け基質」、「孢子なし基質」ならびに「種苗糸付き基質」における、平成25年5月21日におけるホソメコンブ着生量を、図10に示した。水深2m(基質水深は1m)以浅においては、主に「孢子付け」基質でコンブが生育し、「孢子なし」基質ではほとんどコンブが見られず、カヤモノリ等の海藻が着生するか、何も着生していなかった。このことから、この海域においては天然のコンブ孢子的供給が少ないことが示唆されたが、水深2m以浅においてはコンブの孢子が十分に存在すればコンブが生育可能であった。しかし、水深3mでは、孢子が十分に存在していても、コ

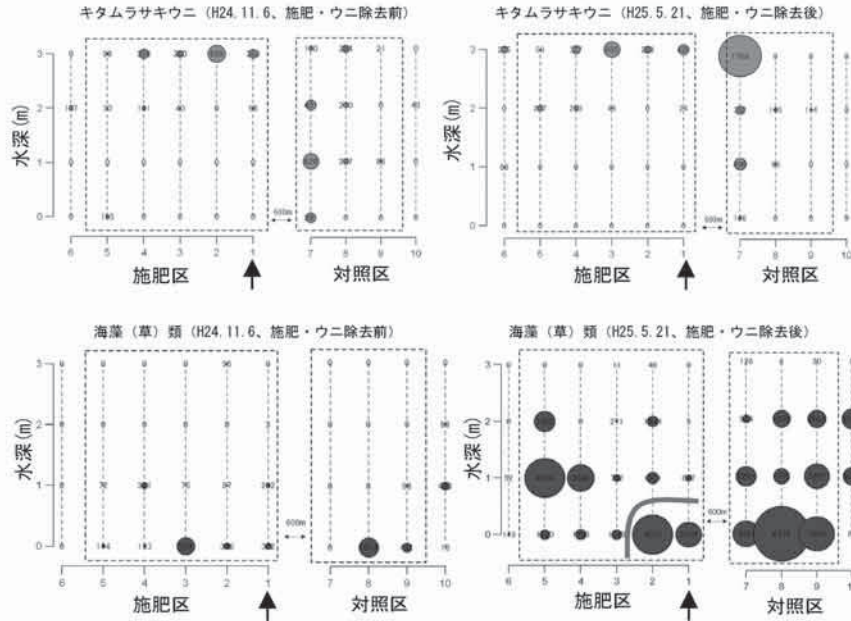


図7 事前調査、事後調査におけるキタムラサキウニ、海藻（草）類現存量の分布

枠内はウニ除去区、矢印は施肥位置、番号は調査ライン番号、グラフ内の数字は現存量 (g/m²) を示す。線の陸側は施肥の影響が強いと思われる範囲。自記式波高計とセジメントトラップの設置状況

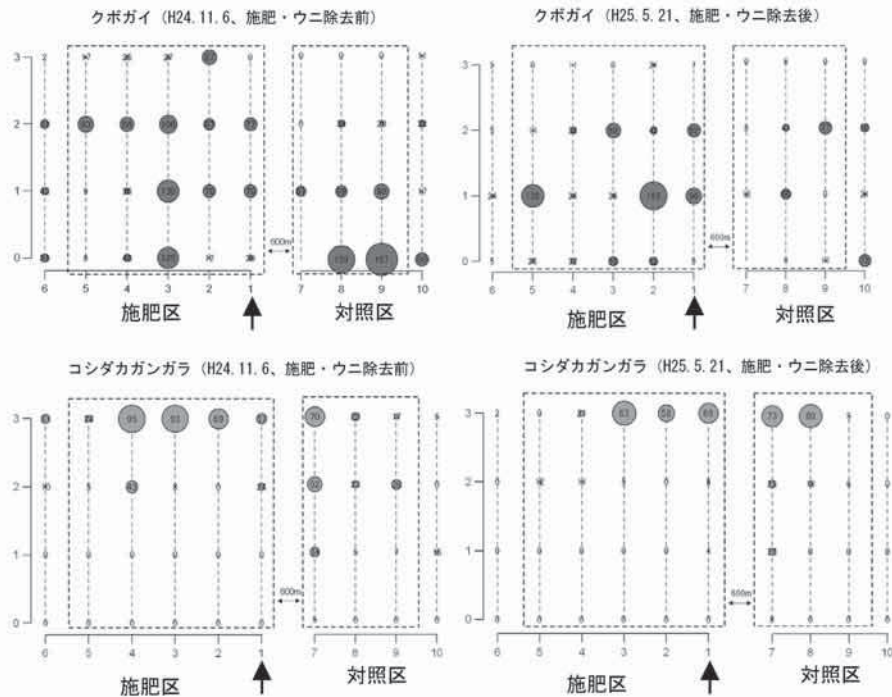


図8 事前調査、事後調査における植食性巻貝現存量の分布

枠内はウニ除去区、矢印は施肥位置、番号は調査ライン番号、グラフ内の数字は現存量 (g/m²) を示す。線の陸側は施肥の影響が強いと思われる範囲。自記式波高計とセジメントトラップの設置状況

ンプの生育が困難であり、何らかの阻害要因が存在することが示唆された。

施肥位置近傍 (L-1, L-3, L-5 の水深 1 ~ 2 m) の基質でのコンブ生育量が多く、栄養塩添加によるコンブ発芽の促進効果が示唆された。一方、対照

区 (L-8 の水深 1 ~ 2 m) でのコンブ生育量も比較的多く、波当たりの良さによる栄養塩フラックス (単位時間当たり単位面積当たりの流量) によるコンブ発芽への効果が示唆された (図10)。また、施肥区、対照区ともに、水深 1 m でのコンブの生育量が多く (図

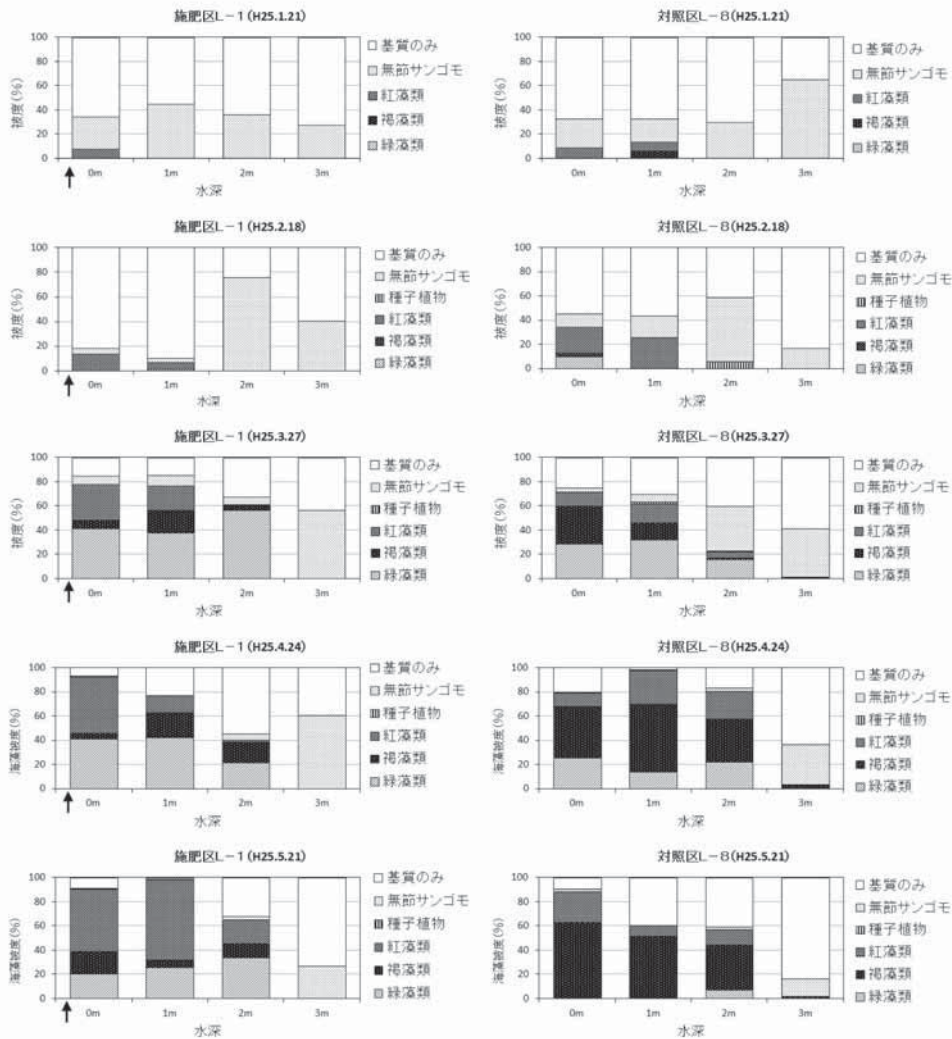


図9 施肥区（L-1）、対照区（L-8）の水深0～3mにおける海藻（草）類被度の推移
3 枠の平均値。矢印は施肥位置を示す。

11)、波浪の強さ等による成長促進効果も示唆された。

オ コンブ成長への施肥効果調査

「立て縄式簡易コンブ養殖施設」は、H24年12月13日に海域に設置後、H25年5月21日に施肥区では5基すべてを回収し、対照区では2基が流失し3基を回収した。

施設で生産されたホソメコンブの量は、施肥区で 99.8 ± 155.2 本、 756.5 ± 826.9 g ($n = 5$, 平均値±標準偏差)、対照区で 173.7 ± 47.6 本、 2432.7 ± 510.5 g ($n = 3$, 平均値±標準偏差) と、対照区の方が多かった。また、施設で生育したホソメコンブは、葉長、葉幅、葉重量、肥大度とも、対照区のコンブが施肥区のコンブを上回った(表4)。ホソメコンブの生育量、大きさ、実入り等、いずれも対照区のコンブが施肥区のコンブを上回った原因として、今年度は施肥期間が

2月までに短縮されコンブの成長に対しては施肥の影響がなかったこと、施肥区よりも対照区の方が波浪の影響が強く、栄養塩フラックス効果がより強かったことが考えられた。

カ 調査海域の波浪・流動環境、懸濁物調査

施肥区の波高計は、機器不調のためデータが得られなかった。対照区の有義波高と、計算した水深0mの波浪底面流速の推移を、図12に示した。その結果、キタムラサキウニが摂餌可能となる流速 0.4m/s 以下となる時期が、4月以降増加する傾向が見られた。

セジメントラップによる沈降粒子の日間堆積量の推移を図13に示した。沈降粒子量は、12月～3月にかけて多い傾向が見られ、4月までの期間では、いずれも施肥区の堆積量が対照区を上回った。4～5月にかけては、施肥区と対照区で差はなかった。施肥区静穏

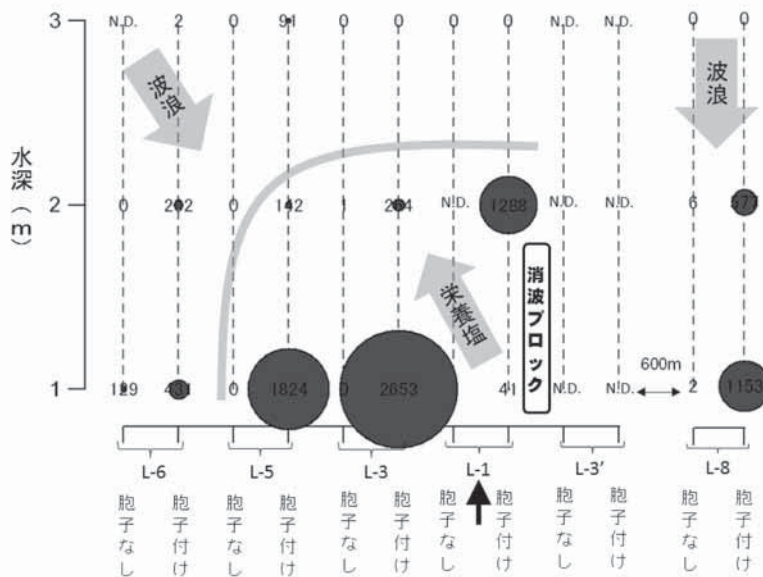


図10 コンブ孢子付け、孢子なし及び種苗系付き基質におけるホソメコンブ生育量 (H25. 5. 21)

数字はコンブ着生重量 (g/基)、矢印は施肥位置を示す、曲線は施肥の影響が想定される範囲。

域では、2月～3月にかけて、それ以降よりも堆積量が若干多い傾向が見られたが、施肥区、対照区と比較すると非常に少なかった。

沈降粒子組成の推移を、図14に示した。沈降粒子の粒径は、施肥区、対照区とも12月～4月にかけて250～500 μmが多かったが、5月にかけてより粒径の小さいものが増加する傾向が見られた。施肥区静穏域では、

<63 μm (シルト) の最も小さい粒径のものが多かった。

今回の調査結果から、特に12月～3月のコンブの発芽期に、施肥区、対照区とも沈降粒子の影響が強く、特に施肥区側での影響が強いことが示唆された。施肥区静穏域の沈降粒子の量が非常に少ないことから、施肥区及び対照区の沈降粒子の大部分は、その場で降下してきたものよりも、海底近くを移動してきたものが主体であることが示唆された。これらのことが、調査海域において藻場形成を阻害している一因である可能性がある。

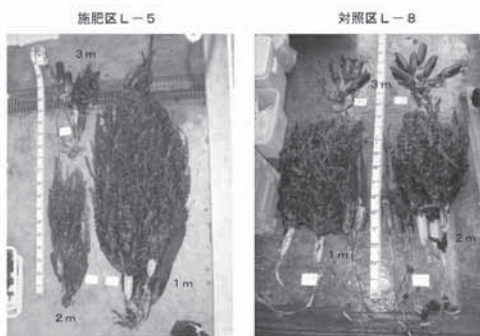


図11 コンブ孢子付け基質へのホソメコンブ着生状況 (H25. 5. 21) 数字は設置水深を示す。

表4 立て縄式コンブ簡易養殖施設におけるホソメコンブの測定結果 (H25. 5. 21)

n	(平均値±標準偏差)			
	葉長 (cm)	葉幅 (cm)	葉重量 (g)	肥大度 (mg/cm ²)
施肥区	73.7±20.4	4.3±1.4	12.1±7.2	34.3±5.0
対照区	81.9±28.3	6.3±1.7	28.7±20.7	48.1±14.7

キ まとめ

4年間に亘る上ノ国町における試験の結果、以下の結果が得られた。

- ウニ密度管理 (ウニ除去) と施肥により、水深2m以浅に藻場を再生できた。
- ウニ密度管理を行わず、施肥のみでの藻場再生は困難だが、施肥により海藻現存量の増加効果や、コンブの成長促進、実入りの向上等の効果があった。ただし、その範囲は施肥地点近傍に限られ、施肥量を減少させると、その範囲はより狭まった。
- コンブの孢子が十分に存在すれば、施肥により発芽促進効果が見られる可能性が示唆された。
- 施肥により緑藻類、特にアナアオサの現存量や被度の増加が見られたが、施肥量を削減したり、とりやめた場合、減少した。

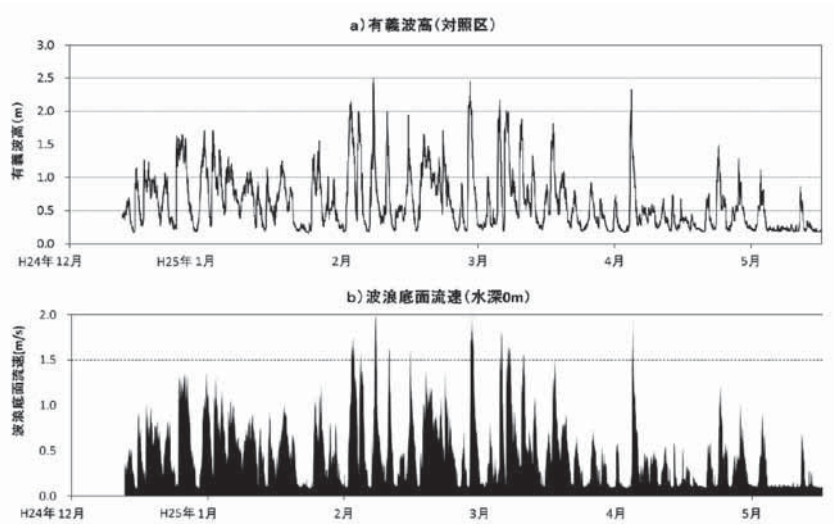


図12 対照区の有義波高 (a) と波浪底面流速 (水深0m) (b) の推移

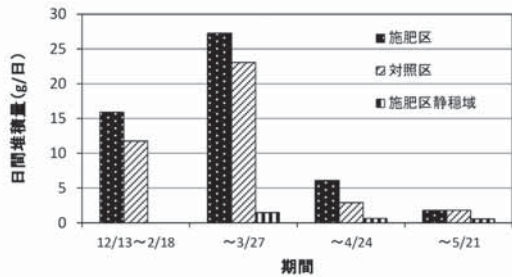


図13 施肥区、対照区、施肥区静穏域における沈降粒子の日間堆積量の推移

- 波浪の影響の強い所では、栄養塩フラックスの効果により、コンブの発芽や成長に、施肥と同様の促進効果がある可能性が示唆された。
- 植食性巻貝であるクボガイは主に水深2m以浅に、コシダカガンガラは2m以深に分布し、藻場形成後現存量が増加する場合があった。海底に種苗糸や基質を設置しても、これら巻貝の食害によりコンブが成長しない場合があり、藻場形成への影響が懸念された。

- 水深帯別付着基質を設置したところ、年によりコンブの着生水深や着生量が変化した。
- コンブの発芽期である12月～3月にかけて、特に施肥区側での沈降粒子の影響が大きく、藻場形成を阻害する一因となっている可能性が示唆された。

以上の結果から、今後、本海域のような磯焼けの持続する海域で藻場を再生させるには、以下の点を考慮する必要がある。

- ウニ類の密度管理が必要。
- 施肥により、海藻現存量の増加効果や、コンブの発芽促進効果を期待できるが、その範囲は限られ、コンブの胞子が十分に存在しなければ明確な効果がでない可能性がある。
- 波浪の影響（栄養塩フラックス）により、施肥と同様の効果が見られる可能性がある。
- 植食性巻貝類の影響も無視できない場合がある。
- アンモニアは海藻にとって効率の良い窒素源ではあるが、高濃度での毒性が懸念されるため、使用は慎重に検討する必要がある。

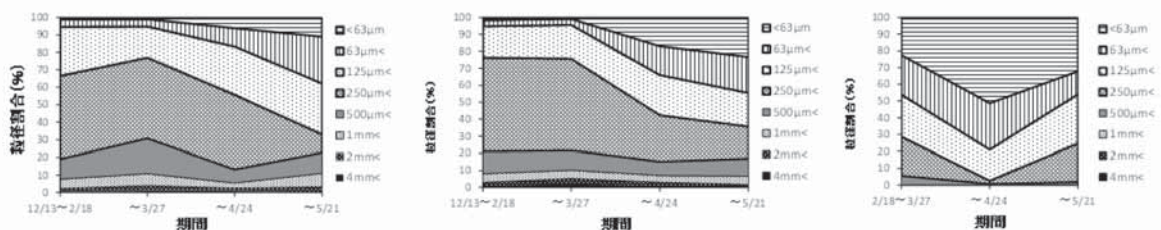


図14 施肥区、対照区、施肥区静穏域における沈降粒子粒径組成の推移