

## 5. 藻場再生に関する調査研究（経常研究費）

担当者 調査研究部 赤池 章一・吉田 秀嗣

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 平成22年度施肥区

##### （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「海洋牧場」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肥料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。

平成22年度の施肥区は、陸上の施肥施設から西方に約150m離れた汀線付近に設け（図2）、平成22年10月22日から平成23年6月17日にかけて、液肥を4トン/時、24時間連続で海域に放出した。期間中に海域に施した肥料の量は、硫酸アンモニウム35,800kg（窒

素量換算7,518kg）であった。

施肥区から約300m東側に離れた場所に対照区を設定した（図2）。施肥区、対照区ともに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、10月から12月にかけて同じ場所を2回にわたって行い、平成22年10月20日、11月18日、11月19日に1回目、12月14日、12月22日に2回目を行った。採集したウニ類の個体数は、施肥区で19,248個体、対照区で22,372個体、計41,620個体であった。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1回目延べ14名、2回目延べ8名であった。

あわせて、施肥地点近傍と対照区には汀線付近から沖側に向かって、5m×10mの範囲に刺し網式のウニ類侵入防止フェンス（以下、「ウニフェンス」）を設置した（図3、施肥区：L-1, 0m付近；対照区：L-11, 0m付近）。

##### （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22年9月27日に「事前調査」を、施肥開始約7カ月後の平成23年5月24日に「事後調査」を実施した。調査にあたっては、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-7、ウニ除去区外L-8、対照区ウニ除去区内L-11～L-13）、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、ウニ除

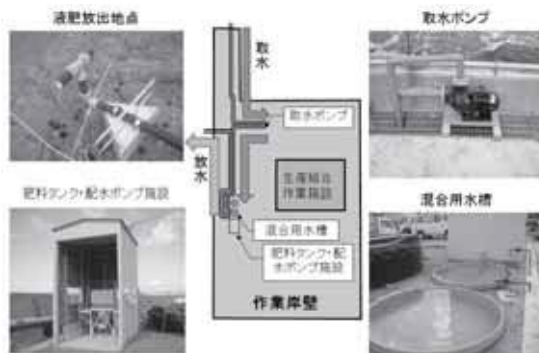


図1 栄養塩添加の仕組み

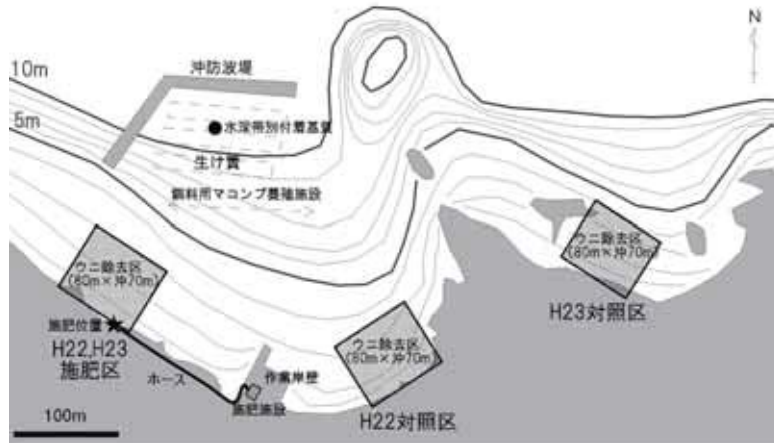


図2 調査位置図(上ノ国町原歌「海洋牧場」)

去時(平成22年10月20日, 11月19日)ならびに事後調査で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。同時に生殖板を持ち帰り, 年齢査定を行った。

(ウ) 海藻(草)類被度調査

施肥区及び対照区のウニフェンス設置範囲内において, 汀線付近から沖側へ1m間隔で1/4㎡方形枠内の写真撮影を行い, 海藻(草)類の被度を計測した。調査は, 平成23年1月25日, 2月23日, 3月28日, 4月19日, 5月24日, 6月21日, 7月25日に実施した。

(エ) 水深帯別コンブ附着試験

試験海域における天然コンブ(ホソメコンブ)の胞子

の分布状況を把握するため, 平成22年11月19日に, 沖防波堤近くの生け簀から, 海面から1m間隔で10mまでプラスチック板(約5cm x 10cm)をロープに固定して垂下し(図2「水深帯別付着基質」), 平成23年5月24日に回収し, 着生したコンブの個体数を計数した。

(オ) 海藻植生分布調査

試験海域の海藻(草)類の分布を明らかにするため, 平成23年6月21日に潜水により海洋牧場全域の海底の海藻(草)を目視観察・写真撮影し, 適宜標本を採集し種名を同定した(図4)。

イ 平成23年度施肥区

(ア) 施肥・ウニ類除去試験

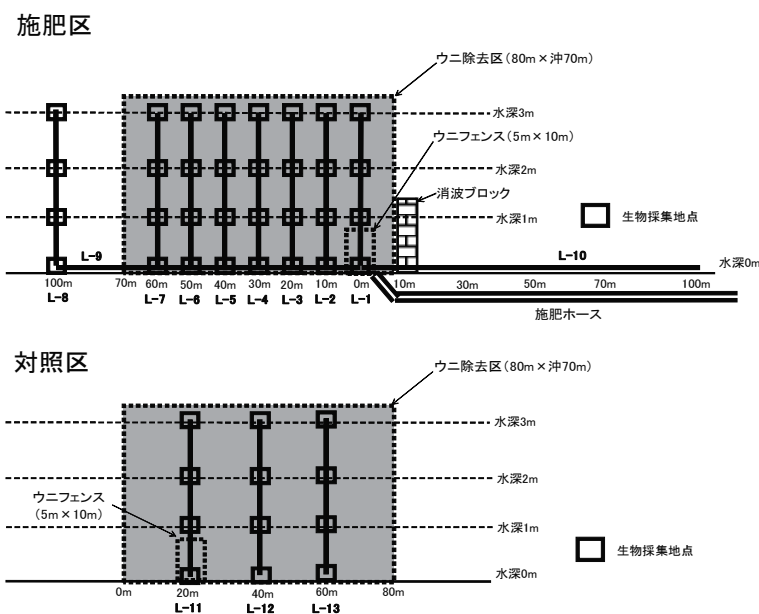


図3 平成22年度施肥区, 対照区調査地点位置図

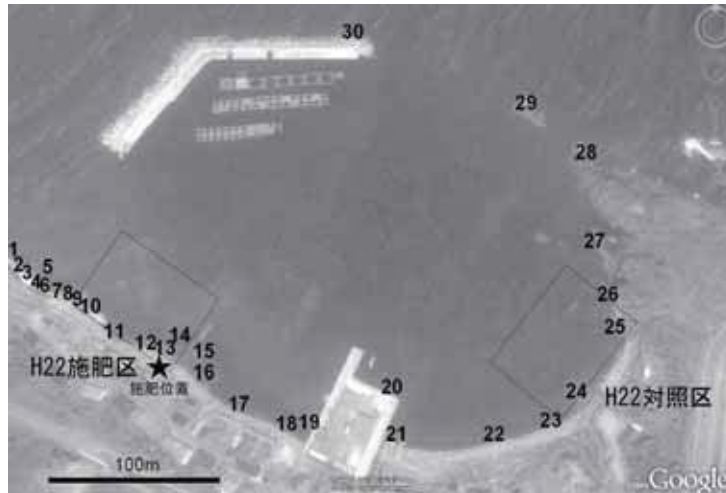


図4 海藻植生分布調査 調査地点位置図

平成23年度の施肥区は、平成22年度の施肥区から変更しなかった(図2)。施肥は、平成23年10月27日から平成24年5月31日にかけて行い、平成22年度とはほぼ同時期に同じ方法で実施した。より合理的な施肥量を検討するため、液肥の濃度を平成22年度の約20%に低下させた(詳細は、平成23年度中央水産試験場事業報告書を参照)。期間中に海域に施した肥料の量は、硫酸アンモニウム9,000kg(窒素量換算1,900kg)であった。

一方、対照区は、平成22年度の対照区が陸水の影響が大きかったことから、今年度はより陸水の影響の少ない施肥区から東側に約600m離れた場所に変更した

(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22年同様同じ場所を2回にわたって行い、平成23年10月31日~11月1日に1回目、12月22日2回目に2回目の作業を行った。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1回目延べ12名、2回目3名であった。

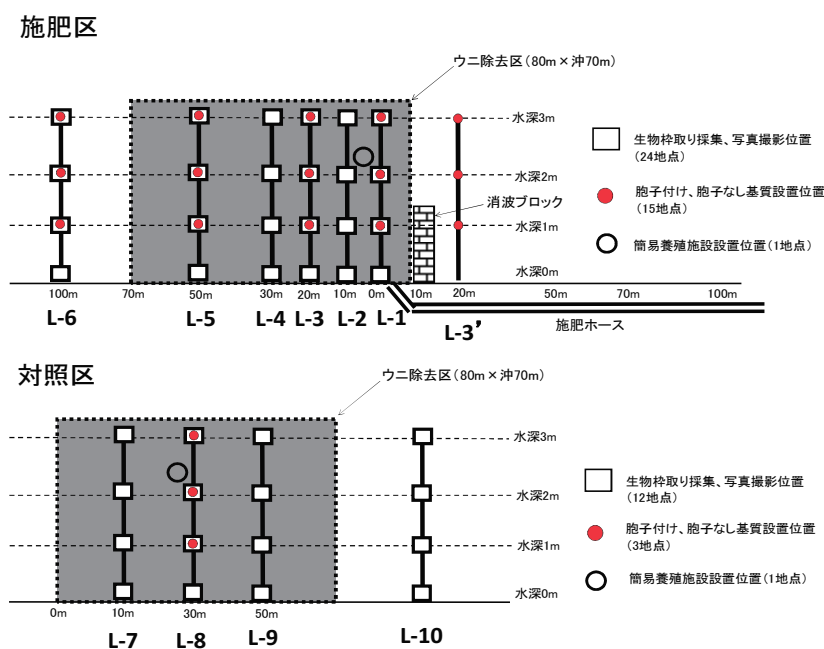


図5 平成23年度施肥区、対照区調査地点位置図

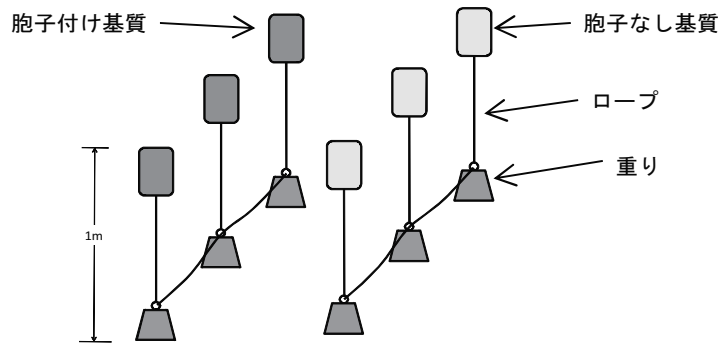


図6 コンブ「孢子付け基質」,「孢子なし基質」

(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23年10月24日に「事前調査」を, 平成24年5月23日に「事後調査」を実施した。調査にあたっては, 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5)。海藻(草)類は, 種類別湿重量, 個体数が分かるものは個体数, 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5), 1/4㎡方形枠内を各3枠写真撮影し, 画像上で海藻(草)類の被度を計測し, 平均値を算出した。調査は, 平成24年2月6日, 2月29日, 3月28日, 4月25日, 5月23日, 7月2日に実施した。

なお本報告では, 便宜のため平成23年4月から平成24年7月までに行った調査結果を示した。

(エ) 水深帯別コンブ附着試験

試験海域における天然コンブ(ホソメコンブ)の胞

子の分布状況を把握するため, 本年も海面から1m間隔で10mまで着生基質(本年は500mlポリビンを使用)をロープに固定して垂下し, コンブの着生状況を把握した(図2「水深帯別附着基質」)。平成23年12月2日に基質を設置し, 平成24年5月23日に回収して着生したコンブの個体数を計数した。

(オ) 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, ホソメコンブの孢子付けをした基質(以下「孢子付け基質」)と孢子付けをしていない基質(以下「孢子なし基質」)を, 平成23年12月2日に施肥区15地点, 対照区3地点, 合計18地点に各3組(合計108基)設置した(図5, 図6)。基質には500mlポリビンをを用いた。同時に, 施肥区L-1水深1m, 水深2mならびに対照区L-8水深1mに, 「孢子なし基質」に種苗糸(松前産ホソメコンブ)を巻いた基質(以下「種苗糸付き基質」)を各4基, 合計12基設置した。平成24年5月23日にすべての基質を回収し, 基質に着生しているホソメコンブの個体数を計数した。

(3) 得られた結果

ア 平成22年度施肥区

(ア) 施肥・ウニ類除去試験

平成22年度函館水産試験場事業報告書を参照のこと。

(イ) 生物分布調査

平成23年5月24日に実施した事後調査におけるキタムラサキウニ, 海藻(草)類, 小型植食性巻貝(クボガイ, コシダカガンガラ)の調査測線上の現存量の分布を, 図7に示した。

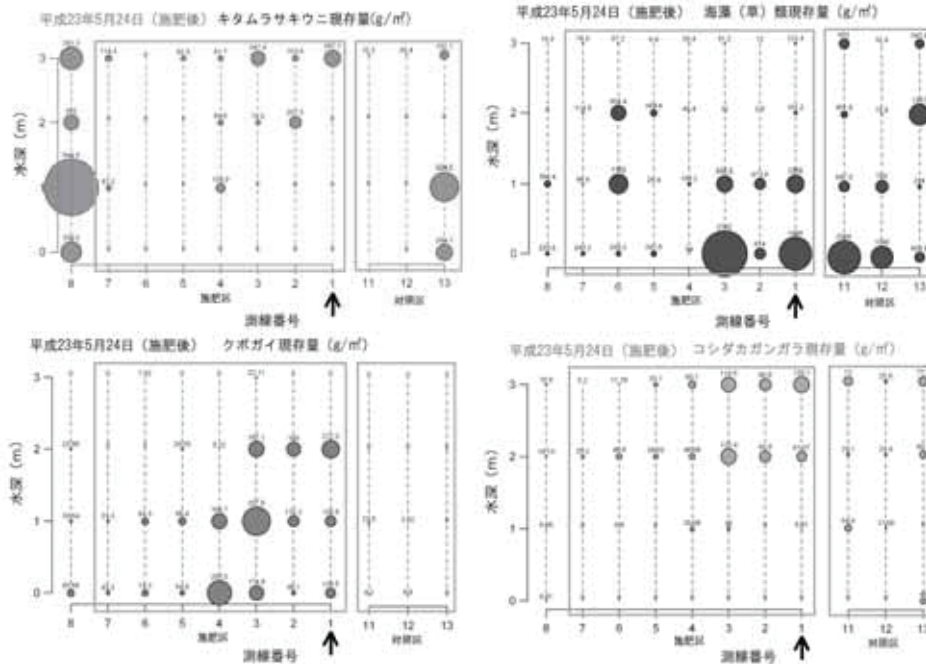


図7 事後調査時の平成22年度施肥区、対照区における生物現存量の分布  
矢印は施肥位置，枠はウニ類除去範囲を示す。

施肥区のウニ除去区（L-1～L-7）では、キタムラサキウニの現存量は平均 55.5 g/m<sup>2</sup>（範囲0～247.1）と、水深2～3mでやや現存量が大きかったが比較的強く保たれていた。一方ウニ除去を行っていないL-8では、平均 488.2 g/m<sup>2</sup>（範囲 262.0～944.9）と、大きな現存量を示した。対照区のウニ除去区（L-11～L-13）では、L-13 でやや現存量が大きかったが、平均 83.3 g/m<sup>2</sup>（範囲0～504.5）と強く保た

れていた。

海藻（草）類は、施肥区、対照区ともほぼ全域に海藻が着生したが、特に水深1m以浅の現存量が大きかった。ウニ除去区の平均現存量は 529.0 g/m<sup>2</sup>（施肥区 451.8, 対照区 709.1）で、水深1m以浅では施肥区 754.2 g/m<sup>2</sup>、対照区 932.1 g/m<sup>2</sup>であった。

ホソメコンブは、L-5の水深0mで3個体（8.6 g/0.25 m<sup>2</sup>）、L-11の水深0mで2個体（26.5 g/0.25 m<sup>2</sup>）採集されたのみであった。施肥区、対照区とも量的に多く採集された海藻は、アナアオサとモロイトグサであった。

施肥地点近傍のL-1～L-3の水深0～1mにかけて（岸沿い約20m×沖側約15mの範囲）海藻現存量が大きく、施肥による海藻現存量の増加効果が示唆された。

事前調査時同様、事後調査時にもクボガイは主に2m以浅に、コシダカガンガラは2m以深に分布していたが、いずれも現存量が増加した。調査区全体の平均現存量は、クボガイが 59.2 g/m<sup>2</sup>（施肥区 80.2, 対照区 3.3）、コシダカガンガラが 32.7 g/m<sup>2</sup>（施肥区 32.3, 対照区 33.8）であった。

(ウ) 海藻（草）類被度調査

平成22年度施肥区、対照区のウニフェンス内における海藻（草）類被度（10枠の平均値）の推移を、図8に示した。

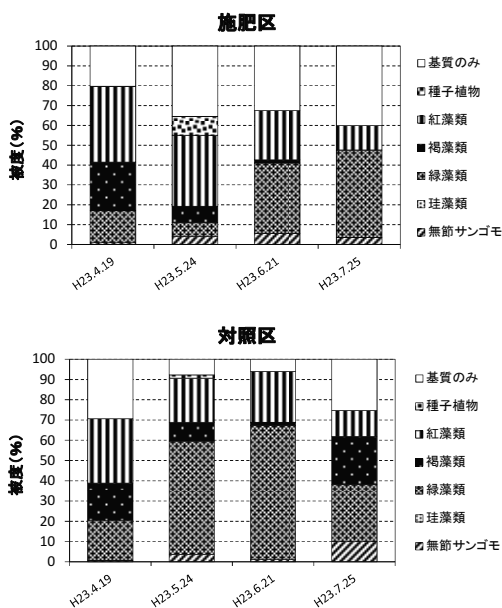


図8 平成22年施肥区、対照区の花藻（草）類被度の推移（10枠の平均値）



平成23年4月から5月にかけて、施肥区ではエゾヒトエグサが減少することにより緑藻類の被度が減少傾向を示したが、5月にはアナアオサが増加しはじめ、6月から7月にかけてさらに増加し、緑藻類の被度が増加した。対照区でも、4月にエゾヒトエグサが減少する一方、5月から6月にかけてアナアオサが優勢に繁茂し、7月にはやや減少した。これらの緑藻類、特にアナアオサの繁茂は、施肥区では特に栄養塩添加の影響が、対照区では流入する小河川の影響（低塩分、陸域からの栄養塩の負荷）が考えられた。

なお、調査期間中、施肥区、対照区のウニフェンス内へのウニ類の侵入は見られなかった。

(エ) 水深帯別コンブ附着試験

平成23年5月24日に回収した水深帯別附着基質に附着していたホソメコンブの個体数を、図9に示した。平成21年度と比較すると全般に着生した個体数は少なかったが（1～2個体）、水深1～10mの範囲で着生した。

(オ) 海藻植生分布調査

出現した海藻(草)を表1に示した。29種の海藻(草)が確認された。出現頻度の高かったのは、ホソメコンブ、フシスジモク、モロイトグサ、ワカメ、スガモであった。ホソメコンブは、海洋牧場湾入部の東西両側の岬状の場所、沖防波堤外側の消波ブロック全体に分布し、波当たりの強い地点を中心に繁茂していた(図10)。作業岸壁の西側(図2参照)とその近傍の転石にも、少量のホソメコンブが分布した。

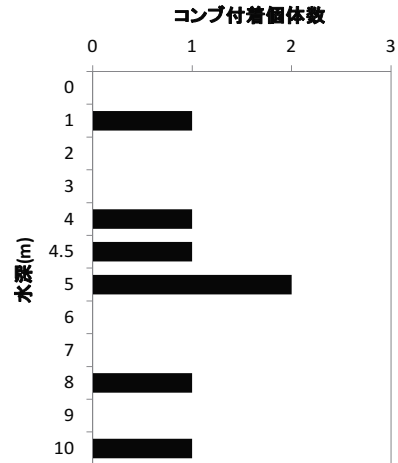


図9 水深帯別附着基質に着生したホソメコンブ個体数（平成22年11月19日設置、平成23年5月24日計数）

イ 平成23年度施肥区

(ア) 施肥・ウニ類除去試験

平成23年度の施肥区、対照区のウニ除去区から除去したウニ類の内訳を表2に示した。ウニ類の約98.8%はキタムラサキウニであり、その他エゾバフンウニとバフンウニが少量出現した。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0.8個体/m<sup>2</sup>、対照区が3.0個体/m<sup>2</sup>であった。今年度の施肥区のウニ除去総数は、昨年度の約22%（平成22年度は19,248個体）であり、ウニ除去後約1年を経過してもウニ類の密度がある程度低く保たれていた

表1 海藻植生分布調査における出現海藻(草)類と出現頻度

出現種	調査地点																														計
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
緑藻綱 Chlorophyceae																															
1 アナアオサ <i>Ulva pertusa</i>																															
2 ツヤナシオグサ <i>Cladophora opaca</i>																															
福藻綱 Phaeophyceae																															
3 エゾヤハズ <i>Dictyosphaeridia divaricata</i>																															
4 アミジグサ <i>Dictyota dichotoma</i>																															
5 ハバモドキ <i>Punctaria latifolia</i>																															
6 フクロノリ <i>Colpomenia sinuosa</i>																															
7 カヤモノリ <i>Scytosiphon lomentaria</i>																															
8 ワカメ <i>Undaria pinnatifida</i>																															
9 スジメ <i>Coscinaria costata</i>																															
10 ホソメコンブ <i>Saccharina religiosa</i>																															
11 フシスジモク <i>Sargassum confusum</i>																															
12 ヒジキ <i>Sargassum fusiforme</i>																															
13 アカモク <i>Sargassum homeri</i>																															
14 ヨレモク <i>Sargassum siliquastrum</i>																															
15 ウミトラノオ <i>Sargassum thunbergii</i>																															
紅藻綱 Rhodophyceae																															
16 マカサ <i>Galidium elegans</i>																															
17 オバクサ <i>Pterocladia tenuis</i>																															
18 アカバ <i>Neodilsea yendoana</i>																															
19 フクロノリ <i>Gloiopeltis furcata</i>																															
20 アカバギンナンソウ <i>Mazzaella japonica</i>																															
21 キョウノヒモ <i>Polyopes lancifolius</i>																															
22 ハネイギス <i>Ceramium japonicum</i>																															
23 イギス <i>Ceramium kondoi</i>																															
24 クシベニヒバ <i>Ptilota filicina</i>																															
25 ウラソソ <i>Laurencia nipponica</i>																															
26 フジマツモ <i>Neorhodomeia aculeata</i>																															
27 モロイトグサ <i>Polysiphonia morrowii</i>																															
28 イソムラサキ <i>Symphycarada latiuscula</i>																															
種子植物門 Spermatophyta																															
29 スガモ <i>Phyllospadix iwatensis</i>																															
計	3	1	1	1	3	1	3	2	2	2	10	2	6	3	9	4	1	21	7	1	7	11	1	9	11	6	4	6	7	1	



図10 調査海域におけるホソメコンブの分布範囲

### (イ) 生物分布調査

事前調査(平成23年10月24日)及び事後調査(平成24年5月23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11に示した。

キタムラサキウニは、事前調査において、施肥区では沖側を中心に、対照区では全体に分布し、現存量はウニ除去区では施肥区で平均  $70.6 \text{ g/m}^2$  (範囲  $0 \sim 540.3$ )、対照区で平均  $117.1 \text{ g/m}^2$  (範囲  $0 \sim 208.3$ ) であった。事後調査では、施肥区で平均  $117.0 \text{ g/m}^2$  (範囲  $0 \sim 702.9$ )、対照区で平均  $183.9 \text{ g/m}^2$  (範囲  $0 \sim 943.0$ ) と、ともに現存量が増加した。

海藻(草)類は、事前調査において、施肥区(ウニ除去区)では水深0mのみに分布し、平均  $123.8 \text{ g/m}^2$  (範囲  $0 \sim 1401.2$ )、対照区(ウニ除去区)では全く採集されず、ウニ除去区外(L-10)で平均  $1674.8 \text{ g/m}^2$  (範囲  $0 \sim 3791.6$ 、主にホソメコンブ)分布した。事後調査では、全調査点で海藻(草)類が採集されたが、施肥区(ウニ除去区)では平均  $1611.2 \text{ g/m}^2$  (範囲  $1.2 \sim 6631.6$ ) と、特に水深2m以浅の現存量が多かった。現存量の大きな主な海藻(草)は、ホソメコンブ、ワカメ、モロイトグサ、ヨレモク、スガモ等であった。また、ウニ除去区外(L-6)の水深0mで、 $11590.8$

$\text{g/m}^2$ と主にホソメコンブの大きな現存量が見られた。対照区(ウニ除去区)では、平均  $3647.7 \text{ g/m}^2$  (範囲  $259.2 \sim 12378.4$ ) と、ホソメコンブを中心とした海藻群落が形成されたため、大きな現存量となった。

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12に示した。クボガイは、事前調査時の施肥区(L-1~L-6)では、調査範囲全体に分布し、平均現存量は  $47.8 \text{ g/m}^2$  (範囲  $0 \sim 137.9$ ) であった。対照区(L-7~L-10)では、水深2m以浅で多く、平均現存量は  $75.0 \text{ g/m}^2$  (範囲  $0 \sim 279.5$ ) であった。事後調査の施肥区では、特に水深2m以浅の現存量が大きくなり、平均  $68.4 \text{ g/m}^2$  (範囲  $0 \sim 202.5$ ) であった。対照区では現存量は減少し、平均現存量は  $17.5 \text{ g/m}^2$  (範囲  $0 \sim 72.5$ ) であった。

コシダカガンガラは、主に水深2m以浅に分布し、事前調査時の施肥区(L-1~L-6)で、平均現存量は  $15.6 \text{ g/m}^2$  (範囲  $0 \sim 63.4$ ) であった。対照区(L-7~L-10)では、平均現存量は  $15.3 \text{ g/m}^2$  (範囲  $0 \sim 32.6$ ) であった。事後調査では、特に水深3mで現存量が増加し、施肥区で  $26.4 \text{ g/m}^2$  (範囲  $0 \sim 121.2$ )、対照区で  $23.1 \text{ g/m}^2$  (範囲  $0 \sim 118.8$ ) であった。

### (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における海藻(草)類被度の推移を、図13に示した。

平成24年2月6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29日には、施肥区、対照区ともに水深2m以浅で

表2 平成23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	4263	5	2	4270
対照区	17019	240	13	17272
合計	21282	245	15	21542
%	98.8	1.1	0.1	100

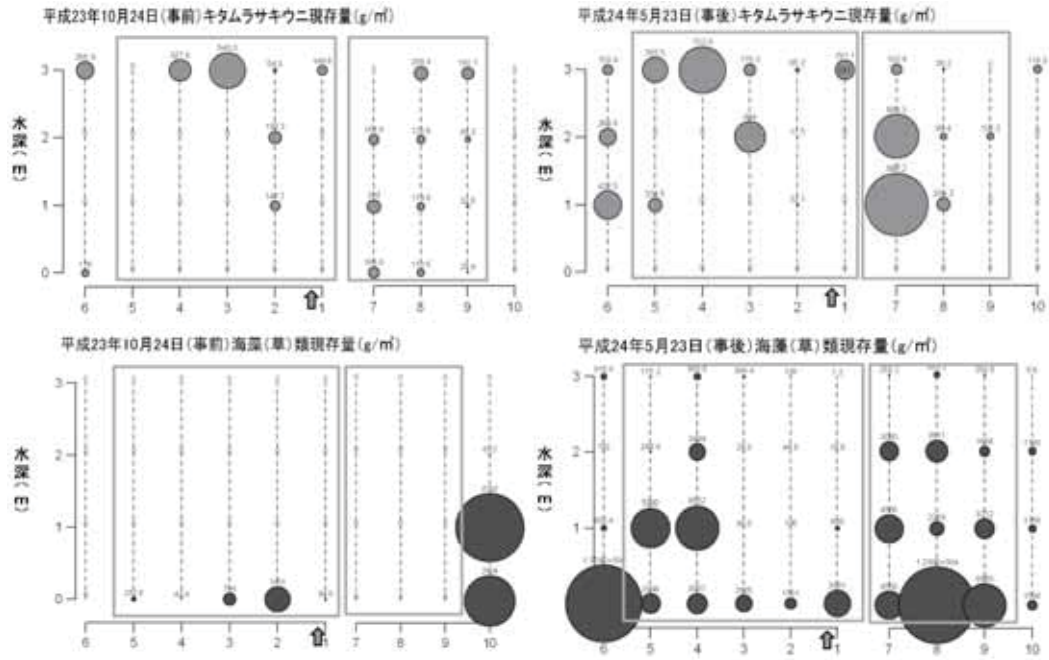


図 11 事前調査、事後調査におけるキタムラサキウニ、海藻(草)類現存量の分布

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/m<sup>2</sup>) を示す。

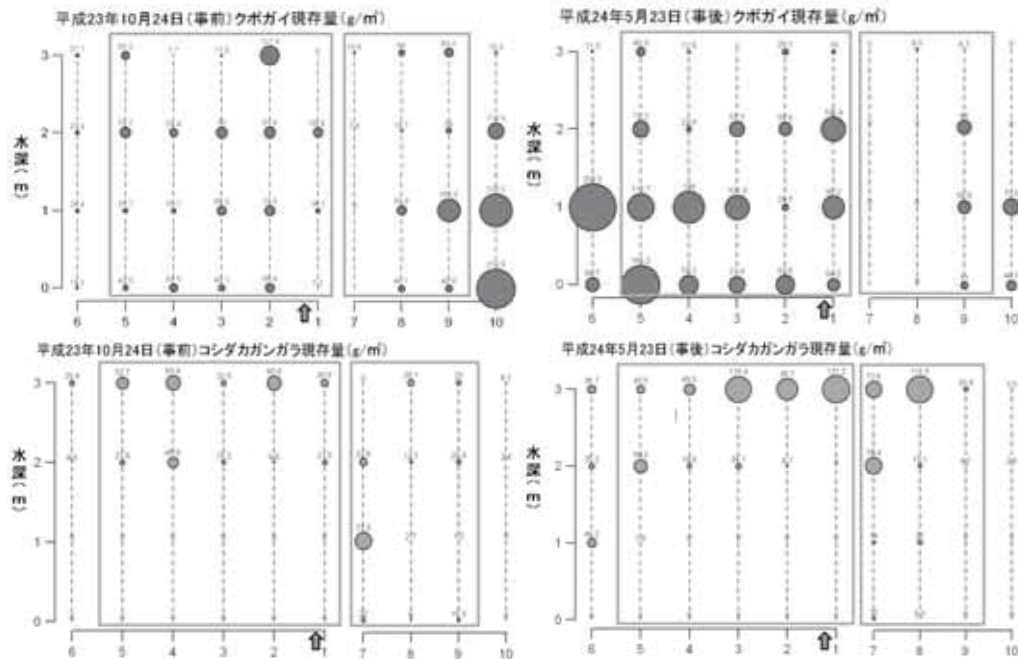


図 12 事前調査、事後調査における植食性巻貝現存量の分布

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/m<sup>2</sup>) を示す。

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28日にはさらに被度が増加した。4月25日には特にエゾヒトエグサが枯死・流失し、かわって施肥区では緑藻類のアナアオサが、対照区ではホソメコンブが被度を拡大し、5月23日にかけてともに優勢に繁茂し、7月まで持続した。

(エ) 水深帯別コンブ附着試験

平成24年5月23日に回収した水深帯別附着基質に附着していたホソメコンブの個体数を、図14に示した。水深0~5mの範囲で着生し、水深2mでの着生個体数が多かった。

(オ) コンブ発芽への施肥効果調査

コンブ「胞子付け基質」、「胞子なし基質」ならびに「種苗糸付き基質」における、平成24年5月23日に



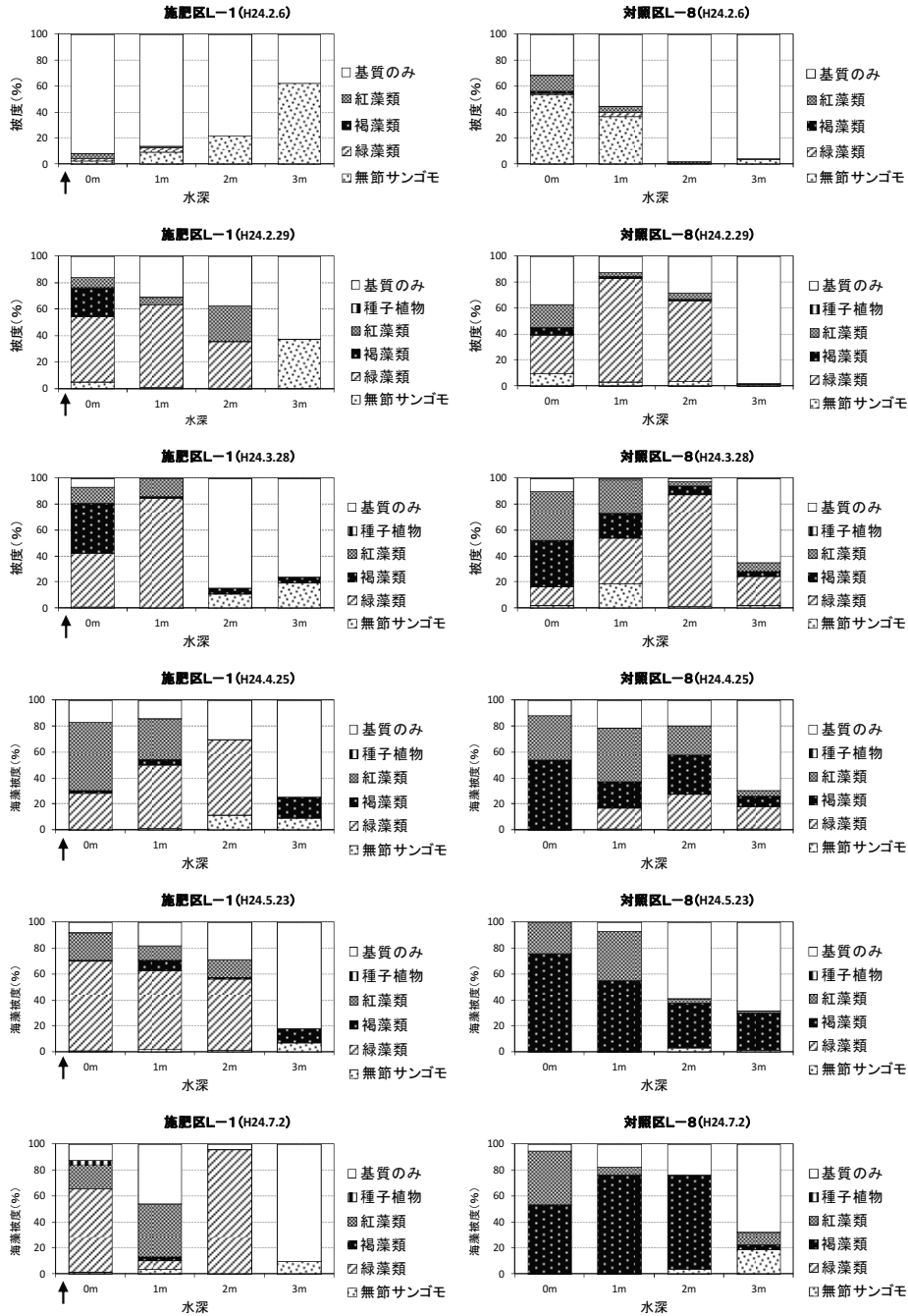


図 13 施肥区 (L-1), 対照区 (L-8) の水深 0~3m における海藻 (草) 類被度の推移  
3 枠の平均値。矢印は施肥位置を示す。

におけるホソメコンブ着生量を, 図 15 に示した。主に「胞子付け基質」及び「種苗糸付き基質」においてコンブが生育し, 「胞子なし基質」ではほとんどコンブの生育が見られなかった。このことから調査海域において天然ホソメコンブの胞子が不足している, 及び/または, 胞子の基質への着底・発芽過程が何らかの要因 (懸濁・堆積粒子等) により阻害されていることが示唆された。

一方, 施肥位置近傍 (L-1, L-3 の水深 1~2

m) の基質でのコンブ生育量が多く, 栄養塩添加のコンブ発芽への効果が示唆された。また, 施肥位置から離れた沖側 (L-5, L-6 の水深 2~3 m) 及び対照区 (L-8, 特に水深 1~2 m) でのコンブ生育量が多く, これらの場所は試験海域の中では波浪の影響が相対的に強いことから, 波当たりの強さによる栄養塩フラックスの増加によるコンブ発芽への効果が示唆された。

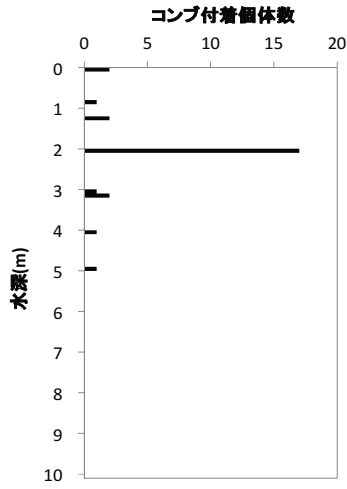


図 14 水深帯別付着基質に着生したホソメコンブ個体数 (平成 23 年 12 月 2 日設置, 平成 24 年 5 月 23 日計数)

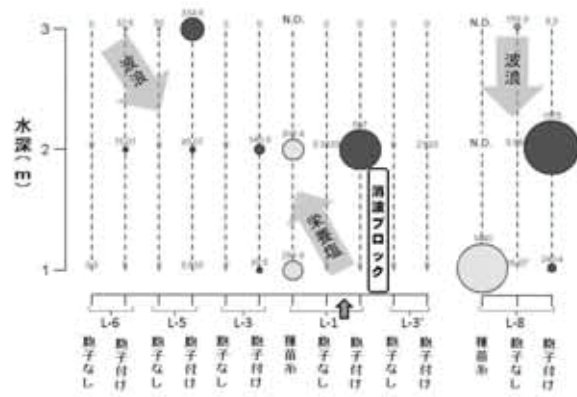


図 15 コンブ胞子付け、胞子なし及び種苗系付き基質におけるホソメコンブ生育量 (H24. 5. 23) 数字はコンブ着生重量 (g/基)、矢印は施肥位置を示す。