

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ている。

(2) 経過の概要

ア 平成21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。肥料は硫酸アンモニウムを用い、4トン/時の速さで24時間連続放出した。

平成21年は、沿岸の岩礁（暗礁）上に施肥区、対照区を設定し、施肥区では平成21年10月24日から平成22年6月18日まで合計36,700kgの硫酸アンモニウム（窒素量換算7,707kg）が施された（図2）。その後は

同所では施肥は行わなかった。

施肥区、対照区には刺し網を用いたウニ侵入防止フェンス（以下、「ウニフェンス」）を設置してその内側のウニ類を除去した「ウニ除去区」（5m×5m）を設定するとともに、隣接した同面積の区画についてはウニ除去を行わず「ウニ非除去区」として、施肥前後の海藻繁茂状況を観察した。「ウニ除去区」に侵入してきたウニ類は、基本的に毎月1回、継続的に除去した。「ウニ除去」と「ウニ非除去区」の海底に同様に施肥の影響が及ぶよう、液肥放出地点のパイプ形状をT字型とした（図1）。

(イ) 生物分布調査

施肥区では、施肥地点で交差するように、100mの調査ラインを十字状（沖-陸方向及び海岸線に平行方向）に配置した（図2，L-1，L-2）。対照区では、施肥地点から約70m西側に離れた地点に、南北方向に100mの調査ラインを配置した（図2，L-3）。

平成21年度（5月20日，8月25日，10月27日調査）に引き続き、平成22年度は5月24日に調査ライン上において10m間隔で1/4㎡方形枠内の写真撮影を行い、海藻被度を計測した。あわせて20m間隔で方形枠を用いて1㎡枠内の動物及び1/4㎡枠内の海藻を採集した（図3）。採集した生物は、種類別に個体数と重量を測定した。ウニ類は、個体別重量，殻径，生殖巣重量（施肥区，対照区各約30個体）を測定した。生殖巣を測定したウニ類の生殖板を持ち帰り，年齢査定を行った。

(ウ) 海藻（草）類被度調査

前年度から引き続き、平成22年4月23日，5月24日，7月2日に、施肥区，対照区のウニ除去区，ウニ非除去区において，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（図4）。5月24日には、各区画内の着生した海藻の水平分布を把握するため、縦横1m間隔で計25枚写真撮影した。

(エ) 海藻（コンブ）発芽・成長試験

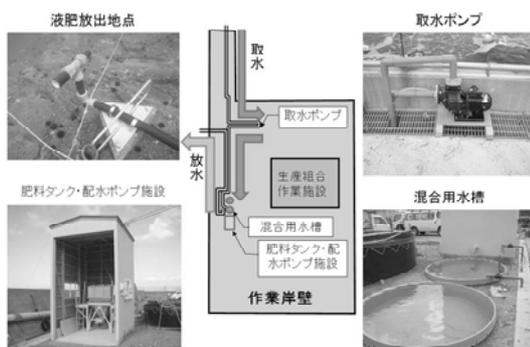


図1 栄養塩添加の仕組み

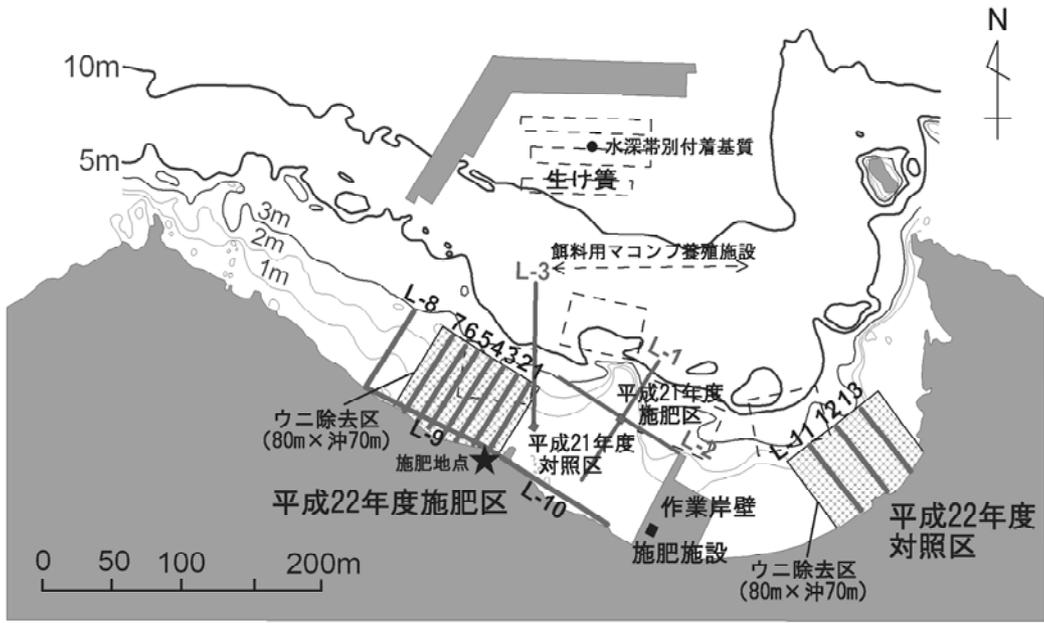


図2 調査位置図(上ノ国町原歌「海洋牧場」)

施肥区及び対照区の試験区に立て縄式簡易コンブ養殖施設を平成21年11月26日に設置した。この施設は、長さ約1.5mのロープにホソメコンブ種苗糸(平成21年10月15日に松前町で採苗)を巻き付けたもの2基と、巻き付けないもの(空ロープ)1基で、施肥区及び対照区のウニ除去区及びウニ非除去区に海底から立ち上げたものである。平成22年3月29日、4月23日、5月24日にコンブを採集し、個体ごとに葉長、葉幅、葉重量、根茎重量を計測し、葉部の肥大度(葉重量/葉長×葉幅, 単位 mg/cm²)を算出した。

試験海域における天然コンブの孢子の分布状況を把

握するため、平成21年11月26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×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22年5月24日に回収し、付着したコンブの個体数を計数した。

なお、平成21年度施肥区の結果の解析にあたっては、平成21年度に実施した調査結果の一部も示した。

イ 平成22年度施肥区

(ア) 施肥・ウニ類除去試験

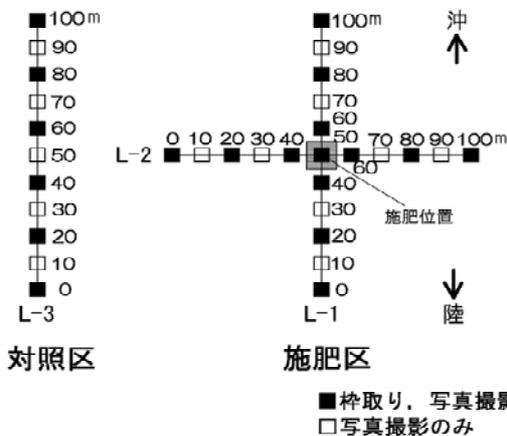


図3 平成21年試験区における調査ライン上の調査地点

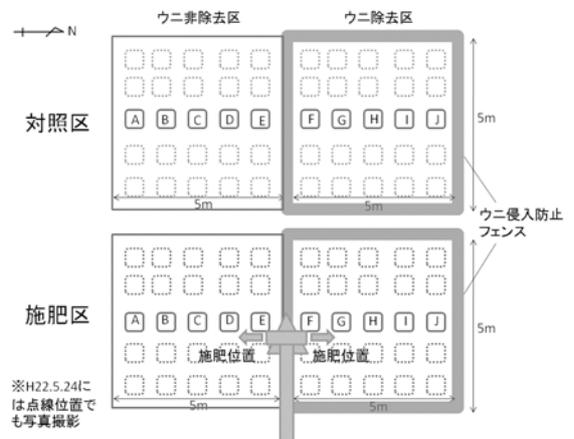


図4 平成21年施肥区, 対照区における海藻(草)被度調査写真撮影位置

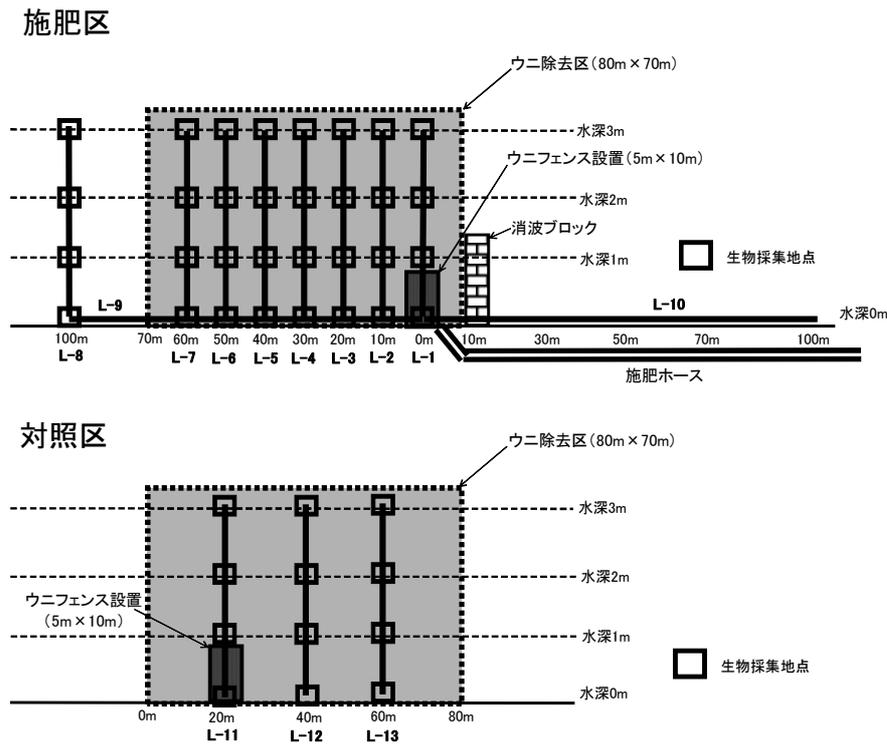


図5 平成22年施肥区、対照区調査地点位置図

平成22年は、陸上の施肥施設から西方に約150m離れた汀線付近に新たに施肥地点を設け(図2)、平成22年10月22日から施肥を開始した。平成21年同様、海水に溶かした硫酸アンモニウムを、4トン/時の速さで24時間連続海域に放出した。施肥区から約300m東側に離れた場所に対照区を設定した。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、平成22年10月20日、11月18日、11月19日、12月14日、12月22日に行い、施肥区19,248個体、対照区22,372個体、計41,620個体のウニ類を採集した。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。

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の範囲にウニフェンスを設置した(図5、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、施肥を施す前の平成22年9月27日に事前調査を実施した。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(平

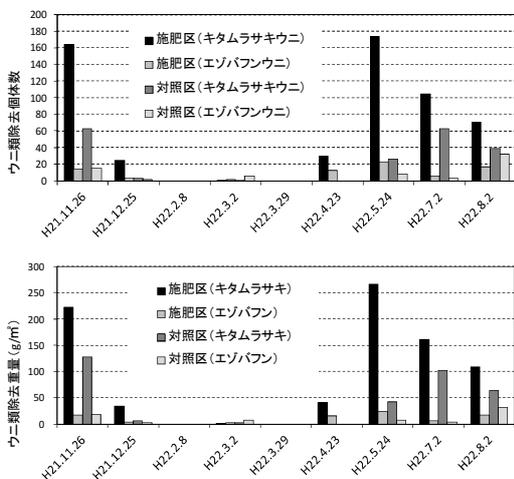


図6 平成21年試験区ウニ除去区から除去したウニ類個体数(上)、重量(下)の推移

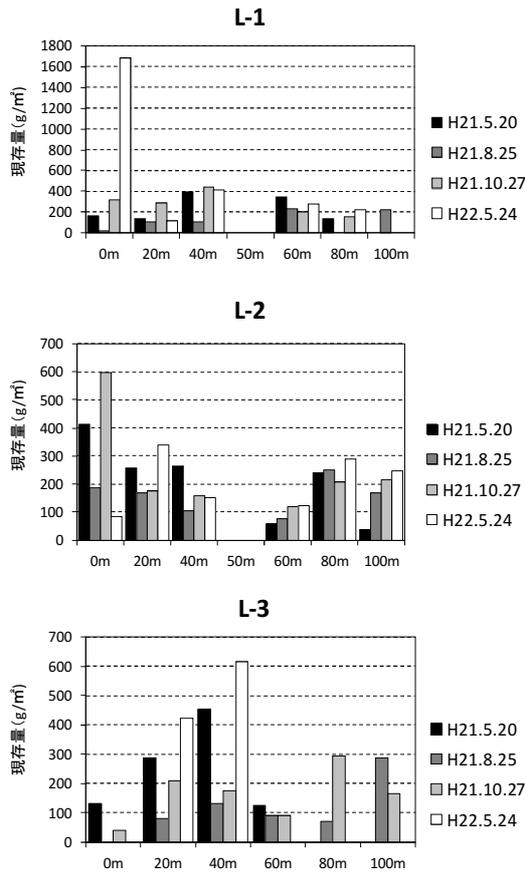


図7 平成21年試験区におけるウニ類現存量の推移

成22年10月20日、11月19日)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。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月以降毎月1回実施した。

(3) 得られた結果

ア 平成21年度施肥区

(ア) 施肥・ウニ類除去試験

施肥区、対照区のウニ除去区から除去したウニ類個体数の推移を、図6(上)に示した。調査を開始した平成21年11月26日の時点で除去したウニ類は、施肥区でキタムラサキウニ164個体、エゾバフンウニ25個体、対照区でそれぞれ63個体、3個体であった。12月以降平成22年4月までウニ除去区に侵入するウニの数は非常に少なかったが、5月には施肥区にキタムラ

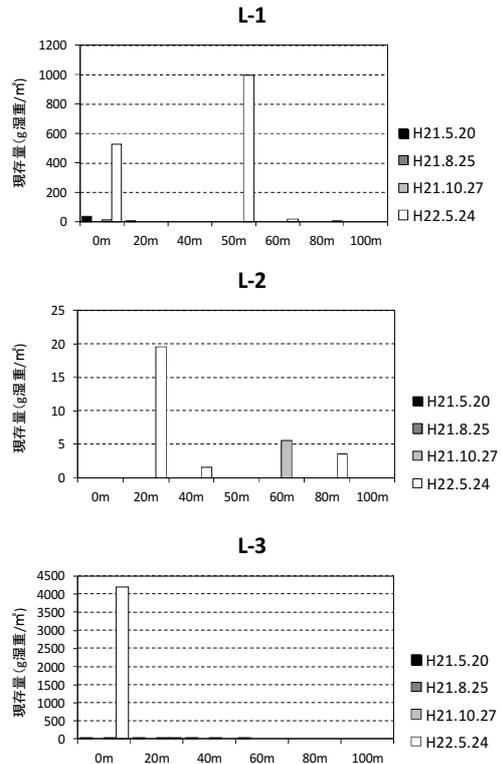


図8 平成21年試験区における海藻現存量の推移

サキウニが174個体、エゾバフンウニが23個体と、多数侵入してきた。その原因として、水温の上昇に伴ってウニ類の摂餌活動が活発化したこと、海況が静穏になってきたこと、さらにウニフェンスに付着物が増え、フェンスの機能が低下してきたことが考えられた。

ウニ除去区から除去したウニ類の、1㎡当たりの重量に換算したグラフを図6(下)に示した。海藻(ホンメコブ)の発芽期に当たる12月～翌年4月にかけては、ウニ除去区のウニ類現存量は0～56.7g/㎡の範囲にあり、「海底の植生に大きな影響を与える」とされる200g/㎡(菊地・浮, 1981)より低く保たれていた。

(イ) 生物分布調査

調査ライン上のウニ類の現存量の推移を、図7に示した。L-1、L-2とも全般にウニ類の現存量は大きく、200g/㎡前後であった。L-3では、調査ライン上の20m～60m地点にかけて、比較的大きい現存量が見られた。80～100mにかけては、調査時により砂の分布が見られ、ウニ類が採集されない時もあった。

調査ライン上の海藻(草)現存量の推移を、図8に示した。施肥後(ウニ除去後)の平成22年5月24日にL-1の0mで529.2g/㎡、50mで995.6g/㎡、L-3の0mで4186.0g/㎡と比較的大きな現存量が見られた。L-1の50mとL-3の0mは、ウニ除去により形成された海藻群落の現存量を示す。L-1の0mは、ごく浅所に繁茂する海藻(草)であった。それ以外は、

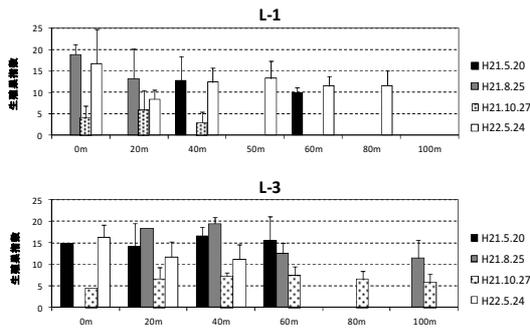


図9 平成21年試験区におけるキタムラサキウニの生殖巣指数の推移(平均値+標準偏差)

調査期間中、非常に小さい現存量であり、磯焼け状態を呈していた。調査ライン上では、ウニ除去区を除き、動物、海藻(草)の分布に、施肥による変化は見られなかった。

L-1とL-3の調査ライン上でのキタムラサキウニの生殖巣指数(生殖巣重量×100/個体重量)平均値の分布を図9に示した。施肥開始後の平成22年5月24日には、L-1では0mと50m地点での生殖巣指数が

高く、L-3では0mで高い傾向が見られた。この結果から、海藻現存量の大きい場所との関係が示唆された。

(ウ) 海藻(草)類被度調査

施肥区、対照区の試験区における平成22年4月以降の海藻被度の推移を、図10に示した。施肥開始後約6カ月の4月23日には、施肥区の緑藻類の被度が3月の調査時よりやや減少し、特にウニ除去区内の紅藻類の被度が増加した。対照区では、3月の調査時より褐藻類と紅藻類の被度が増加した。

施肥開始後約7カ月の5月24日には、施肥区の緑藻類の被度がさらに減少したが、紅藻類の被度は増加した。対照区では、紅藻類の被度が増加したが、褐藻類(カヤモノリ)の被度が大きく減少した。褐藻類(ワカメ)が成長し、被度が増加した。目視では、対照区でのみホソメコブが少数着生しているのを確認した。

施肥開始後約8カ月の7月2日には、施肥区、対照区とも紅藻類が著しく減少し、かわって特に対照区で無節サンゴモの被度が増加した。

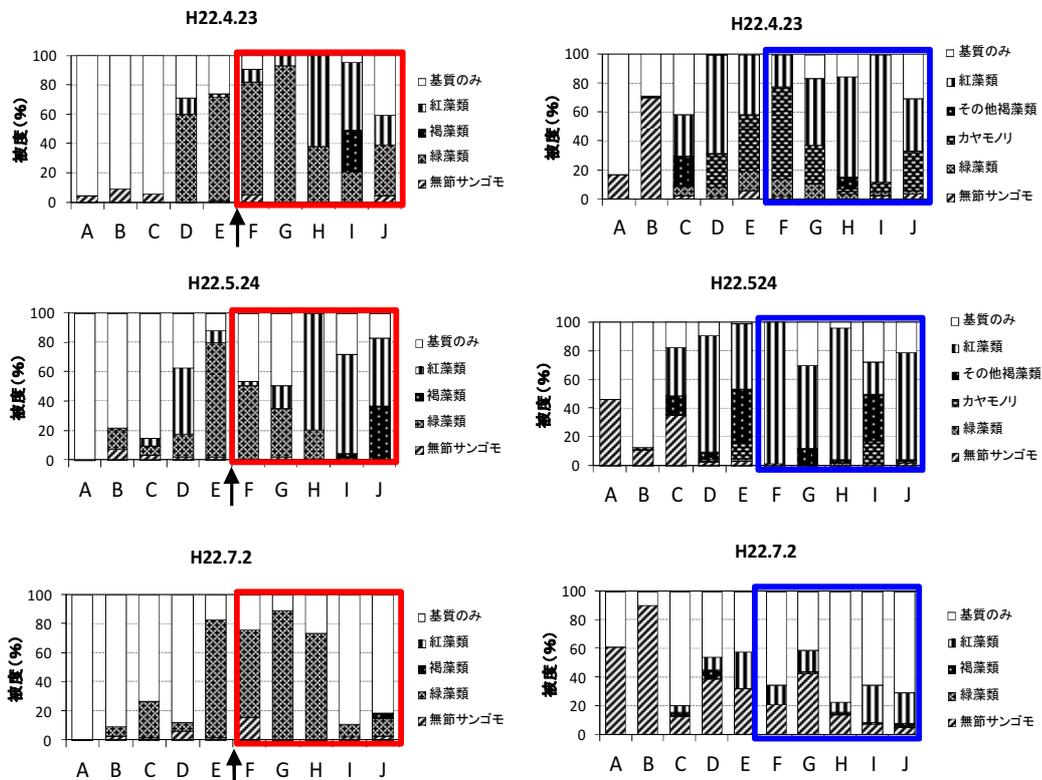


図10 平成21年施肥区、対照区のウニ除去区及びウニ非除去区における地点別海藻(草)被度の推移。矢印は施肥位置を、囲みはウニ除去区を示す。



図 11 平成 21 年ウニ除去区の海藻繁茂状況（施肥区：左，対照区：右）(H22. 4. 23)

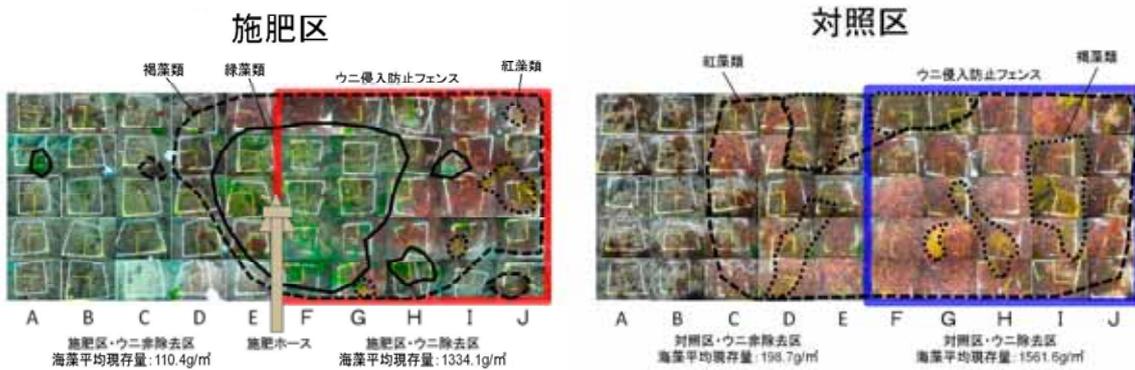


図 12 平成 21 年施肥区，対照区の海藻繁茂状況 (H22. 5. 24)

4月23日の施肥区，対照区のウニ除去区の海藻繁茂状況を，図11に示した。施肥区においては，緑藻類の繁茂が著しく，紅藻類がモザイク状に繁茂していた。一方，対照区では紅藻類と褐藻類が主に繁茂していた。

5月24日の施肥区，対照区に着生した海藻の水平分布と各区画の海藻の平均現存量を図12に示した。施肥区，対照区ともウニ除去区を中心に海藻が繁茂した。施肥区では施肥地点を中心に緑藻類が優勢に繁茂し，施肥により緑藻類の成長が助長された可能性が示唆された。対照区でも緑藻類は特に3月から4月にかけて全体に繁茂したが，施肥区のような著しい繁茂は見られず，主に紅藻類と褐藻類が繁茂した。

施肥区，対照区ともウニ非除去区においてもウニフェンスから2～3m外側の範囲で海藻が繁茂し，ウニフェンスの影響が示唆された。ウニ非除去区の海藻が繁茂していない場所にはウニ類が分布し，基質のみと無節サンゴモからなる磯焼け状態が維持されていた。

海藻の平均現存量は，施肥区，対照区ともウニ除去区がそれぞれ 1334.1g/m²，1561.6g/m²と，ウニ非除去

区の 110.4g/m²，198.7g/m²より一桁大きかった。施肥区及び対照区のウニ除去区の海藻現存量の間に統計的に有意な差は見られなかった (*t*-test, *P*<0.05)。

(エ) 海藻（コンブ）発芽・成長試験

施肥区及び対照区に設置した簡易養殖施設におけるホソメコンブ種苗の成長を，図13に示した。葉長，葉幅，葉重量，根茎重量（図には示さず），肥大度とも，施肥区のコンブが同時期の対照区のコンブを上回り，施肥区のコンブが対照区より顕著に大型であり（図14），身入りも良いことが明らかとなった。

最終的に回収した平成22年5月24日時点でのコンブの本数，重量等を表1に示した。なお，施肥区及び対照区の非ウニ除去区の種苗糸ありロープ1基及び種苗糸なしロープ（空ロープ）1基は流失したため，データが得られなかった。施肥区・ウニ除去区に設置したコンブ種苗は，ロープ1m当たり862.1g回収されたが，対照区・ウニ除去区に設置したものは122.9gであり，1個体当たりのコンブ重量も施肥区のコンブが大きかった。施肥区のコンブが顕著に成長したのは，施

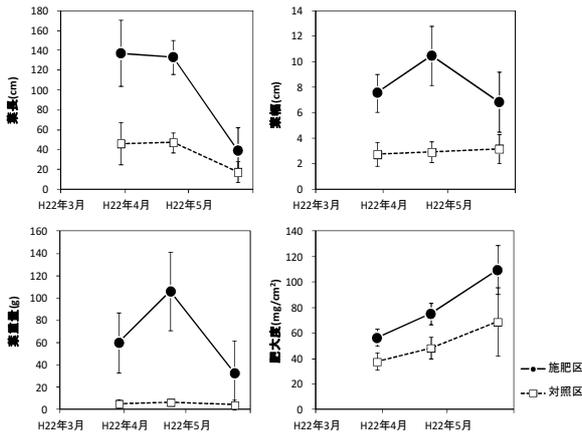


図13 簡易養殖施設で生育したホソメコンブ種苗の成長の推移（平均値±標準偏差）

肥の影響と考えられた。このことから、この海域のコンブは、環境中の窒素不足により成長が制限されていることが明らかとなった。

水深帯別付着基質に着生したホソメコンブ個体数を、図15に示した。ホソメコンブは、付着基質に水深0mに2個体、水深2mに7個体着生していた。水深0.5mではロープに1個体着生していた。このことから、調査海域においてホソメコンブの遊走子は存在するが、量的には少ないことが示唆された。この点については、年変動等今後さらに検討する必要がある。

イ 平成22年度施肥区

(ア) 施肥・ウニ類除去試験

除去したウニ類の内訳を表2に示した。ウニ類の約99%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。対照区では施肥区に比較してキタムラサキウニ、エゾバフンウニがやや多く、施肥区ではバフンウニがやや多く採取された。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3.4個体/m²、対照区が3.9個体/m²であった。

採取したウニ類の年齢別出現頻度分布を、図16に示

図14 簡易養殖施設で種苗系から生育したホソメコンブ (H22.4.23)



した。キタムラサキウニは、2歳～10歳の範囲で出現し、施肥区で4歳に、対照区で3歳にモードがあった。エゾバフンウニは、1歳～7歳の範囲で出現し、施肥区、対照区とも1歳にモードがあり、主に1歳～3歳が出現した。バフンウニは、2歳～14歳の範囲で出現し、施肥区で9歳、対照区で3歳にモードがあり、幅広い年齢の範囲で出現した。

(イ) 生物分布調査

平成22年9月27日に実施した事前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17に示した。

キタムラサキウニは主に水深1m以深に分布し、調査区全体での平均現存量は145.0g/m²(施肥区166.4、対照区88.0)、密度は3.1個体/m²(施肥区3.1、対照区3.2)であった(最高は施肥区L-2水深2m地点の650.9g/m²(10個体/m²))。

海藻(草)類は、主に水深1m以浅に分布し、調査区全体(ウニ類を除去していないL-8除く)の平均現存量は208.1g/m²(施肥区283.0、対照区33.4)であった(最高は、L-7水深0m地点の4976.4g/m²で、ホソメコンブが分布)。コンブ以外で採集された主な海藻は、エゾヤハズ、ヨレモク、フシスジモク、イソムラサキ、オバクサ、ミツデソソ等であった。

表1 簡易養殖施設におけるホソメコンブ育成結果 (H22.5.24)

| 試験区ロープ種別 | ロープ数 | コンブ個体数 | コンブ重量(g) | コンブ重量/個体 | コンブ重量/ロープ1m |
|-------------------|------|--------|----------|----------|-------------|
| 施肥区・ウニ除去区 種苗系ロープ | 2 | 65 | 1293.1 | 23.9 | 862.1 |
| 施肥区・ウニ非除去区 種苗系ロープ | 1 | 8 | 80.0 | 10.0 | 53.3 |
| 施肥区・ウニ除去区 空ロープ | 1 | 0 | 0 | - | - |
| 対照区・ウニ除去区 種苗系ロープ | 2 | 87 | 184.3 | 3.1 | 122.9 |
| 対照区・ウニ非除去区 種苗系ロープ | 1 | 13 | 55.2 | 4.2 | 36.8 |
| 対照区・ウニ除去区 空ロープ | 1 | 0 | 0 | - | - |

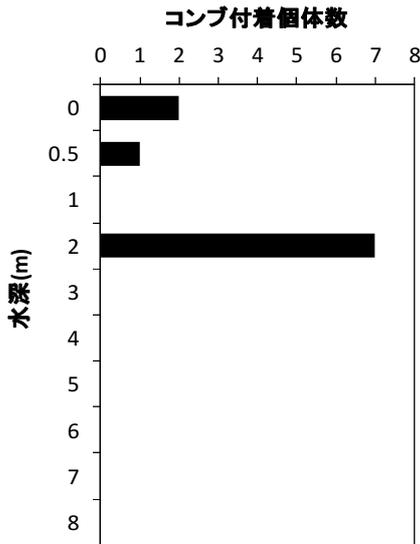


図 15 水深帯別付着基質に着生したホソメコンブ個体数 (平成 21 年 11 月 26 日設置, 平成 22 年 5 月 24 日計数)

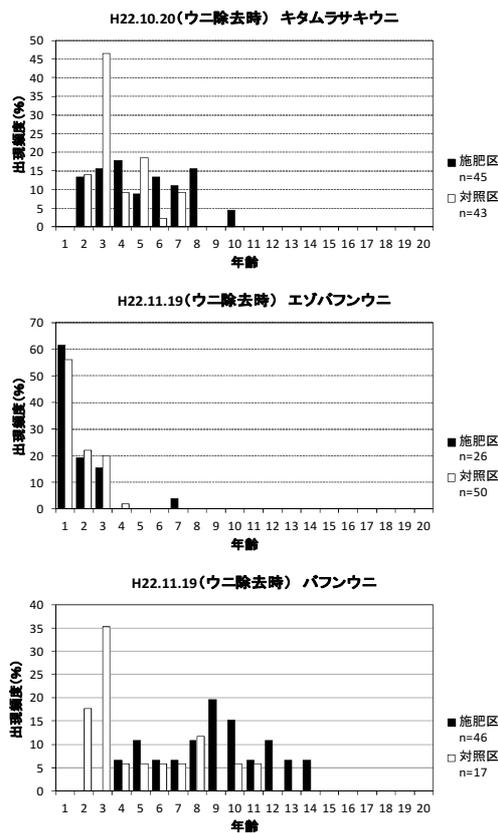


図 16 ウニ類の年齢別出現頻度分布

表 2 H22 年施肥区, 対照区ウニ類除去個体数

| | キタムラサキウニ | エゾバフンウニ | バフンウニ | 合計 |
|-----|----------|---------|-------|--------|
| 施肥区 | 19,054 | 82 | 112 | 19,248 |
| 対照区 | 22,094 | 253 | 25 | 22,372 |
| 合計 | 41,148 | 335 | 137 | 41,620 |
| % | 98.9 | 0.8 | 0.3 | 100.0 |

小型植食性巻貝は、特にクボガイとコシダカガンガラが多数分布し、クボガイが主に水深 1 m 以浅に、コシダカガンガラが主に水深 2 m 以深に分布した。調査区全体の平均現存量は、クボガイで 42.4 g/m² (施肥区 50.1, 対照区 21.9), コシダカガンガラで 16.6 g/m² (施肥区 11.7, 対照区 29.8) 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)類被度の推移を, 図 18 に示した。

平成 23 年 1 月 25 日には, 施肥区, 対照区とも大部分は無節サンゴモ類と基質のみであったが, より岸に近い地点で, 主に珪藻類と紅藻類の着生が見られた。2 月 23 日には, 施肥区, 対照区とも褐藻類(主にカヤモノリ), 緑藻類(アオサ類)を中心に岩盤や大転石の上部に海藻が繁茂してきたが, 特に対照区側で緑藻類の繁茂が見られた。3 月 28 日には, 施肥区, 対照区ともにさらに海藻が繁茂し被度が増加したが, 特に紅藻類(主にモロイトグサ)が増加してきた。

平成 22 年度の施肥区と対照区間で, 3 月 28 日時点で出現した海藻類の種組成には大きな違いは見られなかった。今年度は対照区で特に緑藻が優勢に繁茂してきた理由として, 対照区近くに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。

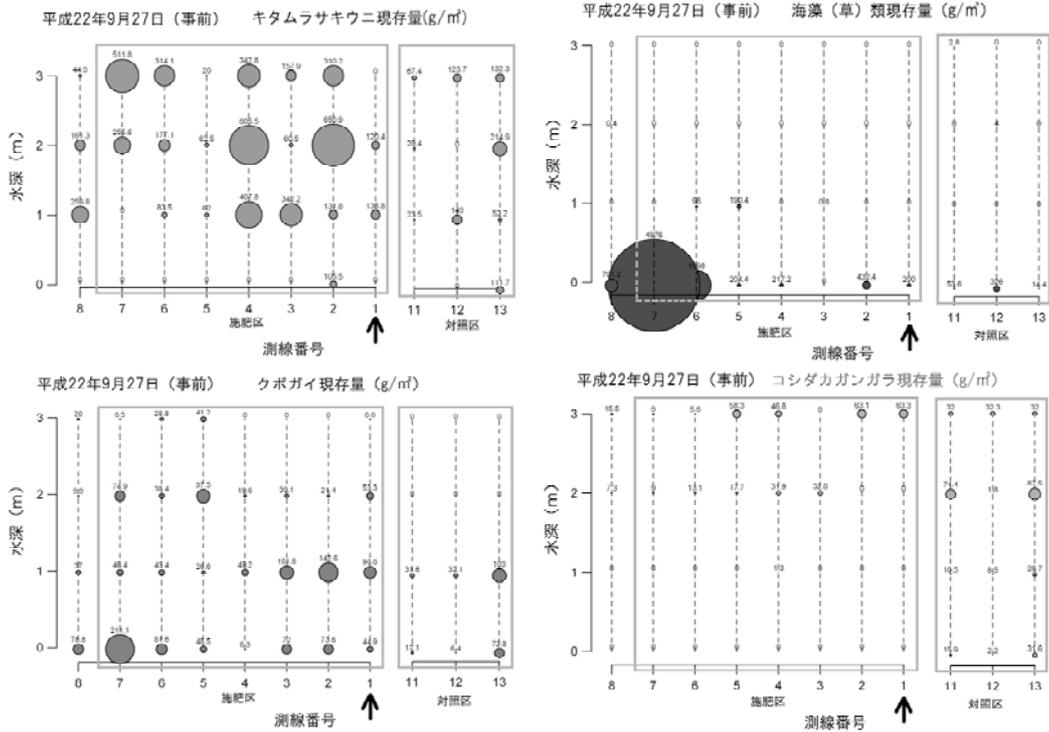


図17 事前調査における平成22年施肥区, 対照区における生物現存量の分布。
 矢印は施肥予定位置, 枠はウニ類除去予定範囲を示す。

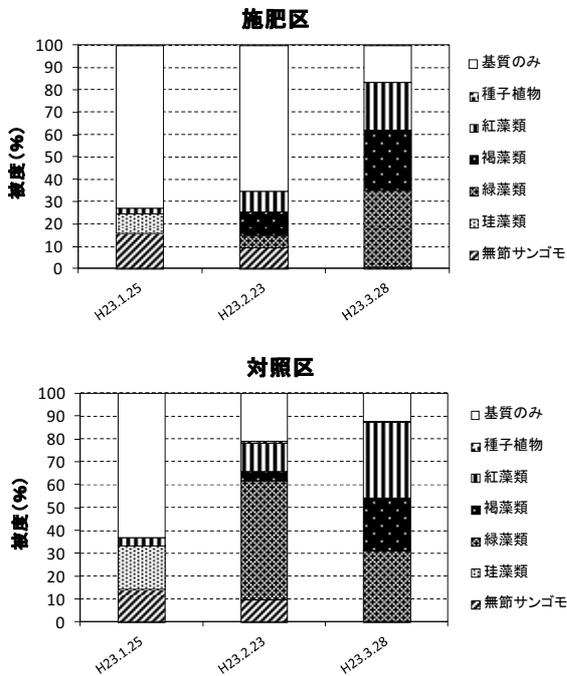


図18 平成22年施肥区, 対照区の海藻(草)被度の推移(10枠の平均値)