

海域特性総合利用技術開発

担当機関 北海道立中央水産試験場 資源増殖部
 北海道立栽培漁業総合センター 貝類部
 後志南部地区水産技術普及指導所
 北海道水産林務部栽培振興課

1. 緒言

北海道日本海南西部沿岸では海底が無節サンゴモで被われ、大型海藻群落が消滅する磯焼けが広範囲で起きている。そのため餌料不足により有用動物の生産が激減し、沿岸漁業にとって深刻な問題となっている。北海道では平成2年度から5年度にかけて国の委託事業である「海域特性総合利用技術開発事業」を実施し、磯焼け漁場の実態把握、その持続要因の解明、及び対策のための技術開発を行ってきた。

その結果、この海域における磯焼けの主な持続要因がウニの食圧であることを実証し、ウニ除去により海藻群落を形成することができた。しかし、ウニ除去だけでは生産性の高いコンブ群落は形成されない問題が残った。

また、同海域で効率的かつ経済的なコンブ養殖施設の開発を行い、養殖ロープ1m当たり35kgのコンブを生産した。このことは磯焼けを呈している海域でも栄養塩等がコンブの生育を制限していないことを示唆している。さらに、除去したウニの利用システムの開発やウニの生殖巣の増重促進のための高蛋白質餌料開発、効率的な給餌法について取り組んできたが、漁業者参加の実証試験や身入りだけでなく味を改善する餌料の開発等の課題が残った。

これらの成果を基に、本事業の第2期として平成6年度から8年度にかけて表1に示した課題について実施してきた。これらの課題は大きく4つの項目に分けることができる。即ち、第一としてウニ除去により回復した海藻群落をエゾバフンウニ人工種苗の放流漁場として利用するための技術開発、第二として新たな漁場でのウニ除去による海藻群落形成実証試験、第三として除去ウニの利用に関する技術開発、最後に新たに設計したウニ集約飼育施設における飼育試験である。

本報告書では、これらの多岐にわたる研究課題について得られた結果をとりまとめ紹介する。

表1 課題名、担当機関、及びとりまとめ担当者一覧

課題名	実施時期	実施機関	とりまとめ担当者
(1) 回復漁場の有効利用技術開発			
1) 旧除去区の遷移過程調査	H6～8	中央水試 ¹⁾	川井唯史 ¹⁾
2) 新除去区の遷移過程調査	H6～8	中央水試	川井唯史
3) ウニ類のフシスジモクに対する摂餌量の把握	H7～8	中央水試	吾妻行雄 ¹⁾
4) フシスジモクの部位別純生産量と被摂食圧の把握	H8	中央水試	川井唯史
(2) 海藻群落形成技術開発			
1) 海藻群落形成試験	H6～8	後志南部水指 ²⁾	千川 裕 ¹⁾
2) キタムラサキウニの各種海藻に対する摂餌率の年齢別及び水温別試験	H6～8	栽培センター ³⁾	名畑進一 ³⁾

課題名	実施時期	実施機関	とりまとめ担当者
(3) ウニ肥育技術の確立			
1) 養殖試験	H6~7	後志南部水指	千川 裕
2) 高蛋白配合飼料試験	H6~8	栽培センター	名畑進一
(4) 高密度肥育施設の開発			
1) 試験施設の開発	H6	水産部(現水産林務部)	同左
2) 試験施設での実証試験	H7~8	後志南部水指	千川 裕

*1:北海道立中央水産試験場資源増殖部, *2:後志南部地区水産技術普及指導所, *3:北海道立栽培漁業総合センター貝類部, *4:現東北大学農学部, *5:現北海道立稚内水産試験場資源増殖部

2. 調査方法

本事業の諸調査は、主に図1に示す寿都湾において実施した。

(1) 回復漁場有効利用技術開発

1) 旧除去区の遷移過程調査

a. 放流種苗の追跡および漁獲調査

1990年10月に、寿都町矢追地区の旧除去区(間口80m, 奥行き70m, 図2)に生息するウニ類を除去し、その周辺から侵入するウニ類を継続して除去することにより大型多年生海藻であるフシスジモクを中心とする海藻群落が発生された。ウニ除去後約2年半経過した1993年4月27日に実験区湾奥部の800m²(10×80m)の区画内(岩盤, 玉石地帯, 水深0.2~2.0m)に平均殻径15.5mmのエゾバフンウニ人工種苗30,000個体を放流し放流区とした。放流密度は(放流数)/(放流区の面積)が37.5個体/m²で、(放流数)/(造成藻場全体の面積)が5.3個体/m²である。放流した種苗は、寿都町ウニ種苗生産・中間育成施設で地先の親ウニを用いて1992年秋に採苗し、陸上育成したものである。

放流した種苗は、1995年6月までにほぼ2カ月に1回の割合で100個体前後を無作為に採取し、殻径を測定後再放流した。また放流後の海藻群落の現存量と種組成の変化を知るために放流区内の5定点周辺において1m²の方形枠内に生育する海藻を採集し、種別の重量を測定した。

種苗放流後約2年2カ月経過した1995年6月21日にダイバー5名が約2時間かけて潜水により実験区内に生息するエゾバフンウニを採取した。採取したエゾバフンウニ全数の殻径を測定し、漁獲対象サイズである殻径40mm以上の個体とそれ未満の個体を計数した。また漁獲物から無作為に100個体を抽出し殻径、体重および生殖巣重量(g, 湿重量)を測定し、生殖巣指数(生殖巣重量×100/体重)を求めた。また、Jensen(1969)¹⁾の方法により年齢を査定し第5生殖板の第1輪紋の最大横幅から人工種苗群と天然群に判別した。6月29日と7月13日には、それぞれダイバー7名が2時間潜水し、取り残されたエゾバフンウニを無作為に採取し、殻径4cm以上と4cm未満の個体に選別して計数した。

なお、水温は寿都測候所の観測資料を用いた。

b. ウニの分布と海藻類の生育の把握

1995年6月20日に、実験区に生息するウニと海藻群落の相互関係を把握するために、沖出し40mの調査線5本(L.1-5)を設定した(図3)。各調査線上の5m間隔に設けた調査線上で水深を調べ、1m²の方形枠を置き、枠内の海底地形を記録すると共に Braun-Blanquet(1964)²⁾による海藻被度を調べた。また枠内に生息したウニ類の殻径を水中にて計測した。また枠内の1/4m²に生育する海藻類を採取し、種別の重量(g, 湿重量)を測定した。

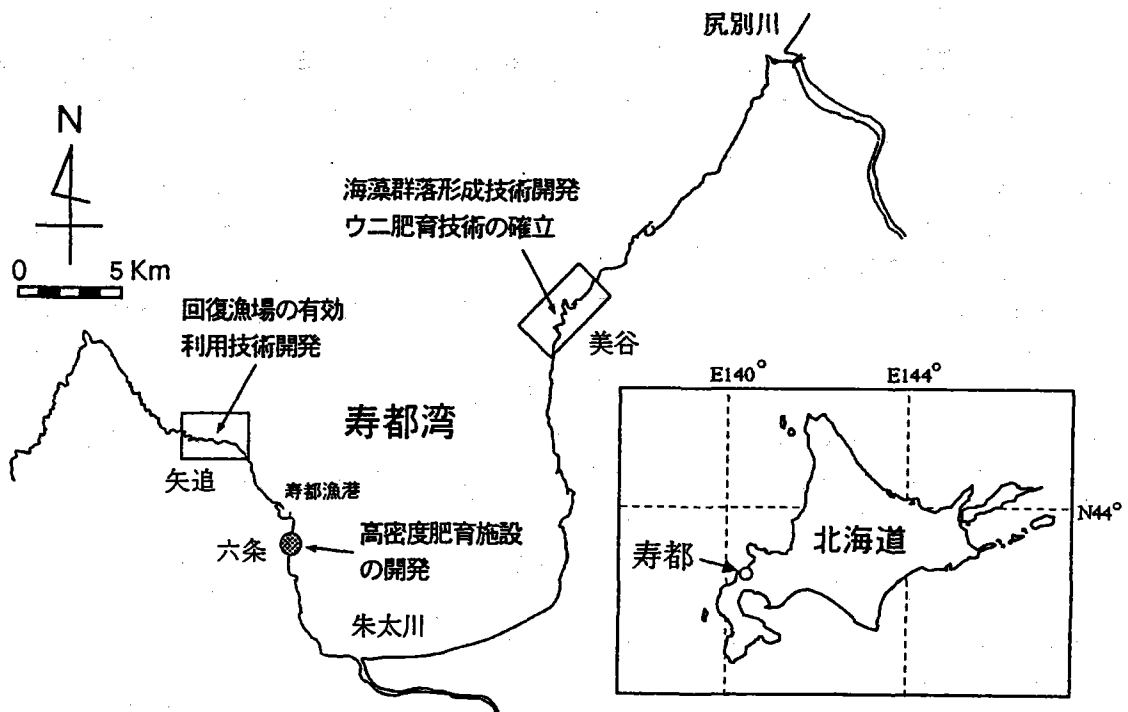


図1 磯焼け漁場有効利用技術開発現地調査場所

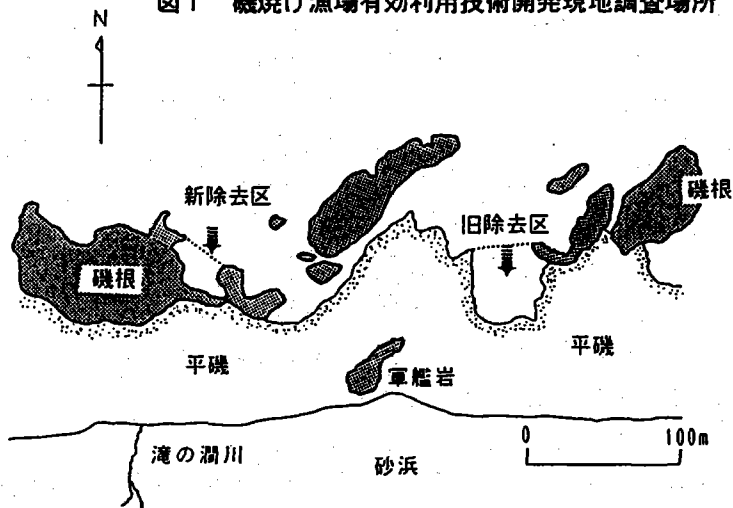


図2 新除去区と旧除去区の位置 (矢追)

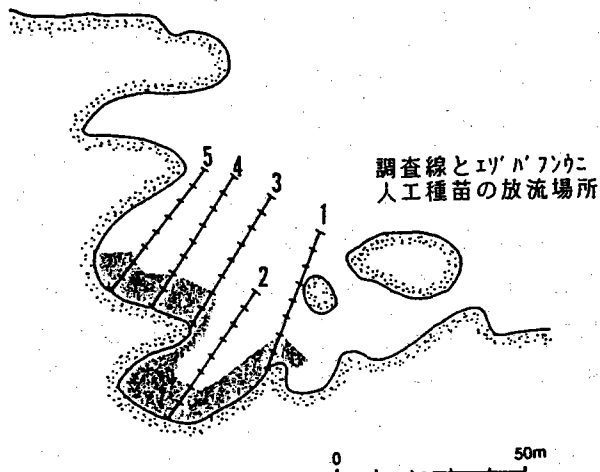


図3 旧ウニ除去海藻群落形成地区

2) 新除去区の遷移過程調査

a. 調査地区の予備調査

1994年9月28日に寿都町矢追地区の海藻群落形成地区から西方へ150m程離れた入江(間口40m, 奥行き70m)を新除去区に設定して調査を行った(図4, 5)。新除去区には50mのロープラインを張り、この両側0.5m内の生物を採集した。得られたウニ類は殻径を測定し、ライン10m単位(各10m²)で生息密度と現在量を求めた。また10m間隔に調査点を設け、その水深と底質を記録した。

b. 海藻とウニ類の現存量の推移

ダイバーによるウニの除去作業は1994年9月28日(予備調査後)に3,900個体、11月11日に2,800個体、1995年3月8日に500個体、11月6日に1,800個体、1996年7月1日に400個体、12月5日に1,200個体を行った。後述されるが1995年4月25日には平均現存量2.2kg/m²のフシスジモク群落が形成され(図6)、これは旧除去区でウニ除去後2年経過した状態でのフシスジモク現存量と同様であった。旧除去区での実験に根拠をおくと、現存量2kg/m²のフシスジモク主体の群落は、平均殻径15mmのエゾバフンウニ人工種苗を(放流区では37.5個体/m², 漁場全体では5.3個体/m²)放流しても摂餌圧を吸収でき、種苗は放流2年後に漁獲対象サイズまで成長することが期待できる。そこで寿都産エゾバフンウニ人工種苗15,000粒(平均殻径15.3mm)を1995年4月25日に湾奥(水深1m帯, 沖出し10m×海岸線40m, 400m²)で密度37.5個体/m²(海藻群落全体では5.3個体/m²)になるように放流した(図5)。調査は1995年4月25日、7月13日、10月17日、1996年2月5日、5月8日、11月21日、1997年2月24日に行った。調査時には実験区全体を覆うように、長さ20mのラインを岸から沖に向かって5本設置した(図5)。ライン5m毎に水深を記録し、10m毎に50×50cmの方形枠を用いて枠取りを行った。得られた海藻は種別に現存量を測定し、平均を求めた。ウニ類は殻径を記録した。

3) ウニ類のフシスジモクに対する摂餌量の把握

エゾバフンウニ人工種苗のホソメコンブとフシスジモクに対する摂食、消化・吸収ならびに成長を明らかにするために、1995年5月1日から1996年4月30日までの1年間にわたって飼育実験を行った。実験に用いたエゾバフンウニ人工種苗は、1994年10月に寿都町ウニ種苗生産・中間育成施設で地元の親ウニから採苗後室内育成し、1995年3月15日に北海道立中央水産試験場の60l角型水槽2基に10個体ずつ収容し、実験まで無給餌で室内飼育した。そして、実験開始後には、それぞれ北海道南西部日本海沿岸の余市町あるいは小樽市沿岸の潮間帯から漸深帯上部で採集したホソメコンブとフシスジモクを給餌する群を区分けした。

実験は濾過海水を掛け流し、換水率を1.0~1.5回転/時間の条件下で行った。ホソメコンブはその葉体を3~8日毎に、フシスジモクは付着器に小石を結びつけた藻体を4~12日毎にそれぞれ充分な量を与え、藻体上の葉上生物を除去し、ペーパータオルで上面の水分を除去した給餌と残餌の湿重量を測定した。また、給餌日には、実験に用いない両種の海藻を事前にペーパータオルで表面の水分を除去した湿重量と乾燥重量(105℃, 48時間)を調べ、その比率から実験に用いた給餌と残餌の湿重量を乾燥重量に換算した。水槽の底に溜まった排泄物は、ホースで吸い上げ、ナイロン製のネット(目合い200μm)に濾し取り、水分を十分に除去した湿重量と乾燥重量(105℃, 48時間)を測った。フシスジモクの残餌はホソメコンブと異なり、気泡や葉の破片が多数排泄物と混在するために、排泄物とともにバットに吸い上げ、ピンセットで両者を分離して、湿重量と乾燥重量を測定した。なお、12月11日から2月28日の期間に、天然域でのホソメコンブの葉体が枯死、脱落したために、事前に塩蔵したホソメコンブ葉体を給餌した。また、10月1日から1月31日まで、給餌したフシスジモクは、付着器、茎ならびに下葉であり、主枝と側葉は枯死、流出していた。

このように飼育した個体は、各飼育群毎に毎月ほぼ最終日に殻径と体重(湿重量)を測定し、月別の1

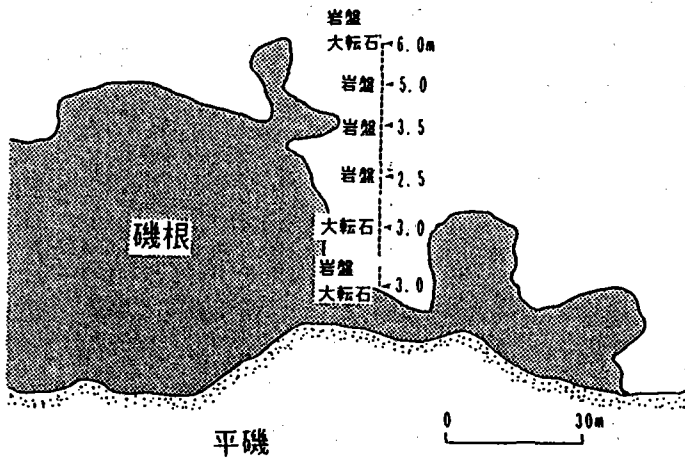


図4 新ウニ除去海藻群落形成地区

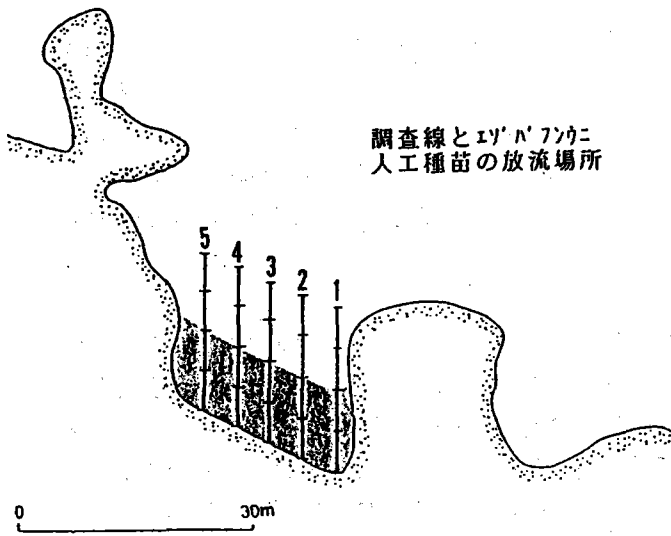


図5 新ウニ除去海藻群落形成地区

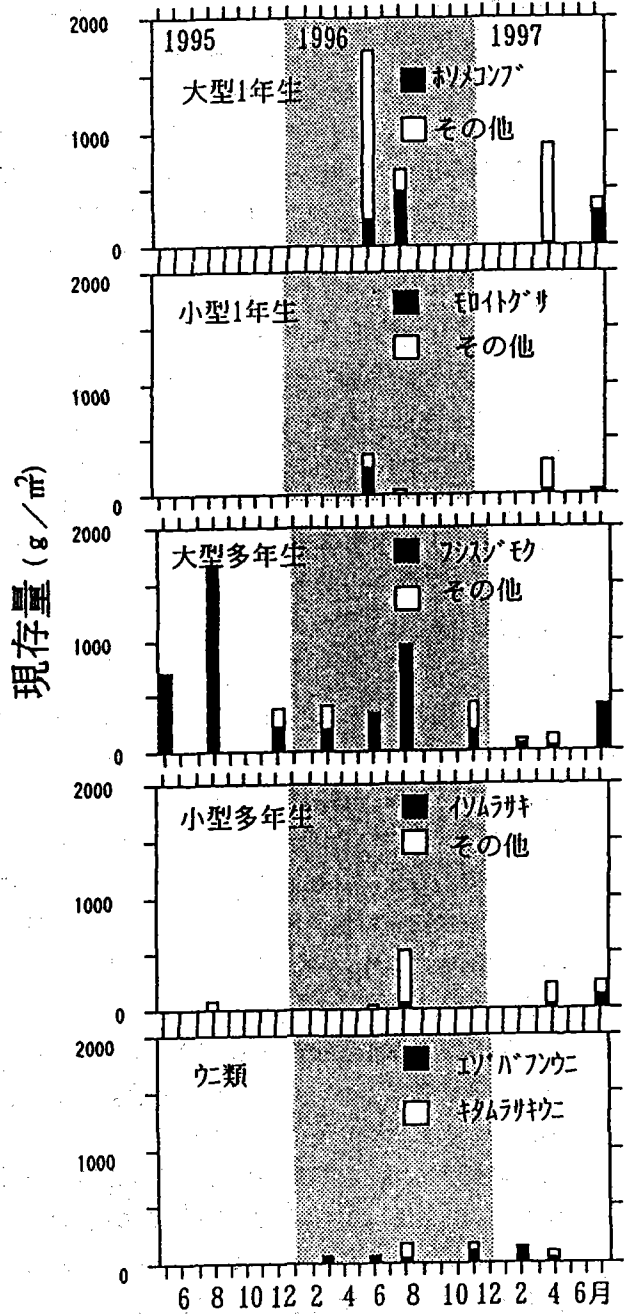


図6 生活型別の海藻とウニ類現存量の推移

個体1日当たりの摂食量と摂餌率，消化・吸収量ならびに消化・吸収効率を，また，月間の1個体当たりの成長率及び餌料転換効率を下記の式から求めた。

$$\begin{aligned} \text{日間摂食量} &= (\text{給餌量} - \text{残餌量}) / \text{個体数} / \text{各月の飼育日数} \\ \text{日間摂餌率} &= 1 \text{ 個体 1 日あたりの摂餌量} \times 100 / \text{各月の平均重量} \\ \text{日間消化・吸収量} &= \text{日間摂食量} - 1 \text{ 個体 1 日あたりの排泄物量} \\ \text{消化・吸収効率} &= \text{日間消化・吸収量} \times 100 / \text{日間摂食量} \\ \text{殻径の月間成長率} &= (\text{当月最終日の殻径} - \text{前月最終日の殻径}) \times 100 \\ &\quad / \text{当月の平均殻径} \\ \text{体重の月間成長率} &= (\text{当月最終日の体重} - \text{前月最終日の体重}) \times 100 \\ &\quad / \text{当月の平均体重} \\ \text{餌料転換率} &= \text{月間体重成長量} \times 100 / \text{月間摂食量} \end{aligned}$$

ただし，日間摂食量，日間消化・吸収量ならびに消化・吸収効率は乾燥重量値を，それ以外は湿重量値から計算した。

また，実験期間中の飼育水槽内の水温を水温センサー（東邦電子株式会社製）により，毎日午前10時に測定した。

4) フシスジモクの部位別純生産量と被摂食圧の把握

a. フシスジモクの成長と繁殖

調査場所は矢追地区(旧除去区)で行った(図7)。フシスジモク群落の中心部である水深0.5-1.0mで1996年4月から1997年3月にかけて毎月1回上旬を原則として，比較的大型の10個体を抽出して採集した。選ばれたサンプルは湿った状態で伸ばして全長を測定し，茎と主枝，側枝，下葉の湿重量を記録し(図8)³⁾，成熟の指標として生殖器床の有無を調べた。

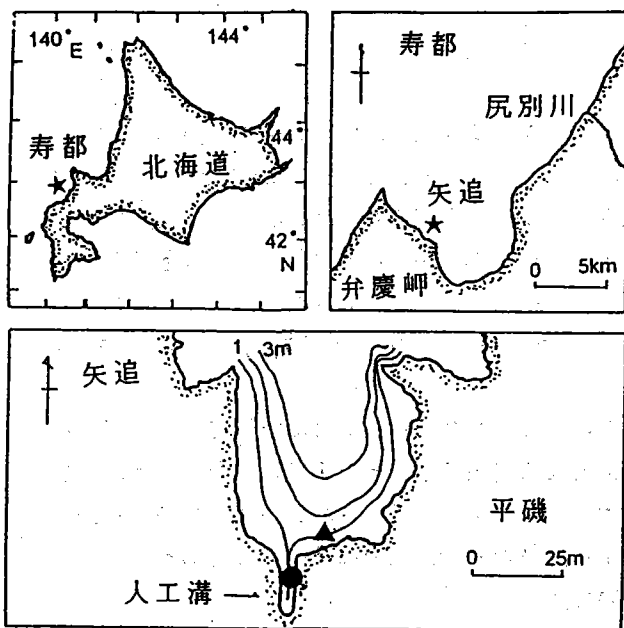


図7 旧除去区とウニ類を除去した溝

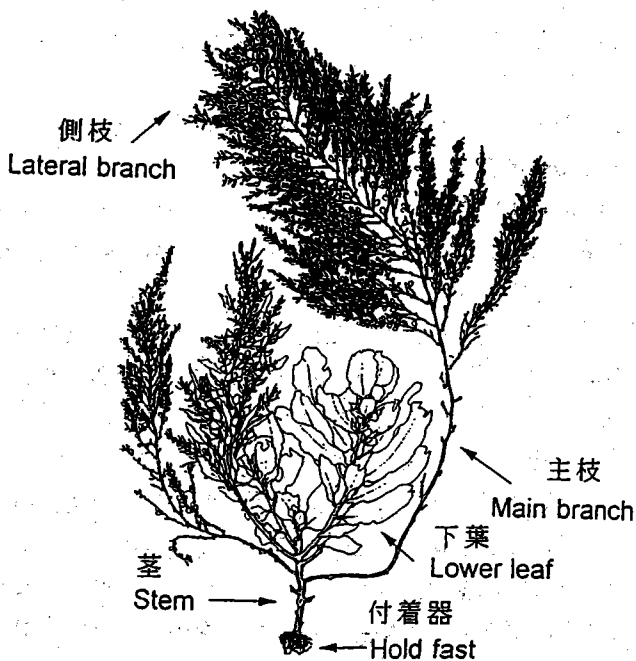


図8 フシスジモクの部位名
Yoshida (1983) を改変

b. フシスジモクの新規加入に及ぼすウニの食圧の影響

ウニ類の摂餌圧の有無による幼体の加入状況を調べるため、ウニを放流している場所と除去した場所を設けた(図7)。調査地区の溝(図7の黒丸)は長さ20m、幅2m、水深1.5m程で、間口が狭くウニ類が侵入しづらくなっているが、1996年4月以降、毎月定期的にウニ類の除去を行い密度を抑えた。また図7の黒三角の地点ではウニ類の除去を行っていない。両地区の水深0.5-1.0mにおいて、方形枠(1/4m²)を用いてフシスジモクの幼体とウニ類を採集した。ここでは湿重量0.2g以下のフシスジモクを幼体と定義した。なお、黒丸と黒三角の2地点において極浅所(水深0-0.5m)のフシスジモクの個体数密度や成熟時期が同様であることを予備観察により確認した。また得られたウニ類は湿重量を測定した。

c. フシスジモクの部位並びに体サイズ差による被食圧の差異

大型のフシスジモクの体の部位別、並びに前年に加入した幼体についてエゾバフンウニの被食圧の違いを明らかにするために、余市町にある北海道立中央水産試験場の室内水槽で試験を行った。試験に用いた水槽には砂濾過海水を毎時1換水でかけ流した。試験実施機関は1996年の6月12-18日で、この時期はフシスジモクの体各部が十分に成長し、かつ前年に加入した幼体がみられることに加え、エゾバフンウニの摂餌圧も向上する。6月10日に採集したサンプルから幼体と比較的大型の個体(全長30cm以上の成体)を選んだ。前者はそのまま、後者は茎と主枝、側枝、下葉にハサミで切って分離させた後、各15g(湿重量)をエゾバフンウニ人工種苗(47個体、平均殻径 25.2 ± 1.55 mm)を収容した60リットル水槽に投入した。6月15日と18日には残っている各部位の湿重量を測定した。実験期間中は毎朝10時に水槽の水温を測定した。

(2) 海藻群落形成技術開発

1) 海藻群落形成試験

寿都町美谷地区の磯焼け漁場に1,550m²(31m×50m)の試験区画を設定し(図9~10)、平成6年9月から平成8年3月まで、随時ウニ類(主にキタムラサキウニ)を潜水やたもで除去し海藻群落を形成させた。平成8年6月6日に試験区画の沖、水深8~12mに生息するキタムラサキウニのうち、殻径50mm以上の大型個体、6,400個体を4.13個体/m²の密度で移植放流した。その後、放流したウニの生殖巣指数(生殖巣重量×100/全重量)を9月まで毎月1回測定した。同年7月下旬と9月11日に漁業者によるたも採りを、9月12日には潜水夫による漁獲を行った。また、本試験期間中の試験区画内における海藻現存量の変化を調べるために、試験区画内に7調査点を設定し1/4m²枠内の海藻を随時採集した。

2) キタムラサキウニの各種海藻に対する摂餌率の年齢及び水温別試験

a. 1995年度

試験に用いた大型(殻径約49mm)と中型(殻径約33mm)のキタムラサキウニは、1995年5月16日に寿都町で採取した。小型(殻径約16mm)のウニは伊達市温水養殖センターと知内町漁業協同組合広域ウニ人工種苗生産施設で人工採苗した個体である。これらのウニはトリカルネット製の籠(80×80×40cm)に収容して約2週間無給餌で馴致飼育した。その後、大型は20lのアクリル水槽に各3個体、中型は各5個体、小型は10l水槽に各10個体を収容して、3週間の馴致飼育を行った。この間、試験開始10日前にコンブを一日間与えた。低水温区は約8℃、高水温区は約16℃で、海水は1時間当たり1~2換水となるようかけ流し、同時にエアレーションを行った。

摂餌試験①は1995年6月19日から23日にかけて、摂餌試験②は7月3日から7日にかけて各4日間行った。試験①終了後は、全ての個体に飽食量のコンブを与えて10日間飼育し、その後試験②を行った。摂餌対象とした海藻は、ウルシグサ、ワカメ、スジメ、エゾヤハズ、モロイトグサ、ホソメコンブの6種である。これらは寿都町の磯焼け漁場でウニを除去した後に着生する海藻の中で、量的に多いものである⁴⁾。なお、試験ではホソメコンブの代わりに養殖したマコンブを用いた。

b. 1996年度

試験に用いた個体は、1996年3月11日に寿都町沿岸で採取した大型(殻径約48mm)と、伊達市温水養殖

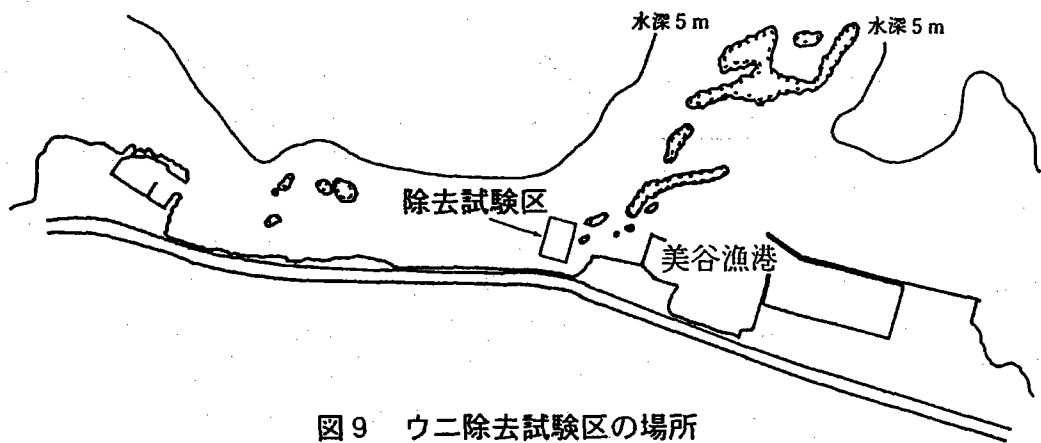


図9 ウニ除去試験区の場所

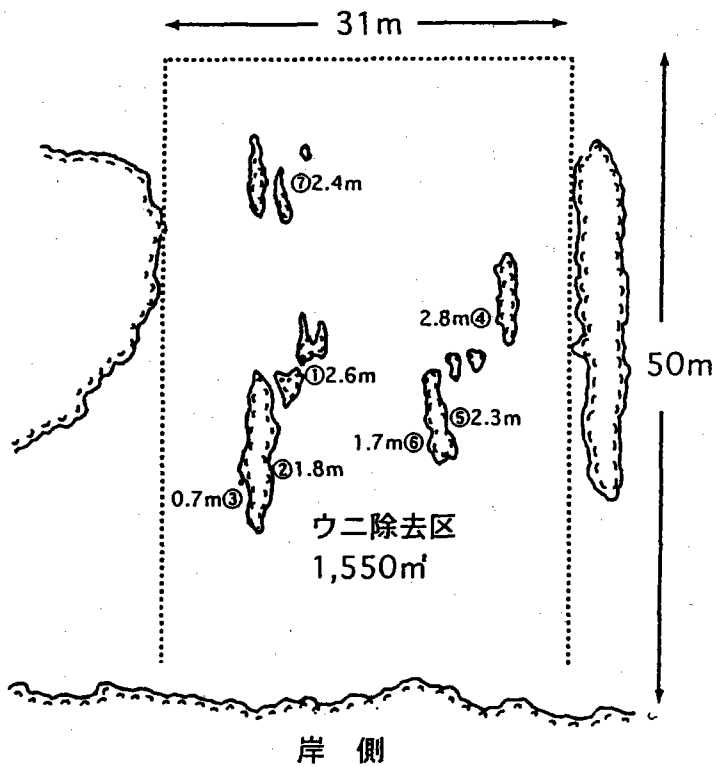


図10 ウニ除去区の配置図 (寿都町美谷)

①～⑦：海流調査実施場所を示し、数字はその場所の水深を表す。

センターで人工採苗した小型（殻径約24mm）のキタムラサキウニである。

これらはトリカルネット製の籠に收容し、養殖マコンブを与えて馴致飼育した。その後、大型個体は20 lの亚克力水槽に各5個体、小型個体は各10個体を收容し、1週間無給餌で飼育を行った。低水温区の水温は約9℃、高水温区は約17℃で、1時間当たり1～2換水となるよう調温海水をかけ流すとともに、エアレーションを行った。

摂餌試験③は小型・大型個体を用いて、摂餌試験④は大型個体のみを用いて6月21日から8月16日にかけて行った。小型個体に与えた海藻は、前年度の6種にフシスジモクを加えた7種である。大型個体にはフシスジモク・ホソメコンブ・モロイトグサの3種を与えた。なお、試験ではホソメコンブの代用としてミツイシコンブを用いた。

両年度とも、給餌は1週間に1度としたが、残餌が少なくなった場合は随時補給し、餌料は常に全個体が摂餌できる量を与えた。海藻はすべて8℃の海水をかけ流して保存したものを試験に用いた。また、海藻重量はペーパータオルで水分を良くふき取ってから測定を行った。海藻の付着器やコンブ類の成長帯・中肋部分は取り除き、フシスジモクは体の上部のみを与えた。また、ウニを入れない水槽を設けて餌料海藻の成長と末枯れ・流失量を把握した。餌料海藻の成分分析は釧路水産試験場加工部で行った。

(3) ウニ肥育技術の確立

1) 養殖試験

1994年9月27日に、寿都町美谷地区の旧船入り瀬（図11）に同地区のウニ除去区（海藻群落形成試験）から除去したキタムラサキウニと、同地区の沖水深12mから採捕したウニのうち、殻径50mm以上の個体を5,100個体と殻径40mm台の個体600個体を收容した。ウニの收容密度は40個体/m²であった。これらのウニに11月まではサケを、その後、1995年3月まではホッケを毎週給餌し身入りを図るとともに、3月から7月14日の出荷時までは養殖したマコンブを与えて味と色の改善を試みた。開始時と3月、6月及び終了時に生殖巣指数（生殖巣重量×100/全重量）を算出した。

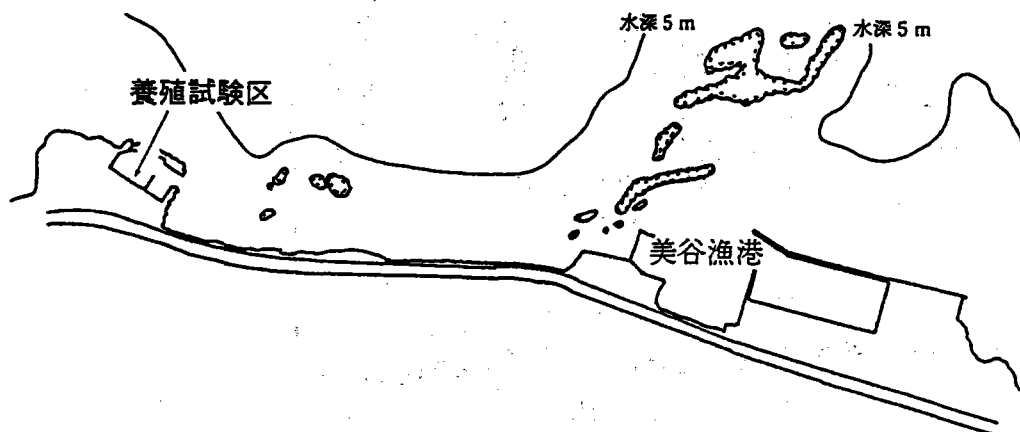


図11 キタムラサキウニ養殖試験区の位置

4) 高蛋白配合飼料試験

a. 1994年度

試験① 1994年10月26日から1995年2月8日まで行った。トリカルネット製の籠（80×80×40 cm，目合い8mm）に、ウニを各35個体收容し、18℃と8℃の調温海水、および無調温海水の3飼育条件を設定した。表2に示した配合飼料を1週間に1回、隔週給餌区は2週間に1回与えたが、18℃区は水温の悪化を防ぐため1週間分を2回に分けて与えた。1回に与える配合飼料は、隔週給餌区以外は次回までに残餌がある

程度とした。飼育試験終了時に生殖巣指数を求め、前年度までと同様の方法によって食味試験とエキスマミノ酸分析を行った。

試験② 1995年2月13日から4月20日まで行った。試験①で用いたウニの一部を除いてコンブを与え、すべて8℃の調温海水で飼育した。試験終了時に試験①と同様の処理を行った。

b. 1995年度

試験③ 8月2日にプラスチック製の籠(62×42×32cm)に各20個体のウニを収容し、9月14日まで表2に示した配合飼料とN社とU社の試作品を給餌した。試験終了時に前年度と同様の処理を行った。

c. 1996年度

試験④ トリカルネット製の籠に各40個体のウニを収容し、1996年1月14日から5月29日まで、配合飼料(前半はGLU、後半はGLY)を与えた。試験終了時に前年度と同様の処理を行った。さらに、残った個体をプラスチック製の籠に各20個体ずつ収容しなおして、5月29日から8月27日まで養殖マコンブを給餌した。試験⑤ 4月15日からプラスチック製の籠に各20個体を収容し、7月2日までO-2とP10Mの配合飼料を与えて飼育した。

試験⑥ 1996年9月に採取したウニをトリカルネット製の籠に収容し、コンブを与えて身入りをさせたウニと、1996年12月に採取した身入りの悪いウニについて試験を行った。1997年1月14日から、各20個体をプラスチック製の籠に収容し、表1に示した配合飼料のほかにコンブ配合飼料(原料はコンブと澱粉)およびN社とU社の試作品を用いて5月1日まで飼育した。

なお、本年度の食味試験は担当者数人の協議により、色調・味・身締りが良いものに3点、やや劣るものに2点、悪いものに1点を与え、苦みについてはほとんど無いものに3点、ややあるものに2点、かなりあるものに1点を与える方法で評価を行った。

本試験に用いたキタムラサキウニはすべて寿都町で採取し、無給餌で一定期間馴致飼育したものである。また、エキスマミノ酸の分析は北海道立中央水産試験場加工部に依頼した。

表2 配合飼料組成

					(%)
飼料の種類	澱粉	大豆ミール	コンブ粉末	米糠	添加物
1964年度 O-2	50	30	15	5	
OP	15	30		10	パイデックス-15, 海藻粉末-30
1995年度 GLU	65.5	23.3	11.2	0	L-グルタミン酸-10
GLY	65.5	23.3	11.2	0	グリシン-10
Color	65.5	23.3	11.2	0	アスタキサンチン-0.1, マンニト-0.1
P10	65.5	23.3	11.2	0	
1996年度 P10B	65.5	23.3	11.2	0	カロチン-1
P10K	65.5	23.3	11.2	0	カジメ抽出物-1
P10A	65.5	23.3	11.2	0	アスタキサンチン-1
P10M	65.5	23.3	11.2	0	アミノ酸-10

飼料は関西ペイントと函館水産蛋白加工k.k.による試作品

(4) 高密度肥育施設の開発

1) 試験施設の開発

高密度肥育施設は、夏期の小さな波もエネルギーとして利用するため、波浪エネルギー集中施設とし、波浪エネルギーを位置エネルギーに変換させ、一時貯水槽に蓄え、貯水槽内の海水は、海水流入口を経て導水路を通じ肥育槽に流入、必要以上のエネルギーは、施設外へ放出することを概念とした。

構造は、飼育管理が容易にでき、海水交換が頻繁に行われる構造で、水槽内流速0.2m/s以下、換水効率0.5換水/h以上を条件に設計した。

施設の取水口部を含む外寸は11m×13.4m、飼育試験を行う区画の広さは5×5×2mである(図12)。設置場所は、比較的冬期の静穏が保たれる寿都町六条地先海域を選定した。

2) 試験施設での実証試験

a. 第1回肥育試験

高密度肥育施設内(5m×5m×水深1.8m)内に垂直板を3枚設置し施設を4区画に分けた。各区画における垂直板の間隔は、岸側3区画が0.5m(岸側より区画番号を①, ②, ③とする), 沖側の1区画(区画番号④)が3.5mであった(図13)。区画④は対照区とするが、底面にトリカルネットが張っていないため区画外へウニが区画外へ移動可能であった。1996年3月11日に寿都町六条沖(水深10~16m)でSCUBA潜水により採取したキタムラサキウニを、区画①~③に1,100個体(49.3個体/m²), 区画④に800個体(16.6個体/m²)収容した。

しかし、結果で述べるように収容後に大部分の個体が死亡したため、5月13日に③と④の生残個体を回収し、①に移すとともに、沖からキタムラサキウニを採捕して③と④に収容し8月5日までの生殖巣指数の推移と生残率を調べた。

飼育試験期間中の水温を把握するために、記憶式水温計を表層と底層に設置した。また、毎月2回を基本として、水温、塩分、溶存酸素、pH、を測定し、水質の悪化が観察された時にはバックテスト(アンモニア、亜硝酸、COD)を行った。また、キタムラサキウニの生息状況を把握するために定期的に陸上から目視観察を行った。

給餌した餌は、魚肉(ホッケ)、乾燥コンブ、間引きコンブの3種類で、試験開始時から終了にかけてこれらの餌を順に替えて、テンダー式装置を用いて給餌した。生殖巣指数調査は、開始時、中間(2回)、終了時の計4回実施した。また、期間中の生残率を調べるために、SCUBA潜水により各区画内のキタムラサキウニを計数した。

b. 第2回肥育試験

ウニの生残率に対する区画の広さによる影響を調べるために、垂直板の間隔が0.5mの区画が4個(区画番号②, ③, ⑤, ⑥), 1mの区画が3個(①, ④, ⑦)の7区画を設定した(図14)。各区画の底面にはトリカルネットを張って区画外へのウニの移動を防いだ。基本的な収容密度は25個体/m²であったが、高密度の影響を調べるために0.5m間隔の試験区のうち③と⑥の密度を50個体/m²に設定した。

供試したキタムラサキウニは、1996年12月10日に寿都町六条沖(水深5~7m)からSCUBA潜水で採取したもので、区画番号①, ④及び⑦にはそれぞれ665個体、②には558個体、⑤には561個体、密度を高くした③には1,190個体、⑥には1,116個体を収容した。

試験期間中の水温と塩分を連続的に観測するために、記憶式の水温計を表層と底層に、塩分計を表層に設置した。溶存酸素とpHは月に2回を基本として測定し、水質の悪化が観察された場合には、バックテスト(アンモニア、亜硝酸、COD)を実施した。

使用した餌とその給餌方法については、最初は高蛋白配合飼料を用いて生殖巣の増重を図り、その後乾燥コンブと間引きコンブで味の改善を試みた。生殖巣指数の調査は試験開始時(12月10日)、試験期間中(2月18, 19日, 4月17日, 6月6日, 6月26日)と終了時(7月2日)に実施した。

試験期間中のウニの生残等を陸上及び潜水により観察した。

3. 調査結果

(1) 回復漁場の有効利用技術開発

1) 旧除去区の遷移過程調査

a. 放流種苗の追跡および漁獲調査

放流した種苗の平均殻径および放流区内の海藻現存量の推移ならびに期間中の水温を示した(図15)。放流した種苗の殻径は、放流後1993年5月から12月にかけてほぼ直線的に成長し、その平均値は30mmを超えた。その後、1994年の春季にかけて緩慢に成長し、6月から秋にかけてゆるやかに成長した。以後、種

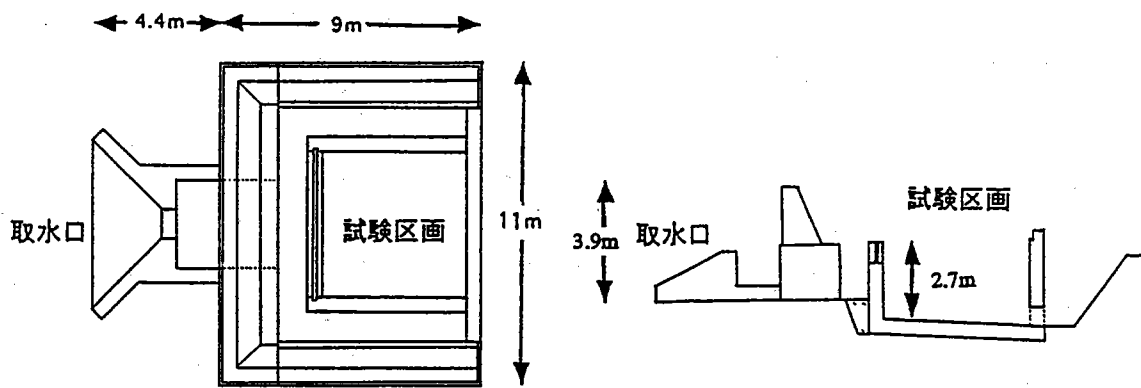


図12 高密度肥育施設平面図、断面図

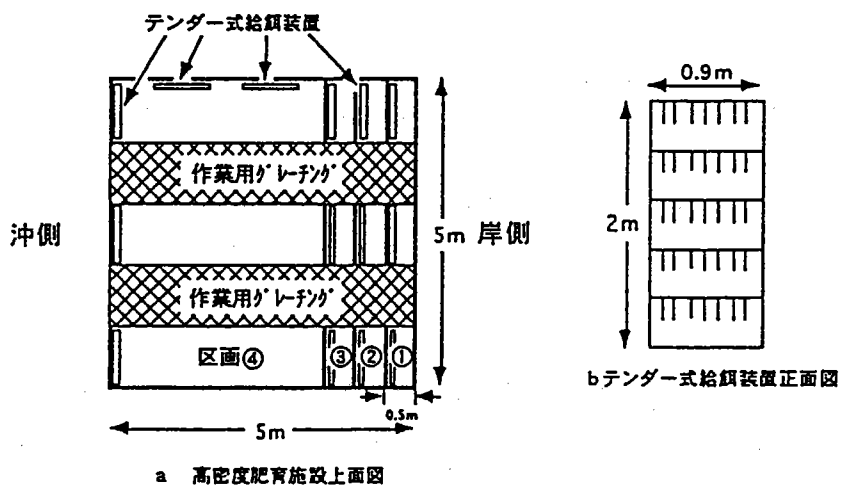


図13 高密度肥育施設試験区画図（第1回肥育試験用）

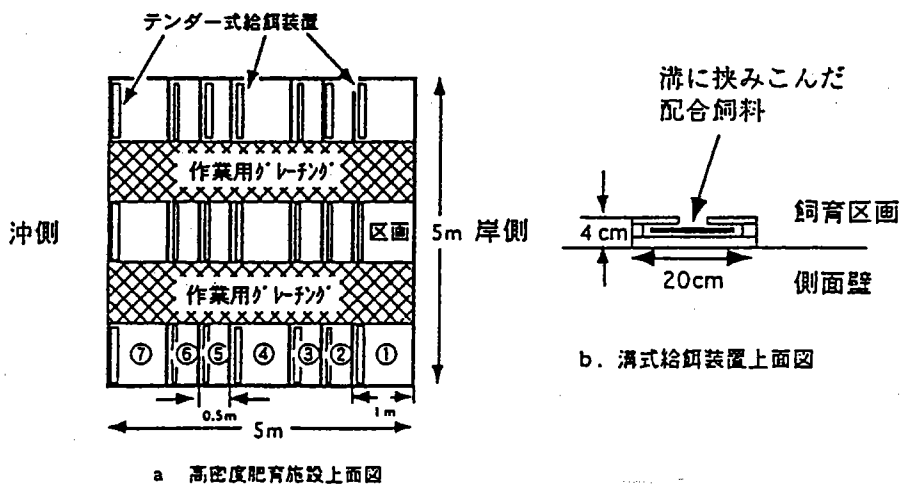


図14 高密度肥育施設試験区画図（第2回肥育試験用）

苗は緩慢に成長し、放流後約2年2カ月を経過した1995年6月20日の平均殻径は39.7mmであった。放流区内の海藻現存量は、放流初期の1993年4～6月にかけてフシスジモクに加えて、ワカメ、モロイトグサ等の春季に入植する1年生海藻の生育により、2,000g/m²前後で推移したが、秋から冬にかけてはフシスジモクが優占する群落となり500g/m²未満で推移した。1994年5月と6月には1年生海藻の入植量が前年に比較して極端に減少し、フシスジモクが優占するものの、その現存量は700～800g/m²台と前年に比べて少なかった。その後、夏から秋にかけてフシスジモクが優占する500g/m²未満の現存量を有する群落で推移した。1995年の3月と4月はフシスジモクを中心として現存量は600g/m²台で推移し6月には847.8g/m²に増加した。放流種苗の成長が1993年秋以降に停滞したのは、春季に出現する大型1年生海藻の減少に加えて、1994年の夏から秋にかけての高水温が長期間継続したことによるものと考えられる。一方、1993年7月12日には北海道南西沖地震で発生した津波により、放流種苗の一部が平磯に流出した。

6月21日に実験区で漁獲されたエソバフンウニの殻径組成は40mm前後にモードを有する単峰型を示した(図16)。このうち漁獲対象となる殻径40mm以上の個体は54.14%を占めた。3回の漁獲で採取されたエソバフンウニは合計19,376個であり、そのうち漁獲対象個体は46.3%を占めた。

6月21日に漁獲物から無作為に抽出した100個体の第5生殖板の最大横幅は300～400μmと600μmにモードがある2つの組成に分離された(図17)。過去の知見により前者は天然群で、後者は放流群である。100個体のうち放流群は55個体であり、それ以外はその輪紋数より1991年に発生した年級群が42個体と大部分を占めた。両群の殻径組成をみると、放流群は殻径40mm前後の個体が多いのに対して、1991年級群は40mm台の個体が多かった(図18)。一方、放流群と天然群の生殖巣指数はそれぞれ14.9および16.9であった。

漁獲物のうち人工種苗数はその混獲率から算定すると9,419個体となり、回収率は31.4%と推定された(表3)。

b. ウニの分布と海藻類の生育の把握

調査線上の水深は0.5～4.4mであり(図19)、海底はL.5で一部大転石(D)が存在するが、それ以外では岩盤を主体とする底質(E.F.G)で占められた(図20)。

出現した海藻類の現存量の平均値は847.7g/m²であり、そのうちフシスジモクは651.8g/m²と76.9%の高率を占めた。出現したウニ類はエソバフンウニとキタムラサキウニである。それらの平均密度は6.09個体/m²(エソバフン)、0.36個体/m²(キタムラサキ)、平均現存量は167.8g/m²および9.57g/m²であった。エソバフンウニは水深1～2m帯に10個体/m²以上の高い密度で生息している地点があり、特に現存量は1m帯で300g/m²以上の地点があった。しかし、いずれの水深帯においても密度と現存量は地点によって大きくばらついていた(図21)。エソバフンウニの分布を底質との関係でみると、高い頻度で出現した岩盤を主体とする底質で10個体/m²以上の高い密度が見られるが、同一の底質でも地点によって密度は大きくばらついていた(図22)。一方、海藻現存量を水深と底質との関係で見ると、3m以深に4,000g/m²以上生育する地点が見られるが、いずれの水深でも現存量にばらつきが大きかった。このうちフシスジモクは水深1m帯で1,000g/m²以上の現存量が見られた地点が多かった。一方、生育量は底質によって顕著な差は見られなかった(図23)。ウニ類の密度および現存量と海藻全体の現存量並びにフシスジモクの現存量との関係を示した(図24, 25)。エソバフンウニの密度が8個体/m²以下および現存量が250g/m²以下で海藻現存量が2000g/m²以上の地点が見られた。また、フシスジモクの現存量もエソバフンウニの密度が4個体/m²以下、現存量150g/m²以下で2,000g/m²以上の地点が見られたが、同じウニの密度と現存量でも生育する海藻現存量は大きく異なっていた。

2) 新除去区の遷移過程調査

a. 調査地区の予備調査

・出現した動物と海藻類

ウニ類の個体数密度と現存量を表4に示した。距岸距離に従ったウニ類の個体数密度には明らかな傾

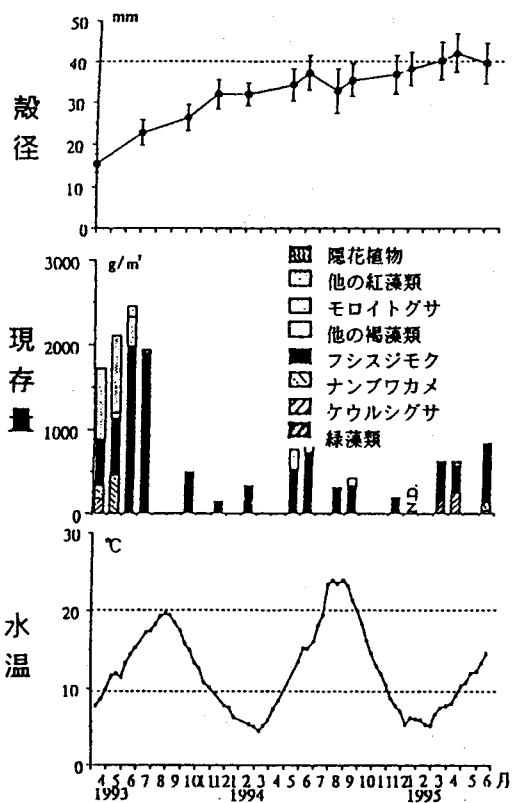


図15 種苗放流後の成長、海藻現存量の推移および水温の季節変化

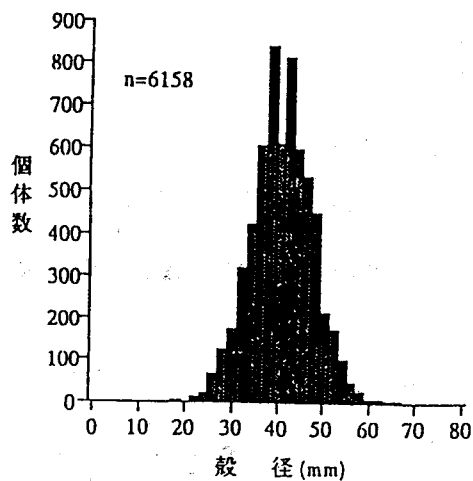


図16 漁獲物の殻径組成

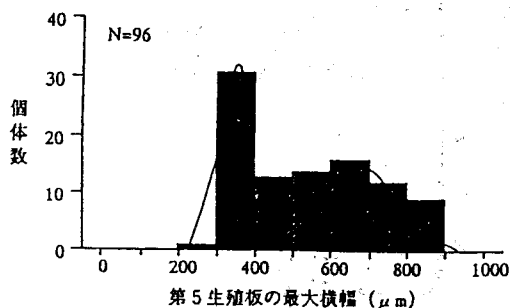


図17 第5生殖板の第1輪門の最大横幅の組成

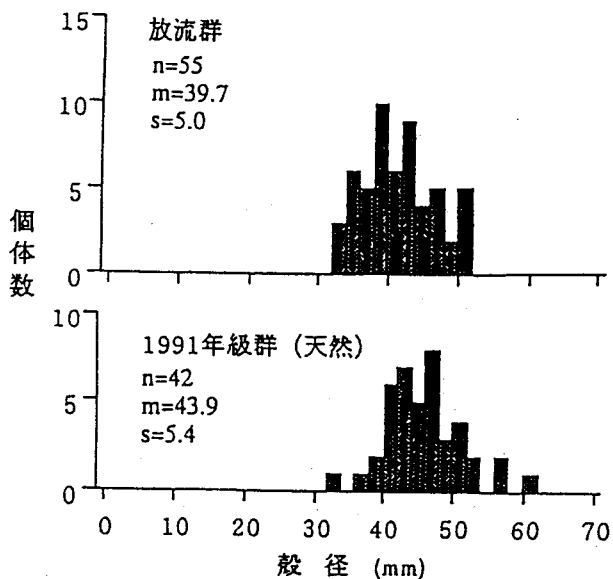


図18 放流群と1991年級群の殻径組成

表3 人工種苗の回収率

人工種苗放流数	30,000個体
漁獲個体数	19,376個体
漁獲個体のうち殻径32~62mmの範囲内の個体数	17,126個体
殻径32~62mmの範囲内における放流群の比率	55.0%
放流群の漁獲個体数※	$17,126 \times 0.55 = 9,419$
人工種苗の回収率	$9,419 \times 100 / 30,000 = 31.4\%$

※漁獲個体のうち殻径32mm未満および62mm以上の個体は天然群とみなした。

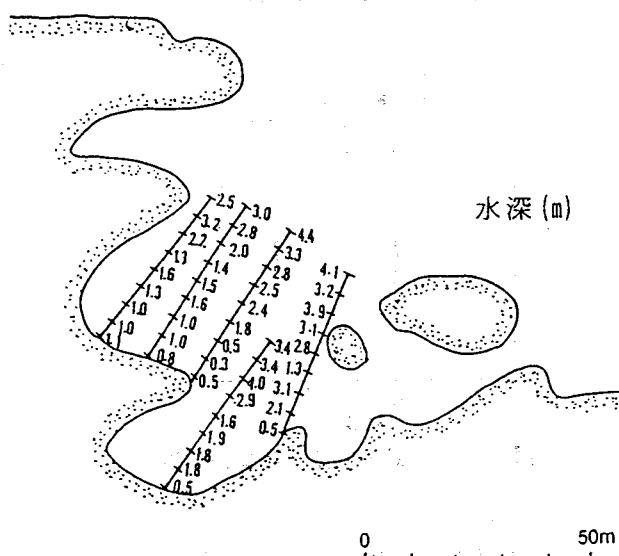


図19 旧ウニ除去海藻群落形成地区の水深

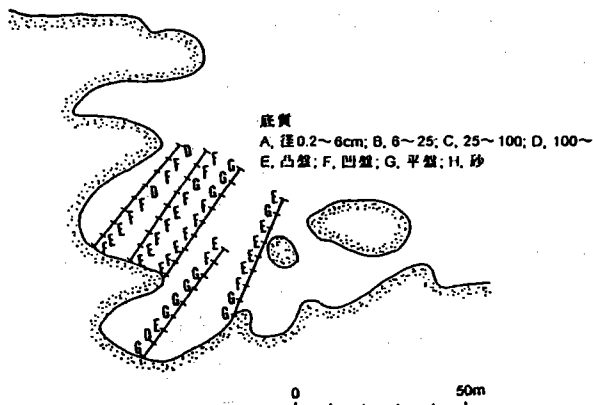


図20 旧ウニ除去海藻群落形成地区の底質

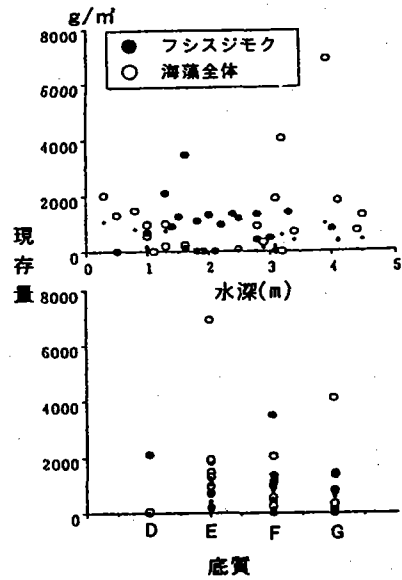


図23 海藻現存量と水深と底質の関係

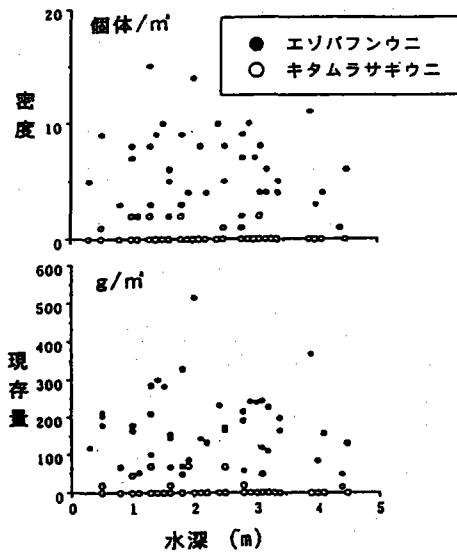


図21 ウニ類の密度および現存量と水深の関係

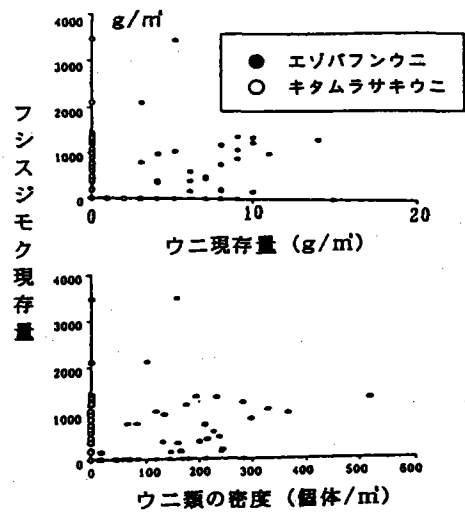


図24 ウニ類の密度および現存量と海藻現存量の関係

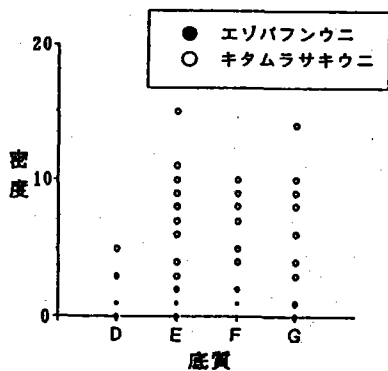


図22 ウニ類の密度と底質の関係

底質
A, 径0.2~6cm; B, 6~25; C, 25~100; D, 100~
E, 凸盤; F, 凹盤; G, 平盤; H, 砂

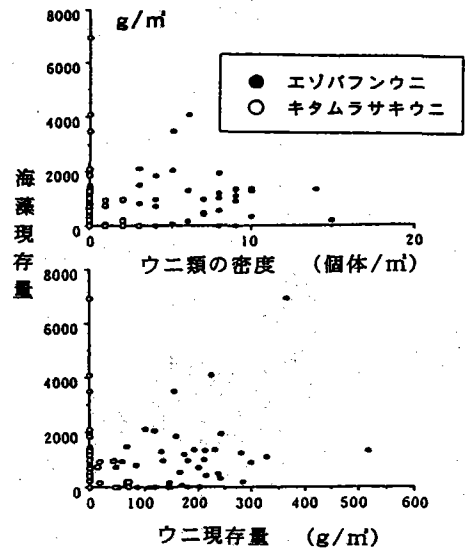


図25 ウニ類の密度および現存量とフシスジモク現存量の関係

向は認められなかった。しかし、現存量は水深とともに増大した。旧除去区のウニ類除去前の平均現存量はキタムラサキウニが $272.0\text{g}/\text{m}^2$ 、エゾバフンウニ $71.9\text{g}/\text{m}^2$ で、新除去区の平均現存量はキタムラサキウニ $228.2\text{g}/\text{m}^2$ 、エゾバフンウニ $2.4\text{g}/\text{m}^2$ で、新除去区がやや下回った。キタムラサキウニは各地点で得られたものの、エゾバフンウニは距岸距離41-50mでのみ採集された。旧除去区でのキタムラサキウニの平均個体数密度は、 7.6 個体/ m^2 で、新除去区の 4.5 個体/ m^2 を上回ったものの、旧除去区の平均殻径は 41.2mm であり新除去区の 46.7mm をやや下回った。また、旧除去区では採集されたエゾアワビ (0.1 個体/ m^2)が本調査では採集されなかった。

調査地区の岩肌は無節石炭藻に覆われ、直立型の高藻は見られなかった。

・水深と底質

調査地区の主な底質は岩盤、水深は $2.5-6.0\text{m}$ で旧除去区での予備調査の結果(主な底質、岩盤; 水深、 $1.2-6.9\text{m}$)と大差が無かった(図4)。

b. 海藻とウニ類の現存量の推移

海藻類、ウニ類の現存量の推移を示した(図6)。出現した海藻(草)は表5に示した。1995年の7月に現存量 $1.9\text{kg}/\text{m}^2$ でフシスジモク中心の群落が形成され、ウニ放流後、その現存量は経年的に減少したが2年間、サンゴモ平原に戻らなかった。また放流された人工種苗は放流2年後に平均殻径が 5cm に達した(図26)。

3) ウニ類のフシスジモクに対する摂餌量の把握

a. 水温

実験期間中の水温は、5月1日の 10.7°C から8月11日の 24.5°C までほぼ直線的に上昇し、その後8月21日の 20.5°C まで一時下降したが、9月1日には 23.3°C まで再び上昇した。その後、水温は12月上旬の 8°C まで急激に低下し、1月下旬まで $5.1\sim 6.8^\circ\text{C}$ で変動し、2月上旬には $4.2\sim 4.7^\circ\text{C}$ と最も低下してから4月30日の 8.6°C へと上昇した(図27)。

b. 摂食

エゾバフンウニ人工種苗の月別の日間摂食量と日間摂餌率を図2に示した。1個体が1日当たりに摂食したホソメコンブの乾燥重)は5月の 48mg から7月の 154mg へと加し、8月から10月までは $101\sim 125\text{mg}$ で低く推移した。摂食量は11月以降に急激に増加し、12月から2月には $270\sim 301\text{mg}$ で高く推移し、3月の一時的な減少を経て、水温が上昇する4月には 361mg へと増加した(図28A)。摂餌率は5月と6月にそれぞれ 17.3% および 17.9% と高く、その後急激に減少して8月から11月まで $5.0\sim 6.8\%$ で推移した。12月には 13.8% へと一時増加するが、1月から3月には 5.9 から 7.7% で推移し、4月には 9.2% へと摂食量と同様に増加した(図28B)。

フシスジモクの日間摂食量は5月の 36mg から9月の 359mg へと著しく増加し、12月の 86mg まで急激に減少した。その後、摂食量は水温が最も低下する2月まで約 100mg で低く推移し、水温の上昇する3月以降から、4月の 382mg へと著しく増加した(図28A)。摂餌率は摂食量と同様な季節変化を示し、5月の 10.62% から7月の 21.14% へと増加し、8月の 15.2% の一時的な低下を経て、9月には再び 21.11% の高い値を示した。しかし、その後摂餌量の急激な減少に対応して、12月の 3.2% への著しい減少を経て、4月には 11.6% へと増加した(図28B)。フシスジモクに対する摂食量と摂餌率はホソメコンブよりも、7月から10月に高く、11月から3月に低下する明確な季節的な相違が認められた。

消化・吸収

日間消化・吸収量と消化・吸収効率の季節変化を図29に示した。ホソメコンブに対する消化・吸収量は5月の 31mg から6月と7月の 88mg および 90mg へと増加した後減少し、8月から10月には $45\sim 65\text{mg}$ の範囲内で低く推移した。その後、消化・吸収量は12月の 166mg へと増加するが、1~3月には $86\sim 167\text{mg}$ の範囲で

表4 新除去区におけるウニ類の出現状況

距岸距離 (m)	キタムラサキウニ		エゾバフンウニ	
	密度 (個体数/m ²)	現存量 (mm)	密度 (個体数/m ²)	現存量 (mm)
0-10	3.2	104.6	0	0
11-21	4.7	196.9	0	0
21-30	2.2	128.5	0	0
31-40	6.9	365.7	0	0
41-50	5.3	335.5	0.3	7.3
平均	4.5	228.2	0.1	2.4

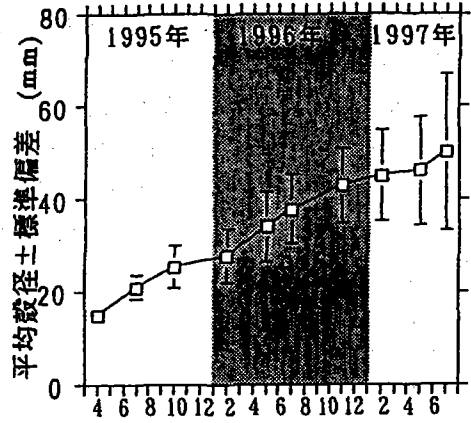


図26 放流したエゾバフンウニ人工種苗の成長

表5 出現した海藻(草)類

大型1年生

- ウシクサ *Desmarestia ligulata*
- ウシクサ *D. viridis*
- ウメ *Undaria pinnatifida*
- スシメ *Costaria costata*
- ネジメ *Laminaria religiosa* *
- アサキ *Sargassum horneri*

大型多年生

- スサキ *Phyllospadix iwatensis*
- アサキ *Agarum crathrum*
- アサキ *Sargassum confusum*
- ミヤベ *S. miyabei*
- ウミトナリ *S. thunbergii*
- イソノネ *S. yezoense*

小型1年生

- イソトク *Monostroma angicava*
- ヒラメ *Enteromorpha compressa*
- アサキ *Ulva pertusa*
- キヌクサ *Cladophora stimpsonii*
- アサキ *Colpomenia sinuosa*
- ヒヨク *Petalonia fascia*
- アサキ *Scytosiphon lomentaria*
- アサキ *Punctaria latifolia*
- アサキ *Porphyra yezoensis*
- アサキ *Bonnemaisonia hamifera*
- ウミウメ *Nemalion vermiculare*
- イソメ *Hyalosiphonia caespitosa*
- アサキ *Palmaria palmata*
- アサキ *Chrysmenia wrightii*
- アサキ *Rhodymenia pertusa*
- アサキ *Aglaothamnion callophyllidicola*
- アサキ *Campylaephora crassa*
- アサキ *Ceramium japonicum*
- アサキ *C. kondoi*
- アサキ *Dasya sessilis*
- アサキ *Heterosiphonia japonica*
- アサキ *H. pulchra*
- アサキ *Delesseria serrulata*
- アサキ *Polysiphonia japonica*
- アサキ *P. morrowii*

小型多年生

- イソ *Dictyopteris divaricata*
- アサキ *Dictyota dichotoma*
- アサキ *Gelidium elegans*
- アサキ *G. vagum*
- アサキ *Bossiella cretacea*
- アサキ *Corallina pilulifera*
- アサキ *Grateloupia filicina*
- アサキ *G. okamurae*
- アサキ *Chondracanthus tenellus*
- アサキ *Chondrus elatus*
- アサキ *C. ocellatus*
- アサキ *C. yendoi*
- アサキ *Mazzaella japonica*
- アサキ *Ahnfeltiopsis flabelliformis*
- アサキ *Champia parvula*
- アサキ *Lomentaria hakodatensis*
- アサキ *Acrosorium yendoi*
- アサキ *Chondria crassicaulis*
- アサキ *Laurencia intermedia*
- アサキ *L. nipponica*
- アサキ *L. okamurae*
- アサキ *L. saitoi*
- アサキ *Neorhodomela aculeata*
- アサキ *Symphyocladia latiuscula*

エゾノネジメとホソメコンブは新除去区のみで出現

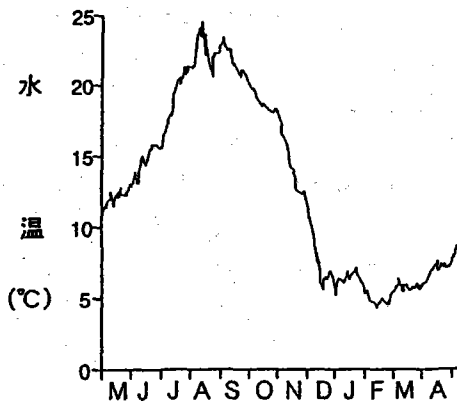


図27 水温の変化

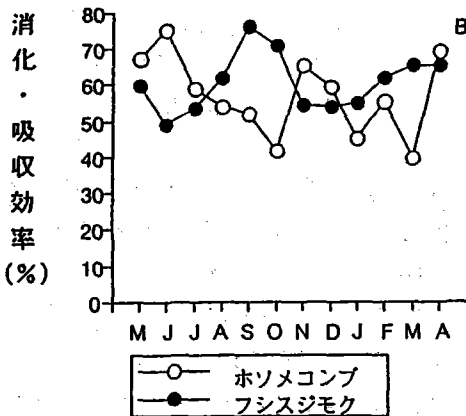
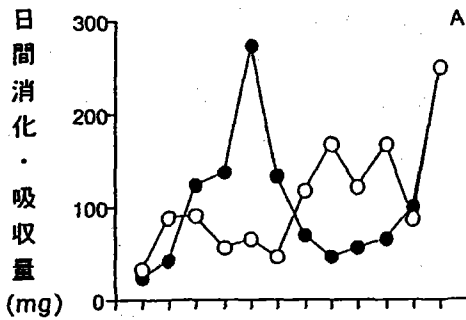


図29 日間消化・吸収量と消化・吸収効率の月別変化

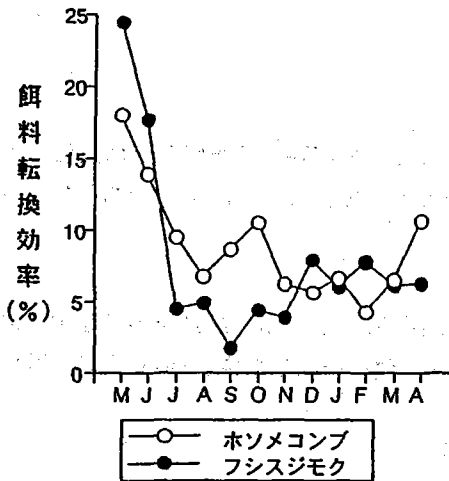


図31 餌料転換効率の月別変化

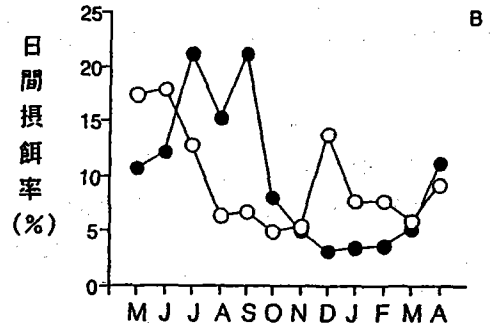
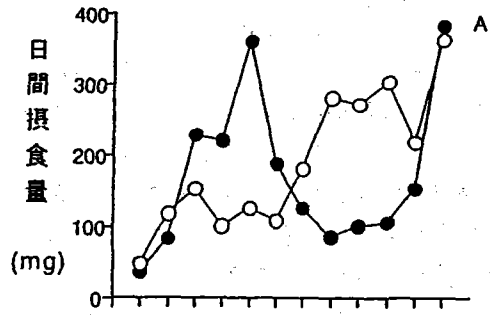


図28 日間摂食量と摂餌率の月別変化

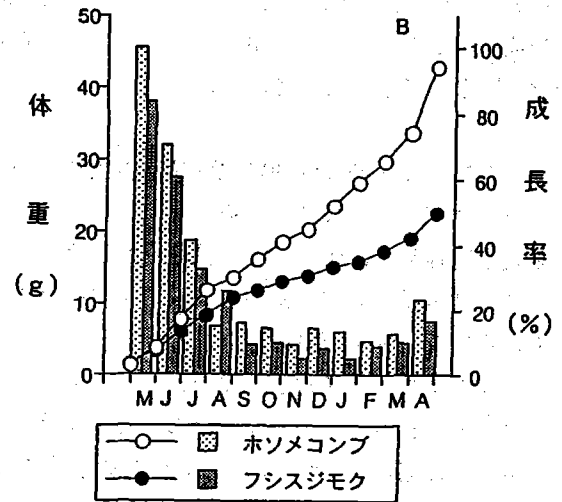
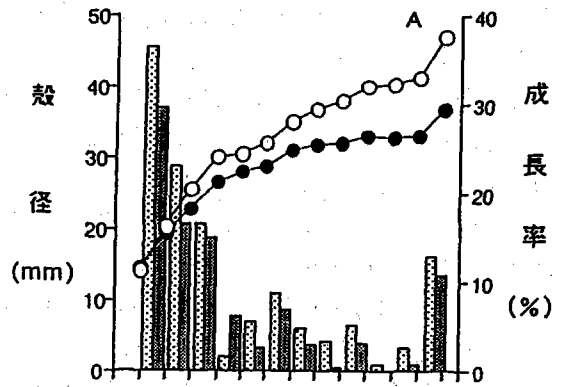


図30 殻径と体重の成長過程および成長率の月別変化

変化し、4月には249mgへと増加した。フシスジモクに対する消化、吸収量は5月の22mgから9月の272mgへと著しく増加した。フシスジモクに対する消化・吸収量は摂食量と同様に、ホソメコンブよりも7月から10月に高く、11月から2月に低い季節的に明確な相違が認められた(図29A)。

ホソメコンブとフシスジモクを給餌したウニの消化・吸収効率は、それぞれ39.4~74.9%および48.8~75.9%の範囲内で変動した。ホソメコンブの消化・吸収効率は、6月の最高値から10月の41.6%まで低下し、その後11月と4月に増加し、1月と3月に低下した。フシスジモクの消化、吸収効率は6月の最低値から、消化、吸収量同様に9月の最高値へ増加し、その後11月から1月までは53.9~54.9%台で推移した後、2月以降増加した。フシスジモクに対する消化、吸収効率は、ホソメコンブに比べて6月に低く、9月と10月に明瞭に高い傾向が認められた(図29B)。

成長

殻径と体重の月別の成長過程と成長率を図4に示した。ホソメコンブを給餌した人工種苗の殻径と体重は実験開始時の14.0mm, 1.2gから翌年4月330日の46.9mm, 42.6gへと成長した。成長率は5月の36.4%の最高値から、8月の1.53%へと急激に低下した後、10月の8.6%へと増加した。成長率は1月から3月までは6%以下で推移するが、特に、水温が低下する2月には0.7%と極めて低かった(図30A)。体重の成長率も5月の100.4%から減少し、8月から3月までは9.3~15.0%で推移した(図30B)。4月には殻径と体重の成長率はいずれも増加した。

フシスジモクを給餌した人工種苗の殻径と体重は実験開始時の14.4mm, 1.3gから終了時の36.7mm, 22.3gに達し、ホソメコンブよりも殻径と体重の成長量はそれぞれ11月から3月および9月から3月までの期間に顕著に低下した。殻径の成長率は5月の29.5%の最高値から9月の2.5%まで減少した。特に、12月と3月の殻径の成長率は、それぞれ0.31%および0.64%と極めて低く、2月には成長を停止した(図30A)。体重の成長率も5月から9月まで低下するが、その後11月と1月には、いずれも5.3%と最も低下した。4月にはホソメコンブと同様に殻径と体重の成長率は増加した。また、フシスジモク給餌群の成長率は8月についてのみホソメコンブ給餌群を上回ったことが特徴的だった。

両グループの餌料転換効率を図31に示した。ホソメコンブの餌料転換効率は、5月の18.0%から8月の6.7%へと急激に減少した後、10月の10.5%へと増加した。その後11月から1月は5.5~6.6%の範囲内で低く推移し、4月の10.6%へと増加した。フシスジモクの餌料転換効率は5月の24.3%から6月の13.8%とホソメコンブ給餌群よりも高い値を示し、7月の4.4%へと著しく低下した。その後11月までは、9月に一時1.7%の最低値を示しつつ、4%台と、ホソメコンブ給餌群に比べて極めて低く推移した。そして、12月に7.9%へと上昇した後、4月まで5.9~7.7%の範囲内で変動した。このように、フシスジモクに対する餌料転換効率は5月と6月にホソメコンブよりも高く、8月から10月には低く、この時期の両海藻に対する消化、吸収効率と相反していた。

4) フシスジモクの部位別純生産量と被摂食圧の把握

a. フシスジモクの成長と繁殖

全長と現存量には明らかな季節変化が認められた(図32)。特に側枝の現存量は明確な季節変化を示し、その変化は全長と同様であった。フシスジモクの全長と側枝が最大に成長したのは7月であった。生殖器床の出現は7-8月だけに限られた。

b. フシスジモクの新規加入に及ぼすウニの食圧の影響

ウニ類の現存量とフシスジモクの幼体の個体数密度を示した(図33)。ウニ類の摂食圧が存在する場所(旧除去区の放流場所)ではフシスジモクの幼体が見られないが、ウニ類を排除した場所(旧除去区の溝)では幼体が得られた。

c. フシスジモクの部位並びに体サイズ差による被食圧の差異

室内水槽の水温は平均 13.2 ± 0.45 (S.D.) $^{\circ}\text{C}$ であった。各部位によってエゾバフンウニの摂食圧は異なり、実験前の重量を100%とすると、実験後に残った重量は、幼体、側枝では0%、下葉では40%、茎と主枝では45%であった(図34)。

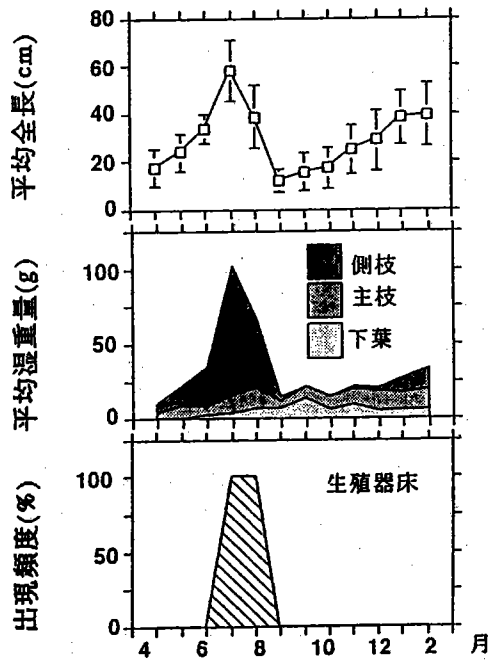


図32 フシスジモクの繁殖

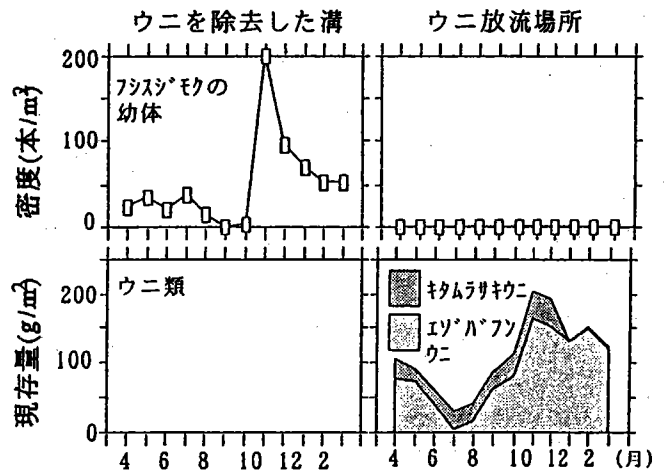


図33 旧除去区の放流場所とウニ類を除去した溝におけるフシスジモク幼体の密度とウニ類現存量

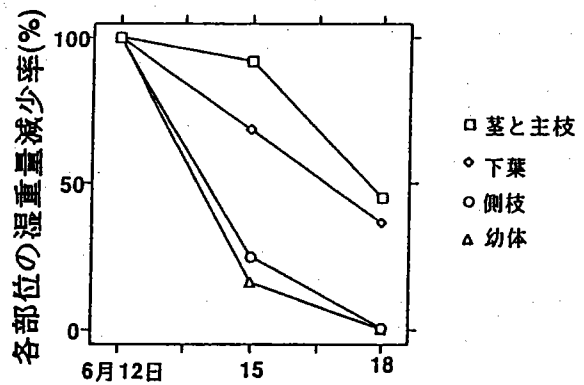


図34 フシスジモクの部位別被摂食圧の差異

(2) 海藻群落形成技術開発

1) 海藻群落形成試験

a. ウニ類の除去

平成6年9月から平成8年3月までに、潜水ととも採りにより試験区画内のウニ類を延べ12回除去した(表6)。除去したウニの数はキタムラサキウニが20,772個体(97%)、エゾバフンウニが647個体(3%)であった。

b. 海藻現存量の推移

ウニ類除去後1年目(平成6年9月から平成7年8月)の間は5月9日に最大現存量を示し、7調査点の平均で3.74kg/m²であった。種別ではモロイトグサが最も多く2.30kg/m²であり、次いでワカメ、ホソメコンブ、スジメ、イソムラサキ、ケウルシグサが続いた(図35)。その後、海藻現存量は徐々に減少し、6月20日には2.93kg/m²、7月26日には1.41kg/m²、8月29日に0.5kg/m²であった。

ウニ類除去後2年目(平成7年10月～平成8年8月)では10月12日に0.26kg/m²と低い値を示した。この時点で生育していた海藻はホソメコンブ、フシスジモク、イソムラサキ等であった。平成8年5月9日には3.78kg/m²で前年の同じ月の値とほぼ同じであった。6月14日には5.04kg/m²と最大になり、前年の同時期と比較するとホソメコンブが約6倍に増加していた。

同年6月6日に、殻径50mm以上の大型のキタムラサキウニを4.13個体/m²の密度で放流した。その後の海藻現存量は、前述したように6月14日に約5kg/m²の高い値を示したが、その後7月25日には2.45kg/m²、8月28日後には0.42kg/m²と減少した。

c. 移植放流したキタムラサキウニの生殖巣の変化

試験区画に移植したキタムラサキウニの生殖巣指数の変化を表7に示した。移植時の平均生殖巣指数は3.7であったが、7月25日には10.1、8月28日には14.3、9月12日には17.3と増加した。生殖巣指数の増加に伴い組成の裾は広がり、9月には20以上の個体も多く現れた(図36)。

表7 移植放流したキタムラサキウニの生殖巣指数の変化(平均±標準偏差)

測定日	測定個体数	殻径(mm)	生殖巣重量(g)	生殖巣指数
平成8年6月6日	64個体	57.4±6.6	2.3±22.1	3.7±1.4
7月25日	50個体	55.4±4.9	9.2±17.1	10.1±3.4
8月28日	50個体	52.1±4.7	7.1±18.2	14.3±3.7
9月12日	50個体	51.5±6.0	9.3±16.8	17.3±3.7

2) キタムラサキウニの各種海藻に対する摂餌率の年齢別及び水温別試験

a. 1995年度

キタムラサキウニを約8℃と約16℃の水温で飼育し、各種海藻に対する摂餌率と成長率を求めた。摂餌試験①②の水温は低水温区が8.3～9.0℃、高水温区が16.4～17.3℃で、これは寿都沿岸の4月下旬～5月上旬と6月下旬～7月上旬の水温であった。また、試験に用いたキタムラサキウニは、寿都での調査結果⁴⁾から、大型個体は5～6齢、中型個体は3齢と考えられ、人工採苗した小型個体は1齢であった。なお、摂餌試験②の開始前に、低水温区で摂餌活動が低下したり棘が脱落して死亡する個体が生じたので、正常な個体と入れ替え、水温を13℃に変更した。

摂餌試験①②で得られたウニの日間摂餌率（1日当たり1個体の摂餌量×100/平均体重）を表8に示した。低水温区では摂餌量の個体差が大きく、一定の傾向はみられなかった。図37に示したように高水温区での摂餌率は、ホソメコンブを与えた場合⁵⁾と同様に、6種の海藻とも小型個体で高く、大型個体で低い傾向が認められた。また、両区ともケウルシグサとモロイトグサおよびエゾヤハズに対する摂餌率が低かった。

b. 1996年度

摂餌試験③では低水温区（8～9℃）を設定したが、前年度と同様に1～2週間で脱刺したり死亡する

個体が生じたので試験を中止し、約17℃の高水温区だけで行った。なお、高水温区では試験終了まで死亡個体はみられなかった。

高水温区の各水槽の平均水温は最低が16.8、最高が17.1℃で、これは寿都沿岸の7月上旬の水温に相当した。小型・大型個体の日間摂餌率と日間摂餌量（給餌量-残餌量）/個体数/飼育日数を図38に示した。前年度と同様に、摂餌量は大型個体の方が多かったが、摂餌率は小型個体の方が高かった。また、摂餌量・摂餌率はともにコンブ目の3海藻で最も高く、次いでフシスジモク・ケウルシグサ・モロイトグサ・エゾヤハズの順であった。なお、8月以降フシスジモクとケウルシグサでは枯死・流失がみられたが、給餌量の補正を行わなかったため、この2種の摂餌量はやや多く表現されている。フシスジモクでは葉や小枝は良く摂餌されたが、主枝は食べ残さる場合が多かった。体重の平均月間成長率（体重の成長量×100/平均体重）を図39に示した。成長率は摂餌率と同様に、コンブ目の3海藻を与えた場合が最も高かった。摂餌試験④で得られた大型個体の2カ月後の生殖巣指数を図40に示した。給餌開始時の生殖巣指数は9.0であったが、コンブを与えたウニの生殖巣指数は24.0となった。しかし、フシスジモクを与えた場合は10.8、モロイトグサを与えた場合は8.0で、ともに身入りが悪かった。餌料とした海藻の成分分析結果を表9に示した。成長や身入りの良かったコンブ目の3海藻の場合にはアルギン酸やマンニトールなどの多糖類が多く含まれていた。これらの海藻に比べると、フシスジモクは全窒素・アルギン酸・マンニトールなどの含有

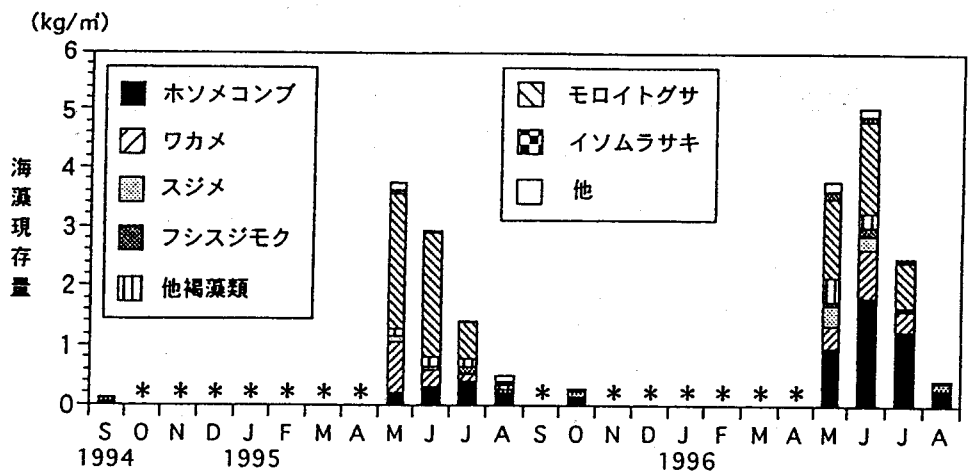


図35 寿都町美谷地区のウニ除去区における海藻現存量の変化

* : 欠測

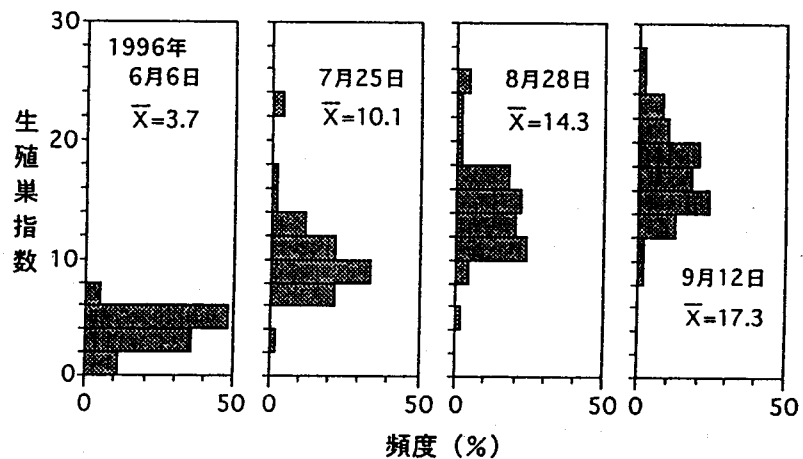


図36 移植したキタムラサキウニの生殖巣指数の変化

表8 キタムラサキウニの種海藻に対する日間摂餌率

摂餌試験①				摂餌試験② (%/体重/日)			
低温区 (8°C)	大	中	小	低温区 (13°C)	大	中	小
ワカメ	2.36	1.18	3.43	ワカメ	0.56	1.18	3.10
スジメ	0.31	0.39	2.84	スジメ	0.88	1.38	4.34
コンブ	1.24	0.00	1.78	コンブ	5.82	3.56	1.50
ケウルシグサ	1.09	0.48	0.51	ケウルシグサ	0.67	1.00	0.96
エゾヤハズ	0.00	0.12	0.69	エゾヤハズ	0.02	0.05	0.00
モロイトグサ	0.00	0.03	0.00	モロイトグサ	0.19	0.28	1.52
高温区 (16°C)	大	中	小	高温区 (16°C)	大	中	小
ワカメ	8.12	11.20	20.61	ワカメ	7.75	10.86	16.22
スジメ	9.96	13.23	22.45	スジメ	7.62	12.62	24.73
コンブ	9.21	11.24	24.07	コンブ	9.14	10.85	15.04
ケウルシグサ	4.00	3.80	5.10	ケウルシグサ	2.76	3.85	7.80
エゾヤハズ	1.02	0.00	0.83	エゾヤハズ	0.29	0.46	0.38
モロイトグサ	0.67	1.68	5.63	モロイトグサ	1.58	2.78	3.50

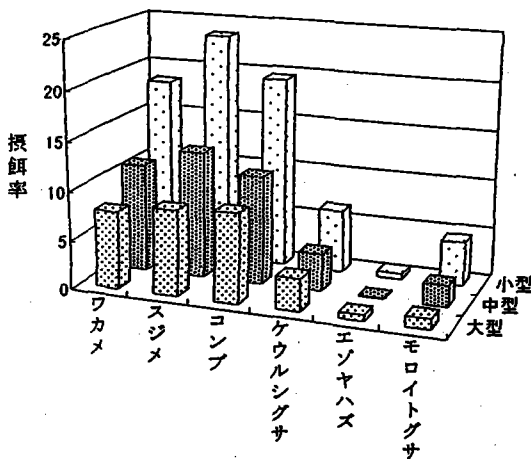


図37 高水温区での日間摂餌率 (%/体重/日)

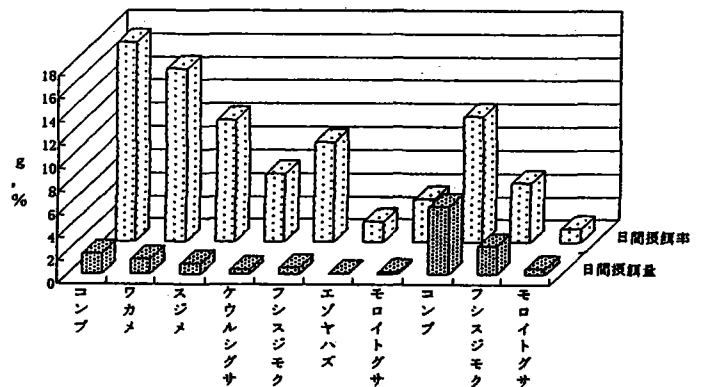


図38 摂餌試験③の体重日間成長率
右側3海藻は大型個体での摂餌結果

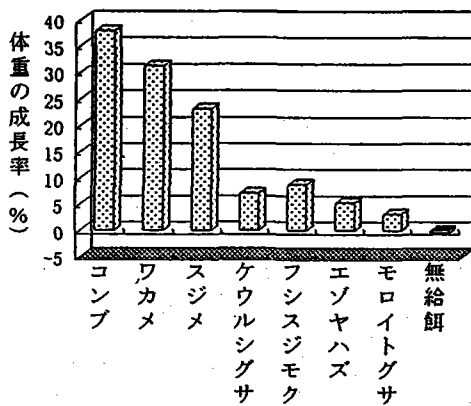


図39 摂餌試験③の体重月間成長率

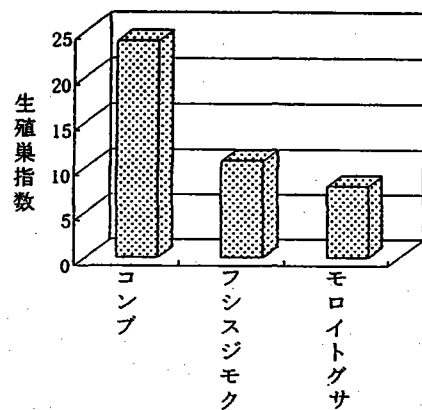


図40 摂餌試験④の生殖巣指数

表9 餌料海藻の成分

海藻	全窒素	灰分	アルギン酸	カラゲナン	マンニトール	カルシウム
コンブ	1.8	33.77	40.07		10.53	975
ワカメ	1.69	39.85	39.63		5.49	907
スジメ	2.04	33.26	34.99		9.3	1158
ケウルシグサ	2.81	33.58	19.35		0.89	807
フシスジモク	1.37	35.51	29.17		3.46	2605
エゾヤハズ	1.27	22.62	21.27		7.25	1130
モロイトグサ	2.12	31.57		39.72		330

数値は乾重量換算 (カルシウムはmg%, 他は%)

量が低く、ケウルシグサは全窒素の含有量が最も高かった。

(3) ウニ肥育技術の確立

1) 養殖試験

試験開始時のキタムラサキウニの平均殻径は51.5mmで、生殖巣指数は平均で7.8であった。生殖巣指数は1995年3月29日には13.5に増加し、6月1日には17.1、終了時の7月14日には18.8になった(図41)。生殖巣指数の組成は、開始時には8~10にモードを持つ単峰型であったが、3月には10~12、及び14~16の頻度が高い双峰型になり、6月も同様に16~18と20~22の頻度が高い組成を示した(図42)。しかし、7月には16~18にモードを持ち、大きい値の側に裾が伸びた単峰型を示した。

生殖巣の質は、魚肉給餌期間終了時の3月29日には味、色とも評価が悪かった。その後、約2カ月間マコンプを給餌した6月1日には味、色とも評価は向上したが、身が柔らかい問題が残った。味は最初は甘味を感じるが、後には苦みが残る点が調査員(パネル)から指摘された。さらに1カ月半の間マコンプを給餌した結果、7月14日の評価はさらに向上し、身が柔らかい点はあるが、加工業者に出荷できる程度に改善された。

試験期間の日数は290日であり、その間の管理作業日数は延べ43日間であった。

2) 高蛋白配合飼料試験

a. 1994年度

1992年度は高蛋白配合飼料である0-2を与えた結果、比較的苦みが少なかったが、1993年度は同じ飼料を用いたにもかかわらず苦みが強かった。したがって、1994年度は再現性のある試験結果を得るため、飼育水温を変えた場合の食味の相違について検討することとした。

試験① ウニ飼育海水の旬平均水温は、18℃区では16.7~18.1℃で比較的安定していた。8℃区は冷却機の故障のため、12月上旬まではやや高めであったが、その後はほぼ設定水温で推移した。無調温区は15.7から5.2℃までゆっくり下降した。飼育条件と餌料および生殖巣指数を表10に示した。試験終了時の生殖巣指数は18℃区で29.1、無調温区で26.9、8℃区で17.8、1週間毎に絶食さ

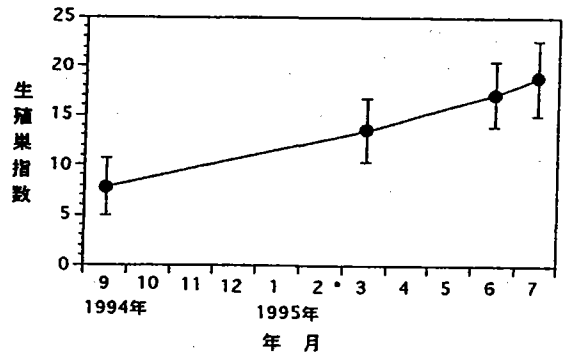


図41 キタムラサキウニの生殖巣指数の変化
縦線は標準偏差を示す。

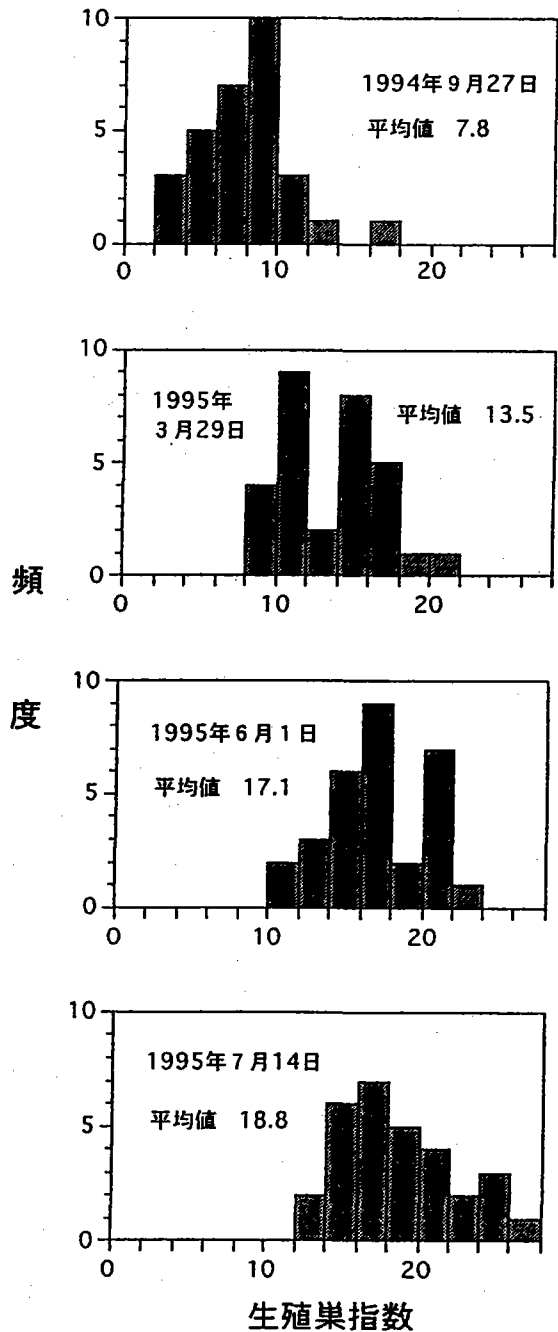


図42 美谷地区で行ったキタムラサキウニ養殖試験における時期別生殖巣指数の組成

せた区で10.4であった。これらはいずれも8℃のコンブ投餌区の1.5に比較して著しく高く、高蛋白配合飼料による生殖巣の増大効果がみられた。なお、各試験区のウニの平均殻径は48.9～54.9mmであった。食味結果を図43に示した。配合飼料を与えたものは従来の結果と同様に苦みが強く、甘みが少なく、色調と味が悪かった。一方、コンブを与えたウニの生殖巣指数は低かったが、色調・味・甘みともに配合飼料よりも高い評価であり、苦みはほとんどなかった。表11にアミノ酸の組成を示した。試験開始時の生殖巣はアミノ酸総量に対するグリシンの割合が高かった。配合飼料を与えたウニは、アミノ酸総量は2倍以上に達したが、苦み呈するとされるロイシン・バリンなどを多く含み、甘味を呈するグリシンの割合は相対的に低かった。

今回の食味では、0-2を与えた場合は苦みが強いという平成5年度の試験結果が再現された。また、飽食状態と飢餓状態とでは消化吸収率が異なるとの考えから1週間毎に絶食させる区を設定したが、他の配合飼料を与えたものと同様に苦みが強く、摂餌量が少ないだけで生殖巣指数が低かった。

試験② 配合飼料からコンブへ切り替えたウニの食味は、図44に示したように、色調の回復傾向がみられたが、いずれも苦みが強く残っていた。比較に用いた尾札部産の天然ウニは、色調・味・甘みに対する評価が非常に高く、苦みは全くなかった。表12に示したようにアミノ酸の組成では、全般にグリシンの割合が増加し、総量は低下する傾向がみられた

b. 1995年度

これまでの試験結果から、高蛋白配合飼料はウニの身入りを早めるが、同時に苦みの成分を蓄積すると考えられた。したがって、1995年度の配合飼料は表2に示したように、蛋白質の含量をこれまでの14.5%から10.5%に減らし、グルタミン酸(配合飼料名GLU)・グリシン(GLY)・アスタキサンチン(Color)・マンニット(P10)を添加した。また、今年度の試験では新たに民間2社の試作配合飼料も用いた。

試験③ 開始時と終了時の生殖巣指数を表13に示した。生殖巣指数はコンブを与えたウニよりも配合飼料を与えたウニの方が高かった。図45に食味結果を示した。配合飼料を与えたウニでも苦みが比較的少なく、コンブを与えたものとの差が少なかった。また、アミノ酸組成においても食味結果と同様に、コンブを与えたものとの差が少なかった(表14)。今年度は1994年度と比較するとアミノ酸の総量が少なく、天然のウニと同様にグリシンの割合が高かった。なお、各試験区のウニの平均殻径は56.9～58.5mmであった。良い食味結果が得られた要因として、生殖巣指数が給餌前に10.1と比較的高かったことと、給餌期が8～9月でウニの成熟期であったことがあげられる。

c. 1996年度

前年度に改良して比較的良好な食味を得た配合飼料を、生殖巣指数の低いウニを用いて冬季に与える試験を行った。また、配合飼料で苦みを蓄積したウニにコンブを与え、食味の回復を図る試験を行った。

試験④ 蛋白質含量が10.5%の配合飼料を1月から約5カ月間与えた結果、生殖巣指数は22.2となった。しかし、図46と図47に示したように食味はこれまでと同様に苦みが多く、アミノ酸組成もそれを裏付けるものであった。その後、8月まで3カ月間コンブを与えたウニでは、生殖巣指数は23.0とほとんど変わらなかったが、苦みがほとんど感じられなかった。また、アミノ酸組成でもグリシンの割合が高く、天然のウニの組成に近似していた。

試験⑤ 蛋白質含量14.5%の配合飼料0-2と10.5%のP10Mを、生殖巣指数の低いウニに4月から2カ月半与えて比較した。配合飼料を与えることによって、生殖巣指数は2.2から、2カ月半で両者とも20を越えた。図48に示したように食味はともにコンブを与えたものより、苦みが強く色調・味・身締りも悪かった。また、これまでと同様にアミノ酸の分析結果でも配合飼料を与えたものではグリシンの割合が低かった(図49)。

試験⑥ 改良を加えた配合飼料を用いて、1月から3カ月半飼育を行った。飼育開始時の生殖巣指数は、9月採取群(平均殻径53mm)で16.0、12月採取群(平均殻径52mm)で2.4であった。試験結果を表15と16および図50に示した。アスタキサンチンを添加したP10Aを与えたウニの生殖巣指数が28.6と最も高く、やや

表10 試験①と②の飼育条件と配合飼料および生殖巣指数

試験①				試験②			
飼育条件	配合飼料	開始時	終了時	飼育条件	配合飼料	開始時	終了時
18℃	O-2	1.4±0.6	29.1±4.8	8℃	コンブ	29.1±4.8	28.3±2.8
無調温	O-2	1.4±0.6	26.9±3.3	8℃	O-2	26.9±3.3	31.1±3.5
8℃	O-2	1.4±0.6	17.8±6.4	8℃	コンブ	17.8±6.4	25.4±5.3
8℃	OP	1.4±0.6	20.8±6.5	8℃	コンブ	20.8±6.5	25.7±3.1
8℃, 隔週給餌	O-2	1.4±0.6	10.4±2.5	8℃	コンブ	10.4±2.5	17.0±3.1
8℃	コンブ	1.4±0.6	1.5±1.2				

±: 標準偏差

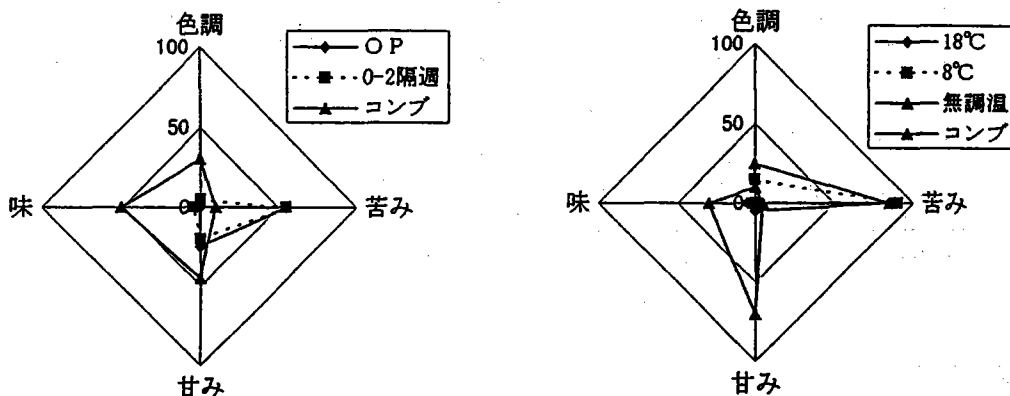


図43 試験①の食味結果 (試食者は左右で異なる)

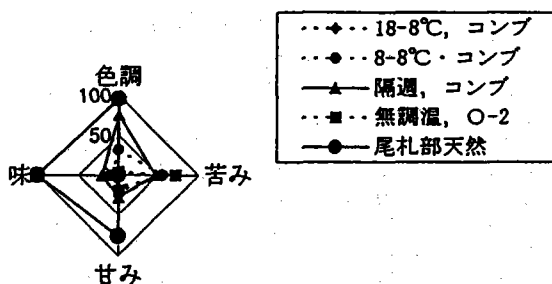


図44 試験②の食味結果

表11 試験①のエキスアミノ酸組成

アミノ酸	飼育前	(%)				
		18℃ O-2	無調温 O-2	8℃ O-2	8℃ OP	8℃ O-2隔週
タウリン	6.45	0.22	0.16	0.23	0.26	0.46
アスパラギン酸	0.58	0.00	0.22	0.20	0.12	0.22
スレオニン	2.26	11.99	12.04	11.99	10.26	10.48
セリン	1.45	5.33	6.88	7.76	7.39	5.17
グルタミン	1.69	1.01	0.72	0.84	0.46	1.10
グリシン	38.59	16.59	12.14	11.37	11.83	12.41
アラニン	1.26	4.57	3.29	3.42	0.97	3.23
シスチン	0.57	1.01	0.54	0.58	0.13	0.64
バリン	1.40	11.22	11.48	11.84	12.43	12.75
メチオニン	0.40	1.30	1.59	1.52	0.92	1.61
イソロイシン	0.57	8.01	9.28	9.64	10.44	9.72
ロイシン	0.70	12.37	14.52	15.16	16.91	16.58
チロシン	2.95	0.59	0.66	0.67	0.51	0.62
フェニールアラニン	0.72	3.23	5.13	5.16	4.99	5.32
リジン	18.54	6.42	6.81	5.85	9.41	4.27
ヒスチジン	3.53	5.14	5.02	4.92	5.03	4.40
アルギン酸	18.04	9.62	7.69	6.82	6.90	8.45
プロリン	0.31	1.38	1.80	2.05	1.04	2.25
総量 (mg/100g)	1,767	3,841	4,248	4,244	4,481	4,348

表12 試験②のエキスアミノ酸組成

試験①での条件	18℃ 無調温 8℃ 8℃ 8℃				
	0-2	0-2	0-2	0P	0-2隔週
	8℃				
試験②での条件	8℃	8℃	8℃	8℃	8℃
	コンブ	0-2	コンブ	コンブ	コンブ
タウリン	0.29	0.26	0.37	0.23	0.46
アスパラギン酸	0.00	0.00	0.08	0.00	0.05
スレオニン	12.80	12.06	12.37	10.99	11.69
セリン	5.11	6.66	5.64	6.44	5.53
グルタミン	1.21	1.22	1.4	1.20	1.39
グリシン	20.70	17.38	19.46	16.54	19.33
アラニン	1.72	3.38	4.32	1.43	4.69
シスチン	0.17	0.46	0.12	0.18	0.23
バリン	10.46	10.46	10.66	11.80	10.85
メチオニン	1.42	1.34	2.03	1.21	2.64
イソロイシン	6.79	6.93	6.63	8.19	5.52
ロイシン	9.62	10.40	10.05	12.62	8.79
チロシン	2.36	1.98	1.96	2.02	1.95
フェニールアラニン	2.69	2.91	3.3	3.31	3.07
リジン	7.77	8.63	7.73	10.05	7.90
ヒスチジン	5.34	5.63	4.72	4.99	4.35
アルギン酸	11.21	10.29	8.78	8.79	11.02
プロリン	0.31	0.00	0.38	0.00	0.54
総量 (mg/100g)	3,684	3,601	3534.5	3,664	3,247

表13 試験③の生殖巣指数

	生殖巣指数	標準偏差
給餌前	10.08	1.78
コンブ	12.80	2.25
GLU	17.88	3.43
GLY	15.52	3.08
COLOR	16.61	4.59
P10	19.18	2.17
U社製	14.13	2.06
N社製	19.67	3.24

表14 試験③のアミノ酸組成

アミノ酸		(%)							
		給餌前	コンブ	GLU	GLY	COLOR	P10	N社製	U社製
アスパラギン酸 (Asp)		0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.57
スレオニン (Thr)		5.34	2.31	12.09	14.34	13.89	14.34	13.03	2.78
セリン (Ser)		1.53	3.06	3.93	3.91	4.56	3.91	4.56	2.63
グルタミン (Glu)		2.14	4.10	1.81	2.93	2.10	2.93	2.14	3.41
グリシン (Gly)		43.38	60.89	39.92	40.22	40.16	40.22	36.27	61.84
アラニン (Ala)		8.36	16.82	7.60	7.89	8.68	7.89	9.51	14.78
シスチン (Cys)		0.13	0.28	0.07	0.06	0.19	0.06	0.23	0.21
バリン (Val)		5.37	0.72	5.12	4.20	4.63	4.20	5.10	1.03
メチオニン (Met)		1.23	0.21	0.48	0.62	0.53	0.62	1.35	0.25
イソロイシン (Ilu)		1.71	0.38	3.15	2.46	2.77	2.46	2.69	0.42
ロイシン (Leu)		2.59	0.42	3.97	2.75	3.28	2.75	4.34	0.42
チロシン (Tyr)		1.82	0.72	1.69	1.67	1.53	1.67	1.54	1.13
フェニールアラニン (Phe)		0.53	0.39	0.93	0.87	0.97	0.87	0.96	0.32
リジン (Lys)		9.40	3.11	4.57	7.15	6.36	7.15	6.36	3.05
ヒスチジン (His)		1.58	0.31	2.18	1.73	2.56	1.73	1.58	0.40
アルギン酸 (Arg)		14.59	4.51	8.49	8.27	7.08	8.27	8.25	5.25
プロリン (Pro)		0.30	1.36	1.00	0.93	0.71	0.93	2.09	1.50
総量 (mg/100g)		1732.00	1575.43	2141.82	2065.90	2013.48	2065.00	2173.46	1556.10

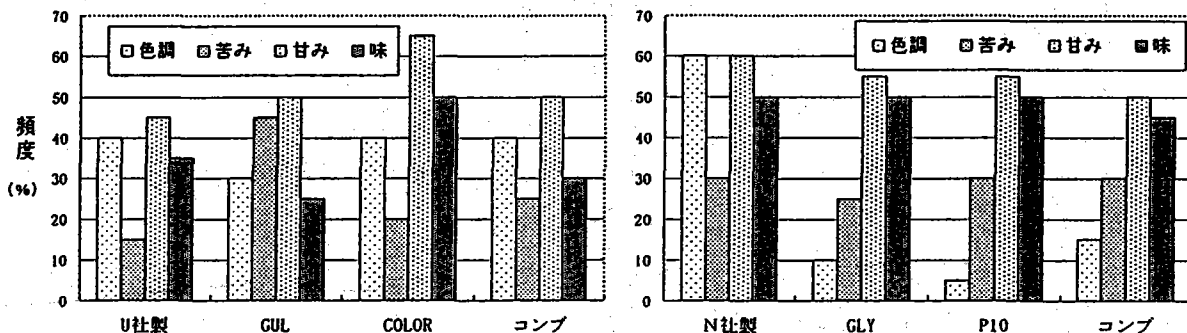


図45 試験③の食味結果

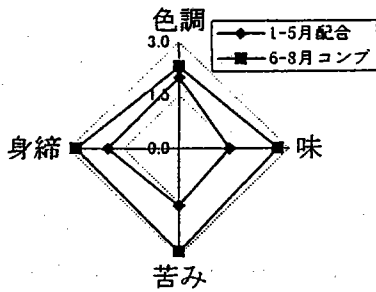


図46 試験④の食味結果

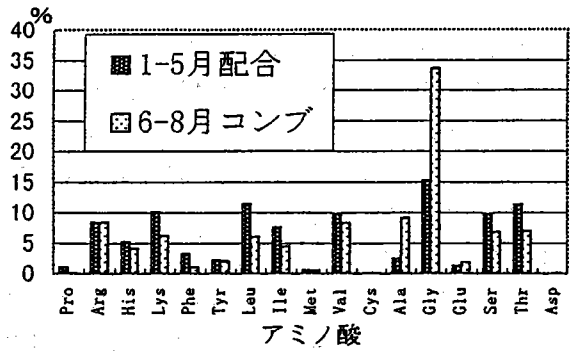


図47 試験⑤のアミノ酸組成
アミノ酸の略称は表6を参照

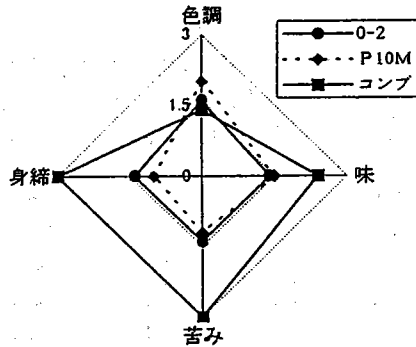


図48 試験⑤の食味結果

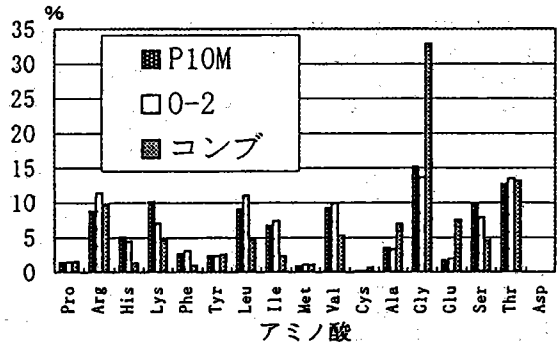


図49 試験⑥のアミノ酸組成
アミノ酸の略称は表6を参照

表15 試験⑥の生殖巣指数と食味結果

配合飼料	生殖巣指数	標準偏差	色調	身締り	味	苦み
P10B (カロチン)	17.0	6.89	2.2	2.6	1.8	1.9
P10A (アスタキサンチン)	28.6	4.43	2.8	2.6	2.2	2.3
P10K (カジメ)	16.6	5.15	1.2	2.7	1.1	1.1
P10M (アミノ酸)	18.6	8.02	1.6	2.8	1.6	1.6
N社製	22.7	5.00	2.4	2.8	1.1	1.5
U社製	11.9	3.81	1.0	3.0	2.7	3.0
P10*	20.5	7.86	1.7	2.4	1.4	1.6
P10・コンブ配合**	14.7	7.20	1.8	3.0	1.8	1.8
コンブ配合	11.6	6.52	1.6	3.0	2.4	2.8
コンブ	8.8	2.50	2.6	3.0	2.5	3.0

*9月採取群に給餌した
**4月からコンブ配合に切り替えた

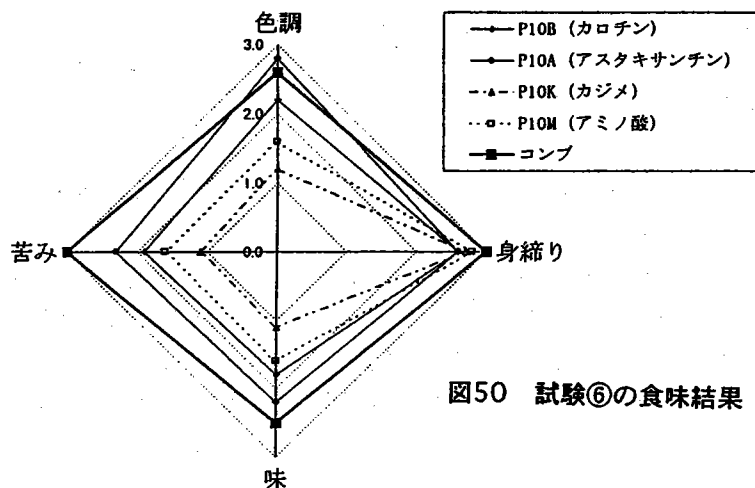


図50 試験⑥の食味結果

苦みはあったが、コンブに次いで良い食味であった。しかし、P10B, P10K, P10Mを与えたウニでは身締りはやや良かったが、これまでと同様に苦みが強かった。一方、コンブやコンブ配合餌料を与えた場合は、生殖巣指数は8~11と低かったが、苦みはほとんど感じられなかった。9月に採取して身入りをさせた個体にはP10を与えたが、これまでと同様に苦みが蓄積した。

本試験は低水温時に行ったため、配合餌料を与えても身入りはやや遅かった。また、給餌開始時の生殖巣指数が2.4と低かったため、P10A以外は良い食味が得られなかった。配合飼料の中ではP10Aだけが比較的良い食味結果が得られ、アミノ酸組成においてもグリシンの割合が高く、アミノ酸の総量が比較的であった。これについては再現性についてさらに検討する必要がある。

表16 試験⑥のアミノ酸組成

各種アミノ酸	P10B	P10A	P10K	P10M	N社製	U社製	P10	P10(コンブ配合)	コンブ配合	コンブ	(%)
	カロチン	アスタキサンチン	カジメ	アミノ酸			*	**			
アスパラギン酸	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
スレオニン	10.8	10.9	10.4	9.2	7.9	12.1	9.1	9.9	11.1	10.4	10.4
セリン	7.7	5.3	8.7	7.1	7.2	6.7	7.5	7.2	4.1	4.8	4.8
グルタミン	1.2	1.2	0.7	0.6	0.5	2.2	0.5	1.2	2.2	1.4	1.4
グリシン	18.1	26.8	16.3	16.9	14.7	29.1	16.7	18.0	29.9	26.7	26.7
アラニン	4.4	1.8	3.4	1.4	1.2	9.5	1.1	4.5	7.1	1.6	1.6
シスチン	0.1	0.6	0.0	0.5	0.5	0.1	0.1	0.1	0.2	1.3	1.3
バリン	9.4	8.6	10.9	11.2	11.2	7.4	11.5	11.0	8.2	9.3	9.3
メチオニン	1.4	1.2	1.3	1.0	2.4	1.8	0.9	1.3	2.3	3.3	3.3
イソロイシン	7.4	6.6	8.8	9.3	9.1	4.6	10.2	8.8	4.9	4.9	4.9
ロイシン	10.1	9.9	12.2	13.9	19.9	7.2	15.7	13.8	7.9	8.1	8.1
チロシン	2.5	2.5	2.0	2.3	2.3	3.1	2.1	2.4	2.9	2.9	2.9
フェニールアラニン	3.7	3.3	4.5	4.6	5.2	2.6	4.7	4.3	2.7	3.4	3.4
リジン	9.5	8.0	8.5	8.5	5.6	4.2	7.9	6.8	5.4	8.3	8.3
ヒスチジン	5.2	4.3	5.4	5.2	4.6	0.6	5.1	3.9	1.4	3.2	3.2
アルギン酸	7.9	8.2	6.6	7.9	6.8	8.8	6.2	6.5	9.3	10.4	10.4
プロリン	0.5	0.9	0.2	0.3	1.1	0.2	0.6	0.4	0.3	0.2	0.2
総量 (mg/100g)	4663	4212	5781	4390	5477	3819	5399	5083	3778	4343	4343

*9月採取群に与えた
**4月からコンブ配合に切り替えた

(4) 高密度肥育施設の開発

1) 試験施設の開発

施設には、排水口から波が逆流し土砂が蓄積すること、時化の時に肥育槽の垂直板が振動すること、春期の波高が予想以上に低く取水口からの海水流入がない日があるなどの状況が見られた。このため、平成8年度に次のとおり施設の改良を実施した。

- ①激波浪時の排水口からの逆流を防止するための波除提を布団箆により施設後面に設置し、また、垂直板の揺れを押さえるため楔により固定した。
- ②取水堰の天端高を下げた場合の取水量や流れの変化を検討し、10cm下げることとした。
- ③肥育水槽取水口側の落とし板をコンクリート壁に変更し強度を高めた。

2) 試験施設での実証試験

a. 第1回肥育試験

試験中の施設内の底層水温は、3月中旬に5.6℃であったが、その後昇温し、5月下旬には10℃になり、8月上旬には20℃に達した(図51)。

給餌作業は、テnder式装置を1区画内に4~6基を設置して、ホッケを3月19日から4月21日まで、乾燥コンブを4月22日から5月23日まで、間引き養殖コンブを5月24日から試験終了時まで与えた。期間中の総給餌量はホッケが240kg、乾燥コンブが15kg、間引きコンブが330kgであった。ホッケは約2週間はテnder式装置で給餌可能であったが、それ以降は体が腐敗して施設から脱落した。また、ホッケから出た

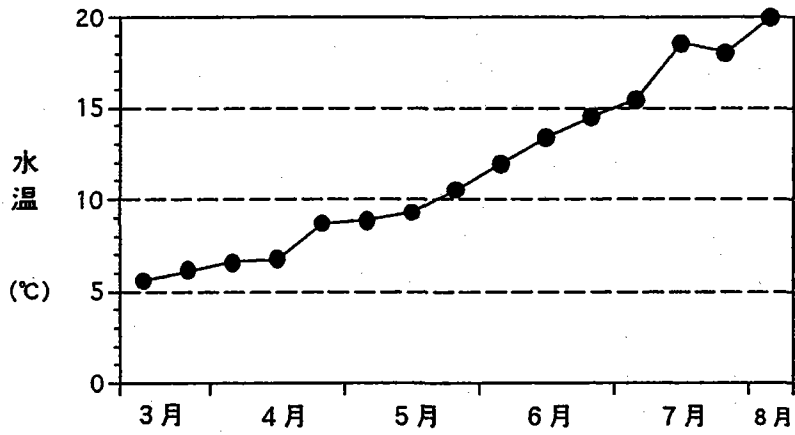


図51 第1回肥育試験時の旬平均水温 (1996年3月~8月)

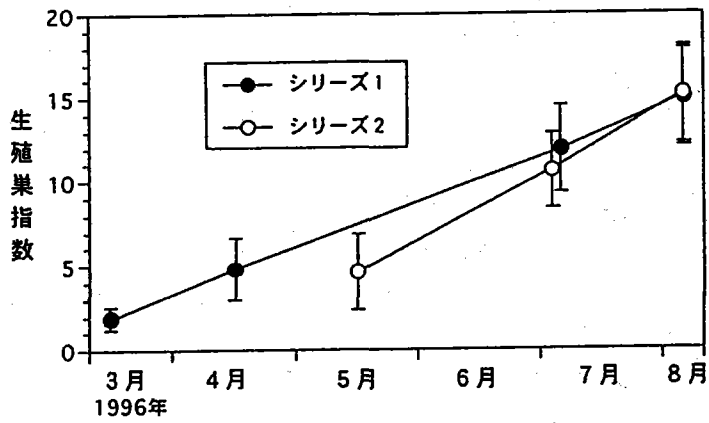


図52 第1回肥育試験における生殖巣指数の変化

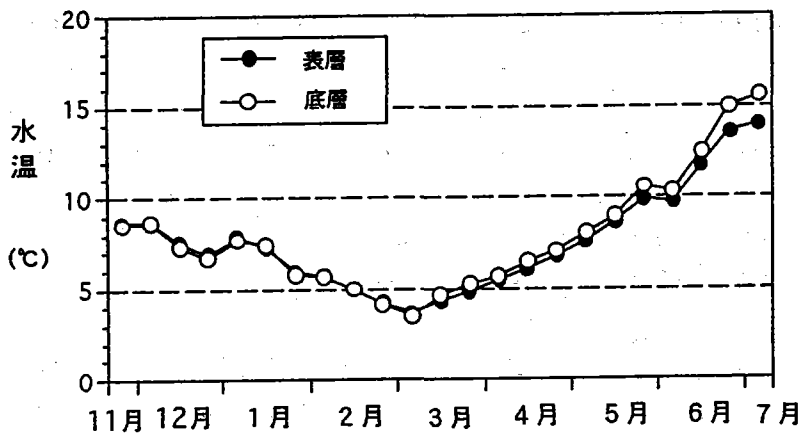


図53 第2回肥育試験時の旬平均水温 (1996年11月~1997年7月)

油が施設内に滞留し、垂直板に付着して試験施設の周辺に悪臭が漂っていたため、5月10日から乾燥コンブに切り替えた。乾燥コンブは水に戻してから給餌した。

施設内のキタムラサキウニは、収容直後及び翌日に約7割の個体が底面に、その他は側面に生息していた。3月19日（収容8日後）には、各区画で斃死個体と棘が脱落した個体が大量に観察され、特に垂直板の間が狭い区画①～③が多かった。これらの斃死個体を回収することは他の生存している個体を傷つけることが危惧されたので、回収作業を中止したため正確な斃死個体数は把握できなかつたが、その後も斃死個体と棘が脱落した個体が観察された。

大量に斃死した区画①で水質検査を行った。斃死が観察された3月19日にはアンモニア、亜硝酸、CODとも検出されなかつた。3月28日と4月3日に表層でアンモニアがそれぞれ0.3ppmと0.2ppmの濃度で検出されたが、他の項目は検出限界以下であった。

4月16日に潜水して生息数を計測した結果、キタムラサキの生残状況は区画①で約200個体（生残率18.2%）、区画③では約100個体（9.1%）、区画④では447個体（55.9%）であった。また、区画④のキタムラサキウニは摂餌活動が活発であったことから、区画①内でのウニの空間利用状況を観察するために、区画④から生殖巣指数調査用の10個体を除いた437個体を移した。その結果、区画①の累積収容数は1,537個体となった。区画①に移したウニは収容直後は垂直板に多数の個体が付着していたが、数日後から再び斃死個体や棘が脱落した個体が観察されるようになり、5月8日の目視観察では生息数は約100個体に減少した。5月13日の潜水により生息数を調べた結果、生残していたウニの数は区画①で72個体（生残率4.7%）、区画③で64個体（5.8%）、区画④では143個体（73.8%：前回取り上げ分を加算して算出）であった。これらの調査後に区画③と④のウニを全て区画①に移し（区画・の累積収容数は1,744個体）、その後、新たに沖で採捕したキタムラサキウニを③に632個体、④に432個体収容し、その経過を観察した。

5月17日に行った区画①の水質検査では、表層でCODが0.3ppmであった。7月1日の潜水による区画①内のウニの生残数は47個体（生残率2.7%）、区画②では21個体（2.4%）であった。最終調査として8月5日に施設内でウニを全数採集した。試験期間を通した生残率は、区画①で1.4%、区画②で1.8%、区画③で5.8%（3月11日から5月13日）及び5.2%（5月13日から8月5日）、区画④で73.9%（3月11日から5月13日）及び56.7%（5月13日から8月5日）であった（表17）。

表17 第1回肥育試験の生残率

区画番号	3月11日		4月16日		5月13日		7月1日		8月5日	
	個体数	生残率	個体数	生残率	個体数	生残率	個体数	生残率	個体数	生残率
シリーズ1										
①	1,100	18.2	200	18.2	72	4.7*	47	2.7**	15	0.9**
②	1,100						21	1.9	20	1.8
③	1,100	9.1	100	9.1	64	5.8				
④	800	55.9	447	55.9	143	73.7***				
シリーズ2										
③					632		54	8.7	23	3.6
④					432		276	63.9	245	56.7

*：4/16に区画④から移した437個体を加えた1,537個体に対する率

**：5/13に③と④から移した207個体を加えた累積個体数1,750個体に対する率

***：4/16の447個体と143個体の合計の生残率

また、肥育施設外部の岸側の海底でキタムラサキウニが採集された。この場所ではこれまでキタムラサキウニが見られなかったことから、底部が仕切られていなかった区画④から移動した個体と推測され、この区画の生残率はさらに高いと考えられた。

キタムラサキウニの生殖巣指数は、3月11日の開始時に1.9であったものが、終了時には15.0になった。また5月13日に区画③と④に新たに収容した群では、開始時に4.6であったものが終了時には15.3にそれぞれ増加した(図52)。

生殖巣の質に関して、8月5日に各区画から10個体のウニを抽出し、6名の調査員(パネル)により食味試験を実施した。評価基準は、天然個体と比較して味が優れている場合には1、天然個体と変わらない場合には2、やや劣る場合には3、劣る場合には4とし、その平均値で評価を行った。その結果、各区画の値は区画①で2.4、区画②で2.7、区画③で2.5、区画④で2.6であり、全ての区画で天然個体の生殖巣の味よりも劣っている評価であった。

高密度肥育施設内への海水流入は、潮位表で小樽の潮高が17cm以上の時に観察された。但し、この時の海況は風で、波高の高さにより異なる可能性がある。このことから、潮位表に基づくと、3月11日から5月までは施設への海水流入は少なかったと推測された。また、垂直板間隔が広い区画番号④は海水流入口の近くであったため、それ以外の区画に比べると流入量が多くなる傾向があり、その結果として他の区画の海水交換を妨げたことが考えられる。さらに海水流入口から海藻類が大量に入り、区画側面のトリカルネットに付着し、これも海水流入を妨げる要因になった。そのため、4月から5月までは、この海藻類の除去作業が欠かせなかった。

また、時化の時には、肥育施設の陸側にある流出口から施設内に海水が逆流した。さらに大時化時には波が施設の防波壁を越えて中に入った。垂直板とそれを止めている側壁の溝には隙間があり、これらの波により垂直板が激しく振動することが観察された。

施設内のキタムラサキウニは、垂直板よりもコンクリートの側壁に多く付着していた。水温が低い時期には表層付近に登っている個体は少なかったが、水温の上昇に伴い増加した。また、時化の時には表層に付着している個体は観察されず、コンクリート壁の隙間に入り込んでいた個体が多かった。これらのことから、収容したキタムラサキウニは天候や波浪により施設内を鉛直・水平方向に移動すると思われる。

第1回肥育試験の結果から、本施設において生残率が低い要因として施設内への少ない海水流入量、区画の狭さ、垂直板の振動、が挙げられる。

b. 第2回肥育試験

試験期間中の表層及び底層の水温の変化を図53に示した。開始時の12月上旬では9℃台であったが、その後徐々に下降し3月上旬には4℃以下になった。その後、昇温し5月上旬には8℃に達し、試験終了時の7月上旬には表層で15℃、底層で15.9℃であった。表層で測定された塩分は全体に33前後で推移していたが、4月上旬から5月中旬にかけて低くなる傾向がみられた(図54)。特に3月23日、4月8日、9日、4月25日、5月9日、13日には24あるいはそれ以下の低い値を観測した。

給餌作業は、12月16日から2月14日の期間に溝式給餌装置を使って、計10回190kgの高蛋白配合飼料を与えた。続いて、水で戻した乾燥コンブをテnder式給餌装置により2月19日から3月11日の間に3回、計37kgを、間引きコンブは4月13日から6月27日までの間に7回、計800kgを与えた。4月下旬及び5月上旬には斃死が起こったために給餌を中断した。

施設に収容直後(12月10日)には、キタムラサキウニは主に底面に生息していたが、時間の経過とともに側面に移動し、数日後には大きな移動は観察されなかった。生息場所として垂直板を繋ぐために用いているH鋼の上面を利用している個体が多く、垂直板上で水平方向の棚状構造が生息場所として有効であった。しかし、1月中旬頃には、区画④のH鋼には砂が堆積しウニの生息場所として適さなくなったが、3月頃には砂がなくなったために、再び生息場所として利用しているウニが観察された。

キタムラサキウニは、水温の低い時期は表層に登っている個体は少ないが、水温の上昇とともに垂直板

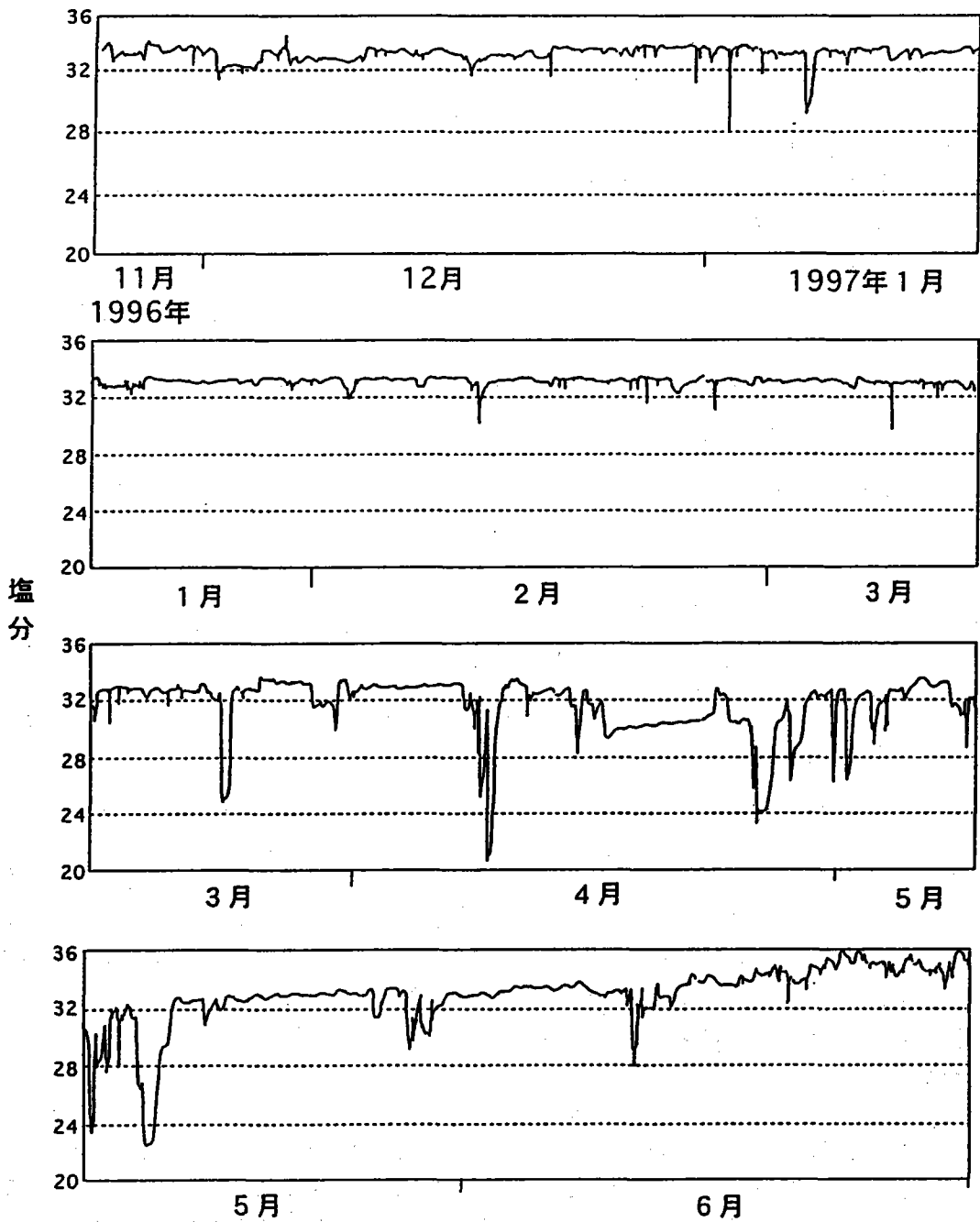


図54 第2回肥育試験時の表層塩分の変化(1996年11月~1997年6月)

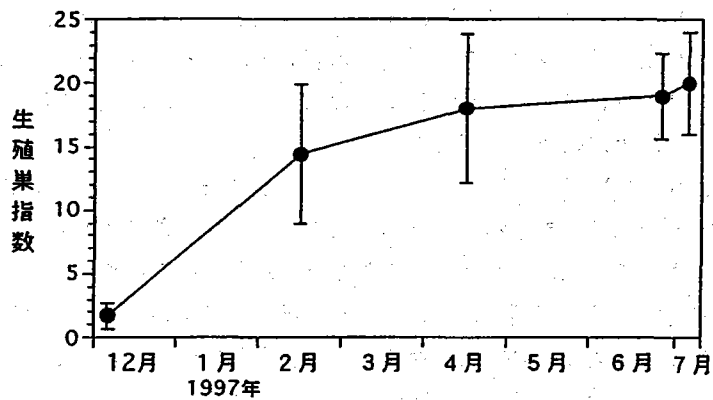


図55 第2回肥育試験における生殖果指数の変化

や側面の上部に移動しているウニが多くなった。また、時化の時は表層に登っている個体は観察されなかった。

収容したウニは、12月19日の観察で区画②と③で棘が脱落した個体が確認され、その後、1月中旬まで死亡個体が観察されたが、斃死総数は100個体未満と推定された。また、区画④では1月上旬から中旬にかけて斃死個体が数十個体見られたが、その後は死亡個体は観察されなかった。3月11日に区画①、④、⑦で潜水により生息数を計数した結果、①では510個体（生残率77.9%）、④では482個体（73.6%）、⑦では584個体（89.2%）で、垂直板の間隔が1mの場合の平均生残率は80.2%であった。

4月上旬に区画①以外の区画内で死亡している個体や棘が脱落している個体が多数観察された。特に、H鋼の上面で死亡している個体が多かった。その後、4月下旬にも死亡個体と棘が脱落した個体が多数観察され、それ以後も同様な傾向が続いた。7月2日に全区画から生き残っている個体を回収した結果、各区画の生残率は区画①で46.7%、②で36.8%、③で21.6%、④で53.3%、⑤で51.7%、⑥で29.9%、⑦で48.8%であった。全体の平均生残率は41.3%であったが、垂直板の間隔が0.5m（②と⑤）と1m（①、④、⑦）の比較では、前者の平均が44.3%、後者の平均が49.6%で若干1m幅の方が値が高いが、統計的な差はなかった。また、開始時の密度の差による比較では、0.25個体/m²（②と⑤）の平均値は44.3であったのに対し、50個体/m²（③と⑥）の平均値は25.7で低い傾向があった。

生殖巣指数の変化を図55に示した。試験開始時の値は1.7であったが、2月18～19日には、11.3～19.2になり、区画⑦で高かった。4月17日には13～22.4で区画④と⑦で高い傾向にあった。終了時の7月2日には18.7～22.8で全体に高い値を示した。

試験終了時における生殖巣の味について、各区画から2個体を抽出し、平成7年度と同様な食味試験を行った。結果は、天然のものよりもやや劣る程度で良好な評価であった。

施設内への海水流入は、取水口のレベルを0.1m掘削したことにより、平成7年度と比較してよい状況にあった。しかし、4月下旬には給餌したコンブの表面に有機物が付着し、これ以降、区画内に同様な有機物が堆積しているのが観察された。この時期は海水の交流が十分でないと思われた。また、4月下旬には昨年度と同様に海水流入口から流れ藻が大量に流入し、区画側面のトリカルネットに付着して海水の流動を妨げる原因になった。昨年度指摘された垂直板の振動は、板と溝の隙間に楔を打ち込むことで改善された。

4. 考察

（1）回復漁場の有効利用技術開発

1) 旧除去区の遷移過程調査

ウニ除去区内岸より800m²の区画に放流した30,000個体のエゾバフンウニ人工種苗は、放流後約2年2カ月で漁獲制限殻径に達し、回収率は30%以上であった。さらに、天然群と合わせて漁獲時には両群で6.09個体/m²の密度で生息した中で、フシスジモクを優占種とする海藻が847.7g/m²の現存量を維持できたことは、海藻生産量がウニの摂餌圧を上回ったことを示唆している。

2) 新除去区の遷移過程調査

平均現存量が約1.9kgの大型多年生海藻の群落に平均殻径が1.5cmのエゾバフンウニ人工種苗を春先に約5個体/m²で放流しても、群落は食圧によって2年以内に崩壊することなく、種苗は放流2年後に漁獲サイズまで成長することが確かめられた。

3) ウニ類のフシスジモクに対する摂餌量の把握

エゾバフンウニ成体のマコンブに対する摂食量と消化、吸収量は、5月に最大となり、消化吸収された

餌料は主に生殖巣の増大に向けられる。そして、7月から10月にかけては成熟と産卵の影響により摂食量と消化、吸収量は低下し、殻の成長もほぼ停止する^{6,7)}。一方、エゾバフンウニの性成熟サイズは北海道噴火湾沿岸では殻径30 mmから35mmであることが明らかにされている⁸⁾。しかし、人工種苗は、満1歳となった殻径18mm以上の個体が既に成熟することが観察されている⁹⁾。したがって、本研究の結果、殻径が20mm以上に成長した7月から10月にかけてのホソメコンブの摂食量、摂餌率ならびに消化吸収量の減少(図28, 29)は成熟と産卵に影響されたものと考えられる。一方、フシスジモクに対する摂食量と消化、吸収量は7月以降も増加し、9月に最大となってから以後急激に減少した(図28, 29)。しかし、9月の消化・吸収効率は高いレベルにあるが(図29)、成長率は季節的にみて極めて低下し(図30)、餌料転換効率は年間最低値を示している(図31)。このことは、フシスジモクを給餌したウニの生殖巣の発達にはホソメコンブに比べて遅れ、産卵期直前の9月まで成熟にむけて活発な摂食活動を維持し、9月には消化、吸収した餌料は成長には向けられず、生殖巣の成熟と産卵へと向けられていることを示唆している。一方、エゾバフンウニは産卵後の秋季には、主に殻の増大のために再び摂食活動が活発となる^{6,7)}。ホソメコンブに対する摂食量と成長には、その傾向が顕著に認められる(図28, 30)。しかし、この期間のフシスジモクに対する摂食量と消化、吸収量は極めて低く推移し(図28)、成長率が低下し、両群に顕著な成長差をもたらした(図30)。このことは、この時期に主枝と測葉が枯死、脱落しており、付着と茎および下葉が給餌されたことによると考えられる。この部位が物理的に摂食され難いのか、あるいは嗜好性によるものかは、今後明らかにする必要がある。

殻径約50mmのエゾバフンウニのホンダワラ褐藻のヨレモクとウミトラノオに対する1月の日間摂餌率は1.33および2.16%とマコンブの5.72%に対して極めて低いが、消化、吸収効率はいずれもほぼ60%と同様であり^{6,7)}、本実験結果と共通している。また、マコンブとヨレモクを2月から4月までの60日間給餌したエゾバフンウニの成長効率(増重量 $\times 100$ /消化・吸収量、乾燥重量)は、それぞれ14.81%および16.91%と、ヨレモクが若干高い⁷⁾。

エゾバフンウニの消化、吸収効率は海藻種によって異なる。しかし、必ずしも消化、吸収効率が高ければ成長効率も高いとは限らない^{6,7)}。このことは、海藻の含有している栄養物質の組成が異なっていることに起因する。ナガコンブに対する消化、吸収率を含有する化学成分でみると、マンニトールが100%、そしてアルギン酸と粗タンパク質が75%および69%と高いことが明らかにされている¹⁰⁾。春季から夏季のホソメコンブとフシスジモクの化学成分の大きな相違は、アルギン酸の含有量であり、前者は23.0~32.3%に対して、後者は19.2~25.3%と少ない¹¹⁾。このような、栄養成分の組成の差が両海藻に対するウニの餌料転換効率の季節的な差をもたらすものと考えられる。

利尻島沿岸のフシスジモク群落は3月から6月に側枝が伸長し、多数の気胞と葉を形成して急激に成長し、7月に極大期に達する。そして、7~8月には成熟して、8月中旬頃から藻体上部が枯死し始め、9月中旬までに基部を残して脱落する。9月~2月は緩慢に成長する期間に相当する¹²⁾。この間の現存量は、ウニ除去によって本種が形成された寿都湾矢追においては、2月の最低値200g/m²以上で維持された¹³⁾。一方、北海道南西部日本海沿岸忍路湾のホソメコンブ群落は、水深1m以浅に形成され、現存量は4月に極大となり、12月から2月の現存量は極めて少なく、1月にはほぼ消失している¹⁴⁾。本実験では、冬季間に塩蔵したホソメコンブを用いたことにより、フシスジモクよりも顕著に良い成長がみられた(図30)。北海道南西部日本海沿岸では、この時期のホソメコンブの現存量は季節的に極めて低下することから、フシスジモク群落が量的に確保されれば両群落間におけるウニの成長は接近すると考えられる。

4) フシスジモクの部位別純生産量

a. フシスジモクの成長と繁殖

フシスジモク繁殖時期は夏季と考えられた。

b. フシスジモクの新規加入に及ぼすウニの食圧の影響

ウニ類の摂餌圧はフシスジモクの幼体の新規加入群が出現を制限している要因と見られる。

c. フシスジモクの部位並びに体サイズ差による被食圧の差異

室内水槽では側枝と幼体は相対的に被食圧が高く、逆に茎と主枝および下葉は相対的に被食圧が低いと考えられる。

(2) 海藻群落形成技術開発

1) 海藻群落形成試験

平成2年度から5年度にかけて、寿都町六条地区と矢追地区で潜水によりウニ類を除去した結果、六条地区で最大4 kg/m²、矢追地区で最大3 kg/m²以上の海藻群落形成された⁴⁾。これらの海藻現存量は季節的に増減を繰り返し、4月から7月に増加し、12月から3月には少なくなった。構成種は六条地区ではワカメとケウルシグサが多く、矢追では遷移の結果フシスジモクが優占するようになり、コンブは生育は確認されなかった。

本試験では、一般漁場内にウニ除去区画を設定し潜水や漁業者参加のたも採りでウニ類を除去した結果、最大約4 kg/m²の海藻が繁茂することが確認された。また、上記2地区で確認できなかったコンブの生育も見られた。形成された群落はキタムラサキウニを移植した後に減少したが、これはウニの餌量になったためだけでなく、季節的に現存量が減少する時期であったことも関係していると思われる。

今回の試験では当初、ウニ除去後2年目にフシスジモクのような大型多年生海藻を繁茂させて安定した海藻群落を形成した後にキタムラサキウニの移植放流を行う計画であった。しかし、除去1年目からホソメコンブ、ワカメ、モロイトグサのような1年生海藻が多数繁茂し、2年目も同様な傾向にあった。そのため、1年サイクルでウニ除去→海藻群落形成→キタムラサキウニの大型個体の移植放流→ウニの身入り回復→出荷といった漁場利用の可能性が考えられる。

また、この技術の企業化には、ウニ除去にかかる経費に含めた採算性の問題や、除去したウニ類のうち移植に使えない小型のキタムラサキウニをどのように活用するかといったウニ類の利用方法の問題が残されている。

2) キタムラサキウニの各種海藻に対する摂餌率の年齢別及び水温別試験

キタムラサキウニの各種海藻に対する摂餌量は大型個体の方が多かったが、摂餌率は小型個体の方が高かった。海藻別では摂餌量・摂餌率ともにコンブ目の3海藻で最も高く、ウニの摂餌阻害作用物質が報告されているエゾヤハズ¹⁵⁾や、希硫酸を含むケウルシグサが低く、紅藻のモロイトグサも摂餌量が少なかった。一方、ホソメコンブなどのコンブ類には摂餌阻害作用物質は含まれていなく¹⁶⁾、本試験で餌料として用いた海藻は流れ藻と同様の状態にあったため、コンブ目の3海藻はより摂餌されやすい状況にあったと考えられる。キタムラサキウニの海藻摂餌率については、今後さらに多くの種について季節ごとに明らかにしておく必要がある。

コンブ目の3海藻は摂餌率・成長率が高くまた身入りも良かった。しかし、フシスジモクは、これらの海藻に比較すると成長や身入りが悪く、餌料価値は低いと考えられる。また、磯焼け地帯でウニ除去後に最も多く着生するモロイトグサやエゾヤハズもキタムラサキウニにとっては餌料価値が低いと考えられるので、さらに効率的な群落造成技術の開発が必要である。

(3) ウニ肥育技術の確立

1) 養殖試験

北海道の日本海沿岸におけるキタムラサキウニの産卵時期は9月から10月で、漁期は7月から8月である。経費がかかる養殖では、天然のウニが漁獲されない冬期に出荷することで販売単価を高め、採算性を得ることが必要である。

今回の試験では、秋から冬にかけて魚肉を与えて生殖巣の増重を図ろうとしたが、3月で13.5しか上がらなかった。瀬棚町沖でイカナゴを与えてキタムラサキを養殖した試験では11月から2月までで19.2あるいは21.4まで生殖巣指数が増加した¹⁷⁾。飼育期間が長かったにも関わらず、今回の結果が低かった理由として、与えた餌の質の差と飼育方法の違いが挙げられる。特に飼育方法の差は与えた餌が効率よくウニに摂餌されたかどうかに関係する。この試験では、袋溜の岸壁からチェーンを張って魚体を保持し、ウニに摂餌させた。この方法では飼育環境が開放系であったため、必ずしも全てのウニが餌に蝸集した訳ではなかった。また、この作業は漁業者に委託したため、基本的には週に1度、給餌する計画であったが、漁業の状況に応じて回数が減じた可能性があった。一方、瀬棚の試験では浮き生け簀に垂下された閉鎖的な籠で飼育したことに加えて、かなり天候が悪い場合を除いて、研究機関、指導所、町の職員が週に1度の頻度で給餌を行った。

3月時点では、生殖巣の量が少ないことに加えて、味や色が悪く商品にならなかった。魚肉等の蛋白質を多量に含む餌を与えた場合には、短期間で身入りが可能であるが、苦みや臭いが生じたり、含水率が高くなり水っぽく感じる問題が指摘されている¹⁷⁻²⁰⁾。そのため、高蛋白餌料を給餌して量的な増加を図った後に、味等の質の改善が必要とされる⁵⁾。これまでの多くの報告では、海藻を与えることで味や色が改善されることが知られており^{17, 21, 22)}、今回の試験でも3月から7月の出荷時までマコンプを与えて味の改善を行った。約2カ月間ではまだ後味として苦みが残り、個体によって味の評価が異なることが分かった。3カ月後には、味の改善ができたので加工業者に出荷した。

しかし、育成期間が長くなったため、回収率が65%と低く、結果として収支は赤字であった。育成期間を短縮できれば、回収率は高くなることが期待される。今回の単価は6,200円/kgであったが、8月下旬では天然のキタムラサキウニの単価は9,000円から10,000円になる。したがって、このような袋溜を使って養殖を行う場合には、春に身入りの悪いウニを収容し7月に出荷する方法と、ウニの流通量が少ない2月頃までに配合飼料や塩蔵コンブ等を使って身入りを図り出荷する方法が考えられる。

キタムラサキウニは殻径40~45mmで成熟する²³⁾が、殻径45mm以下では生殖巣指数が低くなる傾向がある²⁰⁾。キタムラサキウニの促成養殖を行う際には、生殖巣重量を増加する上で収容時に殻径50mm以上の個体を使用する必要がある。

2) 高蛋白配合飼料試験

1994年度は前年度までの試験結果の再現性を確認するため、水温を変えてキタムラサキウニの飼育を行った。これまでと同様に高蛋白配合飼料による生殖巣の増大効果が認められ、水温が高いほど生殖巣指数も高くなったが苦味も強く、平成5年度に0-2の配合飼料を与えた場合と同様の試験結果となった。なお、パフンウニでは生殖期の雌の生殖巣で苦味があることが報告されているが²⁴⁾、配合飼料を与えたキタムラサキウニの場合の苦味の発現は雌雄に関係ないところからこれとは異なる現象と考えられる。

1995-96年度は蛋白質含量を14.5%から10.5%に減らした配合飼料によって試験を行った。給餌前の生殖腺指数が高い場合(ウニの成熟期)には比較的良い食味が得られたが、生殖腺指数が低い場合(冬季)には生殖巣指数の増大は図られるものの一部を除いて食味結果は従来どうり苦味が強かった。したがって、蛋白質を一定程度減らしても、成熟時期以外や生殖巣指数が低い冬季には配合飼料での食味の向上は望めないと考える。しかし、これまで苦味が蓄積した生殖巣指数の高いウニの場合には、コンブを与えても味の改善が難しいと考えられていたが、今回の結果からウニの成熟期に給餌を行うことによって食味の改善が可能と考えられる。

イカナゴを給餌したキタムラサキウニの生殖巣はバリン等の苦味を呈するアミノ酸が多く含まれ²⁵⁾、冷凍したエゾパフンウニのエグ味はエーテル可溶性のカルボニル化合物である²⁶⁾と報告されている。今後はキタムラサキウニに配合飼料を与えた場合の苦味の成分の探索とその定量化が重要な課題となる。その知見を基礎として、コンブに変わり得るような単価の安い良い食味の得られる配合餌料を開発するとともに、磯

焼け海域においても給餌可能な配合飼料と給餌施設を開発する必要がある。

(4) 高密度肥育施設の開発

1) 試験施設の開発

激波浪時には、施設の外側からの波が排水口より逆流し、底面に土砂等が堆積することは、施設後面に波除堤を設置することにより概ね防止できるようになったが、排水口からの流れによる流入が避けられないことなどにより施設内に沈殿物が堆積する状況にあるため、定期的に除去するなどの人為的な管理が必要である。

海水交換が肥育水槽の上部から流入し、下部の排水口より流出する構造のため、波浪がなく海水流入が少ないときは、淡水が一度はいると上層にたまりやすく、低塩分下の影響が大きくなると考えられる。

2) 試験施設での実証試験

本施設を使った試験で、施設の設置場所や構造上の問題、生殖巣を増重させるための技術的な問題、キタムラサキウニを採捕、収容する際の技術的な問題が明らかになった。

施設上の問題は、取水口からの海水流量が風の際にかなり少なくなり、海水交換が行われないうちに時化時には波が防波壁を越えるために、飼育施設内の海水流動が極端に大きくなり、垂直板が激しく振動したり、排水口から逆流すること、流れ藻が側面のトリカルネットに付着して海水交換を妨げること、施設の底に土砂や有機物が堆積すること、区画の底面からウニが逃げることで、河川の影響を受ける場所に設置したために春先の融雪水により施設内の塩分が下がること等が挙げられる。

これらの問題点に対して、取水口のレベルを下げたり、排水口からの逆流を防ぐために周囲に防波堰を設置したり、垂直板と溝との間に楔を打って固定するなどにより改善できた項目もあったが、春先の塩分低下は改善できる見込みはなく、本施設での試験は春までに終了する必要があると思われる。また、施設内に堆積した土砂や有機物の除去作業は潜水工事を伴い、予算措置が必要である上、毎年同様な作業を行わなければ海水交換が妨げられる問題が解消されない。

北海道立栽培漁業総合センターで実施した垂直板を使った高密度飼育試験では、1時間当たり1換水以上であれば49個体/m²：総面積（底面＋側面）の高い密度でも99.2%の生残であったが、換水率を1/2に減らした場合には7.9個体/m²：総面積でも72%と低い生残であった⁴⁾。

施設に収容したキタムラサキウニが大量に死亡した原因は、上記の施設がかかえる問題に加えて、採捕から収容までのハンドリングの影響があると思われる。キタムラサキウニは長くて鋭い棘を持っているために、沖で採集し輸送する際に船上でカゴなどの容器に重ねて運搬すると、自重により互いに傷つけ合ったり、棘の基部が破損することが起こる。そのため、収容直後に多量の減耗が起こった可能性もある。

平成8年度には、この点にも留意しウニに対して負荷を少なくするように配慮し収容したため、試験開始直後の大量斃死は観察されなかった。しかし、先述したように4月から5月にかけて特に垂直板の表層に生息していたウニが多数死亡した。潜水調査が可能であった区画①、④、⑦の収容から3月までの平均生残率は80.2%であったが、3月から死亡が確認された4月を通した7月までの生残率は平均で62.9%であり低い傾向にあった。記憶式の塩分計が観測した4月から5月にかけての低塩分が、この時期のウニの死亡要因であったと思われる。

魚肉と配合飼料を使って生殖巣指数の増加を図ったが、いずれも室内試験や静穏域での養殖試験に見られるような短期間での身入りはできなかった。平成7年度は斃死もあったため3月に収容し8月までの試験であったが、この時期には養殖コンブの入手できるため海藻給餌だけでも身入りが可能であり、かつ味も良好であるため、特に魚肉給餌を行う必要はなかったと思われる。また、平成8年度は日本海において天然のウニの流通量が減る冬期間に出荷することを目指したが、結果として7月までかかり、一般漁場における漁期と同じ出荷時期であった。

高密度肥育施設を用いて集約的にウニを養殖する上で、生残率の向上と収容から出荷までの期間の短縮

が重要な課題であると思われる。

5. 摘要

(1) 回復漁場の有効利用

1) 旧除去区の遷移過程調査

- ①ウニ類の除去によって海藻群落を形成した旧除去区の底質、水深等の環境を明らかにし、放流されたエゾバフンウニの人工種苗の成長、回収率を求めた。
- ②ウニ放流前に現存量が約2 kg/m²であった大型多年生海藻(フシスジモク)主体の群落は、人工種苗の放流後に半減したが、崩壊してウニ除去前の状態にはならなかった。
- ③エゾバフンウニ人工種苗は放流後2年で殻径約4cmに成長し、放流2年後の回収率は31.4%であった。

2) 新除去区の遷移過程調査

- ①主な底質が岩盤でワカメが優占していた新除去区で1994年9月28日以降ウニ類を除去した。
- ②1995年4月には大型多年生であるフシスジモク中心の群落(現存量約2 kg/m²)が形成され、そこにエゾバフンウニ人工種苗(平均殻径約1.5cm, 平均密度約5個体/m²)を放流した。
- ③1997年7月に人工種苗は平均殻径約5cmに成長し、群落の最大現存量は経年的に衰退したが、崩壊はしていない。
- ④衰退した群落を回復させる手法を開発する必要がある。

3) ウニ類のフシスジモクに対する摂餌量の把握

エゾバフンウニ人工種苗のフシスジモクに対する摂食、消化・吸収ならびに成長をホソメコンブと比較して飼育実験により季節的に調べ、下記の知見を得た。

- ①フシスジモクの摂食量(摂餌率)および消化・吸収量は5月から9月のピークへと増加し、その後12月まで著しく減少した。これらの値はホソメコンブに対する値よりも7月から10月に高く、11月から2月に低い季節的な明瞭な相違が認められた。
- ②フシスジモクに対する消化・吸収効率は、ホソメコンブに比べて6月に低く、9月と10月に高かった。
- ③フシスジモクに対する成長量はホソメコンブと比較して、秋季から冬季に顕著に低下した。
- ④フシスジモクに対する餌料転換効率は5月と6月にホソメコンブよりも高く、8月から10月には低かった。

4) フシスジモクの部位別純生産量

- ①新除去区の奥の入り江の溝においてウニ類を除去し、ここのフシスジモクの基礎生態を1996-1997年に調べた。
- ②当地区のフシスジモクの繁殖時期は夏季(7-8月)であった。
- ③ウニ類の摂食圧はフシスジモクの加入を阻害していた。
- ④室内水槽にてフシスジモクのウニによる部位別の摂食圧を調べたところ、側枝と湿重量0.2g以下の小型個体は相対的に摂食されやすく、主枝と茎は比較的摂食されにくかった。

(2) 海藻群落形成技術開発

1) 海藻群落形成試験

- ①ウニ類の摂餌圧を軽減することにより磯焼け漁場で海藻群落を形成する技術が、一般漁場においても応用可能であることが実証された。しかし、ウニ除去作業の大部分は潜水によるもので、除去にかかる経費を少なくするためには漁業者自身が効率的にウニを除去する技術の開発が必要と思われる。
- ②ウニ除去後に形成された海藻群落はホソメコンブ、ワカメ、モロイトグサといった一年生海藻が主な構成主であり、これまで海藻群落形成試験が行われた矢追や六条で見られたフシスジモク群落への遷移は観察されなかった。ウニ除去後に形成される海藻群落の種組成が、同じ寿都湾においても場所によって変わることが明らかになったが、その原因について今後検討する必要がある。

③殻径50mm以上の身入りの悪いキタムラサキウニを6月に移植した結果、3カ月間で生殖巣指数が3.7から17.3へと増加し、出荷可能となった。1年サイクルでウニ除去、海藻群落の形成、移植、出荷というシステムが可能である反面、除去したウニ類のうち小型個体の活用手法の問題を早急に解決する必要がある。

2) キタムラサキウニの各種海藻に対する摂餌率の年齢別及び水温別試験

- ①キタムラサキウニの各種海藻に対する摂餌量は大型個体の方が多かったが、摂餌率は小型個体の方が高かった。
- ②コンブ目の3海藻が摂餌量・摂餌率ともに最も高かった。
- ③フシスジモク・エゾヤハズ・モロイトグサは、コンブ目の3海藻に比較するとキタムラサキウニの成長や身入りが悪く、餌料価値は低いと考えられる。

(3) ウニ肥育技術の確立

1) 養殖試験

- ①磯焼けが起こっている寿都町美谷の袋瀬を使って、身入りの悪いキタムラサキウニに魚肉と海藻を与えて集約的に養殖する試験を実施し、事業化に向けた問題点の検討を行った。
- ②殻径約50mmのウニを5,700個体、40個体/m²の密度で収容し、6カ月間は魚肉（サケ・ホッケ）を、その後の約3カ月間はマコンブを給餌した。開始時7.8だった生殖巣指数は終了時には18.8まで増加し、魚肉給餌直後の生殖巣は苦みを感じられたが、海藻給餌には味の改善が図れた。しかし、水っぽい問題は解決できなかった。

2) 高蛋白配合飼料試験

- ①飼育水温が高いほど高蛋白配合飼料による生殖巣の増大効果が認められ生殖巣指数が高くなったが、これまでと同様に苦味が強かった。
- ②蛋白質含量を14.5%から10.5%に減らした配合飼料を与えても、成熟時期以外や生殖巣指数が低い冬季には配合飼料での食味の向上は望めないと考える。
- ③苦味が蓄積した生殖巣指数の高いウニの場合でも、成熟期にコンブ給餌を行うことによって食味の改善が可能と考える。

(3) 高密度肥育施設の開発

1) 試験施設の開発

- ①激波浪時の排水口からの逆流や春期の波高が予想以上に低いことなどのため取水口からの海水流入がない日があるなどの状況が見られたため、施設後面に波除堤を設置するとともに取水口天端高を0.1m下げなどの改良をした結果、排水口からの逆流や海水の淀みに改善がみられた。
- ②当初フラッシュ効果を予定していた施設内の沈降物等の堆積は避けられない状況であり、堆積物除去等の人為的管理面が必要である。

2) 試験施設での実証試験

- ①寿都町六条地区に設置したコンクリート製のウニ高密度肥育施設（外寸11m×9m、飼育区画5m×5m）を用いて、キタムラサキウニの肥育試験を実施した。
- ②平成7年度は3月に収容したが、その直後にウニが大量に死亡した。原因として、少ない海水流入量、垂直板の振動、採集・収容時のハンドリングの影響が挙げられる。平成8年度は12月から収容したが、春先の融雪水に起因すると思われる低塩分（24前後）によりウニが大量に死亡し、平均生残率は41.3%であった。
- ③収容密度を25個体/m²と50個体/m²に設定し、生残率を調べたところ、前者で25.7%、後者で44.3%であり、密度が低い方が高い傾向にあった。しかし、カゴ養殖に比べるとこれらの値はかなり低いものであった。

④高密度肥育施設の構造上の問題を解決しウニの生残率を向上させることと、配合飼料等の開発により短時間で量的、質的な身入り改善を図ることが必要である。

6. 引用文献

- 1) Jensen, M., (1969): Age determination of Echinoids, *Sarcia*, 37:41-44.
- 2) Braun-Blanquet, J., (1964): *Pflanzensoziologie*, Springer-Verlag, Wien (鈴木時夫訳, 植物社会学1, 朝倉書店, 東京, 359pp.)
- 3) Yoshida, T., (1983): Japanese species of *Sargassum*, subgenus *Bactrophycus* (Phaeophyta, Fucales). *J. Fac. Sci. Hokkaido Univ.*, ser 5. 13, 99-246.
- 4) 北海道 (1994) 海域特性総合利用技術開発調査報告書 (磯焼けグループ), 1-68.
- 5) 吾妻行雄・中多章文・松山恵二 (1993) キタムラサキウニのホソメコンブに対する摂餌と同化, 北水試研報, 40 21-29.
- 6) Fuji, A. (1962) Studies of the biology of the sea urchin. V. Food consumption of *Strongylocentrotus intermedius*. *Jap. J. Ecol.* 12, 181-186.
- 7) Fuji, A. (1967) Ecological studies on the growth and food consumption of Japanese common littoral sea urchin, *Strongylocentrotus intermedius* (A. Agassiz). *Mem. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* 15, 83-160.
- 8) Fuji, A. (1960) Studies of the biology of the sea urchin. I. Superficial and histological gonadal changes in gametogenic process of two sea urchins, *Strongylocentrotus nudus* and *S. intermedius*. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* 11, 1-14.
- 9) 吾妻行雄, 門馬春博. (1988) 北海道南部太平洋沿岸におけるエゾバフンウニ人工種苗の放流 II. 成長と生殖周期. 北水試研報, 31, 15-25.
- 10) Yano, Y., Y. Machiguchi and Y. Sakai. (1993) Digestive ability of *Strongylocentrotus intermedius*. *Nippon Suisan Gakkaishi.* 59, 733.
- 11) Suzuki, N. (1955) Studies on the manufacture of algin from brown algae. *Mem. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* 3, 93-158.
- 12) 名畑進一, 新原義昭, 松谷 実, 武井文雄. (1981) 利尻島におけるフシスジモク *Sargassum confusum* の生態. 北水試研報, 23, 53-64.
- 13) 吾妻行雄, 松山恵二, 中多章文, 川井唯史, 西川信良. (1997) 北海道日本海沿岸のサンゴモ平原におけるウニ除去後の海藻群落の遷移. *Nippon Suisan Gakkaishi.* 63, 672-680.
- 14) 阿部英二, 名畑進一, 垣内 政宏. (1990) ホソメコンブの群落形成が阻害される原因についての一考察. 北水試研報, 35, 37-60.
- 15) 白石一成・谷口和也・蔵田一哉・鈴木 稔 (1991) 褐藻エゾヤハズのメタノール抽出物によるキタムラサキウニとエゾアワビに対する摂餌阻害作用, 日水誌, 57 1945-1948.
- 16) 谷口和也・蔵田一哉・鈴木 稔 (1992) コンブ科褐藻数種のエゾアワビに対する摂餌阻害活性, 日水誌, 58 577-581.
- 17) 千川 裕, 高橋和寛, 杉本 卓, 辻 浩二, 信太茂春 (1998) キタムラサキウニ養殖における生殖巣の質に及ぼす魚肉給餌の影響. 北水試研報, 52, 17-24.
- 18) 吾妻行雄, 錦織孝史 (1991) 魚肉給餌によるキタムラサキウニ生殖巣の発達 第一報 生殖巣の量的な発達. 北水試研報, 37, 59-66.
- 19) 錦織孝史 (1989) キタムラサキウニの生殖巣増大と品質に関する試験. 平成元年度北海道立函館水産試験場事業報告書, 362-369.
- 20) 千川 裕, 高橋和寛, 田嶋健一郎, 杉本 卓 (1992) 磯焼け有効利用技術開発, 高蛋白餌料の開発. 平成

- 3年度北海道立栽培漁業総合センター事業報告書, 107-125.
- 21) 桧山支庁桧山南部地区水産技術普及指導所(1991) 未利用キタムラサキウニの身入り試験指導. 水産業改良普及事業普及活動事例集, 38-44.
 - 22) 植村 康(1988) キタムラサキウニ給餌飼育試験. 青森県水産増殖センター事業報告書, 17, 223-235.
 - 23) Fuji, A. (1960) Size at first maturity and sexuality of two sea urchins, *Strongylocentrotus nudus* and *S. intermedius*. Bull. Fac. Fish. Hokkaido Unive., 11, 43-48.
 - 24) 村田裕子・山本達也・金庭正樹・桑原隆治・横山雅仁(1998) バフンウニ生殖腺の苦味の発現頻度, 日本水産学会誌, 64(3) 477-478.
 - 25) 辻 浩司・信太茂春(1993) 給餌キタムラサキウニの生殖巣成分調査, 道立函館水試事業報告書, 382-385.
 - 26) 三輪勝利(1975) 生ウニの冷凍に関する研究 "えぐ味"の生成並びに"身くずれ"現象の防止, 東海区水研報, 81 185-267.