

# 沿岸漁場整備開発調査報告書（磯焼け漁場有効利用技術開発調査報告書）

平成9年～11年のまとめ

## I 調査課題名

既設のウニ増殖場効果の調査とウニ除去による磯焼け地帯の藻場造成技術の開発

## II 実施機関および担当者名

北海道中央水産試験場 資源増殖部 田嶋健一郎、千川 裕、川井唯史  
水産工学室 桑原久実、金田友紀  
加工利用部 北川雅彦、菅原 玲、臼杵睦夫

## III 調査の目的、方法および結果

### 1. 餌料海藻群落造成・保全技術開発

#### 1) 餌料海藻群落造成技術開発

##### ①餌料海藻群落の生育環境の把握

###### 「航空写真を利用した海藻群落の発生要因の解明」

【目的】藻場分布を調査する場合、従来から、SCUBA潜水によるライン調査が行われてきたが、広域な海藻分布の状況を把握するには困難な場合が多い。北海道は、北海道南西海域の磯焼けの現状を把握するため、昭和58年の夏、茂津多岬から白神岬の約175kmにおいて航空写真撮影を行った。本研究の目的は、この資料を用いて、磯焼け海域に局所的に生育する海藻群落に注目し、この地理的や地形的な特性に視点を当て検討を行うことにした。

【方法】航空撮影は、昭和58年7月～8月に茂津多岬から白神岬の約175kmにおいて行われた。撮影縮尺は1/6000、高度は900mで、海藻の判読可能水深を10m程度とし、距岸400m～500mの領域が撮影されるように行った。航空写真のオーバーラップは60%であり、単一写真ではなく、隣接する一組の写真を実体視して、海藻分布を判読している。これらの海藻分布を1/25,000で作成された漁場図に書き込み、地形、底質及び海藻の関係を把握できるようにした。海岸線を500m間隔に、水深を5m間隔に分割し、海岸線の方向、海底勾配、底質、海藻の分布の状況を数量化した。

【結果】・海藻は、海岸の岸沖方向が北西で、海底勾配が急な波当たりの強い海域に群落を形成し、この逆に、磯焼けは、岸沖方向が北西から離れ、海底勾配が緩やかな波当たりの弱い海域に形成する傾向がある。これは、ウニの摂食は、波当たりが強いと小さく、弱いと大きいことから、ウニの摂食と密接に関係していることがわかる。

・磯焼けは、河川や砂の影響の強い海域では生じにくい傾向が表れた。これは、ウニが淡水や砂を嫌うためと考えられる。海藻と河川や砂の間には、明確な関係が表れなかった。さらに検討する必要がある。

###### 「磯焼け海域における海藻群落の形成機構の解明」

【目的】北海道南西部の磯焼け地帯は、全てサンゴモで覆われて全く海藻が生えないとい

うことではなく、毎年、海藻群落を形成する場所もある。このように自然に形成されるホソメコンブ群落(ウニにとって餌料価値が高い)に注目し、藻場の造成を行う上で人為的に制御可能な環境条件を見つけ出すことを目的として詳細な調査を行った。

【方法】現地調査：北海道小樽市忍路湾の湾奥において、汀線から北の方向に57mのチェーンを海底にピン固定し、調査線を設定し、(1)波浪と水温、(2)ウニの分布、(3)海藻の生育状況を詳細に調査した。ウニは個体数の計数、海藻は種類の把握を0.5m×0.5mの枠を用いて5mまたは10m間隔でSCUBA潜水によりほぼ月2回のペースで実施した。波浪と水温の測定は、水深3mに設置した波高計を用いて行った(120分間隔/20分測定)。調査期間は、1998年10月27日～1999年10月5日である。数値解析：底面波浪流速は、波高計で測定した波高、周期(有義波)を用いて、非定常緩勾配方程式で波浪場を計算し、微小振幅波理論により底面波浪流速を求めた。

【結果】・水温が低く、底面波浪流速が大きいとウニの分布が認められず、その逆に、水温が高く、流速が小さいとウニが分布することがわかる。但し、流速や水温からウニが分布する領域であっても砂や海藻(掃き出し効果)により分布しない場合が認められる。

・多年生海藻は、ウニが分布しない流速の大きい場に限って生育していることがわかる。このようなウニの食圧がかからない場では、海藻間の競争が起こり多年生海藻に遷移したものと考えられる。

・磯焼け状態を示すサンゴモは、通年ウニが分布する流速の小さい場に見られることがわかる。常に、ウニの食圧が作用しているためサンゴモしか生育できないと考えられる。

・ホソメコンブは、冬は流速が大きくウニが居ない、夏は流速が小さくウニの居る場に生育していることがわかる。これは、上に示した多年生海藻とサンゴモの生育環境の中間的な環境といえる。冬にウニの食圧がかからないのでホソメコンブの幼芽が保護され、夏には、ウニの食圧が大きくなるので多年生海藻への遷移が妨がれホソメコンブの生育環境が保証されていると考えられる。

【備考】この他に、北海道南西部にある岩内港西防波堤沖に形成される大規模なホソメコンブ群落の形成機構の調査・解析を実施した。この海域は、転石地帯であり、冬期、波浪によって底質が不安定となり、このためキタムラサキウニの密度は低く、ホソメコンブの幼芽が保護され群落が形成することが明らかとなった。

## ②ウニフェンスを用いた実証試験

「ウニ侵入防止フェンス」を用いる漁業者自身の管理によるコンブ群落の造成、維持、利用手法の開発を目指す。

### 「コンブ群落造成と利用方法の解明」

【目的】これまでの研究により、毎年ホソメコンブ(以下コンブ)が生育するのに重要な条件の一つは、夏にウニの食圧が加わり、冬にそれが抑制されることと考えている。ウニ侵入防止フェンス(渡島西部水産技術普及指導所考案)を用いて、磯焼け海域に上記の条

件を設定し、毎年コンブ群落が形成されることを実証する。

**【方法】** 調査は磯焼けが発生している小樽市忍路湾の湾奥で行った。フェンス（(株) 海洋探査制作、チェーンに刺し網を絡めたもの）を1997年11月25日に設定し、同時にフェンス内のウニ類を除去した。1998年5月6日にキタムラサキウニをフェンス内に移植し、12月10日にはフェンスを張り替え、フェンス内のウニ類を再び除去した。また外界に面して磯焼けが発生している泊村盃地先でフェンスを1998年11月28日に設置し、フェンス内のウニ類を除去した。

**【結果】** 忍路湾では1998年5月6日にはフェンス内に平均3.7kg/m<sup>2</sup>のコンブ主体の群落形成されたが、フェンス外は磯焼けが持続していた。1999年4月19日もフェンス内だけで、平均0.8kg/m<sup>2</sup>のコンブ群落形成された。泊村盃では1999年5月10日にフェンス内だけで平均6.1kg/m<sup>2</sup>のコンブ群落形成された。小樽市忍路のフェンス内に移植したキタムラサキウニの生殖巣指数は1998年7月3日に17に達し、販売された。

これらの結果からウニ類の食圧を季節的に制御することはコンブ群落を毎年形成する上で重要な条件の一つであることが確かめられた。またフェンスにより形成されたコンブ群落はキタムラサキウニの生殖巣指数を上昇させる場所として有効であることが実証された。ただし各フェンスでは同様にウニ類の食圧制御を行ったにも関わらずコンブの現存量は大きく異なったので、水温や流速等ウニ類の食圧以外の環境条件もコンブの現存量の多寡に影響したと考えられる。

#### 「コンブの加入時期と初期生残の解明」

**【目的】** 冬季における適切なウニ類除去時期を検討するためコンブの加入時期と初期生残を明らかにする。

**【方法】** 加入時期を明らかにするため、1999年10月27日～2000年2月8日まで1ヶ月に2回を原則とし、コンブ付着基質としてコンクリート板を設置した。2000年4月19日にはプレート上のコンブ生育状況を観察した。調査場所は前述のフェンス内とした。

またコンブの生残状況を明らかにするため湾奥の磯焼けを呈している水深3～6mで1999年11月から2000年2月まで毎月2回程度、岩盤の表面とキタムラサキウニ5～10個体を採集した。キタムラサキウニは胃内容物を取り出し、岩盤は細かく砕いてES培地で2ヶ月以上培養した（水温10℃、光は12LD、55μM）。

**【結果】** 設置したプレートのうちコンブが発芽したのは10月27日と11月10日に設置したプレートだけであった。したがって本調査機期間中でコンブ群落が見られる程度の加入が見られたのは11月上旬までと考えられる。胃内容物でコンブの発芽が見られたのは12月6日までに採集したものに限られ、岩盤では12月17日までに採集したもの限りコンブが発芽した。これから磯焼け地帯に加入したコンブの幼芽は通常12月中旬までにウニ類によって食い尽くされると思われる。以上のことからフェンスの設置とウニ類の除去はコンブの加入があり幼芽が残っている11月頃までに行うのが適切と思われる。

### 「適切なウニ食圧除去場所の解明」

【目的】ウニ類の除去に伴い濃密なコンブ群落が形成される場所条件（流動環境）を特定する。

【方法】小樽市忍路湾の湾奥部において1997年から1998年にかけてフェンスを設置した場所（水深0.5-2.5）よりも深い場所（水深2.0-2.5m）において、1998年11月25日にフェンスを設置して中のウニ類を除去した。1999年4月19日にはフェンス内において海藻を枠取りした。また小樽市忍路湾の湾中央には小規模な岬があり、周辺が磯焼けを呈している。その岬の同一水深帯で湾口側から湾奥側にかけて4面のウニ侵入防止フェンスを設置し、中のウニを1999年10月27日に除去した。2000年4月20日には各フェンス内の海藻類を枠取りした。

【結果】湾中央と湾奥のフェンス内でコンブが出現したのは相対的に流速の速い場所（冬季の平均流速が25cm/秒）に限られ、流速が遅い場所（平均流速20cm/秒以下）にはケウルシグサ等が優占した。このことから流速はコンブの生育に重量な影響を及ぼしていると考えられる。この現象から少なくとも二つ仮説が考えられた。一つは流速がコンブの生長に影響し、流速が速いほど生長が良好になるというものであり、他の一つは、フェンス内に侵入した極少数のウニ類が流速の緩い場所のコンブを選択的に捕食したというものである。

### ③沿整施設の検証

#### 「北海道美谷海域の沿整施設におけるホソメコンブ群落の形成条件」

【目的】磯焼けには、ウニの食圧が密接に関係し、ウニの食圧は波浪に影響されることがわかっている。このため、磯焼け海域にコンブ群落を継続して生育させるには、波浪、ウニ及び海藻の関係を理解する必要がある。北海道寿都町美谷海域に設置（S57～58年に施工）した沿整施設は、毎年ホソメコンブ群落を形成するものと磯焼け状態になったものがある。本研究は、この沿整施設に注目し、現地調査や数値モデルを用いて、波浪、ウニの食圧及び海藻の関係を解明し、海藻の生育に大きな違いが生じた原因を明らかにする。

【方法】現地調査：美谷海域に設置された沿整施設の概要を図1に示す。岸から沖へ、順に、囲い礁、潜堤、囲い礁が4組設置され、囲い礁は大割石（直径約90cm）1層積み、潜堤は異形ブロック（8t）からなり天端水深はDL-0.7mである。1998年6月に航空写真による海藻分布調査、1997年以降、毎年6月と11月に海藻の生育量とウニ類の分布量を枠取り採取と水中写真撮影により調査している。数値モデル：①波浪場の解析：非定常緩勾配方程式を用い、底面波浪流速を算出する。②ウニ摂食圧：ウニが海藻を食べる際、流速の影響を強く受ける。ウニの摂食量と底面流速の関係は川俣(1994)の式を用いて評価した。ウニの食圧は0～1の値をとり、流速が30cm/s以上になると食圧は急に低下し0に近づく。月毎に、波浪、ウニ摂食圧の解析を行い、これらの年間の変化特性と海藻の関係を明らかにする。解析に用いた波浪特性は、石狩湾新港で得られた1990～1995年の平均有義波を用いた。

【結果】航空写真から見た沿整施設での海藻の分布状況は、岸側の囲い礁と潜堤は、毎年ホソメコンブ群落を形成する施設で、このため黒っぽく見える。沖側の囲い礁は、磯焼け状態になった施設で、白っぽく見える。これらの施設は非常に近くにあるため、水温、塩分及び栄養塩などの条件は同一であると考えられるが、海藻の生育に大きな違いが生じている。

磯焼け海域での海藻の生育には、ウニの食圧が密接に関係していることから、これら沿整施設でのウニ食圧の年変化を求めた。いずれの施設も、冬期は時化、夏期は静穏となる日本海の波浪特性を反映し、冬期はウニ食圧が小さく、夏期は大きくなっており同様な傾向が認められる。この様なウニ食圧の変化は、大型1年生海藻であるホソメコンブの生育条件に合うことがわかっている。しかし、3~5月及び10~11月のウニ食圧を見ると、沖側の囲い礁は、潜堤や岸側の囲い礁に比較して、2~3倍大きくなっている。この時期は、ホソメコンブの配偶体、幼芽期にあたり、この時期のウニ食圧の大小が、その後の海藻群落形成に大きく影響するものと考えられる。

【備考】他の沿整施設（積丹町の野塚と西河、寿都町的美谷と有戸）についても同様な解析を実施した結果、7月でもホソメコンブ群落が見られる場所は、水深の浅く波当たりの比較的強い場所であることがわかった。これらをまとめて、キタムラサキウニの食害を抑えてホソメコンブ群落を形成するのに必要な底面波浪流速を明らかにした。

#### 「嵩上げ高さの算定方法」

【目的】現在、ホソメコンブの生育環境を造成する方法として、次の2つを考えている。

- 1) フェンスによる方法、2) 嵩上げによる方法

ここでは、2)の嵩上げについて、寿都湾の沿岸域をモデルとし、数値解析を用いて、波浪に伴い流動環境から嵩上げ高さの算出方法を明らかにする。

【方法】沿整施設において、ホソメコンブ群落の生育水深を明らかにするために、1999年7月に野塚、西河、美谷、有戸に設置された囲い礁の潜水調査を実施した。ホソメコンブ群落が認められた水深について、底面波浪流速の年変化を波浪エネルギー分散法や合田の砕波モデルを用いて算出する。次に、寿都湾の波浪場の解析には、広域の解析に有利なエネルギー平衡方程式(karlsson, 1969)を用いて行った。これは、多方向不規則波の浅水変形、屈折及び砕波を考慮することができる。得られた波高、周期から微小振幅波理論を用いて、底面の波浪流速を計算し、上で得られた様にホソメコンブが生育可能な流動環境を満たす領域や水深を明らかにする。なお、計算に使用した波浪は、瀬棚港で測定された1983年から1995年の平均有義波である。

#### 【結果】

- 1) 囲い礁におけるホソメコンブ群落の形成条件

波浪によるウニ食圧の制御が、ホソメコンブ群落の形成に重要であることがわかったが、どの程度の波浪流速に制御すればよいか、明らかにする必要がある。囲い礁（積丹町の野

塚、寿都町の美谷と有戸)においてホソメコンブが見られた領域の最大と最小の底面波浪流速を明らかにした。得られた波浪流速の範囲になるように、囲い礁を設計すれば、ウニの食圧を抑え、毎年ホソメコンブ群落が形成するものと考えられる。

## 2) ホソメコンブの生育可能領域と水深の予測

寿都湾全域の波浪解析を行いホソメコンブが生育する領域とその水深を算出した。波浪は主に、北西から来襲するので、北に突き出した弁慶岬で波浪エネルギーが大きくカットされ湾内は静穏になる。このためホソメコンブが生育する領域と水深は、磯谷や美谷、弁慶岬などの湾外では水深2.0~3.5mであるが、湾内になるに従い浅くなり有戸では、0.5~1.0m、六条や矢追では、あまり見あたらない。

この結果は、当然、嵩上げ高さの算定する際にそのまま用いることができる。この様に、波当たりにより嵩上げ高さを変える必要があることがわかる。囲い礁などホソメコンブの造成を計画する場合、事前に、このような解析を行い、コンブの生育可能領域と水深を求めておき、検討することが望まれる。

## 2) 餌料海藻群落保全・管理技術の開発

### ① 回復漁場におけるウニ生産システムの開発

#### 「世代更新に及ぼす食圧の影響」

【目的】磯焼け地帯でウニ類の除去を継続すると遷移の極相として一般的にフシスジモク等の大型多年生海藻群落が形成されることが過去の調査で明らかにされている。しかし、大型多年生海藻群落にエゾバフンウニの人工種苗を放流すると群落の現存量が経年的に減少する問題がある。そこで大型多年生海藻群落の維持方法を開発する。過去の調査によるとウニ除去で形成されたフシスジモク群落で、ウニの食圧の負荷によって現存量が減少傾向にある場所では、以下の対策が考えられている。「フシスジモクの繁殖時期である晩夏の前にウニの除去を行うことでフシスジモクの新規加入群の生存が保証され、群落がウニの食圧を負荷する以前の状態に再生する。」本研究では、その実証を行う。

【方法】調査は寿都町の滝の潤で行った。当地区はウニ類除去の継続によりフシスジモク群落形成され、その後のエゾバフンウニ人工種苗放流により、群落の現存量が減少傾向にある。調査は1995-1998年にかけて2月毎を原則として、水深別の枠取りを行っており、得られたフシスジモクの平均現存量を求めた。1997年7月24日にはガハ-によるエゾバフンウニの漁獲とキタムラサキウニの除去を行った。

【結果】年間最大現存量は1995年 $2\text{ kg/m}^2$ 、1996年 $0.6\text{ kg/m}^2$ 、1997年 $0.5\text{ kg/m}^2$ 以下と減少していたが、ウニ漁獲後の1998年6月は $1.3\text{ kg/m}^2$ となった。また漁獲したウニ類は寿都町漁業協同組合に出荷された。したがってフシスジモク群落にエゾバフンウニ人工種苗を放流するとき、数年間に一度フシスジモクの繁殖時期前にウニ類を漁獲して世代更新を図ることによって群落は長期的に漁場として保全可能であることが実証された。

## 「大型多年生海藻群落の利用」

【目的】ウニ除去により寿都町の矢追ではフシスジモク中心の群落が形成され、美谷ではコンブ中心の群落が形成されている。矢追では1996年の初夏に人工種苗(平均殻径15mm)を密度5個体/m<sup>2</sup>で放流している。美谷でも1997年に同様に人工種苗を放流している。両地区においてエゾバフンウニ人工種苗の成長と残留率(推定残留数/放流数)を比較する。

フシスジモク群落に放流された人工種苗の主な餌料海藻の種類を明らかにするため、胃内容物の観察を行う。

【方法】矢追では1998年7月26日に、美谷では1999年8月5日に調査を行った。両地区では潜水によりエゾバフンウニを採取りして、殻径、湿重量、生殖巣重量の測定を行い、第5生殖板の第1輪紋の最大横幅により人工と天然の判別を行い、人工種苗の残留数を推定した。ウニ類の生殖巣重量が発達する時期である1999年7月26日にフシスジモク群落が形成されている矢追で胃内容物の調査を行った。各水深(1、2、3、4、5m)でエゾバフンウニと海藻の採取りを行い、胃内容物の種類を顕微鏡で観察した。

【結果】矢追の人工種苗における平均殻径は4.3cm、平均生殖巣指数は18.9、残留率は44%であった。美谷の平均殻径は4.8cm、平均生殖巣指数は15.7、残留率は9.5%であった。このことからフシスジモク群落に放流された人工種苗はフシスジモクとコンブの混生群落に放流された人工種苗と同様に成長し、残留率も高いことが確かめられた。

胃内容物は各水深帯においてコンブが優占し、45~85%を占めた。海藻は1~2mではコンブが出現し、3~5mではコンブが出現せずフシスジモク群落が見られた。以上の結果からフシスジモク群落では主な餌料が流れ藻を含むコンブ等であると考えられた。

## 2. ウニ侵入防止技術の開発

### 1) 物理的行動制御技術の開発

【目的】キタムラサキウニの摂食から海藻の幼芽を保護するために、現在、北海道では刺網を棒状にしたフェンスが設置され、その効果が調査されている。施工数の増加に伴い、種々の問題点が指摘され始めている。

本研究では、次の2つについて検討を行ったので報告する。

①棒網フェンスを安定に保つチェーン重量の算定

②刺網フェンスによるキタムラサキウニの侵入防止実験

#### ①棒網フェンスを安定に保つチェーン重量の算定

【方法】室内実験：刺し網は、太さ6号、目合い84mm、100掛け、30目のものを用いて、直径30cm、長さ1mの棒網状のフェンスを作製した。網地の巾方向に6掛けずつ合計17回織り込みガイドロープに結ぶ、この際、内割り縮結は6割とした。チェーン重量(kg)は1m当たり0.26、0.78、1.7、3.5及び5.7のものを用意し、流速(cm/sec)を5、10、18、21、27、32、39、45、50及び55と変化させて、フェンスの安定性を見た。底面は、東北珪砂3号( $d_{50}=0.3\text{mm}$ )を付着させた平板を作製した。なお、実験は一方向流で行った。

理論の概要：チェーン重量の算定は、次のように求めた。

Fd(刺網フェンスの流体抵抗力)は、次式のような。

$$Fd = 1/2 \rho_w u^2 Sp Cd (1 - \lambda) \quad (1)$$

ここに、 $\rho_w$ :海水の密度、 $g$ :重力加速度、 $u$ :底面流速、 $Sp$ :流れ方向への投影面積、 $Cd$ :抵抗力係数、 $\lambda$ :空隙率である。

Ff(底面摩擦力)は、次式のような。

$$Ff = \mu (W_c' + W_{n1}') = \mu [V_c (\rho_c - \rho_w) + V_{n1} (\rho_{n1} - \rho_w)] \quad (2)$$

ここに、 $\mu$ :静止摩擦係数、 $W_c'$ 、 $W_{n1}'$ :チェーン、刺網+ロープの水中重量、 $V_c$ 、 $V_{n1}$ :チェーン、刺網+ロープの体積、 $\rho_c$ 、 $\rho_{n1}$ :チェーン、刺網+ロープの密度である。

以上から、 $Fd \leq Ff$ のとき、安定である。

チェーンの空中重量は、次式となる。

$$W_c \geq \frac{[1/2 \rho_w u^2 Sp Cd (1 - \lambda) / \mu - V_{n1} (\rho_{n1} / \rho_w - 1)] \rho_c}{(\rho_c / \rho_w - 1)} \quad (3)$$

なお、本解析に使用した物性定数は、次のようである。 $Sp$ :30cm×100cm、 $Cd$ :円筒形とみなし1.17、 $\lambda$ :0.9995、 $\mu$ :0.5、 $\rho_c$ :7.86、 $\rho_{n1}$ :1.12である。

【結果】チェーン重量と流速の関係から刺網フェンスの安定性を示す図を作成した。理論曲線(3式)の下側であれば安定であることを表す。

図を見ると、実験と理論の結果は、良く一致しており、理論の妥当性が確認された。縮結、目合い、フェンスの直径などを変化させた場合、(3式)の定数を状況にあわせて変化すれば、フェンスを安定に保つチェーン重量が算定できる。

## ②刺網フェンスによるキタムラサキウニの侵入防止実験

【方法】忍路湾の湾奥部に設置したウニ侵入防止刺網フェンス内にウニの侵入が多数認められたことから、室内実験を行い刺網フェンスによるキタムラサキウニの侵入防止効果を確かめることにした。

実験は、振動流水層を用い、底面に1m×1mのフェンスを設置し、その内部にウニを15個体入れ、フェンス外への脱出状況を観察した。フェンスはガイドロープを水槽底面のネジ穴で固定した。記録は、水槽上方からビデオ撮影して行った。

網の太さが2号と8号の場合、静水と振動流(10cm/s)の場合について実験を行った。キタムラサキウニは殻径31mm~64mmのものを用い、平均殻径は45.7mmである。 $Th=0.57 \times Tr-1.98$ (ここに、 $Th$ :殻高、 $Tr$ :殻径)を用いると、殻高は15mm~34mm、平均殻高は24mmとなる。

【結果】ガイドロープと底面との最大巾は、20~50mm程度であるが、図中矢印の箇所から多くの脱出が認められた。この状況は、ウニの刺を倒してガイドロープの下をくぐり抜けていた。フェンスの上面を超えて脱出するものは見られなかった。

網地が太い8号網の方が、2号網よりフェンス内から外部に脱出する個体が多くみられた。

網地が太いとフェンスが硬くなるので、底面との接点が少ないためウニが容易に移動できることが考えられる。

振動流を作用させフェンスの揺れによるウニの侵入防止効果を見たが、静水下と同様にフェンス内から外部に脱出する個体が見られた。また、フェンスに絡まる個体が多く認められた。

【備考】 忍路湾、盃海域において、刺し網フェンスを用いたホソメコンブ群落の造成試験を実施した結果、静穏域である忍路湾では、設置後数か月で刺し網にサンゴモが付着し、刺し網が太く、固くなり、ウニの侵入防止効果が著しく低下した。時化の多い盃海域では、たびたび、波の力によって刺し網とチェーンが破断した。このように刺し網フェンスは、実用的には問題点が多くある。この点については、「ウニ食圧制御機能を有する藻場造成施設の開発」(道費)で新たな施設開発に、平成12年から取り組む。

### 3. ウニ肥育技術の開発

#### 1) 天然ウニの生殖腺の発達および味と餌料海藻との関係把握

【目的】天然ウニとその生息域の海藻を採集し、成分分析を行い、室内実験におけるウニの成分と比較する。

【方法】試験に供した天然キタムラサキウニおよび海藻は、古平町、泊村、寿都町、小樽市忍路で6月から11月の間に採集した。海藻はキタムラサキウニ生息域のものとした。ウニは殻径、重量および生殖腺重量を測定し、その生殖腺を凍結乾燥処理して分析用試料とした。また、海藻も真空凍結乾燥したものを分析用試料とした。これら天然ウニ生殖腺について一般成分、遊離および全アミノ酸組成、また天然ウニ生息海域に繁茂する海藻について一般成分、全アミノ酸組成を測定した。

【結果】味に影響を与える成分のひとつにあげられる遊離アミノ酸について検討すると、天然キタムラサキウニ生殖腺の遊離アミノ酸の最多構成成分はGlyであり、しかもGlyは他のアミノ酸の約2倍、あるいはそれ以上含有された。また、その次に多く含有された成分は、Arg、Ala、Tau、Thr、Cysであった。室内実験で味が劣ったり、また苦みを生じた生殖腺の遊離アミノ酸組成を見ると、Glyの含有量が低い値を示した。

#### 2) ウニ肥育用飼料の開発

【目的】ウニ生殖腺に苦みを与えることなく、生殖腺歩留りを向上させる人工飼料を開発する。

【方法】

① 平成9年度

ア. 試験飼料

飼育に用いた飼料は、No.1:コンブペースト(三石漁協製造)、No.2:No.1に大豆タンパクとマッシュポテトを添加(三石漁協製造=寿都ウニ肥育施設用)、No.3:No.2

と同様（水試加工部製造）、No.4 2%アルギン酸溶液にカゼインを混合、No.5：No.4 にマッシュポテトを添加、No.6：2%アルギン酸溶液に大豆タンパクを混合、No.7：No.6 にマッシュポテトを添加した7種類とした。No.1を除き、試験飼料中のタンパク質含量は10%（無水物換算）に、またマッシュポテトは5%になるように配合した。試験飼料の成型には3%乳酸カルシウム溶液を用いた。表 にこれら試験飼料の配合割合を示した。

イ. 試験に用いたウニおよび飼育条件

寿都沖で採集したキタムラサキウニ（平均殻径51.2mm、平均重量58.3g）を25個ずつ、7個の60リットルアクリル水槽に収容した。試験飼料300gを1週間に3回、ウニに与えた。飼育場所は中央水産試験場で、飼育期間は11月下旬より9週間、飼育期間の水温は5.2～12.1℃（平均水温8.2℃）であった。測定（殻径、重量、生殖腺重量および指数）、および生殖腺の成分分析は試験開始時と9週間後に行った。

## ② 平成10年度

カゼインを中心とした配合飼料および過去に評価の高かった配合飼料について検討した。

### ア. 試験飼料

飼育に用いたボイル塩蔵コンブは三石漁協製造のもの、また、No.5～10は、函館水産蛋白加工 K.K.製造のもので、アルギン酸と合成樹脂で固め乾燥したものである。なお、過去に評価の高かったものはNo.6である。

### イ. 試験に用いたウニおよび飼育条件

小樽市忍路湾で採集したキタムラサキウニ（平均殻径52mm、平均重量62.4g 平均生殖腺指数2.6）を25個ずつ、10個の60リットルアクリル水槽に収容した。試験飼料を飽食給餌した。飼育期間は11月下旬より4ヶ月、飼育期間の水温は5.2～11.6℃（平均水温6.7℃）であった。飼育ウニの測定（殻径、重量、生殖腺重量および指数）は飼育開始時と3ヶ月後、4ヶ月後に、官能評価は3ヶ月後と4ヶ月後に、成分分析は4ヶ月後に行った。

## ③ 平成11年度

ウニ生殖腺の歩留り向上を目的として、飼料へのカゼイン添加量について検討した。

### ア. 試験飼料

試験飼料は、2%アルギン酸溶液に飼料のタンパク質含量が10（飼料1）、15（飼料2）、20（飼料3）、および25（飼料4）%（それぞれ飼料成型時の無水物換算値）になるようにカゼイン（Na-カゼイネート）を添加し、3%乳酸カルシウム溶液で紐状に成型（直径7～8mm）して調製した。表 にこれら試験飼料の配合割合を示した。

### イ. 試験に用いたウニおよび飼育条件

供試ウニは、平成11年3～4月に小樽市忍路湾で採集し、飼育開始時まで60リットルアクリル水槽に無給餌で蓄養したものをを用いた。飼育は、平成11年9月29日にウニ16個体ずつを4つの60リットルアクリル水槽に収容し、2日毎に約150gの各試験飼料をそ

れぞれ与え 11 月 25 日まで行った。飼育場所は中央水産試験場で、飼育期間の水温は 11.7～20.9℃（平均水温は 16.1℃）であった。飼育前後に生物測定（殻径、全重量、生殖腺重量および歩留り）、および生殖腺の成分分析（一般成分、遊離および全アミノ酸組成、全脂質の脂肪酸組成、卵黄タンパク質量）を行った。また、飼育終了後には飼育ウニ生殖腺の官能評価を行った。

#### 【結果】

##### ① 平成 9 年度

- ア. カゼイン、大豆タンパク、マッシュポテトを加えて、タンパク質含量を 1.14～1.34%とした試験飼料は、生殖腺指数を増加させたが、生殖腺の水分を 74～77%に増加させた。
- イ. 試験飼料のタンパク質含量の増加に伴い、ウニ生殖腺のタンパク質含量、および全アミノ酸総量が減少し、遊離アミノ酸総量が増加した。
- ウ. カゼインはコンブペーストの場合と同様な遊離アミノ酸組成をウニ生殖腺にもたらすことから、コンブの代替飼料原料になると考えられた。
- エ. カゼインと大豆タンパクの全アミノ酸組成は、同様なパターンを示したが、これらをウニに与えた場合、両者はウニ体内での利用のされ方が異なると考えられた。すなわち、カゼインではウニ生殖腺の遊離アミノ酸において Gly を顕著に増加させたが、大豆タンパクではそのような増加は認められなかった。また、大豆タンパクは遊離アミノ酸において Val、Ile、Leu、Phe を増加させた。
- オ. マッシュポテトは試験飼料 No. 4、No. 5 を比較することにより、ウニ生殖腺の遊離アミノ酸において Ile、Leu、Phe、Thr を増加させ、Gly を減少させると考えられた。
- カ. 苦みが生じた No. 7 の生殖腺は、遊離アミノ酸組成において Leu、Ile、Phe の増加が観察された。

##### ② 平成 10 年度

- ア. カゼインを基調にした試験飼料 No. 1～3 は、4 ヶ月飼育後の生殖腺指数の増加量は少ないが、生殖腺の成分を見てみると、水分が 69～77%と比較的少なく、タンパク質と脂質がそれぞれ 13～14%、4～10%と多く、官能評価では甘みがあり苦みが少ないという良い評価を得た。
- イ. 試験飼料 No. 4（ボイル塩蔵コンブ）は、4 ヶ月飼育後の生殖腺指数が 16 と比較的高く、生殖腺の成分を見ると、水分が 75%と比較的少なく、タンパク質が 13%と多く、官能評価では試験飼料 No. 3 について 2 番目に良い評価を得た。
- ウ. 澱粉を基調にした試験飼料 No. 5～10 は、官能評価で強い苦みを感じたり水っぽく身締まりの悪いものと判定された。

##### ③ 平成 11 年度

- ア. 飼育ウニの生殖腺歩留りは、試験飼料（給餌）のタンパク含量が高くなるほど高

い値を示した。

- イ. 飼育ウニ生殖腺の一般成分は、試験飼料のタンパク含量が高くなるほど水分が増加し、灰分、脂質、粗繊維質が減少する傾向を示した。
- ウ. 飼育ウニ生殖腺の遊離アミノ酸組成は、試験飼料のタンパク質含量が高くなるほど、甘みを呈するグリシンの割合が低くなり、苦みを呈するバリンやロイシンの割合が高くなる傾向を示した。
- エ. 飼育ウニ生殖腺の官能評価は、飼料1を給餌したウニ生殖腺が最も良い評価であり、試験飼料のタンパク含量が高くなるほど評価が低くなった。
- オ. いずれの飼育ウニ生殖腺とも、製品として利用できないような顕著な苦みを感じたり、著しく水分が多く、身締まりの悪いものは見られなかった。
- カ. 飼育ウニ生殖腺に苦みを与えず、生殖腺歩留りを16%（キタムラサキウニの出荷目安値）以上にするためには、ひとつの方法としてタンパク源にカゼインを用いてタンパク質含量を20%（飼料成型時の無水物換算値）以上に調製した飼料で、約3ヶ月間飼育することが考えられた。

# 平成11年度沿岸漁場整備開発調査報告書

## I 調査課題名

既設のウニ増殖場効果の調査とウニ除去による磯焼け地帯の藻場造成技術の開発

## II 実施機関および担当者名

北海道中央水産試験場 資源増殖部 干川 裕、川井唯史  
水産工学室 桑原久実、金田友紀  
加工利用部 北川雅彦、菅原 玲

## III 調査目的

### 1. 餌料海藻群落造成・保全技術開発

#### 1) 餌料海藻群落造成技術開発

##### ① 餌料海藻群落の生育環境の把握

北海道南西部の磯焼け地帯は、全てサンゴモで覆われて全く海藻が生えないということではなく、毎年、海藻群落を形成する場所もある。このように自然に形成されるホソメコンブ群落(ウニやアワビにとって餌料価値が高い)に注目し、藻場の造成を行う上で人為的に制御可能な環境条件を見つけ出すことを目的として、その形成機構を詳細に調査した。

##### ② ウニフェンスを用いた実証試験

フェンスの設置場所において、海藻の種類や現存量が異なることがわかってきた。現存量が高いコンブ群落を得るための最適なウニ除去時期を解明する。また、ウニ除去により現存量の高いコンブ群落形成が期待できる場所(流動環境)の解明を行う。

##### ③ 沿整施設での検証

機能が低下し磯焼け状態にある施設は、毎年ホソメコンブ群落を形成する施設に比べ、コンブの遊走子が着底する10,11月と幼芽となった3,4月のキタムラサキウニの食圧が高くなっていることが明らかとなった。この時期のウニ食圧が、ホソメコンブ群落の形成に大きく影響しているものと考えられる。これらを実際の沿整施設で検証することを目的とした。

#### 2) 餌料海藻群落保全・管理技術の開発

##### ① 回復漁場におけるウニ生産システムの開発

藻場構成主要種の差異に対応したエゾバフンウニ人工種苗の成長と残留率の違いを明らかにする。また、大型多年生海藻(フシスジモク)主体の群落に放流されたエゾバフンウニ人工種苗の主な餌料を明らかにする。

#### 3. ウニ肥育技術の開発

##### 1) ウニ肥育用飼料の開発

これまでウニ生殖巣の味改善に効果が認められたカゼインについて、ウニ生殖巣に苦みが発現せず生殖巣の歩留りが向上されるようなその飼料への添加限界量について検討する。

## IV 調査方法

### 1. 餌料海藻群落造成・保全技術開発

#### 1) 餌料海藻群落造成技術開発

##### ① 餌料海藻群落の生育環境の把握

【調査】北海道小樽市忍路湾の湾奥において、汀線から北の方向に57mのチェーンを海底にピン固定し、調査線を設定し、(1)波浪と水温、(2)ウニの分布、(3)海藻の生育状況を詳細に調査した。底質は、主に岩盤または転石(直径40cm程度)からなるが、離岸距離57m付近になると砂が多くなる。ウニは個体数の計数、海藻は種類の把握を0.5m×0.5mの枠を用いて5mまたは10m間隔でSCUBA潜水によりほぼ月2回のペースで実施した。波浪と水温の測定は、水深3mに設置した波高計(ウェーブハーター)を用いて行った(120分間隔/20分測定)。調査期間は、1998年10月27日～1999年10月5日である。

【数値解析】底面波浪流速は、波高計で測定した波高、周期(有義波)を用いて、非定常緩勾配方程式で波浪場を計算し、微小振幅波理論により底面波浪流速を求めた。

## ② ウニフェンスを用いた実証試験

1999年10月27日に小樽市忍路湾の湾中央においてウニ侵入防止フェンスを設置し、フェンス内のウニを除いた。フェンス設置以降、2回/月の頻度で新基質をフェンス内に設置した。2000年4月20日には基質上のコンブ生育状況を観察した。

小樽市忍路湾の湾中央には小規模な岬がある。その岬の同一水深帯で湾口側から湾奥側にかけて4面のウニ侵入防止フェンスを設置し、中のウニを1999年10月27日に除去した。2000年4月20日には各フェンス内の海藻類を枠取り調査した。

## ③ 沿整施設での検証

調査海域は、寿都町美谷にある沿整施設である。岸から沖へ、順に、囲い礁、潜堤、囲い礁が設置され、囲い礁は大割石(直径約90cm)1層積み、潜堤は異形ブロック[8t]からなり天端水深はDL-0.7mである。1999年3月と7月に、SCUBA潜水による枠取り調査(海藻0.25m<sup>2</sup>、動物1.0m<sup>2</sup>)を実施した。また、1999年7月の調査では、ホソメコンブ群落が形成している岸側の囲い礁と潜堤、磯焼け状態にある沖側の囲い礁から、それぞれ約20個体ずつキタムラサキウニを採取し、身入りの状態を調べた。

### 2) 餌料海藻群落保全・管理技術の開発

#### ① 回復漁場におけるウニ生産システムの開発

ウニ除去で海藻群落を形成した寿都町の矢追、滝の潤、美谷では群落の植生が異なっているが、同様な条件でエゾバフンウニ人工種苗を放流している。1999年8月5日には美谷地区において1m<sup>2</sup>の枠取りを40地点行い、得られた個体の第5生殖板の第1輪紋の最大横幅の頻度分布に基づき人工個体と天然個体を判別した。また人工個体では平均殻径、生殖巣指数を求め、人工個体の残留率を計算した。

1999年5月26日、7月8日、7月26日に寿都町矢追地区の海藻群落形成漁場の各水深(1.2.3.4.5m)において海藻とエゾバフンウニの枠取りを行った。得られたウニの生殖巣指数を計算し、胃内容物の検鏡を行った。

### 3. ウニ肥育技術の開発

#### 1) ウニ肥育用飼料の開発

室内水槽でキタムラサキウニに、飼料として2%アルギン酸ナトリウム溶液にカゼインを10(対照)、15、20、25%(飼料成型時、無水物換算値)になるよう添加し、それぞれ3%乳酸カルシウムで成型したものを給餌し、9月29日から11月25日まで約2ヶ月間飼育した。飼育後、4区分それぞれのウニの生殖巣について、一般成分、遊離アミノ酸組成などの分析と官能評価を行った。

## V 調査結果

### 1. 餌料海藻群落造成・保全技術開発

#### 1) 餌料海藻群落造成技術開発

##### ① 餌料海藻群落の生育環境の把握

【波浪と水温】波高，周期は，冬期の11月から翌年3月ごろまで大きい，4月以降，急に小さくなり，9月下旬頃から再び大きくなる．この傾向は，日本海側の波浪特性と一致するが，観測点が湾奥にあるため波浪は小さく現れている．波の主方向は， $0^{\circ}$  か $360^{\circ}$  付近に多くみられ，北向きとなっている．調査線は，南北方向に設置してあるので，波の主方向と一致することになる．水温は，10月には約 $18^{\circ}\text{C}$ であったが，翌年2月中旬に約 $4^{\circ}\text{C}$ まで低下し，その後，8月上旬まで上昇し約 $25^{\circ}\text{C}$ となった．

計算から得られた底面波浪流速は，観測から得られた波浪と対応し，冬に流速は大きく，夏に小さくなっている．この傾向は，水深が浅いと大きく，水深が深くなるとあまり変化しないことがわかった．

【キタムラサキウニと海藻の分布】キタムラサキウニは，10月下旬には，汀線付近まで分布したが，11月中旬から沖へ移動し始め，2月中旬には最も沖に分布し，その後は，徐々に，岸へ移動した．明確な深淺移動が認められた．

ホソメコンブは，2月中旬には離岸距離7から37m(水深0.7~3m)に分布が認められたが，その後，分布域は減少し離岸距離12m(水深1m)付近に限られ，9月中旬以降消失した．

ケウルシグサは，ホソメコンブと同様に，2月中旬には離岸距離7から37m(水深0.7~3m)に分布したが，その後，離岸距離17から22m(水深1.2~1.4m)付近に分布域を減少し，7月以降消失した．

アナアオサは，2月中旬から見られ，3月中旬には調査線ほぼ全域に認められたが，その後，分布域は離岸距離12~17mm(水深1.2m)付近に限られた．

多年生海藻は，離岸距離3~5m(水深0.5m)付近に通年分布した．

【波浪，水温とウニの分布と海藻の相互関係】水温が低く，底面波浪流速が大きいとウニの分布が認められず，その逆に，水温が高く，流速が小さいとウニが分布することがわかる．但し，流速や水温からウニが分布する領域であっても砂や海藻(掃き出し効果)により分布しない場合が認められる．

・多年生海藻は，ウニが分布しない流速の大きい場に限って生育していることがわかる．このようなウニの食圧がかからない場では，海藻間の競争が起こり多年生海藻に遷移したものと考えられる．

・磯焼け状態を示すサンゴモは，通年ウニが分布する流速の小さい場に見られることがわかる．常に，ウニの食圧が作用しているためサンゴモしか生育できないと考えられる．

・ホソメコンブは，冬は流速が大きくウニが居ない，夏は流速が小さくウニの居る場に生育していることがわかる．これは，上に示した多年生海藻とサンゴモの生育環境の中間的な環境といえる．冬にウニの食圧がかからないのでホソメコンブの幼芽が保護され，夏には，ウニの食圧が大きくなるので多年生海藻への遷移が妨がれホソメコンブの生育環境が保証されていると考えられる．

##### ② ウニフェンスを用いた実証試験

コンブが出現した基質は10月27日と11月10日に設置したものに限られ，11月30日以降に

設置した基質上にはコンブが出現しなかった。

フェンス内でコンブが出現したのは相対的に流速の速い場所（平均流速が概ね25cm/秒以上）に限られた。流速が遅い場所にはケウルシグサ等が優占した。

### ③ 沿整施設での検証

3月では、キタムラサキウニは、岸側の囲い礁と潜堤で僅かであるが、沖の囲い礁では高密度に分布していた。海藻は、ホソメコンブを主とする大型1年生海藻の他にアナアオサなどの小型1年生海藻が見られた。

7月になると、岸側の囲い礁と潜堤で現存量の高いホソメコンブ群落を形成するが、沖側の囲い礁には、海藻が全く認められなかった。キタムラサキウニは、3月に比較し、岸側の囲い礁や潜堤で個体数が増加していることがわかった。

このような結果は、先に数値モデルで示した結果とよく一致しており、沖側の囲い礁は、冬に波当たりが弱いためキタムラサキウニが多く分布し、ホソメコンブの配偶体や幼芽が摂餌されているために、海藻が生育できないものと考えられる。

キタムラサキウニの身入りについて、ホソメコンブ群落が毎年形成する施設のキタムラサキウニは、磯焼け状態にある施設のものに比べ、殻径、生殖巣指数は大きくなっており明確な違いが認められた。

## 2) 餌料海藻群落保全・管理技術の開発

### ① 回復漁場におけるウニ生産システムの開発

美谷地区の推定残留率は9.5%で他の地区の率（矢追93年放流31.4%、矢追96年放流44.0%、滝の澗95年放流8.9%）と比較すると、矢追地区を下回り滝の澗地区と同様であった。美谷地区の平均殻径は4.8cmで他の地区の殻径（矢追93放流4.0cm、矢追96放流4.3cm、滝の澗4.5cm）を上回った。美谷地区の平均生殖巣重量は15.7で他の地区（矢追93放流14.9、矢追96放流18.9、滝の澗18.8）とほぼ同様であった。

調査年における植生は特異的でホソメコンブが優占し、フシスジモク中心の群落が形成されなかったため、目的が十分に達成できなかった。ただし7月26日の調査では水深3～5mにフシスジモク主体の群落が形成されホソメコンブが出現しなかった。これらの水深帯で採集されたエゾバフンウニの主な胃内容物はホソメコンブであり、胃内容物の43.8～76.5%を占めた。このことからフシスジモク群落に生息するエゾバフンウニの主な餌料が必ずしもフシスジモクではないことが改めて指摘された。

## 3. ウニ肥育技術の開発

### 1) ウニ肥育用飼料の開発

給餌2ヶ月間で生殖巣歩留りが5%から7～13%へ増加した。また、生殖巣歩留りが12～13%に増加した2飼料（カゼイン量が20または25%にしたもの）は、遊離アミノ酸組成でグリシンの割合が他の2飼料（カゼイン量が10または15%にしたもの）と比べて低かったものの、官能評価で苦みを感じず、製品として十分に出荷できるものであった。

## VI 今後の課題

### 1. 餌料海藻群落造成・保全技術開発

#### 1) 餌料海藻群落造成技術開発

### ① 餌料海藻群落の生育環境の把握

通年ウニが居てサンゴモしか生育できないの環境を、ホソメコンブが生育できる環境（ウニが冬に居ない，夏に居る）に如何にして改善するか，現在，2つの方法を考えている．

方法1：冬はウニ侵入防止フェンスなどでウニの食圧を防ぎ，夏はウニの侵入を可能にするか，ウニを移殖してウニの食圧を加える．この方法は，人為的な管理が必要となる．

方法2：嵩上げ等で底面波浪流速を増加させ，季節的な波浪の変化により冬にウニの食圧を防ぐ環境をつくる．この方法は，人為的な管理が不必要である．

### ② ウニフェンスを用いた実証試験

室内実験によりホソメコンブ幼芽（配偶帯、幼胞子体）が生長できる栄養塩フラックスの閾値を明らかにする．

### ③ 沿整施設での検証

岸側の沿整施設で形成されたホソメコンブ群落は、沖側の囲い礁に分布するキタムラサキウニの成長、生殖巣重量を十分に増加させるにはいたっていないことが考えられる．

キタムラサキウニが、形成させたホソメコンブ群落を利用して、効率よく身入りにつながるような施設構造が望まれる．

## 3. ウニ肥育技術の開発

### 1) ウニ肥育用飼料の開発

カゼインの飼料への添加限界量や飼料に添加する成分として糖質（グルコース）について検討を行う．