

## ウニ類育成礁における生物生産機構と礁構造の検討

独立行政法人 水産総合研究センター北海道区水産研究所  
町口裕二・宇田川徹・坂西芳彦・伊藤 博  
(平成10-14年度)

### 緒語

ウニ類の育成を目的とした投石礁では、造成後しばらくは海藻が繁茂しウニ類等の漁業生産も上がるが、時を経るにつれて海藻の着生量が減少し、ついには海藻のほとんど着生しない投石のみが露出することが多く見られる。また、このときウニは餌料となる海藻類の着生が無くても、漁業的には価値のない状態(身入りのない)で長期間礁内にとどまっていることが知られている。このような現象が起こる要因として、礁内のウニ密度が増大し海藻の着生を制限すること、中割石を用いた空隙の多い構造のため漁獲効率が悪く漁獲によってウニの密度を十分に低下させられないこと、礁の立体的構造が比較的平坦であり海藻類の好適な着生基質となり得ないことが考えられる<sup>1)</sup>。そこで、既存の投石礁についてウニや海藻類生息状況と礁構造との関連を相互に検討し、より生産効果の高い構造を明らかにすることが本調査のねらいである。

### 調査方法

本調査を効率よく実施するため、以下の項目について検討を行った。

- ・投石礁におけるウニ類および海藻類の生息状況
- ・投石礁の構造把握手法の開発
- ・出現海藻のウニに対する餌料効果の把握
- ・投石礁内のウニの漁獲し易さ

#### 1) 投石礁におけるウニ類および海藻類の生息状況

平成10年から14年にわたって羅臼町地先の投石礁を対象として、エゾバフンウニ(以下ウニ)及び海藻類の生育状況を追跡した。初年度は調査適地の選定にあて、選定にあたっては複数の礁が隣接していること、造成年度が明らかなことを条件とし、その結果、羅臼町共栄町地先に昭和59年から62年にかけて隣接して造成された投石礁を調査対象とした(図-1)。調査対象礁の概要を以下に示す。

- 昭和59年造成礁(以下59年礁):  
面積 525 m<sup>2</sup> (35m×15m) 中割石
- 昭和60-61年造成礁(以下6061年礁):  
面積 1600 m<sup>2</sup> (80m×20m) 中割石  
(礁が重複して造成され分離不可)
- 昭和62年造成礁(以下62年礁):  
面積 1800 m<sup>2</sup> (60m×30m) 中割石



図-1 調査地点(羅臼町共栄町地先)

平成11年から14年の毎年1回、海藻現存量が最大になる時期である5月から7月に、投石礁内のウニ類と海藻類との分布と現存量について調査を行った。各投石礁におけるウニ及び海藻現存量調査は、ラインランセクトによる潜水枠採り採集とした。採集間隔は10m、採集面積は1㎡とし枠内の動植物を採集し、海藻類は種類別に湿重量を、ウニ類は殻径と重量を測定した。なお、海藻類の採集は直立海藻のみとし、無節石灰藻は除いた。採集したウニは、出現した殻径の全範囲から合計約50個体を抽出し、生殖腺重量の測定と生殖板輪紋数を計数した。平成11年11月には59年礁と60-61年礁の二つの礁について海藻の着生基質となっている石材の反転移設を行ない、62年礁は現状維持とした。

調査の最終年度である平成14年度については、投石礁の構造とウニ類や海藻類の分布との関連を明らかにすべく、緻密な潜水調査を実施した。各礁とも5m間隔でラインランセクトを設け、それぞれのラインランセクトについて10m間隔での潜水枠取り採集を行うとともに、5m間隔で1㎡当たりのウニの生息個体数を計数した。

各礁の調査点数は以下の通りである。

#### 59年礁

平成11-13年調査時 2ライン:8点採集(16点でウニ計数)

平成14年調査時 4ライン:20点採集(40点でウニ計数)

#### 60-61年礁

平成11-13年調査時 3ライン:27点採集(51点でウニ計数)

平成14年調査時 5ライン:45点採集(85点でウニ計数)

#### 62年礁

平成11-13年調査時 3ライン:18点採集(36点でウニ計数)

平成14年調査時 7ライン:9点採集(91点でウニ計数)

## 結果

### 59年礁の海藻

59年礁の平均海藻現存量の経年変化を、図-2に示した。平均海藻現存量で見ると平成11年調査時では1405g/㎡、基質石材の反転移設した平成12年では4113g/㎡、平成13年では4071g/㎡、平成14年では7185g/㎡となった。調査時期に早遅があるため単純な比較は出来ないが、基質の反転移設後では平均海藻現存量が高い値で持続していると思われる。礁内に出現した海藻種は調査期間を通じてコンブ目のオニコンブ、スジメ、アナメとウルシグサ目ケウルシグサなどの大型褐藻類でほとんどを占

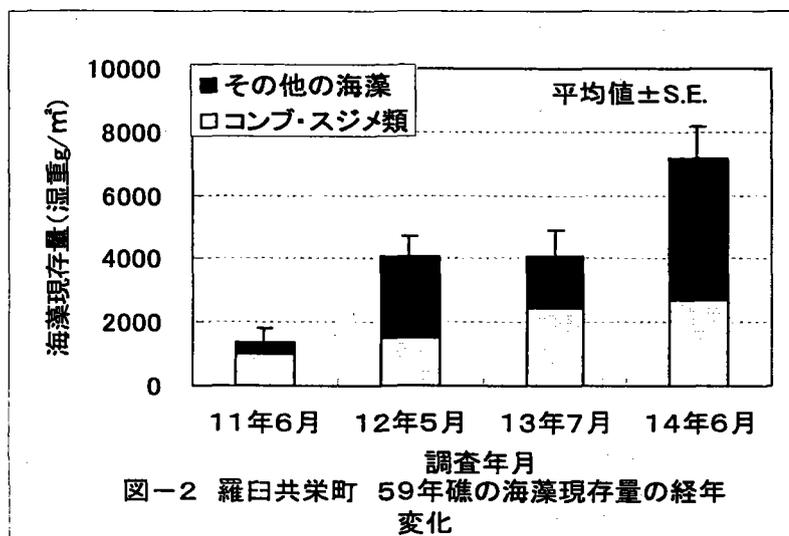


図-2 羅臼共栄町 59年礁の海藻現存量の経年変化

め、これら4種のほかに紅藻類のハケサキノコギリヒバとモロイトグサを加えた6海藻種で海藻現存量のほぼ 100%を占めた。また、ウニ類の餌料として価値の高いコンブ類やスジメが海藻現存量の 30%以上を占めていた。

### 6061年礁の海藻

6061年礁の平均海藻現存量の経年変化を、図-3に示した。平均海藻現存量で見ると平成11年調査時には 118g/m<sup>2</sup>と非常に少ない値であったが、基質石材の反転移設した平成12年には 3304g/m<sup>2</sup>、平成13年には 1876g/m<sup>2</sup>、平成14年には 1763g/m<sup>2</sup>となった。同礁でも59年礁と同様に、基質の反転移設後は平均海藻現存量が比較的高い値で持続している。出現海藻種

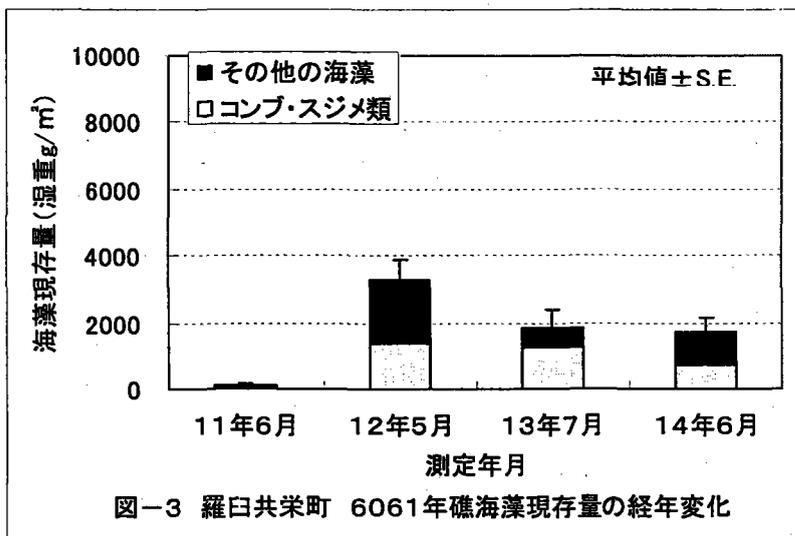


図-3 羅臼共栄町 6061年礁海藻現存量の経年変化

は、平成11年調査ではケウルシグサがほとんどであったのに対し、基質の反転移設を行った平成12年以降ではオニコンブやスジメといった大型褐藻が出現し、本年の調査でも継続して大型褐藻の生育が認められ、特にスジメが多く見られた。また、コンブ類やスジメの海藻現存量に占める割合も、59年礁と同様に 30%以上を占めていた。

### 62年礁の海藻

62年礁の平均海藻現存量の経年変化を、図-4に示した。平均海藻現存量は平成11年調査時には 17g/m<sup>2</sup>、平成12年には 549g/m<sup>2</sup>、平成13年には 329g/m<sup>2</sup>、平成14年には 128g/m<sup>2</sup>となった。62年礁は4年間の調査期間を通じて海藻現存量が最も低い礁であった。出現海藻種は各調査年ともケウルシグサがもっとも多く、ほとんどの調査点で見られたのに対し、コンブ類はほとんど出現せず、僅かに2調査点でスジメが出現したのみであった。

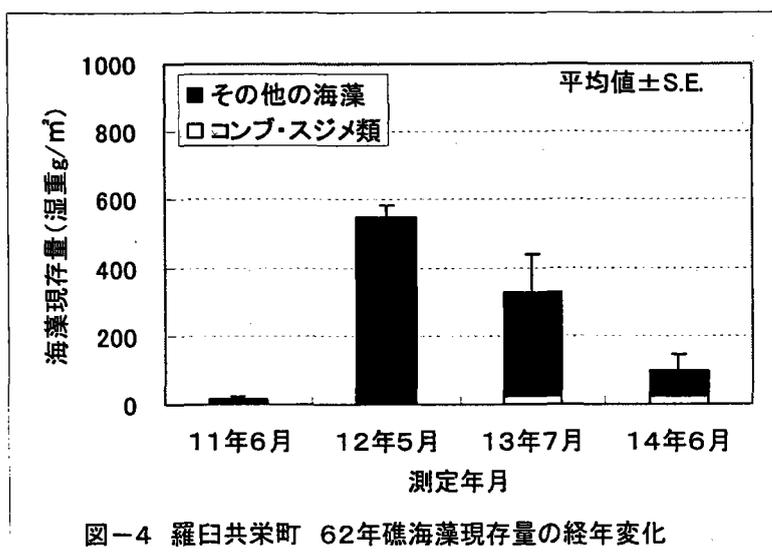


図-4 羅臼共栄町 62年礁海藻現存量の経年変化

### 各礁のウニ密度

各礁の平均ウニ密度の経年変化を図-5に示した。

59年礁のウニ密度は調査期間を通じて10個体/m<sup>2</sup>以下と三つの礁の中ではもっとも低い値であった。13年調査では7.9個体/m<sup>2</sup>と増加傾向が認められたが、14年では4.8個体/m<sup>2</sup>に低下した。

60-61年礁ではH12年調査時にウニ密度が大きく低下したが、13年14年調査では10個体/m<sup>2</sup>程度となった。

62年礁では平成13年調査で9.5個体/m<sup>2</sup>を示したが他の調査年では10個体/m<sup>2</sup>以上の値を示した。

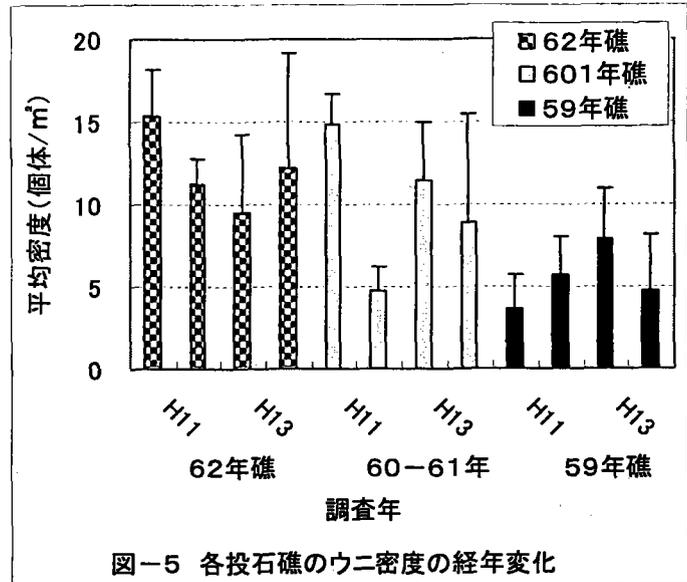


図-5 各投石礁のウニ密度の経年変化

### 礁内のウニの生殖腺指数と成長

礁内のウニの生殖腺指数は、調査年次によって変動があるものの、海藻現存量の多い59年礁と60-61年礁で高い値を示し、海藻現存量の少ない62年礁では低い値であった。平成13年度の調査では、59年礁の生殖腺指数が低くなっているが、この年は調査がウニの産卵期以降に実施したため成熟のより進んだ59年礁のウニが産卵を終えたためと考えられる(生殖腺の目視による熟度の観察より産卵を確認)。

平成14年度調査時の礁内のウニの年齢と平均殻径の関係を図-7に示した。殻径成長も海藻現存量の多かった59年礁で良好であり、満年齢3歳で平均殻径60mmを超えるのに対し、62年礁では平均殻径60mmを超える満年齢は6歳と、59年礁の2倍の年数を要することが明らかとなった。60-61年礁では両者の中間的な成長量を示したが、基質の反転移設を行った後に見られた海藻現存量の増加の効果が2-3歳の若齢個体に顕著に現れていた。

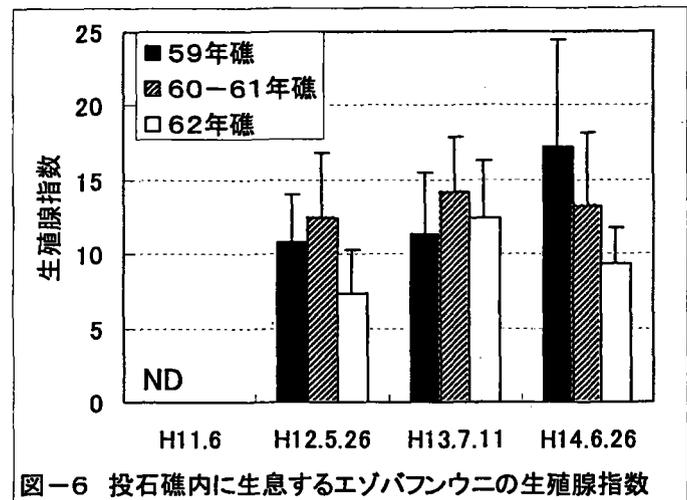


図-6 投石礁内に生息するエゾバフンウニの生殖腺指数

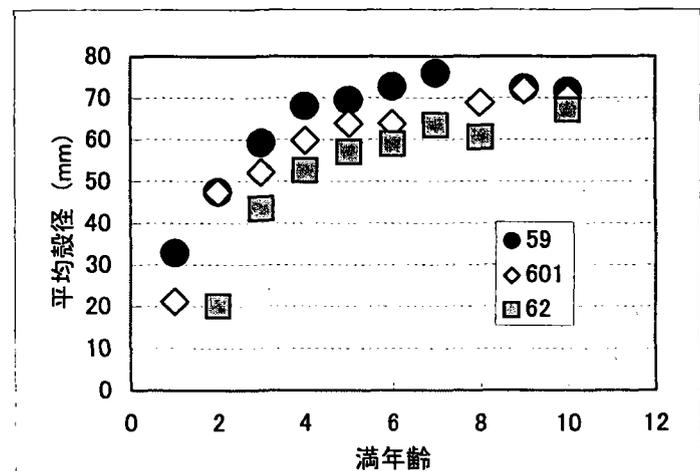


図-7 投石礁内に生息するエゾバフンウニの成長

礁内のウニ及び海藻類の分布

平成14年度調査時の各投石礁内で行った杓取り採集で得られたウニ及び海藻類の分布について、水深と海藻現存量並びにウニ密度、ウニ密度と海藻現存量について、それぞれの関係を図-8~10に示した。

各礁における水深と海藻現存量との関係は、全体的には水深が深くなると海藻現存量が少なくなる傾向が見られた(図-8)。この傾向は59年礁で顕著であり、水深3.4mで20kg/m<sup>2</sup>と大きな現存量が見られたほか、水深4mより浅い調査点で5kg/m<sup>2</sup>を越える海藻現存量が見られた。6061年礁では3.7~4.2mの調査点で5kg/m<sup>2</sup>を超える点がみられたが、水深と海藻現存量との関係は59年礁ほど顕著ではなかった。62年礁では水深5m以上の調査点が多く、ほとんどの調査点で海藻は僅かであった。

礁内の水深とウニ密度との関係は、海藻現存量とは逆に水深が深くなるとウニ密度は高くなる傾向を示した(図-9)。59年礁ではウニ密度が10個体/m<sup>2</sup>を越える調査点は1点のみで、全くウニが出現しなかった調査点も3点あった。6061年礁では、水深4m付近では59年礁とほぼ同じような密度であったが、水深4.5mを越える調査点では15個体/m<sup>2</sup>と高い値を示した。62年礁のウニ密度は、水深との関係は明瞭ではなかったが、調査点の半数以上で10個体/m<sup>2</sup>を越え、最大26個体/m<sup>2</sup>と高い値を示した。

各礁におけるウニ密度と海藻現存量との関係は、ウニ密度の増加とともに海藻現存が減少す

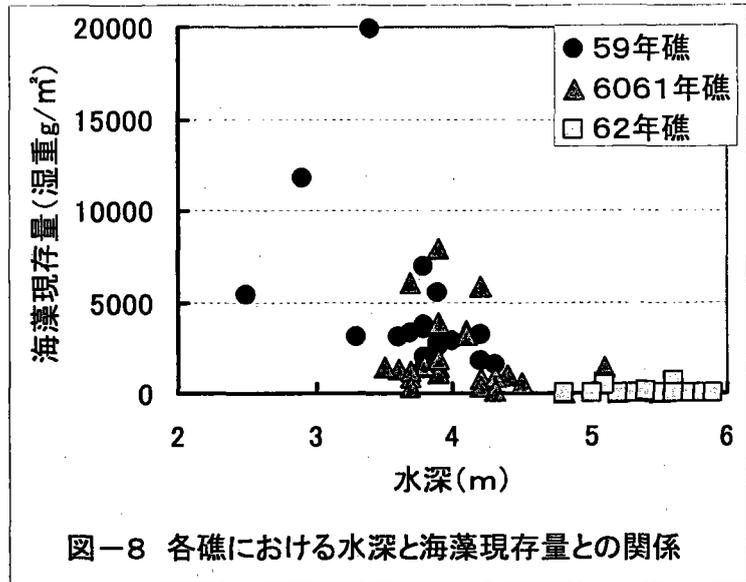


図-8 各礁における水深と海藻現存量との関係

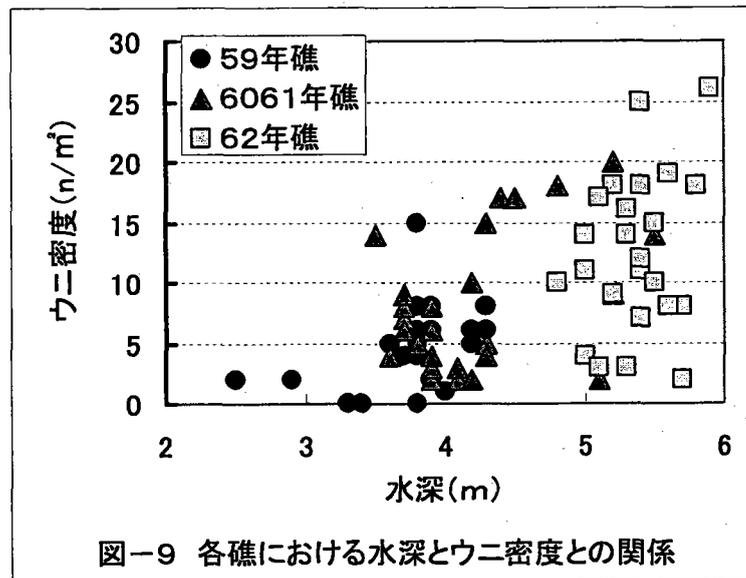


図-9 各礁における水深とウニ密度との関係

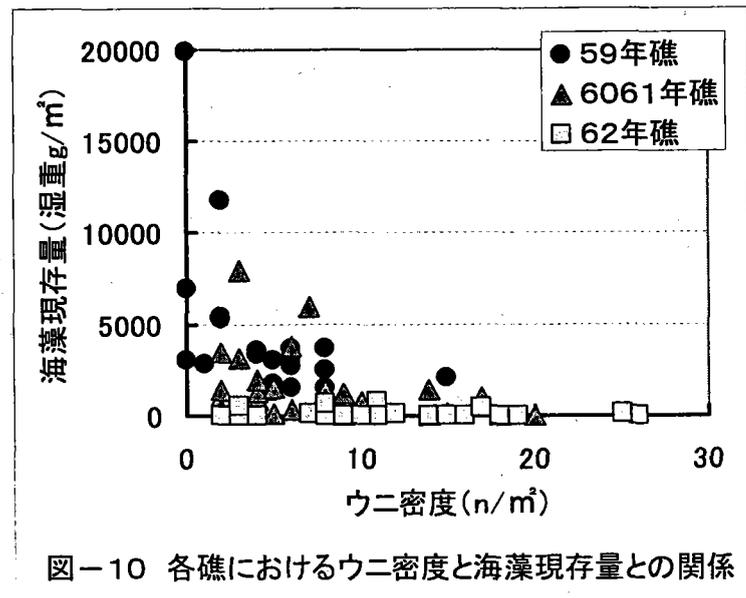


図-10 各礁におけるウニ密度と海藻現存量との関係

る傾向が見られた(図-10)。特に59年礁と6061年礁ではその傾向が顕著であった。59年礁ではウニ密度が2個体/㎡以下になると10kg/㎡以上の海藻現存量を示したが、ウニ密度が5個体/㎡以上の調査点では海藻現存量は4kg/㎡以下となった。6061年礁でも同様の傾向を示し、海藻現存量が1kg/㎡を越える調査点のほとんどはウニ密度が5個体/㎡以下であった。62年礁ではウニ密度に関わらず海藻現存量は少なかった。

礁内に出現した海藻種を、ウニが好んで摂餌するコンブやスジメ(以下コンブ類)とそれ以外のアナメやケウルシグサなどウニが好まない海藻(以下雑海藻)とに分け、水深とウニ密度との関係を示したのが図-11~14である。

各礁のコンブ類の出現状況を図-11~12に示す。59年礁では、水深が深くなるにつれ、またウニ密度が増加するにつれてコンブ類の現存量が減少した。一方、6061年礁ではウニ密度が10個体/㎡を越えるとコンブ類は出現しなかったが、水深との関係は明瞭でなかった。62年礁ではコンブ類はほとんど出現しなかった。

各礁の雑海藻の出現状況を図-13~14に示す。雑海藻の出現状況は、コンブ類とは大きく異なっており、59年礁、6061年礁とも水深4m付近を中心に比較的高い現存量で出現したが、コンブ類が10kg/㎡を越えて出現したより浅い水深3m付近での現存量は少なかった(図-13)。雑海藻の現存量とウニ密度との

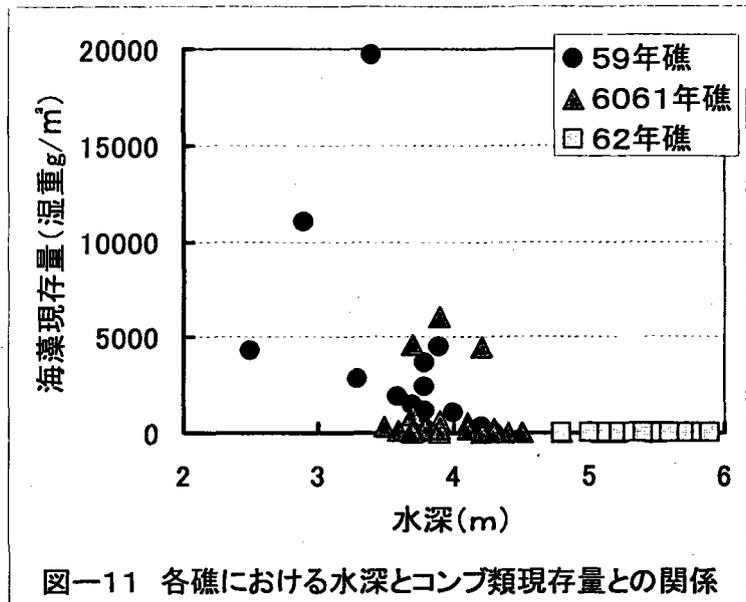


図-11 各礁における水深とコンブ類現存量との関係

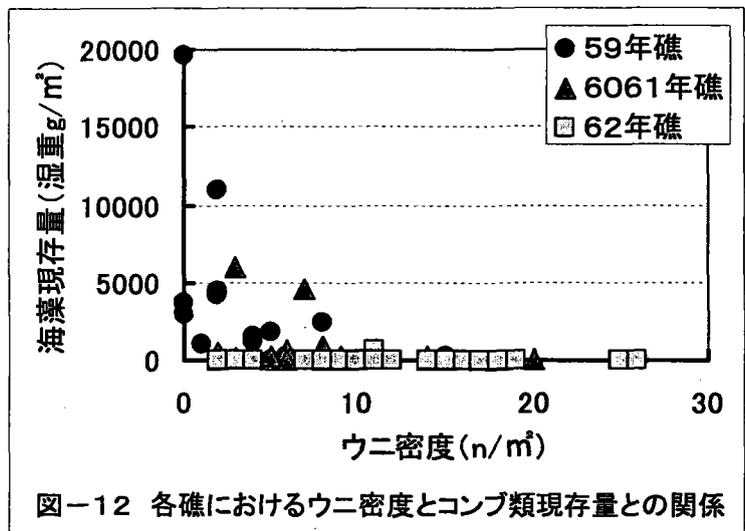


図-12 各礁におけるウニ密度とコンブ類現存量との関係

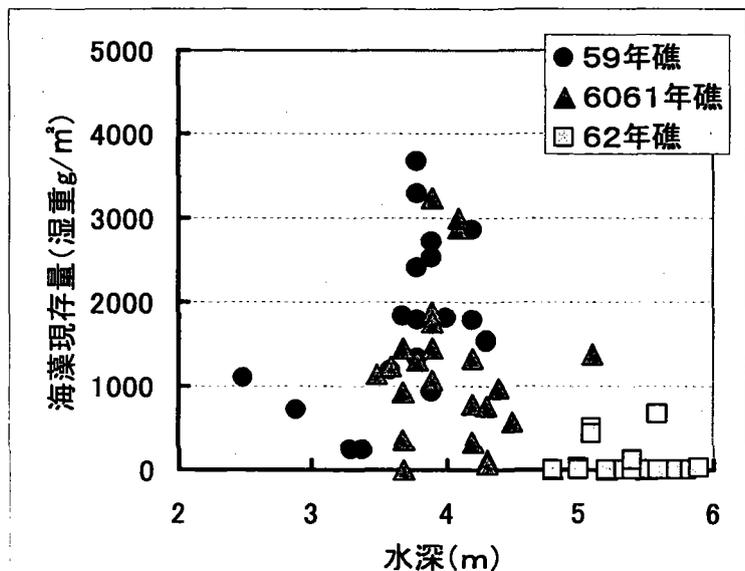


図-13 各礁における水深と雑海藻現存量との関係

関係も、コンブ類と比較して異なっており、ウニが高密度に出現した調査点においても雑海藻は出現し、ウニ密度が10個体/m<sup>2</sup>を越える調査点でも1kg/m<sup>2</sup>を越える雑海藻が出現した(図-14)。

### 礁の構造との関連

潜水によるライトランセクト調査の結果、各礁のおおよその形が明らかとなった。調査期間を通じてウニの密度が最も高く海藻現存量が最も少なかった62年礁は、設置水深がおよそ5.5mで石材が厚さ0.5-1m程度でほぼ均一に敷設され起伏が乏しく、礁内にほぼ一様にウニが分布していた。また、海藻のほとんどは礁の縁辺部にのみ出現した。

一方、ウニ密度が最も低く海藻現存量の最も多かった59年礁は、設置水深がおよそ5mと62年礁と比較して0.5m浅いのに加え、石材の敷設厚が厚いところでは1.5-2m、薄いところで0.5mと起伏に富んだ構造であった。礁内のウニや海藻類の分布を見ると、ウニは礁内の凸部に少なく凹部に多く分布していたが、コンブ類はウニとは逆に礁の凸部に多く分布していた。また、凹部ではアナメヤハケサキノコギリヒバなど、ウニが好まない海藻が多く見られた。

60-61年礁は両者の中間的な構造であり、平均海藻現存量も59年礁の1/2~1/3の値を示した。同礁においてコンブ類が多く出現した部位は59年礁を同様に凸部であり、平坦な部位や凹部ではウニの密度が高かった。

しかし、ライトランセクトによる深淺調査では、調査線や調査点の間隔が5ないし10mと広いため礁の形を把握するには不完全であり、より正確な調査方法が必要となった。

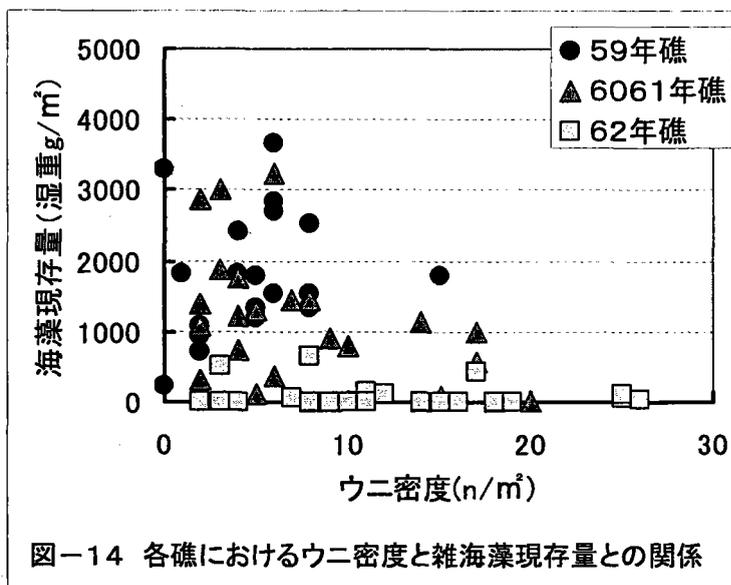


図-14 各礁におけるウニ密度と雑海藻現存量との関係

## 2) 投石礁の構造把握手法の検討 ねらい

投石礁におけるウニ類と海藻類を中心とした生物生産を考える上で、礁の起伏や配置といった立体的な構造を把握することが重要となる。投石礁を表現する方法として、工法、使用されている石材の大きさ、造成面積などがあるが、その立体的な構造を把握することは困難であった。その理由として、投石礁は海中に造成されるため目視によって全体を把握することが出来ないこと、音響探査等による従来の深淺測量では高額のコストがかかる事などがあげられる。そのような中で藻場の研究者の間では以前から、GPSと魚探を用いた位置データと水深データから海底の様子を把握しようとする試みがなされていた。しかし、GPS単体の測位ではSA (Selective Availability アメリカの軍事的理由による意図的な誤差) 等により数十メートルの恒常的な測位誤差が問題となっていた。ところが近年、海上保安庁によってGPSの誤差を取り除くためのDGPSビーコン局が整備されたことに加え、アメリカの国家戦略としてSAが解除されたことにより、測位誤差が数mという正確な測位が可能となった。そこで、安価な市販のGPS内蔵の魚探を用いた簡便な方法で、投石礁の配置と形状を把握することを試みた。

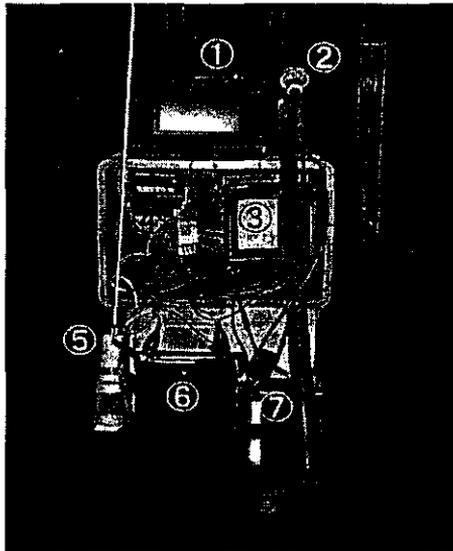


図-15 調査機器の概要

- ① PC ②GPS アンテナ ③GPS 魚探④DGPS 受信機
- ⑤DGPS アンテナ ⑥バッテリー ⑦インバーター ⑧魚探発信子

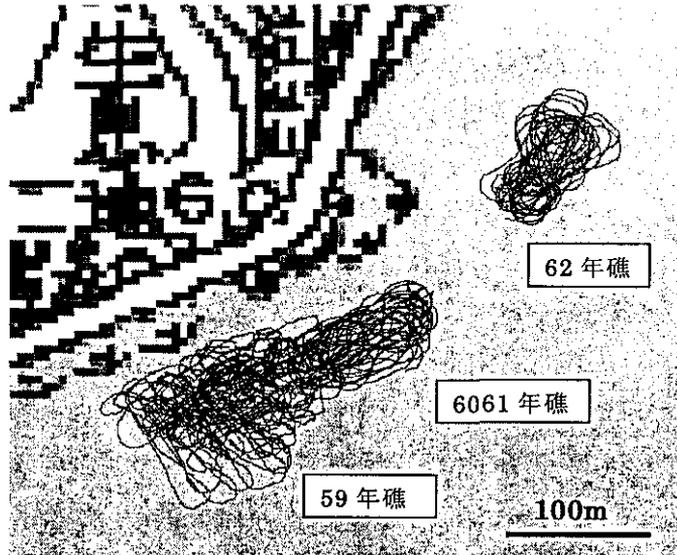


図-16 投石礁測深時の航跡図

材料および方法:

羅臼町共栄町地先の投石礁を対象として、位置、水深データの収集を行った。測深および測位には、古野電気製 GPS プロッター魚探 GP1610、同 DGPS ビーコン受信機 GR80 を用いた(図-15)。位置と水深のデータは、魚探本体の NMEA-0183<sup>注1)</sup>出力端子からコンピュータのシリアルポートへと出力し、ハードディスク上に記録保存した。なお、今回用いた魚探の NMEA 出力方法がカレントループを用いたものであったため、コンピュータとの接続には、データリンク社製カレントループ:RS232C 変換器 RSCV-P を用いて信号の変換を行い、コンピュータに付属のシリアルポートに接続した。現場でのデータ収集は1回 2~3 時間程度とし、船外機船に装置一式を乗せ時速 0.5~1kt 程度の速度でゆっくりと調査海域を走行しながら行った。

なお、魚探から出力されてくる NMEA データは測深・測位結果以外に多くの情報を出力しているため、測深結果を示す DBT センテンスと測位結果を示す GGA センテンスのみを選別した。魚探からの位置・水深データは2秒毎に出力されるため、1時間測定で1800組のデータが得られることになる。得られた位置・水深データは、表計算ソフトウェア (Microsoft 社製 Excel) 上に展開し、欠測値や異常

```

$GPGGA,012436,4258.0988,N,14028.8347,E,2.8,0.4,2,M,.M.,
$GPGLL,4258.0988,N,14028.8347,E,012436,A
$GPRMC,012436,A,4258.0988,N,14028.8347,E,4.0,299.1,161001.9.5,W*6F
$GPVTG,,T,308.6,M,4.0,N,7.4,K
$GPZDA,012436,16,10,2001,-9.00
$GPDBT,3.4,0.0

```

表-1 NMEA-0183フォーマットの出力例  
 最初の6文字は出力データの種類を表し、\$GPGGAと\$GPDBTを選択  
 \$GPGGAは世界標準時、緯度、南北、経度、東西、ディファレンシャル可否、衛星数、DOP、アンテナ高度などを出力  
 \$GPDBTは振動子からの水深、を出力

注1) NMEA-0183 とは米国海洋電子機器協会 (National Marine Electronics Association) が定めた、GPS 受信機とナビゲーション機器の間をシリアルポートを利用して通信するための規格で、すべての文字がカンマ区切りの ASCII テキストで送られる。そのため、特別な処理をしなくともコンピュータに簡単に取り込むことができ、表計算ソフトウェアでのデータの処理がきわめて容易である。

値の点検および緯度経度から距離への換算等の処理を行うとともに、コンタリング・3次元表面マッピングソフトウェア (Golden Software 社製 Surfer 7) により作図を行った。

## 結果

測深時の航跡図を図-16に、得られた位置・水深データをもとに作成した投石漁場の等水深図を図-17~19に示した。羅臼町地先では、投石礁の位置や広がり等について事前に多くの情報があり、本手法の結果と比較したところそれらを明瞭に再現していた。

### 59年礁の形状

59年礁は、設計では幅15m長さ35mの範囲に中割石を敷き詰めたものであるが、今回の調査では設計時よりやや広がった形で存在が確認された。0.5m間隔の等深線図および図中のA-B線での断面でみると、59年礁は起伏に富み、水深5.0-4.5mの砂地海底から平均で1.2m、最大2mの高さを持つとともに、10m四方の範囲の中に周囲と比較して1.5m程度の凹凸を持って造成されていることが明らかとなった。

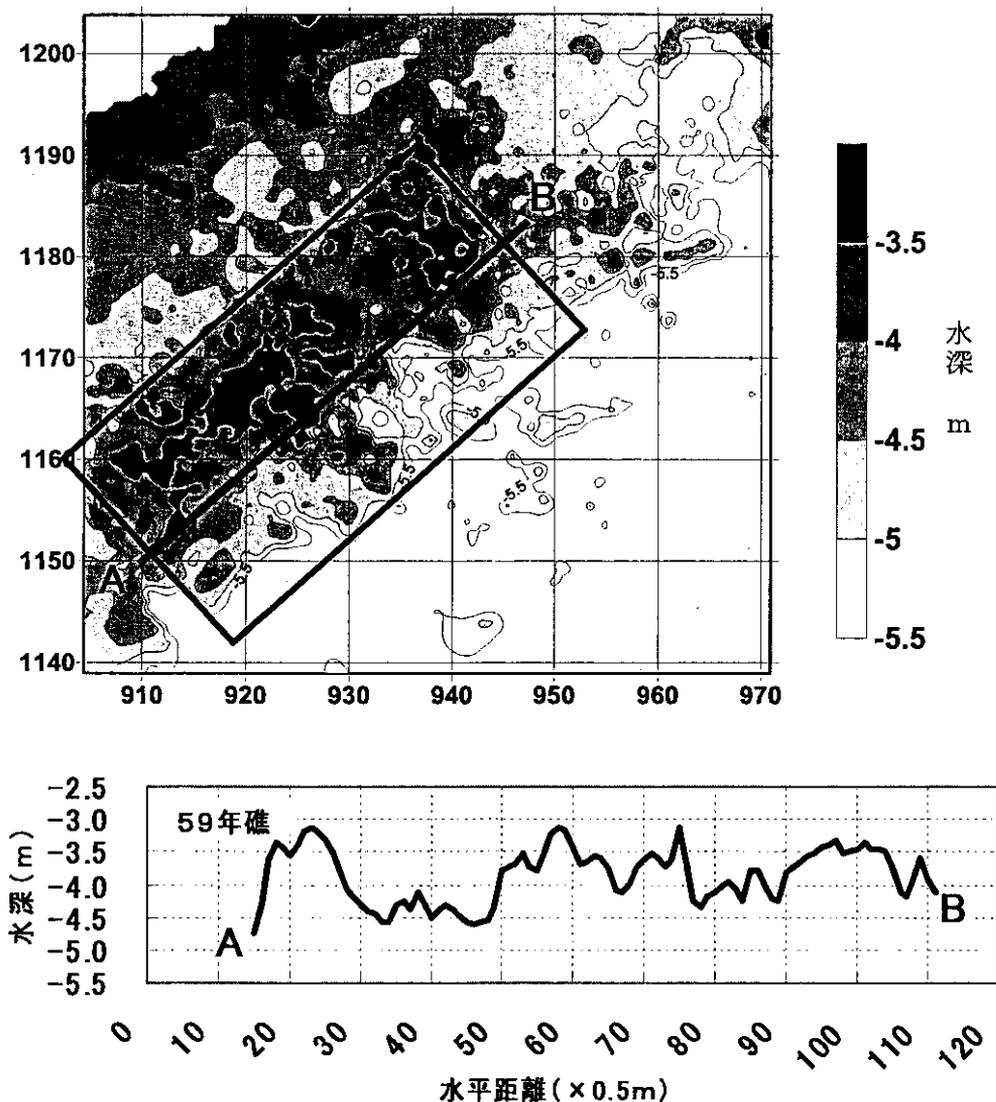


図-17 59年礁の等深線図およびA-B線での断面水深

等深線図の格子線は10m間隔、軸の数値は計算上の基準点からの距離  
(基準点は緯度・経度から距離への換算用に任意に設定)  
断面水深は0.5m間隔で等深線データより求めた

### 60-61年礁の構造

60-61年礁は、59年礁の東側約30mに造成された礁で、設計では幅20m長さ80mの範囲に中割石を敷き詰められたものである。59年礁と同様に設計時よりやや広がった形で存在が確認された。0.5m間隔の等深線図および図中のA-B線での断面で見ると、60-61年礁は59年礁と同様に水深5.0-4.5mの砂地海底に造成されているが、礁内の起伏は59年礁に比較して小さく比較的平坦な部分も多く見られた。

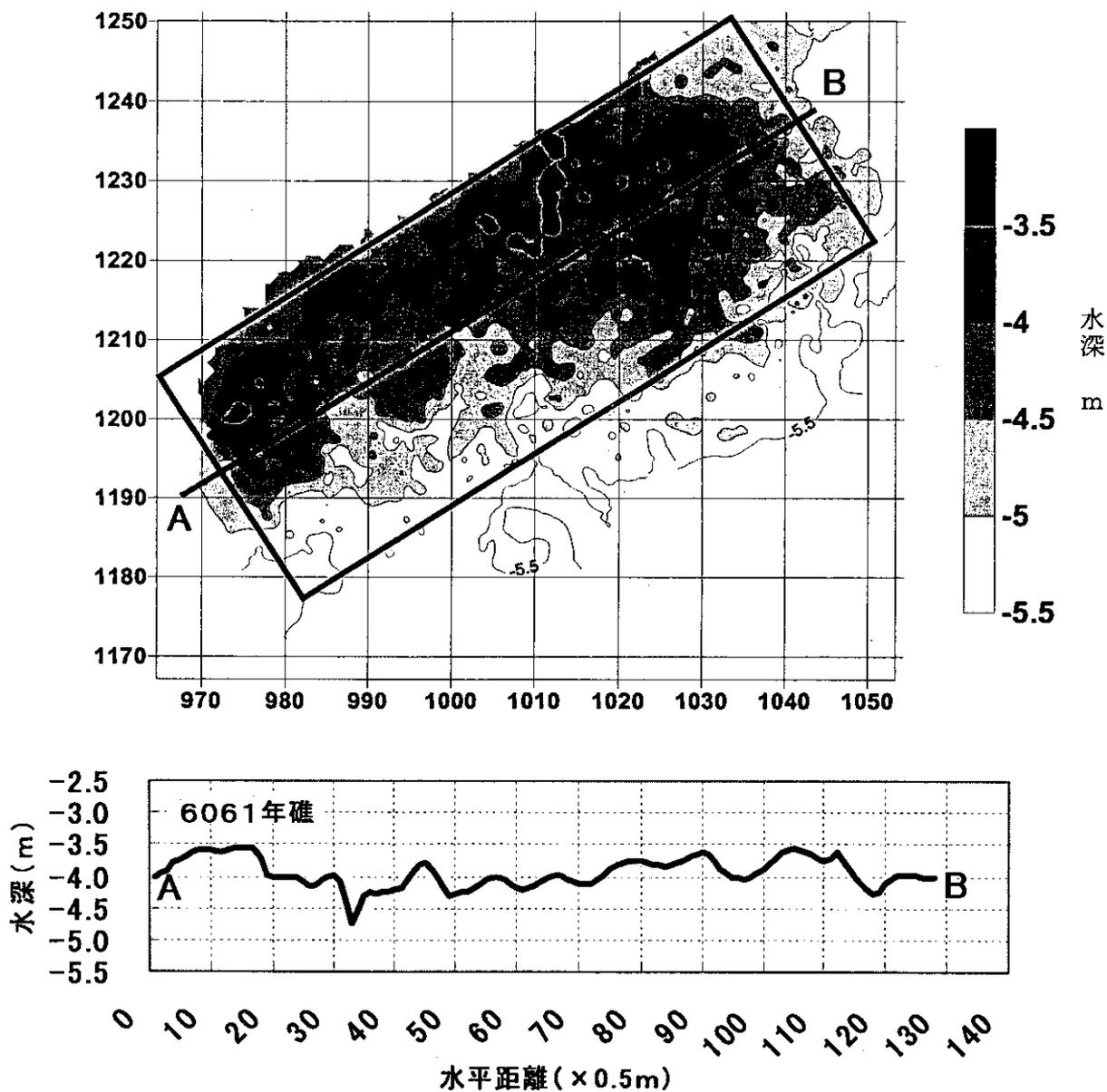


図-18 60-61年礁の等深線図およびA-B線での断面水深

等深線図の格子線は10m間隔、軸の数値は計算上の基準点からの距離  
 (基準点は緯度・経度から距離への換算用に任意に設定)  
 断面水深は0.5m間隔で等深線データより求めた

昭和62年礁

昭和62年礁は、60-61年礁の北東側約60mに造成された礁で、設計では幅30m長さ60mの範囲に中割石を敷き詰めたものである。ほぼ設計通りの形で存在が確認された。0.5m間隔の等深線図および図中のA-B線での断面でみると、前述の2礁よりやや深い水深5.5-5.0mの砂地海底に造成されている。礁内の起伏は小さくごく一部に1mの凹凸が見られる程度で、ほとんどの部分で平坦に石材が敷設されていた。

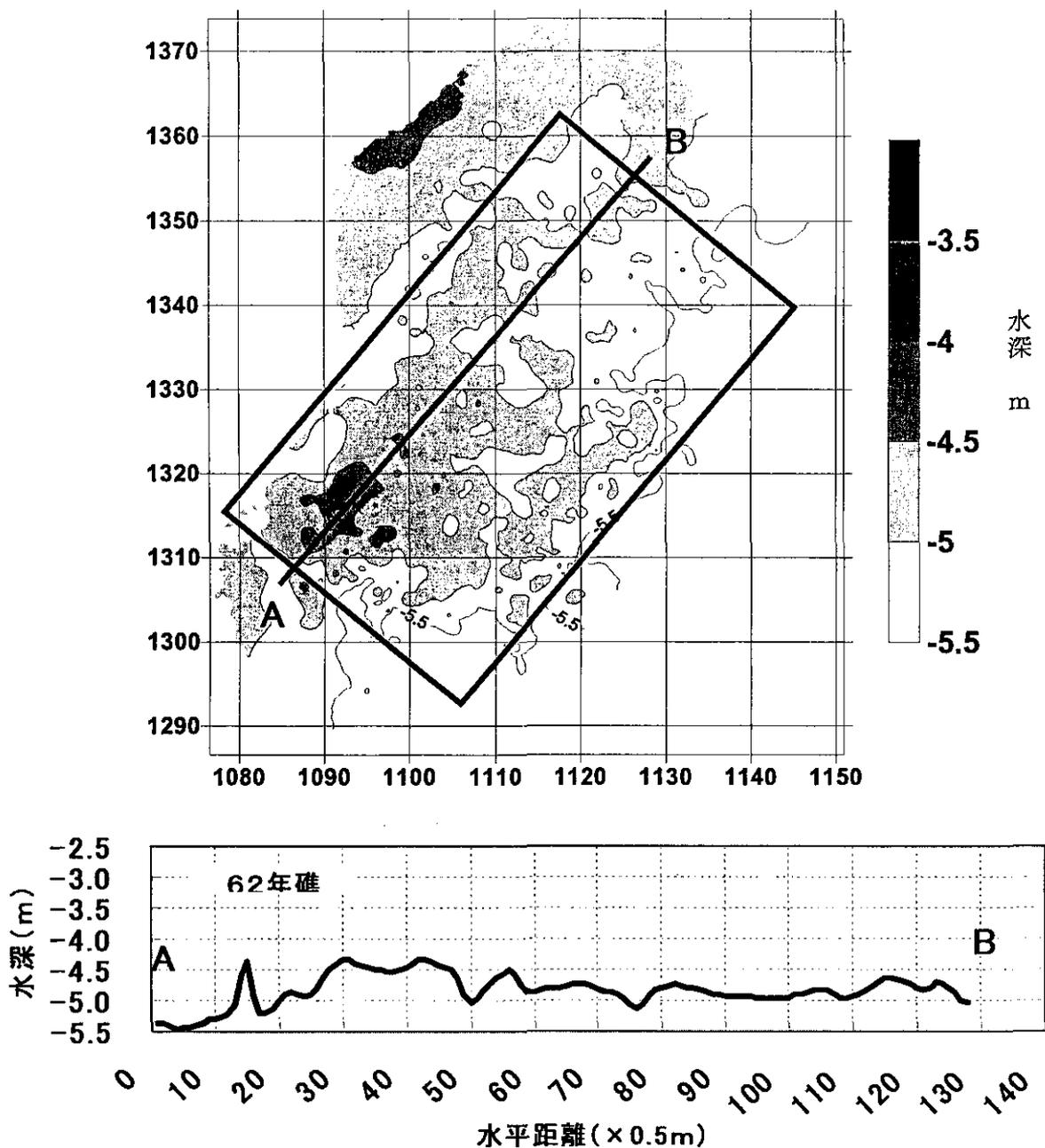


図-19 62年礁の等深線図およびA-B線での断面水深

等深線図の格子線は10m間隔、軸の数値は計算上の基準点からの距離  
 (基準点は緯度・経度から距離への換算用に任意に設定)  
 断面水深は0.5m間隔で等深線データより求めた

### 3) 投石礁内に出現する海藻類のエゾバフンウニに対する餌料価値

#### 材料および方法

投石礁内に生息している海藻類のエゾバフンウニに対する餌料価値を明らかにするため、生殖腺の増重「身入り」について飼育実験を行った。餌料として用いた海藻種は道東沿岸の投石礁に周年みられる海藻とし、緑藻類ではアナアオサ (*Ulva pretusa*)、紅藻類ではクシベニヒバ (*Ptilota filicina*) とカレキグサ (*Tichocarpus crinitus*)、褐藻類ではナガコンブ (*Laminaria longissima*) とスジメ (*Costaria costata*)、海草のスガモ (*Phyllospadix iwatensis*) の6種とした。供試ウニは、根室産人工種苗を6年飼育した殻径46~48mmの個体で、実験開始の60日前より無給餌飼育を行って生殖腺重量のばらつきを小さくしたものの100個体の中から無作為に抽出した個体を使用した。各給餌区とも供試ウニは17ℓ黒色スチロール水槽に5個体ずつ収容し、新鮮濾過海水を200ml/分で注水するとともに、エアレーションを行った。餌料とした海藻は常に新鮮なものを用い、ペーパータオルで水分を拭きとったのち湿重量を測定し給餌量とし、給餌量と残餌量の差を摂餌量とした。なお、給餌間隔は3~4日とし、給餌量は必ず残餌がでるよう十分な量を与えた。飼育期間は、道東海域におけるエゾバフンウニの生殖腺の回復期に当たるH13年4月12日から6月25日までの75日間とし、実験終了後、すべての供試ウニの殻径、体重、生殖腺重量を測定するとともに生殖腺指数を求めた。実験開始前に供試ウニ群の中から無作為に10個体抽出して生殖腺重量を測定し、実験開始時における供試ウニの生殖腺指数を推定した。生殖腺指数は以下の方法で計算した。実験開始時の供試ウニのサイズと生殖腺指数(サンプルより)を表-1に示した。

$$\text{生殖腺指数} = \text{生殖腺重量} / \text{体重} \times 100 \quad (\text{いずれも湿重})$$

表-1 飼育実験開始時の供試ウニのサイズと生殖腺指数

餌料海藻	平均殻径 (mm)	S.D.	平均体重 (g)	S.D.	生殖腺 指数*	S.D.	生殖腺 重量(g)
ナガコンブ	46.0 ±	0.91	41.6 ±	3.62	5.8 ±	1.26	2.4
スジメ	48.4 ±	0.59	46.1 ±	2.21	5.8 ±	1.26	2.7
アナアオサ	46.8 ±	2.01	43.5 ±	5.12	5.8 ±	1.26	2.5
クシベニヒバ	46.9 ±	2.01	42.1 ±	6.87	5.8 ±	1.26	2.4
カレキグサ	47.2 ±	2.25	43.9 ±	7.48	5.8 ±	1.26	2.5
スガモ	47.6 ±	1.65	43.4 ±	3.82	5.8 ±	1.26	2.5

\*生殖腺指数は標本として抽出した10個体の平均値

\*生殖重量は標本の生殖腺指数から推定

供試ウニは各給餌区とも5個体

#### 結果

75日間の飼育実験終了時におけるウニの成長量および生殖腺重量と生殖腺指数、飼育期間を通じた総海藻摂餌量とウニ体重あたりの日間摂餌率を表-2に示した。餌料海藻種によってウニの摂餌量は大きく異なり、摂餌量の最も多かったナガコンブと最も少なかったカレキグサの間には20倍以上の差がみられた。海藻摂餌量とほぼ対応して成長量や生殖腺重量も餌料

海藻種によって大きく異なっており、摂餌量の多かったナガコンブやスジメで大きな値を示したが、カレキグサやクシベニヒバ、スガモでは成長量、身入りとも小さかった。特にカレキグサはウニに摂餌される量も少ないが、ウニの成長量や身入りもほとんどなく、平均生殖腺指数で見ると実験開始時と同じ値の5.8を示し、餌料価値は全くないことが明らかとなった。飼育実験の結果、ウニの身入りに対して最も餌料効果が高かった海藻種はスジメで平均生殖腺指数17.5と実験開始時の3倍以上の値を示した。ナガコンブもウニの身入りに対して高い効果を示し、平均生殖腺指数15.7と実験開始時の2.5倍となった。北海道沿岸において、エゾバフンウニが商品として価値を持つ身入り状態は生殖腺指数で15以上とされている。今回、飼育試験に用いた海藻種のうち生殖腺指数が15を越えたのはスジメとナガコンブの2種のみであり、ウニにとってきわめて餌料価値の高い海藻種であることが明らかとなった。

表-2 エゾバフンウニに対する餌料海藻種別の身入り効果

餌料海藻	1個体当たり	日間摂餌率	平均殻径	平均体重	平均生殖腺	平均生殖腺
	総摂餌量(g)	(%BW <sup>-1</sup> )	増加量(mm)	増加量(g)	重量(g)	指数
ナガコンブ	233.0	6.4	4.3	13.2	8.6±1.9	15.7
スジメ	175.3	4.6	2.4	10.3	9.9±2.7	17.5
アナアオサ	30.6	0.8	3.0	8.4	6.8±1.2	13.2
クシベニヒバ	62.6	1.8	0.6	3.8	4.7±1.2	10.1
カレキグサ	11.6	0.3	0.3	2.0	2.7±0.9	5.8
スガモ	57.9	1.6	1.7	5.3	5.2±0.7	10.8

実験期間は平成13年4月12日～6月25日 飼育水温は4～10℃  
各給餌区とも5個体の平均値を示すとともに、生殖腺重量については標準偏差も合わせて示した

#### 4) 投石礁内のウニの漁獲し易さ

##### 材料及び方法

これまでの調査から、投石礁内のウニは度重なる漁獲があっても、多くの個体が礁内に残っていることが知られている。中割石を用いた投石礁に生息する「ウニの取り易さ」と殻径との関係を明らかにするため、標識放流と再捕を行い回収率を推定した。調査対象とした投石礁は、根室支庁管内別海町尾岱沼地先に造成された大規模増殖礁80基の中からNo. 7礁、No. 21礁、No. 24礁の3つの礁を選んだ。同地先の投石礁は、砂質の海底に中割石を20m四方(400㎡)に敷いたもので、それぞれの礁はほぼ20m間隔で設置されている。また、No. 7礁は通常の中割石を敷設した後、小型の割石(1～5kg)をさらに敷設して中割石の重なりによってできる空隙を埋めた礁で、中割石を用いた礁に比較して空隙が少ない。

調査対象とした3つの礁のそれぞれについて、礁全体から無作為にウニを採集し殻径を測定するとともにミカシオン・ブリリアントレッド8BS0.5%溶液に20分間浸漬による生体染色標識を行い<sup>\*</sup>、採集した礁内に再放流した。標識放流したウニの殻径範囲は22～82mm、標識数は459～816個体で、再放流に際しては礁内に上手く分散するよう注意し潜水作業により行った。標識放流から1週間経過の後、礁面積の10%にあたる40㎡の潜水枠取り採集(㎡枠)を行い、枠内のウニを採集した。なお、ウニの採集については石材を動かさずに行い、通常の水による漁獲方法に準じた。採集したウニの中から標識個体を選別して殻径を測定し、放流時の殻径組成と回収されたウニの殻径組成とを比較した。

表-4 各礁の標識放流数と再捕数

礁No.	殻径範囲(mm)	標識個体	再捕個体	再捕率	採集面積/礁面積
7	22-72	700	68	9.7%	40m <sup>2</sup> /400m <sup>2</sup>
21	30-76	459	44	9.6%	40m <sup>2</sup> /400m <sup>2</sup>
24	34-82	816	67	8.2%	40m <sup>2</sup> /400m <sup>2</sup>

結果

各礁の標識放流数と回収した標識個体数を表-4に示した。各礁それぞれについて礁面積の10%の枠取り採集の結果、再捕数は44~68個体、礁全体を通した標識個体の再捕率は8.2~9.7%と採集面積の比率よりやや低い値であった。No. 7, 21礁について標識放流個体の殻径組成および再捕した標識個体の殻径組成を図-20~21に、3つの礁の殻径別の再捕率を表-5にそれぞれ示した。標識個体の再捕率は殻径によって異なり、大型個体では高く、小型個体で低い傾向が認められた。特に殻径40mmより小型の個体で再捕率が低下し、No. 21礁では再捕率0%、No. 7, 24礁でも4%台の再捕率であった。一方、殻径60mmを越える大型個体の再捕率は、15~28%と高い値を示した。礁別に見ると、No. 7礁で他の2つの礁と比較して高い再捕率を示し、礁の基質の大きさや空隙がウニの再捕率に影響していることが示唆された。

表-5 各礁の標識個体の殻径別再捕数と再捕率

礁No.	40mm>	40-60mm	60mm<	40mm>	40-60mm	60mm<
	再捕数/放流数	再捕数/放流数	再捕数/放流数	再捕率	再捕率	再捕率
7	20/407	43/270	5/20	4.9%	15.9%	21.7%
21	0/37	29/372	14/50	0.0%	7.8%	28.0%
24	3/71	48/639	16/105	4.2%	7.5%	15.1%

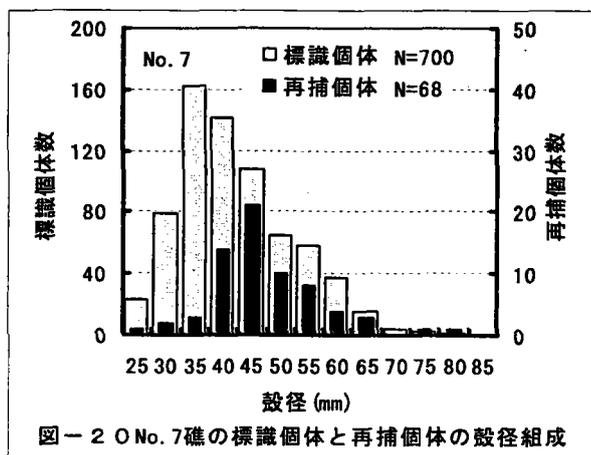


図-20 No. 7礁の標識個体と再捕個体の殻径組成

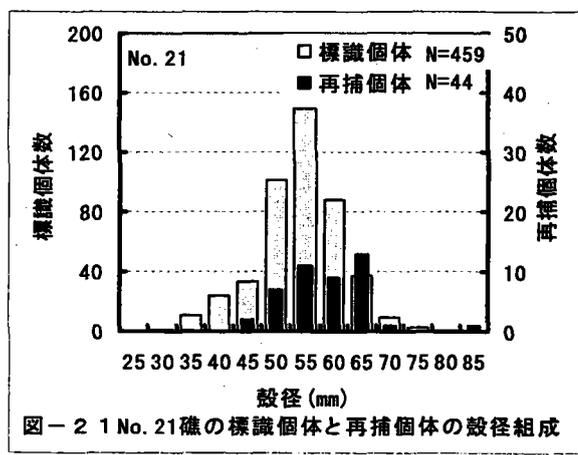


図-21 No. 21礁の標識個体と再捕個体の殻径組成

## 考察

羅臼町地先に造成された投石礁における調査の結果、隣接する礁であってもその形状や水深によって、生息するウニの密度や出現する海藻種現存量が大きく異なることが明らかとなった。礁別にみると、59年礁では全調査年次を通じて海藻種現存量がもっとも高い値を示すとともに出現海藻種も、オニコンブやスジメといったウニが好む海藻種が多く見られ、特に59年礁のオニコンブは $20\text{kg}/\text{m}^2$ という非常に高い現存量を示す調査点もあった。6061年礁は平成11年6月の調査では平均海藻種現存量が $118\text{g}/\text{m}^2$ 、出現した海藻種もほとんどがケウルシグサで、コンブ類の生育は全く見られない状態であったが、同年11月に基質石材の反転移設を行った結果、翌年からはコンブ類が継続してみられるようになった。一方、62年礁は4年間の現地調査期間を通じて海藻種現存量は $1\text{kg}/\text{m}^2$ を越えることはなくコンブ類の生育もほとんど見られなかった。

このような差は、何に起因するのであろうか？各礁とも水深5m付近の砂質の海底に中割石を用いて隣接して造成されており、礁を取り巻く環境に大きな差はない。調査期間を通じて明らかとなった各礁の間での違いとして、第一に礁内に生息するウニの密度が上げられる。各礁とも砂質の海底に造成されているため、礁内のウニは着底してから礁外への移動はほとんどないと考えられる。礁内の平均ウニ密度が最も低かった59年礁で平均海藻種現存量が最も高く、逆にウニ密度が最も高かった62年礁で海藻種現存量が最低であった。さらに枠取り調査における各調査点のウニと海藻との量的な関係を見ると、海藻類の最大現存量を示す調査点は、59年礁ではウニ密度が0個体/ $\text{m}^2$ で約 $20\text{kg}/\text{m}^2$ の海藻種現存量を、6061年礁ではウニ密度が3個体/ $\text{m}^2$ で約 $8\text{kg}/\text{m}^2$ とウニ密度が低い調査点で非常に大きな海藻種現存量を示した。今回の調査海域に近い別海町尾岱沼地先の投石礁について、礁内のウニを除去しその後の海藻類の出現状況を調査した例では、ウニ類と海藻類との量的な関係は負の相関が認められている<sup>2)</sup>。特にコンブ類その傾向が顕著で、コンブ類が出現するウニ密度は5個体/ $\text{m}^2$ 以下であり、ウニが出現しない調査点では $10\text{kg}/\text{m}^2$ 以上のコンブ現存量を示していた<sup>2)</sup>。羅臼地先の投石礁においてもウニ密度と海藻種現存量との関係は負の相関にあり、礁内に出現する海藻種および現存量にはウニの密度に加えてウニの食性が影響を与えていることが考えられる。

羅臼町共栄町地先の3つの礁は、ウニ密度に加えて、各礁の立体的な構造も大きく異なっていた。GPS魚探による調査の結果、各礁の設置されている水深は5m付近と大差なかったが、59年礁では海底面よりの高さが最大で2m近くもあり起伏に富んだ構造であり、6061年礁も海底より1.5m程度の起伏が見られたが、62年礁ではほとんど起伏のない平坦な構造であることが明らかとなった。礁構造の差は礁内の水深の差としてとらえることもでき、水深とウニの密度および海藻類の現存量との関係は、水深の増加とともにウニ密度は増加し、海藻種現存量は減少する傾向が見られた。また、水深が深く起伏の少ない62年礁では、ウニ密度に関わらず海藻種現存量はきわめて少なかった。ウニ密度の場合と同様に水深によって海藻種現存量は変化し、水深の増加とともにコンブ類の現存量が減少した。しかし、アナメやケウルシグサのようなウニが好まない海藻種では、コンブ類が大きく減少する4m付近の水深帯で現存量が最大となり、海藻種間の競合関係が伺われた。礁内の水深は、出現海藻種、ウニ双方に大きな影響を与えていると考えられ、枠取り調査点の海藻種現存量に対するコンブ類の比率と水深について見たところ、図-22に示すような関係が明らかとなった。コンブ類の現存量比率は水深3.5m付近で大きく変化し、それ以浅ではほとんどコンブ類が占めるのに対し、4m以深では低い比率でしか出現しなかった。このことから、礁内のコンブ類の生育には、他海藻種との競合やウニ類の摂餌圧との結果として示される一定の境界値の存在が示唆される。

一方、礁内に生息するウニもまた礁内に出現する海藻種や現存量に影響されていることは容易に推測される。各礁内二生息するウニの成長や実入りは、コンブ類の現存量の多かった59年礁で最も良好で、コンブ類がほとんど出現しなかった62年礁で最も劣っていた。海藻種によってウニの摂餌率が異なることはよく知られている<sup>3)</sup>。本調査における飼育実験の結果では、ウニはコンブやスジメを餌としたときは高い摂餌率を示すとともに成長量、生殖腺の増加量とも良好であったのに対し、カレキグサやクシベニヒバでは摂餌率が低く成長や身入りに対する餌料価値も低かった。投石礁によるウニの成長や身入りの差は、礁内の餌料となる海藻の質と量に起因していることは明らかである。また、このような海藻種に対するウニの摂餌率の差は、海藻に対する摂餌圧の差として作用し、海藻現存量の大きな影響を与えていることが考えられる。

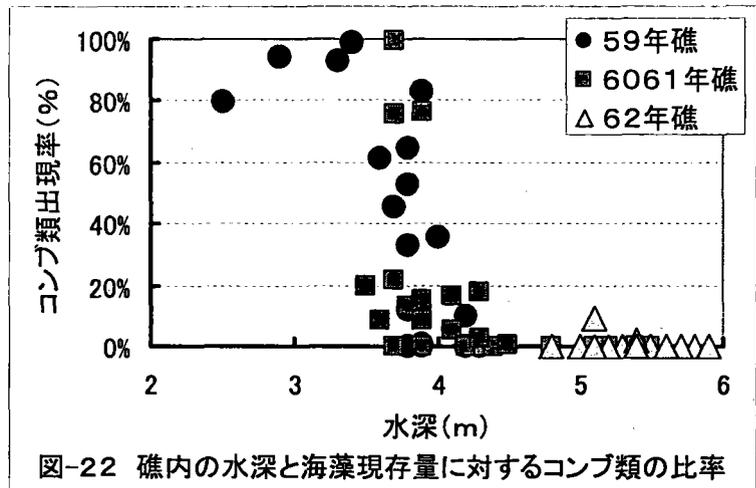


図-22 礁内の水深と海藻現存量に対するコンブ類の比率

礁内のウニの密度を決定する要因としては、ウニ幼生の着生や周囲からの移入といった加入と、漁獲や自然死亡による減耗があげられる。天然発生や自然死亡は人為的に制御できないが、人工種苗の放流や移植放流による加入量の調製と漁獲による密度の調製などは、投石礁を管理する上で有効な手段といえる。特に漁獲行為によって、コンブ類の生育が可能となるようなウニ密度まで礁内のウニ密度を低下させることができれば、投石礁をウニ漁場として維持できる可能性がある。しかし、投石礁に生息するウニの取り易さは、ウニの大きさと礁の構造に影響され、小型個体ほど取りづらく、中割石が重なってできる空隙も漁獲しづらい構造となることが明らかとなった。このことは、既存の中割石を用いた投石礁では、一度礁内にウニが沈着、侵入した後は、餌料海藻が豊富な礁では漁獲サイズに達したものから漁獲されていくものの、取り残し分と新たに加入してくる個体により、礁内のウニ密度は徐々に増加していくことが考えられる。ウニ密度の増加は、海藻現存量と出現種に影響を与えることは、本調査の通りである。

これらのことから、投石礁内における海藻類の分布と現存量は、礁内のウニ分布密度、海藻種に対するウニの摂餌圧の差、海藻種相互の競合、水深の違いによる光や波浪環境の差などの要因が相互に関係しながら決定され、同時に礁内のウニの成長や身入りは、礁内の海藻種と現存量に影響されていることが明らかとなった。投石礁内で生じているこのような相互関係を一義的に表現するのは難しいが、これまでの知見から以下のようにまとめられよう。

ウニ類育成を目的とした投石礁は、ウニの成長や身入りを支える餌料海藻の生育をウニ自身が制限しているとともに、ウニ自身の成長も餌料となる海藻の質と量に制限されている。投石礁の中でこのような相互関係のバランス取るのは非常に難しく、多く場合漁獲が行われたとしてもウニ密度が増加し、海藻がウニに食い尽くされて所謂「磯焼け」状態を呈することになる。起伏に富んだ礁に見られたウニと海藻類の分布の差異は礁の立体構造に起因する生物相互間及び波浪等物理環境の相互作用から生ずる「環境」の「不均一さ」と「不安定さ」によるものと考えられる。特に波浪などの物理的な攪乱がウニの行動を規制することが近年の研究で明らかにされつつあり<sup>4, 6)</sup>、ウニ類の育成礁を考える上で重要な要素となる。

現在の投石礁では同一面上に海藻類とウニ類とを育成することを前提としており、このことが

礁の生産性を制限する最大のネックになっている。しかし、このような問題は、海藻類の生育場所とウニ類の生育場所を水平的、立体的に分離し、それらを最適な間隔で配置することで改善できると考える。また、礁の構造をウニの漁獲が容易なものとし漁業活動でウニの密度調製を可能にすること、簡便で効率的な給餌方法の開発など、投石礁の管理手法をうまく組み合わせることで生産性の高い投石礁が作れるものと確信する。

### 謝辞

本調査を進めるにあたり、根室北部地区水産技術普及指導所、羅臼町および羅臼漁業協同組合、別海町および野付漁業協同組合には調査海域の選定、現地調査のサポートをはじめ多方面において多大なご協力を賜りました。現地における協力がなければ本調査は実施することができませんでした。ここに深く感謝の意を表します。

### 摘要

- DGPS魚探を用いて安価で簡便に投石礁の3次元構造を把握する事ができた。
- 起伏に乏しい礁では高密度にウニが分布するが海藻類の繁茂が少なくウニの成長や身入りが良くない。
- 起伏に富んだ礁では海藻類の繁茂が良好でウニの成長や身入りも良好であった。
- 礁内のウニ密度と海藻現存量には負の相関が認められ、その傾向はウニにとって餌料価値の高いコンブ類で顕著であった。
- 道東域の投石礁内に出現する代表的な海藻種のウニに対する餌料価値は、コンブ類が最も高く、ウニ密度が高い礁でも出現する海藻種(カレキグサ・クシベニヒバなど)は成長・身入りに対して全く効果がなかった。
- 投石礁内のウニは小型個体ほど漁獲されにくいですが、中割石に小型の基質を混在させることで漁獲しやすさが向上した。

### 今後の検討事項/残された課題

起伏のある礁は水深差が大きく、光環境や波浪による物理環境が同一礁内でも大きく異なっていることが想像される。礁内の生物の分布と環境との対応が明らかにすること、また、起伏の程度や餌料海藻育成礁とウニ育成礁の分離と最適な配置など一定の指標化が必要である。また、礁内の海藻とウニとの間には密接な相互関係があり、ウニの密度管理など適切な管理手法の開発が望まれる。

### 引用文献

- 1) 町口裕二・飯泉 仁、1996: 造成漁場に放流されたエゾバフンウニ種苗の成長と生残、平成6年度沿岸漁業整備開発事業に関する水産研究所研究報告、36-52、水産庁開発課
- 2) 町口裕二・飯泉 仁、1999: ウニ類育成礁の最適構造の検討、平成9年度沿岸漁場整備開発調査(直轄)報告書、21-31、水産庁資源生産推進部整備課
- 3) 富士 昭、1969: 北海道のウニとその増殖、水産増殖叢書21、日本水産資源保護協会、東京、pp79
- 4) 町口裕二・山下卓也・阿久津孝夫・山下俊彦・南村尚昭・谷野賢二、1997: 振動流中のエゾバフンウニ稚仔の行動と基質形状に関する一考察、日本土木学会海洋開発論文集 13、699-704
- 5) 町口裕二・山下卓也・伊東公人・谷野賢二、1998: 岩礁性底棲動物の波浪環境下における棲み場の評価…ウニ稚仔について、日本土木学会海洋開発論文集 14、35-40