

## 磯根漁場造成における物理的攪乱の重要性\*<sup>1</sup>

川 俣 茂\*<sup>2</sup>

### Importance of Physical Disturbance for Artificial Development of Nearshore Rocky Fishing Grounds

Shigeru KAWAMATA\*<sup>2</sup>

#### Abstract

Ecological roles of physical disturbance in nearshore rocky areas have not been taken into much consideration by Japanese aquacultural engineers. Overturning boulders and dislodging sessile organisms by wave action, open space for early and middle successional algal species, and heavier water motion generated by waves protects macroalgae in shallower waters from herbivore grazing and contributes to balance of plants and herbivores. This paper describes serious problems on artificial development of kelp community caused by ecological succession and herbivore grazing, and emphasizes the importance of these wave-induced disturbances as a key issue to solve these problems.

Some disturbance techniques developed in Japan are also described for maintenance of *Laminaria* beds which are easily replaced by other longer-lived sessile organisms and finally prospective engineering techniques for constructing abalone propagation grounds, utilizing physical disturbance, are proposed and discussed.

#### 1. はじめに

コンブ類, アラメ・カジメ類, アワビ類, ウニ類およびサザエなどの岩礁生物の生息場所は波当たりの強い浅い所である。このような場所では生物に及ぼす波の影響が強く, 植食動物の摂食が抑制されたり<sup>1)</sup>, 付着生物が基盤から剥取られたり<sup>2)</sup>, 基質を反転または衝突させて裸面をつくったり<sup>3)</sup>する。このような波浪の物理的作用は生態学では一般に攪乱(disturbance)と呼ばれる。生態学で攪乱が注目されるのは通常, 遷移に関する場合である。遷移とは生物群集が環境を変えつつ, 比較的安定な極相へ向かって次第に変化することであるが, 攪乱は遷移を元の状態へ引戻し, 遷移途中の様々な生物群集を出現させる。種の多様性と遷移の関係について, Margalef<sup>4)</sup>は遷移の初期または中期に最高になり, 極相

になると減少する傾向があると述べている。また, Sousa<sup>5)</sup>は潮間帯における転石場の付着生物群集を調べ, 波浪による攪乱が種の多様性の維持に不可欠であることを示している。磯根漁場においても同様に波による攪乱が種の多様性に寄与していると推察される。

このように波浪による攪乱は岩礁生態系に極めて重要な役割をしていると考えられる。しかしながら我が国では数多くの磯根資源に関する研究がなされてきたにもかかわらず, 攪乱を取り上げた研究はほとんどなかった。現在でも磯根資源の種苗放流および漁場造成に関して様々な問題が残されているが, その中の重大な課題のいくつかは攪乱に関係している。

ここでは磯根漁場造成の諸問題を概説し, その問題を解決する鍵として攪乱, 特に波浪による物理的攪乱の重要性と攪乱を考慮した磯根漁場造成の課題を述べる。

#### 2. 藻場造成をめぐる問題

海中に基物を置いておくと, すぐに有機物, 細菌, 菌類が付着して, 1日程度で基物表面が細菌膜によって被り尽くされ, 数日から1週間で珪藻が優占的に出現し, 数週間から数カ月にわたって珪藻が優占し続ける<sup>6)7)</sup>。その後の遷移経過は環境条件や遷移が開始される季節によって異なるが, 散布体(孢子, 卵)さえあれば, どのような付着生物にも着生の機会がある。このため, 藻場

1994年5月6日受付, 1994年6月23日受理

キーワード: 攪乱, 藻場, 波浪, ウニ

Key words: Disturbance, Kelp bed, Wave, Sea urchin

\*<sup>1</sup> 本論文は海洋工学連絡会第9回海洋工学パネルで発表した内容を一部修正したものである。

\*<sup>2</sup> National Research Institute of Fisheries Engineering, Ebidai, Hasaki, Kashima, Ibaraki 314-04, Japan (水産庁水産工学研究所 〒314-04 茨城県鹿島郡波崎町海老台)

造成では対象とする海藻の胞子の放出時期にコンクリートブロックなどの基質が設置されるが、海藻群落は期待どおりに形成されなかったり、形成されても更新しない場合が少なくない<sup>8)9)</sup>。この原因は海域などによって異なるが、主として以下に述べる遷移と植食動物の食害がその原因と考えられている。

### 1) 遷移の問題

遷移を妨げる要因がなく、植物間の競争によってのみ遷移が進行する場合、海藻群落の遷移は光と付着の場をめぐる競争によって決定される。光を必要とする植物では大型化する種ほど優位に生育できるが、短命の種は死亡によって他の種に侵入を許す機会が多いため、寿命が長い種ほど有利に群落を形成することができる。すなわち基本的には小型の海藻から大型の海藻へ、短命な海藻から長命の海藻へと遷移するという法則性<sup>9)</sup>が存在する。南日本沿岸にはアラメ・カジメ類が分布し、アワビ類、ウニ類などの重要な餌料となっているが、これらは6～7年の寿命をもつ<sup>10)11)</sup>大型海藻で極相として安定な群落を形成する<sup>9)10)</sup>。これに対して北日本沿岸では水産的に有用とされるコンブ類などの大型海藻が優占するが、サンゴモなどの殻状海藻によって基質を奪われたり<sup>9)</sup>、ホンダワラ類に被われて成長が悪くなること<sup>12)</sup>がしばしば問題となる。その原因についてはまだ定説はないが、雑海藻となる殻状海藻やホンダワラ類の寿命がかなり長く、例えば次項で述べる磯焼け地帯に優占的に出現する無節サンゴモの一種エゾイシゴロモが15年以上<sup>13)</sup>、またホンダワラ類ではフシスジモクが6～7年<sup>14)</sup>、ウガノモクとネプトモクが少なくとも5年以上<sup>12)</sup>の寿命をもつと推定されているのに対して、コンブ類などの有用海藻の寿命が1～4年と比較的短いことがその一因になっていると推察される。

### 2) 植食動物の食害の問題

海藻の食害動物としてウニ類、巻貝類、アメフラシ、魚類があげられている<sup>9)</sup>が、しばしばこれらの動物の過度の摂食が海藻群落を消失させる、いわゆる磯焼けを引き起こすことが知られている。磯焼けはコンブ類のように食用となる有用海藻の生産だけでなく、海藻を餌とするアワビ類、ウニ類、サザエ、イセエビなどの生産を激減させるため、古くから全国で問題視されてきた<sup>15)</sup>。磯焼けの原因には従来様々な説<sup>16)</sup>があったが、近年では植食動物の食害がその直接的原因であるとする報告<sup>17)18)19)</sup>が最も多くみられる。

北海道南西部、東北沿岸にはウニ類および植食巻貝類の高い摂食圧によってコンブ類などの大型海藻が消失し、摂食されにくい無節サンゴモ類などの殻状海藻が優占する磯焼け状態の漁場が広く分布する<sup>16)18)20)</sup>。そこでの磯焼けは、無節サンゴモ群落がウニ類、アワビ類などの稚仔の好適な着底場となり、植食動物の繁殖を促進する

こと、ウニ類などが飢餓に強いことなどの理由で非常に安定しており、極相の一つと考えられている<sup>21)22)</sup>。

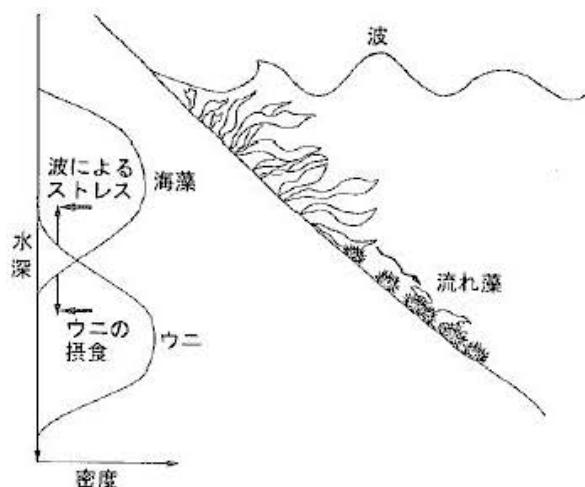
磯焼け対策として藻場の回復が全国で試みられてきた<sup>16)21)25)</sup>。食害に起因する磯焼けの場ではコンクリートブロックなどの着生基質の投入と母藻の投入または播種だけでは成功しないことが多く、食害対策として植食動物の駆除<sup>16)21)25)</sup>、網囲い<sup>23)</sup>または人工藻の藻礁への装着<sup>24)</sup>による植食動物の侵入防止、植食動物の忌避物質の利用<sup>26)27)</sup>が試験的に実施されてきた。しかし事業規模で藻場を維持するための実践的方法はないようであり、造成場所を食害動物の少ない所、例えば砂底に選定すること<sup>9)</sup>が提案されているに過ぎない。

## 3. 藻場における攪乱とその役割

### 1) 植食動物の摂食と波浪による攪乱

先に植食動物の過剰な摂食により大型海藻が消失すると述べたが、そのような磯焼け地帯でも潮間帯や波打際では海藻の繁茂がみられることが多い<sup>10)21)</sup>。特に外洋に面した所では浅所に海藻が繁茂し、深所にウニ類が海藻と明瞭な境界をつくって高密度に分布する場が広く見られる。

図一1はこのような海藻—ウニの水深分布様式を説明するための模式図である。海藻は一般に光合成生産に有利な浅所でよく繁茂する。一方、植食動物は波によって海水が動揺している場では海藻を摂食し難いので、摂食の容易さからは深所にいる方が有利である。特にウニ類は口が殻の下側中心にあるため、動揺する海水の中で海藻を無理に食べようとすると、基盤から管足の大半をはずして海藻の上に乗らなければならない、振り落とされたり、岩盤にたたきつけられたりする危険性が高い。ウニ類<sup>28)29)</sup>、アワビ類<sup>30)</sup>は主として漂流している藻体（流れ藻）を捕食するといわれてきたが、その理由は流れ藻が捕食し易い形態をもつため<sup>31)</sup>というよりも、むしろ深



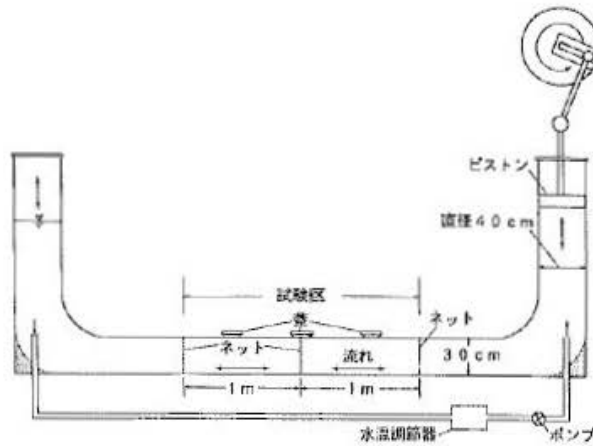
図一1 海藻—ウニの垂直分布模式図

所でもある程度の餌が浅所の海藻群落から流れ藻として供給される限り、波による動揺が小さく安全に摂食できる深所にいる方が生息に有利であるためと推察される。

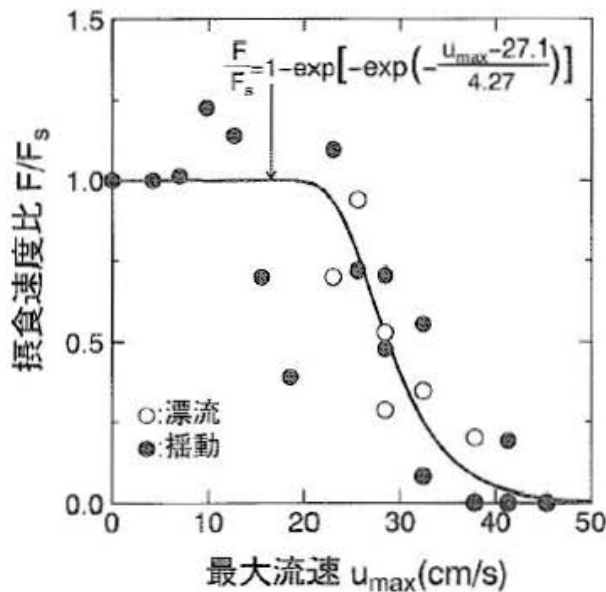
以上の関係から海藻の分布下限は波当たりが強い所で深くなり、逆に弱い所で浅くなったり消失したりすることが予想される。実際に藤田・津田<sup>32)</sup>および武内ら<sup>33)</sup>の調査結果はこのことを裏付けている。

このように波浪は藻場の形成に極めて重要な役割を果たしていることから、著者らは植食動物に及ぼす波浪の影響を明らかにするため、図一2に示すような振動流水槽を用いた室内実験を実施している。

図一3はその実験結果<sup>34)</sup>の一部で、振動流中における殻径75~86mmのキタムラサキウニの摂食速度を示す。図中の $F$ は日間摂食量、 $F_s$ は静水中での $F$ の値で水温、殻径および季節などに依存する。この実験では水温10°Cの条件下で、ネットで1mの長さに仕切った通水断面



図一2 実験に用いた振動流水槽の概略図



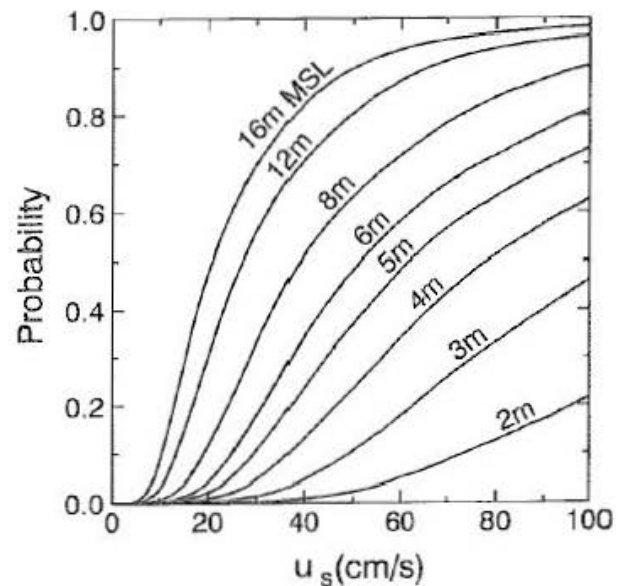
図一3 キタムラサキウニの摂食に及ぼす振動流の影響、実線は回帰曲線を示す。

30cm×30cmの試験区に、ウニとともに大きさ10cm×30cmに切ったコンブをそのまま入れて(白丸)、または10cm×30cmの藻体が揺動するようにコンブの一端を底面に重りて押さえつけて(黒丸)、24時間または48時間、周期5~10sの規則的な振動流を与えて摂食量を測定した。その結果、摂食速度は海藻の状態にあまり影響されず、 $u_{max}$ が0から25cm/s程まではほぼ一定であるが、その値を超えると摂食速度は急激に低下し、40cm/s以上ではほとんどゼロとなることが明らかになった。

この実験結果から波高の統計資料を用いて実際の現場でウニの摂食が波浪によってどの程度抑制されているか検討することができる。1986年~1991年間における2時間毎の岩手県島ノ越漁港波高観測データ(有義波の波高および周期)と主要18分潮による推定潮位を用いて、三陸沿岸での底面最大波動流速を推定してみた結果が図一4である。この計算では簡単に1/10の一定勾配の漁場に沖波が入射する場合を想定し、合田<sup>35)</sup>の砕波限界式で与えられる非砕波領域までは微小振幅波理論と首藤<sup>36)</sup>および磯部・堀川<sup>37)</sup>の式を用いて波による底面最大流速 $u_s$ を計算し、砕波帯においては合田<sup>35)</sup>の略算式で求めた波高 $H$ を用いて、次式<sup>38)</sup>で概算した。

$$u_s \approx 0.3 \sqrt{g(h+H)} \quad \dots\dots(1)$$

ここに、 $g$ :重力加速度、 $h$ :水深。図では平均海面(MSL)を基準とした水深毎の $u_s$ の累積確率分布を示した。縦軸の確率は各水深において $u_s$ が横軸の値を超えない頻度の割合を示している。現場の有義波から得られた $u_s$ と実験での規則的な振動流の $u_{max}$ を同一視することに多少問題が残されるが、ウニの摂食可能な条件を $u_s < 40$  cm/sと考えると、外洋からの波浪を直接受ける三陸沿



図一4 三陸沿岸における波による底面最大流速の累積確率分布

岸ではウニが海藻を摂食できる期間は水深2 mまでは1%以下とかなり低い。しかし水深の増加に伴いその期間は急激に増加し、水深5 mで約20%、水深8 mでは約50%に達して海藻がかなり摂食されることが予測される。現場の生物分布を説明するためには、さらに水温、光などの環境要因、海藻の成長を考慮した生態系モデルが必要であり、著者らはその構築を検討している。

ところで海藻の中には植食動物が好んで食べるにもかかわらず、波の影響が弱くなる深所に分布するフィラメント状の種がある。北海道、三陸沿岸では大部分の葉状の海藻はウニ類の少ない浅所にしか生育しないが、褐藻ケウルシグサはウニの多い深所に生育するのが見られる<sup>18)39)</sup>。これはケウルシグサが弱い波によってもよく動き回る構造をもち、周囲の岩盤の表面を掃き回り、ウニを排除するためと考えられている<sup>40)</sup>。このような海藻による底生動物の掃出し効果(sweeping effect)は他の海藻でも確認されている<sup>40)41)</sup>。一般に植食動物の生息密度は海藻の繁茂域で低くなることが知られているが、この原因は海藻群落は波の影響が強い所に残るためだけでなく、海藻が密生することによってこの掃出し効果が強まるためと考えられる。

このように波による海水の動揺は海藻群落を植食動物の摂食から守るという点で非常に重要な役割をしている。このことを水産の立場からみると、波動の強さの水深傾度は「光合成生産に適した浅所にある海藻群落という餌料生産場を保護し、そこでの産物を流れ藻として深所のウニ類、アワビ類などへ徐々に供給する」という効率的な生産システムの維持に役立っているとみることができ

## 2) 海藻群落の遷移と波浪による攪乱

波浪による基質の反転、埋没は遷移を妨げる重要な要因である。基質が大きいほど波浪によるその頻度が低くなり、海藻群落は極相へと遷移する<sup>3)</sup>。特に大型になる海藻は大きな流体力を受けるため、不安定な小さい基質上では成長できない。

また、波浪による攪乱は安定した不動の基質上でも砂礫の衝突または漂砂による埋没によって起こる<sup>3)</sup>。これらの影響の度合は基質の下部から上部へ向かって低くなり、それにつれて遷移も極相へと進む。

## 4. 藻場の維持と攪乱の利用技術

基質の投入、食害動物の駆除、播種などにより藻場を造成しても、経時的には海藻の遷移が起こり、周辺の植生に戻ることが知られており、造成後に何らかの攪乱を与え続けることが必要になることが少なくない。

### 1) 雑海藻駆除の必要性和その駆除技術

コンブ類が繁茂する北海道<sup>12)</sup>、青森県<sup>42)</sup>、岩手県<sup>43)</sup>では漁場に設置した自然石、コンクリートブロックなどの

基質が年々雑海藻に被われ、コンブの着生が悪くなることが問題にされている。

青森県ではマッケと呼ばれる漁具を船で曳き回してコンブを採取する漁法が行われ、その漁法によって転石が反転され、基質の更新が起こると考えられている。このため青森県ではコンブ漁場造成の基質の大きさをマッケ漁法によって反転できるものとしている<sup>42)</sup>。

北海道では雑海藻の問題はより深刻であるようである。北海道の一部の地域では雑海藻駆除効果がある流水の接岸が近年少なくなっていることが雑海藻繁茂の一因と考えられている。流水の接岸は海底を削って雑海藻だけでなくコンブも流失させるので、その年のコンブ生産を減少させるが、その雑海藻駆除効果は非常に大きく、その翌年から数年間コンブの豊漁年となることが多い(図-5)。近年、道東のコンブの生産量に減少傾向がみられる。その原因については様々な要因が考えられているが、ここ数年道東沿岸には流水が接岸していないことが大きな原因の一つと考えられている<sup>12)</sup>。

北海道では古くからコンブ漁場の雑海藻駆除の必要性和考えられ、ダイナマイトを用いた岩面剥離、高圧水噴射、チェーン曳きなど様々な雑海藻駆除技術が開発されてきた。その中で波による動揺を利用した技術として注目されるのがチェーン振り<sup>44)~46)</sup>である。

チェーン振りとは、係留中の漁船のアンカー・チェーンが波に揺られて海底の海藻類を除去することにヒントを得て、北海道利尻島杵形漁業協同組合青年部が1969年から技術開発を行ってきたものである。図-6に示すようにチェーン振りとは最初、浮力材の一端にアンカー・チェー

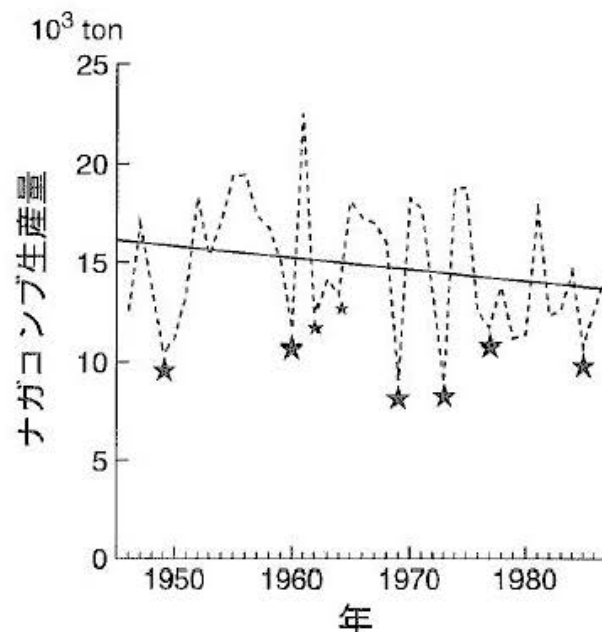


図-5 ナガコンブの生産量の推移と流水接岸状況。大星印：道東全域に接岸した年、小星印：道東の一部に接岸した年、名畑<sup>12)</sup>の図より。

ン（保全チェーン）をつけたものであったが、保全チェーンにはあまり雑海藻駆除効果がなく、その後、浮力材のもう一端に取り付けられた水深と同程度かそれより多少長いチェーン（振り込みチェーン）に大きな駆除効果があることが判った。また振り込みチェーンをU字型に垂下した場合も試みられたが、根がかりが多く失敗した。浮力材は最初、丸太が使用されていたが、丸太は次第に吸水して重量増加による施設移動という管理作業の支障となったり、浮力減少によって水没し、チェーンが振れなくなるという問題を生じたため、軽くて浮力変化のないFRP製浮体にかえられ、その施設が現在の主力となっている。

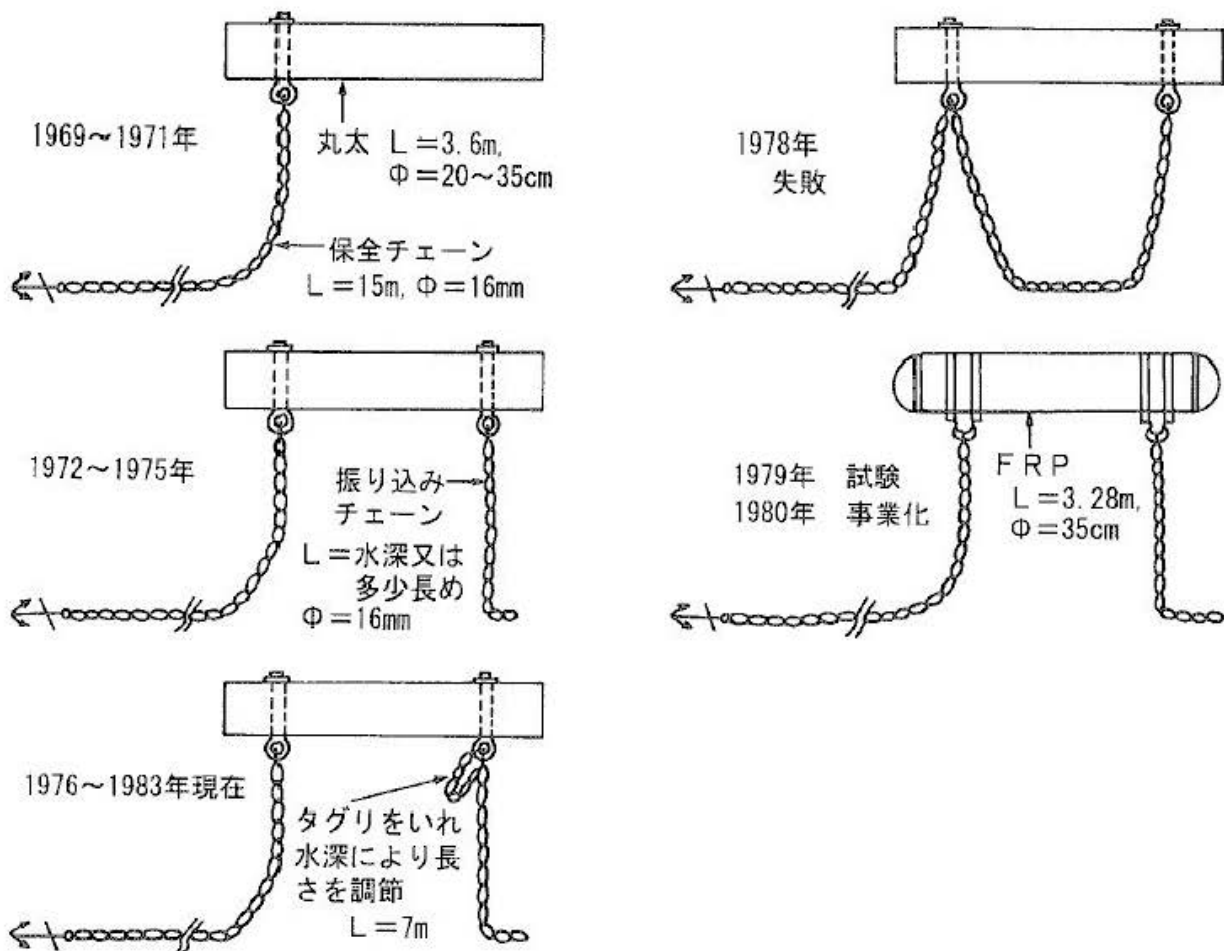
チェーン振りには小型の船で浅所にも移動できる、凹凸の激しい岩礁でも根がかりがなく効果的に稼動するなどの特長があるほか、特に時化の日が多い海域では動力を用いる他の駆除技術に比べて経済的であり、また時化のときに稼動できるという利点がある。チェーン振りは「チェーン振りをやったところには必ずコンブが着生する」と云わしめるほどの実績を背景に、利尻島内では「コンブの増殖はチェーン振りに限る」といわれるまでに定着し、最近では道内各地に導入されるようになってきているという。

しかし、チェーン振りの設計については工学的に検討されたわけではなく、その雑海藻除去効果と水深、底質、波浪などとの関係が明確にされていないなどの問題がある。今後、専門家による詳細な解析と改良によって一層の改善が期待される。

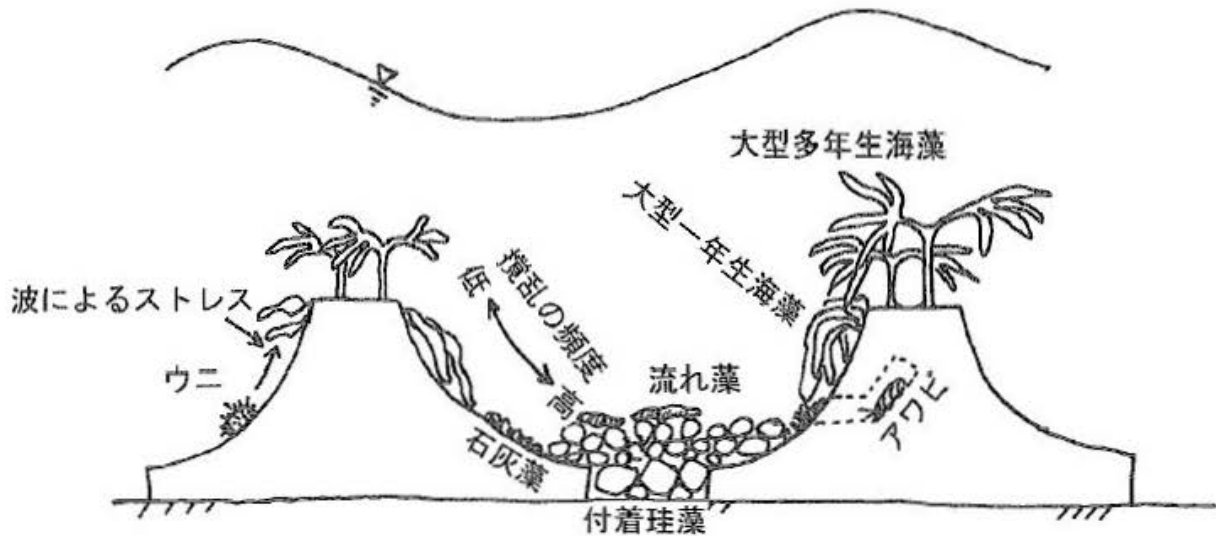
このほかに基質面の更新のため反転板を取付けたコンクリートブロックが考案され、反転板の反転により大型海藻の着生量が増大した事例がある<sup>17)~19)</sup>が、新たに漁業者の管理努力を要求することが支障となり、普及していないのが現状である。

## 2) 漁場造成における攪乱をめぐる課題

近年、無節サンゴモ、小型短命海藻などがアワビ類、ウニ類などの生息場として重要であることがわかってきた。これらの海藻群落は攪乱の頻度が比較的高い場に形成される遷移途中相の群落である。しかしこれらの磯根資源の漁場造成では餌料海藻の着生基質となる自然石またはコンクリートブロックを滑動、埋没がないように設計するため、それらの動物の生息場として適さない固着動物、大型多年生海藻などの群集へと遷移することが問題となっている。その対策としては、前述したマッケ曳き漁法、チェーン振りなどの漁場管理が有効であるが、漁業者の管理努力にも限界があり、漁場造成においても



図一6 チェーン振り装置の開発経過新浜・安住<sup>16)</sup>の図より



図一7 うね立て工法の概念図<sup>50)</sup>

その対策が望まれている。

周知のように現行の設計では、設計年最大確率波から基質の所要重量を算定している。これに対してある遷移段階の海藻を優占的に繁茂させるためには、ある特定の大きさの基質、より正確には転倒、反転などの攪乱頻度が適当な基質を設置する必要がある。理論的にはその頻度が最適になるように確率波から基質を決定すればよいことになるが、これには2つの問題がある。一つは基質の移動、逸散の問題である。現在、波に対して安定でない捨石を基質とする場合、捨石を安定な異形ブロックを取り囲むなどして動かないようにされている。しかし、捨石は異形ブロックの囲いの中で動くと捨石が飛び出す可能性が高くなるため、現行では捨石の反転を積極的に利用するという考えはない。もう一つの問題は、ある海藻、例えば一年生海藻の着生には1年に一度だけ反転する大きさの基質がよいとして基質の重量を年最大確率波により算定しても、実際には数年間一度も反転しなかったり、1年に何度も反転することが頻繁に有り得ることである。

このような問題に対しては、様々な安定性を有する基質を適当な割合で混在させる工法、または著者らが提案しているうね立て工法<sup>50)</sup>が有効な手法と考えられる(図一7)。うね立て工法とは波力に対して安定な重量構造物または海底をうね状に造成し、そのうね間に波によって流出しない比較的軽量の基質(玉石、礫、カキ殻など)を搬入するものである。このようなうねを造成すれば、波浪による動揺はうねの頂上付近で強いがうね間で弱く、またうね斜面ではうね間の基質により攪乱される度合は上から下に向けて大きくなる。植生はこの物理的環境の傾度に応じてうね頂部に大型多年生海藻が優占し、斜面では上から下に向けてより短命の藻類へと移り変わることが期待される。このような環境にはアワビ稚

貝の主餌料である付着珪藻と小型海藻から、貝類およびウニ類の成長に必要な大型海藻まで存在し、さらにうね間にはその脱落藻体が滞留することになるので、うね立て工法は極めて好適な餌料環境を作出することができると思われる。

しかしこれらの技術には基質の移動・分散、攪乱頻度と植生との関係などの解明すべき課題が多く、その導入には研究の飛躍的な進展が不可欠である。

## 6. おわりに

以上、磯根漁場における物理的攪乱の重要性とその利用技術について述べた。

従来の工学分野では自然の攪乱は防止すべきものとみなされ、河川工事、護岸工事などの災害対策事業のみならず、著者らが関係している水産土木事業においても物理的攪乱の役割が考慮されることはほとんどなかった。しかしあまりに広大な自然環境が変化の起こり難いものへと改造されつつある現在、攪乱の効果を取り入れた工学技術の開発がますます重要になっていると考える。

## 謝 辞

本稿をまとめる当たり、北海道立釧路水産試験場の名畑進一科長(93年12月当時)にはチェーン振り、雑海藻駆除などについて貴重な資料及びご助言を、また北海道立中央水産試験場の吾妻行雄科長には磯焼けに関する貴重な文献を戴いた。また潮位の推算には水産工学研究所山本正昭室長にプログラムを提供して戴いた。これらの方々に感謝の意を表す。

## 文 献

- 1) Mann, K. H.: Ecology of coastal waters: a systems approach, Blackwell, London, pp. 66-67, 1982.

- 2) Koehl, M. A. R. : The interaction of moving water and sessile organisms, *Sci. Am.* **247**, pp. 110-120, 1982.
- 3) 今野敏徳 : ガラモ場・カジメ場の植生構造, 月刊海洋科学, **17**, pp. 57-65, 1985.
- 4) Margalef, R. : Successions of populations. *Adv. Frontiers of Plant Sci.* (Instit. Adv. Sci. & Culture, New Delhi, India), **2**, pp. 137-188, 1963.
- 5) Sousa, W. P. : Disturbance in marine intertidal boulder fields: the nonequilibrium maintenance of species diversity. *Ecol.*, **60**, pp. 1225-1239, 1979.
- 6) 片田実 : 海藻の生活形と遷移 (綜述), 日水誌, **29**, pp. 22-26, 1963.
- 7) 田中信彦 : 微生物と付着珪藻, 水産学シリーズ64, 海産付着生物と水産増養殖 (堀原武編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 18-27, 1987.
- 8) 大野正夫 : 海中林—その生態と造成技術—, 月刊海洋科学, **17**, pp. 706-713, 1985.
- 9) 大野正夫・寺脇利信・本多正樹 : 南日本のがら藻場の生態と藻場造成, 沿岸海洋研究ノート, **27**, pp. 127-135, 1990.
- 10) 岩橋義人 : 伊豆半島沿岸のアラメ・カジメの生態的研究—Ⅲ, カジメ群落の年級群の交代について, 静岡水試研報, **4**, pp. 37-39, 1971.
- 11) 谷口和也・加藤史彦 : 褐藻類アラメの年齢と生長, 東北水研研報, **46**, pp. 15-19, 1984.
- 12) 名畑進一 : ナガコンブ漁場での雑藻駆除の重要性, 北水試だより, **13**, pp. 6-12, 1991.
- 13) 藤田大介 : エゾイシゴロモの年間生長速度, 日水誌, **56**, pp. 1015, 1990.
- 14) 名畑進一・新原義昭・松谷実・武井文雄 : 利尻島におけるフシスジモク *Sargassum confusum* の生態, 北水試報, **23**, pp. 53-64, 1981.
- 15) 遠藤吉三郎 : 海藻磯焼調査報告, 水産調査報告, **12** (1), pp. 1-47, 1902.
- 16) 正置富太郎 : 北海道における磯焼の現状について, 北海道栽培漁業公社, 育てる漁業研究会, pp. 4-19, 1980.
- 17) 浅野昌充・菊地省吾・河村知彦 : コンブ類繁茂に対する小型植食巻貝の影響, 東北水研研報, **52**, pp. 65-71, 1990.
- 18) 名畑進一・阿部英治・垣内政宏 : 北海道南西部大成町の磯焼, 北水試研報, **38**, pp. 1-14, 1992.
- 19) 四井敏雄・前迫信彦 : 対馬東岸の磯焼け帯における藻場回復実験, 水産増殖, **41**, pp. 67-70, 1993.
- 20) 山田秀秋・河村知彦・浅野昌充・谷口和也 : 牡鹿半島沿岸漸深帯に設置した人工岩礁上における海藻群落の遷移, 東北水研研報, **54**, pp. 89-95, 1992.
- 21) 菊地省吾 : 海中造林とその理論, 水産学シリーズ23, 増殖技術の基礎と理論 (日本水産学会編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 68-78, 1978.
- 22) 菊地省吾・浮永久 : アワビ・ウニ類とコンブ類藻場との関係, 水産学シリーズ38, 藻場・海中林 (日本水産学会編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 9-23, 1981.
- 23) 瀬戸口勇 : 磯焼け漁場におけるガラモ場の造成について, 水産土木, **15** (1), pp. 59-61, 1978.
- 24) 中久義昭 : 磯焼け漁場の海中林造成試験, 栽培技研, **9** (1), pp. 25-30, 1980.
- 25) 月館潤一 : ガラモ場の造成, 月刊海洋科学, **17**, pp. 44-49, 1985.
- 26) 大貝政治・柿元皓・花野政之・村尾敏一・長井敏 : アカモクの成長におよぼすカルボン酸・塩の影響とそれらを利用したアカモク藻場造成, 水産工学, **29**, pp. 153-158, 1993.
- 27) 大貝政治・柿元皓・花野政之・村尾敏一・若野真 : カルボン酸を利用したヤツマタモク藻場造成, 水産工学, **30**, pp. 29-33, 1993.
- 28) 今井利為・児玉一宏 : ムラサキウニの食性, 水産増殖, **34**, pp. 147-155, 1986.
- 29) 今井利為・新井章吾 : アカウニの食性と摂餌量について, 水産増殖, **34**, pp. 157-166, 1986.
- 30) 宇野寛 : アワビ類の生態と放流の問題点, 水産学シリーズ12, 種苗放流効果 (日本水産学会編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 39-55, 1976.
- 31) 橋高二郎・西村和也・山田和彦・早川康博 : ウニの摂餌行動の解析, 付着生物研究, **4** (2), pp. 5-9, 1983.
- 32) 藤田大介・津田秀夫 : 北海道江差町鷗島の高藻, 南紀生物, **29**, 45-50, 1987.
- 33) 武内智行・上西隆広・大森康弘・佐藤仁 : 防波堤周辺の水産生物生息分布状況調査, 瀬棚港での調査例, 開発土木研究所月報, **463**, pp. 2-16, 1991.
- 34) 川俣茂・足立久美子・山本正昭 : キタムラサキウニに及ぼす波浪の影響, 平成6年度日本水産工学会学術講演会講演論文集, pp. 85-88, 1994.
- 35) 合田良寛 : 浅海域における波浪の碎波変形, 港湾技術研究所報告, **14**, pp. 59-106, 1975.
- 36) 首藤伸夫 : 非線形長波の変形, 第21回海岸工学講演会論文集, 土木学会, pp. 57-63, 1974.
- 37) 磯部雅彦・堀川清司 : 碎波帯付近における流速場の浅水変化に関する研究, 第28回海岸工学講演会論文集, 土木学会, pp. 5-9, 1981.
- 38) Denny, M. W. : Biology and the mechanics of the wave-swept environment, Princeton University Press, Princeton, pp. 257-261, 1988.
- 39) 川俣茂 : 三陸沿岸磯根漁場の底生生物群集の構造とその成因, 水工研研報, **15**, pp. 1-24, 1994.
- 40) Himmelman, J. H. : The role of the green sea urchin, *Strongylocentrotus droebachiensis*, in the rocky subtidal region of Newfoundland, *Can. Tech. Rep. Fish. Aquatic. Sci.*, **954**, pp. 92-119, 1980.
- 41) Velimirov, B. and C. L. Griffiths : Wave-induced kelp movement and its importance for community structure, *Botanica Marina*, **22**, pp. 169-172, 1979.
- 42) 足助光久 : コンブ藻場の造成とその効果, 水産土木, **20** (1), pp. 37-44, 1983.
- 43) 岩手県林業水産部漁業振興課 : アワビ造成漁場の管理手引き, pp. 1-26, 1981.
- 44) 名畑進一・松田洋 : 利尻島コンブ漁場の「チェー

- ン振り」による磯掃除, 北水試月報, 40, pp. 249-269, 1983.
- 45) 安住芳雄: チェーン振り雑海藻駆除によるコンブの増殖—杵形漁協, 水産の研究, 4, pp. 95-99, 1985.
- 46) 新浜秀一・安住芳雄: チェーン振り雑藻駆除施設の研究開発から10年の経過と現状について, 第28回全道漁村青少年婦人グループ活動実績発表大会資料, 北海道道指導連, pp. 60-64, 1983.
- 47) 綿貫啓・山本秀一: 海岸構造物への海藻類の着生, 月刊海洋科学, 20, pp. 388-394, 1988.
- 48) 天下谷昭文・佐々木精一・高橋宏樹: 餌料海藻の安定造成技術開発に関する研究, 昭和62~63年度岩手県北部栽培漁業センター事業報告書, pp. 39-40, 1988.
- 49) 天下谷昭文・佐々木精一: 餌料海藻の安定造成技術開発に関する研究, 昭和62年度岩手県南部栽培漁業センター事業報告書, pp. 124-126, 1987.
- 50) 川俣茂・足立久美子・萩野静也: うね立てによるアワビ増殖場造成工法の提案, 平成2年度水産工学研究推進全国会議報告書, 水産工学研究所, pp. 23-26, 1990.