

【報 文】

## 磯焼け対策における要素技術の整理

桑原久実<sup>\*1</sup>・綿貫啓<sup>\*2</sup>・青田徹<sup>\*3</sup>・安藤亘<sup>\*4</sup>  
川井唯史<sup>\*5</sup>・寺脇利信<sup>\*6</sup>・横山純<sup>\*7</sup>・藤田大介<sup>\*8</sup>

## Summary of Component Techniques in 'Isoyake' Recovery Technology

Hisami KUWAHARA<sup>\*1</sup>, Akira WATANUKI<sup>\*2</sup>, Toru AOTA<sup>\*3</sup>,  
Wataru ANDO<sup>\*4</sup>, Tadashi KAWAI<sup>\*5</sup>, Toshinobu TERAWAKI<sup>\*6</sup>,  
Jun YOKOYAMA<sup>\*7</sup> and Daisuke FUJITA<sup>\*8</sup>

### Abstract

Using the database (number of literature > 1,000, 1970 to 2005) on barren ground reported from Japanese coasts, component techniques in 'Isoyake' recovery technology were summarized as a systematic tree to seaweed review restoration technologies were reviewed. The component techniques are termed as 'module' of individual techniques. The systematic trees are composed of two main branches, 'control of intensive grazing by herbivores' and 'stock enhancement of seaweeds'. The former main branch was divided into two branches, 'sea urchins' and 'herbivorous fishes', which are comprised of nine and six component techniques, respectively. In each of these branches ; the techniques are categorized into three groups, 'removal', 'dispersal' and 'exclusion'. The latter main branch is composed of thirteen techniques categorized into five groups, 'transplantation', 'illumination', 'fertilization', 'employment of substratum' and 'removal of sedimentation'. In order to recover the seaweed community on intensively grazed areas, the techniques in the first main branch should not be preceded by those in the latter branch.

---

2006年4月12日受付, 2006年4月12日受理

キーワード 磯焼け対策, 藻場回復, 食害, 要素技術, 系統樹

key words : Barren ground techniques, Seaweed restoration, Herbivory, Component Technique, Systematic tree

\*<sup>1</sup> National Research Institute of Fisheries Engineering, 7620-7, Hasaki, Kamisu, Ibaraki, 314-0408, Japan (水産総合研究センター水産工学研究所 〒314-0408茨城県神栖市波崎7620-7)

\*<sup>2</sup> Alpha Hydraulic Engneering Consultants Co., Ltd., 9-14, Hassamu, Nishi, Sapporo, Hokkaido, 063-0829, Japan (アルファ水工コンサルタント 〒063-0829北海道札幌市西区発寒9条14丁目516-336)

\*<sup>3</sup> TETRA Co., Ltd., 3-11-34, Mita, Minato, Tokyo, 108-0073, Japan (株式会社テトラ 〒108-0073 東京都港区三田三丁目11番34号(センチュリー三田ビル))

\*<sup>4</sup> Fisheries Infrastructure Development Center, 2-14-5, Tukiji, Chuo, Tokyo 104-0045, Japan (社)水産土木建設技術センター 〒104-0045 東京都中央区築地2-14-5 サイエスタビル3階)

\*<sup>5</sup> Hokkaido Nuclear Energy Environmental Research Center, 261-1 Miyaoka, Kyowa, Hokkaido 045-0123, Japan (北海道原子力環境センター 〒045-0123 北海道共和町宮丘261-1)

\*<sup>6</sup> Fisheries Research Agency, Queen's Tower B 15F, 2-3-3, Minatomirai, Nishi, Yokohama, Kanagawa, 220-6115, Japan (独立行政法人水産総合研究センター 〒220-6115 神奈川県横浜市西区みなとみらい2-3-3 クイーンズタワーB15階)

\*<sup>7</sup> Fishery Agency, 1-2-1, Kasumigaseki, Chiyoda, Tokyo, 100-8907, Japan (水産庁 〒100-8907 東京都千代田区霞が関1-2-1)

\*<sup>8</sup> Tokyo University of Marine Science and Technology, 4-5-7, Konan, Minato, Tokyo, 108-8477, Japan (東京海洋大学 〒108-8477 東京都港区港南4-5-7)

## 1. はじめに

磯焼けが継続している海域では藻場の再生が困難であり、水産業ばかりでなく環境への悪影響も無視できず、確実な藻場の回復方法の技術が望まれている。このような背景から、水産庁では2004年から緊急磯焼け対策モデル事業をスタートさせた。この事業は藻場の形成阻害要因を特定し、それを排除・軽減するための効果的・効率的な対策手法の開発を行うとともに、そのガイドラインの作成を目指している。まず、第一ステップとして、1970年以降の磯焼けや藻場造成に関する文献を収集し、磯焼け対策技術の現状や動向を整理することとした。

これまで、磯焼けについては、実態やメカニズム（三本管, 1994）、状態の診断技術（全国沿岸漁業振興開発協会, 2001）に関してまとめられているが、近年、深刻化している植食性魚類の食害対策も含め、磯焼け対策に重点をおいた既存文献の整理はされていない。著者らは過去の文献から対策技術の傾向や変遷を整理し別に報告（桑原ら, 2006）したが、本報では、個々の磯焼け対策技術の内容を整理し、系統樹の作成を試みたので報告する。

## 2. 磯焼け対策の分類

文献調査は、桑原ら（2006）で述べたように1970年以降の藻場造成や磯焼けに関する論文・報文あるいは報告書等1,000件以上について行った。収集した文献を磯焼け対策技術の変遷という観点で整理すると、磯焼けの原因は種々あるものの、磯焼けが継続して回復しないのはウニ類や植食性魚類による食害の影響が非常に強く、特に、近年の磯焼け対策は食害対策に重点が置かれていることを確認した（桑原ら, 2006）。そこで、本報では磯焼け対策を植食動物の食害から海藻を保護する技術と衰退した藻場に海藻を増やす技術に大別し、前者についてはウニと植食性魚類に分けて各要素技術を整理した。

## 3. ウニ類の食害対策に関する要素技術分析

磯焼けが回復しない大きな原因の一つにウニ類の過大な摂餌圧があげられる。北海道から東北地方の太平洋側の磯焼け地帯では、キタムラサキウニが高密度に分布することでコンブやアラメ等の大型海藻群落が衰退しているばかりでなく、海藻の幼芽も摂餌され生長できないという指摘が多い。その他、オホーツク海ではエゾバフンウニ、関東以南ではガンガゼの影響も大きい。以下にウニ類の摂餌圧を軽減させる方法や漁場から除去したウニを利用する方法についてまとめた。

まず、ウニの摂食量を減少させる対策として、従来から取り組まれてきた考え方を整理すると、「除去」、「分散」、「防御」に分類できる（図-1）。「除去」はウニを

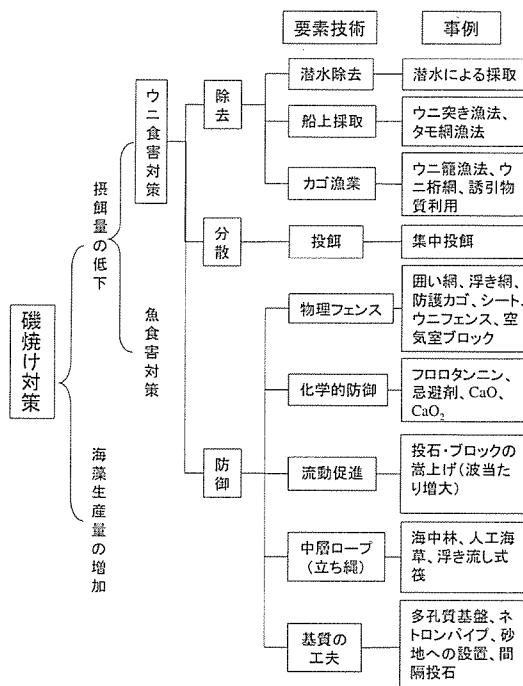


図-1 ウニ類の食害対策に関する技術の系統樹

一定区域から取り上げて密度を低下させること、「分散」は高密度に分布するウニに投餌して密度を低下させること、「防護」は網や構造物などを用いて、ある保護区域内へのウニの侵入を防ぐことである。

### 1) 除 去

具体的な要素技術として、「除去」では「潜水除去」、「船上採取」、「カゴ漁業」があげられる。「除去」は、ウニが磯焼けの継続要因であるか否か、あるいは除去後に藻場が回復するか否かを確かめるために古くから試験的に行われてきた（例えば、三木ら, 1978, 川嶋, 1983, 吾妻ら, 1997, 四井・前迫, 1993など）。事業レベルでは青森県の事例がある。青森県では、1972年以降キタムラサキウニの除去がコンブの母藻林の設置と組み合わせて行われた結果、1975年にコンブ群落が認められるようになり、その後もウニ除去を継続することによって1982年に至ってもコンブ群落が継続した（足助, 1983）。さらに、1994年から毎年1~4ha程度の範囲でウニ除去が行われた結果、マコンブの生産が増大し、ウニ除去から6年経た後でも除去面積の約2割にコンブの生育が確認された（桐原, 2002）。ウニの除去方法のうち、船上採取に比べて潜水による除去作業の方がウニの密度を0個体/m<sup>2</sup>近くにできるが、多くの労力を必要とする。桁網や籠などの方法によって短期間にウニの現存量を低下させることは困難である（清河, 1995）。また、投石で造成した漁場では間隙が多くなるためにウニが巣集しやすく、除去しにくい（桐原, 2002, 町口ら, 2004）。この

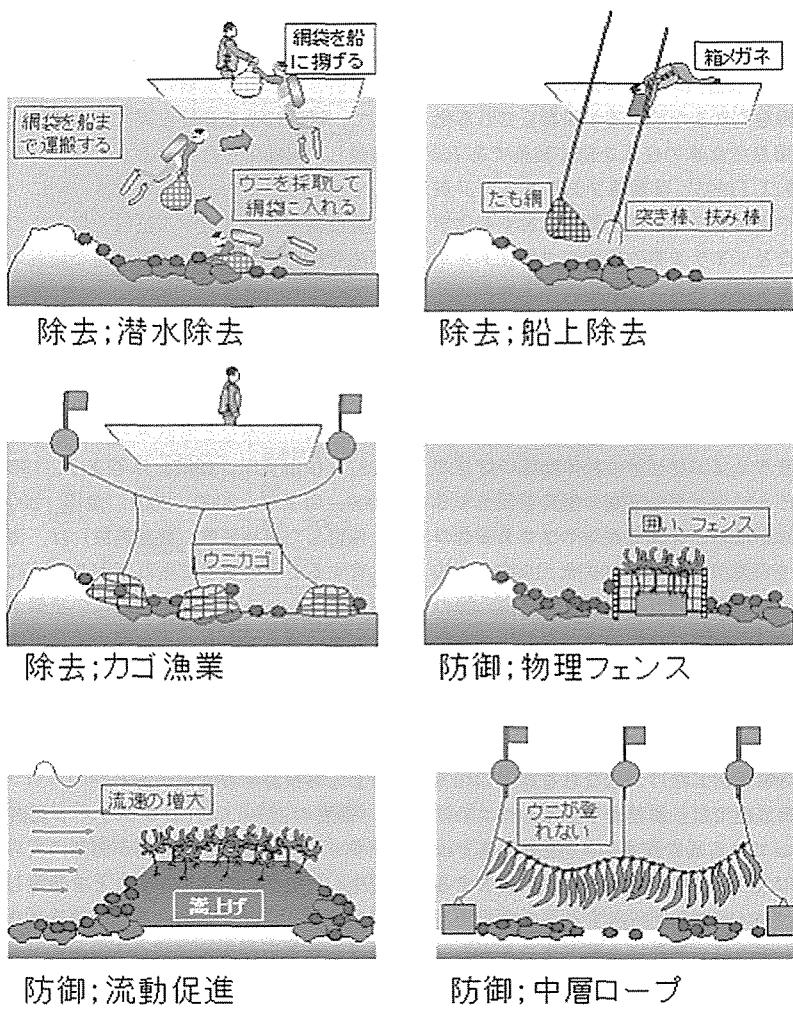


図-2 ウニによる磯焼けの主な対策の模式図

ように、ウニ除去は藻場の回復に有効ではあるが、効果効率よく行うには、各現場の環境に応じて、時期、頻度、面積、手法を選択する必要がある。特に、潜水作業はコストが高いので、船上採取やガゴ漁業との組み合わせも検討に値する（図-2）。

## 2) 分 散

「分散」では「投餌」が挙げられる。投餌は、ある海域の一部に養殖海藻などを投餌してウニ類の摂餌圧を軽減し、藻場を回復しようとするものである。投餌は、藤田（1987）が試み、投餌初期の状況のみを報告しているが、ウニの摂餌要求を賄うのに必要な海藻をいかに供給できるか、経済的に成立するかが課題となる。

## 3) 防 御

「防御」は「物理フェンス」、「化学的防御」、「流動促進」、「中層ロープ（立ち縄）」、「基質の工夫」がある。物理フェンスはウニが忌避する材質や構造を用いて領域を囲い、囲った海藻をウニの食圧から守る技術である。

北海道立栽培漁業総合センターの研究によると、スポンジ、人工芝、釘、I型やT型ステンレスのフェンス、エアーカーテンフェンスを用いてウニの侵入を阻止する実験を行ったが、いずれもウニ侵入の制御は困難であった（北海道、1994）。現地試験が実施された事例としては、海中でゆらゆらと揺れる性質を利用した刺網フェンス（北海道、特許第2805612号、川井ら、1998）や立ち網フェンス、ウニが空気中に管足を出せない性質を利用した空気フェンス（水産庁、特許第1646040号）、電気を嫌う性質を利用した電気フェンス（道津、2002）が検討されている。刺網等の魚網を用いたフェンスは大きな波浪によって破綻したり、サンゴモなどが網地に付着してウニが移動しやすくなったりして機能が低下する（桑原・金田、2001）。また、空気や電気フェンスは費用が高いことが問題点として挙げられる。なお、フェンスの効果は一律ではなく、流動環境や水温によってフェンス内に生育する海藻の現存量が大きく異なる（川井ら、2003）。

一方、フェンスは瘦せウニの身入り改善施設としての利用が期待され、この用途での実施試験が望まれる。

「化学的防御」では忌避物質の利用が挙げられる。これはウニからの摂餌を免れるため海藻が保有している化学的忌避物質を利用してウニの侵入を防ぐ技術である。白石ら（1991）、谷口（1995）は褐藻フクリニアミジが生産するテルペンやフェノールが植食動物に対する化学的防御物質であること、アラメ等の褐藻がフロロタンニンを生産し植食動物を排除することを指摘している。野中（1996）は、消石灰（CaO）、過酸化カルシウム（CaO<sub>2</sub>）、忌避剤（NaCO<sub>3</sub>とH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>の合成剤）を使用して水槽内でムラサキウニ等の植食動物がへい死する散布量を求めた。また、大貝ら（1993a, 1993b）は、カルボン酸およびリンゴ酸がエゾアワビ等の軟体動物に対して忌避効果を示すとともにホンダワラ類の生長を促進することを見出し、これを用いてアカモクやヤツマタモクの藻場造成に応用している（大貝ら、1993a, 1993b）。しかし、その後はこれらの忌避物質を使用して植食動物の摂餌圧を低減し磯焼けを回復させたという報告は見あたらない。この方法に関しては、まず長期に渡って安定して忌避物質を溶出し続ける技術開発が必要であるし、これらの物質を天然海域に放出した場合に生態系への悪影響がないことを十分に検討しなければならない。

磯焼けが生じた海底面では、流速が小さく、ウニの摂餌活動が活発となっている場合が多い。「流動促進」は基質面上の流速が大きいとウニの摂餌活動が低下する（例えば、川俣ら、1994）ことを利用するもので、人為的に流速を大きくしてウニの摂餌圧を低下させるものである。事例としては、海底を嵩上げして波当たりを強くし、ウニの侵入あるいは摂餌圧を低下させることができられる。海底への投石やブロックの設置は、1975年頃から沿岸漁場整備事業の中でウニやアワビの増殖を目標とした築磯事業として数多く行われてきた（例えば、綿貫、2002）。ウニ類を対象とした漁場造成では、起伏に富んだ海底の転石帶にウニが多く分布することから、投石した石が移動しないように耐波安定性の高い異形ブロックで囲む囲い礁の整備（例えば松永、1998）が一般的であった。ところが、自然石を平坦かつ密に数層で並べる事例が多く、安定した囲い礁にウニ類が加入すると摂餌圧が強く、一旦形成された海藻群落が消滅し、石材の隙間のウニが漁獲にくくなり、磯焼け状態を呈すこともある。町口ら（2004）は起伏を変えた投石礁においてウニの生息密度を調査し、水深帯は同じであっても最大2mの起伏が得られる投石礁ではウニ密度が低いが海藻の現存量が高く、起伏のほとんどない平坦な投石礁では海藻現存量が低いことを報告した。また、磯焼け状態にある北海道寿都町の藻場造成施設では、天端水深の違いが波浪による軌道流速に影響し、このことが藻場やウニの身

入りに大きく影響することが明らかになっている（桑原、2003）。現在の水産庁の指針（漁港・漁場の施設の設計の手引き、水産庁監修）では、投石やブロック投入に際して、近隣にある良好な天然ウニ漁場に模倣することを推奨し、水深帯を合わせるなど具体的な模倣の方法について示しているが、従来の設計方法にウニの食圧制御に必要な構造物を設置する位置や嵩上げの高さについて評価法を加え、持続的に利用可能な施設の設計指針を示す必要がある（桑原ら、2004）。

「中層ロープ（立ち縄）」は、縄の一端を海底に固定し他端に浮きを付け、波の動搖により縄上でウニの侵入を防ぎながら海藻を生育させる技術である。海中で浮くロープ、人工海藻なども試みられている（渡島支庁、1980, 1987、桧山支庁、1987、宗谷支庁、1988, 1991、川俣、2000、山下ら、2000, 2001、金田、2001）。中層ロープを使用した植林装置（養殖施設）は、海藻が縄上に多く生育するとその重みで垂れ下がりウニに摂餌され、ある程度食べられると再浮上しウニの摂餌から守られるというメカニズムであり、2年間の実証実験の結果、ロープ上の海藻はウニの食害から保護できた（菊地、1976）。これは、上記の「分散」の一技術もしくは海藻の種苗供給源となる核藻場造成のためのウニ除去等との併用技術としても検討する価値がある。

「基質の工夫」は、コンクリート表面を凸凹にした例が多い。凸凹は、ウニの歯が凹部に入らない大きさにし、着生した海藻の幼芽を守ることを想定した技術で、具体的には多孔質コンクリート（ポーラスコンクリート）が挙げられる（例えば、谷口ら、2001）。多孔質コンクリートは、粗骨材間の接点をセメントペーストで接着するので空隙が大きいが、構造強度は普通コンクリートに比べて小さく、耐久性が低い。海藻の付着基盤としてみた場合、コンクリート表面の凸凹は、表面積を大きくし、浮泥の堆積による基質の埋没が少ないので海藻の入植を促進することができる。しかし、ウニの摂餌圧の低減や海藻の入植に適する微細環境としてどの程度の凹凸が望ましいかを明確に検証した研究はなく、実際には無節サンゴモ等の付着生物が凹にも生育し、やがて凸凹が平坦化する（福手・綿貫、1998）ので、凹部で幼芽を守る機能は数年後には低下することが予想される。

#### 4. ウニ類の利用技術

ウニの摂餌に関する磯焼け対策としては、上記の諸技術の中でも「除去」が最も確実である。除去したウニは別の場所に移植する事例が多い。コンブ分布域においてはいわゆる深浅移植により、深所の身入りの悪いウニを浅所に残存するコンブ生育帶に移植して身入りの改善を図ることが多く、これが磯焼け継続の一因ともなっている。また、コンブ以外の海藻を雜海藻とし、これを除去

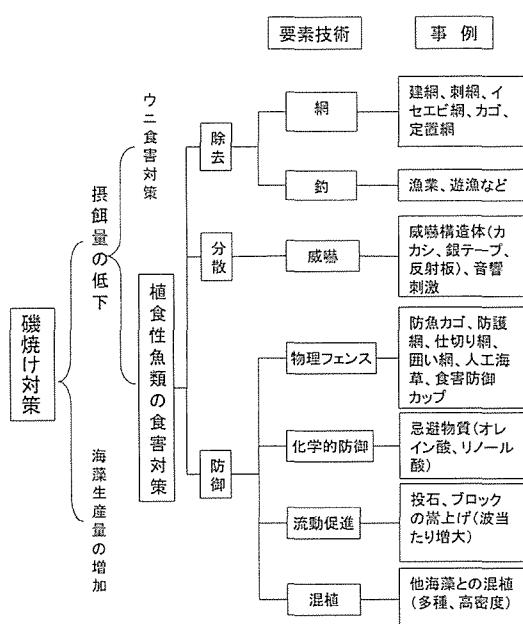


図-3 植食性魚類の食害対策に関する技術の系統樹

するためにウニの移植を活用する技術も提案されているが、相応の管理を行わなければ新たな磯焼けを発生させることにもなりかねない。また、出荷する場合、磯焼け海域から除去したウニは慢性的な餌不足から身入りが悪く、そのままでは商品化できないこともある。そこで、除去したウニに魚肉や養殖海藻、イタドリ等の餌料を与えて身入りを改善し商品化する肥育が試験的に実施されている（留萌支庁、1985、石狩支庁、1990、渡島支庁、1990、吾妻・錦織、1991）。肥育用飼料の開発も行われている（北川ら、1999）が、大量のウニを肥育するには大量の餌料を安定して用意しなければならず、商品化には数ヶ月を要するので採算性を確保するためには本格的な事業化に向けてさらなる検討が必要である。なお、本事業ではガンガゼを魚類養殖の餌料にする技術を開発中である（未発表）。

## 5. 植食性魚類の食害対策に関する要素技術分析

植食性魚類の食害による磯焼け対策をウニと同様に整理すると図-3のようになる。要素技術は、刺網や定置網あるいは釣り漁業によって海域から取り上げる「除去」、魚が藻場を忌避するような工夫をする「分散」、植食性魚類から藻場を保護する「防護」に分類できた。対象となっていた植食性魚類はアイゴとブダイが多く、そのほかにイスズミ類とニザダイも含まれる。文献数はウニに比べて非常に少なく、その中でも魚類から海藻を守る防護、「物理フェンス」の囲いによって海藻を保護する報告が大半を占め、2000年以降に文献が多くなってきている（桑原ら、2006）。

（桑原ら、2006）。

### 1) 除去

「除去」としては、刺網や定置網などの漁業で漁獲されるという報告はあるが、磯焼けを回復するために積極的にこれらの漁法によって植食性魚類の漁獲を試みたり、釣りによって密度を制御したりした事例はない。近年、アイゴの食害が問題になることが多いが、静岡県へのアイゴの漁獲量についてのヒアリングでは、定置網ではよく漁獲されるのに対して刺網ではあまり漁獲できないとの回答が得られており、魚種に応じた漁獲方法の開発が急務である。

### 2) 分 散

「分散」は、魚類の威嚇が挙げられる。2004年度に当事業で和歌山水試が反射板によるアイゴの威嚇を検討したが、分散の効果は確認できなかった。ただし、金属音や爆発音などの威嚇音によって水槽中のアイゴが摂餌を中止したことから、さらに応用実験を実施中である。

### 3) 防 御

文献の多くは、「防護」の範疇の「物理フェンス」に分類された。これは母藻となる藻場を網やカゴで囲って保護することで周辺海域に胞子や幼胚を供給し、藻場を回復・拡大することを目的としており、1970年頃から試験的に実施されてきた（例えば、瀬戸口、1978）。保護された狭いエリアを藻場造成の核とみなして“核藻場”と呼ぶこともある。物理フェンスには、残存藻場や造成用のブロックを網で囲うタイプやブロックの天端面にカゴを設置するタイプなどがある。また、限られた海域を網で仕切る仕切網タイプもある。囲い網や仕切網の素材には漁網を利用するが、カゴには銅製や樹脂製が使用される。和歌山水試（清水・翠川、1980）、鹿児島水試（瀬戸口、1978）及び長崎水試（桐山ら、2003）などの事例から、網やカゴを設置するとその内部では海藻類が生長するため、磯焼けの原因は水温や栄養塩の影響ではなく、植食性魚類の食害であることが明らかとなっている。しかし、網やカゴの外に胞子が広がり周辺の岩盤上に藻場が回復した事例はない。原因是、囲い網の周辺に植食性魚類およびウニ類が多く、高い摂餌圧により海藻が増殖できないことによる。また、囲い網等の漁網を利用した施設は、台風時に破壊し、試験途中で中止された報告が散見される。月館（1985）は囲い網の耐波安定性に課題があることを指摘しているが、頑強なものとなると高価となるであろうし、問題は多く残されている（図-4）。

「化学的防護」は忌避物質の利用である。和歌山水試験場の山内ら（2001）が魚類の忌避物質としてオレイン酸やリノール酸を試用し、その後、忌避物質としてのリンゴ酸の効果を検討したが、いずれも明確な効果は見出されていない（未発表）。

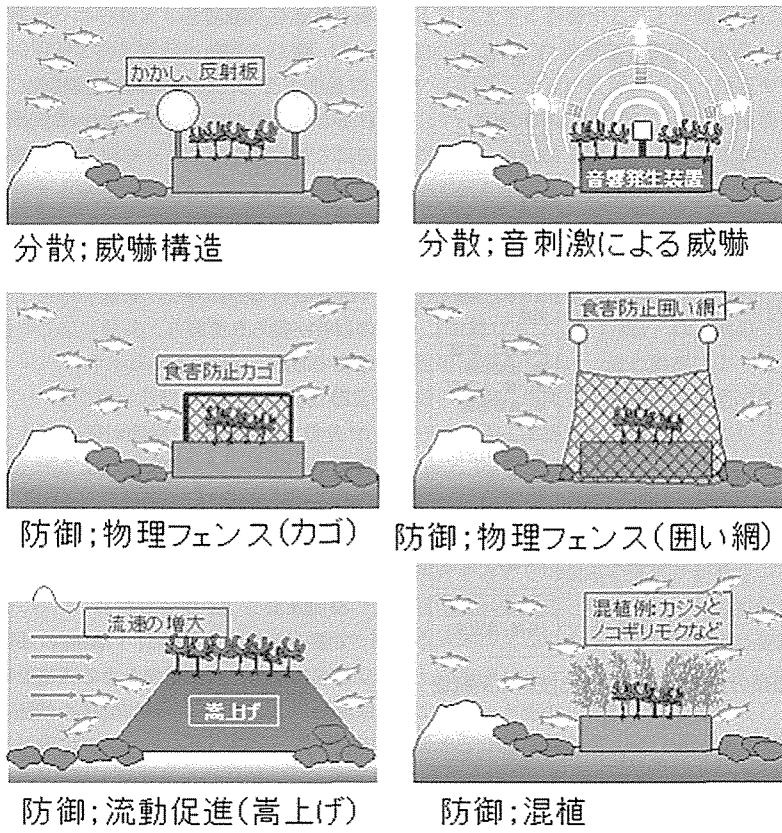


図-4 魚による磯焼けの主な対策の模式図

「流動促進」による防御は、常に流速が大きい海域ではウニ類の摂餌頻度が低下する（例えば、川俣ら、1994）のと同様に、植食性魚類の摂餌頻度も減少する可能性がある。静岡県の御前崎地区の磯焼け域では、岬先端で複雑な流動を示す浅所では最後までサガラメの藻場が残っていたことから、常に波浪で動搖する浅所では植食性魚類による摂餌圧の低下も予想される。そこで、川俣（2005）は回流水槽でのアイゴの摂餌行動の観察から、尾叉長27cmのアイゴは旺盛な食欲を示した時期に流速振幅約1.5m/sまでアラメを摂食することを示した。この結果から、波による流速のみではアイゴの食害が防げそうにないが、実海域に即した複雑な亂れを伴う流動場での検証等さらなる研究が期待される。

その他の対策として、単一種の海藻群落より複数種の混生群落の方が魚の食害に遭遇しにくい事例を参考にした混植が検討されている。高知水試は、コンクリートブロックにカジメ幼体を移植し、その周辺に人工海草を設置することで植食性魚類に対するバリア効果を検討した（石川・萩田、2002）。また、ホンダワラ類との混植によってカジメを植食性魚類の食害から保護する試験も始まった（石川ら、2004）。これとは別に、小型海藻との混植でホンダワラ類藻場を造成した例（向井ら、2003）も

ある。混植用に利用される海藻は、植食性魚類にとって嗜好性が低いのか、採食の障害となるのか、いろいろ考えられるが、効果の発現機構が不明であるので、まず、このメカニズムの解明が重要と考える。ただし、混植は物理フェンスに比べて魚の食害を完全には阻止することは困難で、植食性魚類の分布が比較的少ない海域での実施に限られるであろう。

## 6. 植食性魚類の利用技術

植食性魚類の利用については塙本（2002）がヒアリングやインターネット検索によって調べた結果をまとめている。植食性魚類は、地域によっては食用とされるが、食習慣がない場合もある。植食性魚類の食害による磯焼け被害の拡大が危惧されるところであるが、前節で示したように漁獲による除去を推進するには、植食性魚類の魚食普及や新しい料理方法の開発が重要と考える。アイゴは磯臭いので敬遠されがちであるが、この臭いを消す料理法も開発されており、今後の啓蒙活動に期待する。食用以外は、フィッシュミールや飼料・肥料への利用も検討が始まっている。

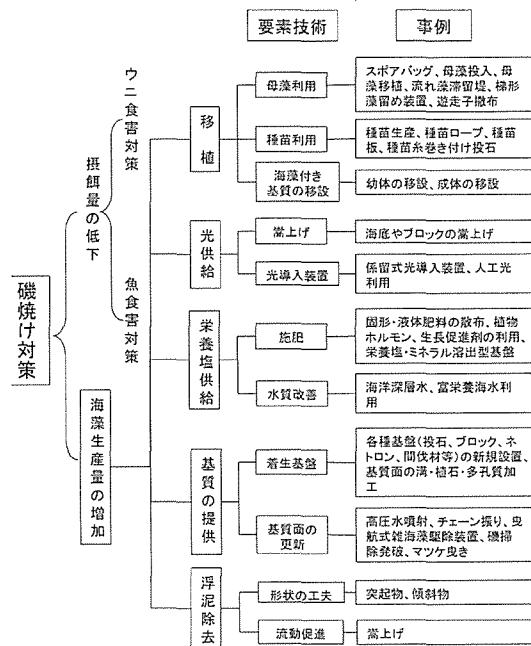


図-5 海藻増殖技術の系統樹

## 7. 海藻増殖技術の要素技術分析

1970年代以降の磯焼け対策技術の変遷を整理すると、初期の段階では磯焼けした海域に新たな基盤を設置し、海藻を移植または播種する技術開発が多く、そのための海藻類の種苗生産技術が発達した（桑原ら、2006）。文献を整理すると、海藻の増殖は「移植」、「光供給」、「栄養塩供給」、「基質の供給」、「浮泥除去」に分類される（図-5）。

ここでは「移植」を広義に扱い、衰退した藻場に新たに海藻を移植する母藻移植のほか、基盤を用いた種苗の移植、さらには海藻の胞子・遊走子の播種も含めた。

「光供給」は、海水汚濁で光量不足になった場合に嵩上げや人工光により光量を確保する技術である。嵩上げはウニ対策、魚類対策の流動促進として示したが、基質面の水深を浅くすることによって植食動物の摂飢圧を制御するとともに、光量も増加し、増大する波の軌道流速によって海藻が海水中の栄養塩を取り込む際にプラスに働くことになる。海藻の生息分布範囲であれば嵩上げは選択に値するが、深度が増すと費用がかさむことになり、周辺の流動環境をえないように、あるいは好まざる生物の住処とならないような構造の工夫が必要であろう。

「栄養塩供給」は海水中の窒素やリンあるいは溶存態の鉄分を供給する技術である。広い範囲で栄養塩を供給するには海洋深層水の放水の利用があり、高知県の深層水取水施設の放水域で海藻が増えたという観察事例（渡辺ら2000）があるが、過去の調査がなく深層水の効果は

駄然としない。一方、水槽試験ではあるが、Fujita (2004) は北海道西岸の磯焼け地帯の礁にもコンブが生えうことなどを示している。海藻の付着基盤から栄養塩類が溶出するタイプでは、長期に渡って安定して溶出し続けるための工夫が重要である。

「基質の供給」として、多くの磯焼け海域では新規基盤の設置により海藻を増やす試みがなされてきた。しかし、数年が経過すると、再び磯焼け状態になってしまい、多くの場合が植食性動物の再加入が原因であった。このため、制限要因を排除することなく、あるいは事後の適切な管理を行うことなく、むやみに基盤の設置を行うことは避けなければならない。これとは別に、北海道の道東海域に見られるように、有用なコンブと競合する雑海藻を除去してコンブ場を再生するために基質面の更新が行われているが、多大な労力とコストが費やされている。

「浮泥除去」では、基質面に浮泥が堆積して海藻の新規加入が阻止される場合があることから、浮泥の払拭できる流速を求める研究（森ら、2002）をもとに、突起や傾斜のある基盤を設置して浮泥の影響を軽減させるプロックが提案されている（山本・金田、2004）。

これらの海藻増殖技術の開発の歴史は古く、多くの図書が出版されているので、ここでは要素技術を示すにとどめ、詳細は他書に譲ることにする（例えば、能登谷正浩編著、2003、増殖場造成指針作成委員会編、1983、全国漁港漁場協会、2003）。

## 8. おわりに

磯焼け対策として確実な藻場の回復を図るために、国内で講じられてきた植食動物の食害防止と海藻増殖に関する個々の要素技術の系統樹を作成し、1970年以降、現在に至るまでの研究や事業レベルでの取り組みを概括して紹介した。磯焼け対策は、藻場の制限阻害要因を特定し、この要因を除去するか軽減するために、各要素技術を用いることになる。磯焼け回復に向けた従来の試みは基質の供給や海藻の移植等の増殖技術に偏ってきた。磯焼けの継続している要因を排除しない藻場造成は、数年は効果が出たとしても、やがては同じ磯焼け状態になり、根本的な解決に至っていない。効果的で実効性のある磯焼け対策を推進するためには、磯焼け継続要因を排除した上で、海藻の増殖を推し進めることが重要である。現在、このような考え方に基づいて磯焼け対策の要素技術の開発と見直し、および磯焼け対策のガイドラインを作成中であり、別の機会にその成果を紹介していきたい。

## 引用文献

- 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1報 生殖巣の量的な発達, 北水試験報, 37, pp.59-66.

- 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, 日本水産学会誌, 63 (5), pp.672-680.
- 足助光久 (1983) : コンブ藻場の造成とその効果, 水産土木, Vol.20, No.1, pp.37-44.
- 石狩支庁 (1990) : エゾバフンウニの養殖による肥育試験指導, 水産業改良普及事業普及活動事例集, pp.1-8.
- 石川 徹・萩田淑彦 (2002) : 渔場管理手法開発事業, 平成13年度高知県水産試験場事業報告書, 第99巻, pp.147-154.
- 石川 徹・田井野清也・萩田淑彦 (2004) : 平成14年度高知県水産試験場事業報告書, 第100巻, pp.90-116.
- 大貝政治・柿元 眞・花野政之・村尾敏一・長井 敏 (1993a) : 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, Vol.29, No.3, pp.153-158.
- 大貝政治・柿元 真・花野政之・村尾敏一・若野 真 (1993b) : カルボン酸を利用したヤツマタモク藻場造成, 水産工学, Vol.30, No.1, pp.29-33.
- 渡島支庁 (1987) : 立縄式マコンブ増殖指導, 水産業改良普及事業普及活動事例集, pp.69-73.
- 渡島支庁 (1990) : キタムラサキウニ給餌試験及び折り詰め加工指導, 水産業改良普及事業普及活動事例集, pp.55-63.
- 金田友紀 (2001) : ロープに対するキタムラサキウニの付着力と這い上がり, 平成13年度日本水産工学会学術講演会論文集, pp.73-74.
- 川井唯史・桑原久実・金田友紀 (1998) : 5.1.3 ウニフェンスを用いた実証試験, 平成10年度北海道立中央水産試験場事業報告書, pp.209-211.
- 川井唯史・金田友紀・桑原久実 (2003) : ウニ侵入防止フェンス内におけるホソメコンブ群落内に適する底面波浪流速とウニ類除去時期, 水産工学, Vol.39, No.3, pp.213~218.
- 川嶋昭二 (1983) : コンブ海中林の造成, 水産の研究, 2巻, 4号(5), pp.101-105.
- 川俣 茂・足立久美子・山本正昭 (1994) : 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論文集, pp.85-88.
- 川俣 茂 (1994) : 磯根漁場造成における物理的搅乱の重要性, 水産工学, Vol.31, No.2, pp.103-110.
- 川俣 茂 (2000) : 波によって“動く”海藻着生基質の効果に関する予備実験, 平成12年度日本水産工学会学術講演会論文集, pp.59-62.
- 川俣 茂 (2005) : アイゴによるアラメ・カジメ摂食に及ぼす流動と水温の影響, 平成17年度日本水産工学会学術講演会論文集, 春季シンポジウム, pp. 243-246.
- 菊地省吾 (1976) : 宮城県江ノ島におけるアワビ・ウニの海中造林実験, つくる漁業(新版), pp.292-301.
- 北川雅彦・麻生眞悟・菅原 玲・田嶋健一郎・干川 裕・川井唯史 (1999) : 磯焼け漁場有効利用技術開発事業(受託)(栽培振興課)4 ウニ肥育技術の開発 4.2 ウニ肥育用飼料の開発, 北海道立中央水産試験場事業報告書, pp.206-218.
- 清河 進 (1995) : 防氷堤設置海域でのコンブ群落造成とウニの有効利用, 北水試だより, 第28号, pp.9-14.
- 桐原慎二 (2002) : 磯焼け対策—2, 青森県水産増殖センターだより, 第95号, pp.6-8.
- 桐山隆哉・大橋智志・藤井明彦・吉村 拓 (2003) : 藻場に対する食害実態調査, 平成14年度長崎県総合水産試験場事業報告, pp.95-102.
- 桑原久実・金田友紀 (2001) : 空気ポケットフェンスを用いた磯焼け漁場の有効利用, 平成13年度日本水産工学会学術講演会, pp.65-68.
- 桑原久実 (2003) : 北海道南西沿岸域における磯焼けの機構解明とその対策に関する研究, 水産工学, Vol. 39, No.3, pp.197~204.
- 桑原久実・寺井 稔・畠谷 勇・酒向章哲 (2004) : ウニ漁場造成に係わる事前評価手法の開発とその適用, 土木学会海岸工学論文集, 第51卷, pp.1091-1095.
- 桑原久実・綿貫 啓・青田 徹・安藤 亘・川井唯史・寺脇利信・横山 純・藤田大介 (2006) : 文献から見た研究の歩み, 水産工学, Vol.43, No. 1 (投稿中) pp.81-87.
- 三本菅善昭 (1994) : 磯焼けの生態, 水産業関係試験研究推進会議資源増殖部会テーマ別研究のレビュー, Ser.3, 水産庁中央水産研究所, p.164.
- 清水昭治・翠川忠康 (1980) : クロメ保護網試験, 和歌山水産増殖試験場報告, 和歌山県水増試報告 (11), pp.56-58.
- 白石一成・谷口和也・蔵多一哉・鈴木 稔 (1991) : 硬藻フクリンアミジのメタノール抽出物によるキタムラサキウニの摂食に及ぼす影響, 日本水産学会誌, Vol.57, No.8, pp.1591-1595.
- 水産庁 (1986) : 特許第1646040号, 飼育性水産動物用の移動防止.
- 瀬戸口勇 (1978) : 磯焼け漁場におけるガラモ場の造成について, 水産土木, Vol.15, No.1, pp.59-61.
- 全国漁港漁場協会 (2003) : 藻場造成型漁港構造物 調査・設計ガイドライン, 東京, p.243.
- 全国沿岸漁業振興開発協会 (2001) : 磯焼け診断指針, p.74.
- 増殖場造成指針作成委員会編 (1983) : 増殖場造成指針, 全国沿岸漁業振興開発協会, p.252.
- 宗谷支庁 (1988) : コンブ餌料造成によるエゾバフンウニ増殖指導, 水産業改良普及事業普及活動事例集, pp.201-206.
- 谷口和也 (1995) : 海中林の造成—磯焼けの克服, Sci.& Tech. Journal of JIMSTEF, Vol.8, No.3, pp.11-20.
- 谷口和也・山根英人・佐々木國隆・吾妻行雄・荒川久幸 (2001) : 磯焼け域におけるボーラスコンクリート製海藻礁によるアラメ海中林の造成, 日本水産学会誌, Vol.67, No.5, pp.858-865.
- 月館潤一 (1985) : ガラモ場の造成, 海洋科学, Vol.17, No.1, pp.44-49.
- 道津光生 (2002) : 海洋構造物の工夫によるコンブ・ウニの増殖, 電気評論, 10, pp.60-61.
- 能登谷正浩編著 (2003) : 藻場の海藻と造成技術, 成山堂書店, 東京, p.267.
- 野中 健 (1996) : 岩礁地帯の機能回復技術の研究 (長

- 崎県水産試験場 S), 長崎県水産試験場事業報告, pp.107-110.
- 町口裕二・宇田川徹・坂西芳彦・伊藤 博 (2004) : ウニ類育成礁における生物生産機構と礁構造の検討, 平成14年度水産基盤整備調査事業(直轄)報告書, pp.102-118.
- 松永 努 (1998) : 増殖場の造成工法, 第6章 沿岸増殖・養殖環境, 沿岸の環境圈, フジテクノシステム, pp.549-560.
- 山内 信・上出貴士・堀木信男・加来靖弘・小川満也・翠川忠康 (2001) : 藻場の変動要因の解明に関する研究, 平成11年度和歌山県農林水産総合技術センター水産試験場事業報告, pp.119-121.
- 山下俊彦・中川将志・坪田幸雄 (2000) : 人工海藻によるキタムラサキウニの移動・摂餌制御実験, 平成12年度日本水産工学会学術講演会, pp.121-124.
- 山下俊彦・中川将志・永田晋一郎・坪田幸雄 (2001) : 揺動人工海藻のウニに対する摂餌制御効果と藻場創出効果, 土木学会海岸工学論文集, 第48巻(2), pp.1186-1190.
- 桧山支庁 (1987) : 海中林造成試験技術指導, 水産業改良普及事業普及活動事例集, pp.21-28.
- 藤田大介 (1987) : ウニのためのチェーン式コンブ投餌法(予報), 水産増殖, 第35巻3号, pp.139-141.
- Fujita, D. (2004) : Nutrients and snail grazing affect recovery of algal vegetation on cobbles transplanted from a barren ground in southwestern Hokkaido to aquaria. Jpn. J. Phycology, 52 (Supplement), pp.23-32.
- 福手 勤・綿貫 啓 (1998) : 第6章 第3節海水浄化用環境材料, 沿岸の環境圈, フジテクノシステム, pp.1215-1225.
- 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), pp.34-37.
- 北海道 (1998) : 特許第2805612号, ウニ・アワビ・ツブの行動制御用装置とその使用方法.
- 三木文興・沢田 満・足助光久 (1978) : 渔場改良造成研究総合報告書, 青水増資料, S.52-No.10.
- 向井幸則・小山善明・芝 修一・谷藤直純・井口久和・松田 清・歌 邦夫 (2003) : 磯焼け海域における小型海藻を混生させたホンダワラ類藻場造成手法とその効果, 水産増殖, 第51巻, 第2号, pp.127-134.
- 森 信幸・橋詰知喜・丸山修治・坪田幸雄 (2002) : 釧路港藻場創出機能付き防波堤の堆積砂制御について, 平成14年度日本水産工学会学術講演会論文集, pp.141-144.
- 山本泰司・金田 充 (2004) : 「エコポートモデル事業」釧路港島防波堤の計画から施工まで, 2004年度(第40回)水工学に関する夏期研修会講義集Bコース, 土木学会水工学委員会・海岸工学委員会, pp.B-4-1-21.
- 塙本達也 (2002) : 藻食性魚類の漁獲・利用の事例, 水工学, Vol.39, No.1, pp.37-40.
- 四井敏雄・前迫信彦 (1993) : 対馬東岸の磯焼け帯における藻場回復実験, 水産増殖, 41巻1号, pp.67-70.
- 留萌支庁 (1985) : 給餌による未利用エゾバフンウニの活用, 水産業改良普及事業普及活動事例集, pp.232-238.
- 渡辺 貢・谷口道子・池田知司・小松正之・高月邦夫・金卷精一 (2000) : 海洋深層水による沿岸海域の肥沃化, 月刊海洋, 号外22, pp.160-169.
- 綿貫 啓 (2002) : 水産工学と藻場研究, 水産工学, Vol.39, No.1, pp.1-4.