

「磯焼け対策ガイドライン」(水産庁)の紹介

桑原 久実(株式会社 東京久栄)

1.はじめに

水産生物を安定して生産するためには、藻場をはじめとする水産生物の生活基盤(住処、餌場、産卵場等)を良好な状態に保つ必要がある。しかし、我国は全国的に、藻場が大規模に消失する磯焼けが問題^{1), 2)}になっている。その主な要因は、ウニや魚等の植食動物の食害であることがわかっているが、最近の気候変動の影響を受けて、藻場の生育環境は悪化しており、さらに、磯焼けが進むことが懸念される。筆者は、前職において、(国研)水産研究・教育機構の職員として、2000年頃から水産庁が進める磯焼け対策に関わってきたことから、本報告は、その際に作成した「磯焼け対策ガイドライン」を中心に紹介する。

なお、本報告は、これまでに筆者が記述した文献を利用して作成したものである。

2.我が国の磯焼け状況

水産庁の調べによると、1990年代から2020年代になると藻場面積は半減し、10万ヘクタール程度であると予想されている(環境・生態系保全活動支援制度検討会 藻場・干潟等の現状と問題点等(水産庁、2008))。このような藻場の減少は藻場が持つ多様な機能の消失をもたらし、水産業をはじめ沿岸生態系への影響が危惧されている。藻場の減少要因は、これまで種々の意見が出されてきましたが、現在、その主要因は、全国で実施された簡易な操作実験(フェンス等を用いた食害制御実験)から、海藻を食べる植食動物の食害であることがわかっている。ここで、磯焼けをあらためて示しておきたい。一般に、藻場は、陸上の植物と同様に、枯れたり、茂ったり1年を通じて現存量が変化するが、一旦、現存量が減少すると、その状態からなかなか回復できず貧植生状態が継続することを磯焼けと言う。

我国の代表的な磯焼けをFig. 1, 2に示す。Fig. 1は、ウニの食害による磯焼けである。ウニ(黒丸)が高密度に分布し、海藻の幼芽を食べるので藻場が形成されない。餌料海藻が無いのでウニのほとんどが空ウニ(身入りがほぼ無い)であり、漁業者は売り物にならないため漁獲しないので、写真のような磯焼け状態が継続する(ウニは幼芽や付着珪藻等を食べて生存し飢餓に強い)。Fig. 2は魚の食害による磯焼けを示す。通常、カジメは茎の先端に葉があるが、この葉が魚の食害により脱落し茎だけになっている。



Fig. 1 ウニの食害



Fig. 2 魚の食害

茎の先端にある成長帯まで食べられると枯れることになる。Fig. 3は、海藻を食べて、磯焼けを発生させる代表的な植食動物を示している。北日本は、キタムラサキやエゾバフンウニ(青枠内)によるウニによる食害であるが、南日本(赤枠内)は、ガンガゼなどのウニの食害とアイゴ、ブダイ、イスズミ類など(赤枠内)の魚の食害がある。これらの魚は植食性魚類と言われ、いずれも亜熱帯性の魚種で、従来から水産対象種ではなかったことから、研究の実施例は少なく、生態的な知見が少ない。最近、気候変動に伴う、高水温の長期化、集中豪雨による河口からの浮泥流出、爆弾低気圧に伴う高波浪等により、海藻の生育環境は、これまでより悪くなっていることから、これまで以上に、藻場の衰退が懸念されている。

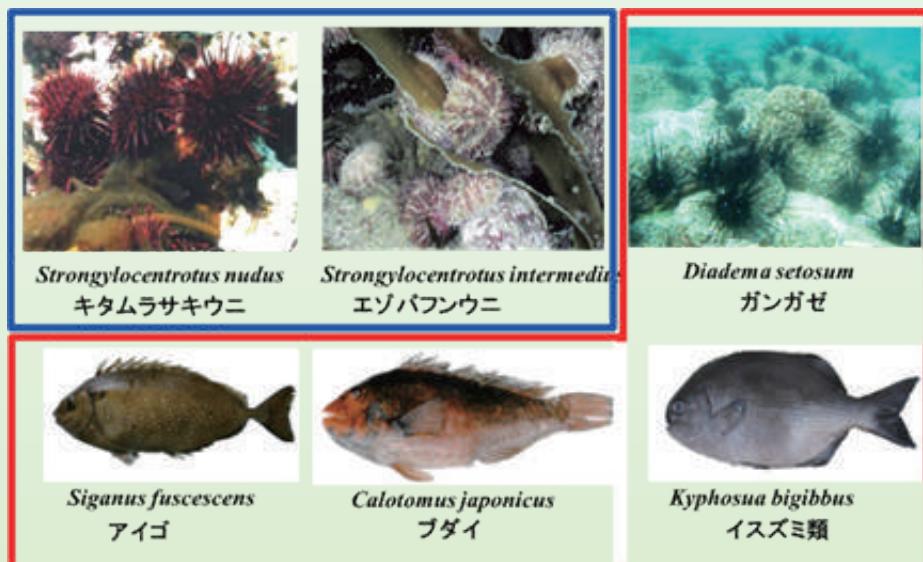


Fig. 3 磯焼けをおこす代表的な植食動物

2. 「磯焼け対策ガイドライン」について^{3),4)}

1) 基本的な考え方

我国の磯焼けは、ほとんどがウニや魚などの食害型であること⁵⁾、海のことを熟知するのは漁業者であることから、ガイドラインは、漁業者が中心となった植食動物の食害対策に焦点をあてたものとなっている。我国における磯焼け域の状況をイラストで示したのがFig. 4である。磯焼け対策は、このように、海藻の生産と植食動物の摂食のバランスが崩れ、後者が前者を上回っている(天秤が右に傾く)状態から、この釣り合いを回復させることが目的となる。このようにバランスを崩した、そもそも原因である環境変化(時計回りの矢印)、例えば、気候変動、沿岸域や流域の乱開発などの影響を解決して大規模に藻場を回復したいところであるが、残念ながら、我々の知見や技術は、そのレベルに達していない。このため、ガイドラインに示す対策は、面積は限られるが(例えば、100m×100mなど)、対策の実施場所や維持・管理の方法を明確にし、植食動物の摂食量を減少させ(右の皿を軽く)、海藻の生産量を増加させ(左の皿を重く)て、天秤のバランスを回復することを目指している。この際、重要なのは、その順番で有り、植食動物の摂食量を減少させた後に、海藻の生産量を増加させないで、海藻の生産増大から始めると植食動物に海藻の餌を与えていたる状態となり、藻場回復は期待できない。また、いきなり大規模な対策は失敗の危険が伴うことから、はじめは小規模の繰り返しを行うべきである。ガイドラインは、対策が系統立てて順序よく行えるように情報を提供している。

2) 対策を進めるための3本柱

ガイドラインは、対策を順調に進めるために3つの柱を基礎にしており、それらの概要は次のようにある。

1本目の柱：磯焼け対策は「A. 磯焼けの感知」～「H. 目標達成の判定とフィードバック」の8つのプロセスを検討するに当たって、順応的管理を導入した。これにより、複雑に要因が絡みあい解決が困難な現象でも、対策後のモニタリングから対策の成否の理由を理解し、それをフィードバックすることによって、各地先に合致した磯焼け対策に向かって着実に知見が蓄積できるようになる(Fig. 5)。

2本目の柱：磯焼け対策フローを導入し、「A.」～「H.」の各プロセスと系統樹の分岐点での検討を順に行うことによって、対策が試行錯誤にならないようにした(Fig. 6)。

具体的には、①磯焼けの感知や藻場形成の阻害要因の特定など、今まで曖昧であった事項について、簡単で具体的な方法を示した。

②多数の既存資料から⁶⁾、これまで散在していた要素技術を分析し、系統樹として整理する⁷⁾と共に、各要素技術の長所・短所を明らかにし、要素技術を適切に実施できるように情報提供した。

③ウニや植食性魚類を除去するためのインセンティブを高めるために、植食動物の有効利用について全国的に事例収集し紹介した^{8),9)}。

④磯焼け対策に、環境に対して高い意識をもつ一般市民(学生を含む、ボランティアダイバー等)の積極的な導入を推進するようにした^{10),11)}。

3本目の柱：漁業者が中心となり、行政担当者、専門家、地域住民、ボランティアなどと協力し、持続的に磯焼け対策が行えるような実施体制の整備の重要性を示した(Fig. 7)。協力者と一緒に対策を実施することは、精神的にも肉体的にも、一人にかかる負担の軽減につながる。また、モニタリング結果について、対策を実施した仲間と一緒に情報共有し、あれこれ議論して次の調査を工夫することは楽しいことだと考える。

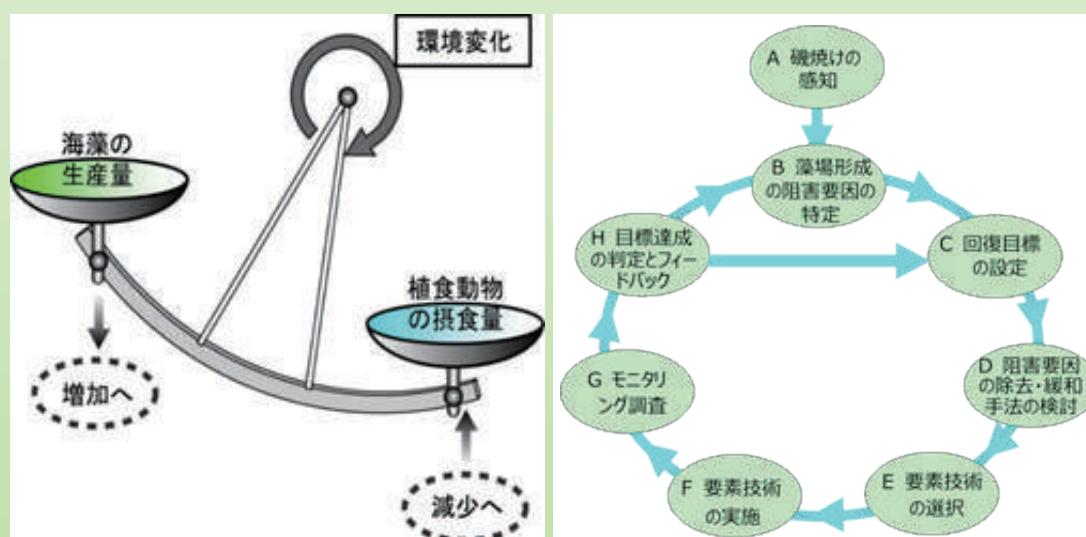


Fig. 4 我国の磯焼けを示すイラスト

Fig. 5 順応的管理プロセスの導入

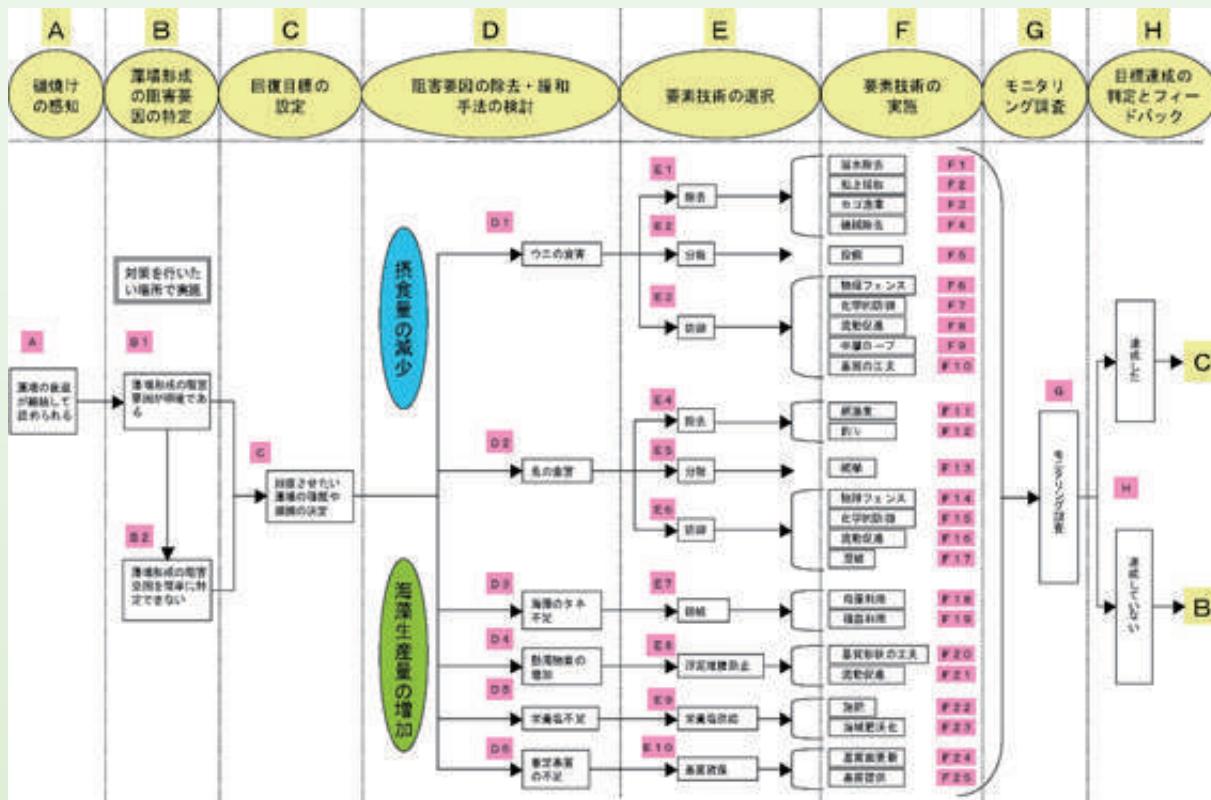


Fig. 6 磯焼け対策フロー

3)「磯焼け対策ガイドライン」の改訂

磯焼け対策の基本的な考え方を、初版の図を用いて上述した。2021年3月に磯焼け対策ガイドラインは改訂され第3版が発刊されている。この中の基本的な考え方は、初版と全く変更はない。新しく加わった内容は、海区別に磯焼け域の海中風景、代表的な植食動物が海藻を食べる(食べた)風景および各要素技術の道具や使い方等が、多くの写真で示され非常にわかりやすくなった。また、ガイドラインを補助する別冊として、「ドローンや衛星等の空中画像を用いた広域藻場調査」、「磯焼け対策における施肥」および「捕食者を利用した藻場回復」が作成されている。これらは、下記の水産庁HPからダウンロードできるようになっている。

https://www.jfa.maff.go.jp/j/gyoko_gyozyo/g_gideline/index.html

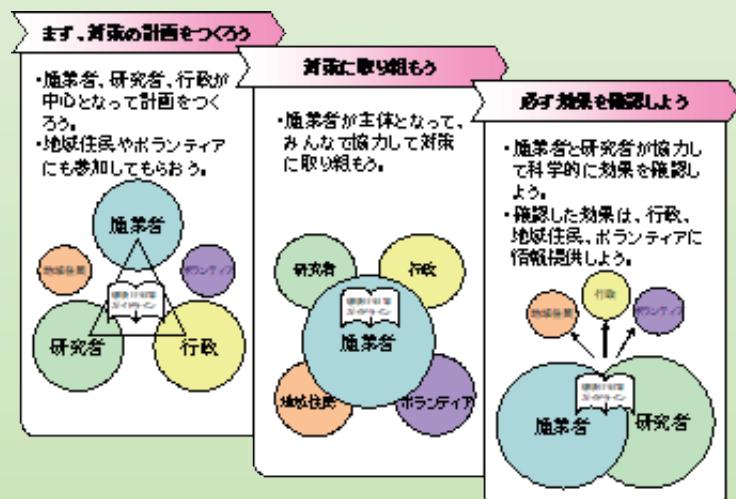
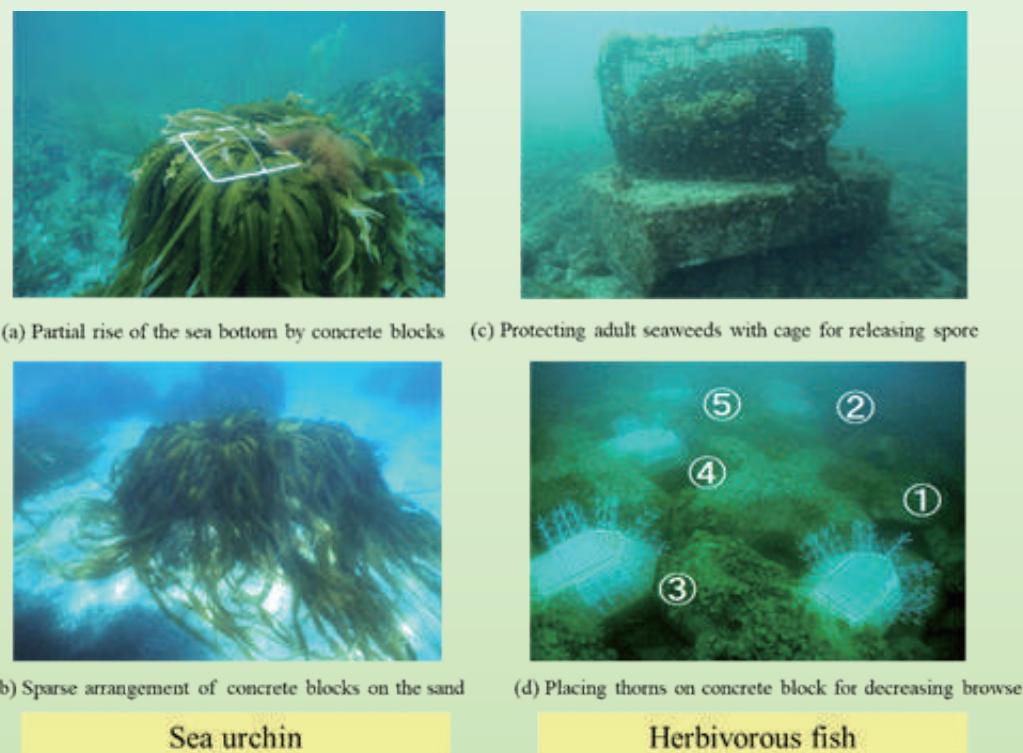


Fig. 7 実施体制の整備

3. 磯焼け対策の事例紹介¹²⁾⁻¹⁴⁾

1) ハード対策(食害対策)

Fig. 8(a)(b)はウニの食害対策、(c)(d)は魚の食害対策の事例を示している。(a)海底には、ウニが高密度に分布するが、コンクリートブロック等で部分的に水深を浅くすると、そこでは波浪流速が強くなり、ウニは這い上がりなくなり、このように構造物の上部で藻場が形成される。(b)ウニは、一般に、砂の上で生息することを嫌うことから、砂面上に、コンクリートブロックや石材を隙間をあけて設置すると、ウニの分布密度は低く保つことができ、ウニの食害が生じにくいので、このような構造物に藻場が形成する。以上のような知見は、天然の海中景観から得られた情報をブロック等を用いて模倣したものである。(c)網フェンスの中に海藻を設置してあるため、海藻(母藻)は魚の食害から守られて生育するが、この海藻のタネが網の外部に広がって、フェンス周辺に藻場が広がるような事例はほとんど無い。これは、フェンスの外部では、魚の除去対策を行っていないため食害が強く、幼芽がすぐに食べられるためである。(d)コンクリートブロックの上に、棘のようなものを配置し、魚がコンクリートブロックに生育した海藻を食べにくくしたものである。ある海域では、藻場が形成されたが、他の海域(より食害の強い海域)についても同様に成果が得られるか、検討する必要がある。



FFig. 8 ハード対策の事例(食害対策)

2) ソフト対策(食害対策)

Fig. 9(a)(b)はウニの食害対策、(c)(d)は魚の食害対策の事例を示している。(a)は、SCUBA潜水によりウニ除去を行っている写真である。海底の岩盤から取り上げたウニを網袋の中に入れている。ウニは1平方メートルに10個体以上居る場合が多く、1ヘクタールのウニ除去を行う場合は、十数万個体の除去作業を行うことになる。(b)ウニを除去した場所に、再び、ウニが侵入して、回復した海藻を食べないように、フェンスの設置作業を行っている。フェンス内に藻場が形成されると、このフェンスを外側に移動させて、藻場が分布する範囲を、徐々に広げていく方法で進められている。(c)はブダイ、(d)はノトイヌズミの刺し網による



Fig. 9 ソフト対策の事例(食害対策)

除去対策を示している。魚の除去対策は、生活史において、分布密度が高くなる(聚集する)場所や時期を見つけて、効率良く実施する必要がある。このためには、植食性魚類の生理・生態を十分に知っておく必要があるが、まだ、未解明な部分が多い。

3) 海藻のタネ播き

Fig.10(a)～(c)は海藻の種まきを示している。(a)網袋の中に、成熟した海藻を入れて網袋をしばって、重りをつけて海中へ船上から投入するもの、(b)網袋に海藻の茎部分を編み込んで、重りをつけて、海中へ船上から投入するもの、(c)中層に、水平に網を張り、この網に、潜水によって、海藻を刺し込むものである。従来から行われてきた(a)の閉じたスパッパーは、網袋内の海水交換が少ないので、海藻が数日で腐る問題があった。このため(b)と(c)の方法が実施されているが、潜水作業の必要が無い(b)の方がより多くの地域で実施されている。



Fig.10 海藻種まきの事例

4) 藻場回復の事例

Fig.11は、対策を行って藻場が回復した事例を示している。上は対策前、下は対策後になる。左から右へ順に、青森県尻屋地区、高知県久通地区、長崎県大瀬戸地区の事例である。いずれの地区もヘクタール規模の藻場回復に成功している。現在の日本の沿岸は、水温の上昇やウニや魚などの植食動物の影響で、藻場にとって厳しい環境であるが、植食動物を減らして、海藻のタネを播いて、着実な対策を実施すれば、写真のような藻場回復が漁業者が中心となった取り組みによって実証されており、非常に心強いと感じている。

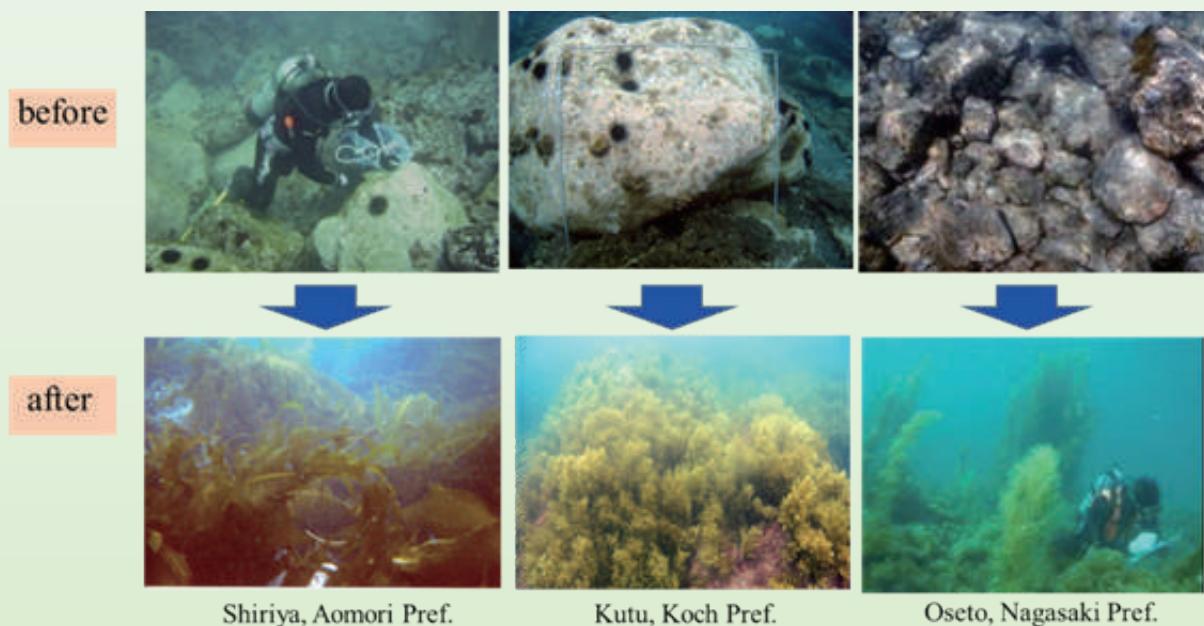


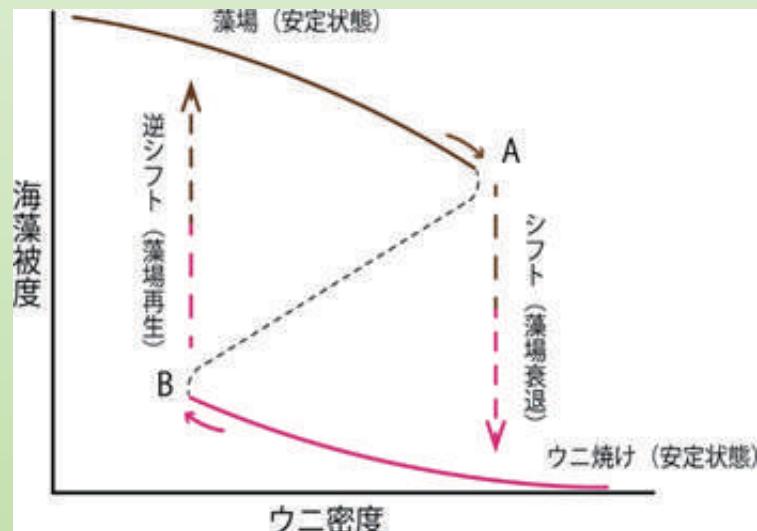
Fig. 11 磯焼けからの藻場の回復事例

4. 今後について

Fig.12は、ガイドラインの第2版から取り入れた図で、海藻被度とウニ密度との関係を示している。

これは、Scheffer¹⁵⁾の概念を踏まえて、これが磯焼け現象にも適応できるとFilbee-dexter&Scheibling¹⁶⁾が示したことを利用している。対策は階段を上るように成果が出るのでなく、不連続なヒステリシスを伴うことを前提に考えることの重要性を示している。

赤線はウニ密度が高く、この食害により海藻の被度が低くなった磯焼け状態を想定している。藻場を回復させるためにウニ除去を行い密度を下げるように対策(赤線上を左に移動)を進めるが、海藻被度はあまり増加しない。しかし、ウニ密度がB点に達すると突然に上部にシフトし、海藻被度は劇的に回復することがわかる。この状態(茶色の実線)になるとウニ密度が少し増加しても海藻被度はあまり低下せず高い状態を維持する。



ところが、管理を怠りウニ密度がA点に達すると突然に下部の赤線へシフトし海藻被度は著しく低下する。漁業者から「昔は、ウニがいっぱいいたけれど海藻もたくさんあった。」とよく聞くが、これは上部の茶色線の状態を示しており、現在の磯焼け域は下部の赤線の状態にあると考えられる。現在、除去によりウニ密度を減少させる対策を進めているが、なかなか海藻被度が回復せず、B点に到達しない。B点とは、具体的に、どのようにすれば早く確実に到達できるのであろうか？これがわかれれば、現状からB点に到達するために必要な対策を定量的に示すことが可能となるであろう。これは、磯焼け対策にとって重要な課題と考える。

参考文献

- 1) 藤田大介:磯焼けの現状. 水産工学, 39(1):41-46, 2002.
- 2) D. Fujita: Current status and problems of isoyake in Japan. Bull. Fish. Res. Agen., No.32: 33-42, 2010.
- 3) H. Kuwahara, O. Hashimoto, A. Sato and D. Fujita: Introduction of Isoyake Recovery Guideline (Fisheries Agency, Japan). Bull. Fish. Res. Agen., No.32: 51-60, 2010.
- 4) 水産庁:磯焼け対策ガイドライン. 水産庁:1-208: 2007.
- 5) 桑原久実・綿貫 啓・青田 徹・横山 純・藤田大介:磯焼け実態把握アンケート調査の結果. 水産工学, 43(1):99-107, 2006.
- 6) 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:文献から見た磯焼け対策研究の歩み. 水産工学, 43(1):81-87, 2006.
- 7) 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:磯焼け対策における要素技術の整理. 水産工学, 43(1):89-97, 2006.
- 8) 北川雅彦・麻生真悟・菅原玲・田嶋健一郎・干川裕・川井唯史: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:206-218, 1999.
- 9) 森中房枝・安藤 亘:イスズミの食品利用の拡大に向けて. 48(1):73-75, 2011.
- 10) 佐々木謙介・徳永成光・猪狩忠光・吉満 敏・田中敏博:鹿児島水産高校とともに行った藻場回復の取り組み. 水産工学, 48(1):65-68, 2011.
- 11) A. Watanuki, T. Aota, E. Otsuka, T. Kawai, Y. Iwahashi, H. Kuwahara and D. Fujita: Restoration of kelp beds on an urchin barren, Removal of sea urchins by citizen divers in southwestern Hokkaido. Bull. Fish. Res. Agen., No.32:83-87, 2010.
- 12) 藤田大介・野田幹雄・桑原久実:海藻を食べる魚たち～生態から利用まで～(磯焼け対策シリーズ1), 成山堂書店, pp. 1-288, 2006.
- 13) 藤田大介・町口裕二・桑原久実:磯焼けを起こすウニ～生態・利用から藻場回復まで～(磯焼け対策シリーズ2), 成山堂書店, pp. 1-316, 2008.
- 14) 藤田大介・村瀬昇・桑原久実:藻場を見守り育てる知恵と技術(磯焼け対策シリーズ3), 成山堂書店, pp. 1-304, 2010.
- 15) M. Scheffer, S. Carpenter, J. A. Foley, C. Folke & B. Walker:Catastrophic shifts in ecosystems. Nature, 413: 591-596, 2001.
- 16) K. Filbee-Dexter and R. E. Scheibling:Sea urchin barrens as alternative stable states of collapsed kelp ecosystems. Mar. Ecol. Prog. Ser.:495: 1-25, 2014.