

北海道日本海側磯焼け海域における藻場造成 —ウニの食害を排除した藻場造成—

SEAWEED BED FORMATION IN AN ISOYAKE REGION
IN COASTAL AREAS OF THE JAPAN SEA, HOKKAIDO
- SEAWEED BED FORMATION
BY REMOVING SEA URCHIN GRAZING PRESSURE -

廣瀬紀一¹・綿貫 啓²・川嶋昭二³・斎木正道¹・北尾修二⁴

Norikazu HIROSE, Akira WATANUKI, Syouji KAWASHIMA,
Masamichi SAIKI and Syuji KITAO

¹(株)テトラ 環境事業本部 (〒160-8350 東京都新宿区西新宿6-3-1)

²工修 (株)テトラ 環境事業本部 (〒160-8350 東京都新宿区西新宿6-3-1)

³理博 (株)テトラ (〒160-8350 東京都新宿区西新宿6-3-1)

⁴東洋ガラス(株) R&D部 (〒100-0011 東京都千代田区内幸町1-3-1)

In coastal areas of the Japan Sea in southern Hokkaido, the isoyake phenomenon (seaweeds such as *Laminaria* withering on the beach) has been observed over a long period of time. The cause of isoyake is attributed to grazing by sea urchins and lack of nutrients and trace elements such as iron in the sea water. A method to prevent grazing by sea urchins while supplying trace elements to promote the growth of seaweed was looked into.

Sea urchins can not move on a sandy bed, so blocks were placed thereon. Ferrous ions to promote photosynthesis were supplied. An experiment on seaweed bed formation was carried out continuously over a period of 5 years.

Seaweed bed formation was successfully achieved, aided by the prevention of sea urchins entering. The standing crop of seaweed benefited from the supply of ferrous ions.

Key Words : seaweed bed, sea urchin, isoyake, iron

1. はじめに

北海道日本海南部沿岸では、長期にわたって、コンブ、ワカメ等の大型海藻が減少し、海底が無節サンゴモ等で被われる磯焼け現象が続いている。磯焼けが継続している原因として、潜水観察や海中、陸上での諸実験の結果から、キタムラサキウニをはじめとする植食動物の食害が最大の要因であることが判明してきた¹⁾。また、栄養塩や鉄等の微量元素の不足も原因の一つとして、挙げられている²⁾。

しかし、このような磯焼け海域でも、水深が浅く、常に波の当たるような箇所や砂地から突出した岩盤上にはホソメコンブの局所的な群落が見られる。これは、川俣ほか³⁾が指摘しているように、浅所では波浪による海水の動揺が激しくなるため、ウニの摂食活動が抑制されること、寺脇ほか⁴⁾が報告してい

るように、砂地に点在する岩盤は砂の影響を受けやすく、ウニの移動と採食が制限されることに起因していると考えられる。また、波あたりの強いところは、流れが生じているが、流水条件では静水条件よりも栄養吸収が速くなり、光合成が盛んになること¹⁾も指摘されている。

そこで、この海域で藻場を造成するには、ウニの侵入、食害を防止するとともに、海藻類の生長を促進させる微量元素を供給する対策を講じることが考えられる。その手段として、ウニは砂地を移動できないことから、試験礁を砂地に設置してウニの侵入を防止し、さらに、海藻類の光合成を促進する2価の鉄イオンを供給する素材を試験礁に装着して藻場造成の実証試験を行った。ここでは、その後の状況を5年間にわたって調査した結果を報告する。

2. 調査場所・時期

(1) 調査場所

試験は、図-1に示す日本海に面した北海道爾志郡乙部町地先において実施した。

(2) 調査時期

平成5年7月に、試験礁を設置するための事前調査を実施し、試験礁を設置した。以後、平成6年から平成10年にかけて、毎年、原則として6月あるいは8月に追跡調査を行った。

3. 事前調査

試験礁の設置に当たって、ヒアリングおよび海底地形図からおおよその試験礁設置箇所を選定した。選定条件は、岩礁と砂地が存在し、岩礁にはホソメコンブが見られる箇所、砂被り岩礁地帯で砂層厚が1 m程度の箇所である。

試験礁設置箇所を選定するために、設置予定地周辺において潜水調査を行った。設置予定地周辺の生物相の模式図を図-2に示す。

水深50cm 以浅ではホソメコンブが繁茂し、水深1～1.4mでは岩盤の天端部にスガモ、それよりも若干深い位置にフシスジモクの群落が形成されていた。水深1.7～3 m前後は転石帯でフシスジモクが優占しており、水深3.5～3.7m付近に再びコンブの群落が形成されていた。このコンブの群落が形成されている付近を詳細に観察すると、砂面から岩盤が数十 cm の高さの場所にはホソメコンブが優占し、さらに高い場所にはフシスジモクが優占していた。

フシスジモクは多年生であり、ホソメコンブは1年生であることから、1～2年に一度砂に埋没する岩盤にはホンダワラ類は着生できず、ホソメコンブの成熟期である秋期に岩盤が露出していればホソメコンブが着生できるものと考えられる。逆に、このことからホソメコンブの着生水深帯が、砂面の変動範囲の上限と推測することができ、試験礁が砂に埋没しないよう設置すれば、ホソメコンブの藻場が形成されるものと考えられる。なお、周辺の岩盤上には多くのウニが生息していることが観察された。

試験礁設置予定地周辺は岩礁が張り出した先端部分であり、それより沖側の底質は砂質であった。岩盤は尾根が複雑に入り組んでおり、平坦な岩盤ではなく、砂層厚は0.2～1 m以上と幅が広い状況であった。

試験礁設置箇所は、砂面に鉄筋棒を打ち込みながら砂層厚を測定し、ブロックの高さを1 mと考え、砂層厚が90cm 程度、かつ試験礁の天端高がフシス

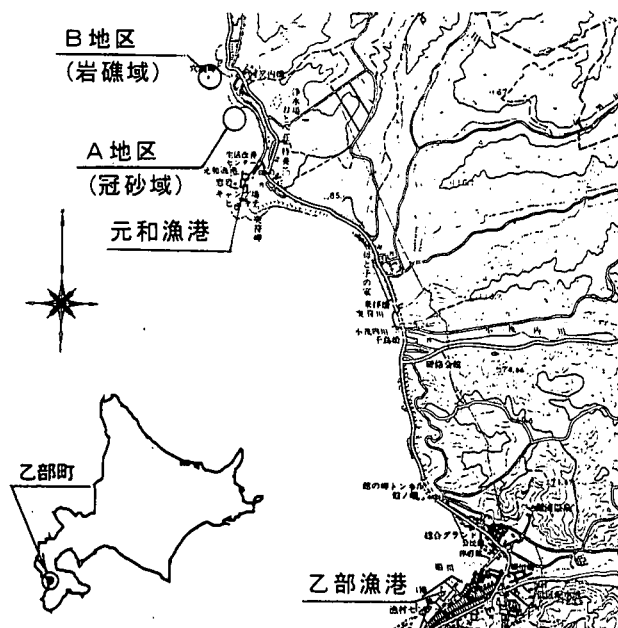


図-1 試験実施箇所

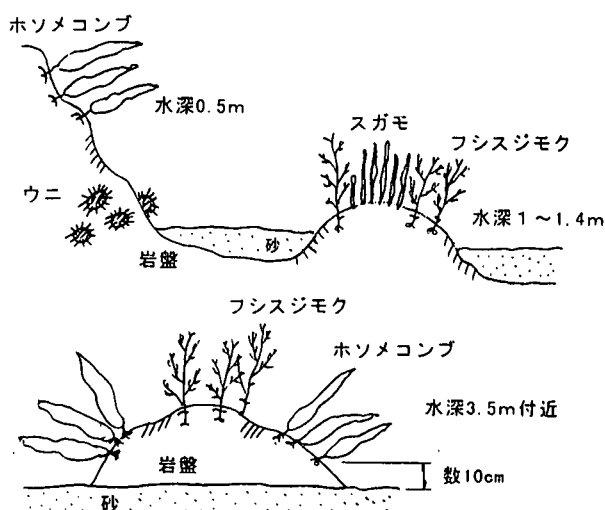


図-2 試験礁設置箇所周辺の生物相（模式図）

ジモク等多年生の海藻が生育している下限に一致するような箇所を選定した。

この条件から試験礁を設置する海域を決定し、試験礁とするブロックの所要重量を求めた。

4. 試験礁

(1) 試験礁の配置

試験礁には、図-3に示す被覆ブロック（4 t 厚型エックスブロック）を用いた。ブロックは9個用いたが、その内の5個の天端面には、海藻類の生長を促進する鉄イオン等の微量成分を溶出する素材（藻類増殖材プレート：30×21×3 cm）を1枚のプロ

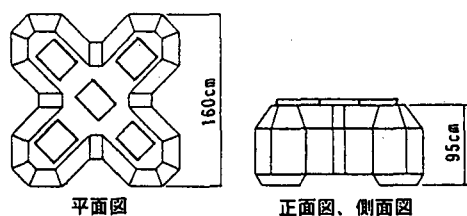


図-3 試験礁 (4 t厚型エックスブロック)

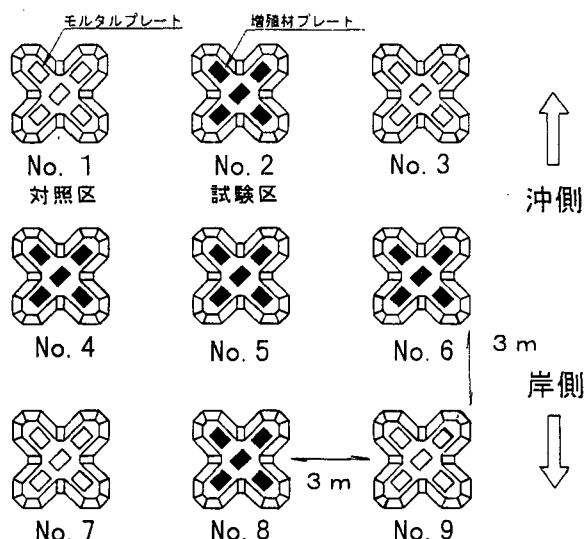


図-4 試験礁の配置図

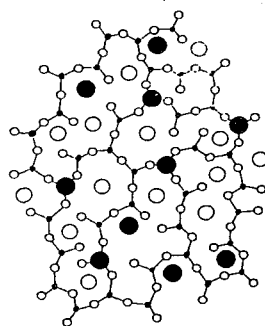
ック当たり5枚装着し、試験区とした。残りの4個のブロックを対照区とし、天端面には藻類増殖材プレートと同寸法のモルタルプレートを取り付けた。

試験礁は、事前調査から選定した砂被り岩礁地帯のA地区(水深3~3.5m付近)と、周辺に砂の見られない岩礁地帯のB地区(3.5~4.5m付近)に設置した。試験礁は、A地区とB地区とで同様に配置した(図-4)。試験礁を近接して配置すると、各試験礁間の隙間がウニの隠れ場所となる可能性があるため、各試験礁は約3mの間隔をあけて設置した。

(2) 藻類増殖材

海藻類や植物プランクトンなどの藻類は、窒素やリンなどの無機物を取り込み、太陽の光エネルギーを利用して、有機物を生産している(光合成)。この際に、微量元素である鉄等が必要となる。鉄は硝酸還元酵素や光合成色素に大きく関与している⁹⁾。水溶性ガラスの藻類増殖材は、これらのリンや鉄等を藻類が吸収可能なイオンの状態で長期間にわたって水中に溶出する素材である。

この藻類増殖材(ガラス)は、図-5に示すようにランダムな網目構造をしており、構造の骨格となる網目形成イオン(ケイ素、リン等)、網目の中に入り込む網目修飾イオン(ナトリウム、カリウム等)、中間酸化物(鉄等)で形成されている。ガラスが海



- : 網目形成イオンSi, P等
- : 網目修飾イオンNa, K等
- : 中間酸化物イオンFe等
- : O

図-5 ガラスの構造図

水に浸漬されて表面が水と接触すると、水との水和反応によりガラス表面層の網目が切れて、表面層の各元素がイオン状態で海水に放出される。ガラスの溶解性は、素材の組成と粒度、使用する海水環境(温度、水量、流れの強さ、海水成分)に影響される。本増殖材は還元状態で作製されているため、鉄の大部分が2価の状態でガラス化している。よって、ガラスの溶解に伴い、2価の鉄イオンが供給できる⁹⁾。

今回の試験では、溶出期間が10年以上の藻類増殖材をモルタルプレートの表面に露出させた藻類増殖材プレート(21×30×3 cm)を製作し、使用した。

5. 追跡調査

(1) 調査方法

9個の試験礁上の植生の観察を行った後、同水深帯の試験礁、天然礁において、海藻類の採取を行った。採取面積は、試験礁においては各プレート上の21×30cm、天然礁においては50×50cmである。採取した海藻は、実験室に持ち帰り、種の同定、湿重量、個体数、葉長、葉幅等の測定を行った。

(2) A地区の調査結果

a) 砂層厚の推移

図-6に調査期間中の試験礁設置箇所における砂層厚の推移を示す。図中の値は、試験礁天端面から砂面までの高さを求め、砂層厚を推定したものである。

平成6年は冬期も調査を行っているが、試験礁設置箇所周辺では、砂層厚の変動幅が100cm程度あり、冬期は試験礁、岩盤が露出、夏期には堆砂する傾向がある。ただし、平成7年度以降の砂層厚は10cm程度と少ない。

b) 試験礁の状況

試験礁上には常にホソメコンブが優占して着生し、平成6年と平成9年にはフシスジモク、ワカメが入植した。試験礁上において刈り取り採取した海藻類のうち、ホソメコンブの現存量を図-7、図-8に

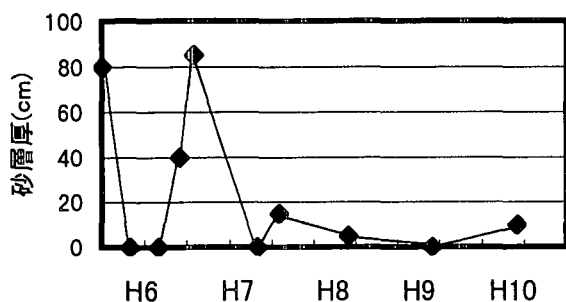


図-6 A地区における砂層厚の推移

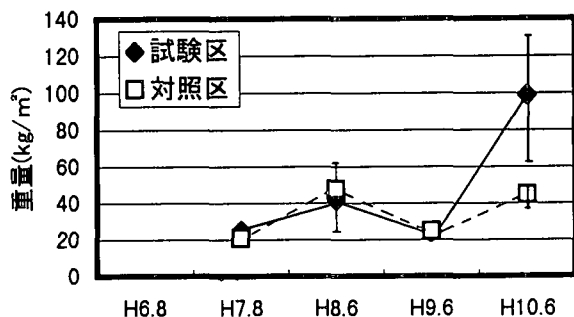


図-9 A地区の海藻類の現存量の推移(水深3.0m)

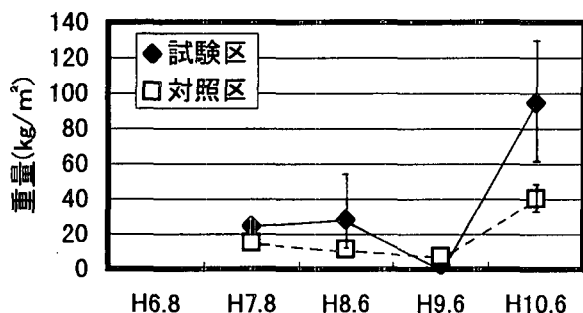


図-7 A地区のホソメコンブの現存量の推移(水深3.0m)

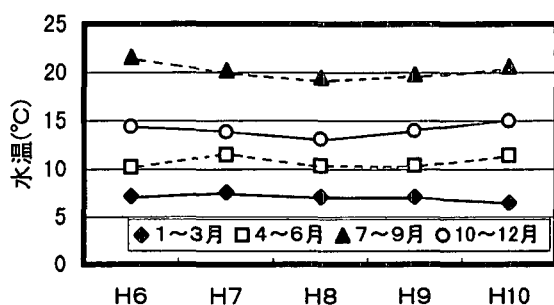


図-10 調査期間中の3ヶ月ごとの平均水温(熊石)

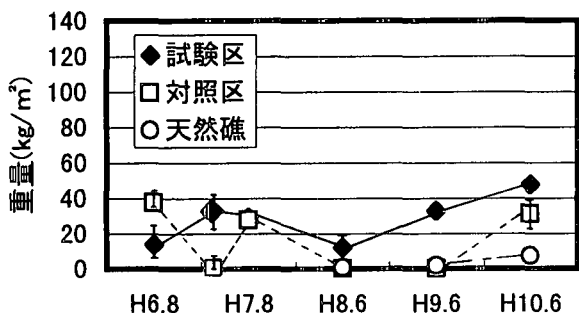


図-8 A地区のホソメコンブの現存量の推移(水深3.3m)

示す。天端水深3.0mの試験礁は、平成6年には海藻類の刈り取り採取を行っていない。

水深3.0mの試験礁においては、試験区の現存量の平均値が3~95kg/m²であるのに対し、対照区は7~40kg/m²と、平成9年6月の結果を除くと、試験区の方が現存量が多くなっている。また、天然礁のホソメコンブの現存量は2~8 kg/m²であり、各年ごとに見ると、試験区の現存量は対照区、天然礁の約1~3倍の結果となった。なお、平成9年に試験区の現存量が対照区より劣った理由は、試験区にはフシスジモクが着生したためである。

水深3.3mの試験礁では、試験区の現存量が12~48kg/m²であり、対照区の現存量は0~38kg/m²となっている。こちらでも、ほぼ試験区の方が対照区よりも現存量が多くなっている。平成6年8月の調査では、試験区にはホソメコンブ以外の海藻、ウスヒトエグサやモロイトグサが着生したため、対照区の現存量が試験区の約2.5倍となっている。

ホソメコンブ以外の海藻類を含めた海藻類全体の

現存量の比較では、試験区は対照区の1~3倍程度の現存量であった(図-9)。

なお、各調査時に、試験礁上において、アワビの生息は観察されたが、ウニは見られなかった。

c) 水温と現存量

定性的に、冬から春の水温が低いと、コンブの生長が良いとされている。図-10に熊石で観測された調査期間中の水温を1~3月、4~6月のように3ヶ月ごとに平均した水温を示す。

平成9年に観察されたコンブは身入りが悪く、現存量は小さくなっている。1~3月の水温は調査期間中の中庸であり、4~6月の水温がさほど上昇せず、水温差は約3℃である。平成10年は、コンブの現存量が特に水深3.0mで突出しているが、1~3月の水温が低く、4~6月の水温が高くなり、水温差が約5℃となっている。現存量に大きな差がついた理由として、水温の変動の影響が考えられる。

d) コンブ葉体中の鉄濃度

図-11に、平成7年5月の調査における水深3.3mの試験礁に着生したホソメコンブの葉長と葉重量の関係を示す。サンプル数は試験区が41個体、対照区は32個体である。試験区に着生したホソメコンブは葉長が大きく、葉重量も大きい。

また、この年の8月には、試験区、対照区から採取した大型のホソメコンブ5個体について葉体1g(乾重)当たりの全鉄濃度を測定した(表-1)。

試験区のホソメコンブ中の全鉄濃度は、対照区の約1.5倍となっており、藻類増殖材から溶出した鉄イオンが吸収されているものと考えられる。松永⁹⁾

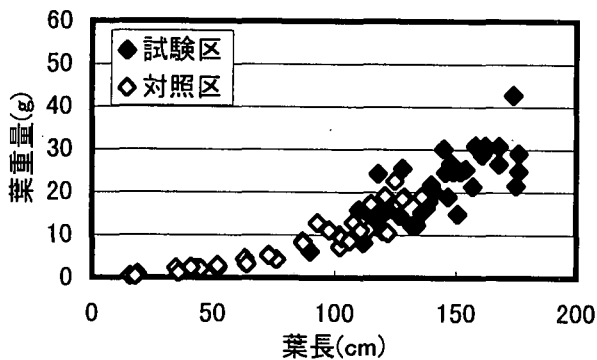


図-11 葉長と葉重量の関係 (平成7年5月)

表-1 採取したコンブ中の鉄濃度

試験区	対照区
12.3	8.9
12.4	9.2
18.9	10.3
13.2	8.0
14.7	8.5
平均	14.3
	9.0

単位: $\mu\text{g/g dry}$

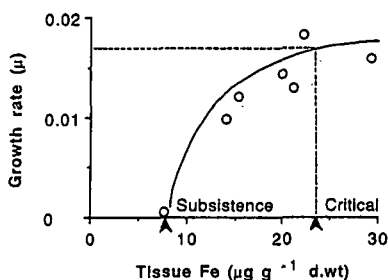


図-12 コンブ中の鉄濃度と成長率の関係 (松永⁹⁾)

は、コンブ中の鉄濃度が8~23 $\mu\text{g/g}$ の範囲であれば、鉄濃度が高いほど生長速度が速いことを示しており (図-12)、鉄イオンの供給によって、ホソメコンブの生長が促進されたものと考えられる。

(3) B地区の調査結果

岩礁地帯に試験礁を設置したB地区においては、平成6年の調査で、試験礁上に着生したウニの個体数と海藻類の被度の観察を行った。試験礁上にはフクロノリが優占し、その他にカヤモノリやモロイトグサが見られた。ホソメコンブの着生は見られなく、ウニが多数生息しているのが観察された。

図-13~図-15に水深とウニの個体数の関係、水深と海藻類の被度の関係、ウニの個体数と海藻類の被度の関係を示す。水深が深くなるとウニの個体数が多くなり、海藻類の被度は逆に小さくなっている。また、ウニの個体数が多くなると、海藻類の被度が小さくなることから、この海域で磯焼けが継続している原因の一つとして、ウニによる食害が挙げられる。

なお、B地区においては、その後もホソメコンブの着生は見られず、調査も行っていない。そのため、

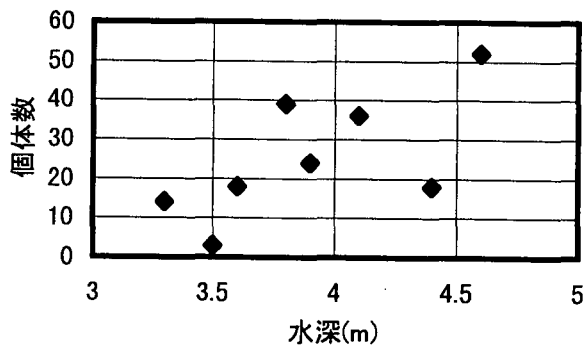


図-13 B地区に設置した試験礁の天端水深と着生したウニの個体数の関係

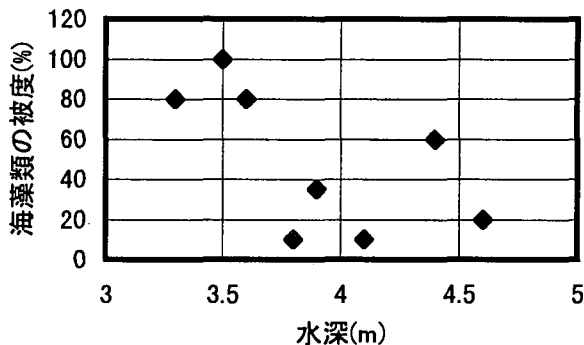


図-14 B地区に設置した試験礁の天端水深と着生した海藻類の被度の関係

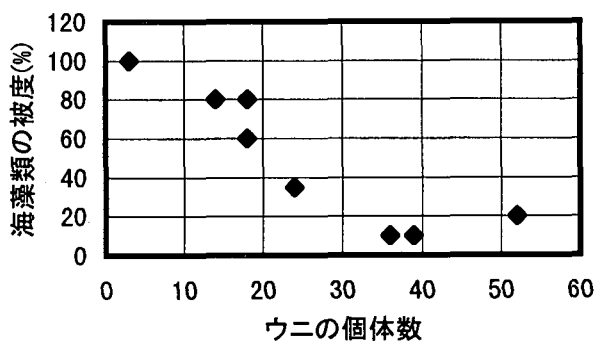


図-15 B地区に設置した試験礁上のウニの個体数と海藻類の被度の関係

表-2 移設したブロックに着生したホソメコンブの湿重量

	平均湿重量 (kg)	a/b	a/c
試験区:a	133.5		
対照区:b	24.6	5.4	
天然礁:c	14.2		9.4

注: m^2 当たりの湿重量

平成9年6月に試験礁をA地区の試験礁に近接した砂被り岩礁地帯に移設した。移設時に回収した試験礁は無節サンゴモの被度が100%であった。移設に当たっては、試験礁上に付着していた生物をケレンし、藻類増殖材プレートを再度装着した。

移設1年後の平成10年6月の試験礁にはホソメコンブの着生が見られ、藻場が形成されていたが、移設時に無節サンゴモをケレンしなかった箇所にもホ

ソメコンブが見られた。

試験礁から採取したホソメコンブの現存量を1㎡当たり換算した結果を表-2に示す。試験区、対照区に着生したホソメコンブの現存量が、天然礁より大きくなっていることがわかる。

6. 藻場が維持される理由

試験礁には5年間継続して藻場が形成され、現存量は、ほぼ試験区の方が対照区より大きくなった。この理由として、図-16のような機構が考えられる。

すなわち、試験礁を砂被り岩礁地帯に設置することで、ウニの侵入を阻止し、食害防止が図れた。また、砂が夏には堆積し、秋から冬にかけては沖へ移動する季節的な移動があり、秋に遊走子を放出するホソメコンブにとっては、遊走子の着生面が掃除、露出され、着生面が長期にわたって維持されることになる。仮に、冬期にウニが入植したとしても、水温が低く、摂餌活動は活発ではない。水温が高くなり、摂餌活動が活発になると、砂が堆積してくるので、ウニは入植できなくなる。また、ブロックを多数設置する場合には、単体礁的に間隔をあけることもウニの入植を防ぐ上で重要である。

別に行った室内のコンブの培養実験では、藻類増殖材を用いると、芽胞体になるまでの期間が短縮できることが判明している。着生した遊走子に対しては、藻類増殖材から供給された2価の鉄イオンが遊走子を早期に発芽させ、生長の初期段階を促進することで、最終的に現存量が大きくなったものと考えられる。ホソメコンブは早期に発芽し、初期の成長が早くなると、遅れて発芽した個体よりも大型の個体で推移し⁷⁾、早期に藻場が形成されやすくなるという従来の指摘をほぼ裏付ける結果が得られた。

以上のことから、5年間にわたってコンブの藻場が維持されたものと考えられる。天然の海域の状況を模倣することによって、藻場が形成されやすくなるが、このような海域では、特に、事前調査を行って砂の移動を観察し、砂層厚の変動幅からブロックを決定することが必要である。

7. おわりに

磯焼けが生じている海域において、藻礁を砂被り岩礁地帯に設置し、砂の移動を利用することで、アワビの入植は見られるが、ウニの侵入を防ぐことができ、藻場が形成された。さらに、藻類増殖材の利用によってホソメコンブが良好に生長することが実証された。また、磯焼けが生じている海域の藻礁を砂被り岩礁地帯に再設置することで、藻場が形成さ

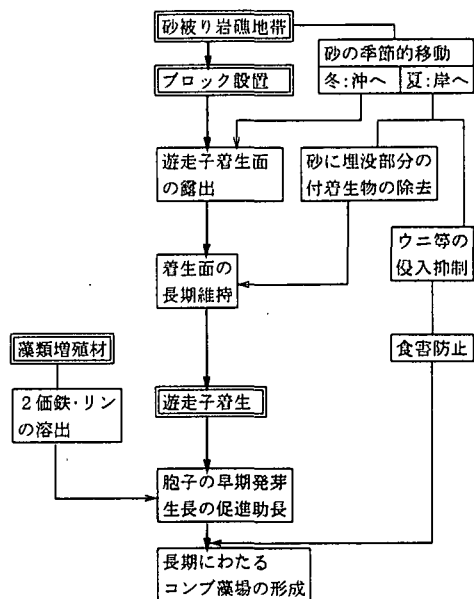


図-16 コンブの藻場が維持される機構

れたが、これは結果が良好でない藻場造成の改修に利用できる技術である。

なお、藻類増殖材は、今回報告した藻場造成に利用する方法の他、付着珪藻や有用な植物プランクトン増殖への利用研究を進めている。これについては、別の機会に報告したい。

最後に、今回の試験調査実施に当たっては、松山南部水産技術普及指導所、ひやま漁業協同組合の多大なご協力を頂いた。また、乙部町にもご協力頂いた。ここに記して感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 大野正夫編：21世紀の海藻資源、緑書房、1996
- 2) 松永勝彦：石灰藻の拡大の要因について、地球環境シンポジウム 磯焼けの現況と課題、pp. 103-124, 1995
- 3) 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
- 4) 寺脇利信、新井章吾、川崎保夫：藻場の分布の制限要因を考慮した造成方法、水産工学、Vol. 32, No. 2, pp. 145-154, 1995
- 5) A. R. O. チャプマン著、千原光男訳：海藻の生物学 細胞・個体・個体群・群落、共立出版、1981
- 6) 山岡到保、滝村修、布施博之、上村一雄、村上克治、上田定雄、斉木正道：栄養元素を包括したガラスによる *Dunaliella salina* の増殖とβ-カロテンの生産、生物工学会誌、Vol. 74, No. 4, pp. 269-272, 1996
- 7) 船野隆：ホソメコンブの生態 第2報 小樽市忍路湾の年齢と着生地異なる個体の生態、および総合考察、1983

(1999. 4. 19受付)