

波浪攪乱を軽減する移植基盤を利用した アマモ群落形成

IMPROVING EELGRASS COMMUNITY FORMATION USING WAVE DISTURBANCE REDUCIBLE BLOCK

越川義功¹・山木克則²・田中昌宏³・西川利一⁴・田崎邦男⁵・小河久朗⁶

Yoshinori KOSHIKAWA, Katsunori YAMAKI, Masahiro TANAKA

Toshikazu NISHIKAWA, Kunio TASAKI and Hisao OGAWA

¹正会員 水博 鹿島技術研究所 主任研究員 (〒182-0036 東京都調布市飛田給二丁目19-1)

²正会員 工修 鹿島技術研究所 主任研究員 (〒240-0111 神奈川県三浦郡葉山町一色2400)

³フェロー 工博 鹿島技術研究所 上席研究員 (〒182-0036 東京都調布市飛田給二丁目19-1)

⁴日本海上工事 水工事業部 (〒107-0052 東京都港区赤坂二丁目10-9)

⁵正会員 日本海上工事 (〒107-0052 東京都港区赤坂二丁目10-9)

⁶農博 北里大学水産学部 教授 (〒160-0400 岩手県大船渡市三陸町越喜来字鳥頭160-4)

A new type transplanting block made from two layers structure (asphalt – palm fiber mat) for the eelgrass (*Zostera marina*) bed restoration was developed. The block has high specific gravity that can stabilize the sea bottom condition, protect eelgrass seedlings transplanted from washing away. Moreover, the block provides surface structure which root bundles of the eelgrass firmly grip. In the site study, the transplanted seedlings into the block grew well and the number of shoots increased. More than 1000 shoots were observed after 19 months transplantation. Therefore, we conclude that the newly developed block is a practical means for improving the eelgrass community formation.

Key Words: Asphalt-made block, *Zostera marina*, eelgrass, restoration, transplantation.

1. はじめに

東京湾を始めとした沿岸各地では大小さまざまな沿岸環境再生の試みが行なわれている。そのなかで具体的なメニューのひとつとして先行しているのがアマモ場の再生である。アマモ場は北海道から九州にいたる全国各地に分布するアマモをはじめとしたアマモ属の海草によって形成される海草藻場の総称であり、これまでアマモ *Zostera marina* を対象としたアマモ場再生が全国各地で積極的に進められてきた¹⁻⁵⁾。

これまで再生手法として最も多く採用された方法は、陸上植物と同様に大量の種子や種苗を海域に播種・移植し、その後の成長・繁殖によりアマモ場の形成を期待するものである⁶⁾。しかし、近年アマモ資源における固有の遺伝子特性が明らかにされ⁷⁾、種子自体の受け渡しや大量採集、譲渡に対して一定の規制⁸⁾が設けられるようになった。つまり、今後のアマモ場再生においては、数多く取れる保証がないアマモ種子をいかに効果的に活用し確実に藻場を

形成するかがアマモ場再生の“新しい課題”として重要となってきた。

アマモ場再生におけるもうひとつの課題は、地下茎をはじめとした地下部の活着促進である。アマモをはじめとした海草類は草体を含む地上部と地下茎を含む地下部の2つの部位からなり、砂地を支持基盤として地下茎の増殖により群落を拡大する特徴を持っている。特に、天然のアマモ場は小規模な群落が点在、連結することで形成され、その大きさは季節によって拡大縮小を繰り返す。つまり、効率的な藻場形成のためには、核となる群落を確実に作り、地下茎を繁殖させることが重要になる。

アマモ生息適地は光条件にも規定され、水深の浅い部分に限定されることが多い。しかし、浅い水深帯では、波浪の影響によって海底地形の変動が大きく、アマモ種苗を侵食に対する対策をせずに単純に植えただけでは流失が避けられない。そのためには、まず海底面の変動を抑え、次にアマモが繁殖可能な基盤を開発することがポイントである。

そこで、本研究では、波浪による攪乱に対して脆

弱な移植初期におけるアマモの流出を防ぎ核となる群落を形成するために、海底の洗掘を抑えるアスファルトマットを改良したアマモ移植基盤を開発することを目的とし、実海域における試験によってその有効性を明らかにした。

2. 移植基盤のアマモ繁殖性能確認実験

(1) 材料および方法

アスファルトマットは防波堤のマウンド法尻の洗掘防止、消波ブロックの沈下防止などを目的に海底被覆工に用いられる材料の一つとある⁹⁾。比重は2.2以上と高く、水中での安定性に富んでいること、撓み性により海底地形の変動に追随するといった特徴を有しており、孔あきにすることによって透水性を持たせることも可能である。

アスファルトマットを利用した移植基盤（以下、移植基盤）は、種苗ポットを装着させるための孔を有したアスファルト合材に、アマモの繁殖生態を考慮し地下茎の匍匐、ヒゲ根の活着を助けるためヤシマットを上面に張り合わせ一体化したものである。実際に使用する移植基盤の形や大きさは、施工する海域条件や使用できる重機などによって異なるが、ここでは運搬・敷設を考慮し最小限の群落を形成するための大きさ（250×250×50mm）の方形基盤を試作し、実験に供した（図-1）。

移植基盤のアマモ繁殖性能を確認するために、水槽内でのアマモ育成実験を行った。実験は神奈川県葉山町真名瀬漁港内のアマモ場から採集した地下茎を含む草体を供試材料とし、アマモの生長・分岐が活発に行われる冬から春にかけて水温 $16 \pm 3^{\circ}\text{C}$ の条件で室内水槽（150 L; FRP 製）で実施した。実験区はアマモの草体 6~9 本を培養土（川砂：バーク堆肥=8：2（容積比））とともに底部の移植基盤の孔へ充填したものを4セット設置し、対照区は培養土のみに直接植えたものを3セット設置した。なお、アマモ装着後は水槽にろ過海水（PF フィルター；1 μm ）を常時注水し、水中ポンプで間欠水流を発生させながらアマモの成長を促した。

アマモを移植基盤に装着した後は、1週間ごとに44日間にわたって、各基盤におけるアマモの生長

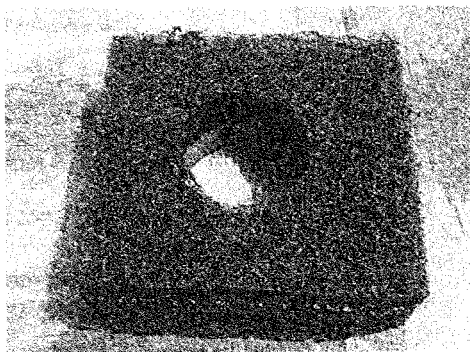


図-1 アスファルトマットを応用した移植基盤

に関連する項目（地上部：草体数、草体長，地下部：活着点数（ヒゲ根が基盤を掴んだ点））について計測を行った。

(2) 結果および考察

実験区および対照区のアマモはともに枯死などの目立った損傷もなく順調に生育し、新しい葉の伸長が観察された。実験区の移植基盤におけるアマモの生長過程は、第一段階として草体の成長に伴って草体の基盤面やや上部にヒゲ根が形成された。その後、成長したヒゲ根が基盤表面のヤシ繊維まで到達した。最終的に伸びた透水材のヤシ繊維を掴み、アマモの地下茎は基盤への活着を完了した。

実験区におけるアマモの草体長は、対照区と比較すると最大長、平均長ともに時間経過に伴ってその差が大きくなった。実験区のほうが最大長では20cm、平均長では12cm、対照区よりも小さくなった、平均長は両者で有意差は認められなかった（t検定； $p < 0.05$ ）（図-2）。しかし、地下部の充実に起因する活着点数や草体本数の増加は、実験区の方が対照区より逆に大きく、実験終了時には活着点数では3倍、草体本数は2倍に達した（図-3）。

アマモの生長は地上部と地下部のそれぞれでなされるが、移植後の繁殖と活着を考慮すると地下部の

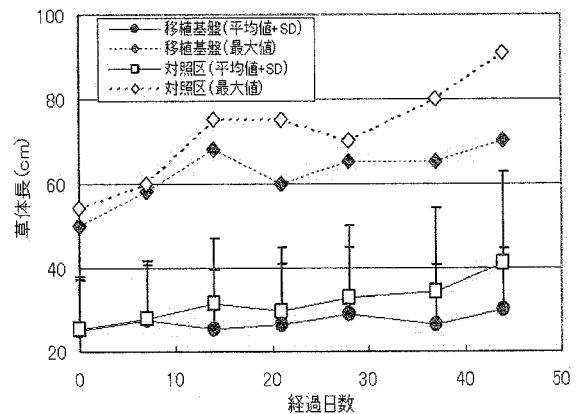


図-2 水槽実験におけるアマモ草体の平均、最大値

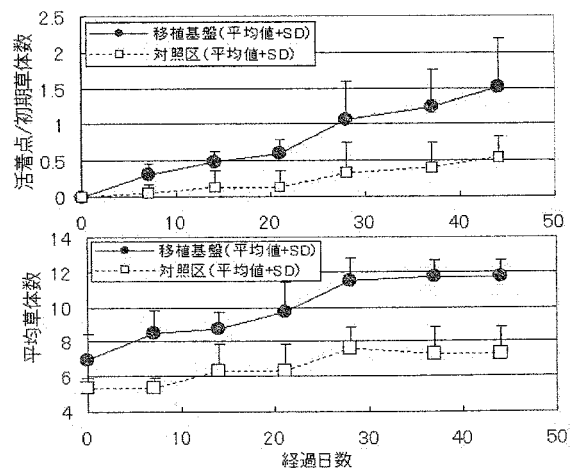


図-3 水槽実験におけるアマモ草体数と活着点の増加

生長が重視されなければならない。特に、移植後に期待されるのは群落の形成、拡大であり、今回の実験で認められた対照区のように草体1本づつが生長しただけの増殖傾向はアマモ場としての平面的な広がりを生むことができない。しかし、移植基盤を用いた実験区では、草体長が低くても草体の本数が確実に増加しており、移植後のアマモ場の面積拡大を考えるうえで望ましい結果である。

今回の実験では、地上部の平均草体長は対照区が上回っていたが、地下部の生長を考慮した場合、対照区よりも分枝が多く明らかに良好な生長を示し、移植基盤がアマモの生長に対して適合性が高いことを示唆している。アマモの地下茎は、葉がついている節からヒゲ根を張り地中に潜ったものであり、地下茎から直接草体が出ることはない¹⁰⁾。つまり、本実験での結果は移植基盤上での旺盛な生長が地下茎の分枝、増殖様式に適したものであり、基盤の安定性が何らかの好影響を与えと考えられる。

3. 海域での移植試験

(1) 方法

本研究で開発した種苗基盤によるアマモの群落形成効果を確認するために、葉山町地先の海岸2ヶ所（A地点：真名瀬漁港内、B地点：鐙摺・小浜）を移植場所として、2005年7月から海域での移植試験を

行なった（図-4）。A地点は西向きに開口した漁港内であるが、突堤が近くにあるために沖合からの直接的な波浪の影響を受けにくい。そのため、港内最奥部の小規模なアマモ場^{11,12)}があるものの、水深が浅く砕波帯に位置するので、波浪による海底地形の変動が発生する。B地点は北西向きに開口し逗子湾に面した50mほどのポケットビーチに位置する。この海岸では20年程前まではアマモの群落が存在していたが、現在では逗子湾を含めてアマモの存在が確認されていない。また、西～北西向きから来襲する波に対して影響を受けやすい。増殖の可能性が高いと推定されるA地点において2005年7月に移植し基盤の適性を確かめた後、アマモ場がないB地点で2006年2月に移植を行なった。

アマモ種苗の入った生分解性ポットを移植基盤に装着し、これを現地海底（干潮時水深3m）に潜水作業で直置きすることによって移植を行なった。設置した移植基盤はA、B両地点とも2枚ずつである。また、B地点ではアマモ定着の可能性を探るとともに移植基盤との対照とし、波による流出を長期間観察するため、現地海底に直接アマモ種苗が入ったポット（アマモ草体数：250本分）を手掘りで海底に埋め込んだ。なお、移植試験に供試したアマモ種苗は研究室で遺伝子攪乱を防ぐためにA地点のアマモ場から採集した種子から育成したものである。

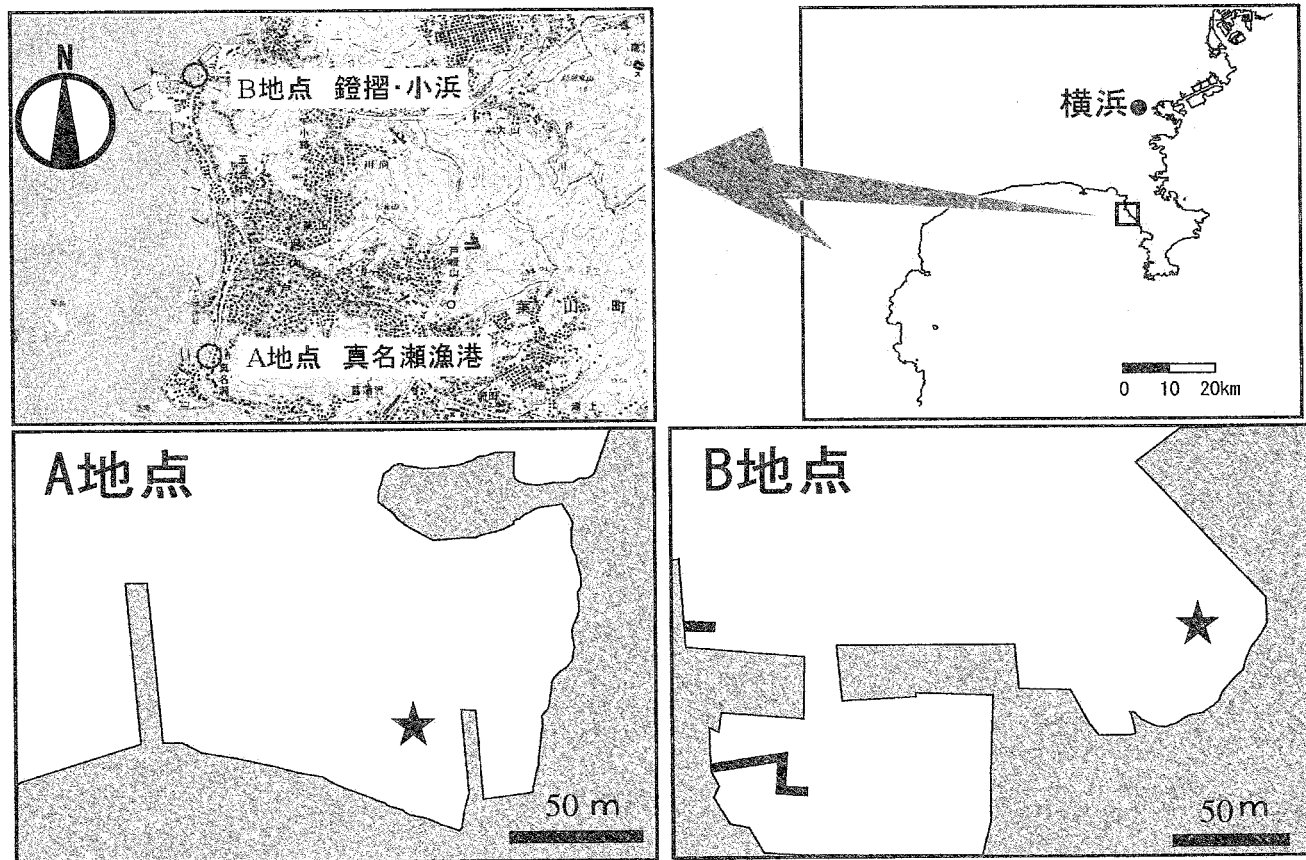


図-4 アマモ移植基盤の設置地点

移植後はアマモの繁殖を確認するために、追跡調査をアマモの繁茂が活発な4月から10月には毎月、11月～3月には2～3ヶ月おきにスクーバ潜水によって実施した。調査項目はアマモの草体数、草体長とし、草体数は移植地点における総本数を計数すると同時に、草体長は無作為に抽出した20～30本の長さを計測した。さらに、移植基盤の安定特性を確認するために現地における暴浪時の流動と砂面変動を確認するために、B地点の海底にメモリー式電磁流速計（アレック電子 COMPACT-EM）、メモリー式砂面変動計（三洋測器 SSM-I）を設置し、

移植地点の流速振幅などについても解析した。

(2) 結果および考察

海域への種苗移植は室内実験で使用した草体よりも小型の種苗サイズであったにもかかわらず、A、B地点ともに草体数が増加した。しかし、A、B両地点間のアマモの増殖傾向には違いが見られた。

A地点では移植した2005年7月の5本から徐々に増加し、移植後6ヵ月目の2005年12月には58本と10倍以上となり小規模な群落として確認できるようになった。その後、アマモの草体は基盤中央

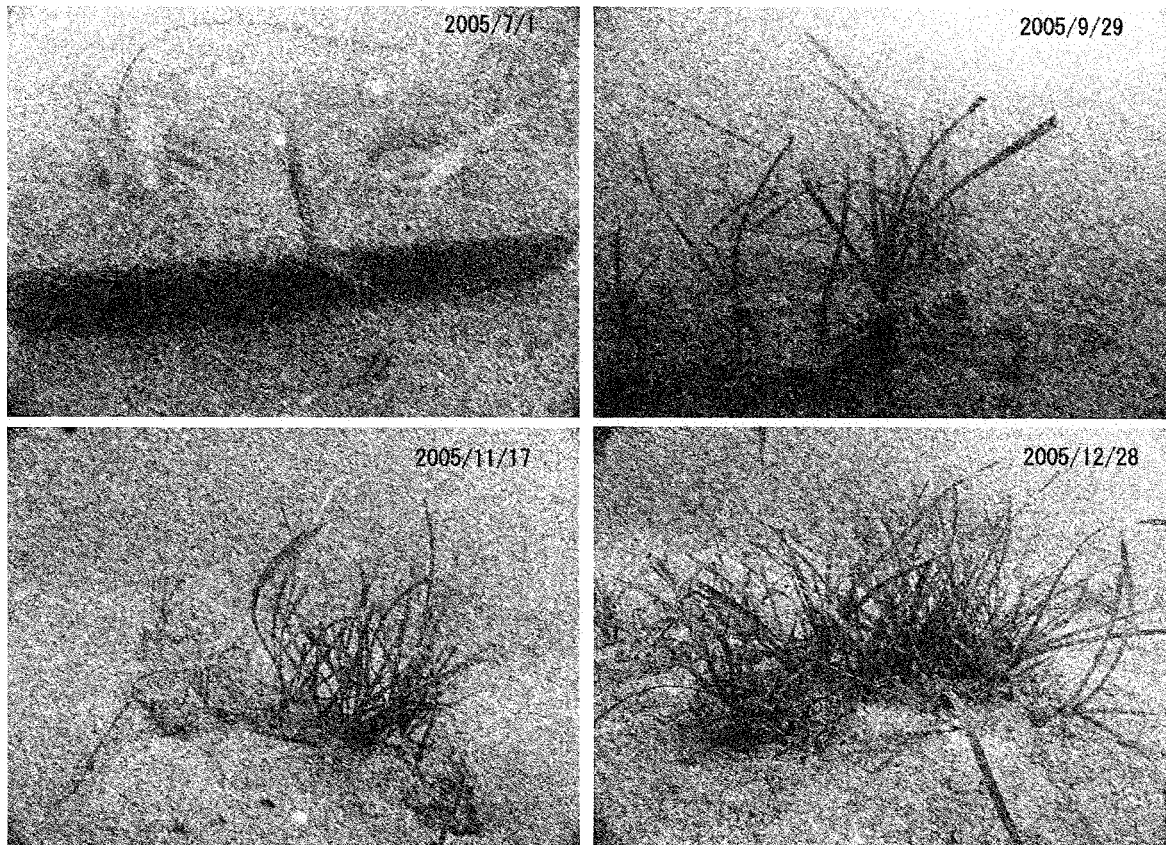


図-5 A地点における移植基盤投入によるアマモ群落の形成経過

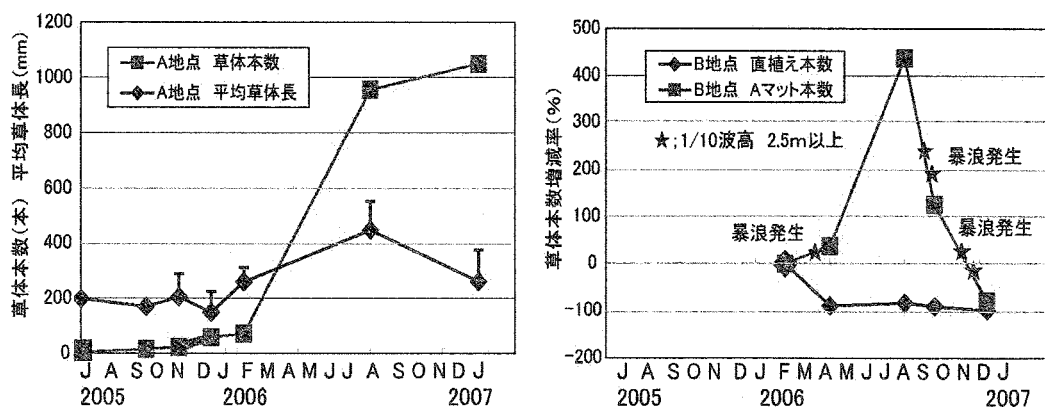


図-6 A地点およびB地点における移植後のアマモ草体本数の増減

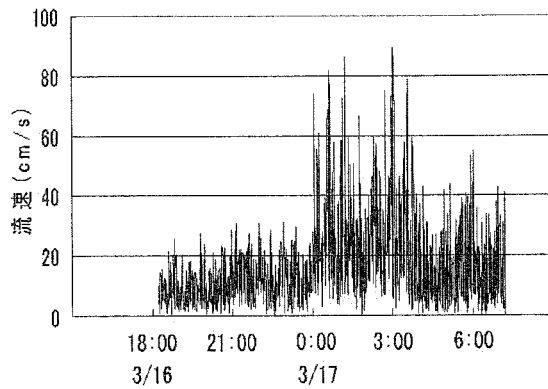


図-7 B地点における代表的な暴浪時の底面流速絶対値の時系列変化

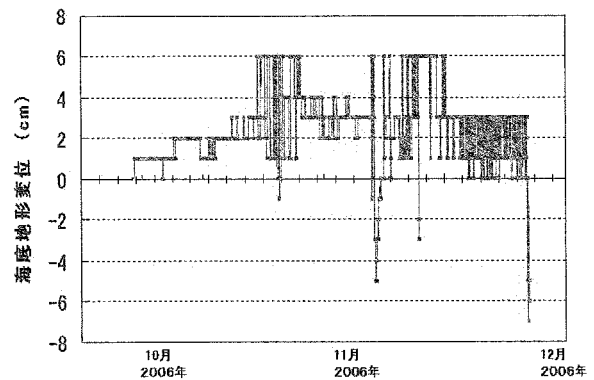


図-8 B地点における海底地形変動(2006年10月～11月)

から増殖し移植基盤の上を外側に拡大した。また、その一部は地下茎が移植基盤の外側にも伸長していることが観察され、移植後 19 ヶ月目の 2007 年 1 月には草体本数が 1000 本を超えた(図-5, 図-6)。これに対して、B 地点における移植基盤のアマモ草体本数は移植後 6 ヶ月目の 2006 年 8 月までは順調に増えたが、その後暴浪により減少するとともに基盤自体の埋没も確認された。対照区の減耗はさらに著しく、当初の 250 本から増えることがなく大幅に減少し、わずかに 7 本が残るのみであった(図-6)。

図-7 に B 地点に設置した 2006 年 3 月における暴浪時の移植地点での底面流速データ、図-8 に 2006 年 10 月から 12 月の B 地点の海底地形変動データを示す。この時の流速振幅は瞬間最大で 90cm/s に達しており、海底地形の変動も大きかったと考えられる。この時、直植エポットの多くは流失したが移植基盤自体は移動せず、むしろ基盤上への土砂の堆積が確認された。通常、板状のものを海底に敷設した場合、局所洗掘などによって基盤そのものの安定性が損なわれ流失につながる。しかし、本基盤は比重の関係で砂面に埋没するため、平常時には基盤表面と海底面との高低差はほとんどなくなる。これに優れた安定性というアスファルトの特性が加わることによって直まきに比較するとアマモの流出防止効果が高くなる。

4. 考察

アマモの生息を阻害する環境要因については、波浪、砂面変動、光条件が主な要因とされ、波浪の抑制や砂面安定化を主眼に置いたマット敷設による再生手法が行われてきた^{14, 15, 16, 17)}。その結果、このような手法では、条件の厳しい場所においても、アマモが生残するケースも見られ、分布が急激に拡大する現象も確認されている。

これらの方法では現地の生育制限要因である波浪による擾乱を軽減することがアマモ場の再生に直結したことを示している。しかし、流失防止と海底地

形の安定化の両者を達成するためには大きく厚みがある移植基盤、さらにはこれに付随した固定治具が必然的に必要となる。また、これまで行われてきた手法ではアマモの生育が安定せず、最終的には衰退することが多い。そのため、これまで行われてきた方法で、アマモの繁殖を安定化する場合は、少なくとも以下のような解決すべき課題が残されている。

これまで行われてきた砂面変動を抑える工法を用いた場合、基盤に直下における底質環境の悪化が懸念される。マット状基盤を広範囲に敷設した場合、その基盤の直下の底質は嫌気化することが確認されている¹⁴⁾。これは基盤直下の底質と直上の環境水との間での海水の交流が少なくなり、基盤直下への酸素の供給が著しく低下することによる。そのため、海底環境の悪化を助長することになりかねない。また、漁業の操業海域に投入した場合には、マット状基盤固定用のアンカーで漁具等の破損など他の問題が出る可能性もある。

さらに、これまでの方法で行われたアマモ増殖の現象として、草体本数の減少、アマモの地下茎が基盤の外へ拡大せずアマモ場が拡大しないことなどが挙げられる。鋼製マット¹⁴⁾では上面覆い工のエキスパンドメタルに地下茎のヒゲ根を絡ませながら伸長する。しかし、食害などの現象が見られるとともに鋼製マットの複雑な構造が地下茎のさらなる伸長を妨げる結果となっている。このことから移植基盤と海底面との高低差の解消も求められる。

アマモ場が魚介類の増殖の場として機能するためには、アマモの生育密度の不均一性が要求される。実際のアマモ場では生育密度に濃淡があり、パッチ状の群落とアマモが生育していない空間自体がアマモ場とする考え方も提案されている¹⁸⁾。特にアマモ群落内部の底質環境は外部よりも底土のCODの値が高い。また、魚類は遊泳できるだけの空間が必要であることから、アマモが画一的に広く繁茂する必要はない。

そのような観点から、移植基盤の仕様を総合的に考えた場合、一面すべてを覆うような基盤もしくはマット敷設は避けるべきである。むしろパッチ状の

アマモ場を形成するような移植基盤を、数多く点在させることでアマモ場の機能を最大限に発揮できる。本研究で開発した移植基盤は、地盤の安定化および洗掘防止への効果が期待され、同時にアマモの繁殖生態である地下茎の地盤表面への活着という特徴を考慮した構造（ヤシマット張り）になっている。その結果、基盤内のアマモ種苗は移植後6ヵ月目には群落を形成し、2つの基盤範囲（250×500mm）の外へも拡大するなどアマモ場再生の核となる群落を作る最適な仕様である。

特に、本研究でのA地点における急激な増殖は、隣接した天然のアマモ場を凌ぐものであった。これは移植地点には目立った実生株の出現はなかったため、地下茎の充実による群落の発達によるところが大きいと考えられる。しかし、移植によって形成されたアマモ群落はかなり濃密であり、潮流によって流されてくる多くのものをトラップする。この作用は隣接したアマモ場から放出された種子についても当てはまる。そして、トラップされた種子が群落内部で実生株となり、アマモ群落の大幅な拡大に寄与したことも十分に考えられる。つまり、種子の供給が可能なアマモ場が再生計画地の近隣にあるならば、基盤設置によって形成した小規模な群落は二次的に群落を飛躍的に発達させることも期待できる。

一方、移植基盤は比重が重いため、かなりの波浪に対して抗力を発揮し、波浪によって引き起こされるアマモの生育の安定化に効果を発揮している。阻害要因を排除することができる。しかし、堆積や侵食を繰り返し、動的平衡によって地形が維持されているような海底において、特に土砂の堆積量がアマモの繁殖を大幅に上回った場合には、今回のB地点のように基盤自体が埋没することによってアマモの生育が妨げられる可能性もある。これは基盤の持つ物理特性ゆえの解決すべき課題でもあり、設置する海底地盤の変動特性を事前に調査することが必要といえる。

本研究で開発した移植基盤でも土砂の堆積に対する短期的なアマモ移植種苗の減耗は避けられない。しかし、開発した移植基盤の設置は海底面の安定により苗自体の流出が避けられるので長期的にはアマモ場の自己再生に寄与すると考えられる。

5. 結論

アスファルトマットを使用したアマモの移植基盤は、基盤自体の海底での安定性に加え、アマモ特有の地下茎の匍匐生態に適合することによって、アマモの群落形成を促進する。また、これまでの波浪条件よりも広範囲での適用が可能となり、アマモ場の再生可能海域が広がることを示唆している。

参考文献

1) 團昭紀, 和泉安洋, 森啓介, 広沢晃, 寺脇利信: 底質

- 安定化マットの播種によるアマモ繁殖, 水産工学, 35, pp. 37-42, 1998.
- 2) 工藤孝浩: ボトムアップ型の環境回復とその課題 — 市民・漁業者の立場から —, 月刊海洋, 35 (7), pp. 448-495, 2003.
- 3) 春日井康夫, 久本忠則, 中山康二, 松本英雄: 広島県尾道糸崎港における干潟再生事業, 海洋開発論文集, 19, pp. 107-112, 2003.
- 4) 大本茂之, 鳥井正也, 三浦俊一, 真鍋康司, 西村和雄: 岡山県日生町地先の人工アマモ場の拡大, 水産工学, 42, pp. 75-78, 2005.
- 5) 寺脇利信, 島谷学, 森口朗彦: 瀬戸内海におけるアマモ場造成の実践事例, 水産工学, 42, pp. 151-157, 2005.
- 6) 川崎保夫: 海草群落（アマモ場）の機能と修復・創生, 海洋と生物, 145, pp. 85-91, 2003.
- 7) 加藤由実子, 颯田葉子: *phyA* 遺伝子の塩基配列に基づくアマモの集団遺伝学的解析—日本沿岸域の海草の多様性と起源に関する考察, 海洋と生物, 26, pp. 322-329, 2004.
- 8) 環境庁: 藻場の復元に関する配慮事項, pp. 1-100, 2004.
- 9) 生出久也, 鴻上雄三: 大波浪に耐えるアスファルトマット—洗掘防止用アスファルトマットの水理機能と設計法—, 電力土木, 232, pp. 81-97, 1991.
- 10) 月館潤一, 高森茂樹: アマモの成長様式について, 南海海区水産研究所研究報告, 10, pp. 123-130, 1977.
- 11) 越川義功, 山本克則, 林文慶, 中村華子, 田中昌宏, 小河久朗: アマモの安定種苗生産とその移植による群落形成, 海洋開発論文集, 22, pp. 625-630, 2006.
- 12) 山本克則, 新保裕美, 田中昌宏, 三富龍一, 小河久朗: アマモ場拡大の実態把握と種苗移植による新規群落形成の試み, 海岸工学論文集, 54, pp. 1006-1010, 2006.
- 13) 森口朗彦, 高木儀昌, 山本順, 大村智宏, 吉田吾郎, 寺脇利信, 棚田教生, 山野井秀夫: アマモ場造成のための底質安定工法「鋼製マット」の開発, 水工研技報, 28, pp. 41-65, 2006.
- 14) 和泉安洋, 広沢晃, 團昭紀, 森口朗彦, 寺脇利信: 底質安定化マットによる4年間のアマモの成長と成熟, 水産工学, 40, pp. 139-143, 2000.
- 15) 平岡喜代典, 杉本憲司, 玉置 仁, 寺脇利信, 岡田光正: 防波堤建設による環境変化と移植アマモ場の拡大, 水環境学会誌, 26, pp. 849-854, 2003.
- 16) 棚田教生, 和泉安洋, 團昭紀, 広沢晃, 森口朗彦, 寺脇利信: 冬季波浪条件の比較的厳しい海域におけるガーゼ・礫製マットによるアマモ繁殖への効果と限界, 水工研技報, 28, pp. 41-65, 2005.
- 17) 小河久朗: 3-2 藻場・海中林, 地球環境調査計測事典 第3巻沿岸域編, 株式会社フジ・テクノシステム, pp. 38-46, 2003.