シート基盤を利用したコアマモ移植方法の適用に関する実験

An Experimental Study on the Applicability of Transplanting Sheet Method for *Zostera japonica*

高山百合子¹・片倉徳男²・伊藤一教¹・国分秀樹³・前川行幸⁴

Yuriko TAKAYAMA, Norio KATAKURA, Kazunori ITO, Hideki KOKUBU and Miyuki MAEGAWA

In the previous study, a new method for transplanting *zostera japonica* which doesn't require much diving work was developed. This method is to put a biodegradability sheet close to living areas of *zostera japonica* and to move the sheet to the destination after *zoster japonica* grows enough on the sheet. Although the applicability of the sheet was already confirmed through a field survey, it was also observed that some *zostera japonica* are removed from the sheet after transplanting the sheet. In this study, laboratory experiments were conducted to clarify the requirements for *zostera japonica* to remain certainly on the sheet. The results of the laboratory experiments show that when the sheet is moved, more than 5cm of shoot roots need to remain and the moved sheet should be attached firmly to the destination ground.

1. はじめに

沿岸域に形成されるアマモ場は、多様な沿岸生態系を支える重要な場となっている。近年は、沿岸生態系の再生を目的として、全国各地でアマモの移植が実施されている(国総研, 2007)。移植の対象種がアマモである理由のひとつとして、その種子が多量に採取できることから、比較的実施しやすい播種技術が開発されていることが挙げられる(港湾空間高度化センター, 1998; 水産庁他, 2007)。また同じ理由から、アマモの移植は市民やNPOによっても実践されており、このような活動の広がりが環境再生の推進力として期待されている。一方、アマモ場の浅海側に生育するコアマモの移植については、種子が希少であるために実用的な移植技術が未だ確立されておらず、株の植替えによる移植実験がいくつか試みられている状況に留まっている(矢野, 2003; 奥村, 2006; 宮本ら, 2008)。最近では、コアマモの移植や増殖に有用な生態学的知見が蓄積されつつあるものの(国分ら, 2010; 越川ら, 2011)、コアマモは多くの自治体のレッドリストにおいて準～絶滅危惧種に指定されていることから、具体的な移植や増殖技術の開発が急務と言える。このような背景から、著者らは、シート状の移植基盤を用いたコアマモ移植方法の開発に取り組んでいる(高山ら, 2008)。本方法は、移植基盤を移し替える方法であることから、コアマモの株や底質を取り扱う必要が殆どなく、移植作業を簡易にできる可能性がある。このことから、本方法は、移植したコアマモを良好に根付かせる手法として確立できれば沿岸生態系の再生に貢献できる

ものとする。

これまでに、著者らは、海底に設置したシート状基盤の上にコアマモが良好に伸長することを確認している(高山ら, 2008)。しかし、その基盤を移植した後に、株が流失するなど、コアマモの残存度合が不安定となる課題があった。そこで本論文では、本方法において、移植後のコアマモ残存状況に与える影響を確認するために、根の状態をパラメータとした水槽実験を実施し、コアマモが残存するための要件について検討した。

2. コアマモ移植方法の概要

本研究において開発を実施しているコアマモ移植方法を説明する。まず、コアマモ場の縁辺部にシート状の移植基盤を設置する。シート状基盤(以下、シート)には、厚さ約0.5mm、目合1.5mmの生分解性ネットを用いた。そして、コアマモ場の繁茂に伴い、シート上にコアマモが伸長する。この時、コアマモの地下茎はシートの上に伸びており、不定根はシートの目合を貫通して海底地盤中に張っている。不定根(以下、根と記す)とは、地下茎に形成された1～2cm間隔の節から伸びる細い根であり、主に水分や無機栄養分の吸収と草体支持の機能を持つ。そして上記の状態が形成されることにより、コアマモとシートが一体化する。本論文では、この状態をコアマモがシートに定着した状態と呼ぶ。次に、コアマモが定着したシートを海底から剥し取り、移植場所に敷き置くことにより移植を完了する。例として、コアマモが定着したシートの表裏を写真-1に示す。これに対して、現状の株移植では、根を含めた株をある程度の厚さで土壌とともに採取して、移し替える方法等が実施されている(矢野, 2003; 奥村, 2006)。

著者らは、本方法におけるコアマモの定着状況について、三重県英虞湾における海域実験により確認している

1 正会員 博(工) 大成建設(株)技術センター
2 正会員 大成建設(株)技術センター
3 正会員 博(工) 三重県 水産研究部
4 理博 三重大学教授大学院生物資源学研究所

が(高山ら, 2008), このシートを移植した後のモニタリング結果において, シート上のコアマモが流失したケースがいくつか確認された。これは, 移植によりコアマモの生長を阻害する要因が発生し, 良好に根付かなかったためと考えられる。本方法におけるコアマモの主な生長阻害要因としては, 次の2項目が考えられる。まず, 移植前の状態から根が切り離されていることである。コアマモが定着したシートの裏面では, 写真-1 (b) に示したように, 土壌が付いて束状になった根が確認できるが, 本方法では, シートを海底から剥し取るという作業を行うことから, これに伴い根がある程度切り離されていると推測される。次に, 根が海底地盤中に深く埋没していない状態でシートが設置されることである。これは, 本方法では, 根が伸びているシートを海底に敷くためである。そして, これらの要因が根の機能を阻害し, コアマモの生長に影響を与えたことが流失に繋がった可能性が考えられた。

そこで本研究では, 上記2項目が, 移植後のコアマモの残存に影響を与えるのかどうかを確認するために, 次章に示すコアマモ移植実験を実施した。そして, この実験結果から, 本方法におけるコアマモが残存するための要件を検討した。さらに, この要件についての確認実験を行った。

3. コアマモ移植実験

(1) 実験方法

実験では, 三重県水産研究所(浜島)屋外に設置された潮位変動陸上水槽(6.2m×4.1m, 以下, 実験水槽)を使用し, この実験水槽にコアマモの試験体を入れたバットを並べた(図-1, 写真-2)。実験水槽は, 施設に隣接する英虞湾の海水を利用して, 約12時間毎に振幅約50cmの水位変動を繰り返すよう設定した。コアマモの試験体は, 以下の手順により作成した。まず, 図-1に示す2カ所の海域実験場所(立神干潟, 小別当)において, 2010年11月にコアマモ場縁辺部にシートを設置した。これら2カ所における環境条件を表-1に示す。表-1より, 立神干潟に対して小別当の底質は, 有機物含有量およびシルト・粘土分が高いことが分かる。シートは, 前述した生分解性ネットを用い, 波浪等による捲れ上がりや移動を防ぐ目的で寸法50cm四方としたシートの2辺に異形鉄筋(D13)を取り付けた。その後, 2011年8月に, コアマモが定着したシートを25cm四方に切出して取り上げ, 試験体とした(写真-3 (a))。シートの取り上げ方については, 前述の生長阻害要因2項目を再現した実験ケースとして次節に示す。試験体は, 側部に通水部を設けたバット(26cm×55cm×18cm)に2つずつ移し替え(写真-3 (b)), これを実験水槽に並べた(写真-2)。バットの設置水深

(a) 表 (b) 裏
写真-1 コアマモが定着したシート

図-1 実験場所

(a) 全景 (b) 拡大
写真-2 実験水槽

表-1 海域実験場所の環境条件

項目			小別当	立神干潟
底質	粒度	D ₅₀	0.0017mm	0.056mm
		シルト・粘土分	96.7%	54.7%
	強熱減量		13.4%	5.8%
シート設置水深	地盤高 (D.L.基準)		DL±0.0m	DL±0.0m

(a) 切出したシート (b) バットへの移し替え
写真-3 コアマモの試験体

は, 2010年にシートを設置したコアマモ場とはほぼ同様に DL±0mを想定し, バット上面が最低水面となるように水位を調整した。ただし, 最低水面は, 海域では大潮干潮面であるのに対して, 水槽実験では日々の干潮面となっている。

また, 後述する水槽実験の結果から抽出された要件について確認するための海域実験(以下, 確認実験)を実施した。確認実験は, 2013年8月に, 図-1に示す小別当において, 上記と同様の手順により作成した試験体をバツ

トに移し替え、確認実験の海域（立石）に設置した。

(2) 実験ケースおよび調査項目

実験ケースの模式図を図-2に、実験ケースを表-2に示す。表-2に示した実験ケース名には、コアマモを採取した海域実験場所（立神干潟または小別当）を示す文字を末尾に付けた。

実験では、前述の生長阻害要因2項目を実験パラメータとした供試体を、以下の6ケース作成した。実験パラメータは、根が切り離されている状態を再現するための「採取深さ」と、根が埋没していない状態を再現するための「シート裏の土壌の有無」とした。採取深さは、供試体を海底から取り上げる際の土壌厚さであり、5cm, 10cm, 15cmの3ケースとした。これらの数値は、既往の報告より（矢野, 2003; 酒井ら, 2005; 奥村ら, 2006）、株移植事例における採取土壌の厚さが10~15cmと判断されたため、15cmを上限として設定した。シート裏の土壌の有無は、写真-1 (b) のように、シート裏の土壌を極力排除し根だけ残したケース「シート法（土無）」と、株移植のように、根と土壌を共に採取したケース「シート法（土有）」の2ケースとした。これら2ケースの供試体は、まず、採取深さに合わせた土壌厚さで供試体を海底から取り上げ「シート法（土有）」を作成し、次に、この供試体を用いて、シート裏の土壌を洗い流すことにより「シート法（土無）」を作成した。したがって「シート法（土無）」は、所定の採取深さに含まれた根が付いた状態となっている。試験体の例として、「シート法（土無）」のケースについて、採取深さが5cmと15cmのシート裏面を写真-4に示す。これらの試験体は、シート面が全ケースで同じ高さになるように、各採取場所の土壌を敷いたバットに設置した。また、比較のためシートを用いない「株移植」と、土壌を用いない「水耕栽培」を実施した。

計測項目は、各ケースの全株数と3株の平均草丈とし、移設直後（2011年8月）から月1回の頻度で1年間計測した。なお、確認実験では、実験ケースは「N5cm-小」の1ケースのみとして10サンプル作成し、同計測項目を移設直後（2013年8月）から月1回の頻度で半年間計測した。

4. 実験結果および考察

(1) 実験結果

図-3および図-4に、全ケースにおける株数と草丈の経時変化を示す。各図は、上段から (a) シート法（土無）、(b) シート法（土有）、(c) 株移植法、(d) 水耕栽培を示した。

まず、株数を見ると（図-3）、(a) シート法（土無）では、N15cm-小とN5cm-小において、移設直後から株数が低下しその後全株が流失した。これらのケースでは、移設直後にシートの一部に浮き上がりが見られていた。そ

図-2 実験ケース（模式図）

表-2 実験ケース

	(a) シート法 (土無)	(b) シート法 (土有)	(c) 株移植法	(d) 水耕栽培
採取 深さ	シート裏面 の土なし	シート裏面 の土あり	土あり	土なし
5cm	N5cm-立 N5cm-小	A5cm-立 A5cm-小	K5cm-立 K5cm-小	S5cm-立 S5cm-小
10cm	N10cm-立	A10cm-立	K10cm-立 K10cm-小	S10cm-小
15cm	N15cm-立 N15cm-小	A15cm-立 A15cm-小	K15cm-立 K15cm-小	S15cm-小

※グレー欄はケース名

（末尾文字はコアマモ採取場所（立：立神干潟，小：小別当））

写真-4 シート法(土無し)のシート裏

の他は、2012年9月まで良好に株が残存した。ただし、2012年2月に急激な株数の減少が見られた。この傾向は、他のケースにおいてもいくつか確認された。この理由は明確に出来ていないが、コアマモの茎頂部（葉鞘部と地下茎の接続部）に切断されたような痕跡が多数確認されたことから、海草の幼芽等を好むヨコエビ類の被害が一因と考えられた。その後は、全ケースにおいて株数の増加が確認された。また、株が良好に残存したケースは、N5cm-立、N10cm-立、N15cm-立であった。このことから、採取深さが5cmのシート法（土無）でも、良好に移植できる可能性が示された。(b) シート法（土有）では、2月の減少傾向を除いて、株は概ね良好に残存した。ただし、A5cm-小は、2011年10月にシートが浮き始め、その後、株が流失したため、2011年10月以降のデータを載せていない。(c) 株移植法では、若干の差異があるもの

の、2012年9月まで全てのケースで良好に株が残存した。これは、株移植について、移し替える土壌厚さが5cm程度でも良好に生長できることを示唆していると考えられる。(d) 水耕栽培は、全ケースとも、移植直後から1ヶ月程度は残存が確認できたものの、株数は減少傾向であった。そして、その後は全株が流失した。株が流失した理由として、根が海水中に露呈したことにより、流れの抵抗を受けて根が切れる、または、吸収できる栄養分が低下する等して、シートへの定着効果が弱まったことが考えられる。水耕栽培は、シート法において確認されたシートが浮き上がった状態に類似していることから、シートの浮き上がりは、根のシートへの定着効果を低減させる要因である可能性が考えられた。

次に、草丈を見ると(図-4)、水耕栽培を除いた全ケースにおいて、季節変化に伴う増減傾向が同様に見られた。このことから、残存した株は良好に生長したと考えられる。

以上より、移植後のコアマモが残存するためには、採取深さ5cm分の根があればよい可能性が示された。また、本方法のように、根が土壌深くに埋没していない状態であってもコアマモが残存することが示唆された。さらに、本方法では、シートが浮き上がると株の流失に繋がることが確認できた。これらのことから、前述した生長阻害要因の2項目は、必ずしも阻害要因に該当しないと考えられた。

(2) コアマモ移植方法の要件

実験結果を基に、本方法において移植後のコアマモが残存するための要件を検討する。まず、移植に必要とされる採取深さ5cm分の根は、移植直後のコアマモが良好に生育するための根の量と考えられることから、満たすべき要件と言える。また、この要件は、コアマモの株移植法にも適用できると考えられ、株移植の土壌厚さは、従来程(10~15cm)は不要であり5cm程度で良好な移植が達成できる可能性が示唆されたと考える。ただし、移植時に必要な根の量は、コアマモ地上部の現存量等により異なる可能性があるため、移植時期を変えた実験等により確認する必要がある。次に、根が土壌深くに埋没している必要がないことについては、本方法により良好なコアマモ移植が実施できる可能性を示すものと考えられる。ただし、シートの浮き上がりを抑える必要があることから、本方法においては、シートと土壌を密着させることが重要な要件と言える。シートと土壌を密着させることにより、コアマモがシートに定着した状態が維持され、良好な生長が促されるものと考えられる。また、採取深さ5cm分の根が必要であることは、コアマモの生育だけでなく、シートへの定着状態を維持するためにも必要な条件であると考えられる。

以上より、本方法において、コアマモが良好に残存するための要件として、採取深さ5cm程度の根があること、

図-3 株数の経時変化

図-4 草丈の経時変化

シートと土壌を密着させることが抽出できた。

(3) コアマモ移植要件の確認実験

ここでは、本方法の要件であるシートと土壌の密着について、これを満たすことによりコアマモの残存状況が改善できることの見当付けをするための実験を実施した。まず、シートと土壌の密着を高める方法を検討するため、

前述のコアマモ移植実験においてシートが浮き上がった要因を考察する。シートが浮き上がったケースの特徴として、小別当の底質を用いたケースに多く見られたことが挙げられる。この理由のひとつとして、小別当は立神干潟に対して底質粒径が細かいことが挙げられ、実験水槽における流れの影響により、小別当の底質が移動しシートの浮き上がりが促されたことが考えられる。実験水槽における流況としては、海水流入時に水表面において数~10cm/s程度の流速が目視確認できる様子であった。また、実験水槽は、その立地条件から(図-1)、小別当や立神干潟に比べて海風の影響を大きく受けると考えられ、相対的に大きな吹送流が発生しやすいことが推測される。参考として、小別当と立神干潟における波浪について述べる。2013年12月から3ヶ月間の常時波高について、サンプリング間隔0.25secで計測した結果、小別当は数cmオーダー、立神干潟は10cm弱の最大有義波高が得られた。この結果には計測の分解能が不足している可能性があるものの、いずれの場所も非常に弱い波浪であることが推測できる。そして、供試体は、海域よりも波または流れによる影響が大きい条件の実験水槽に移されたため、粒径の小さい小別当の底質が移動したと考えられた。このことから、底質の移動が無ければ、その重みによりシートを抑えられることが推測され、本方法におけるシートと土壌の密着性を高める方法として、覆泥が有効であると考えられた。そこで、シートに覆泥を施すことによりシートと土壌の密着性を高め、その後の株の残存状況について確認を行った。覆泥は、供試体コアマモの採取場所である小別当の底質を用いて、シート上の地下茎が埋没する程度覆った。確認実験の場所は、入り江奥に位置する立石であり(図-1)、流れの影響が小さい海域である。確認実験の結果、作成した10サンプル(全てN5cm-小)は、台風18号等の影響による草体の減少が見られたものの、地下茎は残存し、2013年12月には新しい株が確認できた。観察の一例を示すと、覆泥なしに対して、覆泥により株が残存している様子が確認できる(写真-5)。

以上より、本方法における要件であるシートと土壌の密着性を高める方法として、シートへの覆泥が挙げられ、これより要件を満たすことができる可能性が示された。

5. まとめ

本研究では、シート基盤を用いたコアマモ移植方法において、移植後のコアマモが残存するための要件を抽出するために水槽実験を実施し、以下の結果を得た。今後は、本方法について、さらに実用的な適用方法を検討する予定である。

- 1) 移植後のコアマモが残存するためには、採取深さ5cm分の根があればよく、本方法のように、根が土壌深く

写真-5 シート覆泥による株の残存状況

に埋没していない状態であっても残存する可能性が示された。さらに、本方法では、シートの浮き上がりが株の流失に繋がることが確認できた。

- 2) 本方法において、コアマモを良好に残存するための要件として、採取深さ5cm分の根があること、シートと土壌を密着させることが抽出できた。これらの要件は、主にシートとコアマモの定着を維持するための条件であることが考えられた。
- 3) 本方法において、覆泥(覆砂)により、シートと土壌を密着させる要件を満たすことができる可能性が示された。

参考文献

- 奥村宏征(2006):閉鎖性海域の環境創生プロジェクト研究 コアマモ移植実験,三重県水産研究所事業報告平成18年度,(オンライン),<http://www.mpstpc.pref.mie.lg.jp/SUI/jigyoku18/>,参照2008-04-2.
- (財)港湾空間高度化センター(1998):港湾構造物と海藻草類の共生マニュアル,98p.
- 国総研(2007):海辺の自然再生に向けて,国総研沿岸海洋研究部,43p.
- 国分秀樹・森田晃央・宮松亜美・前川行幸(2010):コアマモの地下茎分枝に及ぼす地盤高と底質の影響,土木学会論文集B2(海岸工学)vol.66, No.1, pp1206-1210.
- 越川義功・中村華子・田中昌宏(2011):泥質干潟におけるコアマモ群落形成に及ぼす底質移動の影響,土木学会論文集B2(海岸工学)vol.67, No.2, pp I_1121-I_1125.
- 酒井洋一・赤倉康寛・三宅光一・小早川 弘・高橋由浩・笠原勉・三島京子(2005):手植え法による熱帯性大型海草移植技術の確立について,海岸工学論文集,第52巻,pp.1211-1215.
- 水産庁・マリノフォーラム21(2007):アマモ類の自然再生ガイドライン(オンライン),<http://www.mf21.or.jp/pdf/amamo/guideline.pdf>,参照2007-04-30.
- 高山百合子・片倉徳男・上野成三・湯浅城之(2008):英虞湾における移植基盤を用いたコアマモ移植方法の現地検討実験,海工論文集,第55巻,pp.1266-1270.
- 宮本 康・丸亀貴弘・初田亜希子・國井秀伸(2008):中海におけるコアマモ(*Zostera japonica*)の移植技術の検討(予報),LAGUNA(汽水域研究)15, pp.98-89.
- 矢野米生(2003):絶滅危惧種「コアマモ」の移植に関する試み-中津港海域環境調査-,土木施工,44巻,7号, pp.8-14.