海岸工学論文集，第52巻（2005）
土木学会，1211-1215

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

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*******

これまで，熱帯性大型海草（リュウキュウアマモ，ボウバアマモ等）の移植については，少数の実験例があるが，事業としては実施されていない状況にあった．本研究は，熱帯性海域における藻場生態系の保全に資するため，手植え法（芝植え工法）による試験移植を行い，海草の生態に関する知見を得るとともに，移植技術の確立を図ったものである．その結果，試験移植した海草は，生育面積を拡大，再生産し，これが長期にわたり維持されたことから，手植え法が藻場の保全技術として有効なことを実証した．また，移植適地の選定に当たり，表層でのサンゴ礫の量が地下茎の伸長を左右する条件であることも明らかになった．

1. 序　　論

海藻草類が濃密に繁茂する藻場は，多様な生物が生息し，高い生物生産力と環境保全機能を持っている．そのため，港湾の開発と藻場との共生を将来世代にわたっていくために様々な取り組みがなされている（海の自然再生ワーキンググループ，2003）．

現在，国（沖縄総合事務局）及び県において，沖縄県本島中部圏東海岸の活性化を図るために，海に開かれた国際交流拠点「マリンシティー泡瀬」を形成し，併せて沖縄特別自由貿易地域の港湾施設整備を図る中城湾港泡瀬地区公有水面埋立事業を実施中である．その環境保全措置においては，埋立により消失する密生・濃生域の大型海草種（リュウキュウアマモ，ボウバアマモ）を出来る限り移植し，藻場生態系の保全に努めることとされている．一方，それまで，熱帯性大型海草の移植については，少数の実験例があるが確立された技術とは言い難い状況にあった．本研究は，熱帯性海域における藻場生態系の保全に資するため，手植え法（芝植え工法）による試験移植を行い，その結果を長期モニタリングすることにより，海草の生態に関する知見を得るとともに，手植えによる移植技術の確立を図ったものである．

2. 既往の研究

熱帯性海草については，日本本土の内湾で生育するアマモ等に比べて研究は進んでおらず，その生態的知見は十分ではない（海の自然再生ワーキンググループ，2003）．その移植試験については，これまで糸満市土地開発公社と沖縄総合事務局石垣港工事事務所（現石垣港湾事務所）による例が見られるが，事業規模での移植や造成は実施されていない．

（1）糸満市土地開発公社による試験

糸満市土地開発公社は，糸満市南浜地先において，公有水面埋立事業の一環として，沖縄県水産試験場八重山支場当真武支場長の助言を得ながら，本格的な海草の移植試験を初めて実施している（糸満市土地開発公社，2000）．

具体的には，まず，①芝植え工法，②水こけポット利用及び③竹くし利用の3種の手植え法による予備試験を実施している．その結果，①芝植え工法は，海草の活着率が高く順調に生育したが，②水こけポット利用及び③竹くし利用では，海草が活着・生育しなかった．この結果を踏まえ，リュウキュウスガモ，ベニアマモ，ボウバアマモの3種を，芝植え工法による手植え法によって，それぞれ2 m^2の試験区域に移植試験を実施している．その後の観察の結果では，3種の海草とも，株数が増加し，概ね3～4年間程度維持されている．ただし，波当たりの強い場所に移植したボウバアマモについては，その後台風の影響によって砂ごと海草株が流失している．

糸満市南浜地先の埋立事業では，埋立ては実施されたものの，直接消滅する海草藻場がなかったため，事業規模の移植は実施されていない．ただし，人工海浜によるビーチが整備されており，今後はその区域への移植によって，自然観察ゾーンとしての利用が期待されている．

（2）石垣港工事事務所による試験

熱帯性海草藻場が現存する石垣港新川地区において，マリーナ建設が計画されていることから，これに先立ち，海草の移植試験を実施している（石垣港工事事務所，1998）．

海草の移植手法としては，芝植え工法による手植え法を採用し，リュウキュウアマモを選定して2 m^2の試験区域2箇所に移植している．その結果は，3ヶ月程度の

*　正会員　工修　沖縄総合事務局港湾空港指導官
**　正会員　博(工)　沖縄総合事務局港湾計画課長
***　工修　沖縄総合事務局那覇港湾・空港整備事務所長
****　沖縄総合事務局那覇港湾・空港整備事務所副所長
*****　(財)WAVE主任研究員
******　(株)国土環境主任研究員
*******　(株)国土環境主査研究員

停滞期（ラグ・フェイズ）を経て，1年2ヶ月後には株数が3倍に増加し藻場が形成されている．その後，移植4年後の観察では，一部が台風によってえぐられたが，藻場が維持されていることを確認した．なお，新川地区のマリーナ整備はまだ着手されていないため，事業としての移植は実施されていない．

以上の2例の既往の研究結果においては，芝植え工法による手植え法での熱帯性海草の移植は，条件の良い場所で小規模に実施すれば可能性があることが示されていたが，大規模造成に向けた幅広い条件の場所への移植や，台風による高波，漂砂対策に課題がみられた．

3. 手植え法による泡瀬地区での移植試験

本章では，本研究において対象となる熱帯性藻場生態系の特徴，さらには，手植え法による移植試験の概要について述べる．

（1）実施海域の熱帯性藻場生態系の特徴

実施海域である中城湾港泡瀬地区は，日本唯一の亜熱帯である沖縄県の東部海岸に位置し，複数の大型・小型海草種による混生藻場が形成されている．大型海草種としてはボウバアマモ，リュウキュウアマモ，ベニアマモ，リュウキュウスガモの4種であり，岸沿いに広がる干潟の沖側，C.D.L. +0.5～－4mの浅海域を中心として分布している（図-1）．

当海域は，毎年台風等による高波に曝される他，サンゴ礫混じりの砂質土に覆われており，藻場はこうした亜熱帯特有の生育環境の中で，生育し維持されている．

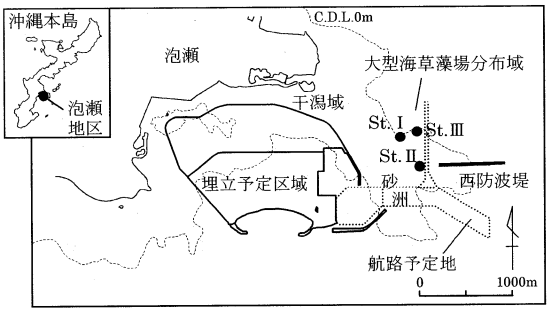

図-1　中城湾港泡瀬地区の大型海草藻場分布

（2）移植方法の種類

本事業の実施に当たっては，海草移植の方法として，人の手による手植え法と，施工機械による機械化工法が検討された．両手法について，それぞれ技術確立が試みられてきているが，その課程で，機械化工法については，大規模な移植には適しているものの，手植え法に比べ，移植後の活着率や生育に課題があることが判明している．

本研究は，藻場生態系の保全に向けて，これまで泡瀬地区埋立事業者において実施されてきた試みの中で，技術的に確立したと考えられる手植え法について対象とするものである．他の取り組みについては，参考文献（川上ら，2003；浦辺ら，2003）を参照されたい．なお，本研究における手植え法は，既往の研究結果を踏まえて，芝植え工法を採用している．

（3）移植試験の概要

平成10年7月，手植え法による移植試験を，図-1に示すSt. I，II，IIIの3地点において実施した．移植先はいずれも自然藻場内にパッチ状に形成された海草の分布しない砂地であり，C.D.L. ± 0m付近に位置している．底質は，サンゴ礫混じりの砂質であり，転石も点在している（写真-1）．

本研究においては，熱帯性海草の繁殖が栄養株による分枝が主体であることを考慮し，地下茎を傷つけないよう周囲の土ごと移植した．移植対象の海草株の採取については，移植株採取地点の近傍の藻場内において，ボウバアマモとリュウキュウアマモの良好な生育状況の株を選定し，ダイバーがスコップを用いて20cm四方，深さ10cmの大きさの底土を掘り起こし，土ごと株を採取した（写真-2）．移植においては，移植先の海底に穴を掘り，株に付いた土を崩さないよう注意しながら植え付けた（写真-3，図-2）．

1地点あたりの移植の規模は，20cm四方の底土付きブロックの個数でボウバアマモ23個，リュウキュウアマモ23個であり，それぞれ2m四方の範囲内に植え付けた．また，本試験での移植先は，事業としての実施を視野に入れ，移植事業実施候補地内で，底質が異なる3地点を対象とした．

移植した株の植え付け断面は図-2，配置は図-3のとおりであり，20cm四方の底土付き株を互いに20cmの間隔をあけ，千鳥格子状に植え付けた．これは，熱帯性

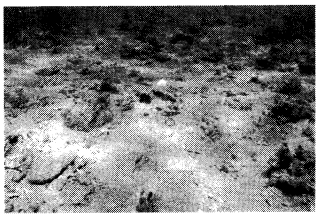

写真-1　移植先の海底状況（St. II）

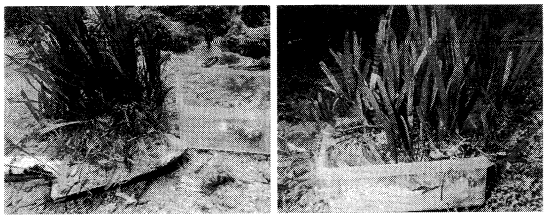

写真-2　移植株の採取状況

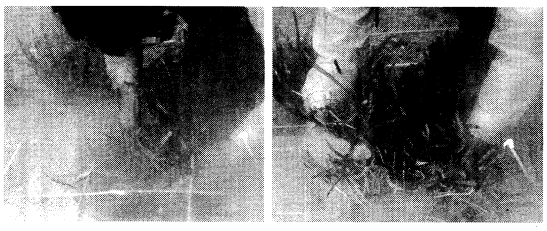

写真-3　移植状況

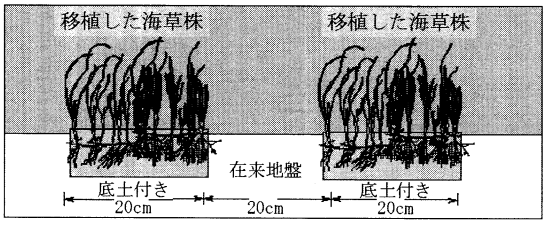

図-2　手植え法による植え付け断面模式図

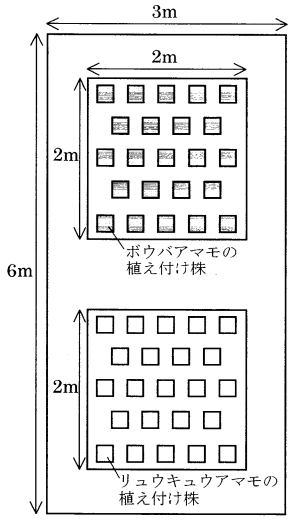

図-3　移植株の平面配置図

海草が根の伸長と株の分枝によって繁殖することから，大規模な移植に向けて，あらかじめ移植株の周りに伸長・分枝のための空間を設け，効率的な藻場の拡大を期待したものである．

4. 移植試験のモニタリング結果

本章では，移植試験結果について，長期にわたるモニタリング結果及び台風に対する減耗について述べる．

（1）モニタリング結果

移植後，海草の生育状況について約6年半（平成17年1月現在）にわたってモニタリングを行ってきている．

a）ダイバーによる観測結果

図-4は，ダイバーが水中で海草の分布範囲をスケッチした図を時系列に整理したものである．いずれの地点でも，3カ月後には移植当初の千鳥格子状の配置が変化し始め，6カ月後には株と株の間にあけた空間が，新たな株の生産と地下茎の伸長によって埋まりつつある．さらに，1年後には2m四方の移植範囲のほぼ全体に分布が広がり，当初20cm四方の小さなブロック状に移植した株が，一体的なまとまりをもつ藻場へと発達した．

その後，St. Ⅱにおいては1年7カ月後，St. Ⅲでは2年7カ月後に2m四方の移植範囲をこえて3m×6mの観察枠内全面に繁茂し，さらに，当初分けて移植したボウバアマモとリュウキュウアマモが一様に混生するようになって，周囲の自然藻場と一体化した（図-4）．生育面積でみると，移植面積は約2m^2，観察枠全体の面積は18m^2であるので，3年以内に概ね9倍に面積拡大している．この状態は，その後も長期にわたって維持され，移植4年目にあたる平成14年に台風が相次いで来襲した際も，St. Ⅲでは一部が流失し面積が減少したが，その1年後には回復している．

b）株数の計数結果

モニタリングでは，株数の計数を行った．その変化をみると（図-5），移植6カ月後から1年後にかけて，3地点中2地点（St. Ⅱ，Ⅲ）で急激な増加を確認している．このことも，移植株から新たな株が生産されたことを裏付けている．その後の経過も，ダイバーによる模式図とほぼ対応しており，観測結果を数値的に裏付けている．

（2）台風による減耗

現場海域においては，表-1に示すように，平成14年以降も，15年，16年と大型の台風が来襲した．特に，平成16年の台風23号においては，中城湾湾口部に位置する津堅島において既往最高の高波を記録した．図-4及び図-5に見られるように，移植海草は，周囲の自然藻場と一体化した後であるにもかかわらず，これらの台風の影響を受け，平成15年の8月以降大きな減耗が生じた．平成15年8月と平成17年1月の株数を比較した場合，St. Ⅰは約2倍になっているものの，海草が繁茂していたSt. Ⅱでは8割減，St. Ⅲも6割減となった．台風後には，それぞれの移植地点の海草は，一部に回復基調が見られているが，以前と同じ状況までは回復していない．

これらの台風による減耗が，自然藻場でも生じているかどうかを確認した．図-6は，泡瀬海域全体での藻場の広域分布調査結果であるが（沖縄総合事務局他，2000～2005）．当該海域においては自然藻場でも，平成14年以降，高被度域の面積が年々低下している．この低下がすべて台風による減耗が原因であるかどうかは確定できないが，大きな要因であると推測される．このことから，自然藻場と一体化後の平成15年～16年の台風による減耗は，移植海草の減耗が，移植技術が原因ではなく，

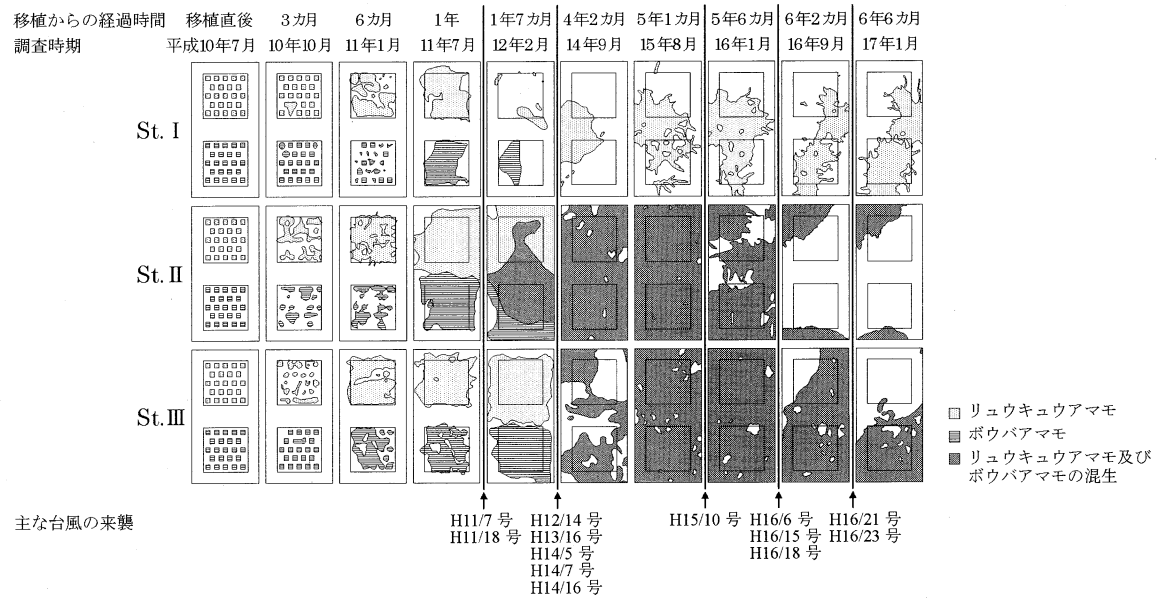

図-4　移植海草の分布範囲の変化

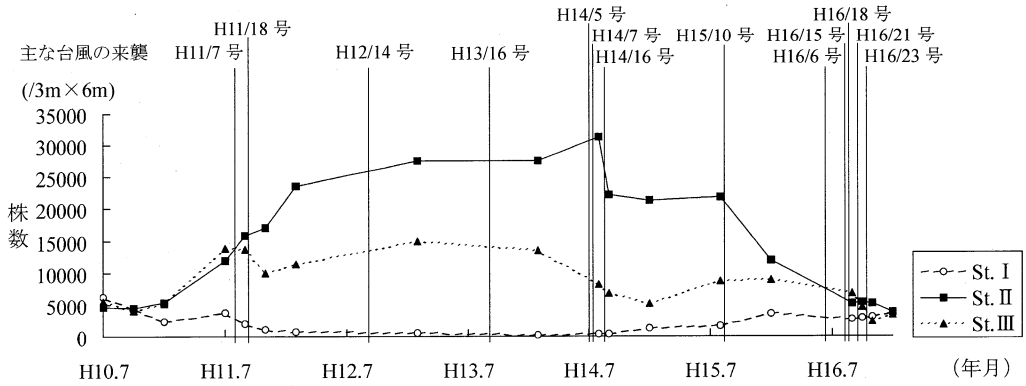

図-5　移植海草の株数の変化

表-1　移植後に来襲した主な台風

年	月/日	号数	有義波(津堅島)	
			波高(m)	周期(s)
平成11年	8/1	7	6.44	10.5
〃	9/23	18	8.87	9
平成12年	9/12	14	6.56	10.6
平成13年	9/8	16	6.84	6.9
平成14年	7/3	5	7.13	11.5
〃	7/14	7	9.04	12.6
〃	9/4	16	7.83	13.5
平成15年	8/6	10	9.6	15.5
平成16年	6/19	6	7.66	13.9
〃	8/17	15	7.66	11.7
〃	9/5	18	7.81	12.5
〃	9/25	21	7.21	11.4
〃	10/19	23	>9.17	11.7

注）>9.17は，9.17 m を記録した後欠測

自然藻場でも生じる変動であり，この海域では避けられないものであったと考えている．

（3）移植地の底質についての考察

St. Ⅰについては，（**1**）に示したとおり，移植当初から生育が悪い状況にあった．定性的には，砂中にサンゴ礫が多いと報告されていたが，これを定量化するため，平成14年8月に底質の貫入試験を実施した．具体的には，ダイバーが直径8 mm の鉄筋棒を1地点あたり20回海底に差し込み，貫入深度を測定した．その結果によると(図-**6**)，St. Ⅰでは5 cm 以下の頻度が他の2地点よりも多く，底土表層部に礫が多いことを示した．ボウバアマモやリュウキュウアマモの地下茎は表層から5～10 cm 程度の深さまで伸長することから，特に5 cm 以内の表層部に礫が多い場所に移植する場合は，地下茎の伸長を阻害するものと考えられる．なお，図-**7** における自然

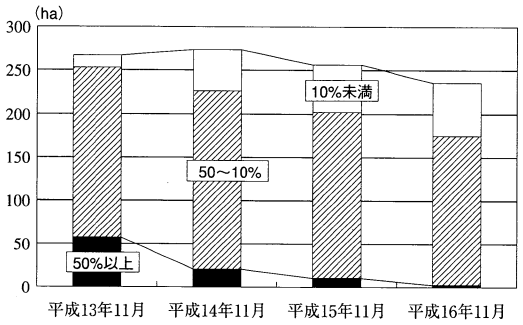

図-6　泡瀬海域における自然藻場の変動

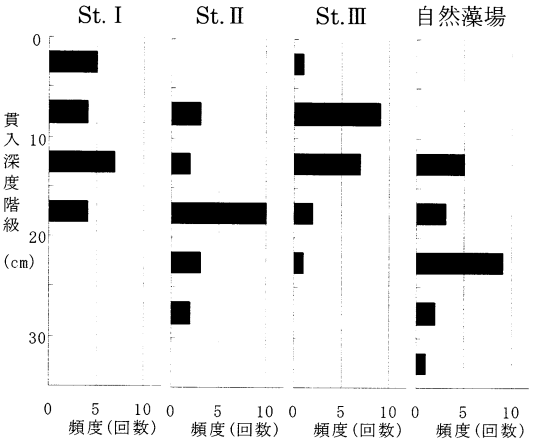

図-7　藻場内における底質貫入試験結果

藻場の測定点は，St. IIとIIIの間に位置している．

5. 試験結果についての評価

前章で示したとおり，移植した海草株は，3地点中2地点で，移植後1年以内に生育面積の拡大と株の再生産が認められ，その後，周囲の自然藻場と一体となって，移植後5年目，6年目に台風減耗を受けるまでの期間，長期にわたって維持された．これだけ長期間維持されたことは，移植株の成長や再生産が一時的なものでないことを示しており，本研究の手法が藻場生態系の保全技術として有効なことを実証したものと考える．

本研究の手法の利点として考えられる事項を以下に整理した．

・底土が付いた状態で採取，移植することで，地下茎を極力傷つけずに移植することができる．熱帯性海草は株の分枝や根の伸長による繁殖が主であることから，地下茎を傷めないことが重要である．

・間隔を開けて千鳥格子状に移植することで，規模の大きな移植において，その後の成長によって効率的な藻場の形成を図ることができる．

なお，移植の適地選定に当たっては，底質の礫量が自然藻場に近い状態である場所が望ましいことも明らかになった．

上記結果を踏まえ，平成14年12月～15年1月にかけて，確立した手植え法によって240 m^2の範囲に移植事業を行った．現在モニタリングを実施中であるが，移植から1年以上経た現在も生育を確認している．

6. 結　　論

これまで例がなかった熱帯性大型海草の移植技術として，手植え法を確立した．また，長期モニタリングをとおし，移植後の生育過程や環境との関連性を明らかにした．これらの結果は，熱帯・亜熱帯海域における今後の藻場生態系の保全に有用であると考える．

謝辞：本研究は，中城湾港泡瀬地区公有水面埋立事業に係る環境監視検討委員会海藻草類移植・保全WG（～平成14年度）及び環境保全・創造検討委員会海藻草類専門部会（平成15年度～）において，鹿児島大学野呂教授（主査・座長）を始めとする学識経験者に多くの指導助言をいただいたことを記し，感謝の意を表します．

参　考　文　献

糸満市土地開発公社(2000)：平成11年度糸満市南浜地先公有水面埋立事業に係る環境追跡調査等の取り組み状況報告書．

浦辺信一・安次嶺正春・川上泰司・溝口忠弘・笠原勉・三島京子(2003)：藻場移植における台風対策について，海洋開発論文集，Vol. 20, pp. 1001-1006.

沖縄開発庁沖縄総合事務局石垣港工事事務所(1998)：平成9年度石垣港海藻類調査報告書．

川上泰司・小早川弘・溝口忠弘・三島京子・小畠大典(2003)：熱帯性藻場生育条件の把握の試み，海洋開発論文集，Vol. 20, pp. 431-436.

国土交通省港湾局監修／海の自然再生ワーキンググループ(2003)：海の自然再生ハンドブック　第3巻藻場編．

内閣府沖縄総合事務局開発建設部・沖縄県土木建築部・(財)港湾空間高度化環境研究センター(2000～2003)：中城湾港泡瀬地区環境保全・創造検討委員会資料．

内閣府沖縄総合事務局開発建設部・沖縄県土木建築部・(財)港湾空間高度化環境研究センター(2003～2005)：中城湾港泡瀬地区環境監視検討委員会資料．