

熱帯性藻場生育条件の把握の試み

THE INVESTIGATIONS INTO THE ENVIRONMENTAL REQUIREMENTS OF TROPICAL SEAGRASS BEDS

川上泰司¹・小早川弘²・溝口忠弘³・三島京子⁴・小畠大典⁵
Taiji KAWAKAMI, Hiromu KOBAYAKAWA, Tadahiro MIZOGUCHI,
Kyoko MISHIMA and Daisuke OBATA

¹工修 内閣府 沖縄総合事務局 開発建設部 現)国土交通省 港湾局 環境整備計画室
(〒900-8530 沖縄県那覇市前島2-21-7)

²内閣府 沖縄総合事務局 那覇港湾空港工事事務所 中城湾港出張所
(〒904-2162 沖縄県沖縄市海邦町3-25)

³正会員 (財)港湾空間高度化環境研究センター 港湾・海域環境研究所
(〒108-0022 東京都港区海岸三丁目26-1 パーク芝浦 6F)

⁴国土環境株式会社 生態解析本部 (〒154-8585 東京都世田谷区駒沢3-15-1)

⁵株式会社エコー 沿岸デザイン本部 (〒110-0014 東京都台東区北上野2-6-4)

This paper investigates into the type of growth environment required for the tropical seagrass of Okinawa sea area. Due to the open geographical location of Okinawa sea area, the tropical seagrass beds in this area are often subject to typhoon waves and strong currents. These physical factors are known to alter the seafloor structure, and confirmed that it leads to the disappearance of the seagrass beds and limitation of their growth. In order to determine the ideal growth environment for the seagrass, a new parameter, which measures the depth of seafloor sand layer was introduced.

Key Words : *Tropical seagrass bed, typhoon waves, growth environment, sand layer*

1. はじめに

沖縄本島の東側に位置する中城湾港泡瀬地区は、リュウキュウアマモ、ボウバアマモなどの海草類やホンダワラ類などの海藻類の熱帯性藻場が分布する干潟・浅海域である。当海域では、現在、中城湾港泡瀬地区公有水面埋立事業が進められており、同事業によって藻場の一部が消失することから、残される海草藻場を保全するとともに、消失する海草を有効活用（採取）し、埋立区域外に移植することで、事業に伴う影響低減を図ることとしている。移植については、消失する藻場の主要構成種であるリュウキュウアマモ、リュウキュウスガモ、ボウバアマモ、ベニアマモの大型海草を対象に、平成10年から移植実験を行い、その成果やそれまでの調査に基づき移植適地の選定を経て、平成14年に移植工事を実施し、現在もモニタリング調査を継続中である。

本稿では、これまでに行ってきた現地調査や実験結果の分析から、熱帯性藻場（大型海草）の生育条件について検討を行った。また、その結果から底質の貫入深度という新しい指標を用いた生育条件を把

握する方法を提案した。さらに、台風による影響が大きい熱帯性藻場における砂の変動量と海草藻場の発達の関係について検討を行った。

2. 大型海草藻場の変遷

泡瀬地区の大型海草藻場分布の変遷は、これまで数次にわたって撮影された航空写真（図-1）と潜水調査による藻場分布図（図-2）により確認できる。

航空写真による海草藻場分布の変遷をみると、西防波堤の築造前後（昭和52年と平成3年以降）では藻場面積が約2.5倍拡大している。このことから、防波堤築造に伴う環境条件の変化（外力の低減や海底地盤（底質）の安定など）が海草の好適条件を創りあげたと考えられる。

一方、潜水調査による海草藻場分布の変遷では、年々消長が繰り返されながら藻場域が移動している。平成15年の台風期前後での藻場分布を比較すると（図-3）、藻場の縁辺部での変化が大きく見られ、台風時に来襲する高波浪の影響が大きいと推察された。

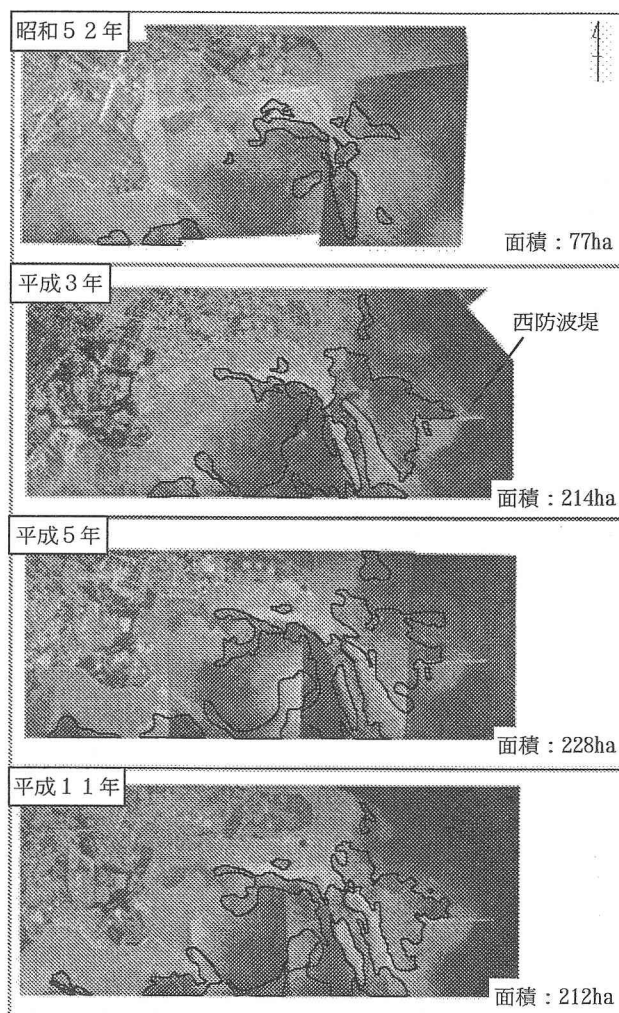
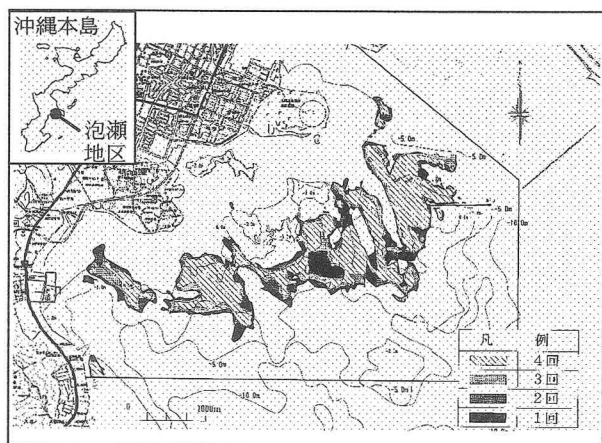


図-1 航空写真による海草藻場の変遷



注) 平成13年11月、14年11月、15年6月、15年11月の計4回の藻場分布調査により出現が確認された頻度(回数)を示す。

図-2 潜水調査による大型海草藻場分布

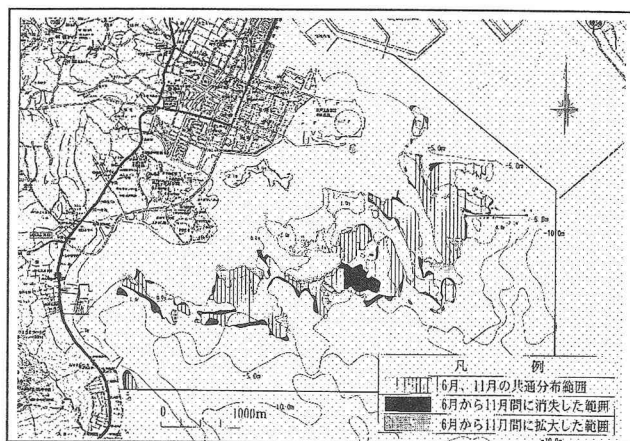


図-3 台風期前後の藻場分布の変化

3. 熱帯性海草藻場の生育条件の把握

海草の生育を支配する重要な各要因としては、水深、光量、水質、外力、底質などが一般的に挙げられる。¹⁾ ここでは、泡瀬地区の大型海草藻場を形成する環境要因について、各種調査結果から検討した結果を以下に述べる。なお、水質(濁り、有機物)については、海域全般で良好(SSは概ね2mg/l以下、CODは2mg/l以下)^{3) 4)}であり、水中光量(年間平均値)についても濁度から換算すると3~6E/m²/日となり、本州のアマモ場形成に必要な光量(年間平均値)の下限値2.5E/m²/日¹⁾は確保している。

(1) 水深条件

大型海草藻場分布と水深の関係を図-4に示した。同結果によれば、水深C.D.L.+0.5~-4.0mの水深帯に大型海草が生育しており、特に水深C.D.L.±0.0~-2.0mの水深帯に集中している。被度についても同水深帯において高被度の海草群落が多い。

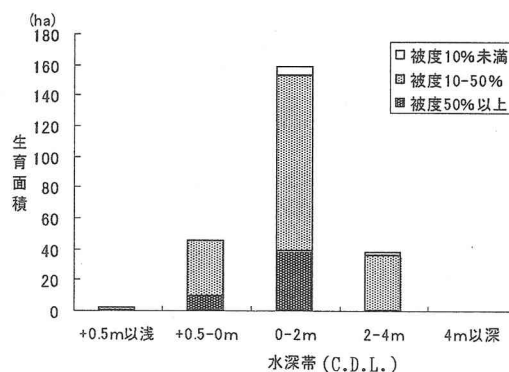


図-4 大型海草藻場の水深別分布面積

(2) 外力による影響

当該地区は中城湾の北側奥部に位置し、東系から南系の波浪が来襲する。中城湾は勝連半島や津堅島、久高島、さらには島々間に発達したリーフが存在しているため、外洋からの進入波の影響は小さい。しかしながら、湾の長軸は20Km程度あることから、湾内発生波により高波浪が出現することもあり、台風

時には外洋からの侵入波と合成され、有義波高が3.0mを超えることも度々ある。このような海域に生息する海草藻場は、台風時の高波浪により海草が流出したり、砂によって埋没したりし、消長を繰り返しながら自然の藻場を形成してきている。外力による影響は水深や場所によって異なることから、ここでは、大型海草類の分布状態と外力の関係を整理し、生育しやすい条件について検討を行った。なお、当該地区の海草藻場の底質粒径は、場所により差があり均一性が無いことから、底質粒径の影響が小さい底面せん断力による解析を行い、次にシールズ数による解析を行った。

a) 底面せん断力分布と海草藻場分布の関係

図-5は平成14年7月に来襲した台風5号の最大有義波（泡瀬冲到達波： $H1/3=2.24m$ ， $T1/3=5.3sec$ ，波向SE；年数回発生する波に相当）を用いて、エネルギー平衡方程式を解く方法に合田の碎波式¹⁾および高山らによるリーフ上の波高式²⁾を考慮したモデルで計算した波高分布図と大型海草藻場を重ねたものである。図-6は同計算結果からJonssonの摩擦係数を用いた底面せん断力の分布と大型海草藻場を重ねたものである。また、図-7は大型海草藻場分布域における水深帯別底面せん断力を示したものである。

同結果によれば、大型海草藻場分布と底面せん断力との関係は良く対応しており、底面せん断力が $15\sim20dyn/cm^2$ の場所に多くの海草藻場が形成されていることが確認できる。一方、大きな底面せん断力が発生する場所にも海草藻場が形成されているが、台風通過後の藻場の被害状況を確認したところ、概ね $40dyn/cm^2$ 以上の場所では、藻場周縁部において、海草の消失や地下茎の露出などの被害が見られた。

（写真-1、写真-2）

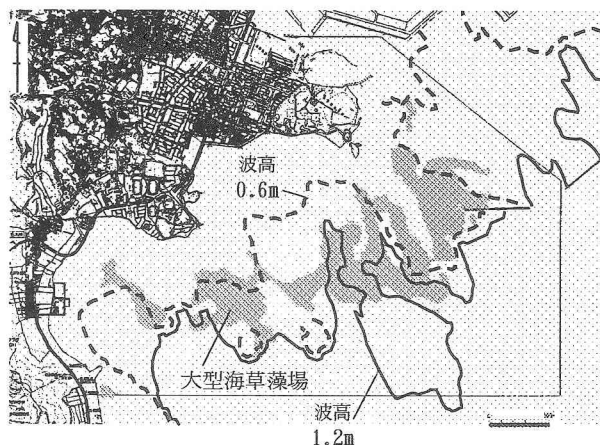


図-5 台風時の波高分布と大型海草藻場の分布

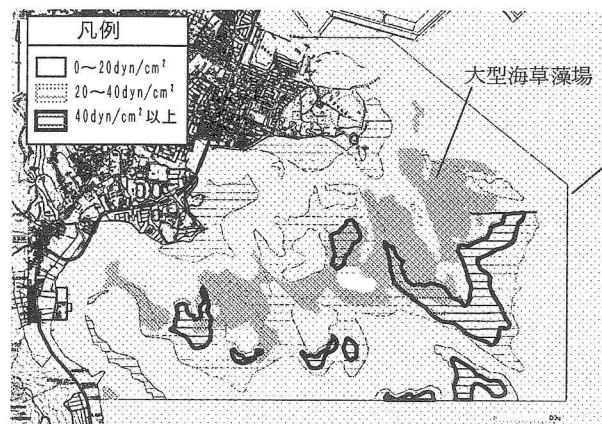
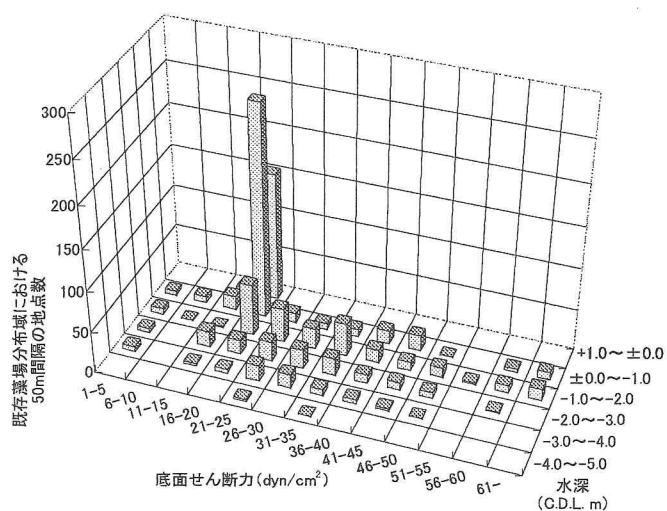


図-6 底面せん断力分布と大型海草藻場分布



注：1. 藻場分布は平成13年11月の調査結果に基づく。
2. 底面せん断力は平成14年台風5号時の波浪による算定値を使用。

図-7 藻場分布域における水深帯別底面せん断力



写真-1 台風通過後砂に埋まった海草



写真-2 台風通過後地下茎が露出した海草

b) シールズ数と海草藻場分布の関係

砂の動きについては、シールズ数を用いて評価することが多い。ここでは、底質粒径を $d=1.0\text{mm}$ としてシールズ数を求め、海草藻場分布との関係について解析を行った。図-8にシールズ数と海草藻場分布の関係を示した。

本州のアマモ場の場合、シールズ数は0.08以下が適した条件であるとの調査例⁷⁾や0.1~0.5の範囲が生息分布範囲であるとの報告⁸⁾がある。本検討では、シールズ数が0.09~0.12の値を示す場所で多くの海草藻場が形成されており、好適条件としては本州のアマモ場の条件とほぼ同様であった。

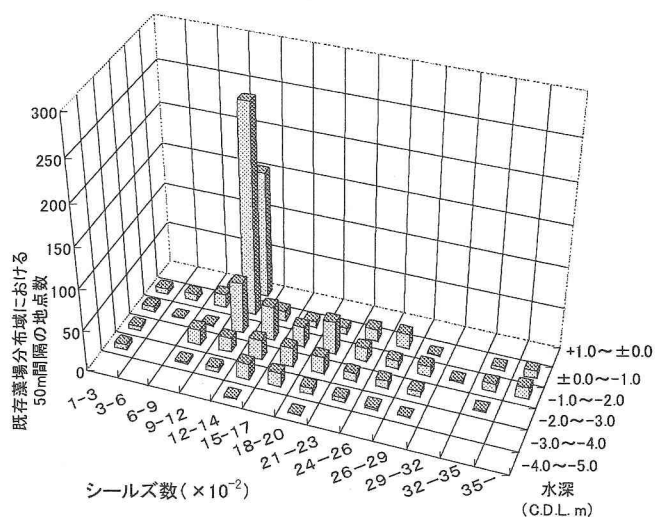


図-8 藻場分布域における水深帯別シールズ数

(3) 底質の条件

a) 底質粒径

海草藻場における底質中央粒径 (d_{50}) は、0.23~1.15mmの範囲であった。しかし、底質として砂質成分が必ずしも強いとは限らず、サンゴレキも多く含む底質状況となっている。当地区の底質は、石灰質層を基盤とする岩盤上にサンゴレキやサンゴレキ

が削れた砂質成分、背後域からの島尻層群の泥岩を起源とするシルト成分により形成されている。海草藻場には底質を安定化させる機能があるため、藻場内は徐々に細砂成分が強くなると考えられる。また、海草の遷移状況からもサボテングサなどの小型海草が徐々に形成される中で、底質成分も徐々に砂質性が強く現れ、大型海草が形成できる土壌環境が成立しているものと推察できる。

b) 底質の貫入深度（砂層の厚さ、砂中の岩や転石の多寡）

海草は砂中に地下茎を伸ばして生育するため、砂中に根の伸張を妨げる岩や転石が存在すると生育が妨げられる恐れがある。このため、砂層の厚さや砂中に岩や転石が少ないことも重要な条件と考えられる。そこで、当該地区の西防波堤の背後域に存在する自然の大型海草藻場内と藻場外、さらには平成10年7月に海草移植を行った実験サイトの藻場内と藻場外において、ダイバーにより鉄筋棒 ($\phi=8\text{mm}$) を使って20回の貫入試験を行い、海草藻場内と藻場外における貫入深度と出現回数の比較を行った。

図-9に自然の海草藻場内と藻場外における貫入試験結果を示し、図-10に海草移植実験サイトにおける貫入試験結果を示した。また、図-11(1)~(3)には平均貫入深度と底質中央粒径およびレキ・細砂・シルトなどの底質成分割合との関係を示した。

同結果によれば、藻場内の方が底質への貫入深度は深く、藻場外では10cm以上の深度の出現回数が極めて少ないことが明らかとなった。また、細砂やシルト・粘土成分が多い傾向を示した。このことから、海草の存在によって砂の堆積が促進され、根の伸張にいつそう適した条件が形成されることを示していると考えられる。

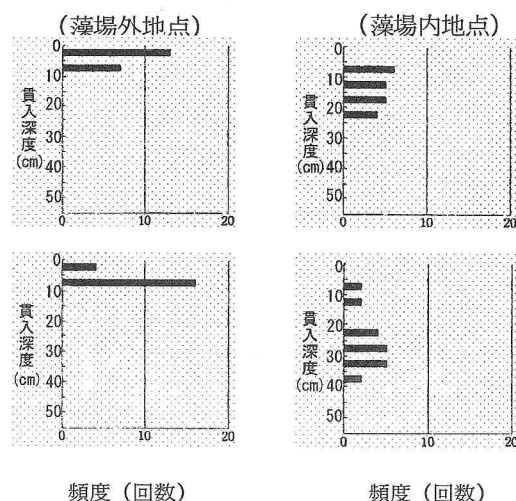


図-9 自然藻場内外における底質貫入深度

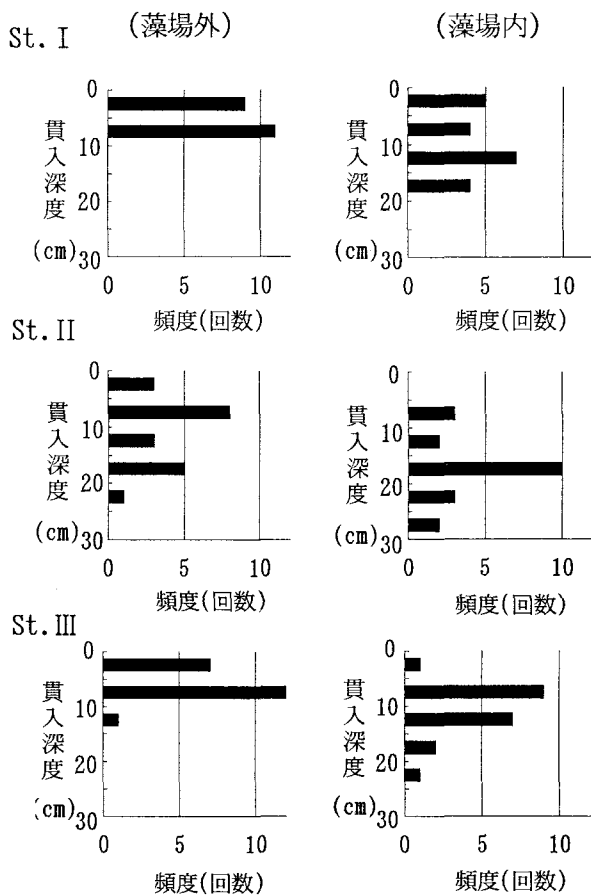


図-10 移植実験サイトにおける底質貫入深度

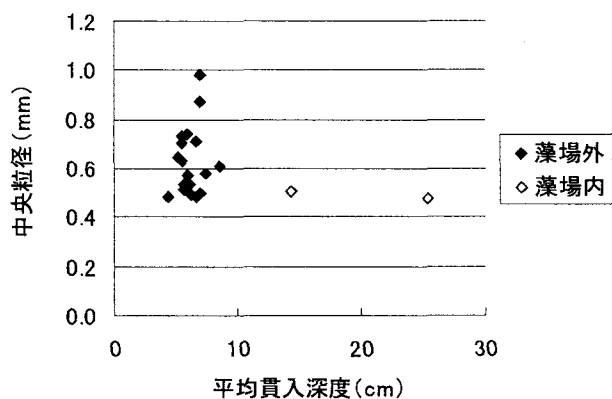


図-11(1) 底質貫入深度と底質中央粒径の関係

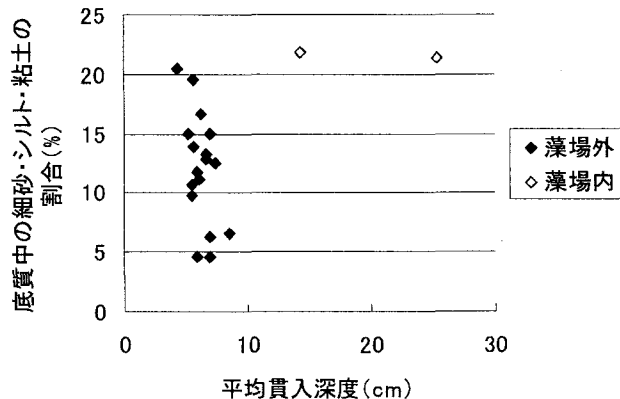


図-11(2) 底質貫入深度と底質成分割合の関係
(細砂・シルト・粘土)

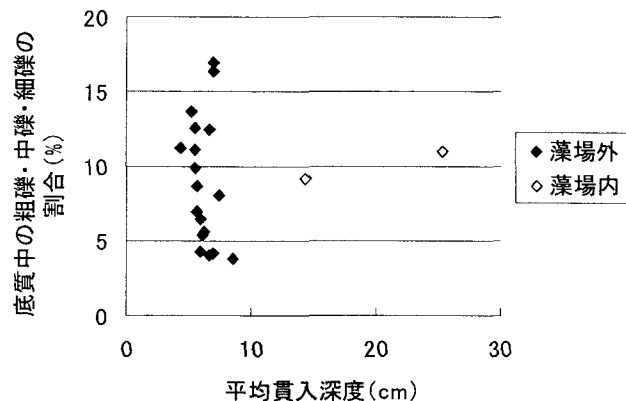


図-11(3) 底質貫入深度と底質成分割合の関係
(粗レキ・中レキ・細レキ)

4. 底質基盤の安定性と海草藻場の発達

当該地区の熱帯性海草藻場は、台風による一時的な制限要因により藻場分布が変化することが明らかになった。このような海域において、藻場の保全・造成を行う場合には、台風対策、とりわけ底質基盤の安定性に対する検討が重要となってくる。既往の知見では、九州より以北に分布する海草藻場（アマモ場）は内湾の砂泥質に生育し、底面の砂面変動が3cm/月以内の場所が生育適地であるとされている²⁾。しかしながら、熱帯性藻場における同様の知見は乏しい。そこで、ここでは、平成15年1月に行った手植えによる海草移植の調査結果に基づき、底質基盤である砂面変動量と海草の生育面積の関係について検討を行った。

図-12は、海草移植地点に設けた2m×2m枠のモニタリングポスト内（2カ所）における経年的な砂面変動量と生育面積を示したものである。同結果によれば、海草の移植による初期減耗の影響が含まれていると思われるが、砂面変動量のトレンドと海草の生育面積の変化がほぼ一致し、相関性が高い結果を示した。また、砂面の変動量が2～3cm以上増加（堆積）すると海草の生育面積が増え、逆に、砂面変動量が減少（浸食）すると生育面積が減るか、横這い状態であった。

この結果から、砂の堆積により根が伸張しやすくなり海草の生育面積が増え、海草が増えると、さらに砂の堆積が促進され、好適条件が繰り返しながら海草藻場が発達していくと考えられる。したがって、海草藻場の保全・造成に際しては、海底基盤の安定性を確保することが重要である。なお、砂の急激な堆積は藻場を消失させる原因でもあり、寺脇ら¹⁰⁾は、アマモの埋没深度が葉条長の20%以上になると生残率が低下することを指摘しており、注意が必要である。

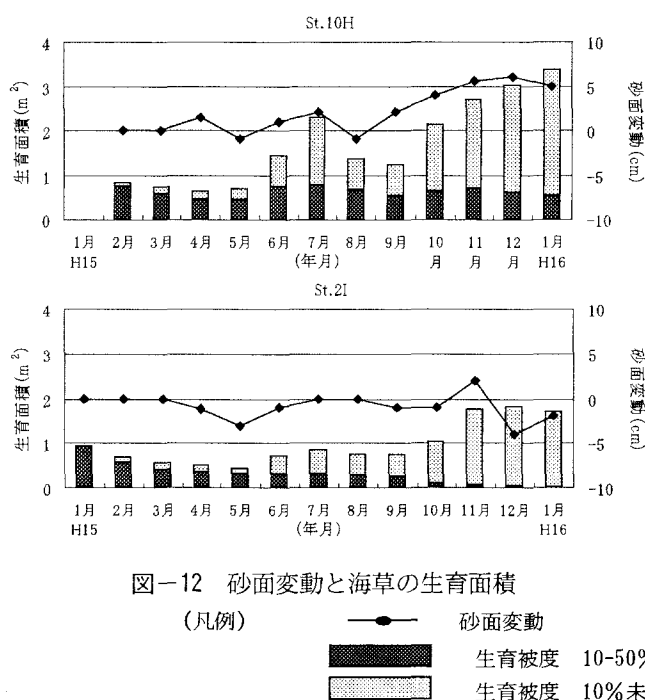


図-12 砂面変動と海草の生育面積

(凡例)

●—● 砂面変動
 ■ 生育被度 10-50%
 ▨ 生育被度 10%未満

注) 生育面積は2m×2mコードラート内で計測。

5. おわりに

日本国内に分布する海草藻場のうち、本州のアマモ場の生育条件については既往の知見が蓄積されているが^{2) 9)}、熱帯性藻場については調査例が乏しい。そのため、移植等の保全施策の実施に際しては、生育条件への理解を深める努力を行いながら、順応的に実施していくことが重要である。

亜熱帯に位置する沖縄地方は、台風時の外力による攪乱が大きく、底質はサンゴレキや転石、岩盤を多く含むなど、内湾の静穏域に発達する本州のアマモ場とは異なる環境特性を持っている。このため、生育条件の把握においては、外力と底質について特に留意する必要がある。

台風時の外力については、底面せん断力とシールズ数を用いて定量的な検討を行った結果、底面せん断力が15~20dyn/cm²、シールズ数が0.09~0.12の場所に多くの海草藻場が形成されており、本州のアマモ場の好適条件とほぼ一致した。また、40dyn/cm² (シールズ数0.23) 以上の底面せん断力を示した藻場周縁部では、台風による被害を確認した。

底質については、転石や岩が多く混在する泡瀬地区の特性を適切に把握するため、貫入深度という新しい指標を用いた生育条件の把握手法を提案した。同手法によれば、藻場内と藻場外では貫入深度に違いがみられ、藻場内の方が底質基盤への貫入深度が深く、砂層が厚いことが明らかになった。これは、海草の生育によって砂の堆積が促進されることを示しており、砂面変動の測定結果からも、砂の堆積と生育面積の拡大が相互に関係していることが推察された。

今後は、波・流れの共存場における底面せん断力の検討や場所毎の底質情報を考慮したシールズ算定など、海草のモニタリング情報と併せて、海草の生息条件の精度向上を図っていく予定である。

泡瀬地区の海草藻場は、分布の変遷からもわかるように、台風による減少と生育による拡大を繰り返す中で維持されていると考えられる。今後の保全策として、藻場分布の保全・拡大を図るには、減少要因の制御とともに、生育をはやめる工夫も重要と考えられ、それに向けては底質基盤に着目した砂の堆積促進や安定化方策が、今後の課題の一つであると考えている。

謝辞：本調査の解析に際しては、中城湾港泡瀬地区環境保全・創造検討委員会 海藻草類専門部会（座長：鹿児島大学 野呂忠秀教授）の委員の方々に貴重なご意見、ご指導をいただいた。ここに深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 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：海の自然再生ハンドブック（第3巻藻場編），2003。
- 2) 川崎保夫・飯塚貞二・後藤弘・寺脇利信・渡辺康憲・菊池弘太郎：アマモ場造成法に関する研究，（財）電力中央研究所報告総合報告，1988。
- 3) 沖縄総合事務局那覇港湾空港工事事務所，（財）港湾空間高度化環境研究センター 港湾・海域環境研究所：平成13年度中城湾港泡瀬地区環境整備計画調査業務報告書，2002。
- 4) 沖縄総合事務局那覇港湾空港工事事務所，（財）港湾空間高度化環境研究センター 港湾・海域環境研究所：平成14年度中城湾港泡瀬地区環境整備計画調査業務報告書，2003。
- 5) 合田良實：港湾構造物の耐波設計，鹿島出版会，pp.67-70,1977。
- 6) 高山知司・神山 豊・菊地 治：リーフ上の波の変形に関する研究，港湾技研資料，No.278，1977。
- 7) 丸山康樹・五十嵐由雄・石川雄介：アマモ場適地選定方法—岸側の砂移動限界—，海岸工学論文集 vol.34, pp.227-231.1987。
- 8) 中瀬浩太・田中裕一・檜山博昭：海浜変形予測手法を用いたアマモ場成立条件に関する研究，海岸工学論文集39，1992。
- 9) （社）日本水産資源保護協会：環境が海藻類に及ぼす影響を判断するための『判断基準』と『事例』，pp.38-47。
- 10) 寺脇利信・飯塚貞二：アマモの生育に及ぼす移植条件の影響，電源立地点の藻場造成技術の開発 第2報 アマモの生育に及ぼす移植条件の影響，電力中央研究所報告 U485013，1985。