

25. 日本の亜熱帯海域における海草藻場の評価手法に関する研究

担当機関 経済産業省 独立行政法人 産業技術総合研究所 山室真澄
農林水産省 水産総合研究センター西海区水産研究所石垣支所

重点強化事項 水環境 研究期間 平成 12 年度～平成 14 年度
研究予算総額 103,875 千円

研究の背景と目的

海草藻場は、栄養物質吸収機能や多様な動物の初期成長の場として重視されている生態系である。特に亜熱帯・熱帯海草藻場は、それに依存している水産上重要な生物のみならず、ウミガメ類やジュゴンなどの絶滅危惧種が海草を専食する。さらには海草藻場によって栄養物質や懸濁物質がトラップされることで好適な環境を維持していると考えられるサンゴ礁生態系の保全にとっても、重要な場所である。

日本では亜熱帯海草藻場は沖縄県を中心に分布するが、1989 年に行われた全国調査によると、亜熱帯海草藻場は 1978 年の前回調査より増加していた。報告ではこの結果を過大評価によるものと解釈し、その理由として短期間で増減する種類が存在すること、空中写真の読みとりに伴う誤差が大きいことを指摘している。

日本の温帯域に分布する海草はアマモ類で、長さ 1m 以上のものが大部分であるが、亜熱帯域においては 7 属 10 種が分布し、最も小さいウミヒルモ類は長さ数 cm、最も大きいウミショウブでも長さ 1m くらいまでである。海草藻場の分布を調べる為に従来行われた方法は空中写真の判読だが、亜熱帯海域のように小さい種類を観測する手法としては限界があり、このことが空中写真の判読による分布調査の誤差の原因であると考えられる。

本研究では亜熱帯海域の海草藻場の分布を正確かつ簡便に調査できるように、水中カメラを装備した ROV (Remote Observation Vehicle) からなるシステムを海底から一定の水深で走行させて、得られた画像から被覆度を算出する方法を開発することを目的とした。

研究の成果

水中カメラとコドラートを装備した ROV からなる「水中走行ビデオシステム」の開発に当たっては、安全性と撮影地点の自動記録等による作業効率の向上を図ると共に、画角一定で撮影するダイバー等による従来のコドラート法との対比が可能のように、海底からの ROV 高度を一定に保つ機構等の研究開発を目標とした。さらに、試作したシステムを実海域で試運転し、技術的問題点および改良点を抽出し、運用技術の研究開発を進めた。

本システムは GPS、トランスジューサー、ビデオカメラを搭載し、船上から遠隔操作しながら ROV の位置と状態を確認し、予め設定した地点の海底を高分解能水中デジタルカメラ(500 万画素)で撮影するシステムである。三井造船(株)製 RTV-100 Mk2 型にコドラートと同等の枠を接続し、操作に熟練を要するトリム角の制御については、ボタン一つで作動するトリム制御機構を設けるなどの改造を行った(図 1)。

さらに、初年度の運用により、水中走行ビデオシステムに搭載されたビデオカメラのモニター画面で狭い領域を見ながら ROV を操縦すると、調査海域全体のどの位置に ROV があるのか、どの方向に進めれば良いのかが分からないなどの、運用上の問題点が明らかになった。このため、係留気球を用いて上空から ROV 及び電力・信号ケーブルを常時監視するモニターシステムを考案し、導入した。その結果、係留気球で撮影する画像を用いて、予備的に海草藻場の分布範囲を特定することもできることが分かった。

水中走行ビデオシステムを予め設定した地点の海底に移動させるには、高精度でその位置を測位する「水中走行測位システム」が必要である。海域で利用できる測位方式は GPS(Global Positioning System)を含む電波測位と音響測位であるが、GPS 測位はアンテナが海中に没すると電波が遮断され受信不能となる。このため ROV が浮上したときしか測位が行えず、水中では音響測位に頼らざるを得ない。音響測位システムとして LBL (Long Base Line System)や SSBL (Super Short Base Line System)が利用可能であるが、本研究では LBL 測位方式を採用した(図 2)。このシステムでは 3 個以上のトランスポンダを海底に設置し、船上及び ROV のトランスジューサと各々のトランスポンダ間の直距離を音波の往復伝搬時間から測定することにより、船と ROV の位置を決定する。予め海底に 3 個のトランスポンダを設置して深度と位置を決定しておかなければならないが、測位精度は良い。本研究では LBL 測位方式を海藻藻場で使用できるよう開発を行った。

海藻藻場は水平距離に比べ水深が極端に浅い海域にあり、その場合、音波のマルチパスが懸念される。そこで ROV の送受波器とトランスポンダ間のレンジ測定において、音波の最初に到達した波のみを計測することにより、マルチパスの影響を回避した。またトランスポンダが潮位の変化によって転倒するのを防ぐため、伸縮自在のスプリングを使用したブイシステムを考案した(図 2)。

さらに本システムでは、浮体 - トランスポンダ係留系、母船とのデータ通信に無線 LAN を採用した。これにより、ケーブル無しでリアルタイムのデータ通信が行えるようになり、調査の精度・能率が向上した。今後、水中走行測位システムと係留気球とを無線 LAN で結び、さらに、インターネットに接続すれば、画期的な調査システムが構築できる。

以上の改造・開発を行った水中走行ビデオシステムおよび係留気球が撮影した画像を用いて、藻場の被覆度が自動的に解析されるシステムを構築した。当初は大津の方法で教師なし 2 値化する方法を開発したが、研究の進展とともに気球搭載カメラ画像による藻場の被覆分類も行う必要が生じたので、市販のリモートセンシングソフト(SBGLOBE-I)をデジタルカメラの RGB 画像も処理できるように改良した。水中走行ビデオシステム搭載のデジタルカメラで取得した海藻画像の原画像(RGB カラー)と各種分類法を比較すると、教師付き最尤法と教師なし最短距離法が比較的良く海草を分類していた(図 3)。高度 300m の係留気球から撮影したデジタルカメラ画像を被覆分類処理した結果では、教師付き最尤法が、現地の実地観察結果と良く合っていた。

今回使用した市販のリモートセンシングソフトには、気球搭載カメラの海水面に対するチルト角の幾何学補正ソフトウェア(直角座標補正あるいは GPS 位置データ等による緯度経度補正)が標準的に搭載されているので、被覆分類データの GIS 化が容易に実施できる。しかし、海上には明確なランドマークがないので、先述した水中測位システムの GPS 付きトランスポンダを緯度経度補正の基準点にするか、気球搭載カメラの撮影時に母船をランドマークにすることで、船の位置、船首方位、船の大きさより取得画像の位置、方位、縮尺を求める(特願 2002-315265)にあたって、気球搭載カメラの海水面に対するチルト角のデータを気球搭載カメラの撮影時に同時に測定する必要があり、今後の研究課題である。

海藻藻場の機能や構造を厳密に定量化する場合、一般に、一定面積に繁茂する海草を全て採取して秤量する「坪刈り」が行われる。これに対し、本研究での研究開発では、対象地点を上方からモニターする事により被覆度を客観的に決定することを目的とした。海藻藻場の研究が進んでいる欧米でも、広範な海域を対象としたモニタリングでは、被覆度を 4 段階前後に区分し、ダイバーが目視でそのどの段階にあたるかを判読する方法が用いられている。本システムでは取得したデジタル画像を一定のアルゴリズムで計算

して被覆度を求めることから、ダイバーによる判読よりは客観的である。

さらに、地上部の長さの季節変化が最も大きかったウミシヨウブについては、地下部に対する地上部の現存量の割合が夏と冬では大きく異なることが予想されたが、実際には季節性は認められなかった(図4)。従って、従来から用いられている坪刈りによる現存量調査では、季節的な変化が見過ごされてしまう可能性があることが分かった。一方で、今回の調査地の中で最も海草類の多様度が高い海域ではその景観が季節的に大きく変化した(図5)。これは、季節変化が著しいウミシヨウブとボウバアマモの存在によるものと考えられるが、調査回数が少なく、かつ個人ごとの誤差が大きい目視による従来法での調査を行った場合には、その場所の海草群落の構成や現存量等の評価が偏ったものになる可能性を示している。

本システムは気球からの監視を含めて、5名で設置から撤収の全過程を遂行できる。運用における留意点を以下にまとめる。

事前に、気球を障壁なく海岸まで運搬できる空地、ヘリウムガス、船、観測海域までのアクセス、地図、航空写真(あれば)、潮位表を手配する。

ROVの運用にはある程度の水深が必要で、かつ、太陽が高い位置にあると海面が反射して海底が撮影できなくなるので、潮位と太陽の高度を考慮して調査日程を決定する。

気球の使用に当たっては、事前に最寄りの航空管制官に届け出る。高度300m以上になる場合は許可も必要になる。調査当日は開始時と終了時に連絡を入れる。

研究のまとめ

水中カメラとコドラートを装備したROVからなる「水中走行ビデオシステム」と、その走行中の位置を正確に決定する「水中走行測位システム」、および、海面・海底のマッピングや水中走行ビデオシステムの監視を行う係留気球からなる総合的な海草藻場モニタリングシステムを構築した。

このシステムを運用した場合、上空からの気球によるマッピングは気球の高度やカメラなどの条件にもよるが、約2時間で約3km²を観測可能である。また、ROVによる観測では1測線中の間隔幅や面積にもよるが、500mの測線を50m間隔で観測した場合、約3時間でかなり詳細な観察が行える。単純に比較することはできないが、従来法のダイバーによる観察では専門知識を有したダイバー、補助ダイバーと監督の3名によるチームで1日1~2測線程度である。ダイバーによる25m以深の深場の作業や潮の流れの強い地点での調査では作業時間や安全性の面で制約を受けるが、本システムでは問題とならない。作業時間の短縮(作業効率)のみならず、調査海域の拡大や作業要員の安全性などからも、本システムの評価手法は極めて有効である。

さらに、今後の実運用を考慮して、係留気球で上方から対象地域の海面・海底の画像を取得し、これをリモートセンシングソフトにより解析して被覆分類を行うことに成功した。これにより、とりあえずは海面・海底の画像を用いた分類だけでGIS化は可能であり、分類した該当部分の面積を海草の被覆度として計算するプログラムの完成により、被覆度の等値線なども将来的に描画できる可能性がある。

係留気球で上方から対象地域の画像を取得することにより、従来は航空写真でしか得られなかった高分解能の画像を容易に取得できる見通しが得られた。係留気球は運用高度が低いので、曇天でも雲による障害のない良好な画像が得られること、また係留気球の運用の簡便さを考慮すれば、遠隔地・離島の海草藻場の調査には非常に適した手法であると考えられる。



図1 運用中の改良型水中走行ビデオシステム

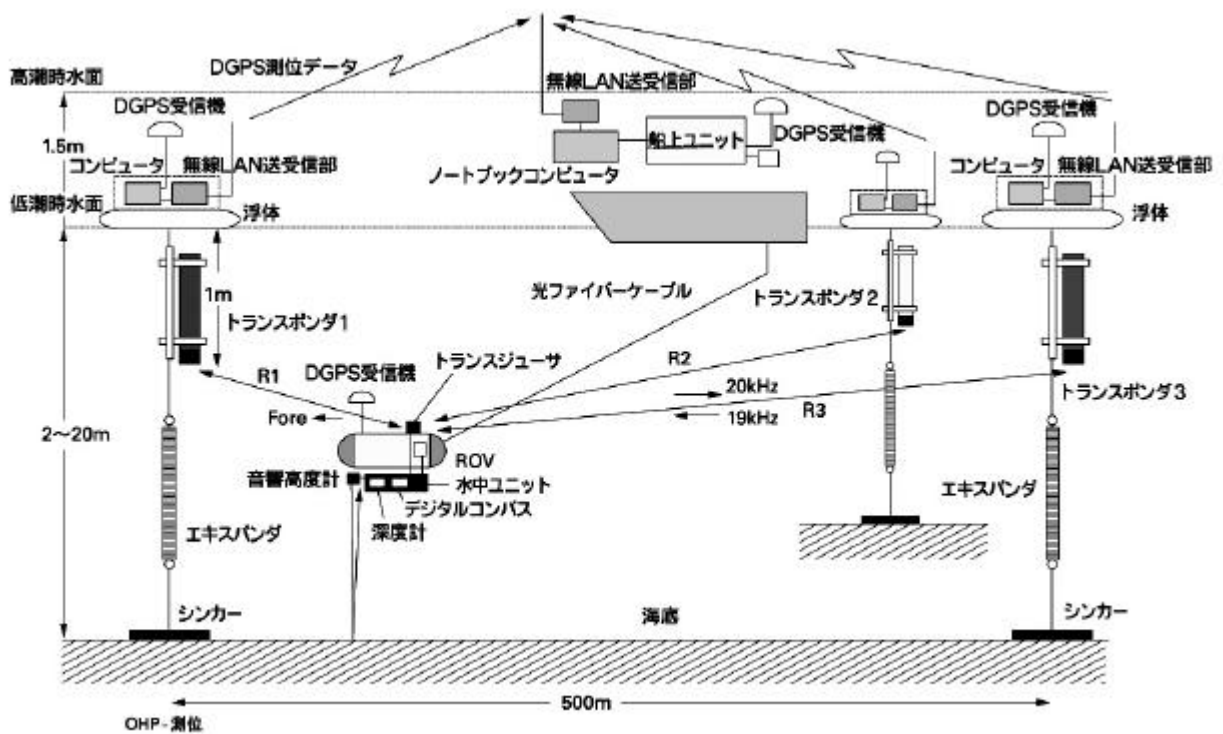


図2 LBL 測位システムを採用した水中走行測位システム

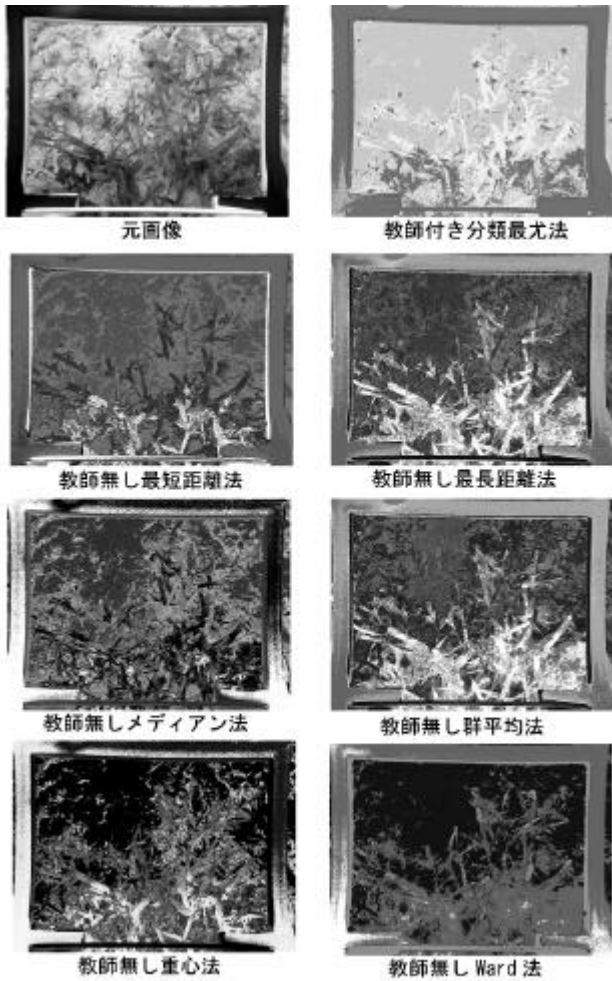


図3 水中走行ビデオシステムが撮影した海底画像を使った市販ソフトによる分類結果

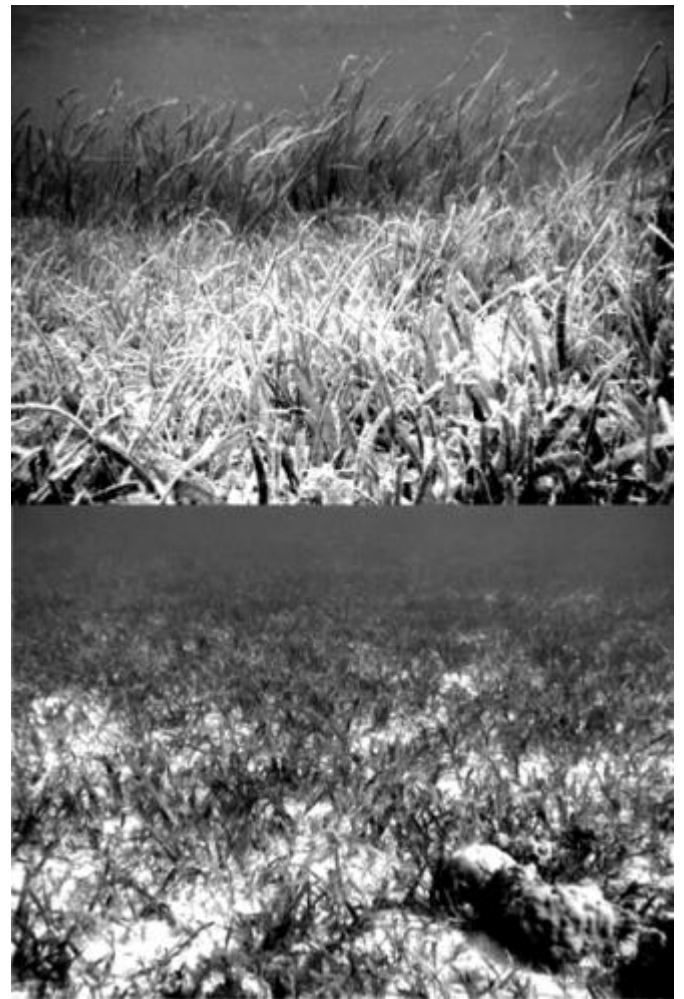


図5 最も多様性が高かった海草藻場における景観の季節変化(上：2001年7月、下：2002年2月)

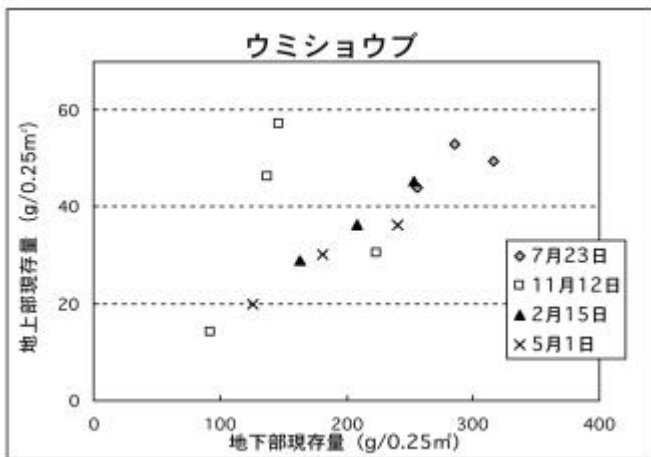


図4 ウミシヨウブの地上部現存量と地下部現存量の関係

研究発表

発表題名	掲載法 / 学会等	発表年月	発表者
(誌上発表) ・ Development of a shallow-sea underwater positioning system and application to an observation system for subtropical seagrass beds ・ Mapping tropical seagrass beds using underwater remotely operated vehicle (ROV) ・ 浅海域の水中測位システム - 亜熱帯海域海草藻場観測システムへの適用 - (口頭発表) ・ 繫留気球によるサンゴ礁のモニタリング ・ 石垣島周辺沿岸域における海草類の出現状況と名蔵湾・吹通川地先での主要種の地上部長の季節的变化 ・ ROV モニタリングシステムによるサンゴ礁藻場の画像解析 (ポスター発表) ・ 水中デジタルカメラ画像および繫留気球搭載デジタルカメラ画像の簡易処理 ・ サンゴ礁海草藻場観測用水中走行ビデオシステム(ROV)の改良と運用	Proceeding of Techno-Ocean 2002 International Symposium	14.11	西村、山室、野崎、根岸、加藤、大谷、清水、林原、村上
	Proceeding of Techno-Ocean 2002 International Symposium	14.11	山室、西村、岸本、野崎、加藤、根岸、大谷、清水、林原、佐野、玉置、福岡 西村
	超音波 TECNO , Vol.15, No1	15.1	
	日本サンゴ礁学会第 5 回大会	14.11	加藤、大谷、野崎、根岸、山室、西村、林原、清水、玉城 林原、清水、佐野、玉城、福岡、皆川、山室、西村、野崎、加藤、根岸、大谷
	沖縄生物学会第 39 回大会	14.5	
日本サンゴ礁学会第 4 回大会	13.5	大谷、山室、野崎、根岸、加藤、西村、林原、清水、佐野、玉城	
日本サンゴ礁学会第 5 回大会	14.11	野崎、根岸、加藤、大谷、山室、西村、林原、清水、玉城 波利井	
日本サンゴ礁学会第 5 回大会	14.11	根岸、加藤、大谷、野崎、山室、西村、林原、清水、玉城	

工業所有権

特許等の名称	願書年月日	公告番号	公告期日	登録番号
・ Marine plant field survey method and survey system utilizing the survey method	H12.8	09/729,267	H12.12.5	US2002024594
・ Zeeplantvelidinspeticiewerkwijze en -inspectiesytem dat gebruik maakt van de inspectiewerkwijze	H12.8	25158800	H12.12.14	NL1016874