

論文の内容の要旨

水圏生物学専攻

平成 25 年度博士課程入学

氏名 濱名 正泰

指導教員名 小松 輝久

論文題目 ナローマルチビームソナーを用いた藻場の定量的三次元マッピング法の開発

藻場は、ごく浅い沿岸域に分布する大型海藻・海草の群落の総称である。沿岸生態系において、一次生産者として沿岸生態系を支えるだけでなく、水産重要種を含む多くの海洋生物の、産卵場、生育場、生息場として、海洋生物多様性上、水産上重要な役割を果たしている。食料供給、栄養塩や二酸化炭素の吸収、酸素の放出などの生態系サービスを藻場は人間社会に提供している。しかし、埋立や護岸工事などの沿岸開発、気候変動による水温の上昇、海洋汚染、富栄養化などにより、藻場は衰退している。近年、藻場の持つ重要性が漁業者や市民にも認識されるようになり、藻場の保護や再生への取り組みが始まっている。藻場を系統的に保全するためには、藻場の種類と分布の状況を把握し、地図上に可視化することが不可欠である。

これまで藻場分布を把握するために船上からの目視や潜水の調査が行われてきたが、非効率であった。効率よく藻場をマッピングするにはリモートセンシングが有効であるが、海面下にある藻場の種類判別と分布把握は、海水があるために衛星画像や空中写真を利用する光学的な手法だけでは難しく、新しい技術の開発が求められている。海水の濁りに影

響を受けない超音波を用いる音響リモートセンシングは藻場マッピングに有効である。音響リモートセンシングには、鉛直方向の分布情報が得られる音響測深機、海底の水平方向の分布情報が得られるサイドスキャンソナー、海底の三次元分布情報を取得できるナローマルチビームソナー（以降、NMBSと略す）が用いられている。最新の代表的NMBSでは、機種によっては使用する超音波の周波数を変更できるものがあり、アジマス方向に1度、レンジ方向に0.5度程度の非常に細い超音波ビームを150-160度の角度で256本送波し、受波することで、膨大な量の複雑なデータを取得する。今までのNMBSを用いる藻場マッピングでは、送波した超音波ビームが反射した点から得られる海底地形上に出現する大型海藻・海草の分布形態の情報を得る研究が多く、また、後処理に時間がかかっていた。近年、NMBSの各ビームの海底の反射強度や、水柱のビームの散乱強度データを取得するソフトが開発され、藻場のマッピングにこれらのデータを用いることが可能となってきたが、ほとんど利用されていない。日本には、主にコンブ場、アラメ・カジメ場、ガラモ場、海草場に区分される藻場が分布している。しかし、今までのNMBSによる藻場判別では、砂地上に分布する海草が対象であり、複数の種類の藻場がモザイク状につくる海域を対象とした研究はない。また、藻場の現存量を推定する場合にはおもに潜水による採集が行われてきた。鉛直方向と水平方向の情報が同時に取得でき、多くの反射データを取得できる新しいNMBSを用いれば、大型海藻・海草の現存量を推定できる可能性があるが、大型海藻や海草による音響散乱に関する基礎的な知見が少なく、未だ実用には至っていない。

本研究では、最新のNMBSの特徴を利用し、上述の未だに解決されていない、1)簡易な藻場のマッピング手法の開発、2) 複数の藻場種類の判別と分布推定、NMBSで得られる超音波の各種データを用いた、3)大型海藻・海草の現存量推定、について検討することにした。

1. 簡易な藻場のマッピング手法の開発

ホンダワラ類は、内部にガスをためる葉が変形した器官である気胞をもっており、繁茂期には、気胞の浮力で、藻体を海底から海面に向かって伸長させ、群落を形成する。海中では、気体は超音波を強く反射するため、NMBSで、藻体を捉えられると考えられる。そこで、北海道渡島半島の神恵内村地先ガラモ場において、2013年6月にNMBS（Sonic2024, R2Sonic：以降、本論文の研究では本機種を使用）を用いて調査を行った。また、潜水により、調査海域に生育していたガラモ場を構成するホンダワラ類の海藻はウガノモク *Stephanocystis hakodatensis* (Yendo) Draisma, Ballesteros, F. Rousseau & T. Thibaut 1種であることを確認し、写真を撮影した。NMBSにより得られた測深データを調べた結果、海底から1m以上立ち上がるウガノモクの藻体が1本の線として、1個体ごと捉えられていた。この特徴により、海底付近に生育する丈の低い他の藻類や海底からのエコーとウガノモクのエコーとを分離できた。NMBSによるウガノモクの分布結果と潜水調査により得られたガラモ場の水中写真と比較した結果、非常によく一致し、NMBSがウガノモクのマッピングに有効であ

ることが示された。気胞を持つホンダワラ類で植生密度が神恵内村地先程度に高くない場合には、NMBS調査を行い、藻体からのエコーを抽出して海底地形から分離し、詳細な三次元海底地形図を作成し、その上に藻体をプロットすることにより藻場の三次元構造を可視化できることが明らかとなった。

砂場などの比較的平坦な海域に分布し、海底から立ち上がる草丈の高いアマモ類の海草が分布する場合、これらの海草藻場は、NMBSでウガノモクと同様に捉えられるものと推定される。NMBSにより海底地形図を作成するには後処理用ソフトでの処理が必要で、時間がかかる。現場で迅速に藻場分布を把握するために、NMBSで得られるデータをもとに、最小限のデータ処理による迅速な藻場マッピング手法を開発することにした。

2014年7月に宮城県志津川湾波伝谷地先底深5-7mの平坦な砂地上に生育する海草タチアマモを対象とし、NMBSによる測深および水中カメラ・潜水によるグランドトルウスを行った。水中カメラで藻場が確認された定点と確認されなかった定点のNMBSで得られた海底地形図には明瞭な違いがあり、海草は起伏ある地形として現れた。測深点のばらつきの指標である95%信頼区間（以降、95%CLと略す）や送波した超音波ビームが海中で反射された深度の最浅と最深の幅（以降、測深幅と略す）を各定点の1m範囲で求め、水中カメラ・潜水により得られた水中画像と比較を行ったところ、海草場の定点で高く砂地の定点で低く、海草の密度により増加する傾向がみられた。この結果から、調査海域を覆う0.5×0.5mのグリッド内における95%CLと測深幅からタチアマモと砂地に分け、さらに、タチアマモの植生密度を高密度、低密度の2つのカテゴリーでマッピングすることができた。NMBSのデータ収録ソフトウェアでは、グリッドの辺の長さを指定すれば、測深データの信頼度に関する指標としてデータ収録時にリアルタイムでグリッド内の測深幅やグリッド内の測深値の標準偏差や95% CLを表示する機能を持っている。この機能を用いれば、砂泥域などの比較的平坦な海域に繁茂する海草場のマッピングがリアルタイムで可能なことを明らかにした。

2. 複数の藻場種類の判別と分布推定

コンブ類や岩礁に生育する海草の一種のスガモは起伏の激しい岩礁域に生育している。コンブ類の持続的利用のために、これらが混在する岩礁域に適用可能な、複数の藻場種類を判別する手法の開発が求められている。そこで、岩礁上にコンブ類とスガモがモザイク状に分布している北海道えりも町笛舞地先のコンブ漁場を対象に、最新のNMBSを用いて、岩礁域に分布する藻場の種類の判別が可能か検討した。調査は2014年6月に実施し、NMBSによる測深データ及び海底面の反射強度データの収録を行った。さらに船上から水中カメラを吊り下げ、グランドトルウスデータを取得した。グランドトルウスの結果をもとにコンブ類、スガモ、岩場、砂利だけが分布している地点を抽出し、グリッドサイズ0.5×0.5mの各グリッドの95% CLを比較した。その結果、コンブ類の地点はスガモの地点に比べて95% CLが低かった。しかし、95% CLは、コンブ類とスガモの繁茂していない平坦な地点ではコンブ類だけが生育する地点と同様に低く、岩場だけの地点では、スガモだけが生

育する地点と同様に高くなり、95% CLだけではコンブ場とスガモ場の判別は困難であった。次に、コンブ類、スガモ、岩場、砂利の各地点でNMBSにより得られた海底面の反射波強度を比較した。その結果、コンブ類やスガモの地点では海底面の反射強度は低く、岩場、砂利の地点では高くなった。0.5×0.5mのグリッド位置、95%CL、海底面の反射強度のデータを地理情報システムに取り込み、これらの情報をもとに、決定木により、コンブ類、スガモとそれ以外（岩場と砂利）に判別したところ、実用上十分な精度である80%の分類精度で判別でき、これらの分布域の推定が可能となった。

3. 大型海藻・海草の現存量推定

音響リモートセンシングにより、藻場の現存量を推定するためには、海藻・海草類の超音波の散乱に関する知見が必要である。そこで、NMBSによる海藻・海草類の音響散乱特性の評価実験を静岡県駿河湾に係留されている海上計測バージにおいて行った。NMBSで収録される反射波強度データを定量化するため、ターゲットストレンジス-40dBのタングステンカーバイド製標準球を用いた較正実験を行った後、それぞれ植生密度を3段階に分けたマコンブ及びアマモのモデル群落をパレットに移植し、反射波強度の計測を行った。また、水柱内における超音波散乱強度分布データから、群落の表面積と体積を計測した。これらの結果から、NMBSで得られる反射波強度の角度スペクトルによりコンブ、アマモの判別が可能であること、現存量推定の基本データが得られ、現存量推定の手順が確立できた。

以上、本論文の研究結果は、新しい NMBS を用いて、ホンダワラ類の三次元分布構造の可視化、リアルタイム海草場マッピング、コンブ類とスガモの判別と分布推定、実験を通じた海藻・海藻類現存量推定の手順確立という、藻場の保全に必須の情報を提供できる手法を開発したもので、水産資源学上、また、保全生態学上意義のあるものである。