

## 論文内容の要旨

論文題目 衛星リモートセンシングによる

海草藻場分布マッピング手法の開発

(Development of mapping method for seagrasses by  
satellite remote sensing)

氏名 佐川 龍之

海草藻場は、海産動物の産卵場、生育場、索餌場として、また、栄養塩や二酸化炭素を吸収し、酸素を供給する作用などを通じて、沿岸生態系に重要なサービスを提供している。しかし、埋め立てや汚染など人間活動による影響により、急速に海草藻場が減少していることが世界各地で報告されている。健全で持続的な沿岸環境を維持するためには、海草藻場を保全していくことが不可欠であるが、そのためには現在の海草藻場の分布状況を把握し、将来の変化を監視していかなければならない。このためには広域に分布する海草藻場を効率的かつ正確にマッピングする必要がある。

これまで、日本では聞き取りや潜水、船からの目視調査、空中写真解析がおもに用いられてきたが、解析する面積が狭く効率が悪かった。海外では、広域にマッピングする方法として、1980年代ころから SPOT や LANDSAT などのマルチスペクトル画像を用いた海草藻場のマッピングが行われてきた。しかし、衛星画像の画素あたりの空間分解能は 10-30m で粗らく分類精度は高くなく、透明度の非常に高い海域に分布する海草藻場のみしか対象としていなかった。また、シートゥルースデータ (sea-truth data) をもとに画像を分類する教師付分類がマッピング手法として用いられていた。シートゥルースデータの取得は、船上や潜水による目視観測であったため時間がかかり労力も負担が大きいという問題があった。

このように低かったマッピング精度を向上させる方法として、これまで Lyzenga の開発し

た depth-invariant index (DI 指数)による放射量補正が用いられてきた。しかし、DI 指数は、透明度が低くなるとマッピングが困難になり、本州周辺のような Jerlov Water Type (JWT) II 以下の低い透明度の海域では満足できる結果は得られていない。

2000 年代に入り、それまでの LANDSAT や SPOT に比較してメーターオーダーの各段に地上分解能の高いマルチスペクトルセンサーを搭載した商業衛星、IKONOS や Quick Bird が打ち上げられ、海草藻場マッピングにも利用できるようになった。海草藻場と砂地のミクセルの効果や海草藻場のパッチサイズなどを考慮すると、高い地上分解能のマルチスペクトル画像は海草藻場マッピングに適していると考えられる。

本研究では、上述した問題点である、非効率であったシートゥルースデータの取得方法を改良し、透明度の低い海域に分布する海草藻場の判別に適用できる新しい放射量補正方法を開発し、空間解像度の高い IKONOS 衛星マルチスペクトル画像を用いて、実用的な海草藻場マッピング手法を確立することを目的に研究を行った。

シートゥルースデータ取得のための現地調査の効率化を図るために、音響計測器であるサイドスキャンソナーを用いて海草藻場のシートゥルースデータの取得を検討した。2003 年 10 月に三陸海岸に位置する船越湾で調査を実施した。船越湾には主に 2 種の海草 *Zostera caulescens* (タチアマモ) と *Zostera asiatica* (オオアマモ) が優占する群落をそれぞれ形成している。サイドスキャンソナーによる計測では超音波に対する底質の反射率の違いから底質を判別することができた。海草は葉内にガスをもつため超音波に対する反射率が高く、砂地では超音波が吸収するために反射率が低く、両者を明確に区別することができた。調査時期の平均草丈は、タチアマモが約 4m、オオアマモ約 1m と大きく異なっていた。サイドスキャンソナーには、平坦な海底から突出している物体の後ろにできる acoustic shadow と呼ばれる影が生じ、その影の長さをもとに海底からの高さを推定することができるという機能があるので、これを利用して草丈が違う 2 種類の海草を区別することができた。サイドスキャンソナーによるマッピング結果の精度を水中カメラによる観測結果をもとに評価した結果、全体で 97% の精度が得られた。判定が異なった 3% の地点は、いずれも海草と砂地の分布域の境界に位置していた。この境界付近では少しの位置の変化で底質分類のクラスが変化する。サイドスキャンソナーによるマッピング結果を用いると面的に連続した底質分布データを得ることができるため、扱いの難しいこのような海草藻場分布域の境界付近にあるデータを意図的に避けることができる。境界付近にある底質のデータを除いた場合、サイドスキャンソナーによるマッピング結果は水中カメラと 100% 一致しており、信頼の高い結果が得られた。したがって、サイドスキャンソナーによりマッピングした海草藻場と砂地の底質について、境界付近の底質データを除けばシートゥルースデータとして使用することができる。

次に透明度の低い海域に分布する海草藻場判別に適用可能な新しい放射量補正の開発を行うにあたり、リモートセンシングの最も重要なパラメータの一つである分光反射率を研究対象である底質の砂地と海草について計測することにした。この計測は、上述の三陸海

岸の船越湾と、海草 *Posidonia oceanica* (ポシドニア) が広く分布するチュニジア共和国南部ガベス湾のマハレス地先で行った。潜水によって海草、および砂地の底質を採取し、円形水槽に敷き詰め、底質と白色板の分光放射輝度をスペクトロメータで計測し、白色版の計測値を基準として底質の分光反射率を計算した。砂地は海草と比較して350nmから700nmの波長域では分光反射率が高く、両者を区別できることが分かった。一方、海草である、タチアマモ、オオアマモ、ポシドニアの間で分光反射率について大きな差異がみられず、IKONOS 衛星のようなバンド数の少ない衛星センサーでこれらを区別することは困難であった。

衛星画像から海底の情報を抽出するために Lyzenga のモデルをもとに新しい放射量補正を考案した。この補正法では衛星画像を底質反射率と比例関係にある指数, bottom reflectance index (BR 指数) に変換する。この BR 指数と Lyzenga の開発した DI 指数の放射量補正の効果を比較するために、Lyzenga のモデルにおいて底質反射率と水深を変化させるシミュレーションを行い、海草藻場と砂地上において衛星で観測される分光放射輝度、DI 指数、BR 指数のデータの分布を調べた。ここで底質反射率は海草藻場と砂地について実測値のデータ分布と同じになるように、水深は 0m から 20m の間でランダムに発生するように乱数を用いたシミュレーションを 1000 回行った。その結果、放射量補正を行わない場合には海草藻場、砂地の二つの分類クラスで分光放射輝度のデータの分布がほとんど重なり、分光放射輝度値の閾値によりこれらの分類クラスを区別すると誤分類が生じる可能性が高いことが分かった。DI 指数の場合には海草藻場と砂地の二つのクラスの DI 指数のデータの分布は分かれたが、依然データの重なる部分があり、誤分類が生じることが分かった。BR 指数の場合には、どのバンドにおいても海草藻場と砂地の二つの分類クラスによる BR 指数のデータの分布に重なりはなく、最も正確に分類できることがわかった。

2004 年 12 月に船越湾を、2005 年 10 月にマハレス地先を IKONOS 衛星により撮影した。またサイドスキャンソナーによるシートウルースデータの取得を 2004 年 10 月に船越湾で、2005 年 11 月にマハレス地先で行った。二つの海域の IKONOS マルチスペクトル画像に対して比較のために DI 指数と BR 指数の二つの放射量補正を行った。Lyzenga の方法により、衛星画像の砂地の放射輝度値から消散係数を推定し、その値から船越湾は Jerlov Water Type (JWT) II、マハレス地先は JWT II-III に属する海域であることが分かった。これら二つの海域は、これまで研究が行われてきた熱帯海域と比較し透明度が低い。また、BR 指数を用いた場合のほうが DI 指数を用いた場合より分類精度が有意に高かった ( $p < 0.05$ )。海草分布域のマッピングには 80%以上の分類精度が、海草分布域の変化のモニタリングには 90%前後の分類精度が必要であるといわれている。BR 指数を用いた場合には二つの海域で高い分類精度を得ることができ、特にマハレス地先では分類精度が 90%に達した。

本研究の結果、JWT II 以下の透明度の海域でも、IKONOS 衛星のマルチバンド画像による衛星リモートセンシングにより、広域に分布する海草藻場をマッピングできることがわかり、今後の海草藻場のモニタリングに資することができると思われる。