

気球搭載ビデオカメラによる 中海のアマモ場の植被推定

ESTIMATION OF *ZOSTERA* BED COVERAGE USING BALLOON WITH VIDEO CAMERA

作野裕司¹・ルイ ソチェー²・國井秀伸³・田中義和⁴・國貞栄二²・若松芳樹⁵
Yuji SAKUNO, LUY Sochea, Hidenobu KUNII, Yoshikazu TANAKA,
Eiji KUNISADA, Yoshiki WAKAMATSU

¹正会員 博(工) 広島大学助教 大学院工学研究科 (〒739-8527 東広島市鏡山1-4-1)
² 広島大学 大学院工学研究科 (〒739-8527 東広島市鏡山1-4-1)
³ 理博 島根大学教授 汽水域研究センター (〒690-8504 松江市西川津町1060)
⁴ 博(情) 広島大学助教 大学院工学研究科 (〒739-8527 東広島市鏡山1-4-1)
⁵ (株)中国大洋工芸 岡山営業所 (〒702-8024 岡山市浦安南町210-1)

Estimation of *Zostera* bed coverage using balloon with digital video camera in Lake Nakaumi, Shimane Prefecture, Japan was tried. The simultaneous field survey was done in Tonoe water region and in the southeast shore of Moriyama Dike on May 30, 2008. As a result, it was confirmed that the *Zostera* bed coverage of 200 - 250 m scale was distributed in these areas by using the video data. Moreover, the method of classifying the marine forest from RGB data of the video images was shown by applying "Bottom Index (BI)" method. Finally, it was shown that the BI method was effective for the *Zostera* bed coverage extraction in the lake.

Key Words: Balloon, *Zostera* Bed, Video Camera, Bottom Index, Lake Nakaumi

1. はじめに

かつて(1950年代まで)島根県と鳥取県の県境部に位置する中海には広範囲にアマモ(*Zostera marina* L.)が生育していた¹⁾。しかし弓ヶ浜半島周辺の干拓, 航路の浚渫による生育場所の消失などの影響で減少し, 現在の中海のアマモ場は, 境港市外江(とのえ)地区と森山堤防の沿岸に, 数百m四方程度の小規模な群落が残存する²⁾のみとなっている。また中海は2002年12月に, 1963年4月から約40年継続した国の干拓事業³⁾中止が決定され, 2007年3月に西部承水路堤の撤去工事が着工された。さらに2008年5月には森山堤防の北部に小規模な水路(4m四方の排水管2本)による潮通しが始まり, 2009年3月までに同堤防南部に幅60mの潮通しのための開削工事が完了する予定となっている。このような堤防開削事業が完了すれば, 同水域の水質が激変する可能性があり, アマモ場再生への期待も高まっている。

一方, 藻場の現状調査は, 通常ダイバーによる現地調査と航空写真の目視判読等により行われている。しかし,

ダイバーによる調査や航空写真による新規観測は, コストがかかり, 頻繁に調査/撮影をすることは難しい。また, 空中写真撮影は航空機や機材, オペレータの都合上, 撮影時期に制限が多い。現在, 中海は宍道湖と共に, JALTER(日本長期生態学研究ネットワーク)のコアサイトに指定されており, 今後継続的に藻場のモニタリングを行う必要があり, 安価で均質なモニタリング手法が求められている。特に最近ではリモートセンシング(RS)技術を使った藻場分布推定の研究が多く試みられており⁴⁾⁵⁾⁶⁾, 中海でもRS技術を使った藻場モニタリング手法を検討しておくことは非常に重要だと考えられる。

以上のような背景から, 筆者らは中海本庄水域への本格的潮通しの直前のアマモ分布の現状を把握し, 今後の継続モニタリングの簡便化を図る目的で, 奄美大島や瀬戸内海におけるサンゴ礁・藻場観測の経験⁷⁾⁸⁾を生かし, 安価でかつ繰り返し観測が可能な気球に搭載したデジタルビデオカメラによるアマモ場の植被推定およびマッピング手法の検討を試みた。本論文では, 気球から撮影されたビデオデータを使って, まず目視トレースによる中海のアマモ分布の現状把握を行う。また, 観測データの

極めて少ないアマモ等の藻場の分光反射率特性を調べると共に、将来的に自動画像処理を目指して、ビデオ画像による現実的な中海のアマモ抽出法の検討も行う。

2. 方法及びデータ

(1) 現地調査の概要

本研究では前述した中海の現存藻場である2地点（図-1のA, B地点）のアマモ場を対象とした。現地における目視観測ではA地点（外江地区）のアマモ場には、ウミトラノオも繁茂しており、非常に小規模であるがアオサも確認された。また中海において現存するアマモの繁茂期間は、5月初旬～6月初旬の1か月間程度であることも分かっており、現地調査は2008年5月9日（下見）と同年5月30日（気球との同期調査）に行った。さらに、この地点における気球との同期調査時間内の気象庁の境験潮場（図-1参照）における潮位変動量は、図-2に示すように、10cm（130-140cmの範囲）程度であった。

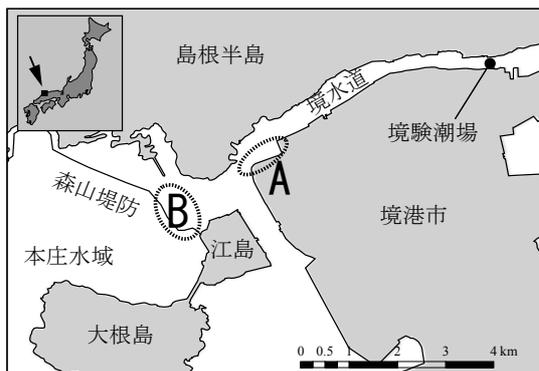


図-1 研究地域

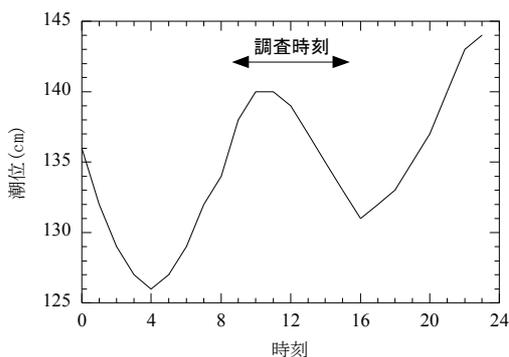


図-2 調査時間内の境港における潮位変動

(2) 気球観測と画像データ処理について

今回藻場の撮影に使用したプラットフォームは、広島大学が所有する図-3に示すようなカイツーン型気球（長径：約5m, 短径：約2m, 最大搭載荷重：5kg）である。藻場の撮影には気球の下部に設置したカメラボックスの

中に搭載されているデジタルビデオカメラ（Panasonic製、NV-GS320、記録画素数：640×480画素）を用いた。また撮影は航空法および米子空港に近い場所という制約条件の限界高度である約100mの上空から地上を撮影した。なお、この撮影システムにおける実質的な地上分解能は約20～30cmであるが、風などの影響で気球の高度が若干上下するため、未処理の画像データの解像度は一定ではない。そこでまずAおよびB地点の全体が撮影されている空中写真（海上保安庁、1997年撮影）をGISソフトウェア「ArcGIS 9.1」を用いて地形図により幾何補正処理した後、空中写真に写っている地上物体（道路、堤防等）を基準として、個々の気球画像の幾何補正を行った。その結果、画像の1画素の地上分解能は約25cmとなった。なお、モザイク処理（画像の合成）による入射光量の影響については、各画像が「目視の分布把握を阻害する程度ではないこと」、後述する「定量的な解析では、比演算処理を行うことで入射光量の影響が除去される」ため、今回は特別な入射光補正処理は行わなかった。また、現地にはアオサも確認されたが、非常に小規模な分布で画像からアオサを確認することができなかつたため、今回は前述した2種類の藻のみを対象とした。



図-3 撮影に使用した気球

(3) 分光反射率データ

藻の分光反射率測定で使用した機器は、表-1に示すような性能を持つSpectra Vista社の分光計（GER1500）である。また、入射光量の測定にはlabsphere社の標準白色板（約13cm四方の寸法で、可視・近赤外域の全波長域にわたり99%のほぼ均一な反射率を有する）を用いた。実際には調査用の小型船上から分光計の開口部を鉛直下向きにして藻および標準白色板を観測するようにした。なお、今回の反射率の定義は「藻の水面直上分光放射輝度」と「標準白色板で反射された太陽光の分光放射輝度」の比と定義した。ただし、船と太陽の位置関係を常に一定にすることはできなかつたため、観測した分光反射率データは目的波長範囲内で最大値を1として、最小値を0とする正規化処理を施した値として算出した。この処理により、太陽と分光計の相対位置関係による藻の方向性反射特性の影響を軽減することが可能となる。

表-1 使用した分光計の性能

| | |
|--------|---|
| 波長範囲 | 350～1,050nm |
| チャンネル数 | 512ch |
| 波長間隔 | 1.5nm |
| 計測単位 | $[W/cm^2/nm/sr] \cdot 10^{-10}$ |
| 外寸・重量 | 15cm(W) × 26cm(D) × 8cm(H) 1.8kg(電池・開口部込み) |
| 電源 | バッテリー |

3. 結果および考察

(1) 気球画像の概要

気球から撮影されたビデオ画像例を図-4（水域のみヒストグラムストレッチによる画像処理を施してある）に示す。なお、図-4中のP、Qラインは後述するビデオ画像による分類の議論の際に用いる。図-4において岸に沿って帯状に続く深い紫色のラインがウミトラノオで、その沖のパッチ状の黒い箇所がアマモの分布域である。実際岸からの観察では図-5のようにウミトラノオと接する又は少し離れた沖にアマモが分布していた。

A地点、B地点におけるビデオ画像を出力し、モザイクし藻場分布を抽出した画像を図-6、図-7にそれぞれ示す。図-6のA-1地点には現地における目視確認で比較的多くのアマモが分布していることがわかり、画像から判断するとその分布域は「岸沿いに約250m、沖に向かって約30m、面積にして約4500m²」と推定された。また、図-6のA-2の領域は小型船舶の港となっており、アマモの分布域は船の影や水面反射光による画像ノイズの影響で不明瞭であった。ただし、図-6のアマモ分布域は現地調査においてアマモの存在は目視で確認した領域である。一方、図-7のB-1地点は、図中c地点でアマモが約200m程度パッチ状に分布しているのが確認された。



図-4 気球から撮影した画像例（B地点南西端）。



図-5 岸から撮影したアマモ（奥）とウミトラノオ（手前）の写真



図-6 気球画像をモザイクして目視によりトレースしたA地点の藻場分布図

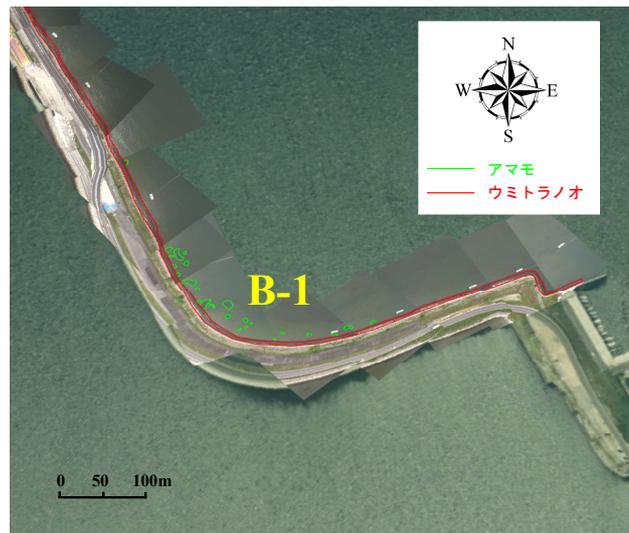


図-7 気球画像をモザイクして目視によりトレースしたB地点藻場分布図

(2) 2007年と2008年の分布比較

ここまで、2008年の藻場の分布調査について記述して

きた。筆者らは2008年度の気球調査に先立ち、2007年に2008年と同時期・同地域においてラジコンヘリ搭載一眼レフカメラを使ったアマモ分布調査も試験的に行っており、本節では両者の分布比較を行う。ただし、2007年の撮影・藻場の分布図作成は外部委託で行ったため、今回は撮影方法や解析者が異なる。従って両者の比較は概略の評価のみとする。図-8はA-1地点における2007年と2008年のアマモ分布の比較である。図中緑で囲まれた部分がアマモの生育範囲である。両者は微細な違いはあるが、撮影方法・解析者の違いを考慮すると両者の分布に大差はなく、少なくともアマモ場の規模（岸沿いに約250m、沖に向かって約30m）はほぼ同じであると解釈される。一方、図-9はB地点のアマモの分布図である。2007年度の詳細なアマモ分布はトレースされておらず、元データの入手ができていないため画像からのトレース修正が難しいが、2008年の分布の規模（岸沿いに約200m程度）は概ね一致している。これらの結果から、2007年5月～2008年5月の1年間で、中海のアマモ場の分布はほとんど変化していないことがわかった。

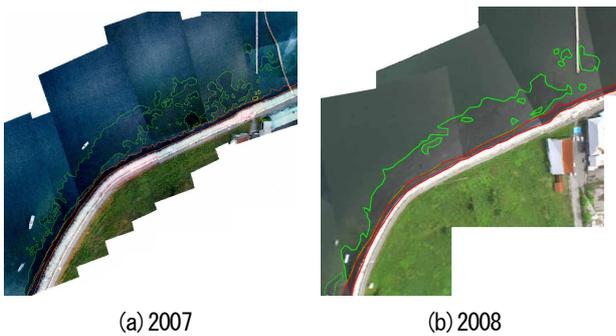


図-8 外江地区における2007年と2008年のアマモ分布画像の比較（画像中、緑色がアマモ分布域）

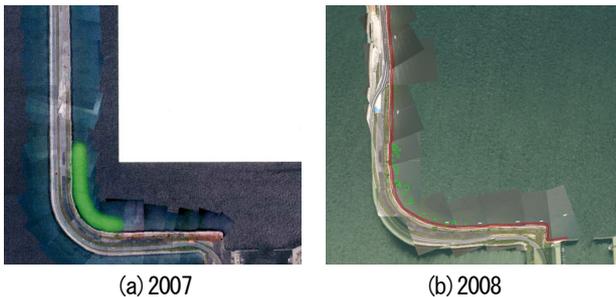
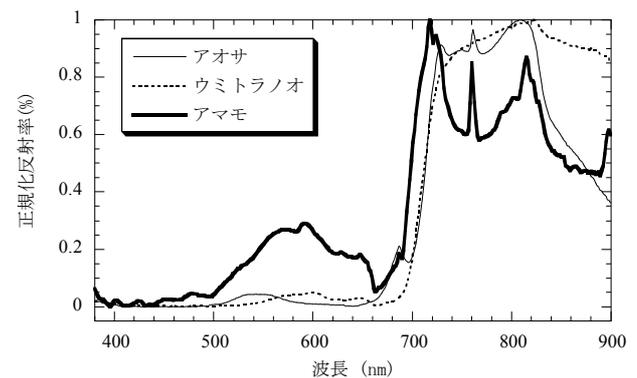


図-9 森山堤防東岸における2007年と2008年のアマモ分布画像の比較（画像中、緑色がアマモ分布域）

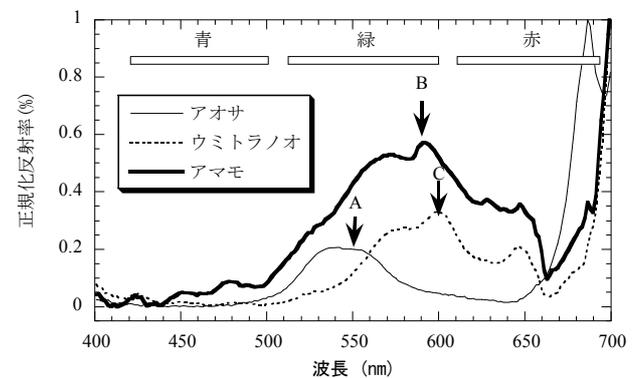
(3) 中海藻場の分光反射率特性

図-10は、船上から観測したアオサ、ウミトラノオ、アマモの分光特性を示す。このうち、(a)は、380～900nm（紫外線～近赤外線）の正規化反射率を示している。これより、いずれの藻においても、可視領域におい

ては500～600nm、近赤外領域においては700nmの反射率が高く、400～500nm、670nm付近の反射率が低いという、陸上の植物と同様の反射率特性⁹⁾であることがわかる。また400～500nm、670nm付近の反射率の低下は、藻に含まれる葉緑素（クロロフィル色素）の吸収に起因すると考えられる。またビデオ画像で撮影する範囲を詳しく調べるため、(b)に400～700nmの可視域（一部近赤外を含む）の正規化反射率結果を示す。これより、アオサ、ウミトラノオ、アマモは500～650nmにおける反射率の極大領域がそれぞれ、540nm付近（グラフ中A）、590nm付近（グラフ中B）、600nm付近（グラフ中C）にあることがわかる。しかし、いずれも可視域の緑バンドに含まれるため、波長幅の広いRGBを撮影するカメラでは、このようなピークは検出しにくく、複数の藻の分類は難しいと考えられる。実際のビデオ画像でこのことを検証するため、図-11に図-4のPQライン上のビデオ画像のRGB輝度値のプロファイルを示す。これより、RGBの3色はある程度対象物（藻や水）に応じてDN（輝度値）を増減しているようであるが、対象物によるDNの差は小さい。また、水深や水面反射光ノイズの影響を受けやすく、藻の分類を行うためのしきい値の設定も難しいと考えられた。



(a) 380-900nm



(b) 400-700nm

図-10 中海藻場の分光特性

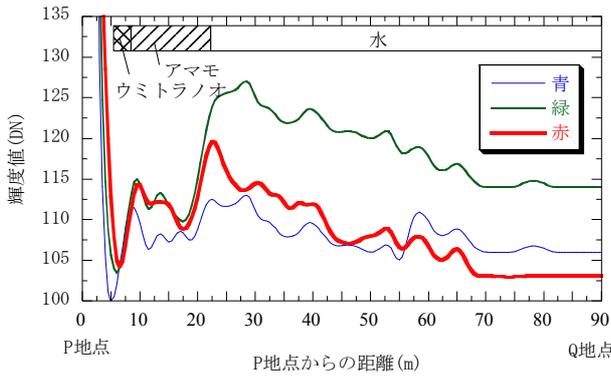


図-11 PQライン (図-4中) 上のビデオRGB画像の輝度値プロファイル

(4) ビデオ画像による中海のアマモ場抽出の可能性評価

水深や水面反射光ノイズの影響を抑えて、水中の物質を分類する方法として、サンゴ礁の衛星リモートセンシング分野では「底質指標 (BI : Bottom Index)」¹⁰⁾¹¹⁾がよく知られている。「底質指標」を簡単に説明すると、「水深の影響で底質分類が難しい単波長での画像解析」に代わり、「底質が同じならば、異なる2バンドの底質反射率比は一定になる」という基本原理を使って「2波長の画像の比演算を利用することにより、水深の影響を除去した底質の分類が可能となる画像分類法」を指す。例えば衛星画像を使ったBIは以下の式で表わされる¹¹⁾

$$BI_{ij} = LN \left[\frac{(DN_i - DN_{si})}{(DN_j - DN_{sj})^{k_{ij}}} \right]$$

$$= LN(DN_i - DN_{si}) - k_{ij} LN(DN_j - DN_{sj}) \quad (1)$$

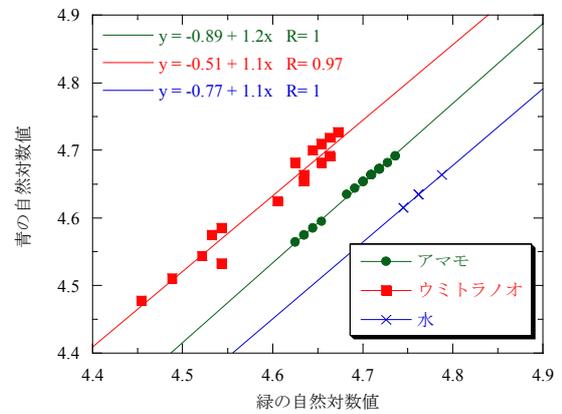
ここで、 DN は画像の輝度値、 i, j は波長、 k_{ij} は波長 i, j の消散係数比を示す。このうち、 DN_{si} は大気補正 (主として大気散乱光成分補正) のためのパラメータである。筆者らは、この方法を応用して、ASTER画像から瀬戸内海の藻場マッピングを成功させている¹²⁾。今回もこの方法の基本原理を応用して、「2波長の画像輝度値 (自然対数値) の比は対象物によって一定となる」と仮定して、アマモ、ウミトラノオ、水の分類を試みる。図-12は図-4の画像中、アマモ、ウミトラノオ、水の3種類の対象物の場所において、任意に50データずつをサンプリングして、「青と緑」、「緑と赤」の組み合わせでそれぞれDNの対数値をプロットした図である。ただし、50データ中の多くは同値であったため、グラフ上で目視確認できる点はそれより少なくなっている。図-12より、「青と緑」は「緑と赤」よりも底質ごとの回帰式の傾きの相違が小さいことがわかる。このように本手法は短波長比の方が有効であることは、従来の研究結果⁹⁾と一致している。回帰式の傾きは「底質指標」でいう消散係数比であ

り、同一画面で水質が一定の場合、実用上切片の値の違いにより、対象物の分類を行うことができる。なおここでは、この切片の値を「中海藻場指標」(NBI)と呼び、最終的には以下の式(2)で計算する。ただし、式(1)のうち、 DN_{si} は大気補正パラメータであり、今回は低高度からの撮影であるため、0とした。

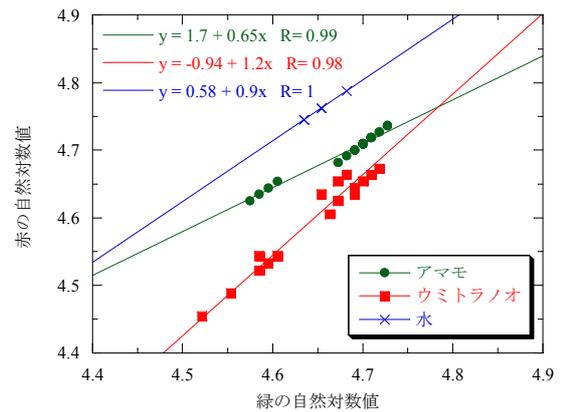
$$NBI_{ij} = LN(DN_i) - k_{ij} LN(DN_j) \quad (2)$$

なお、式(2)の k_{ij} は式(2)を式(3)のように変形して、「2つの異なるバンドのDNデータ」を使って回帰分析を行い、その際の傾きから求める。

$$LN(DN_i) = k_{ij} LN(DN_j) + NBI_{ij} \quad (3)$$



(a) 青と緑



(b) 緑と赤

図-12 ビデオ画像のバンド間相関

以上のような方法で実際に「中海藻場指標」を計算した画像例 (図-4の画像) を図-13に示す。なお、今回は傾きを図-12(a)の傾きを参考に一律「1.1」として計算

した。図-13により、目視トレースした藻場領域と比べると、概ねこの「中海藻場指標」の同一値領域と一致していることがわかる。しかしながら、画面右下の緑色領域などは、計算上アマモの領域であるが、目視ではアマモと確認するのは難しく、今後、潜水調査などによる現地観測結果との照合などによる詳細な検証や閾値の決定法の研究も必要であると考えられた。

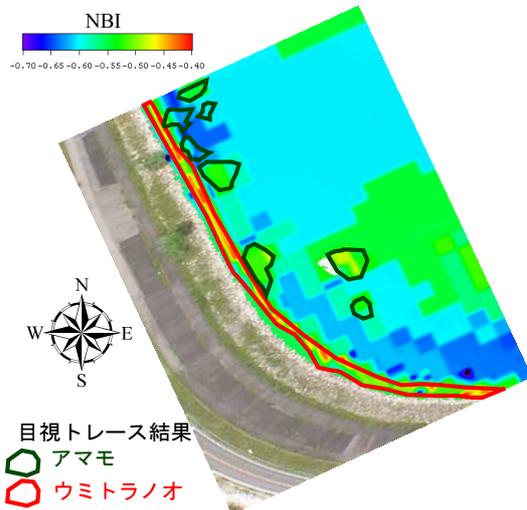


図-13 ビデオ画像から計算された中海藻場指標画像例

4. まとめ

中海のアマモ分布の現状を把握し、今後の継続モニタリングの簡便化を図る目的で、気球に搭載したデジタルビデオカメラによるアマモ場の植被推定およびマッピング手法の検討を試みた。その結果、気球搭載のビデオデータから中海の外江地区と森山堤防東岸の岸沿いに約200～250m規模のアマモ場が分布していることが確認された。また、「底質指標」を応用して、ビデオ画像のRGBデータから中海の藻場を分類する方法を示した。その結果、この方法により中海のアマモ場抽出の可能性を示すことができた。

謝辞：本研究の一部は、「平成19年度環境研究総合推進費」（研究課題「森林・草地・湖沼生態系に共通した環境監視システムと高度データベースの構築」[研究代表：北海道大学、日浦勉]）によって行った。関係機関に対して謝意を表す。

参考文献

- 1) 平塚純一, 山室真澄, 石飛裕: アマモ場利用法の再発見から見直される沿岸海草藻場の機能と修復・創生, 土木学会誌, 88(9), pp. 79-82, 2003.
- 2) 荒木悟, 國井秀伸: アロザイム解析による中海の残存アマモ群落の繁殖特性の検討, LAGUNA (汽水域研究), 13, pp. 9-12, 2006.
- 3) 浅野敏久: 宍道湖・中海と霞ヶ浦, 環境運動の地理学, 古今書院, 2008.
- 4) 楠山哲弘, 高木哲夫, 林誉命, 黄金崎清人, 神野宏樹, 鳴海日出人: 藻場 (リシリコンブ) のリモートセンシングによる分布域の推定—網走港周辺海域—, 海洋開発論文集, 23, pp. 555-560, 2007.
- 5) 松田斉久, 吉田勝則, 丹波幸一, 山田文人, 吉田徹, 鳴海日出人: 衛星画像と音響測深機を利用したアマモ場分布域の把握—霧多布港周辺海域—, 海洋開発論文集, 23, pp. 561-566, 2007.
- 6) 宮野忠文, 佐野誠, 長谷川浩治, 馬場祥宏, 小黒剛成, 相田聡, 千葉良三: リモートセンシング画像による藻場分布把握技術の開発 (第2報), 広島県立西部工業技術センター研究報告, No. 49, pp. 12-15, 2006.
- 7) 作野裕司, 田中力, ルイ ソチュー・田中義和: 奄美大島におけるサンゴと藻の分光反射率特性とQuickBirdデータによる検証, 海岸工学論文集, 54, pp. 1061-1065, 2007.
- 8) 大前和広, 作野裕司, 田中義和, 國貞栄二, 田中力, ルイ ソチュー: 気球搭載用簡易分光カメラを利用したアマモ分布図作成のための基礎実験, 水工学論文集, 52, pp. 1357-1362, 2008.
- 9) 吉村晴佳, 葉齢による樹葉の近赤外域分光特性と重なりの効果, 日本リモートセンシング学会誌, 18(1), pp. 42-56, 1998.
- 10) Lyzenga D. R.: Passive remote sensing techniques for mapping water depth and bottom features, Applied Optics, 17(3), pp. 379-383, 1978.
- 11) 松永恒雄, 梅干野晃, 水上陽誠: 石垣島サンゴ礁の多時期LANDSAT TMデータを用いた礁内水深補正アルゴリズムの検証, 日本リモートセンシング学会, 第27回学術講演会論文集, pp. 323-324, 1999.
- 12) ルイ ソチュー, 作野裕司: 衛星Terra/ASTERデータを使った吉名干潟における藻場マッピング, 水工学論文集, 52, pp. 1381-1386, 2008.

(2008. 9. 30受付)