

沿岸域のマッピング手法の開発に関する研究

市村 康*・松原雄平**

本研究では、バルーンを用い沿岸域の情報マップを作成し、将来にわたって沿岸域の環境を保全・再生するための空間情報の利用技術を確認することを目的としている。ニューラルネットワークを用いた空間情報解析手法による藻場分布域の推定とその有効性について、ならびに、干出時における干潟域の画像処理による生物生産量を推定手法についても提案を行った。ニューラルネットワークおよび ERDAS IMAGINE 手法を広範囲の解析に適用したが、ニューラルネットワークが簡便であること、またバルーンを用いて得られた画像を利用・解析することにより短時間に生産量をより精度よく推定できた。

1. はじめに

沿岸域には変化に富んだ環境が形成され、藻場や干潟等が存在し、生物の生息場としての価値が高い。そこで、沿岸域の干潟や藻場の分布あるいは汚濁拡散状況などの環境情報が重要視されるようになり、広域的な沿岸環境情報を高精度かつ簡便に取得しようとする方法が必要とされている。通常、沿岸域の情報を取得する際には、衛星画像や航空写真等のリモートセンシング技術が利用されるが、現状においては簡便性、再現性あるいは解析精度上の問題から、必ずしも満足できる手段とはいえない。一方、近年のデジタルカメラあるいはデジタルビデオカメラ等の撮影機能の進展と飛躍的な画像処理技術の進歩により、比較的低高度からの空中写真画像を基に数値的に高精度の沿岸域環境の様々な情報を取得することが模索されている。また、これらの機器の低廉価もこれらの研究の背景に挙げられる(武若ら, 1999; 斎賀ら, 2003; 出口ら, 2003; 市村ら, 2004)。

本研究では、バルーンに搭載したデジタルカメラおよびデジタルビデオカメラを用い、比較的低高度からの数値的に精度の高い情報を得ることにより、面的に沿岸域の環境を把握するために現状の沿岸域の情報マップを作成し、将来にわたって、沿岸域の環境を保全・再生する為の利用技術を確認することを目的としている。ここでは、沿岸域の現状を面的に、かつ広範囲に観察するために空撮システムとしてバルーンを用いた。これまで現象に対して観測データから機能的に因果関係を類推するために用いてきたニューラルネットワークのシステム(例えば松原ら, 1995) および ERDAS IMAGINE (ESRI 社製)を用い藻場分布域の分類および推定を行ったのでその有効性について検討する。また、干出時における干潟域の画像処理により、生物生産量を推定する手法についても提案する。

2. 撮影システム

(1) 構成

撮影装置は、直径約1.5 mの気象観測用バルーンに、約500万画素の撮影用デジタルカメラ(MINOLTA DIMAGE F300)および撮影面モニター用の27万画素のCCDカメラ(RF SYSTEM lab. MX-1)をバルーンから10~20 m下方のカメラステーションに下向きに搭載している。さらに、カメラステーションの水平ならびに鉛直方向の指向角を、地上のモニターで確認しながら無線により操作可能にしている。かつ、CCDカメラの向きをモニターを観察しながら遠隔操作で鉛直画像から斜め画像まで広範囲の撮影を可能としている。また、モニター画像は地上でデジタルビデオカメラ(PANASONIC NV-GS5K)に録画できるようなシステムとしている。また、GPS(GARMIN Geko301)を搭載しており高度と位置を記録できるようにしている。なお、バルーンには、2本の係留用のロープを取り付け、地上から操作することによって、撮影場所および撮影高度を変えられるようにした(図-1)。

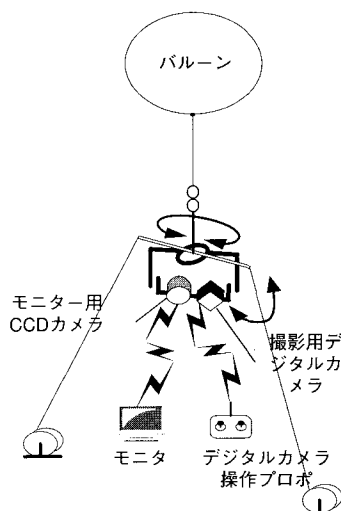


図-1 システム構成図

* 正 会 員 博(工) 日本ミクニヤ株式会社

** 正 会 員 工博 鳥取大学教授工学部土木工学科

(2) 撮影方法

現地観測では、風の穏やかな晴天の日を選択して、カメラシステムを地上50~100 m まで上昇させて撮影した。カメラの撮影距離は無限大にセットし、シャッタースピードは1/500秒とした。バルーンからラインで懸架されているカメラシステムは風あるいはバルーンの移動に伴って動揺するが、できるだけカメラ動揺を低減するために、係留ラインと独立系となるようにしている。観測は地上の撮影用モニターにて撮影区域を確認しながら、無線にてシャッターを押して沿岸域の画像を撮影した。

3. 藻場分布

(1) ニューラルネットワーク (Artificial Neural Network: 以下 ANN) を用いた解析

a) 解析方法

沿岸域の藻場分布に関する調査区域を特定しておき、あらかじめ現地調査で水域、岩礁域、海藻域、砂質域の分布を詳細に観察するとともに、同海域を本システムで空撮する。空撮から得られるデジタル空間情報を、冠水域、冠出域、海藻域の3つの領域について、調査結果とあわせて分類を行う。写真画像の1ピクセルに対するRGB データを抽出し、これに対応する領域の分類結果を教師データとして、ニューラルネットワークに入力しANNによる分類システムを構築する。

ネットワークの構造は、階層型 ANN を採用した。階層型 ANN とは、入力層、中間層、出力層からなるネットワークで、ネットワークの層数や、各層の細胞数を幾つにするか決める必要がある。分類では、入力層の細胞数は各ピクセルから得られるRGB 値3個であり、出力層は、RGB 値から判定される領域分類値1個を出力するようにした。中間層の層数や、細胞数の決定には明確な数学的理論はないが、市村 (2001) は、経験的にニューロン数を適当に設定すれば一層で十分であり、学習回数を増大させることが認識精度と高めるのに適切であるとしている。ここでは、6つのニューロンを持つ一層の中間層を設定し、2万回の学習計算を行った。

なお、学習アルゴリズムとしてバックプロパゲーション (誤差逆伝播学習法) を用いた。バックプロパゲーションとは、まず、入力と出力層に正しい関係を与える教師 (学習) データを入力する。はじめランダムに設定された結合強度と閾値のネットワークを通り出力信号を出す。この出力信号と教師信号の誤差が、最小になるように出力層から中間層、入力層へと結合強度と閾値を修正するという手法である。ANN の特徴は、一旦ネットワークを構築すると、新たな情報に対して迅速かつ高精度にその認識・評価を行えることにある。本研究では、2万回学習させた時点でネットワークが完成したものと

して学習を終了させた。

b) 解析結果

学習教師データのサンプリングは、現地調査データと、パソコンのCRT 上に表示したカラー画像 (図-2 (2004年4月9日撮影)) と観測結果より明らかに冠水域、冠出域、海藻域に分類できる300ピクセルをサンプリングし、200データを学習用、残り100データを未学習用に用いた。

図-3 は、3つのRGB から求められる冠水域、冠出域、海藻域の3つの分類項目に対する ANN の認識精度を学習データと比較し検証したもので、分類値と推定値の相関を示している。この結果より、分類値と推定値の相関を調べると海藻域に若干のばらつきは認められるものの、他の分類域は分類値と推定値と比較的一致しており良い結果を示している。海藻域の分類は、冠水域にあるため判別者にとっても似たような色であり判別が曖昧になったためと考えられる。ここで、分類値と推定値との差が ± 0.5 以内は適合とし、適合率を求めると91%であった。なお、相関係数は0.88、回帰式は $y=0.95x$ と良好な結果であった。



図-2 RGB 抽出画像

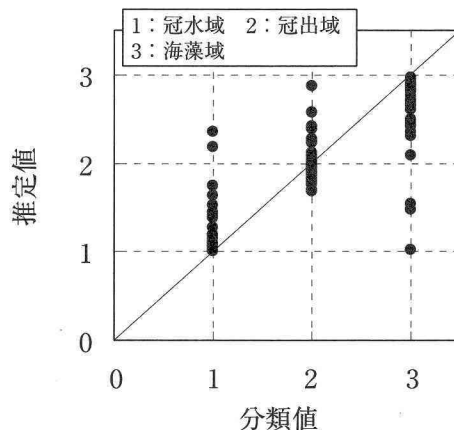


図-3 学習データに対する分類値と推定値

図-4 は、ANN の認識精度を未学習データに対して検証した結果である。適合率は、やや向上して96%となった。この適合率は、学習データに対する適合率とは変わらないと考えられる。特に冠出域や海藻域にばらつきが認められるものの学習結果は良好であった。なお、相関係数は0.95、回帰式は $y=0.98x$ という結果であった。今回用いた解析は、教師付分類であり、分類精度は教師データに大きく左右される。今回の教師データは、現地における目視観察および画像の目視判読にて得られたものである。また、今回の解析対象地において学習教師データは100ケースを採用したが、さらに教師データの精度や学習データの回数を増すなどの検討を行うことによって、更なる精度の向上が期待される。

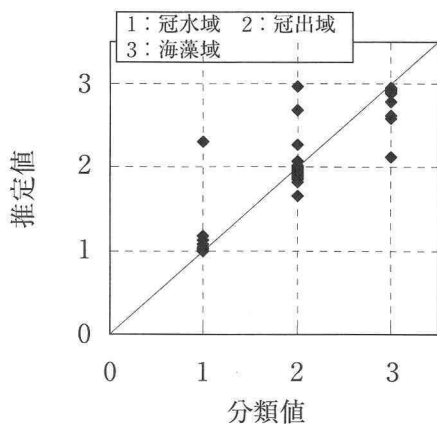


図-4 未学習データに対する分類値と推定値

(2) 画像解析ソフトによる解析

a) 解析方法

画像解析用ソフト ESRI 社製 ERDAS IMAGE (以下 ERDAS と呼ぶ) を用い藻場分布域を推定した。なお、ERDAS による画像分類は、教師なし分類と教師つき付分類に分けられる。教師つき分類では、航空写真や地図などから判別したい空間を定義したデータを与え分類する。先の階層型 ANN と同様な分類方法である。また、教師なし分類では、スペクトル特徴のみで画像进行分类 (クラスタリング) する。

撮影画像域において現地観察で得られた藻場、岩場およびその他に分類し、分類結果を教師つきデータとして与え藻場分布域を推定した。また、現地観察結果がないあるいは画像より判別が困難で分類しがたい場合を想定し、教師なしデータとして与え同様に ERDAS を用いクラスタリングにより藻場分布域を推定した。

得られた撮影画像は、教師つき分類では、ピクセルの特徴を藻場、岩場、その他に分け、ピクセルのパターンや特徴を最尤法で分類した。また、教師なし分類では、

スペクトル値を用いた ISODATA 法を用い分類した。なお、教師つき分類では、閾値分割、最短距離法、最尤法、ベジアン推定法に分類が備えられている。

b) 解析結果

教師つき分類結果を図-5 に、教師なし分類結果を図-6 にそれぞれ示す。教師つき分類結果では、比較的浅い場 (水深 1 m の藻場) は濃い灰色で示され、極めて浅い場の藻場は黒色で示され、僅かな色調の違いによって分類することができた。一方、教師なし分類では、比較的浅い場の藻場と極めて浅い場の藻場は、黒色の同色で示され区別ができなかった。2つの分類結果は共に、淡い灰色で示された領域は、岩場もしくは砂場と推定され、濃い灰色および黒色で示される領域は藻場と推定された。これらの結果より、両画像を比較すると、教師つき分類および教師なし分類ともに、比較的類似しており、藻場の分布域を何れの手法でも推定できるものと思われる。なお、教師つき分類における藻場の画像に対する被度は62%となり、同様に教師なし分類において62%と共に同じ値となった。

以上のことから、撮影した画像を処理することによって、面的に藻場、岩場および砂場に、分類できるものと

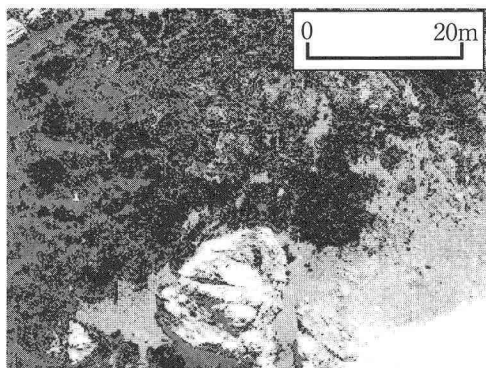


図-5 教師つき分類における藻場推定図

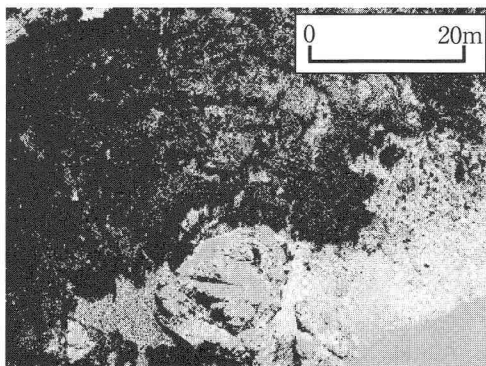


図-6 教師なし分類における藻場推定図

考えられる。ここでは、沿岸域の比較的浅い場の藻場に限定して分類したが、浅い場と極めて浅い場の藻場が教師なし分類では同色で分類された。一方で、更に深い水深域の藻場については、全体が黒色になり分類できなくなることが考えられ今後検討を行う必要がある。これはデジタル写真画像を扱っているためであり、衛星画像データ分析で利用されるスペクトル分析手法が必要になると考えられる。

(3) ANN および画像解析ソフトの解析結果

画像処理ソフトを用いた分類は、得られた画像に対して教師つき分類では、教師データをその都度あたえ分類を行う必要がある。また教師なし分類では、デジタル写真画像からの分類は困難な場合も推察される。本研究の目的は、バルーンに搭載したデジタルカメラおよびデジタルビデオカメラを用い、比較的低高度からの数値的に精度の高い情報を得ることにより、面的に沿岸域の環境を把握するために現状の沿岸域の情報マップを作成することにある。そのためには、一旦構築したシステムを用い、新たな情報に対して迅速かつ高精度にその認識・評価を行えることにある。ここで検討した ANN および ERDAS とともに一旦構築したシステムを用いることにより広範囲の解析により適しているといえる。しかしながら、目的を絞っているため ANN は比較的簡便なシステムであるといえる。

4. 干潟における生物生息量の解析

(1) 解析方法

観測は多摩川の河口干潟（神奈川県川崎市側）にて行い、現地観測にあたっては風の穏やかな干潮時を狙って行った。撮影にあたっては、レーザー測距機を用いて計測し、観測装置を干潟上10 m まで上昇させることで、7 × 8 m エリアの干潟生物の巣穴を撮影した。撮影後は

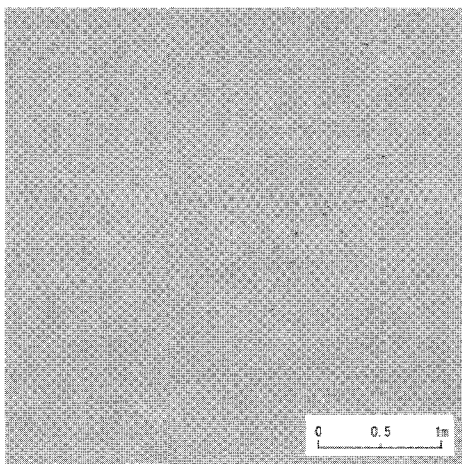


図-7 干潟底面撮影画像

デジタル画像を先に用いた ERDAS により二値化処理を行い、巣穴と巣穴以外の領域を抽出し生息数の推算を行った。

また、同時に干潟を踏査することで、生物分布についても観察を行った。調査対象の範囲で確認できた生物はヤマトオサガニ、トビハゼ、チゴガニ、アシハラガニであった。さらに、バルーンにより撮影した範囲については特にヤマトオサガニが優占しており、このヤマトオサガニを対象生物とし、生息数の推算を行った。バルーンシステムを用いて空撮した写真を図-7 に示す。

(2) 解析結果

空撮時の気象条件は曇りで風はほぼ無風であった。底泥干潟の底生生物の巣穴は、鮮明に撮影することができ、写真中に点在している黒い点が巣穴と考えられる。釜田

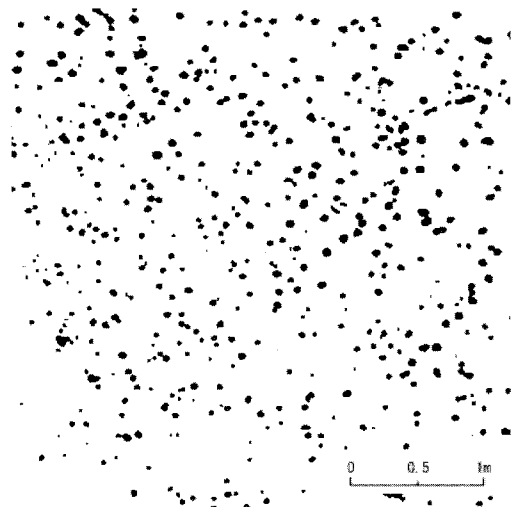


図-8 二値化一次処理画像

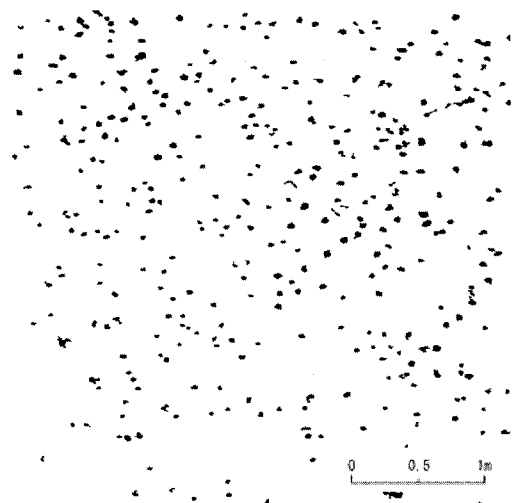


図-9 二値化二次処理画像

ら(1996)はヤマトオサガニの巣穴を直径3 cm以上と仮定することにより巣穴の数からおよその生息数を把握できると報告している。ここではヤマトオサガニの生息数に着目することとした。そこで、3 cm以上の巣穴の数を明確に画像から判読するため、画像処理を施した。処理した画像を図-8に示す。手順としてはまず、レーザー測距機で測定した高度から巣穴を推算する範囲を設定した。撮影した範囲は56 m²であるが、ひずみを考慮してここでは中央部25 m²を抽出した。まず、目視にて巣穴と巣穴以外に2階調化する境界の閾値を入力し、判別を行った後、巣穴を黒、それ以外を白と設定し二値化画像の一次処理画像を作成した(図-8)。この画像にはヤマトオサガニ以外の生物のチゴガニ(巣穴1 cm程度)などの含まれている。

そこで、ヤマトオサガニの巣穴を抽出するため、1ピクセルあたりの距離を算出し(9 mm)、3 cm以上の巣穴のピクセル数が縦4ピクセル、横4ピクセル以上と算出した。その後、縦4ピクセル、横4ピクセル以上の黒点のみを抽出し二値化二次画像を作成し(図-9)、黒点の数からヤマトオサガニのおよその生息数を算出した。

ERDAS 画像処理ソフトを用いて黒点数を計測した結果、黒点の数は360個/25 m²であった。ひとつの巣穴に1個体のヤマトオサガニが生息していると仮定すると、空撮した範囲には1 m²あたり約14個体のヤマトオサガニが生息していると考えられる。この結果は現地観察結果とほぼ一致していた。このような、面的に得られた撮影画像を処理することにより、干潟域における底生動物の生息量の推定も可能であると考えられる。従来観測者により地上で一部分をコードラートあるいはラインセンサスにより観測していたが、このような手法で短時間に全域の生息量をより精度よく推定できるものと考えられる。

5. ま と め

本研究では、バルーンを用い沿岸域の環境を把握するために現状の沿岸域の情報マップを作成し、将来にわたって沿岸域の環境を保全・再生するための利用技術確立することを目的としている。ここでは、ニューラルネットワークのシステムおよびERDAS(ESRI社製)を用い藻場分布域の分類および推定を行ったのでその有効性について検討した。また、干出時における干潟域の画像処理により、生物生息量を推定する手法についても提案を行った。

- (1) ANN および画像解析ソフトによる分類は、一旦ネットワークを構築すると、新たな情報に対して迅速かつ高精度にその認識・評価を行える広範囲の解析が可能である。
- (2) しかしながら、ANN は目的を絞っているため、簡便に解析ができるが、更に教師データの精度や学習データを増すなどの検討を行う必要がある。
- (3) 生物生息量は、従来観測者により地上で一部分をコードラートあるいはラインセンサスにより推定していたが、バルーンを用い得られた画像を解析することにより短時間に生息量をより精度よく推定できるものと考えられる。

今後は、より広範囲にわたる調査解析を行い、沿岸域の情報マップを作成し、環境を保全・再生するための利用技術確立することとしている。

謝辞：本研究をまとめるにあたり協力を頂いたプログラムを作成して頂いた日本ミクニヤ株式会社平賀未緒氏、RARDSの解析に協力を頂いた日本ミクニヤ株式会社波崎良平氏、ならびに調査の協力を頂いた日本ミクニヤ株式会社東京支店、九州事業所および鳥取大学工学部土木工学科海岸工学研究室の方々に謝意を表します。

参 考 文 献

- 市村 康(2001)：沿岸域における環境予測および評価に関する研究，鳥取大学博士論文。
- 市村 康・松原雄平・田根秀昭(2004)：沿岸域のマッピング管理システムに関する研究，平成16年度日本水産工学会学術講演会講演論文集，pp. 239-240。
- 釜田美穂・金井 裕・植田睦之・成末雅恵・黒沢令子・小坂正俊・福井和二・塚本洋三・梶希代美・金子利子(1996)：干潟面の穴の数による底生生物の生息量の評価，野外鳥類学雑誌，第14巻，pp. 201-203。
- 斎賀守勝・棚原盛秀・島袋寛盛・木村 匡・新井章吾・香村真徳(2003)：ラジオコントロールヘリコプターによるジュゴントレンチ撮影の試み，平成15年度日本水産工学会学術講演会講演論文集，pp. 179-182。
- 武若 聡・中村 崇(1999)：係留ビデオシステムによる碎波帯の水理現象観測の試み，海岸工学論文集，第46巻，pp. 151-155。
- 出口一郎・荒木進歩・竹田怜史・松見吉晴・古河泰典(2003)：鳥取県浦富海岸で観測された離岸流の特性，海岸工学論文集，第50巻，pp. 151-155。
- 松原雄平・野田英明・時吉 学(1995)：ニューラルネットワークを利用した環境評価モデルに関する研究，第42回海岸工学論文集，第，pp. 1141-1145。