

港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE

OF

THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No. 1273

June 2013

現地観測データと衛星画像の統合による
海草藻場の分布域と密度の測定

京田 潤一
桑江朝比呂

独立行政法人 港湾空港技術研究所

Independent Administrative Institution,
Port and Airport Research Institute, Japan

目 次

要 旨	3
1. まえがき	4
1.1 海草藻場の重要性	4
1.2 海草藻場の分布と密度の測定	4
1.3 本研究の目的	4
2. リモートセンシングについて	4
2.1 入手可能な画像の種類と、その比較	4
3. リモートセンシングデータの画像解析手法	5
3.1 リモートセンシングデータのみを使用する方法	5
3.2 リモートセンシングデータとグランドトゥルスデータを統合する方法	6
4. 現地適用例 風蓮湖	7
4.1 風蓮湖を対象とした理由と特徴	7
4.2 解析方法	8
4.3 結果と考察	9
5. あとがき	16
5.1 本研究で得られた成果の要約	16
5.2 今後の課題	17
謝辞	17
参考文献	17

Estimation of the Distribution and Coverage of Seagrasses Using Field Observation Data and Satellite Imagery

Junichi KYODA*
Tomohiro KUWAE**

Synopsis

Seagrass meadows provide a variety of ecosystem services; the recent attention that seagrass systems are beginning to attract amongst the service includes a potential to store and sequester atmospheric CO₂. Thus, we anticipate that the restoration and conservation of seagrass meadows in port and coastal areas can contribute to atmospheric CO₂ reduction. Restoration and conservation efforts have been made to recover the lost seagrass areas and to sustainably receive the services that the seagrass systems provide. Accurate measurement of the coverage and distribution of seagrass beds is important to establish the restoration technology and the quantification of the ecosystem services.

Here, we developed the measurement technology of the coverage and distribution of seagrass beds and applied it to a model site, using both GIS (Geographic Information System) and high-resolution multi-band satellite imagery, consolidated by field observation data.

The estimation accuracy of the distribution was greatly improved when field observation data were incorporated into the image analyses. However, supervised classification is greatly affected by "training data". Thus, it is still necessary to develop a valid method for the choice of "training data" in order to improve the analysis results.

Key Words: restoration, GIS, supervised classification, *Zostera marina*

* Researcher, Coastal and Estuarine Environment Group, Coastal and Estuarine Environment Field.

** Head, Coastal and Estuarine Environment Group, Coastal and Estuarine Environment Field.
3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan
Phone : +81-46-844-5046 Fax : +81-46-844-1274 e-mail:kyouda-j852a@pari.go.jp

現地観測データと衛星画像の統合による 海草藻場の分布域と密度の測定

京田 潤一*・桑江 朝比呂**

要 旨

海草藻場は、様々な生態系サービスを生み出している。また、CO₂ 固定効果の可能性が高いとして注目されており、港湾における海草場の再生や保全によって、CO₂ 削減対策への貢献が期待される。一方で、磯焼けや沿岸開発に伴う埋め立てによる浅場の喪失などで、海草藻場の面積は減少してきていることから、藻場の造成や保全活動が行われている。生態系サービスの定量化や藻場造成による再生技術の確立のために、海草藻場の分布域や被度を正確に把握することは重要である。

海草藻場の分布域を把握する方法として、潜水調査による現地観測や、衛星画像データの解析などがあるが、どちらの方法にも長所と短所があり、両者の長所を活かすような手法の開発が求められている。そこで、本研究では、高解像度かつマルチバンドを有する人工衛星の画像データについて、GIS（地理情報システム）を用いて現地観測によって得られた情報で補完することにより、海草藻場の被度や分布の測定技術を開発することを目的とした。そして、現地観測データを使わない場合と比較し、海草藻場の分布や被度の測定精度がどの程度改善されるかを検証した。

現地観測によって得られたデータで人工衛星画像を補完することにより、海草藻場の分布域の推定精度が大幅に改善されており、被度を考慮した分布域の推定ができるようになった。しかし、推定精度は現地観測データの空間代表性の決定や、現地データの取り方により大きな影響を受けるため、有効な現地データの取り方を検討することにより、更なる推定精度の向上が見込まれる。

キーワード：自然再生，GIS，教師付き分類，アマモ

* 沿岸環境研究領域沿岸環境研究チーム研究官

** 沿岸環境研究領域沿岸環境研究チームリーダー
〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 港湾空港技術研究所
電話：046-844-5046 Fax：046-844-1274 e-mail:kyouda-j852a@pari.go.jp

1. まえがき

1.1 海草藻場の重要性

藻場とは、沿岸域に形成された海藻や海草の群落である。海藻は、ワカメやコンブなどの海産の藻類のことで、岩礁域や港湾構造物に生息しており、孢子によって繁殖する。海草は、海中で花を咲かせ種子によって繁殖するアマモなどの海産性種子植物であり、光が充分届く浅い砂泥域に生息する。

海草藻場は、魚介類の産卵、生育、採餌場としての機能や、栄養塩を吸収する水質浄化機能、光合成による二酸化炭素吸収など様々な生態系サービスを生み出している (Costanzaら, 1997)。また、海草藻場はCO₂固定効果の可能性が高いとして注目されており、港湾における海草場の再生や保全によって、CO₂削減対策への貢献が期待される。アマモ場の再生は干潟の再生と同様に、浚渫土砂処分の有効利用のオプションとして近年着目されている。一方で、磯焼けや沿岸開発に伴う埋め立てによる浅場の喪失などで、海草藻場の面積は減少してきている。そのため、藻場の造成や保全活動が行われている。

以上のことから、沿岸域における海草藻場の保全や再生は、生物多様性の側面のみならず、港湾機能の持続的な維持管理のために重要と考えられる。

1.2 海草藻場の分布と密度の測定

生態系サービスの定量化や藻場造成による再生技術の確立のために、海草藻場の分布域や被度を正確に把握することは重要である。また、藻場造成の効果を確認するためのモニタリング調査を行うにあたり、藻場面積の経年変化を捉える必要がある。

海草藻場の分布域を把握する方法として、潜水調査法がある。例えば、植生の被覆度合を示す被度を潜水調査において測定した場合、現地海草藻場を直接観測して

いることから、真のデータを得ることができる。しかし、潜水調査は、コストがかかるため、短期間で実施可能な面積は限られ、広域な海草藻場分布域の被度を把握する目的には適していない。

これに対して、人工衛星や航空機などから地球表面を観測する技術 (リモートセンシング) を利用して得た画像は、広範囲の海草藻場分布域を一度に描画し、広域な海草藻場分布域を捉えやすい。しかしながら、平面画像情報のみであることから、水深や濁りなどの水面下の特性による影響や、雲などの大気特性が排除できない。

これらの問題を解決する手法として、近年、GIS (地理情報システム) を用いて衛星画像を現地観測データで補完する方法が開発され始めている (表-1)。しかし、海草藻場の有無についての研究例はあるが (山北ら, 2005 ; 市村ら, 2005)、海草藻場の被度についてリモートセンシングと現地観測を統合した例はない。

1.3 本研究の目的

本研究では、リモートセンシングと現地観測を統合して、海草藻場の被度や分布の測定技術を開発することを目的とする。具体的には、高解像度かつマルチバンドを有する人工衛星の画像データについて、GIS を用いて現地観測によって得られた情報で補完する。そして、現地観測データを使わない場合と比較し、海草藻場の分布や被度の測定精度がどの程度改善されるかを検証する。なお、海草種の中でわが国の沿岸域に広範囲に分布しているアマモ場を主な解析対象とする。さらに、リモートセンシングデータを用いて光合成活性の空間分布の推定も実施し、将来の CO₂ 固定効果検討につなげることを目指す。

2. リモートセンシングについて

2.1 入手可能な画像の種類と、その比較

(1) 市販の衛星画像

市販の衛星画像については、QuickBird や WorldView-2 などがあり、これらの衛星画像は、過去に撮影された画像 (アーカイブ) を購入する方法や、撮影エリアを指定して新規に撮影する方法がある。

QuickBird は、可視 3 波長 (Green, Blue, Red) と近赤外域 (NIR) に 1 波長を持つ人工衛星である (表-2)。

WorldView-2 は、Coastal, Blue, Green, Yellow, Red, RedEdge, NIR1, NIR2 の 8 バンドを有する人工衛星であり (表-2)、従来の QuickBird 衛星に新たに 4 バンド (Coastal, Yellow, Red Edge, NIR2) が加えられている。新

表-1 リモートセンシングによる海草藻場の分布と密度の既往研究例

撮影方法	現地観測による補完	参考文献
無人ヘリコプターと人工衛星(Landsat)	なし	宮野ら(2007)
無人ヘリコプターと人工衛星(QuickBird)		佐藤ら(2010)
有人航空機	あり	山北ら(2005)
気球		市村ら(2005)

表-2 人工衛星の諸元

衛星名	QuickBird			
衛星高度	482km			
回帰日数	2.5日			
周期	94.2分/1周回			
観測幅	18.0km			
打上げ年	2001年			
センサ名	バンド	波長	種類	分解能
QuickBird	band1	430-545nm	青	2.62m
	band2	466-620nm	緑	2.62m
	band3	590-710nm	赤	2.62m
	band4	715-918nm	近赤外	2.62m
	(Pan)	405-1053nm	青から近赤外	0.65m

衛星名	WorldView-2			
衛星高度	770km			
回帰日数	1.1日			
周期	100分/1周回			
観測幅	16.4km			
打上げ年	2009年			
センサ名	バンド	波長	種類	分解能
WorldView-2	band1	400-450nm	コースタル	1.84m
	band2	450-510nm	青	1.84m
	band3	510-580nm	緑	1.84m
	band4	585-625nm	黄	1.84m
	band5	630-690nm	赤	1.84m
	band6	705-745nm	レッドエッジ	1.84m
	band7	770-895nm	近赤外1	1.84m
	band8	860-1040nm	近赤外2	1.84m
	(Pan)	450-800nm	青から近赤外	0.46m

衛星名	Landsat-7			
衛星高度	705km			
回帰日数	16日			
周期	約99分/1周回			
観測幅	185km			
打上げ年	1999年			
センサ名	バンド	波長	種類	分解能
ETM+	band1	450-520nm	青	30m
	band2	530-610nm	緑	30m
	band3	630-690nm	赤	30m
	band4	750-900nm	近赤外	30m
	band5	1550-1750nm	中間赤外	30m
	band6	10400-12500nm	熱赤外	60m
	band7	2090-2350nm	中間赤外	30m
	band8(Pan)	520-900nm	緑から近赤外	15m



図-1 気球からの撮影例。斜めから撮影されるため画像がひずんでいる。撮影に使用した船の航跡後が筋のように見えている。

表-3 画像の比較

撮影方法	解像度	バンド	コスト
QuickBird	○	△	△
WorldView-2	○	○	△
Landsat	△	○	○
空中写真	-	△	△

しいバンドである Coastal は、水に吸収されにくく、透過性が高いため沿岸域の解析に有効であると考えられる (DigitalGlobe, 2010)。

(2) 無料公開されている衛星画像

衛星画像である Landsat 画像の一部が、米国メリーランド大学の web サイト (GLCF : Earth Science Data Interface ; <http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>) から無償でダウンロードすることができる。Landsat が搭載する TM (Thematic Mapper) センサーには、青色、緑色、赤色、近赤外、中間赤外 (2)、熱赤外の 7 つのバンドがあり、分解能は約 30m である (表-2)。

(3) 空中写真撮影

空中写真として、気球やラジコンなどから撮影する方法がある (図-1)。希望する日時に撮影が可能である。一方、撮影範囲が限られるため、広範囲の画像を必要とする場合は、撮影後の画像を組み合わせたモザイク処理や幾何補正が煩雑となることや、各画像撮影時の潮位や日照量の違いにより画像解析に影響がすることがある。

(4) 画像の比較

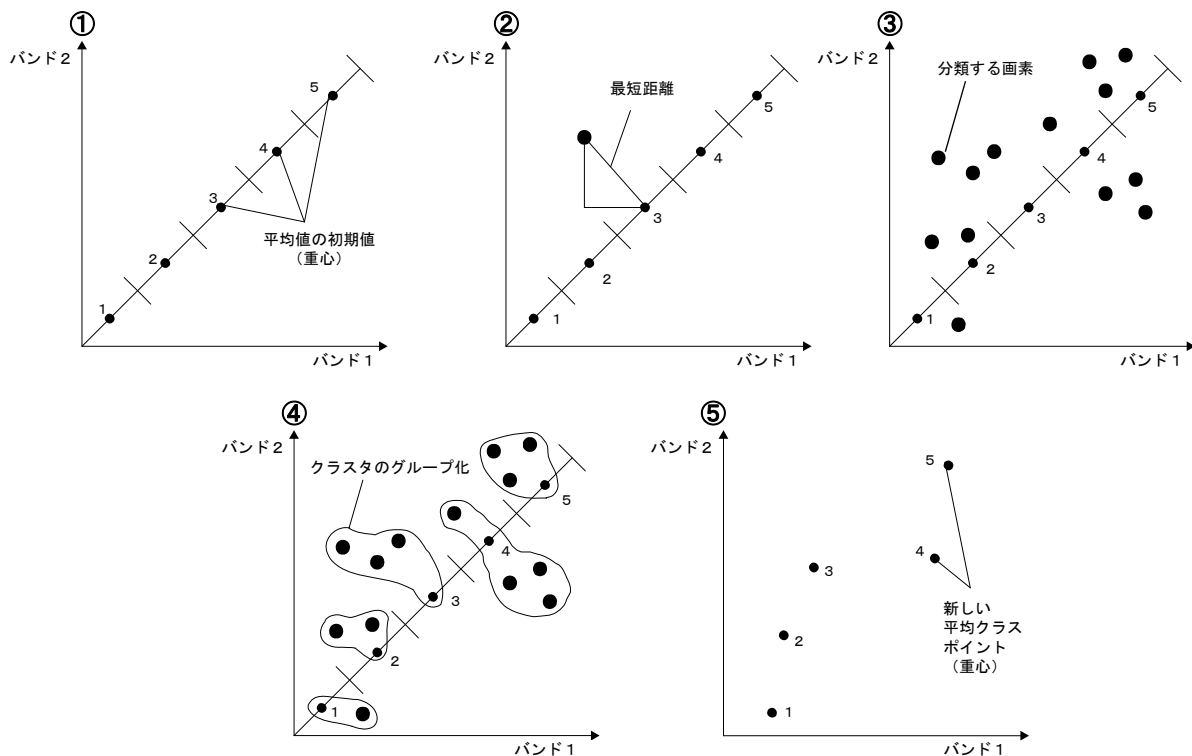
撮影方法別の各画像について、比較検討を行った (表-3)。解像度においては、QuickBird と WorldView-2 は約 2m と高解像度であることから、今回の解析に適している。なお、空中写真は、撮影するカメラなどによって解像度が変わる。バンドについては、WorldView-2 と Landsat は 8 つのバンドあり、様々な解析が可能となる。コストについては、Landsat は過去に撮影された画像の一部が無料で公開されている。

この結果から、コスト面を除けば、WorldView-2 が現在のところ最も解析に適していると判断される。

3. リモートセンシングデータの画像解析手法

3.1 リモートセンシングデータのみを使用する方法

リモートセンシングデータのみを使用する画像分類方法のひとつとして、「教師なし分類」が挙げられる。教師なし分類は、分類クラスをあらかじめ特定せずに、特徴



参考文献：ArcGIS ヘルプライブラリ (<http://help.arcgis.com/ja/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#na/009z000000pt000000/>),
SFC-GIS 電子教材 リモートセンシング編 (<http://www.kri.sfc.keio.ac.jp/report/gakujutsu/2004/3-2/gisman/material/011/index.html>)

図-2 分類教師なし分類 (ISODATA 法) の概要

の類似したデータをグループ化する分類手法である。分類後に各クラスの意味付けが必要となる。

教師なし分類の代表的な手法である Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique (ISODATA) 法は、画素を繰り返し分類していくことで、データ内のスペクトルパターンを自動的に明らかにし、スペクトルパターンが似た画素どうしで分類していく方法である。

2 バンドのデータを例として ISODATA 法について説明する (図-2)。はじめに、あらかじめ指定したクラス数に応じて各バンドを均等に区分し、平均値の初期値 (重心) を決める (図-2 の①)。それぞれの画素は、各クラスの重心との距離が計算され、最も距離が近いクラスに所属される (図-2 の②)。すべての画素について所属するクラスが決定されると (図-2 の③、④)、クラスごとに画素値を計算し、新たな重心が決定される (図-2 の⑤)。そして、先程と同様に、画素は各クラスの重心との距離を計算し、最も距離の近いクラスに所属される。この作業を繰り返すことで分類を収束させる。最終的には、あらかじめ設定した、前のクラスタリングで変化しない割合や、クラスタリング回数のパラメータから、この繰り返

返しを終了させる。

教師なし分類は、現地情報がない場合、分類結果の各クラスが実際どのような対象によって分類されたのか、海草など目的とする対象が正確に分類できているかが不明である欠点がある。

3.2 リモートセンシングデータとグラントルースデータを統合する方法

リモートセンシングデータとグラントルースデータを統合した画像分類方法のひとつとして、「教師付き分類」が挙げられる。教師付き分類は、判別の基準となる「教師データ (トレーニングデータ)」を設定し、画像を分類する方法である。

教師付き分類で最もよく用いられる最尤法は、各クラスに対する画素値の尤度を求め、尤度が最大となるクラスに画素を分類する方法である。尤度とは、ある確率分布を仮定した下で、観測されたデータが得られる確率のことである。トレーニングデータ (教師データ) を基にして、設定したクラスごとに確率密度関数が設定される (図-3)。横軸が画素値、縦軸が尤度である。2つのクラ

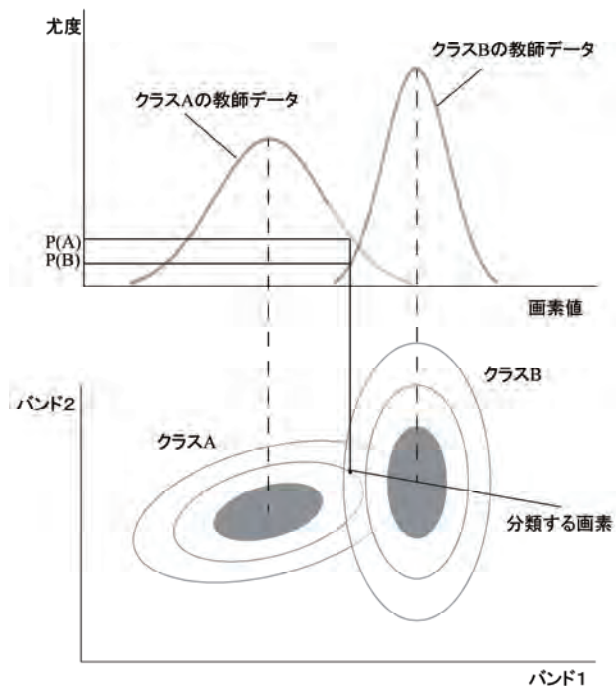


図-3 教師付き分類（最尤法）の概念図

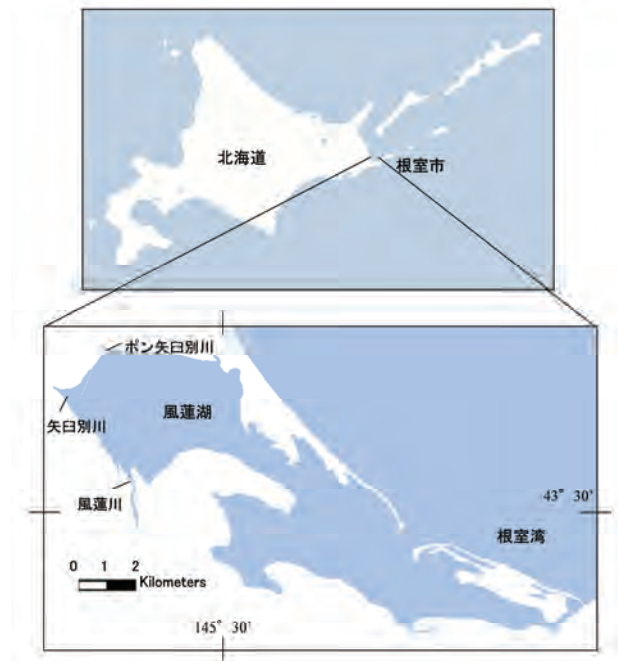


図-4 風蓮湖位置図

スがあるが、それぞれのクラスは正規分布すると仮定して、あらかじめ教師データを設定しておく。そして、全体に適用し、画素値からクラス別の尤度を求める。そして、最も尤度の高かったクラスが、所属すべきクラスと判断され、画素に対して、そのクラスを示す値が格納される。図-3の例では、クラスAの尤度（ $P(A)$ ）の方がクラスBの尤度（ $P(B)$ ）より高いため、この画素はクラスAに分類される。

この手法では、①クラス数が不適切な場合、②クラスが正規分布を仮定できないとき、③トレーニングデータが不十分であった場合は、分類精度が低下する。

以上のように、教師付き分類にも課題があるものの、現地観測データを教師データとすることで、上述の教師なし分類の欠点、すなわち、各クラスがどのような対象物によって分類されたかということ克服することができる。

4. 現地適用例 風蓮湖

4.1 風蓮湖を対象とした理由と特徴

解析の対象地域は、北海道根室半島の付け根に位置する風蓮湖とした（図-4）。その理由として、（1）風蓮湖は、面積が 56.4km^2 の汽水湖で、その割にあたる約 40km^2 をアマモ場が占めている、全国の中で最もアマモ場が広域に分布する水域である（環境省自然環境局、2008）こと、

（2）水深は滞筋以外では浅く、平均水深 1m となっていることから、海草藻場の分布や被度の変化に富んでいることが期待され、水深が浅く画像解析に有利で、現地観測が行いやすいと考えられることが挙げられる。また、（3）当研究所により風蓮湖において CO_2 吸収量の現地観測を実施しており、本研究と統合することにより藻場単位面積あたりの CO_2 吸収量の解析にも貢献できる。以上の点から、リモートセンシングと現地観測を統合して、海草藻場の被度や分布の測定技術を開発する上で、風蓮湖が現地観測場所として適していると判断した。

根室湾とつながっている開口部は水深 13m と最も深くなっており、一年を通して開いているため、湖の干満によって海水が入り出す。北側の湖には主要河川とされる風蓮川、矢白別（ヤウシュベツ）川、ボン矢白別川が流入している。集水域の主な土地利用は牧場、耕作地となっており、有機物を多く含んだ淡褐色の河川水が流入する。

2006年5月～2008年11月に風蓮湖で行われた水質調査結果によると、水中の植物プランクトン量の指標となるクロロフィルa（Chl.a）は、周年河口域で高く、各月の平均値で $0.9\sim 35.3\mu\text{gL}^{-1}$ の変動を示しているが、季節的な変動パターンは見られなかった。開口部周辺（風蓮湖南東側）では河口部周辺（風蓮湖北西側）と比べて周年低く、 $0.8\sim 3.9\mu\text{gL}^{-1}$ であった（門谷ら、2011）。

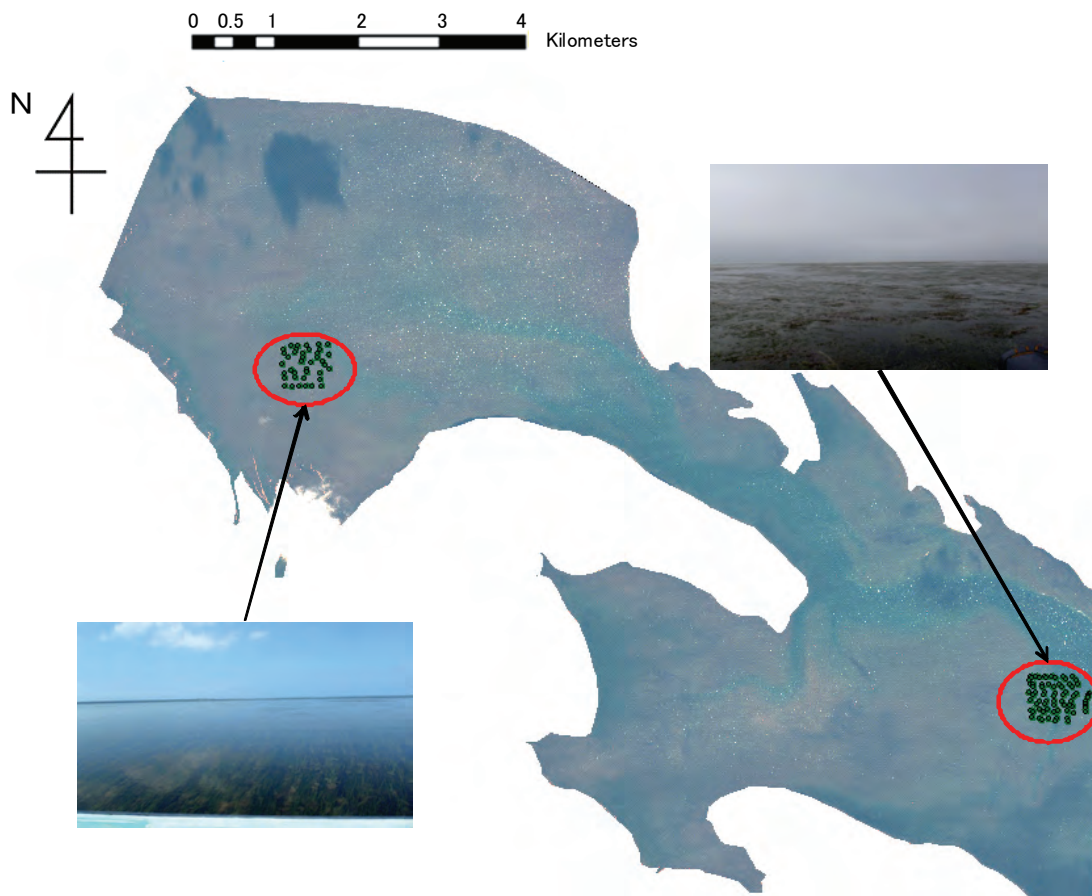


図-5 北海道風蓮湖の人工衛星画像（WorldView-2 のマルチスペクトル画像）（2011 年 11 月撮影）と現地観測地点

4.2 解析方法

(1) 画像の入手と解析までの流れ

2.1で述べた理由により、解析に使用する人工衛星画像はWorldView-2とし、本研究では、新規に撮影依頼を行った。撮影期間は2011年8月1日から12月1日までとした。先述のように雲が存在すると画像解析が実施不可能なため、なるべく雲量の少ない日（雲量15%以下）の画像を選択した。その結果、解析に供された撮影日は 11月21日であった。また、衛星画像は、地形やセンサー特性によるひずみを含んでいることから、幾何補正が必要となる。本研究ではシステム補正及び精密補正された画像（標準画像）を用いた。

画像解析の対象は藻場であるため、入手した画像からGISを用いて海岸線をなぞり、海域を抽出することで、解析対象となる画像を切り出した。海草藻場データに加え、水深を考慮した解析を行うため、水深データをGISにより統合した。水深データは、昭和54年および昭和56年に国土地理院が発行している風蓮湖湖沼図を用いて、作成した。なお、水深は東京湾平均海面（T.P.）を基準面として

いる。また、このデータは、衛星画像データ取得日のおよそ30年前のデータであるため（国土地理院，2010）、水深は参考データとして取り扱う。

(2) 現地観測データ

衛星画像データから海草藻場分布を教師付き分類する現地情報（グランドトゥース）を得るため、現地観測を実施した。様々な被度や様々な水底質の空間分布に関連した色情報を含んだ実測データを得た方が、衛星画像と統合後の推定精度の向上が期待できるため、海草藻場（アマモ場）が一様に分布するものの被度の強弱があり、河川の影響で濁度が高く水深が浅い北西側（2011年8月3日実施）と、滞筋がありアマモ場の有無が明確に分かれていて、北西側よりも濁度が低い南東側（同8月7日実施）を選んだ（図-5）。それぞれの場所の500×500mの範囲内において、100m毎の地点及びアマモ場の被度が特徴的な数箇所において（図-5の丸印内各点）、船上からあるいは潜水による目視観察を行うことにより、アマモ場の有無と被度を測定した。被度は現地観測では10%刻みに区分し、解析においては誤差を考慮して20%刻みに再分類した。

現地で観測したアマモ場の有無及び被度のデータは、観測時にGPSにより測定した各地点の緯度・経度を基に、GISを用いて人工衛星画像上に統合した。なお、水深や濁りによる色情報への影響や、データの位置的な誤差を考慮し、各観測点から半径10m分のピクセル値をバンド毎に平均化して（バッファを発生させて）教師データとした。

衛星画像は指定した日時で撮影することが困難なため、衛星画像撮影時期（11月21日）と現地観測時期（8月3日、7日）が異なっている。8月と11月で藻場の現存量に約3倍（アマモ湿潤重量：夏季平均548g、秋季平均177g）の違いが見られるところもあるが（門谷ら未発表データ）、分布に差がないことを目視で観察しているため、現地観測データを教師データとして使用する。

(3) 藻場の分布と密度の推定

画像解析は、先述のように（1）現地観測データを使わないISODATA法による分類（教師なし分類）と（2）現地観測で得た被度データで補完した最尤法による教師付き分類の2つの手法により実施した（日本リモートセンシング学会編，2011）（図-6）。

教師なし分類は、本解析においては8つのバンドのデータをもとにデータをクラスタ化し、10段階のクラスに分類した（ISOクラスター分類）。分類後に各クラスがどのような対象を示しているかの推定（意味づけ）を行い、教師なし分類の特徴を考察した。

教師付き分類は、本解析においてはアマモ場の有無およびアマモ被度を分類クラスとし、現地調査によって得られたデータの位置に対応する画素値を教師データとして、画像の分類を行った。

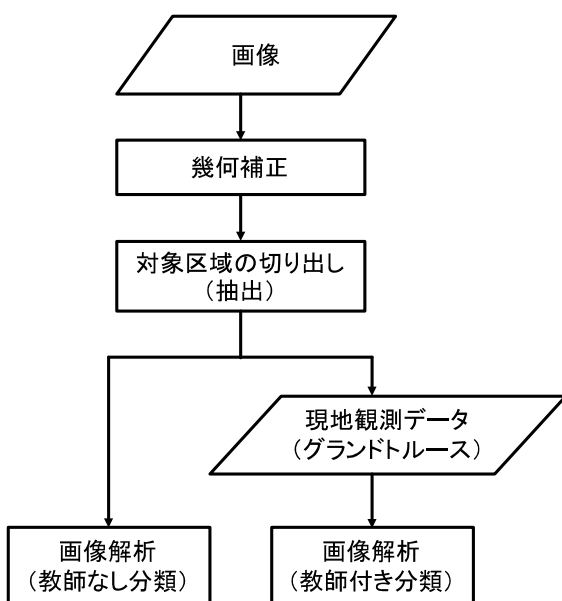


図-6 解析手順のフローチャート

(4) 単位面積当たりの光合成活性度の推定

NDVI（正規化植生指数）は、単位面積当たりの植生の光合成活性を表す指標で、近赤外域の反射率（IR）と可視域赤の反射率（R）を用いて、以下の式で算出される（Tucker, 1979）。

$$NDVI = \frac{(IR - R)}{(IR + R)} \quad (1)$$

なお、算出に当たり、近赤外（IR）はWorldView-2のバンド7、可視光赤（R）はバンド5を用いた。

4.3 結果と考察

(1) 教師なし分類

教師なし分類の結果を図-7に示す。教師なしだけでは分類結果が何を示すのかが不明なため、以下に各クラスの意味の推定を行った。WorldView-2のマルチスペクトル画像（図-5）から、図-7中の凡例8から10は雲がある場所と推定される。同様に凡例1は雲の陰であると推定される。現地の目視観察より、滞筋では水深が深く現地で藻場がないところであるため、凡例2はアマモ場がない場所であると推定される。凡例3から7は上記以外の場所であることから、アマモ場が含まれる場所と推定された。現地の目視観察により、特に凡例4は比較的アマモ場の被度が高い場所であると推定される。

(2) 教師付き分類

教師付き分類の解析では、水深が深い滞筋などでアマモ場なしと分類される（図-8）、または被度が低いと分類される（図-9）など、現地状況とも一致しているところが多かった。ただし、「藻場なし」もしくは「被度0%」と分類されている場所の一部は、画像から雲または雲の影の影響を受けている場であることがわかっている。

(3) 教師なし分類と教師付き分類の比較

教師なし分類と教師付き分類の結果を比較すると、水深が深く明らかにアマモ場がない滞筋で、教師なしではアマモ場と判定されているが、教師付き分類ではアマモ場なしとなり、滞筋がはっきりと出ている（図-10）。

教師データの有無による分類結果の精度を比較するため、滞筋内で水深が一番深い箇所において検証を行った（図-11）。検証箇所は現地でもアマモ場がないことから、各分類方法において「藻場なし」と分類された画素数の割合を分類精度とし、比較を行った（表-4）。教師付き分類は、教師なし分類と比較して高い精度で分類されている。

(4) 教師付き分類の精度検証

a) 藻場の有無の精度における地形による影響

教師付き分類によって、現地観測を実施した場所（教師データを得た場所）をどの程度精度良く推定しているかを詳細に検証する。教師付き分類（藻場の有無）の解析結果の検証を行うため、現地観測データと解析による推定の比較を行った（図-12）。現地観測と推定結果が一致している地点は83%（114カ所中95カ所）であった。判定が誤っている場所は、水深が急激に変化している滞筋のところである。誤差の原因は、水深の勾配による影響、教師データのバッファの粗さが誤差を生み出しているかもしれない。

b) 藻場の有無の精度における教師データの選択による影響

推定精度は、教師データの影響を受けると考えられる。ここでは、教師データの取り方について、教師データを半分にして検証を行った。教師付き分類（藻場の有無）について、現地観測データの半分を教師データとして使い、残りの半分を検証用のデータとすることで、解析結果の検証を行った（図-13）。教師データの取り方により、分類結果に大きな影響が出るということがわかる。データ数の

減少により、場合によっては77%と、教師なしと比較して改善が見られないこともある。

c) 藻場の被度の精度

教師付き分類（被度）の分類精度を検証するため、現地観測データと解析による推定の比較を行った（図-14）。決定係数（ R^2 ）が0.45であったことから、被度の推定精度は45%程度と示唆される。現地観測データの被度0%と100%のところにおいて、教師付き分類結果に大きな誤差が生じていることがわかる。これは、教師データのバッファを10m取っているため、現地調査で被度が0%や100%となっても、推定にはより多くの被度を含んでいることが影響しているかもしれない。

(5) 既往文献との比較

精度を検証した既往研究は非常に少なく、東京湾富津干潟の空中写真を基にした藻場の有無の教師付き分類の精度は、67%であった（山北ら、2005）。また、広島湾のLandsat画像を基にした教師なし分類の精度は、82.5%及び72.2%であった（宮野ら、2006、2007）。今回の事例の精度は、これらと比較して高かった。

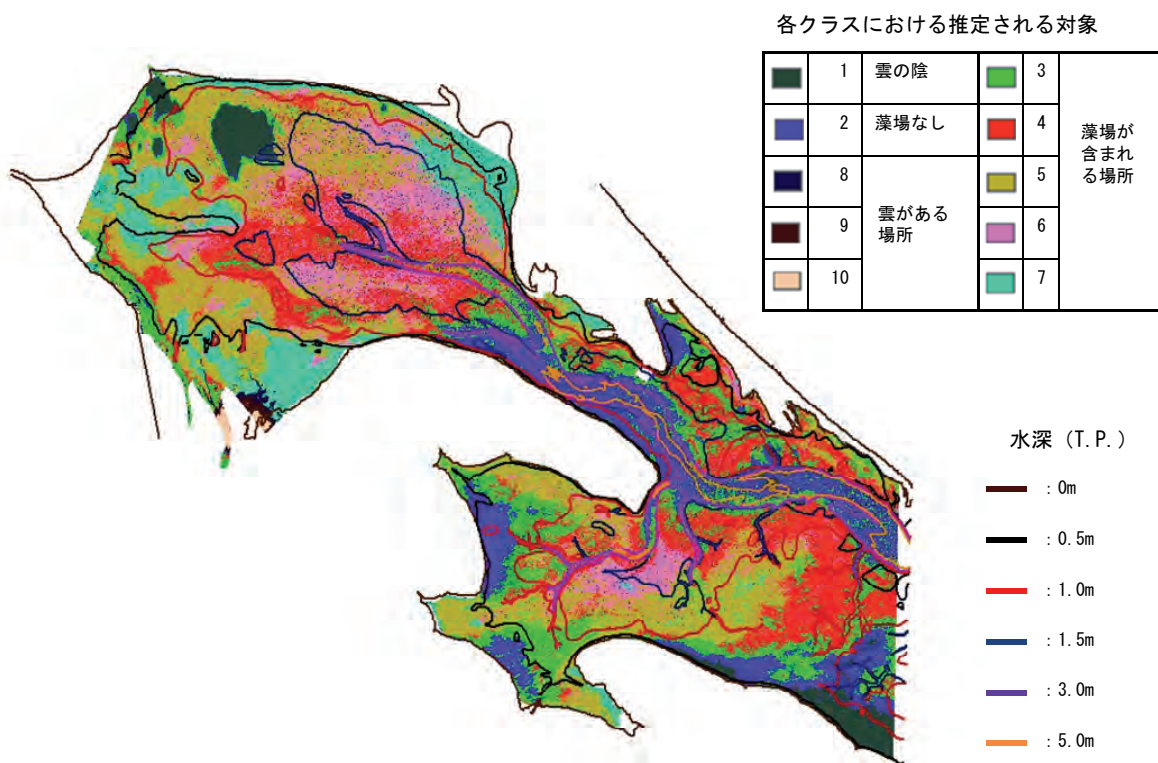
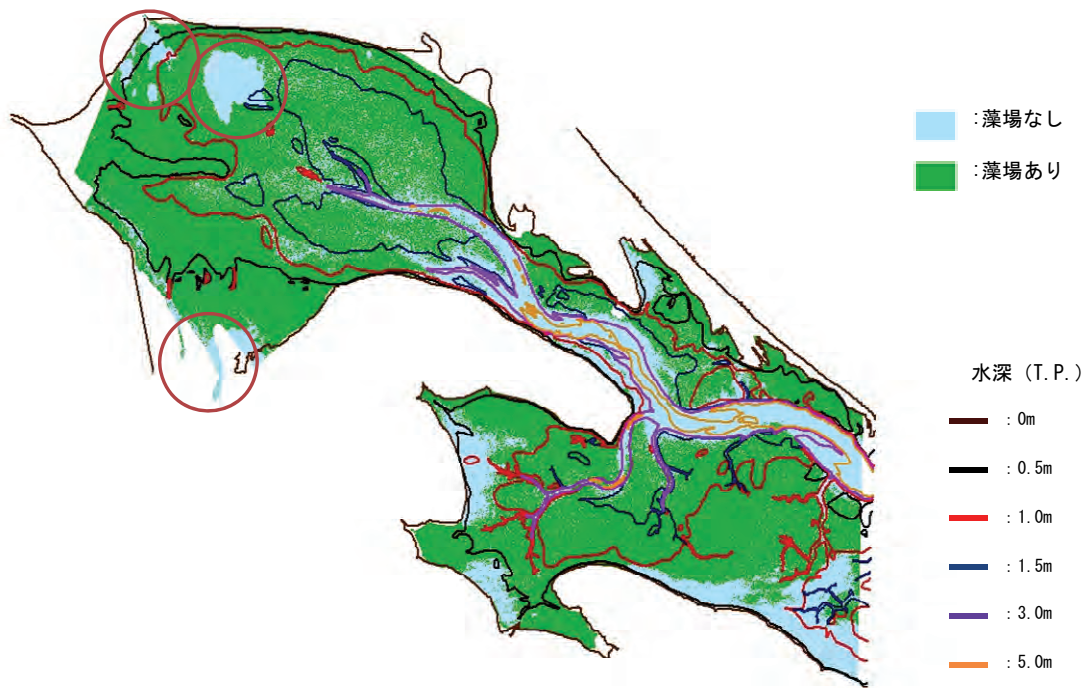
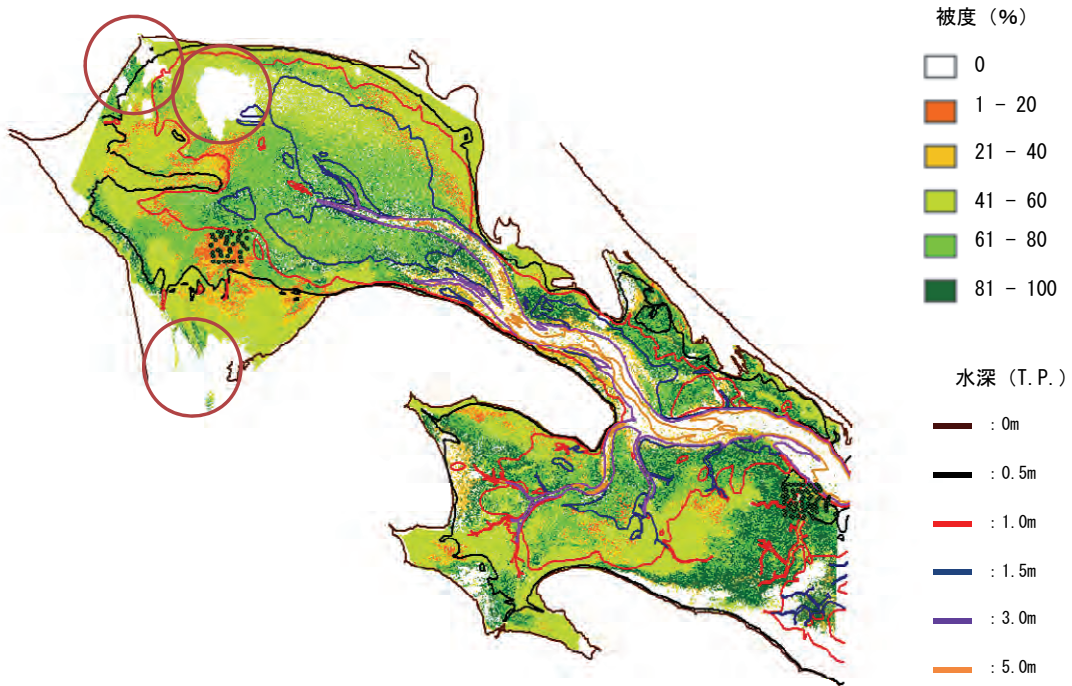


図-7 教師なし分類による画像解析による各クラス分類



※丸印の箇所は、雲または雲の陰のため、「藻場なし」と判定されているが、実際には藻場がある

図-8 教師付き分類（藻場の有無）による解析結果



※丸印の箇所は、雲または雲の陰のため、「被度0%」と判定されているが、実際には藻場がある

図-9 教師付き分類（藻場の被度）による解析結果

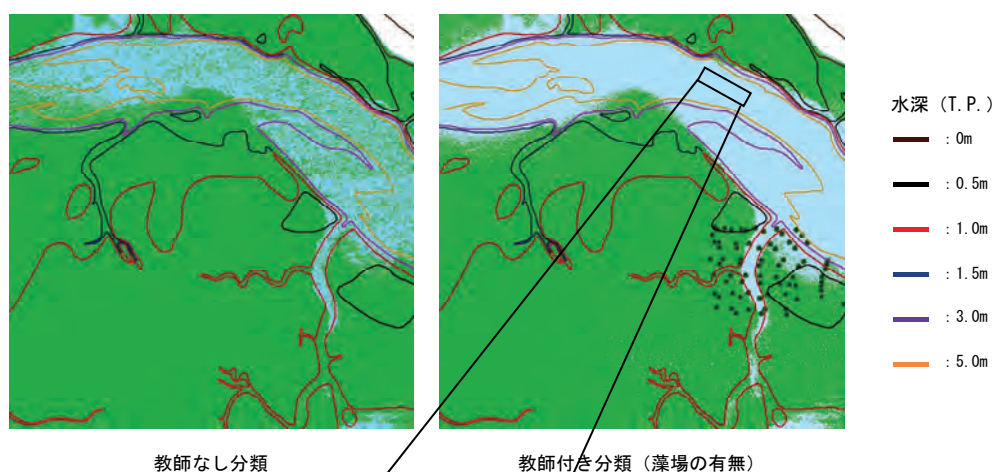


図-10 教師の有無による分類結果比較. 滞筋内には実際には藻場がないことから, 左図の教師なし分類より, 右図の教師付き分類の方が正しく推定されている.

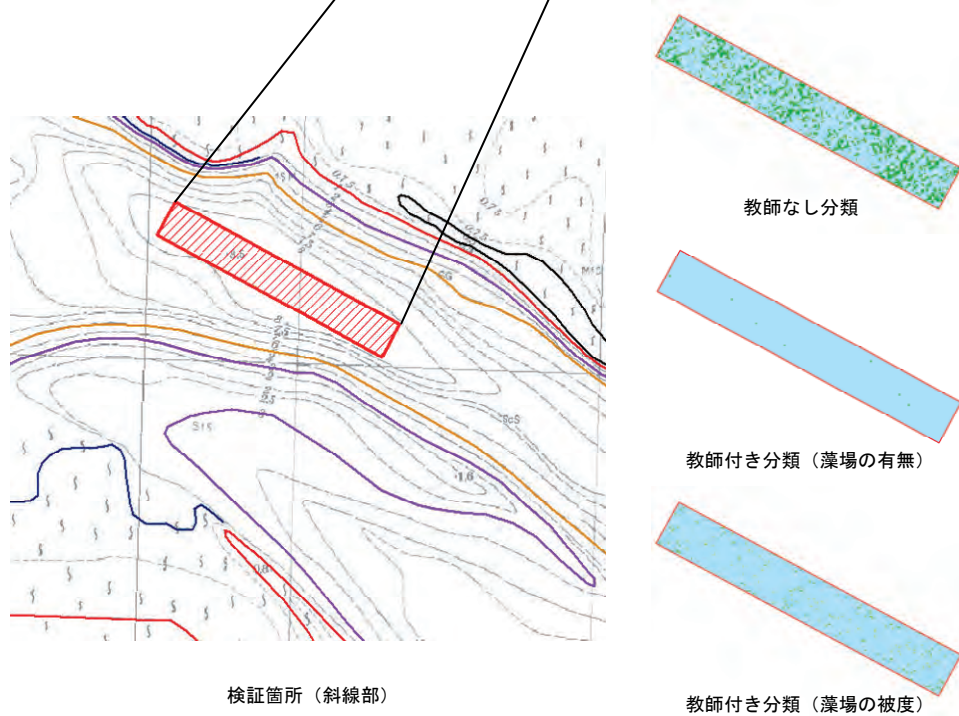
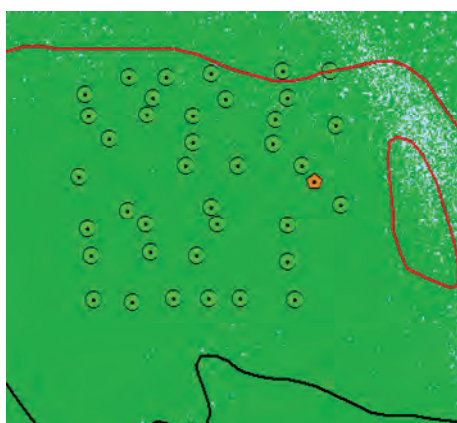


図-11 分類結果の検証

表-4 検証箇所における分類結果の精度比較. ここでは, 藻場なしと分類されるのが正しい.

	藻場ありと分類 (画素数)	藻場なしと分類 (画素数)	精度 (%)
教師なし分類	1479	5097	77.5
教師付き分類 (藻場の有無)	7	6569	99.8
教師付き分類 (藻場の被度)	179	6397	97.2



北西側



南東側

	現地観測	解析結果	解析結果判定	地点数	
■	藻場なし	藻場なし	○	15	83%
◇	藻場なし	藻場あり	×	8	
▲	藻場あり	藻場なし	×	11	
●	藻場あり	藻場あり	○	80	

図-12 教師付き分類（藻場の有無）の精度検証（地形による影響）



現地観測	解析結果	解析結果判定	地点数	
藻場なし	藻場なし	○	8	86%
藻場なし	藻場あり	×	6	
藻場あり	藻場なし	×	2	
藻場あり	藻場あり	○	41	

現地観測	解析結果	解析結果判定	地点数	
藻場なし	藻場なし	○	6	77%
藻場なし	藻場あり	×	3	
藻場あり	藻場なし	×	10	
藻場あり	藻場あり	○	38	

図-13 現地観測データを半分ずつ教師データとして用いた場合の教師付き分類（藻場の有無）の精度検証（教師データの選択による影響）

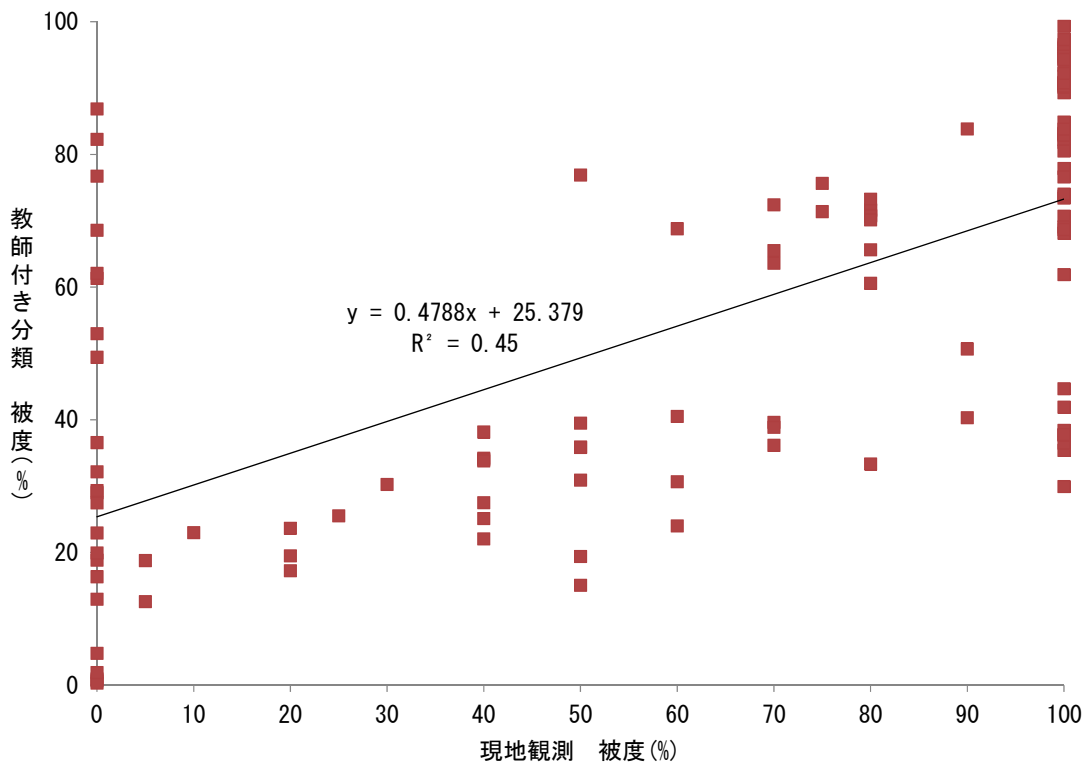


図-14 教師付き分類（被度）の分類精度



図-15 Coastal バンドの有無による被度の分類結果比較

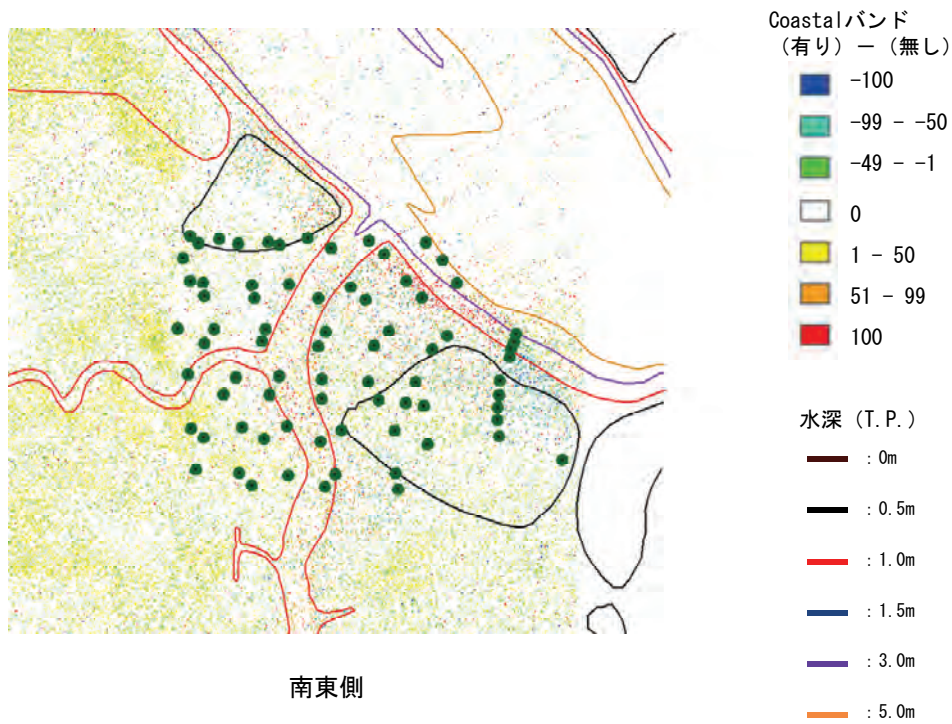


図-16 Coastal バンドの有無による被度の分類結果比較 (拡大図)

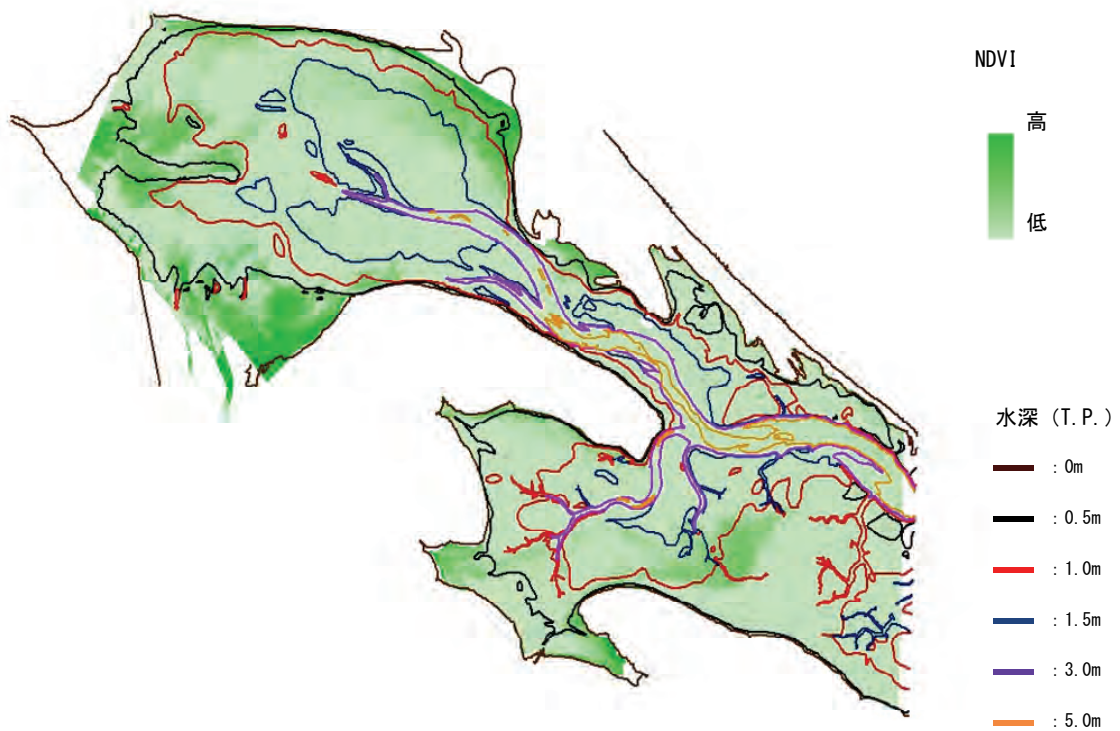


図-17 NDVI

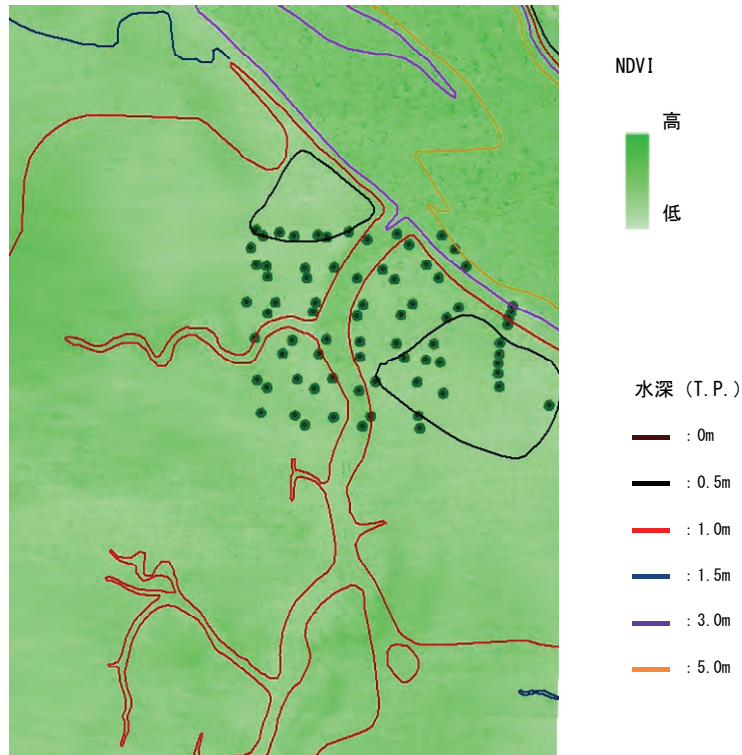


図-18 NDVI (拡大図)

(6) 低波長バンドの有無による比較

WorldView-2で新たに追加されたCoastalバンドは、低波長であるため水に吸収されにくく、透過性が高いと言われている。そこで、Coastalバンドの有無による解析結果を比較するため、教師付き分類（藻場の被度）について、Coastalバンドを含む8バンドの画像と含まない7バンドの画像の差分をとって検証を行った（図-15）。

赤色に近いほどCoastalバンドを含む画像が含まない画像よりも藻場の被度が高いと判定されていることを示しており、逆に、青色に近いほどCoastalバンドを含む画像が含まない画像よりも藻場の被度が低いと判定されていることを示している。青色で示されているとおり、Coastalバンドを含んだ方が、含まない場合と比べて被度が下がっているところがある。しかし、南東側ではあまり違いが見られない（図-16）。水深が5m程度のところであるため、低波長バンドのメリットがあまり得られなかったのかもしれない。

(7) 単位面積当たりの光合成活性度

NDVI（図-17）は、おおむね水深が1 mまでの場所で高い値がみられていることから、浅い場所で光合成活性が高いことが示唆される。NDVIの拡大図（図-18）をみると、水深が深くアマモ場がない滞筋でも高い値を示していることから、植物プランクトンなどのアマモ以外の植生に

よる影響を大きく受けていると考えられる。

5. あとがき

5.1 本研究で得られた成果の要約

本研究では、リモートセンシングと現地観測を統合して、海草藻場の被度や分布の測定技術を開発することを目的とした。マルチバンドの衛星画像と現地観測データを用いて、海草藻場の分布域と被度の推定を試みた。

本研究の主な結果は、以下のとおりである。

- 現地観測によって得られたデータで人工衛星画像を補完することにより、海草藻場の分布域の推定精度が大幅に改善されており、被度を考慮した分布域の推定ができるようになった。
- 今回の事例では、現地観測データを使わない場合は78%程度で、現地観測データを使うと最大で99.8%と改善された。この精度は、既往文献と比較して高かった。しかし、現地データ数が少ない場合や、現地データの選択によっては、改善が見られない。現地観測データを用いた被度の精度は、45%程度にとどまった。
- 推定精度は、現地観測データの空間代表性の決定や、現地データの取得場所により、大きな影響を受ける。
- WorldView-2における水中透過性が高い低波長バンド

(Coastalバンド)の有無による画像解析への影響について、水深が5m程度の浅い水域では明瞭な差は見られなかった。

- ・今回の事例では、光合成活性度 (NDVI) の平面分布の解析からは、アマモ以外の植物の光合成活性も関連していると考えられた。

5.2 今後の課題

本研究から、以下のような課題が抽出された。これらの課題を解決することで、更なる分類精度の向上が見込まれ、より汎用的な測定技術となることが期待される。

- ・雲などの障害がある画像について、どのようにデータを補完するかを検討する必要がある。
- ・水深勾配や濁りによる色情報をどのように補正するかについて検討を行う必要がある。
- ・現地観測データの空間代表性の決定や、現地データの取り方により分類結果に大きな影響を受けるため、有効な現地観測データの取り方を検討する必要がある。
- ・現地観測における藻場の被度の目視判定について、誰が判定しても同じ被度と分類できるように、判定の基準を作成する必要がある。
- ・衛星画像の撮影時期と現地観測の時期がずれるため、解析に大きな影響を与えないような現地データの取り込み方を検討する必要がある。
- ・光合成活性度 (NDVI) については、現地実験もしくは現場型光合成活性測定装置を用いて、検証を行う必要がある。

(2012年11月9日受付)

謝辞

本研究にあたり、元港湾空港技術研究所の細川真也氏、北海道大学の仲岡雅裕氏、渡辺健太郎氏、門谷茂氏、柴沼成一郎氏から、多くのアドバイスを頂いた。また、本研究の野外調査において、元北海道大学の斉藤勝也氏、青江翔太郎氏、別海漁協の皆様、根室湾中部漁協の皆様、元港湾空港技術研究所在外研究員の孟俊鎬氏に多大なご助力を頂いた。本論文の作成にあたっては、港湾空港技術研究所の中村由行氏、高橋宏直氏から多数の貴重なコメントを頂いた。上記の方々に、個々に記して心から謝意を表す。

本研究の一部は、キャノン財団研究助成プログラム「理想の追求」と(独)日本学術振興会科学研究費助成事業「挑戦的萌芽的研究 (No. 24656316)」(共に研究代表者: 桑江朝比呂)の助成によるものである。

参考文献

- 市村康・松原雄平 (2005): 沿岸域のマッピング手法の開発に関する研究, 海岸工学論文集, 第 52 巻, pp.1436-1440.
- 環境省自然環境局 (2008): 第 7 回自然環境保全基礎調査 浅海域生態系調査 (藻場調査) 報告書, pp. 30-31.
- 国土地理院 (2010): 風蓮湖周辺及び温根沼地区湖沼湿原調査報告書, 国土地理院技術資料, D・1-No.563, pp. 25-36.
- 佐藤仁・渡辺光弘・山本潤 (2010): 画像解析による海藻現存量の経年変化算定の試み, 寒地土木研究所月報, No.690, pp.23-28.
- 日本リモートセンシング学会編 (2011): 基礎からわかるリモートセンシング, 理工図書
- 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 (2006): (広島湾流域圏環境再生研究)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), 広島県立総合技術研究所西部工業技術センター研究報告, No.49 (2006), pp.12-15.
- 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 (2007): 広島湾流域圏環境再生研究(第 3 報)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, 広島県立総合技術研究所西部工業技術センター研究報告, No.50 (2007), pp.9-12.
- 門谷茂・真名垣友樹・柴沼成一郎 (2011): 酪農業の進展と風蓮湖の生物生産構造変化, 沿岸海洋研究, 第 49 巻, 第 1 号, pp.59-67.
- 山北剛久・仲岡雅裕・近藤昭彦・石井光廣・庄司泰雅 (2005): 東京湾富津干潟における海草藻場の長期空間動態, 保全生態学研究, 第 10 巻, 第 2 号, pp.129-138.
- Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, M., B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R.V. O'Neill, J. Paruelo, R.G. Raskin, P. Sutton and M. van den Belt (1997): The value of the world's ecosystem services and natural capital, Nature, Vol.387,pp. 253-260.
- DigitalGlobe (2010): The Benefits of the Eight Spectral Bands of WorldView-2, <http://www.digitalglobe.com/downloads/white-papers/D-G-8SPECTRAL-WP.pdf>
- Tucker, C.J. (1979): Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation, Remote Sensing of Environment,8,pp.127-150.

港湾空港技術研究所資料 No. 1273

2013.6

編集兼発行人 独立行政法人港湾空港技術研究所

発行所 独立行政法人港湾空港技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号
TEL. 046(844)5040 URL. <http://www.pari.go.jp/>

印刷所 株式会社 大 應

Copyright © (2013) by PARI

All rights reserved. No part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of PARI.

この資料は、港湾空港技術研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部または一部の転載、複写は港湾空港技術研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。