

## 衛星リモートセンシングを用いた小浜湾の藻場計測\*

青山 隆司<sup>\*1</sup>, 矢野 達也<sup>\*2</sup>, 八木 一平<sup>\*2</sup>

### Measurement of Seagrass Beds in Obama Bay Using Satellite Remote Sensing

Takashi AOYAMA<sup>\*1</sup>, Tatsuya YANO, and Ippei YAGI

<sup>\*1</sup> Department of Electrical, Electronic and Computer Engineering

The purpose of our research is to develop a procedure for extracting information on seagrass beds from multi-spectral satellite images with high spatial resolution. As the first step of this research, a field observation of seagrass beds in Obama Bay as a test site has been conducted using multi-spectral camera (ADC3). The observation results show that the NDVI obtained from multi-spectral camera is a good index to extract seagrass that lives in shallow sea. Based on this result, the procedures to obtain information on the density of seagrass and the area of seagrass beds using NDVI images obtained from high resolution satellite sensors were proposed. In addition, it was confirmed that the area of seagrass beds in the last decade clearly decreased.

**Key Words** : Seagrass Beds, Multi-spectral Camera, Satellite Image, Obama Bay

### 1. 緒 言

世界各地の沿岸の浅海域には、陸上の森林や草原のように植物がつくる森や草原があり、この海の森や草原のことを藻場とよんでいる。藻場は、それを構成する植物の種類によって、海草と海藻に大きく2つに分けることができ、主として種子植物であるアマモなどの海草により形成されるアマモ場と、主として藻類に分類されるホンダワラ、コンブ、アラメといった海藻により形成されるガラモ場、コンブ場、アラメ・カジメ場等がある。

藻場は、海中の様々な生物に隠れ場所・産卵場所などを提供し、窒素やリンなどの栄養塩を吸収して光合成を行い、水の浄化や海中に酸素を供給することで浅海域の生態系を支えている。例えば、大型海藻類が存在していると、大型海藻が生長時に窒素やリンなどの栄養塩を吸収・蓄積し、急激な増加を抑えるバッファー（緩衝装置）の働きをする。もし藻場が存在しない沿岸域に、河川から窒素やリンの栄養塩が豊富な水が流入した場合、植物プランクトンが急激に繁殖し赤潮等の原因になると考えられている。

藻場の植物体自体がアワビ等の貝類を始めとする色々な生物の餌になるだけでなく、海藻に付着した微細な藻類や微生物が小型甲殻類や巻貝の餌になる。それらの小型の生物がいることによりそれらを食べる魚類も集まってくるため、藻場は生物多様性と生産力が高く、日本では古くから漁場として利用されてきた。また、海草類は砂泥場に根を張り生活しているため、海底の底質を安定化させることにより、波浪等で砂や泥が巻上るのを防いでいる。

以上述べてきたように、藻場は、海洋環境、産物供給、生物多様性、栄養塩循環などの面で重要な生態系サービスを提供している。したがって、持続的な沿岸域の発展には藻場の保全、修復、監視が重要であるが、現在の藻場分布の把握方法は、目視、潜水調査、聞き取り調査が中心であり、非常に効率が悪く、面的データも取得できていない。このため、広域の藻場分布の計測手法の確立が求められている。そこで我々は、衛星リモートセンシング技術を用いて、藻場を観測する手法の開発を目指し研究を開始している。ここでは、小浜湾のアマモ場を対象にして実施した研究の初期成果について報告する。

\* 原稿受付 2014年2月28日

<sup>\*1</sup> 電気電子情報工学科

<sup>\*2</sup> 電気電子情報工学科 4年生

E-mail: aoyama@fukui-ut.ac.jp

## 2. 小浜湾の藻場の現状

福井県小浜市沿岸にはかつて多くのアマモが群生していた．しかし現在ではそのほとんどが沿岸域の埋め立てや、海洋環境の悪化が原因で減少してしまった．福井県小浜水産高等学校のダイビングクラブのメンバーは、アマモの減少対策としてアマモを定植する活動である「アマモマーメイドプロジェクト」<sup>(1)</sup>を発案し、地域住民と協力しながら小浜湾沿岸の環境改善に努めている．彼らが行ったアマモの分布調査、地元漁業者からの聞き込みと文献による調査の結果、Fig. 1（福井新聞 2010 年 4 月 13 日より）に示すように、昭和 30 年代に比べ、小浜湾内のアマモ場は 2 割程度しか残っていないことが明らかになっている．そこで本研究では、このような藻場の変化を確認するため、人工衛星画像などのリモートセンシング技術を用いて、福井県小浜市沿岸の藻場を抽出する手法の開発を行った．

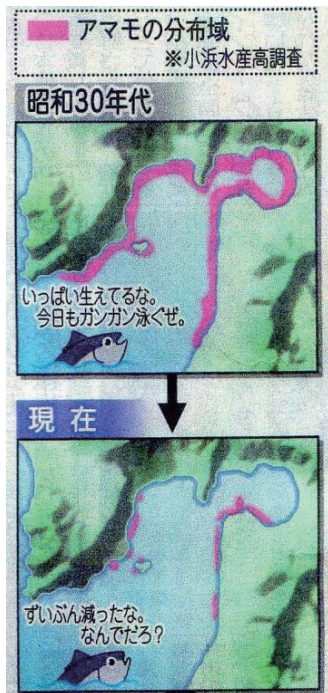


Fig. 1 Difference of seagrass beds between 1955 (upper panel) and present (lower panel), in Obama Bay



Fig. 2 Observation points in Obama Bay (11points)

我々は小浜湾の藻場の現状を把握するために現地調査（2013 年 10 月）を行った．2004 年 3 月 13 日に人工衛星（QuickBird）により撮影された小浜湾の画像を参考に藻場が生息していると思われる場所を選定し、計 11 か所(Fig. 2 参照)の地点について現地調査を実施した．11 ヶ所の観測地点で藻場を確認できたのは、観測地点 1, 4, 6, 9, 10, 11 の計 6 ヶ所であった．調査には、デジタルカメラによる藻場の撮影と、分光カメラ（ADC3 マルチスペクトルカメラ）による撮影を行った．分光カメラで撮影した画像は、可視赤・可視緑・近赤外の 3 バンドの画像であり、これらの画像から NDVI (Normalized Difference Vegetation Index : 正規化植生指標)画像を作成することができる．NDVI は、植生の分布状況や活性度を示す指標であり、

$$NDVI = \frac{R_{\text{近赤外}} - R_{\text{赤}}}{R_{\text{近赤外}} + R_{\text{赤}}}$$

で定義される．ここに、 $R_{\text{近赤外}}$ 、 $R_{\text{赤}}$  はそれぞれ近赤外、可視赤の反射率である．NDVI は-1 から 1 の間の値を取り、1 に近いほど植生が濃いことを示す．

Fig. 3 は、観測地点 10 で撮影した藻場のデジタルカメラの画像であるが、海中に焦げ茶色の海藻が確認できる．Fig. 4 は、Fig.3 とほぼ同じ場所で撮影した分光カメラ画像から作成した NDVI 画像である．NDVI 画像では NDVI



Fig. 3 Image of seagrass by digital camera



Fig. 4 NDVI image of seagrass by ADC3

値が高い海藻の部分が海藻のない海底に対し白く表示される．一般的に、波長が長い近赤外線は海水による吸収が大きく、水深が大きくなると NDVI を用いた植物の判定は困難になるが、浅瀬の藻場分布の計測には十分使えることが確認できた．このことは、衛星に搭載されたマルチスペクトルカメラによる NDVI を用いた藻場計測の可能性を示唆している．

### 3. 高解像度衛星画像を用いた小浜湾の藻場計測

前章で藻場の抽出に NDVI が有効であることが示されたため、3 時期の高解像度衛星の画像を使って小浜湾の藻場の計測を実施した．用いた衛星画像は、2004 年 3 月 13 日の QuickBird 衛星（空間解像度 2.4m）、2011 年 10 月 19 日の GeoEye-1 衛星（空間解像度 1.64m）、2013 年 7 月 12 日の WorldView-2 衛星（空間解像度 1.84m）の各画像である．

#### 3.1 藻場の密集度の変化

衛星画像から得られる NDVI 値は、各衛星の 1 画素（ピクセル）中に含まれる植物量（密集度）を反映していると考えられる．そこで各衛星画像から沿岸域で藻場と思われる地点、沿岸域であるが藻場が存在していないと

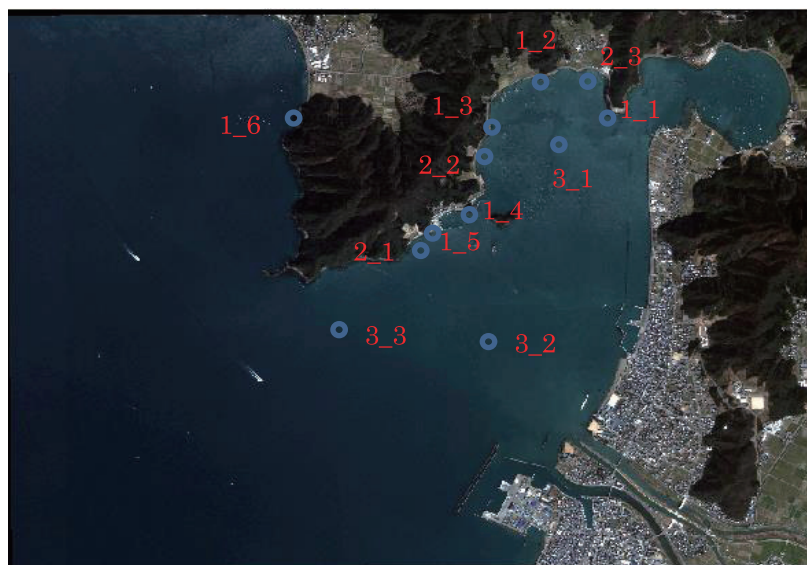


Fig. 5 Measured areas of NDVI using high resolution satellite sensor  
(QuickBird: March, 2014)



思われる地点および沖合の海から代表的な地点を解析対象地点として設定し、その地点の1画素のNDVI値を求めた。具体的には、Fig. 5に示すように、1から始まる番号の地点は藻場がある場所（1\_1~1\_6の6地点）、2から始まる地点は藻場がない沿岸域（2\_1~2\_3の3地点）、3から始まる地点は沿岸域から離れた海（3\_1~3\_3の3地点）とし、観測年の異なる衛星画像の同一地点（各衛星画像中の1画素）のNDVI値を計測する。各地点での計測値をFig. 6に示す。Fig. 6から解るように、3つの衛星画像から得られた海（3\_1~3\_3）のNDVI値に大きな違いが見られる。海のNDVI値は海水中に含まれる植物プランクトンの量を反映しているため、季節変化が大きく表れる。藻場の存在によるNDVI値の変化を抽出するためには、海水中の植物プランクトンによるNDVI値の変化を取り除く必要がある。そこで、小浜湾内の平均的な海のNDVIを各衛星画像から求め、その値を差し引いたNDVI値をFig. 7に示す。

Fig. 7から分かるようにどの年を見ても藻場（1\_1~1\_6）と沿岸域（2\_1~2\_3）と海（3\_1~3\_3）で明らかに値の違いが見られる。また、年が進むにつれて藻場のNDVI値が下がっている事が明らかである。この結果は、3時期の衛星画像において、同一場所の1画素内の海藻の量（密度）が、年が進むにつれて確実に減少していることを意味していると考えられる。

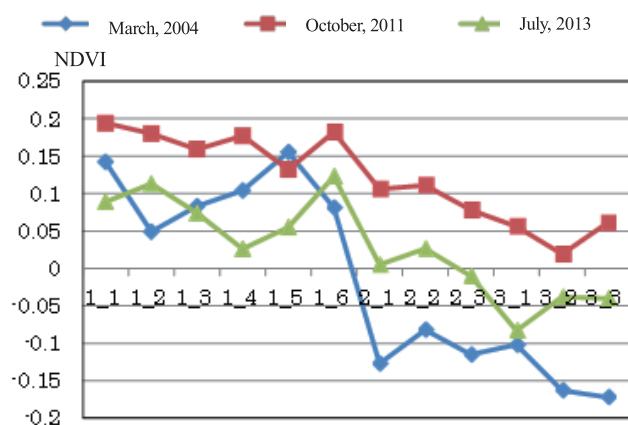


Fig. 6 NDVI values at sampling points

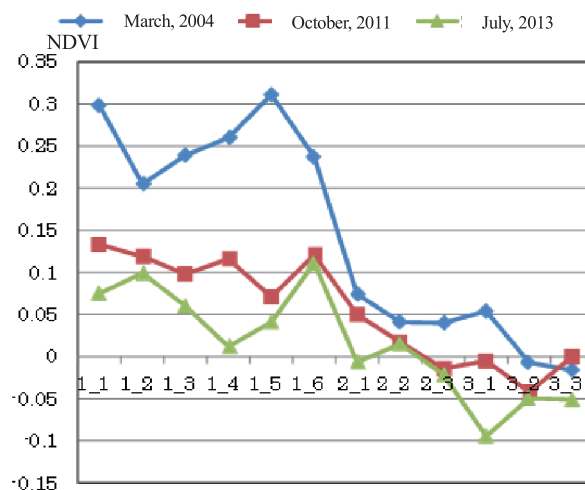


Fig. 7 NDVI values at sampling points subtracted by that of sea average

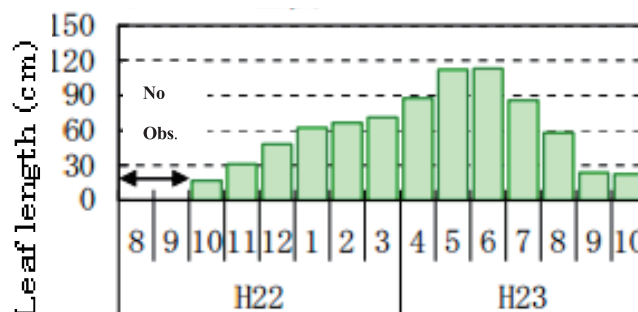


Fig. 8 Growth of eelgrass in Hakata Bay

海藻の密度を議論する際には、海藻の成長の季節変動を考慮する必要がある。Fig. 8は福岡県博多湾内の能古島でのアマモの葉長の季節変化の観測例である<sup>(2)</sup>。場所の違いはあるが、春（4月～7月）に葉長が長く秋（9月

～11月)に最も短くなる。Fig. 7に示す海藻の密度変化のグラフにおいて、2004年3月に比べて2011年10月の値が大きく減少しているのは、藻場域の環境変化のみならず、葉長の季節変化も影響していると考えられる。

### 3.2 藻場の面積の変化

Fig. 1で示した小浜湾のアマモ場の減少を確認するため、3時期の衛星画像を用いて藻場面積を求めることを試みた。前節で明らかになったように、藻場がある場所のNDVI値は藻場のない沿岸域や沖合の海の値に比べて高いため、藻場領域を衛星画像から抽出することが可能である。ただし、この手法で計測可能な範囲は、水深が浅く、海底の藻場の存在がNDVI値に影響を与える領域に限られる。

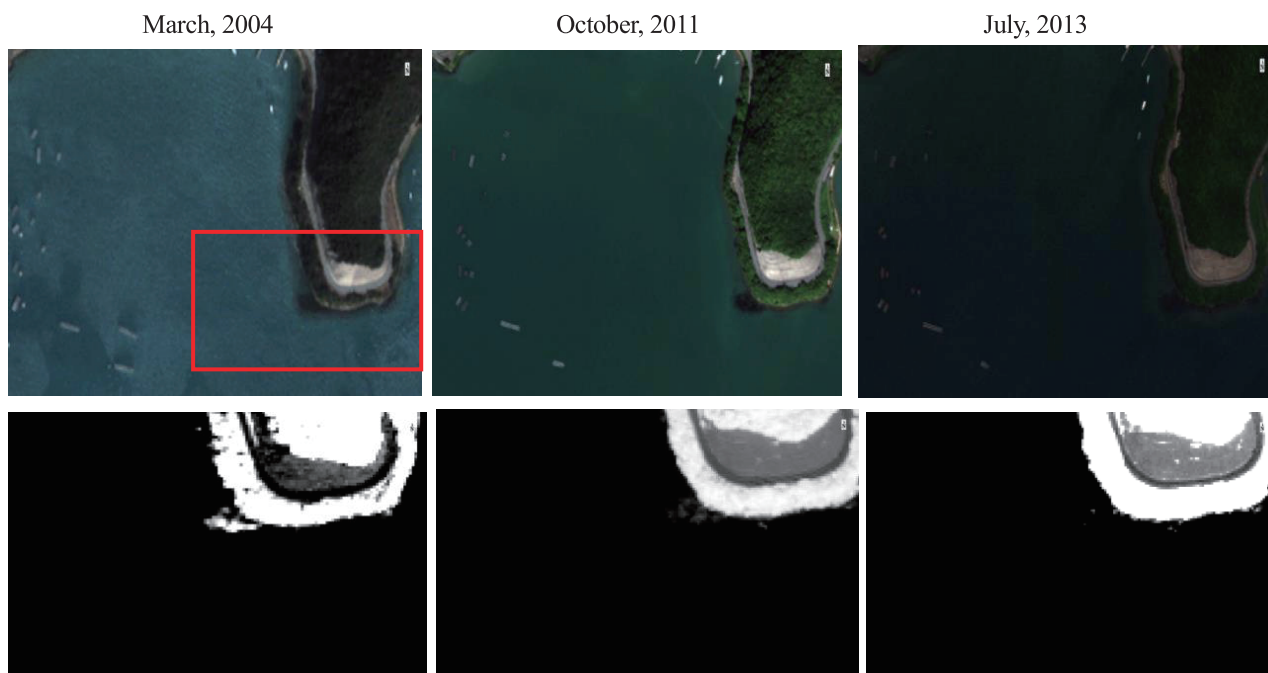


Fig. 9 Satellite images at point 1\_1; Upper panels: True Color images, Lower images: enlarged NDVI images

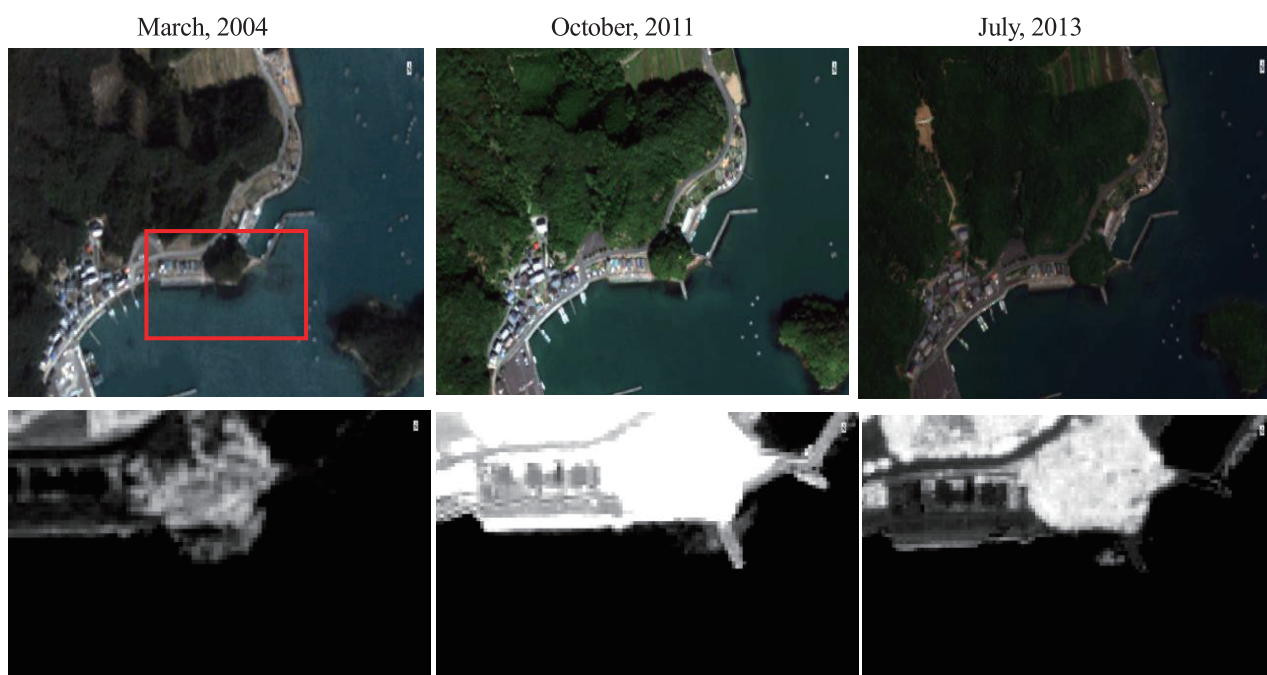


Fig. 10 Satellite images at point 1\_4; Upper panels: True Color images, Lower images: enlarged NDVI images

Fig. 5 に示す藻場と考えられる地点 (1\_1~1\_5) を対象にし、藻場の面積を求めた。方法としては、藻場領域周辺の NDVI 画像を作成し、そのヒストグラムを用いて周辺の海域の NDVI 値の最大値を閾値とし、それ以上の値を取る場所を藻場と仮定してその画素数を計測した。その画素数に 1 画素あたりの面積 (衛星ごとに異なる) を掛けることにより面積を算出した。

地点 1\_1, 1\_4 に対する画像処理結果を Fig. 9 および 10 に示す。各図とも上段が 3 時期の True Color 画像で、下段が赤枠部分を拡大した NDVI 画像である。Fig. 9 の True Color 画像 (地点 1\_1) で黒っぽく見えている沿岸域が藻場であると思われる。この部分を下段の NDVI 画像で見ると、真っ黒な海域の中に白く表示されている。年が進むにつれて藻場域の白さが薄くなり、範囲も狭くなることが明らかであり、藻場の濃度とともに面積も減少していることが解る。Fig. 10 の True Color 画像 (地点 1\_4) でも同様に、赤枠内の黒っぽく見えている沿岸域が藻場であると思われる。この部分を下段の NDVI 画像で見ると、やはり白っぽい植物反応を見ることができる。この地点の特徴は、2004 年と 2011 年の間に藻場域の中に栈橋のような構造物が出来ていることであるが、年が進むにつれて藻場域の白さが薄くなり、藻場の面積も小さくなることは Fig. 9 と同様である。

地点 1\_1~1\_5 に対して藻場面積の変化をまとめたものを Fig. 11 に示す。全ての地点で単調に減少していることが解る。また、2011 年 10 月はアマモの葉長が最も短い時期であるが、妥当な藻場面積が計測できていることが解る。この中で特徴的な変化を見せているのは地点 1\_1 のグラフである。2004 年と 2011 年ではあまり差が見られないが 2011 年から 2013 年に藻場が急激に減少している事が解かる。この原因が、沿岸部の陸域の環境変化なのか、沿岸域の海水の水質変化によるものなのかは今後の課題である。

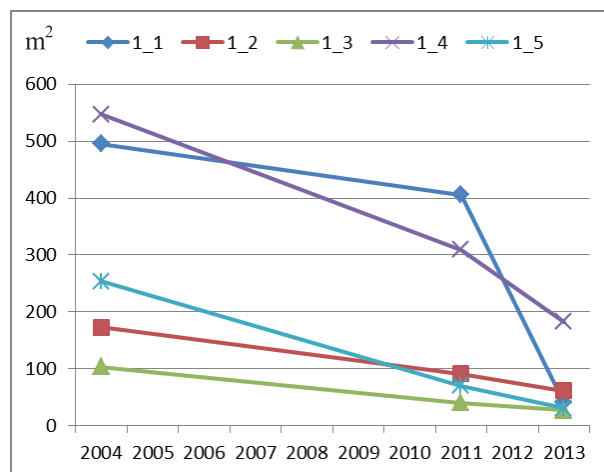


Fig. 11 Area change of seagrass beds

#### 4. 結 言

福井県の小浜湾沿岸域の藻場は、昭和 30 年代に比べてほぼ 20%にまで減少したと言われている。沿岸海域の環境を維持するためには、藻場の保全のみならず復元が不可欠である。そのためには藻場の現状を正確に把握するとともに、藻場減少の原因究明が必要となる。本研究では、その最初のステップである藻場の現状把握のための方法として、衛星リモートセンシングを用いた藻場の抽出手法の開発を行った。

まず、陸域の植生計測に用いられる NDVI (正規化植生指標) が藻場抽出にも有効であることを、現地における分光カメラ観測により確認した。そこで小規模な藻場でも分離できる高解像度衛星画像から作成した NDVI 画像を用いて、海藻の密集度と藻場の面積を求めた。さらに、3 時期 (2004 年 3 月, 2011 年 10 月, 2013 年 7 月) の衛星画像を用いた解析の結果、海藻の密集度、藻場の面積とも年が進むにつれて減少していることが明らかになった。つまり、最近の 10 年間でも藻場の減少は確実に進んでいることが示された。また、潮位の変化は海底に生息する植物である海藻の NDVI 値に大きな影響を与えるが、我々が用いた衛星画像の撮影時間の潮位の変化は、3 時期でせいぜい 10cm 程度であり、本研究の結果に大きな影響はないと考える。

これらの結果から、季節の違いによりアマモ葉の成長の度合いは変化するが、藻場が存在しない海域と藻場が存在する場所を区別する事が可能であり、衛星リモートセンシング技術が藻場調査に有効である事を示すことができた。

## 謝 辞

本研究は、文部科学省 私立大学戦略的研究基盤形成支援事業「北陸地域における環境の計測と保全に関する研究拠点形成」（平成 23 年度～平成 27 年度）および科学研究費助成事業（課題番号 25560176；平成 25 年度～平成 27 年度）の援助を受けて実施された。ここにその援助に対し感謝する。

## 文 献

- (1) “アマモマーメイドプロジェクト”, <http://blue.ap.teacup.com/amamo/> (参照日 2013 年 9 月 3 日)
- (2) “平成 23 年度 博多湾の環境保全に関して講じた措置およびモニタリング調査結果”,  
<http://www.city.fukuoka.lg.jp/data/open/cnt/3/30216/1/H23kekka.pdf> (参照日 2014 年 1 月 8 日)

(平成 26 年 3 月 31 日受理)