

平成 22 年 5 月 6 日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19560813
 研究課題名（和文） 衛星リモートセンシングを用いた海洋・湖沼の水質計測に関する研究
 研究課題名（英文） Evaluation of water quality of sea and lake using satellite remote sensing technique.
 研究代表者
 青山 隆司（AOYAMA TAKASHI）
 福井工業大学・工学部・教授
 研究者番号：60350807

研究成果の概要（和文）：本研究の目的は、海や湖の水質を衛星リモートセンシング技術を用いて抽出する手法を開発することである。最初に取り組んだのは、若狭湾に発生する赤潮の発生条件を衛星データを使って求めることであり、高い確度の赤潮発生条件が得られた。次の課題は、衛星分光画像を用いて富栄養化水域の水質を計測する技術を開発することである。その最初のステップとして、対象水域における主要水質成分と分光反射率の関係を求めた。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this research is to develop a procedure for extracting information on the water quality of sea and lake from multi-spectral satellite images. First, the condition of the red tide appearance in Wakasa Bay was obtained using chlorophyll-a concentration and sea surface temperature. The next target is to evaluate the water quality using satellite spectral images. As the first step of the research, a controlled laboratory experiment has been conducted to measure the spectral reflectance of samples obtained from sea and lake in order to determine the relationship between concentration of principal components of the water and the spectral reflectance.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2008 年度	500,000	150,000	650,000
2009 年度	500,000	150,000	650,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・地球・資源システム

キーワード：リモートセンシング、水質計測

1. 研究開始当初の背景

以下に2つの研究テーマ（(1) 赤潮発生条件、(2) 水質計測）に分けて記載する。

(1) 若狭湾の赤潮発生条件

若狭湾は漁業が盛んな海域であり、沿岸域

では養殖業も行われている。この海域では、時折、赤潮が発生し、漁業被害が報告されている。若狭湾のような広い海域で赤潮を監視するには、船や航空機による常時監視は経済的に困難であり、実用的で有効な手段として

衛星画像の利用が求められていた。

(2) 富栄養化水域の水質計測

若狭湾の沿岸域（例えば小浜湾）や北潟湖のような富栄養化が進み懸濁物質の多い水域に対して、衛星リモートセンシングにより得られる分光データから正確な水質情報を得る手法は確立されていない。このような状況の下で、衛星分光画像から水質を推定する手法を確立することは、新たな試みとして期待されていた。

2. 研究の目的

(1) 若狭湾の赤潮発生条件

若狭湾の全域を監視し、赤潮を確認するためには、人工衛星に搭載された光学センサーにより得られた分光画像を用いることが不可欠である。しかし、高度500~1000kmを飛行する人工衛星から撮影する画像は十分な解像度を持たず、そのままでは赤潮の判定が困難であった。本研究は、比較的低い空間解像度をもつ衛星画像を使って赤潮を判定するための手法を確立することおよび赤潮の発生を事前に予測するため赤潮の発生条件を求めることを目的としている。

(2) 富栄養化水域の水質計測

人工衛星による分光画像を用いて、富栄養化が進んだ水域（当面の研究対象水域は地元福井県の北潟湖と小浜湾に設定）の水質を推定する手法を開発することが研究目的である。そのためには、太陽光の反射光として対象水域から上方に放射される輝度スペクトル（分光反射率）と水質成分との関係を求めること、そしてさらに、その関係式を限られたバンド数の衛星分光画像に如何にして対応させるかを決定することが必要である。

3. 研究の方法

(1) 若狭湾の赤潮発生条件

若狭湾に発生する赤潮を監視しつつ、その発生時期および場所を予測することを目的に、海水中のクロロフィルa (Chl-a) 濃度および表面海水温 (SST) (JAXA提供の数値データを使用) をパラメータとして赤潮発生条件を求めた。さらに、Band1 と NDVI に対する散布図を用いた赤潮判定法を開発した。

(2) 富栄養化水域の水質計測

紙面の都合により、以下では北潟湖に対する研究結果について述べる。北潟湖の水質成分と分光反射率との関係を明らかにするため、2009年8月5日と9月10日に13観測地点(図1参照)において湖水を採取し、実験室にて分光反射率を計測した。そしてその計測結果を用いて、湖水中の各主要成分の分光反射率から主要成分の濃度を抽出する手法を開発することを試みた。



図1. 北潟湖の採水地点

4. 研究成果

(1) 若狭湾の赤潮発生条件

若狭湾に発生する赤潮を監視しつつ、その発生時期および場所を予測することを目的に、海水中のクロロフィルa (Chl-a) 濃度および表面海水温 (SST) (JAXA提供の数値データを使用) をパラメータとして赤潮発生条件を求めた。その結果、表面海水温には適温範囲(12°C~19°C)が存在し、Chl-a濃度には下限値(>3mg/m³)が存在することが明らかになった(図2参照)。また、Chl-a濃度とSSTが赤潮発生条件内にある場合は、83%以上の確率で赤潮が発生することが判明し、確度の高い赤潮判定条件が得られた。この赤潮発生条件を用いることにより、若狭湾の赤潮発生に関し、事前に注意報・警報を出すことが可能となった。

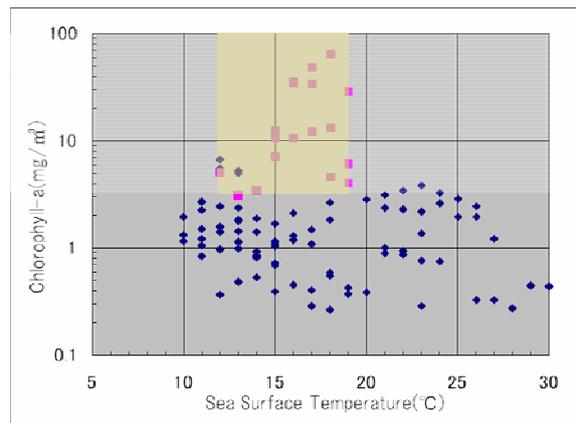


図2. 赤潮発生条件 横軸：表面海水温、縦軸：Chl-a濃度

赤潮の判定に対しては、NDVI (正規化植生指標) と Band1 画像 (赤色バンド) を単独で用いた場合には、赤潮と死滅した赤潮プランクトンの領域とを区別して取り出す事は困

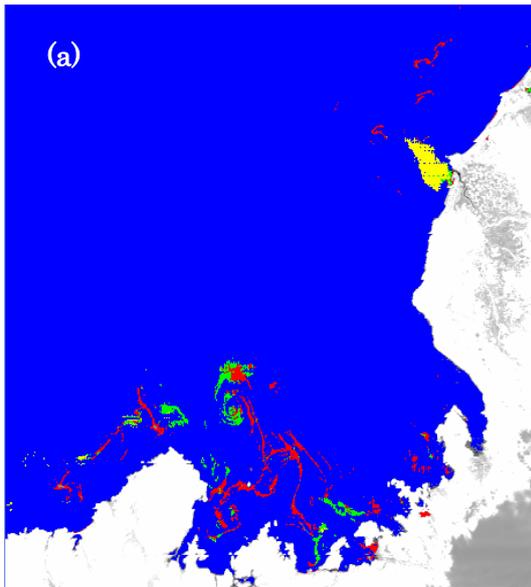


図3 (a). 若狭湾の赤潮、死滅した赤潮、SSの分布

難である事が判明したため、Band1 画像と NDVI 画像を用いた scatter plot を利用することを試みた。その結果、画像の各ピクセルの Band1 と NDVI の値をそれぞれ縦軸と横軸にとった scatter plot を作成することにより、さらに詳細な分類が可能になった。海域のみに着色して図3 (b)に scatter plot を表示し、対応する画像を図3 (a)に示す。ここで、青、赤、明るい緑、黄は、きれいな海、赤潮、死滅した赤潮、SS (Suspended Sediment) にそれぞれ対応している。この図から、きれいな海 (青) と他の 3 つの領域つまり赤潮、死滅した赤潮プランクトン、SS (赤、薄緑、黄) は Band1 の値の違いとして分離され、3 つの領域のそれぞれは NDVI 値の違いにより明確に区別される。この結果から、scatter plot を用いた解析は、Band1 と NDVI の画像を独立に扱うよりもはるかに効果的に海域の特徴領域、すなわちこの場合は赤潮、死滅した赤潮 SS 領域を識別できることが示された。

(2) 富栄養化水域の水質計測

2009年8月5日の分光反射率計測の結果を図4に示す。一般的に考えて湖水の分光反射率は湖水中の各水質成分の分光反射率の和で表されることが予想される。そこで、北潟湖水の分光反射率から主要水質成分と考えられる泥の分光反射率(図5)を差し引くことで泥以外の主要成分の抽出を試みた。具体的には湖水の分光反射率の極小値に当たる波長 675nm 付近で、泥水の反射率が湖水の反射率と一致するように定数倍して差を取る操作を各観測地点に対して実施し、その結果を図6に示す。ただし、ノイズを軽減するため9点の移動平均値を示している。図6には

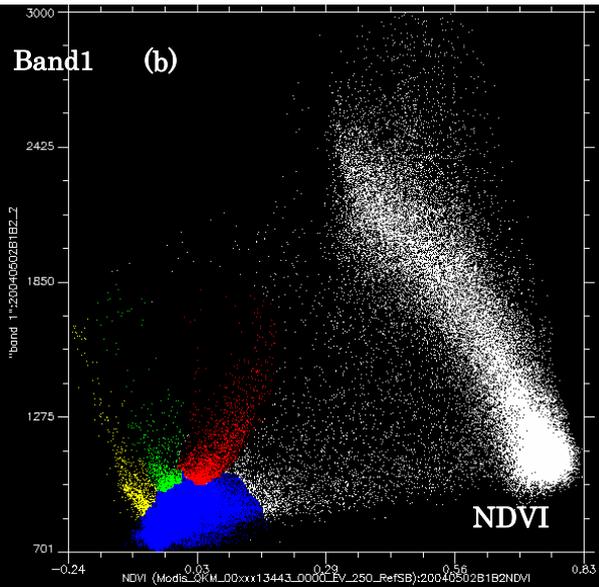


図3 (b). Band 1 と NDVI による散布図。青、赤、明るい緑、黄は、きれいな海、赤潮、死滅した赤潮、SS にそれぞれ対応している。

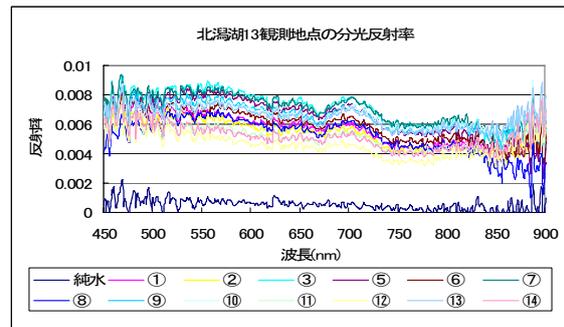


図4. 北潟湖の13採水点の湖水および純水の分光反射率

Chl-aの分光反射率の特徴である2つの反射率のピーク(波長530nm~620nm付近と690~800nm付近)が明確に現れており、泥以外の湖水の主要成分がChl-aを含む植物プランクトンである事を示唆している。

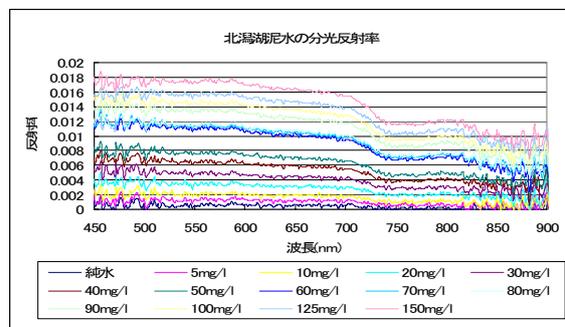


図5. 北潟湖の泥水の分光反射率

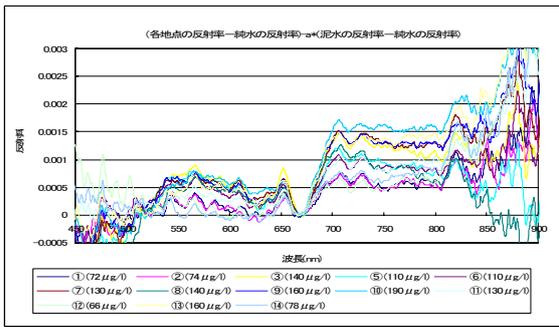


図 6. 北潟湖水の分光反射率から泥水の分光反射率成分を差し引いた結果

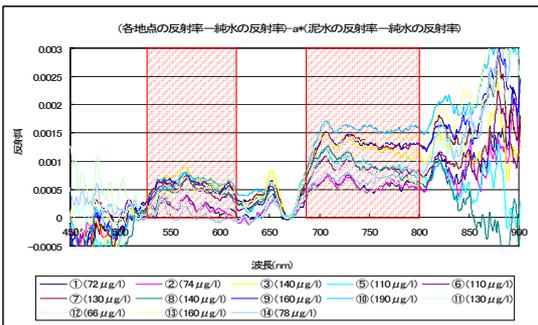


図 7. Chl-a の反射率の特徴となる 2 つ山の波長帯 (赤い斜線帯)

湖水の分光反射率から泥による分光反射率を差し引いた結果、Chl-a の特徴である 2 つの反射率のピークが現れることを図 6 に示したが、この波長帯の反射率のピーク (図 7 参照) の平均的な高さ、Chl-a 実測値の相関を

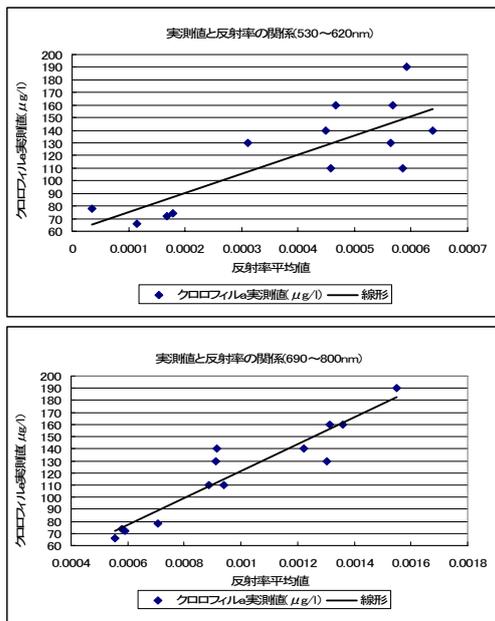


図 8. 分光反射率の平均値と Chl-a 濃度実測値との相関 上図 (530~620nm) では R=0.808、下図 (690~800nm) では R=0.942

2009年8月の測定結果を用いて求めた。まず、各観測地点毎の2つの反射率ピークの単純平均を取り、その平均値と Chl-a 濃度の実測値との関係を散布図として示した。図 8 から解るように両者の相関係数は非常に高い値 (R=0.808~0.942) を示している。この結果は、北潟湖水の主要成分は泥と植物プランクトンであり、分光反射率に与える他の成分の効果は無視して良いことを強く示唆している。

以上述べてきたように、衛星分光画像を用いて富栄養化水域 (北潟湖) の水質計測を実現するため、その第一段階として分光放射計を用いた北潟湖水の分光反射率計測を行い、湖水に含まれる主要成分の決定を試み、泥と葉緑素 (植物プランクトン) であることを明らかにした。さらに、湖水の分光反射率が湖水に含まれる各水質成分の反射率と各成分間の相互作用項の線形和で表わされることを提案した。つまり、

$$R(\lambda) = c_1X_1(\lambda) + c_2X_2(\lambda) + c_3X_3(\lambda) + \dots + F(\lambda)$$

と表すことができる。ここで、 $R(\lambda)$ は湖水あるいは海水の分光反射率、 $X_i(\lambda)$ は SS (泥)、クロロフィル a、水、その他の水質成分の分光反射率、 $F(\lambda)$ は主要成分間の相互作用効果を表している。この相互作用効果と各水質成分の分光スペクトルが明らかになれば、湖水の分光スペクトルから各成分の濃度情報 (c_i に対応) を抽出する事が可能となることを示した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

① 青山隆司、庄司直弘、松井佑介、衛星分光画像を用いた北潟湖の水質評価、2009、福井工業大学研究紀要、39、336 - 343.

② 松井佑介、青山隆司、衛星リモートセンシングを用いた小浜湾の水質計測、2009、福井工業大学研究紀要、39、334 - 351.

③ 青山隆司、庄司直弘、衛星リモートセンシングを用いた北潟湖の水質計測 - 北潟湖水の分光計測 -、福井工業大学研究紀要、第 38 号、pp. 337 - 344、2008 年

④ Aoyama T., "Evaluation of water quality of Lake Kitagata based on satellite remote sensing technique - Spectral measurement of Lake Kitagata -", Proceedings of SPIE Asia-Pacific Remote Sensing, 2008, 7150, Noumea, New Caledonia, pp. 71501H-1~71501H-9, Nov. 2008.

⑤ 青山隆司、大家寛、MODIS画像に基づく若狭湾の赤潮発生条件、福井工業大学研究紀要、2007、37、343-350.

〔学会発表〕（計 13 件）

- ① 青山隆司、安部礼恵、北潟湖水の分光反射率計測、2009、海洋理工学会、平成 21 年度秋季大会講演論文集、A4、pp.63-64.
- ② 松井佑介、青山隆司、衛星リモートセンシングによる小浜湾の水質計測 —小浜湾の水質の季節変化—、2009、海洋理工学会、平成 21 年度秋季大会講演論文集、A5、pp.65-66.
- ③ 青山隆司、松井佑介、衛星リモートセンシングによる小浜湾の水質計測に向けて、2009、海洋理工学会、平成 21 年度春季大会講演論文集、15A2、pp.53-56.
- ④ 青山隆司、松井佑介、衛星分光画像を用いた北潟湖の水質計測法、2009、海洋理工学会、平成 21 年度春季大会講演論文集、15A3、pp.57-60.
- ⑤ 青山隆司、松井佑介、「MODIS画像を用いた若狭湾の赤潮発生条件」、日本リモートセンシング学会 第 44 回学術講演会論文集、B20、pp. 77-78、2008 年.

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

6. 研究組織

(1) 研究代表者

青山 隆司 (AOYAMA TAKASHI)
福井工業大学・工学部・教授
研究者番号：