

# 日本海における赤潮の発生予測とあわら北潟湖の水質汚染の監視

電気工学専攻 青山隆司

## (1) 「衛星リモートセンシングを用いた若狭湾の赤潮発生条件と赤潮確認法」

### 1) 本研究の背景と意義

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ためには、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) 本研究の目的

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 を飛翔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。

### 3) 結果と考察

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(12~19)が存在し、Chl-a 濃度には下限値(>3mg/m<sup>3</sup>)が存在することが明らかになった(Fig.1 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。

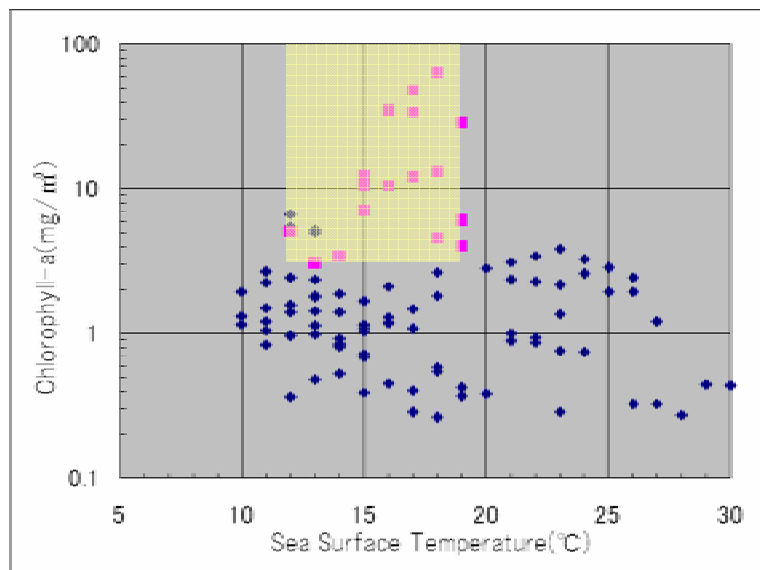


Fig. 1 Relationship of the red tide appearance with chlorophyll-a (Chl-a) concentration and sea surface temperature (SST) in Wakasa bay.

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 Fig. 2(b)に scatter plot を表示し、対応する画像を Fig.2(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 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、死んだ赤潮プランクトン、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。

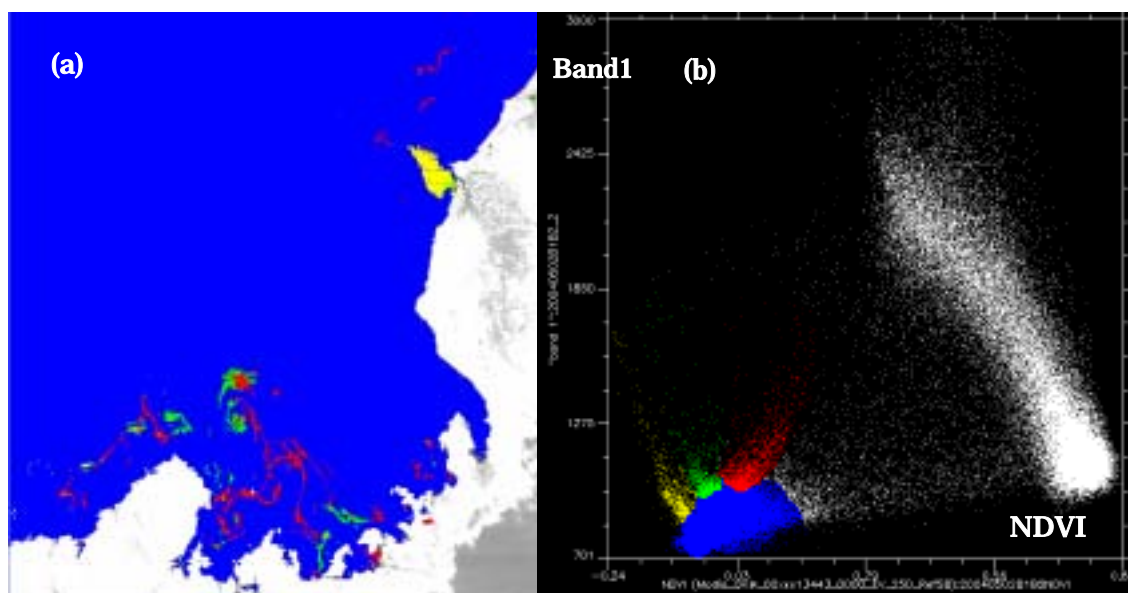


Fig.2 The image only in sea area is expressed using four colors, red, light green, yellow and blue corresponding to the region of red tide, dead or inactive phytoplankton, SS and sea, respectively.

#### 4 ) 国内外の研究のなかで本研究の占める位置づけ

現在行われている赤潮の発生条件の研究は、現地では採水を行い、海水中の植物プランクトンの濃度を計測することにより行われている。このような手法では広い海域には対応できない。衛星画像を用いた赤潮発生条件の決定と赤潮判定法を提示した本研究の成果は、

新たな方向性を示すものである。

### 5) 新規性・独創的な点

赤潮発生条件として、クロロフィル a 濃度と表面海水温を用いたこと。また、赤潮の判定(確認)のため、NDVI と赤色バンドの 2 次元散布図を用い、その分布場所の違いにより SS、赤潮、死滅した赤潮の領域を分離して取り出す新たな手法を開発したこと。これらのことは、前例の無い全く新規の成果である。

## (2) 「衛星分光画像を用いた富栄養化水域の水質計測技術の開発」

### 1) 本研究の背景と意義

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る。

### 2) 本研究の目的

本研究の目的は、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である。このためには、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) 結果と考察 (北潟湖水の主要水質成分の抽出)

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た。8月5日の分光反射率計測の結果を図2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3)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4に示す。ただし、

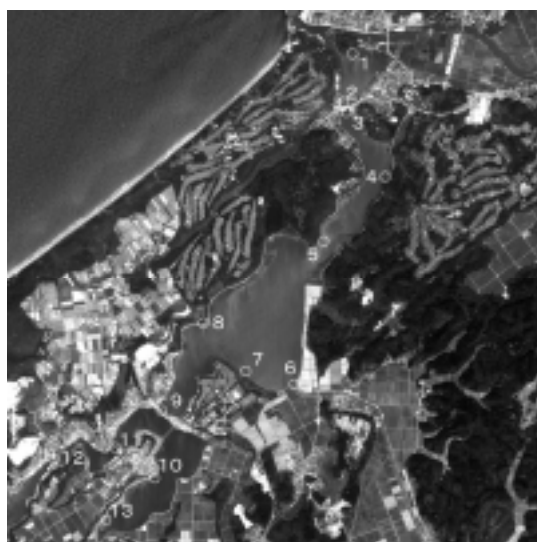


図 1. 北潟湖 13 観測地点(2009 年は は採水を行っていない。( は図外の左下に位置する。)

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4には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ことを示唆している。

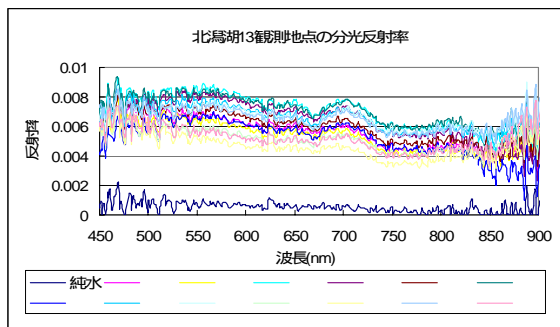


図2. 2009年8月の北潟湖13観測地点の分光反射率

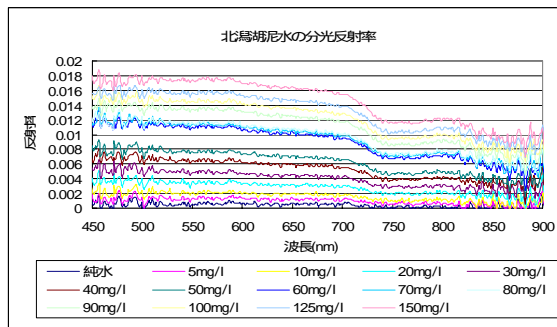


図3. 北潟湖の泥水の分光反射率

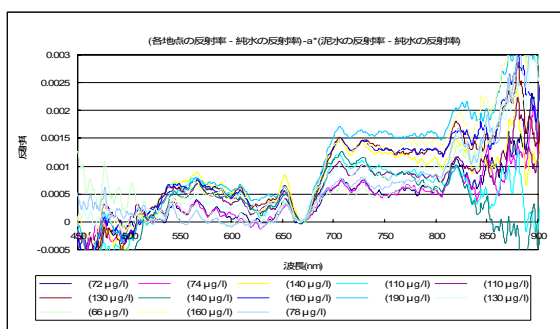


図4. 2009年8月の北潟湖13観測地点の分光反射率と泥水の分光反射率の差(凡例の数値はChl-a濃度の実測値)

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4に示したが、この反射率のピーク(図5参照)の平均的な高さと、Chl-a実測値の相関を本年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の実測値との関係を散布図として示した。図6から解るように両者の相関係数は非常に高い値( $R=0.81 \sim 0.94$ )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。

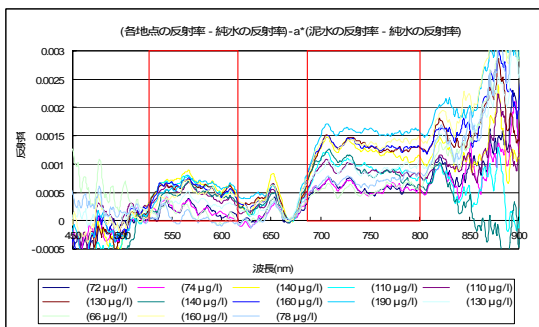


図5. 2009年8月の解析データと平均値を求めた波長帯

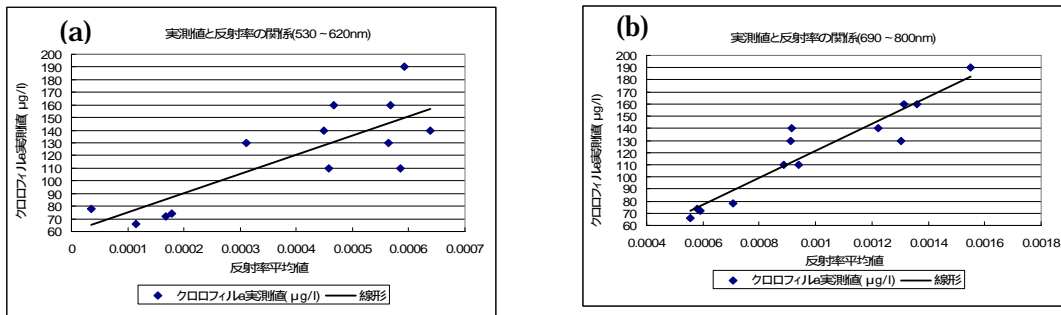


図 6. 2009 年 8 月の Chl-a 実測値と平均反射率との関係 (a) : 波長帯 530 ~ 620nm に対する相関、相関係数  $R=0.81$ 、(b) : 波長帯 690 ~ 800nm に対する相関、相関係数  $R=0.94$

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、

$$R(\lambda) = c_1 X_1(\lambda) + c_2 X_2(\lambda) + c_3 X_3(\lambda) + \dots + F(\lambda) \cdot \dots$$

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。

#### 4) 国内外の研究のなかで本研究の占める位置づけ

衛星画像データと水質との関係を求めるためには、相互のデータを比較解析することが必要であるが、衛星による観測と現場での実測とが同時に行われることは稀であり、十分な研究がなされてこなかった。さらに、現場で採水した水の水質計測（分析）と分光放射計による分光反射率特性の同時計測もほとんど行われていないのが現状であり、本研究の意義は大きいと考えている。

現場で採水した水の水質計測と分光放射計による分光特性の同時計測を行い、その結果得られる水質と分光特性との関係を明確化し、衛星分光画像の利用手法を開発することは、今後の富栄養化水域の水質に関する衛星リモートセンシングを用いた研究に対し、貴重な手段を提供することになる。

#### 5) 新規性・独創的な点

海水や湖水に含まれる主要成分を決定する際、湖水の分光反射率から泥水の分光反射率を差し引くことで泥以外の主要成分を求める手法は、全く新規で独創的なものである。また、水域からの放射スペクトルが、各主要成分による項とそれらの主要成分と光との相互作用による修正項との線形和として表わされることを示した事は全く新規である。