

D-3 アジア大陸隣接海域の生態系変動の検知と陸域影響抽出に関する研究

(2) 衛星画像による陸域負荷物質の海洋生態系への影響評価

①衛星と現場観測による陸域負荷物質および生態系変動の検知に関する研究

研究代表者 遠洋水産研究所

宮地邦明

水産庁 遠洋水産研究所

海洋・南大洋部高緯度域海洋研究室 塩本明弘

(依託先) 東海大学開発工学部

福島甫

平成 8-10 年度合計 17,647 千円

(平成 10 年度予算額 5,915 千円)

[要旨]

1996 年の 5 月と 6 月の駿河湾と 1998 年の 5 月と 6 月の東シナ海で行った観測結果の解析から、亜硝酸+硝酸塩/ケイ酸塩濃度の原子比 (N/Si 比) は、海域によりその値は異なるものの、陸域からの人為的負荷による植物プランクトンの増殖と自然増殖との区別の指標として有望であると考えられた。高懸濁物海域でのクロロフィル濃度、懸濁物ならびに河川水の影響の指標と思われる有色溶存有機物の海色リモートセンシングによるモニタリングを行うための方法を開発した。この方法に従い、「みどり」に搭載された海色海水温走査放射計 (OCTS) にて得られた海色衛星データを用いて東シナ海におけるクロロイル濃度、懸濁物と有色溶存有機物濃度 (黄色物質の吸収係数) の画像を作成した。これらの画像を比較検討したところ、自然条件下での植物プランクトン増殖と陸域からの人為的栄養負荷による植物プランクトン増殖とを区別した海色リモートセンシングによるモニタリングが可能であることが示唆された。

[キーワード] 陸域負荷物質、海洋生態系、クロロフィル a、植物プランクトン、栄養塩、亜硝酸+硝酸塩/ケイ酸塩濃度の原子比、海色リモートセンシング、有色溶存有機物

1. はじめに

陸域からの窒素、リン、ケイ素などのいわゆる栄養塩の供給は植物プランクトンの増加を促すものの、人間の社会活動に伴って生じる過剰な栄養塩の供給が海域の富栄養化を引き起こし、やがて生態系の破壊をもたらす。このような環境問題に対処するためには、まずもって富栄養化の進行程度や富栄養海域の広がりを絶えずモニタリングする必要がある。そのモニタリング手法の一つとして、人工衛星による海色リモートセンシングが有効と考えられる。しかしながら、人工衛星リモートセンシングによるモニタリングシステムの確立には次のような問題を解決する必要がある。①人為的な影響による植物プランクトンの増殖と自然増殖との区別、②立体的な植物プランクトン分布構造の捉え方、③人工衛星リモートセンシングによる陸域物質の負荷を画像解析するためのアルゴリズムの開発、である。

①については、窒素、リンには人為的および自然現象としての供給があるが、ケイ素には一般

に人為的供給がないので、ケイ素と窒素やリンとの濃度比を人為的影響（汚染状況）の指標として用いることにより、解決できるものと期待できる。②については、水中の分光照度、植物プランクトンの種組成や細胞数、色素組成等の鉛直分布観測を行い、パラメータ化することにより、解決できるものと期待できる。③については海色観測データからクロロフィルaはもちろん懸濁物や溶存有機物の濃度を推定するシステムを確立することにより、解決できるものと期待できる。

そこで、本研究ではまず陸域からの影響と外洋からの影響が対照的に存在する駿河湾において船舶観測を行い、陸域からの人為的負荷の指標を見出す。そして、その指標が河川を通しての陸域からの負荷の大きな海域である東シナ海にもあてはまるかの検討を行う。同時に、水色人工衛星 OCTS および SeaWiFS データを用いて、東シナ海におけるクロロフィル、懸濁物および有色溶存有機物の濃度の画像を作成することを目指す。さらに、船舶観測結果を踏まえて、人工衛星画像を利用することにより陸域負荷物質のモニタリングの可能性を探る。

2. 試料および方法

遠洋水産研究所所属の俊鷹丸（396 トン）により 1996 年 5 月 20 日から 6 月 5 日にかけて駿河湾において観測を行った（図 1）。採水は 10-1 のニスキン採水器を用いて表面から 10m おきに 200m まで実施した。水温、塩分測定にはニール・ブラウン社の CTD マーク III を用いた。採水試料は、1 ㍤を Whatman GF/G を用いてろ過し、凍結保存して持ち帰った。実験室において、90%アセトンにて冷暗所で一晚抽出した後、蛍光法を用いてクロロフィル a の濃度を求めた（Parsons *et al.*, 1984）。栄養塩類は試水を凍結保存した後、実験室内においてプラン・ルーベ社のトラックス 800 を用いて測定した。植物プランクトン検鏡のため、試水 1 ㍤に中性ホルマリンを 10ml 添加して冷暗所に保存した。実験室にて 3 日間以上静置の後に上澄みをサイフォンにて取り除き、最終的には 20ml 程度とした。光学顕微鏡を用いて可能であれば種レベルまでの同定を行い、細胞数を数えた。

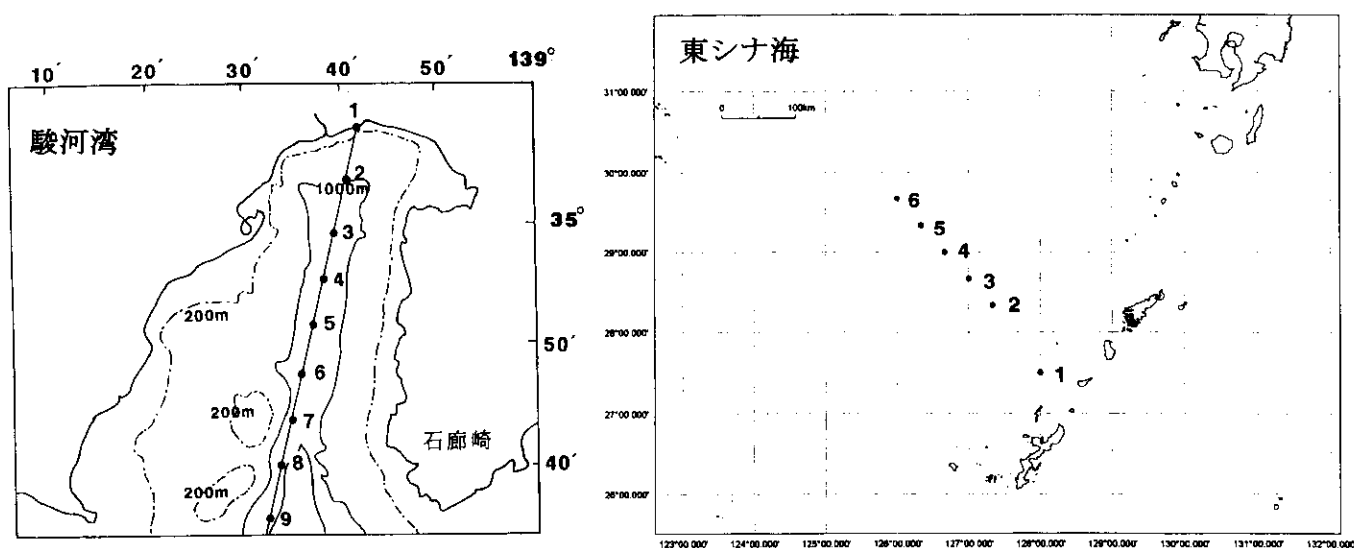


図 1. 1996 年 5-6 月の駿河湾と 1998 年 5-6 月に東シナ海における観測点の位置

水産庁所属の開洋丸（2540 トン）により 1998 年 5 月 18 日から 6 月 2 日にかけて東シナ海において観測を行った（図 1）。試水を 30-1 のニスキン採水器を用いて光の強さが 100、30、10 および 1%に相当する深さから採水した。これらの深さは水中照度計（PRR600）を用いてあらかじめ決定した。水温、塩分測定にはシーバード社の CTD9plus を用いた。クロロフィル a や栄養塩類の濃度、植物プランクトンの種組成ならびに細胞数については駿河湾の場合と同じ方法を用いて測定した。さらに、溶存有機態窒素の濃度を測定した。この濃度は 450℃で 4 時間程度前処理した Whatman GF/G にてろ過したろ液を用いて、SUMIGRAPH MODEL N-200 を用いて測定した。

宇宙開発事業団によって打ち上げられた「みどり」に搭載された海色海水温走査放射計（OCTS）に得られた海色衛星データを用いて、東シナ海におけるクロロイル濃度、懸濁物濃度ならびに有色溶存有機物の指標となる黄色物質の吸収係数の画像を作成した。その詳細は以下に記す通りである。

複合画像の作成

時空間的変動を解析するためには、ある期間の衛星データを平均化した複合画像を用いて時系列的に解析することが有効である。使用したデータは、NASDA から入手した OCTS/GAC/L1A データである。GAC データの解像度は、LAC データをおよそ 5 pixel 毎に間引きしたものに相当するため、衛星の直下点では約 3.5km の解像度を有しているが、チルト機構とスキャン角によって画像の端では 6km 程度となる。複合画像の対象海域は次のように設定した。東シナ海の範囲は、北緯 24～42 度、東経 116～132 度とした。この中には、台湾海峡や対馬海峡、渤海や黄海も含んでいる。座標系は、等緯度経度座標を用いた。解像度は、GAC の解像度から約 6km × 6km となるように設定し、画像サイズは、330pixel × 300pixel となった。

作成したプロダクトは、表 1 の通りである。海洋関係のプロダクトとしては、海水射出放射輝度、クロロフィル濃度、懸濁物濃度、黄色物質の吸収係数、消散係数であり、大気関係のプロダクトとしては、エアロソル散乱光輝度、エアロソルの光学的厚さ、エアロソルの選択パラメータなどがある。それら以外に、衛星による観測回数（雲などのマスクされた場合も含む）と有効観測回数（雲に隠れていない回数）、それぞれの画像の各ピクセルの標準偏差画像がある。

表 1 複合画像プロダクト一覧表

海洋向けのプロダクト		
物理量	記号	単位
海水射出放射輝度	nLW(412), nLW(443), nLW(490), nLW(520), nLW(565), nLW(670)	$\mu W / (cm^2 sr nm)$
クロロフィル a 色素濃度	chlor_a	mg/m ³
懸濁物質濃度	SS	g/m ³
黄色物質の消散係数	Ay(440)	/m
消散係数	K(490)	/m
大気向けのプロダクト		
エアロソル散乱光輝度	LA(765), LA(865)	$\mu W / (cm^2 sr nm)$
正規化エアロソル散乱光輝度	nLA(865)	$\mu W / (cm^2 sr nm)$
エアロソル選択パラメータ	γ (765,865)	
エアロソルの光学的厚さ	τ A(865)	
その他		
有効観測回数		回
全観測回数		回

記号のかつこ内の数字は、波長を表す。

OCTS/GAC データから、月平均画像を作成する手順を図 2 に示す。図のように、L1A から L1B への変換、幾何情報作成、補助データの作成、大気補正処理、クロロフィル濃度などの推定、幾何補正、binning 処理、平均化処理の 8 段階を経て、複合画像を作成した。

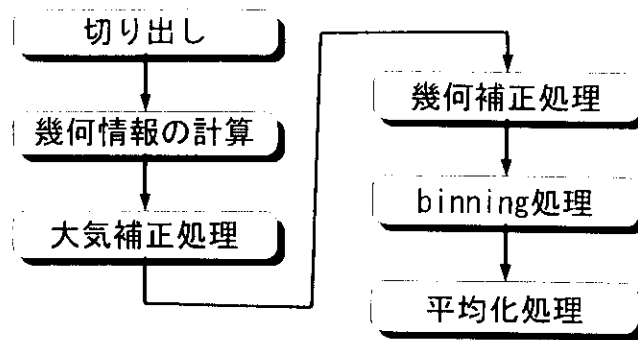


図2. 複合画像の作成手順

11a から 11b への変換

11a の HDF ファイルから、各バンド毎の画像を抽出し、ディテクタの感度むらの補正を加えた上で、OCTS のゲイン設定にあわせた量子化を行い、11b データを作成する。GAC/L1A データは、すでにレジストレーション補正を済ませているため各画素がどのディテクタのデータを知る必要がある。GAC データには、GAC/L1A の各ピクセルと LAC/L1A のピクセルとの対応関係を示すテーブルが含まれており、このテーブルを元に GAC 1 ピクセル毎の LAC/L1A のスキャン番号、ピクセル番号、ディテクタ番号を得る。レジストレーションとは、各バンドにおいて同じ位置を観測したピクセル順にそろえる処理のことである。OCTS はフェイズドアレイセンサーなので、ある瞬間に観測している位置はバンドやディテクタによって異なり、面的に分布している。また、1 スキャンは 10 のディテクタによって同時に観測されるが、チルト角などによって、同じ場所を観測しているピクセルは、バンドによって異なるスキャン、異なるディテクタが観測することになる。この補正の事をレジストレーション補正という。

幾何情報作成

GAC のピクセル毎の緯度、経度、太陽天頂角、太陽方位角、各バンド毎の衛星天頂角と衛星方位角の計 20 パラメータを計算する。緯度と経度は幾何補正時に、天頂角と方位角は大気補正のときに必要である。軌道情報、チルト角、スキャン角などを元に計算する。スキャン角を得るためには、L1A から L1B への変換の時と同様に、LAC/L1A との対応関係、ディテクタ番号を知る必要があり、先のテーブルよりそれらを得る。幾何情報計算の詳細については、OCTS プロダクト記述書および OCTS アルゴリズム記述書を参照されたい。

補助データの計算

オゾンの吸収、気体分子散乱光補正のために、各画素毎のドブソン・ユニット(DU)、気圧といった補助データを作成する必要がある。DU はグリッド化された全球の TOMS データより、気圧は全球の気象庁の客観解析データ (1996 年 11 月～1997 年 3 月) と NCEP データ (1997 年 4 月以降) を用いて、2 次元の空間的な内挿を行い、OCTS/GAC データの各画素毎の値を計算した。

大気補正処理

海色衛星データ処理において最も重要な部分がこの大気補正処理である。大気補正処理は、代

替校正による補正、気体分子やエアロソル散乱光の補正、透過率の補正など多くの補正処理を含んでいる。特にエアロソル散乱光の補正は重要である。エアロソル散乱光の補正は、近赤外域の2バンドからエアロソルのタイプを推定し、そのタイプのエアロソルの光学的特性を考慮して、可視域の散乱光の補正を行う。NASDAの標準的なアルゴリズムでは、670 nm と 865nm の2波長を用いているが、この方法では懸濁物の多い海域では、670nm からの海水射出放射輝度が高く誤差が大きいため、本研究では765 nm と 865nm を用いている。765nm は海水射出放射輝度がほとんどないが、酸素の吸収帯があり、これを補正する必要がある。

酸素の補正については、Ding and Gordon(1995)の SeaWiFS における 765nm 帯の酸素の吸収を補正する手法を用いた。彼らは、シミュレーションによって、酸素の吸収がある場合とない場合の反射率の関係に関するモデル式を作成した。酸素の吸収は、気体分子とエアロソルの反射率に影響するので、それぞれにエアマスの関数となるモデル式を作成している。気体分子の反射率に関するモデル式は次の通りである。

$$\rho'_M = \frac{1}{1 + 10^{P_M(m)}} \rho_M \quad (1)$$

$$P_M(m) = a_{M0} + a_{M1}m + a_{M2}m^2$$

ρ_M : 気体分子の反射率

ダッシュが付いている変数は、吸収の影響がある場合を示している。

a_{M0}, a_{M1}, a_{M2} : シミュレーションによって得られた係数

それぞれの値は、-1.3491, 0.1155, -0.0070218 である。

エアマス (m) は次のように表される。

$$m = \left(\frac{1}{\cos \theta} + \frac{1}{\cos \theta_0} \right)$$

また、エアロソルの反射率に関するモデル式は次の通りである。

$$\rho_{A+AM} = (1 + 10^{P_A(m)}) \rho'_{A+AM} \quad (2)$$

$$P_A(m) = a_{A0} + a_{A1}m + a_{A2}m^2$$

ρ_{A+AM} : エアロソルとエアロソル・気体分子の相互作用を含む反射率

ダッシュが付いている変数は、吸収の影響がある場合を示している。

a_{A0}, a_{A1}, a_{A2} : シミュレーションによって得られた係数

それぞれの値は、-1.0796, 0.090481, -0.0068452 である。

大気補正用の気体分子およびエアロソルに関するテーブルは酸素の吸収のない状態で作成されているため、大気補正の手順は次のようになる。

1. 気体分子の反射率を計算する。
2. 式(5.1)を用いて酸素の吸収を含んだ気体分子の反射率に変換する。
3. 次式によって酸素の吸収を含んだエアロソルの反射率を計算する。

$$\rho'_{A+AM}(765) = \rho_T(765) - \rho'_M(765) \quad (3)$$

ρ_T : 衛星で観測される反射率

4. 式(5.2)を用いて酸素の吸収を補正したエアロソルの反射率を計算する。

この手順によって得られた 765nm における酸素の影響を除いたエアロゾル反射率と 865nm におけるエアロゾルの反射率を用いて、エアロゾルのタイプを推定し、大気補正を行う。

クロロフィル濃度、懸濁物濃度、黄色物質の吸収係数などの推定

大気補正処理後に得られた各波長の海水射出放射輝度より、植物プランクトン色素濃度すなわちクロロフィル濃度、懸濁物濃度、440nm における黄色物質の吸収係数、490nm における消散係数を水中アルゴリズムを用いて推定する。このとき、クロロフィル濃度、懸濁物濃度、黄色物質の吸収係数については、Tassan(1994)の方法を用いた。Tassan は、ナポリ湾のデータと水中の光学モデルを用いてシミュレーション結果から海水射出反射率スペクトルとクロロフィル濃度 (C)、懸濁物濃度 (S)、黄色物質の吸収係数 (A_y) との関係式を得ている。

幾何補正、binning 処理、平均化処理

衛星データの各ピクセルの緯度経度より、先に述べた東シナ海の範囲の対応する点を調べ、地図座標上への座標変換を行う。この際、設定した東シナ海の範囲内を緯線、経線のメッシュで区切り(bin)、各画素の緯度経度情報をより、そのピクセルの対応する bin を調べそのピクセルのデータをその bin のデータとして追加する。すべての画素に対してこの処理を行う。各 bin に含まれるデータを平均化して、平均値を計算する。平均化の手法としては単純平均を用いた。また、データの信頼性の指標として標準偏差も計算する。

3. 結果

駿河湾における観測線に沿った表面における塩分、クロロフィル a 濃度、N (窒素態栄養塩 = 亜硝酸塩 + 硝酸塩) / Si (ケイ酸塩) 濃度比の変動を図 3 に示す。Sta. 3 と 4 の間に顕著な塩分フロントが観測された。Sta. 4 よりも湾口側では 34 以上の塩分値がみられた。駿河湾内には石廊崎の方から黒潮が表層に流入する (稲葉, 1996)。Sta. 3 と 4 の間にみられたフロントは湾内水と黒潮水との間にできたフロントである。クロロフィル a 濃度はフロント近辺の Sta. 3 で最も高く $3 \mu\text{g}/\text{l}$ であり、それよりも湾奥側では比較的高く $1\text{--}2 \mu\text{g}/\text{l}$ であった。また、フロントよりも湾口側でも Sta. 4 では、その濃度は $1.7 \mu\text{g}/\text{l}$ と比較的高かった。しかし、Sta. 5 よりも湾口側では、クロロフィル a の濃度は低く $0.3\text{--}0.8 \mu\text{g}/\text{l}$ であった。N/Si 濃度比は Sta. 3 よりも湾奥側では $0.21\text{--}0.41$ であり、Sta. 4 よりも湾口側では低く 0.1 以下であった。

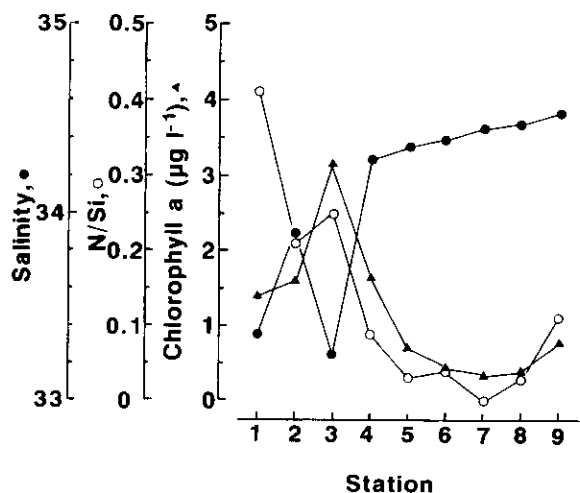


図 3. 駿河湾における表面の塩分、クロロフィル a 濃度、N (窒素態栄養塩 = 亜硝酸塩 + 硝酸塩) / Si (ケイ酸塩) 濃度比の変動

表面における珪藻類とペン毛藻類の細胞数の変動を図4に示す。珪藻類の細胞数はSta. 1-4で多く、とくにSta. 1では他の観測点に比べて1桁多かった。これに対して、Sta. 5よりも湾口側では珪藻類の細胞数は顕著に少なかった。ペン毛藻類の細胞数もSta. 1-4では多く、とくにSta. 3と4では多かった。これに対して、Sta. 5以降のペン毛藻類の細胞数は顕著に少なかった。

なお、各観測点における珪藻類とペン毛藻類の種構成は表2のとおりである。これをみると分るように、珪藻類では *Cylindrotheca closterium* が卓越し、次いで *Rhizosolenia styliformis* が多数を占めていた。また、ペン毛藻類では、*Ceratium furca*、*Gymnodiniales* (ギムノデイニウム目)、*Peridinales* (ペリデイニウム目) が優占種として挙げられる。

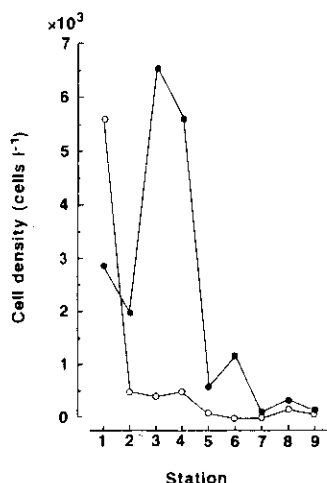


図4. 駿河湾における表面の珪藻類 (○) とペン毛藻類 (●) の細胞数の変動

表2. 1996年5-6月の駿河湾において同定された珪藻類とペン毛藻類の細胞数 (cells/l)

	Sta.1	Sta.2	Sta.3	Sta.4	Sta.5	Sta.6	Sta.7	Sta.8	Sta.9
Diatoms									
<i>Thalassiosira</i> spp	160		400						80
<i>Coscinodiscus radiatus</i>	80								
<i>Actinocyclus senarius</i>				30					
<i>Rhizosolenia styliformis</i>	1440								
<i>Chaetoceros affine</i>								10	
<i>Chaetoceros densum</i>	80								
<i>Chaetoceros eibonii</i>	160								
<i>Chaetoceros</i> spp		160							
<i>Nitzschia pungens</i>					20				
<i>Nitzschia</i> spp.	240								
<i>Cylindrotheca closterium</i>	3360	320		480	80				80
<i>Amphora</i> spp									80
<i>Pennales</i>	80								
Dinoflagellates									
<i>Prorocentrum dentatum</i>						80			
<i>Prorocentrum micans</i>						20			
<i>Prorocentrum minimum</i>			80						
<i>Prorocentrum triestinum</i>					80				
<i>Dinophysis caudata</i>		20							
<i>Dinophysis rotundata</i>		80							
<i>Noctiluca scintillans</i>	240	80	60	570		20	20	30	20
Gymnodiniales	800	1200	160	1080		400		40	
<i>Gonyaulax</i> spp.	80								
<i>Scrippsiella</i> spp.		400	560	360	80	80			
<i>Protoperdinium bipes</i>			80			80			
<i>Protoperdinium pellucidum</i>			80					40	
<i>Protoperdinium pentagonum</i>								10	
<i>Protoperdinium</i> spp	80	80	400	120	80	20	10	80	20
<i>Ceratium furca</i>	1040	240	2960	2040	120	160	60	10	20
<i>Ceratium fusus</i>	40				20		10	70	60
<i>Ceratium kofoidii</i>									40
<i>Peridinales</i>	560	880	2180	1440	240	320		40	

OCTSにより得られた東シナ海における1997年5月の黄色物質の吸収係数でみた有色溶存有機物濃度(a)、クロロフィル濃度(b)ならびに懸濁物濃度(c)の複合画像を図5に示す。高濃度の有色溶存有機物は中国大陸沿岸域、朝鮮半島沿岸域の西側、九州沿岸域の西側に見られた。東シナ海において、揚子江以北では中国大陸沿岸域で見られた高濃度の有色溶存有機物が沖合域まで広がっていた。揚子江以南においても、東シナ海の中央部において高濃度の有色溶存有機物がパッチ状に見られた。さらに、渤海では大半の部分で、黄海でも多くの部分で高濃度の有色溶存有機物が見られた。有色溶存有機物濃度が高い所では高濃度のクロロフィルが認められたものの、有色溶存有機物の場合に比べてより沖合域でも高い濃度が認められた。さらに、杭州湾のすぐ南の沖合域では高濃度の有色溶存有機物は認められなかったものの、クロロフィル濃度には沿岸域から沖合域にかけて高い濃度が認められた。懸濁物濃度の分布パターンはクロロフィル濃度の分布パターンとほぼ一致していた。クロロフィル濃度や懸濁物濃度の分布パターンは有色溶存有機物の分布パターンと大まかにはよく似ていると言えそうである。

1998年5月の東シナ海において得られた物理、化学的観測結果を表3に示す。Sta.3までは表面の塩分が34を越すことから、Sta.1からSta.3までは黒潮系の水の影響を強く受け、Sta.4からは河川(揚子江)水の影響を強く受けていたと判断された。亜硝酸+硝酸塩の濃度はSta.6の1%深度を除いて枯渇状態にあり、ケイ酸塩は枯渇していなかった。N/Siの比は大半が0.2以下であり、Sta.6の1%深度では亜硝酸+硝酸塩の濃度も高く、N/Siの比は0.7であった。溶存有機態窒素の濃度は、Sta.6の1%深度を除くと5 μ M前後であり、Sta.6の1%深度では他に比べて2倍程度高く、11 μ Mであった。

植物プランクトンの種組成と細胞数の結果を表4に示す。ラン藻類、クリプト藻類、渦鞭毛藻類、珪藻類、ハプト藻類が観察された。クリプト藻類を除くいずれの藻類もすべての観測点で見られた。クリプト藻類はSta.6のとくに1%光深度で多く見られ、ここでの優占種であった。

表3. 1998年5-6月の東シナ海において得られた物理、化学的環境要因の結果

観測点	深さ (m)	亜硝酸+硝酸塩 (N; μ M)	ケイ酸 (Si; μ M)	N/Si	溶存有機態窒素 (μ M)	塩分
1	0(100%)	0.3	1.4	0.21	ND	34.5
2	0(100%)	0.4	1.7	0.21	5.0	34.487
	7(30%)	0.3	1.4	0.18	5.0	34.486
	30(10%)	0.3	2.2	0.15	6.7	34.614
	70(1%)	0.5	1.7	0.27	4.3	34.702
3	0(100%)	0.2	2	0.09	4.3	34.374
4	0(100%)	0.2	2.9	0.06	5.0	33.501
5	0(100%)	0.2	4	0.04	ND	33.179
6	0(100%)	0.1	5.5	0.02	5.7	31.988
	6(30%)	0.1	5.2	0.02	6.0	32.022
	17(10%)	0.3	5.2	0.06	6.7	32.292
	40(1%)	8.1	11.2	0.72	11.4	33.465

括弧の中の数字は光深度を示す。

表 4. 1998 年 5-6 月の東シナ海において同定された植物プランクトンとその細胞数 (cells/l)

	深さ (%)	観測点					
		1	2	3	4	5	6
ラン藻類	100 (0 m)	10	165	1095	45	45	NO
	30						NO (6 m)
	10		60.8 (3.0 m)				NO (1.7 m)
	1		NO (7.0 m)				NO (4.0 m)
クリプト藻類	100 (0 m)	NO	NO	NO	NO	30	NO
	30						15 (6 m)
	10		NO (3.0 m)				300 (1.7 m)
	1		NO (7.0 m)				1365 (4.0 m)
渦鞭藻類	100 (0 m)	75	265	390	195	115	110
	30						240 (6 m)
	10		205 (3.0 m)				380 (1.7 m)
	1		75 (7.0 m)				505 (4.0 m)
ケイ藻類	100 (0 m)	NO	130	335	415	130	140
	30						235 (6 m)
	10		135 (3.0 m)				245 (1.7 m)
	1		180 (7.0 m)				105 (4.0 m)
ハプト藻類	100 (0 m)	60	450	15	60	15	90
	30						375 (6 m)
	10		105 (3.0 m)				165 (1.7 m)
	1		300 (7.0 m)				60 (4.0 m)

NOは出現しなかったことを示す。

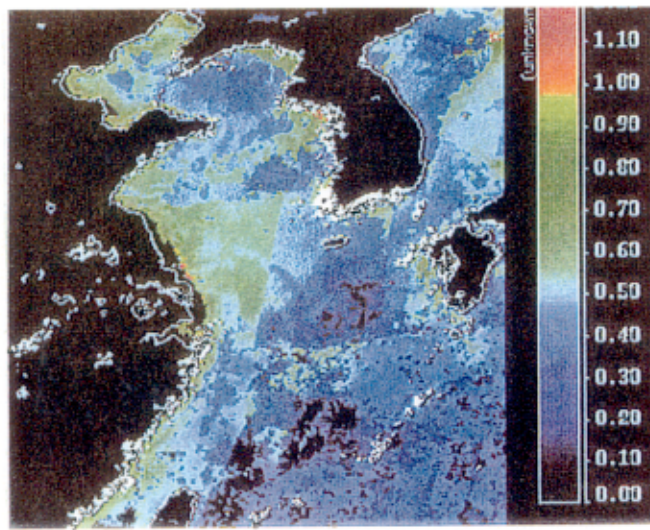
4. 考察

駿河湾においてはフロントよりも湾奥部でクロロフィル a 濃度は比較的高く、塩分値は低かった。フロントならびにその湾奥側にみられた高いクロロフィル a 濃度には陸域からの栄養塩供給の影響によると考えられる。このようなところでは N/Si 濃度比が 0.2 以上であった。N/Si 濃度比 0.2 が陸域からの負荷の影響の大きさを判断するに良い指標と考えられる。さらに、フロント近辺とその湾奥側においては、珪藻類、ペン毛藻類ともに多かった。これらの植物プランクトンは人為的な負荷に伴い増加したものと判断される。したがって、少なくとも駿河湾では N/Si 濃度比 0.2 は人為的な影響による植物プランクトンの増殖と自然増殖との区別の指標として有望である。

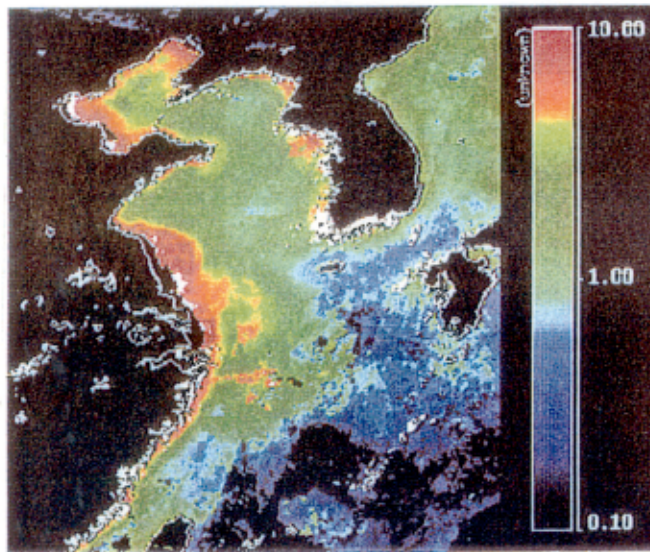
ただし、この指標は、どのような植物プランクトン種が優占するかの指標とはならないようである。窒素とケイ素の濃度の単純なバランスだけでは優占する植物プランクトンは決定されないのかもしれない。この問題に関しては、今後のさらなる研究が必要である。

1998 年の東シナ海での観測において、Sta. 4 から Sta. 6 は揚子江の水の影響を強く受けていたと考えられたにも関わらず溶存有機態窒素の濃度は Sta. 6 の 1%光深度を除くと、黒潮水の影響を強く受けた Sta. 1 から Sta. 3 までの濃度と同じであった (表 3)。窒素態栄養塩やケイ酸塩の濃度についても河川水の影響を受けた水の方が高いと考えられるにも関わらず、溶存有機態窒素の場合と同様の結果が見られた (表 3)。揚子江水中の豊富な栄養塩や溶存有機物は、この河川水が東シナ海に広がる過程で表面においては植物プランクトンにより速やかに取り込まれるのかもしれない。一方、有光層の底部では光が弱く、取り込みが押さえられ、比較的高濃度の栄養塩や溶存有機態窒素が残っているのかもしれない。Sta. 6 の 1%光深度の高濃度の溶存有機態窒素は、溶存有機物が高い揚子江起源の水の影響を示していたと考えられる。Sta. 6 の 1%光深度でクリプト藻類という沿岸に多い植物プランクトンが優占していたこと (表 4) は、このことを支持する。また、Sta. 6 の 1%光深度で塩分がやや高くなっていることは黒潮水の影響を示していたと考えられる。以上から、Sta. 6 の 1%光深度は植物プランクトンの影響をあまり受けていない河川水と黒潮水との混合水と思われる。船舶によるさらなる観測結果が必要と思われるが、溶存有機

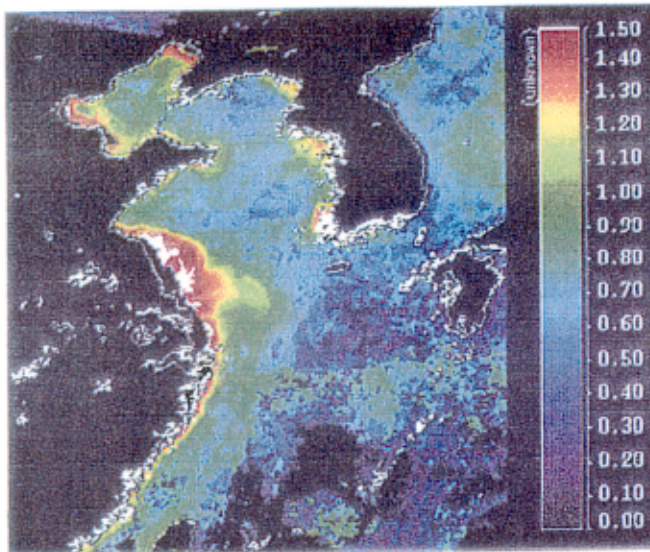




(a) 1997年5月の黄色物質の吸収係数の複合画像 (単位: m^{-1})



(b) 1997年5月の植物プランクトン色素濃度の複合画像 (単位: $\mu\text{g/l}$)



(c) 1997年5月の懸濁物質濃度の複合画像 (単位: g/m^3)

図5. 東シナ海における1997年5月の黄色物質の吸収係数(有色溶存有機物濃度; a)、クロロフィル濃度 (b) ならびに懸濁物濃度 (c) の人工衛星複合画像

物の濃度分布を明らかにすることは、東シナ海において河川、特に揚子江からの水の広がりを把握する有効な手段となり得るだろう。

海色リモートセンシングによる複合画像から人間の社会活動の高い沿岸域で高濃度の有色溶存有機物が見られ、クロロフィル濃度も高かった。したがって、海色リモートセンシングによる有色溶存有機物とクロロフィル濃度の画像を併用することにより、少なくとも東シナ海では陸からの人為的負荷物質による植物プランクトンの増殖を巨視的に捉えることが可能と思われる。

東シナ海では河川水の影響があっても中央部では窒素態栄養塩は活発に取り込まれてしまうために枯渇状態あると考えられた。このため東シナ海中央部表面の N/Si 比は 0.2 よりも低くなるのだろう。一方、河川水の特長（栄養塩や溶存態有機窒素の濃度が高い）が保持されていると考えられる場合の N/Si 濃度比は 0.7 であった。東シナ海では陸域からの負荷の指標としては N/Si 濃度比 0.7 以上とするのが妥当かもしれない。N/Si 濃度比は人為的負荷の指標として有望であると思われるが、海域によりこの値は異なるものと思われるので、様々な海域での観測が必要であろう。

5. 引用文献

Ding, K. and H. R. Gordon (1995) Analysis of the influence of O₂ "A" band absorption on atmospheric correction of ocean color imagery. *Applied Optics*, 34, 2068-2080.

稲葉栄生 (1996) : 駿河湾の水温. 駿河湾の自然、東海大学海洋学部編、pp. 42-50. 静岡新聞社.

Parsons, T. R., Y. Maita and C. M. Lalli (1984) : A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Pergamon Press, Oxford, 173pp.

Tassan, S. (1994) : Local algorithm using SeaWiFS data for the retrieval of phytoplankton, pigments, suspended sediment, and yellow substance in coastal waters. *Applied Optics*, 33, 2369-2378.