

沿岸域における衛星リモートセンシングのための クロロフィル a・SS 同時推定手法の開発

Development of simultaneous estimation model for Chlorophyll and SS
in coastal area by Satellite Remote Sensing

学籍番号 47106765
氏 名 比嘉 紘士 (Higa, Hiroto)
指導教員 鯉渕 幸生 講師

1. はじめに

内湾の面積は、外洋と比べれば一割程度にしか満たないが、植物プランクトンの増殖による一次生産は著しく大きい(才野, 2007). それによって豊富な魚介類が大量かつ効率的に収穫され、社会的な影響が大きい水域である. 一次生産量の増減を適切に把握するためには、植物プランクトンに含まれるクロロフィル a (Chlorophyll-a: Chl-a) の挙動を、その空間分布も含めて定期的にモニタリングすることが望まれている. このような Chl-a のモニタリングでは、時間的、空間的分解能に優れた人工衛星によるリモートセンシングは重要な意義を持つため、現在までに様々なモデルが提案されている(Gordon ら, 1981, Kishino ら, 1997). これまでの研究では、衛星リモートセンシングによる外洋の Chl-a の推定については研究が進み、その精度の向上が図られている. しかし、衛星画像により、内湾の Chl-a を推定することは現状では困難であり、Chl-a の時空間分布にすら不明な点が多く、全球の一次生産量の総量推定や CO₂ の吸収量などにも大きな誤差が生じているといわれている(石坂, 2001). 内湾の Chl-a 推定が確立されていない原因として、外洋と比べて内湾の Chl-a 空間分布に著しい差違があり、特に高濃度な水

域がパッチ上に分布すること、加えて、浮遊懸濁物質 (Suspended solids: SS) が高濃度となり、水面の分光反射率を増減させることが原因となっている. 以上の背景をもとに、本研究では、現地観測により測定した Chl-a、SS およびリモートセンシング反射率、海水の固有光学特性の変動を考察することにより、東京湾の光吸収・散乱特性を明らかにする. また、従来の Chl-a 推定モデルにおいて誤差が生じる要因を明確にし、内湾に適した新しい高精度 Chl-a 推定モデルを提案する. さらに、開発した新しい Chl-a 推定モデルを衛星データに適用し、東京湾における Chl-a 空間分布の挙動について考察する.

2. 観測方法

現地観測は、図-1 に示す 7 地点において、2010 年 6 月から月に一回の頻度で 2011 年 8 月まで実施した. Stn.99 は、浚渫窪地となっており、湾最奥部に位置することから海水交換が弱いといった特徴がある. お台場, Stn.98, Sm.1 は、荒川や旧江戸川等主要河川の河口部であることから、河川水による直接的な汚濁負荷の影響を受けやすい. Stn.8, Stn.97, Stn.13 は、河川水の影響が相対的に小さいといった特徴がある. 観測地点では、表層の海水を採水し、SS, Chl-a を測定し、さらに吸収係数

として、有色溶存有機物質 (CDOM)、全懸濁粒子、植物プランクトン、トリプトンを測定した。また、海上における分光反射率の測定では、分光放射計 (TriOS, RAMSES) を使用し、海面射出輝度と海面直上の下向き分光放射照度を測定後、それらの比であるリモートセンシング反射率を算出した。

3. 本研究の提案手法

(1) 推定誤差に着目した Chl-a 補正モデル

従来のリモートセンシングによる Chl-a 推定モデルは、以下のような式で表される。

$$Chl - a = 10^{a_0 + a_1 X + a_2 X^2 + a_3 X^3 + a_4 X^4}$$

ここで、既存の推定モデルにおける係数 $a_0 \sim a_4$ と X を表-1 に示す。東京湾を高頻度で観測可能である人工衛星 Aqua に搭載されている MODIS センサーには、OC3 が使用されており、今回、検証用として使用した。また、 X は、人工衛星で使用されている青色域と緑色域のバンドの比を対数に変換したものである。それぞれ青色域の波長は、443~520nm の間で、反射率の最大値を与えるようになっている。これらのモデルは、沿岸域のような高濃度な水域においては、対応することができず、SS の影響や高濃度 Chl-a 時に誤差が生じる。この誤差に着目し、以下のように、推定誤差を求めた。

$$(推定誤差) = Chl - a$$

$$- (10^{a_0 + a_1 X + a_2 X^2 + a_3 X^3 + a_4 X^4})$$

さらに、計算した推定誤差に対して、波長 350~900nm における 2nm 間隔全てのパターンの 2 波長でのリモートセンシング反射率の比との相関係数を求め、相関が高くなった二波長比を探索する。この選択された二波長比を補正項とし、従来の Chl-a 推定モデルに重回帰

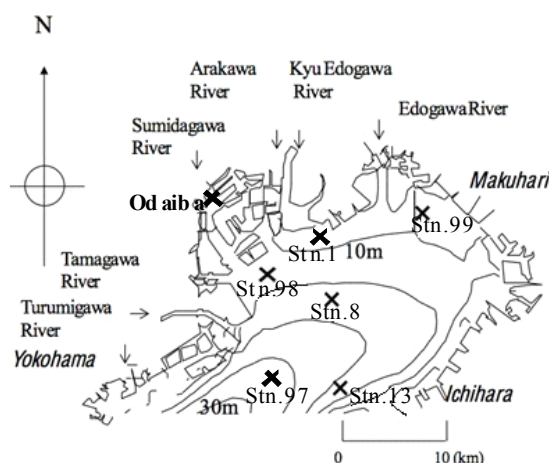


図-1. 東京湾の観測地点

表-1. OC3 アルゴリズムの係数

Algorithm	Band Ratio (X)	Coefficient				
		a_0	a_1	a_2	a_3	a_4
OC3	$X = \log^{10} * (Rrs443 > Rrs488) / Rrs551$	0.283	-2.75	1.457	0.659	-1.4

式で組み合わせると、以下の式のように表わすことができる。

$$(補正モデル) = A_1 (10^{a_0 + a_1 X + a_2 X^2 + a_3 X^3 + a_4 X^4}) + A_2 (Rrs_i / Rrs_j) + B$$

ここで、 A_1 、 A_2 、 B を重回帰により決定した係数とし、 Rrs_i / Rrs_j を補正項とする。上記の式を沿岸域における Chl-a 推定誤差補正モデルとした。

(2) ISS の推定法

ISS 推定の手法として、ISS に対して、波長 350~900nm における 2nm 間隔全てのパターンの 2 波長でのリモートセンシング反射率の比との相関係数を求め、相関が高くなった二波長比を探索する。既往の研究によると、最も基本的な SS 推定モデルは 1 波長による推定が知られている。

しかし、沿岸域の海色は、植物プランクトンの異常増殖、植物プランクトンの種類、陸域から流入する CDOM、TSS の有機物、無機物など、様々な要因によって短時間で複雑に

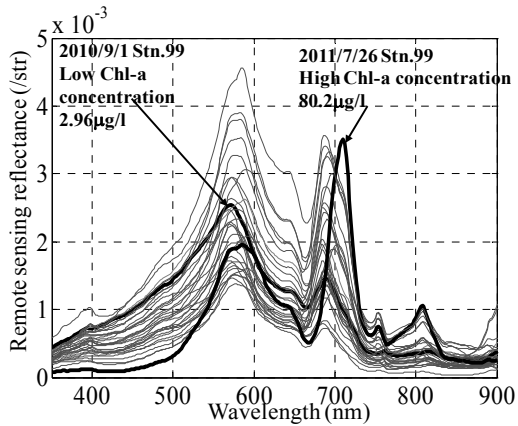


図-2. リモートセンシング反射率

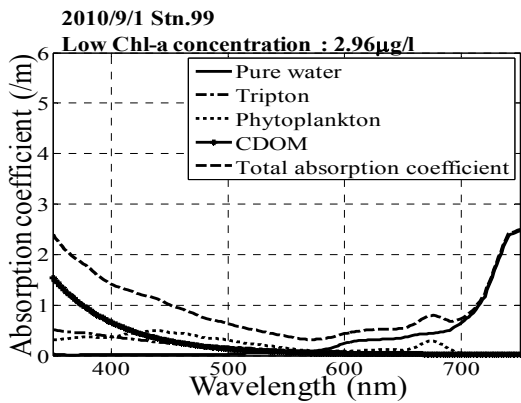
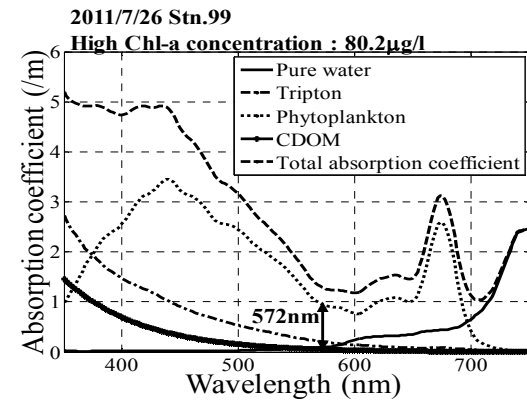


図-3. 高濃度および低濃度 Chl-a 時の吸収係数

変化する。そのため、1 波長の推定式で Chl-a, SS を推定することは極めて困難であるため、本研究では、二波長比による推定を試みた。

4. リモートセンシング反射率と固有光学特性

リモートセンシング反射率は、Chl-a が増加すると伴に緑色域 550~600nm 付近の反射率

が減少し、赤色域 670~720nm 付近の反射率が上昇していた (図-2)。これは、赤潮による海色の変化によるものと考えられる。図-3 の吸収係数に着目すると、植物プランクトンの吸収係数は一般的に緑色域の波長帯において光吸収は小さいはずであるが、高濃度 Chl-a 時には光吸収が増加していた。そのため、緑色域の反射率が減少していたと考えられる。これは緑色域の波長の光を吸収する光合成色素を持った植物プランクトンの増加によるものと考えられる。CDOM は、低濃度 Chl-a 時と高濃度 Chl-a 時共に青色域における光吸収の影響が大きかったことが判る。このことから、東京湾における Chl-a 推定では、Chl-a 以外にも CDOM の光吸収が大きく影響し、植物プランクトンの青色域の光吸収特性を利用できないため、Chl-a 推定が困難であることを示唆している。そのため、沿岸域における Chl-a 推定モデルの作成では、青色域の波長を省いたモデルを考える必要がある。

5. 高濃度 Chl-a と ISS の推定可能性

Chl-a 推定誤差と相関のある二波長比を探索した結果、658/532 が最も推定誤差と相関があった。この二波長比は、赤潮による海色の変化による緑色域の反射率の減少と、赤色域の反射率の上昇の特徴を利用したものであり、高濃度 Chl-a と関係がある。この二波長比を OC3 アルゴリズムに重回帰式を用いて組み合わせた結果、Chl-a 推定誤差補正モデルの係数は、 $A_1=0.3068$, $A_2=76.538$, $B=-38.507$ となった。作成したモデルと実測の Chl-a との関係を図-4 に示す。相関係数 R は 0.892 となっており強い相関関係が認められたことが判る。また、ISS の推定では、728nm と 692nm の二波長比を使用することで、高精度な推定には至っていないが、推定の可能性を示すことがで

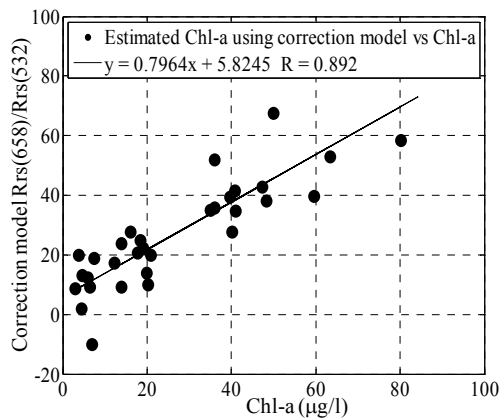


図-4. Chl-a 推定誤差補正モデルと実測 Chl-a との関係

きた ($R=0.678$). 2つの反射率は、純水以外の物質の吸収の影響を可能な限り避けており、後方散乱係数との相関が認められた。

6. 衛星データへの適用結果

作成した Chl-a 推定誤差補正モデルを衛星データに適用した結果を図-5.に示す。従来のモデルでは推定不可能であった沿岸域に近い高濃度 Chl-a の箇所が推定可能となり、 $30\mu\text{g/l}$ 以上の赤潮発生箇所を特定できるようになった。従来モデルおよび補正モデルと実測 Chl-a との関係を図-6 に示す。従来モデルと実測 Chl-a との相関係数は、 $R=0.495$ に対し、補正モデルと実測 Chl-a との相関係数は、 $R=0.851$ となっており、空間分布的に精度が向上したという結果になった。

7. まとめ

本研究では、沿岸域における Chl-a, SS の同時推定手法を提案するため、現地観測により、水質調査およびリモートセンシング反射率の測定を行った。また、東京湾における光学特性を吸収係数から考察した。さらに、推定誤差に着目した新しい Chl-a 推定モデルを提案し、二波長比を用いた ISS の推定について検討した。その結果、従来モデルに比べ、高精度な沿岸域の Chl-a 推定が可能となった。

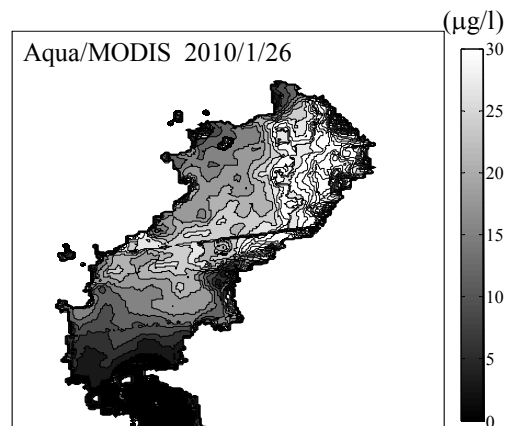


図-5. Chl-a 推定誤差補正モデル適用結果

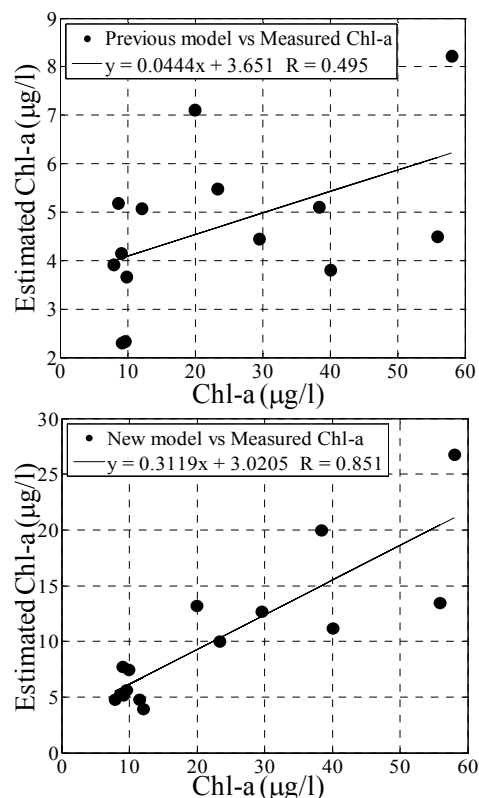


図-6. 従来モデルおよび Chl-a 推定誤差補

【参考文献】

- 才野敏郎 (2007) . 自動昇降式ブイシステムによる海洋基礎生産モニタリング, 沿岸海洋研究, 45, 1, pp. 17-28
- Gordon, H. R. and Clark, D. K. (1981). Clearwater radiance for atmospheric correction of coastal zone color scanner imagery, Applied Optics 20, 4175-4180
- Kishino, M., J. Ishizaka, S. Saitoh, Y.Senga and M. Utashima (1997). Verification plan of ocean color and temperature scanner atmospheric correction and phytoplankton pigment by moored optical buoy system, J. Geophys. Res, 102, 197-207
- 石坂丞二 (2001) . 沿岸域での海色リモートセンシングの現状と将来, 沿岸海洋研究, 39, 21-26