東京湾における海色リモートセンシング を用いた水環境モニタリング手法の提案

比嘉 紘士¹・鯉渕 幸生²・小林 拓³・虎谷 充浩⁴・作野 裕司⁵

¹正会員 横浜国立大学大学院 日本学術振興会特別研究員 (PD) 都市イノベーション研究院 (〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5)

E-mail:higa-h@ynu.ac.jp

²正会員 東京大学大学院准教授 新領域創生科学研究科 (〒277-8563 千葉県柏市柏の葉5-1-5)

E-mail:koi@k.u-tokyo.ac.jp

³山梨大学大学院准教授 生命環境学部環境学科 (〒400-8511 山梨県甲府市武田4-3-11)

E-mail:kobachu@yamanashi.ac.jp

⁴非会員 東海大学教授 工学部 (〒259-1292 神奈川県平塚市北金目4-1-1)

E-mail:tora@keyaki.cc.u-tokai.ac.jp

⁵正会員 広島大学大学院准教授 工学研究院 (〒739-8527 広島県東広島市鏡山1-4-1)

E-mail:sakuno@hiroshima-u.ac.jp

富栄養化水域である東京湾において、現地観測に基づいた人工衛星リモートセンシングによる環境モニタリング手法を提案した。現地観測では、湾内の光学的な特徴を調査し、植物プランクトンの光吸収係数 (a_{ph}) とデトリタスの光吸収係数 (a_d) はChl-aと関係も持ち、有色溶存有機物の光吸収係数 (a_{CDOM}) は塩分と相関関係があることを示した。これらの特性を利用しBio-optical modelを構築することで、赤潮発生時における550nm付近における a_{ph} の上昇が、赤潮の光学的な特性の1つであることを示した。これらの知見に基づき現地観測結果同期型のFluorescence Line Height (FLH) によるChl-a推定、青色域、赤色域にバンドを使用した a_{CDOM} 推定、Multiband Quasi-Analytical Algorithm (QAA) を改良した a_d 推定手法を提案し、さらにMODISセンサーの水温推定の精度検証を行った。これによって、これらの各パラメーターを空間的に同時推定できる可能性を示した。

Key Words : Chlorophyll-a, CDOM, Detritus, Satellite remote sensing, Ocean color, Tokyo Bay

1. はじめに

沿岸域は、人間活動と密接に関わる自然空間であり、その保全と利用において重要な場である。しかし、人口増加や都市化に伴い、栄養塩を含む排水が流入し、富栄養化に伴う赤潮の発生、貧酸素水塊の形成等が問題となっている。特に赤潮の発生が1つの要因となる貧酸素化は、進行すると生物の斃死、漁業被害に繋がるため重大な環境問題として認識されている。そこで、沿岸域の現状、変化の傾向を把握することや、長期的には、環境問題に関わる諸現象のメカニズムの解明を目的とした環境モニタリングが重要となっている。これまでのモニタリング手法は、係留系の設置や船による現地観測が主であるが、これらはポイント的な観測には優れているものの水平的な水質変動を捉えることが困難であり、また労力を要するといった問題がある。そこで、時間的・空間的な観測に優れた衛星リモートセンシングによるモニタリ

ングが有効になると、沿岸全域の環境変動を水平分布的に把握することが可能となる。しかしながら、従来の衛星リモートセンシングの技術は、外洋域のような植物プランクトン単一で海色に変化する水域においては確立されているものの、河川水が流入し内部生産が著しい沿岸域では、様々な物質の混在による海色変動の複雑さのため、ほとんど確立されていないのが現状である(石坂, 2001)¹⁾。特に様々な沿岸域ごとの物理量推定モデルの一般化は非常に困難とされている。

そこで本研究では、東京湾の光環境の特性を詳細に解明し、衛星リモートセンシングのための物理量推定モデルを開発する。本研究で対象とした東京湾は、著しく富栄養化した水域であることから環境観察・環境改善を目的としたモニタリング技術の開発が望まれている。また、水質の濃度の変動幅が非常に大きいといった特徴があるため、東京湾において推定モデルを開発することが可能となれば今後の富栄養化水域における物理量推定モデル

図-1 現地観測地点

図-2 555nmで正規化された R_{rs} と $1/a_t$ のスペクトル

の開発を検討する際の重要な知見になると考えられる。特に本研究では、環境状態の様子を様々な観点からモニタリング可能とするため、クロロフィルa (Chlorophyll-a: Chl-a)、有色溶存有機物 (Color Dissolved Organic Matter: CDOM) の光吸収係数 (a_{CDOM})、デトリタスの光吸収係数 (a_d) の物理量推定モデルを開発することを目的とした。また、人工衛星Aquaに搭載されているMODISセンサーによる水温推定の精度検証を行った。

2. 現地観測の概要

本研究では、東京湾における赤潮の光学特性を解明し、現地観測結果を用いた衛星リモートセンシングのための物理量推定モデルを開発するため、図-1に示す地点において2010年6月～2013年9月の間、約月に1回の頻度で現地観測を実施した。各観測地点では、分光放射計 (TiOS Optical Sensors: RAMSES ACC/ARC) を用いて、海面射出輝度と海面直上の下向き分光放射照度を測定し、それらの比であるリモートセンシング反射率 (R_{rs}) を算出した。また、表層の海水を採水して持ち帰り、分光光度計 (日本分光 V-550) を用いて植物プランクトンの光吸収 (a_{ph})、有色溶存有機物の光吸収係数 (a_{CDOM})、デトリタスの光吸収係数 (a_d) を測定した。

3. 赤潮の光学特性の解明

(1) R_{rs} と光吸収係数の逆数との比較

これまでの研究により東京湾は、年間を通して有機物が卓越している海域であり、湾内の光学特性として光の

吸収が著しく大きいことが報告されている (比嘉ら, 2014)²⁾。従来の研究より、 R_{rs} は固有光学特性である光吸収係数 $a(\lambda)$ 及び後方散乱係数 $b(\lambda)$ の比で表されることが報告されており、光吸収係数 $a(\lambda)$ が著しく大きく後方散乱係数 $b(\lambda)$ が小さくなる場合は、 $R_{rs}(\lambda)$ は $a(\lambda)$ に依存し変化する (岸野ら, 2001)³⁾。そこで、図-2に a_{ph} 、 a_{CDOM} 、 a_d 及び純水の光吸収係数 (a_w) の実測値を全て足し合わせた全光吸収係数 $a(\lambda)$ の逆数と R_{rs} の実測値のスペクトルの形状を比較した。このとき、植物プランクトンが高濃度のときのスペクトルの形状を比較するため、Chl-aが $10\mu\text{g/l}$ 以上のときの結果 $N=29$ の $R_{rs}(\lambda)$ と $a(\lambda)$ の平均値を用い、またスペクトルの形状を明確にするため555nmでそれぞれ正規化した。図-2の結果から、 R_{rs} と $1/a_t$ のスペクトルは概ね類似していたことが分かる。これは、 R_{rs} のスペクトル変動が、植物プランクトン、CDOM、デトリタスの光吸収の変動大きく依存していたことを意味している。このような水域の光学特性は、有機物が卓越した富栄養化水域の特徴であることが示唆された。

(2) Bio-optical modelの構築

植物プランクトンが高濃度化し、赤潮が発生したときの光学特性を詳細に解明するために、式 (1) に示すBio-Optical modelを使用した (Sasaki et al, (2008))⁴⁾。

$$a_x = A_x(\lambda) \text{Chl-a}^{B_x(\lambda)} \quad (1)$$

このとき、 X は植物プランクトン、デトリタス、CDOMであり、 a は光吸収係数、 A 、 B の係数は各物質、各波長ごとに変化する。式(1)から分かるとおり、 a_{ph} 、 a_{CDOM} 、 a_d はChl-aを関数として導出される。そこで、東京湾の a_{ph} 、 a_{CDOM} 、 a_d の実測値とChl-aの実測値との関係を調べた。その結果、図-3 (a), (b) に示すように a_{ph} 、 a_d はChl-aと線形の関係があることが分かった。しかしながら、 a_{CDOM} は、Chl-aとは無相関であり、その代わりとして図-3 (c) に示すように塩分と相関関係があった。これは、東京湾のCDOMは植物プランクトンの分解によって生成されるものより、河川起源のものが支配的であることを意味している。そこで、式(1)の a_{CDOM} の場合のみChl-aから塩分に変換し、380nmから約30nmごとに720nmまでの範囲においてChl-aを $5.0\mu\text{g/l}$ から $200\mu\text{g/l}$ まで $5.0\mu\text{g/l}$ ずつ上昇させたときの $1/a_t$ の計算結果を図-4に示す。結果から、Chl-aの増加に伴い a_{ph} と a_d が増加し、 $1/a_t$ の全スペクトルが徐々に低下していたことが分かる。また特徴として、Chl-aが $40.0\mu\text{g/l}$ 以上から $1/a_t$ のスペクトルは565nmから589nmへピークシフトが起きていた。これは諫早湾においても赤潮の光学特性として同様な結果が報告されており⁴⁾、また、赤潮が発生したときに550nm付近の R_{rs} が低下するという報告とも一致す

図-3 (a) $a_{ph}(440)$ と Chl-a との関係, (b) $a_d(440)$ と Chl-a との関係, (c) $a_{CDOM}(440)$ と塩分との関係

る(比嘉ら, 2012)⁵⁾. このことから, Chl-a が高濃度になった場合には, 550nm 付近の反射率の低下及びデトリタスの光吸収係数の増加, 河川水の湾内への流入による CDOM の増加の影響により, 可視域の青色, 緑色の短波長側のバンドを使用する従来の推定手法では推定誤差が生じると考えられる.

4. 物理量推定モデルの開発

(1) Chl-a 推定モデルの開発

a) 近赤外域と赤色域の二波長比を用いた Chl-a 推定

現地観測結果により導出した R_s を用いて, 全波長帯の組み合わせ探索を行い, Chl-a と最も高い関係のある組み合わせを探索した. その結果, 700~730nm 付近及び 670nm 付近の二波長の組み合わせたモデルが Chl-a を最も高精度に推定可能であることが分かった. これらの波長が選択された原因は, 上記の赤潮による反射率の低下, CDOM とデトリタスの光吸収の影響が強い波長帯の使用を避け, 700nm 近付近の近赤外域の波長を使用することで 660~670nm 付近の散乱をキャンセルし, 植物プランクトン光吸収の影響を強調することが可能なためである. 既往の研究によると, 霞ヶ浦やチェサピーク湾においても同様な二波長が有効であることが示されており, 富栄養化水域における Chl-a 推定において有効である波長である可能性が示唆された (Oki, 2010⁶⁾; Leetal, 2013⁷⁾). しかしながら, 現在稼働中の人工衛星で 700nm 付近のバンドを搭載している衛星は存在しない. そこで, 現行の人工衛星にも適用可能な Chl-a 推定手法を検討する.

b) FLHI による Chl-a 推定の可能性

R_s の実測値を用いて, 既往の研究により提案されている FLH (Fluorescence Line Height) による Chl-a 推定を試みた. FLH は, 式(2)に示すように 667nm と 748nm をベースラインとし, 678nm のクロロフィル蛍光を検出する手法である

図-4 東京湾用に改良された Bio-Optical model による l/a_t

(McKee et al., (2007))⁸⁾.

$$FLH = R_{rs}(678) - [R_{rs}(748) + \{R_{rs}(667) - R_{rs}(748)\} \times \left\{ \frac{(748-678)}{(748-667)} \right\}] \quad (2)$$

式(2)に実測の R_s を代入し導出した FLH と Chl-a の実測値との関係を図-5 (a) に示す. 結果の通り, Chl-a が 30.0~60.0mg/l 付近においてばらつきが大きく, Chl-a の増加と共に FLH が徐々に低下していたものの, 指数関数的に相関関係があったことが分かった. また, 図-5 (a) 中の矢印で示す通り, 回帰曲線から外れていた2点は, サンプル数 $N=41$ の a_d の平均値が 0.362(m) であるのに対して, a_d が 0.562 と 0.891 と他地点より上昇していたことが分かる. これは Kishino et al., (1986)⁹⁾ によるとデトリタスが増加していた場合には FLH が低下することが報告されている. そのため, FLH を使用した Chl-a 推定の場合, a_d が増加している箇所を注意して使用する必要がある.

c) 現地観測結果同期型 FLH による Chl-a 推定

次に, FLH を人工衛星 Aqua/MODIS により捉えられた実際の衛星画像に適用し精度の検証を行った. Chl-a の実測値は千葉県公共用水域及び地下水の水質測定結果を使用した. 公共用水域の観測日は, 2010年8月4日, 2012年4月17日, 2012年8月2日, 2012年12月5日, 2013年2月21日, 2013年5月2日であり, 2010年8月4日のみ衛星画像取得日と一致していたが, 他の日に関しては公共用水域の観測日に取得された衛星画像は雲の影響が大きかったため, 観測日の次の日に取得された画像を使用した. 通常, Chl-a は短期スケールで大きく変動するものの, 分布としては変動が小さいと仮定し検証を行った.

その結果, Chl-a と FLH との関係は大きくばらつくものの, 衛星画像1枚単位で見ると, 指数関数的な相関関係があることが分かった. これは Chl-a を絶対値としての推定は不可能であるが, 相対的には推定可能であることを意味している. このようなばらつきは, その日における水環境の状態の変化によって植物プランクトンの光合成活性が変化していた可能性や, FLH は比演算を使用していないため, 波長間同士で大気の影響をキャンセルで

図-5 (a) Chl-aの実測値と実測の R_{rs} を代入して導出したFLHとの関係、(b)現地観測結果同期型FLHとChl-aの実測値との関係

きていない等の原因が考えられる。そこで、Chl-aの推定値を絶対値としても高精度化するため、衛星画像取得ごとに逐次Chl-aの実測値を同期する手法を検討した。このとき同期するChl-aは図-1に示す□点の4地点において国土交通省関東地方整備局により連続モニタリングされた観測結果を使用した。その結果を図-5 (b)に示す。未だ全体的にばらつきが大きい箇所が確認できるものの、Chl-aが20.0~50.0 $\mu\text{g/l}$ 以上の中濃度から高濃度にかけては約30%以内の誤差率で推定することが可能となった。

(2) a_{CDOM} 推定モデルの開発

次に a_{CDOM} 推定モデルを開発するため、実測の R_{rs} を使用し、MODISセンサーのバンドを想定した最適バンドの組み合わせを探索を行った。その結果、412nmと678nmの二波長比の対数が最も良い相関関係を示した($R^2 = 0.74$)。これは、412nmは植物プランクトン、CDOM、デトリタスの光吸収の影響を受ける波長であるが、678nmの波長で比を取ることで、植物プランクトン及びデトリタスの光吸収の影響をキャンセルし、CDOMの光吸収の影響のみを抽出可能であることを意味している。そこで作成したモデルを衛星画像に適用し、精度の検証を行った。このとき、衛星画像取得日に a_{CDOM} の実測値を取得できていた結果がなかったため、図-3 (c)の関係を利用し、 a_{CDOM} の代わりとして塩分の実測値を使用した。また、青色域のバンドである412nm、443nmは、大気の影響が正常に補正されておらず、 R_{rs} がたびたびマイナス値になっていた。そのため、412nmの代わりとして大気の影響が小さくなる488nmを使用し、大気による誤差を減少させた。488nmは412、443nmと類似した光学的特性を持つため代替可能であると考えられる。その結果を図-6に示す。結果の通り、検証に a_{CDOM} の代わりとして塩分を使用したためばらつきは大きくなっていたものの、塩分と a_{CDOM} は、負の関係があった。このことから、作成した a_{CDOM} 推定モデルを使用することにより、湾内へ流入する河川水の拡がりを空間的に把握できる可能性が示唆された。

図-6 塩分の実測値と a_{CDOM} の推定値との関係

図-7 QAAによる a_g , a_{ph} の推定プロセス

(3) QAAの改良による a_d 推定法の提案

Lee et al. (2002)¹⁰⁾により Multiband Quasi-Analytical Algorithm (QAA) が提案されている。これは、図-7に示す通り、見かけの光学特性である R_{rs} から系統的に固有光学特性である光吸収係数や後方散乱係数を理論的、経験的に導出するアルゴリズムである。図-7中の r_{rs} は、水面直下のリモートセンシング反射率 (r_{str})、 T は $T = t_t / n^2$ として表され、 t_t は水面直上から直下への放射輝度透過率、 t_r は水面直下から直上への放射輝度透過率、 n は海水の屈折率である。また γ は水中から空中の内部反射係数、 Q は上向き放射照度と上向き放射輝度との比である。これらの値は、それぞれ $T \approx 0.52$ 、 $\gamma Q \approx 1.7$ として与えられている。次に $u(\lambda)$ 推定時の g_0 と g_1 はそれぞれ $g_0 \approx 0.0949$ と $g_1 \approx 0.0794$ であることが報告されている (Gordon et al., 1988)¹¹⁾。

$a(440)_i$ 推定時の ρ は $\ln(r_{rs}(440)/r_{rs}(555))$ で表され、 b_{tp} は全粒子の後方散乱係数 ($/m$) であり、 b_{bw} は水の後方散乱係数 ($/m$) となる。このとき、 b_{tp} が短波長から長波長にかけて指数関数的に減少するという特徴を利用し、その指数である Y を推定し、波長ごとの b_{tp} を推定する。さらに、 ζ と ξ はそれぞれ410nmと440nmにおける a_{ph} の比及び a_g の比によって表すことができる。これらを推定することにより最終的な結果として a_{ph} 及び $a_g(a_{CDOM} + a_g)$ を導出すること

が可能となる。

そこで R_s 、各光吸収係数の実測値を使用してQAAのプロセス中で使用される式の精度検証を行った。その結果、図-7中枠線Step3の $a_g(555)$ 推定式を改良し、さらにStep7の ξ の推定式を改良した。また図-8中枠線Step7の ξ 推定式中の S は、 0.015nm^{-1} の一定値が与えられている。そこで S の数値を変化させたときに $a_g(440)$ と $a_{ph}(440)$ の推定誤差が最小となる値を求めた結果、東京湾では $S=0.023$ が最も適していたことが分かった。これらの3点を改良することにより、 $a_g(440)$ の推定値と実測値との関係は、 $R^2=0.38$ 、 $RMSE=0.211$ から $R^2=0.61$ 、 $RMSE=0.062$ に、 $a_{ph}(440)$ の推定値と実測値との関係は、 $R^2=0.38$ 、 $RMSE=1.693$ から $R^2=0.66$ 、 $RMSE=0.307$ に向上し、 a_g 、 a_{ph} が推定できる可能性が示された。ここで、別途推定した a_{CDOM} を用いて a_g から差し引くことにより、 a_d のみを抽出することが可能となる。そこで、提案した a_d 推定手法を人工衛星Aqua/MODISに適用し精度の検証を行った。上述の通り、東京湾では412nm、443nmのバンドは大気補正による誤差が大きくなるため、488nmと531nmのバンドを代わりに使用した。その結果、図-8に示す通り、 a_d の実測値と推定値は相関関係が認められたものの、検証サンプルは4点と非常に少ない。これは衛星画像が取得された日と観測日がマッチングしなければ検証できないことが原因である。今後の課題として、現地観測によりサンプル数を増やし、再度、精度検証を行う予定である。

(4) MODISセンサーによる水温推定の検証

東京湾のような富栄養化した沿岸域においてMODISの熱赤外センサーが適切な精度で水温を推定可能であるか検証した。検証は2011年1月～12月の1年間の結果を用いて行い、水温の実測値は、国土交通省関東整備局により連続モニタリングの結果を使用した。図-9に水温の推定値と実測値との関係を示す。結果から、誤差の原因はほぼ水温が高かった箇所の過大評価が原因であった。これは主に夏季の北岸に最も近い千葉波浪観測塔において誤差が大きくなっており、この箇所を除いた場合、誤差率は5%以下となり $R^2=0.95$ となった。以上のような陸域沿いの水温の過大評価が問題として挙げられるが、湾内の水温は空間的に概ね良好に推定可能であることが分かった。

5. 開発した物理量推定モデルによる推定結果

これまで開発した現地観測結果同期型FLHによるChl-a推定手法、青色域、赤色域のバンドを使用した a_{CDOM} 推定、改良したQAAによる a_d 推定、水温推定のモデルを2010年7月28日のAqua/MODISの衛星画像に適用した結果を図-10に示す。Chl-aは西岸に沿って上昇しており、特に荒川、隅田川河口域において高濃度になっていたため赤潮化して

いたと考えられる。また、 a_{CDOM} は河口から湾奥部にかけて上昇しており、河川水が湾奥部に拡がる様に分布していたことが確認できる。このとき、Chl-aと a_{CDOM} の分布の形状が類似していたことから、河口付近を起源とする植物プランクトンが湾内へ拡がっていた可能性が考えられる。また、水温も湾奥部で上昇しており、夏季の南風の影響で水塊が北岸方向へ押し寄せられていたと示唆される。 a_d は特に陸域に沿って上昇していたことから、植物プランクトンが増加し、時間の経過と共に分解され生成されたデトリタスが分布していた可能性が考えられる。このように、デトリタスの増減に着目することにより、Chl-aの消長を判定することが可能になると考えられる。

6. 結論

本研究では、東京湾の光学特性を解明した上で海色リモートセンシングによる沿岸環境モニタリング手法を開発した。東京湾におけるChl-a、CDOM、デトリタスの光学的な変動特性を解明した上で、現地観測結果に基づいたChl-a、 a_{CDOM} 、 a_d の推定手法を提案し、衛星画像に適用し精度の検証を行った。その結果、Chl-a推定は中濃度から高濃度にかけて約30%以内の誤差率で推定することが可能となった。また a_{CDOM} 推定は、 a_{CDOM} の実測値の代替として塩分を使用した精度検証を行った結果、湾内への河川水流入の分布を捉えられる可能性が示唆された。さらにQAAを改良することにより a_d の推定手法を提案し、精度の検証を行った結果、実測値と推定値で良好な相関関係が認められた。さらに、人工衛星Aqua/MODISによる水温推定は、夏季の陸域沿いにおいて過大評価になることが度々確認できたものの、東京湾のような閉鎖的な沿岸で

図-8 衛星画適用後における a_d の実測値と推定値との関係

図-9 水温の実測値と推定値

図-10 2010年7月28日の(1)Chl-a, (2) a_{CDOM} , (3) a_d , (4)水温の空間分布

あつても高精度に推定できることが分かった。

謝辞：現地観測を実施するにあたり、千葉県の水質調査船「きよすみ」の船員の方々及び千葉県環境研究センターの飯村晃氏に大変お世話になった。ここに記して感謝の意を表する。また、本研究はJSPS科研費 24-4765の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) 石坂丞二: 沿岸域での海色リモートセンシングの現状と将来 (シンポジウム: 沿岸海域の衛星海洋学), 沿岸海洋研究, Vol. 39(1), pp. 21-26, 2001.
- 2) 比嘉紘士, 鯉渕幸生, 小林 拓, 虎谷充浩, 作野裕司: 衛星リモートセンシングを用いた東京湾における高濃度化したクロロフィル a 分布の変動要因に関する考察. 土木学会論文集 B2 (海岸工学), vol.70, No.2,

pp.I_1091-I_1095, 2014.

- 3) 岸野元彰, 古谷 研, 田口 哲, 平澤 享, 鈴木光次, 田中昭彦: 海水の光吸収係数の測定, 海の研究, Vol. 10(6), pp.537-559, 2001.
- 4) Sasaki, H., Tanaka, A., Iwataki, M., Touke, Y., Siswanto, E., Tan, C. K., and Ishizaka, J.: Optical properties of the red tide in Isahaya Bay, southwestern Japan: Influence of chlorophyll a concentration. *Journal of oceanography*, 64(4), pp. 511-523, 2008.
- 5) 比嘉紘士, 鯉渕幸生, 小林 拓, 作野裕司, 虎谷充浩, 磯部雅彦: 東京湾における光環境特性とクロロフィル a 分布に関する解析. 土木学会論文集 B2 (海岸工学), vol.68, No.2, I_1486-I_1490, 2012.
- 6) Oki, K.: Why is the ratio of reflectivity effective for chlorophyll estimation in the lake water?. *Remote Sensing*, 2(7), 1722-1730, 2010.
- 7) Le, C., Hu, C., Cannizzaro, J., English, D., Muller-Karger, F., & Lee, Z.: Evaluation of chlorophyll-a remote sensing algorithms for an optically complex estuary. *Remote Sensing of Environment*, 129, 75-89, 2013.
- 8) McKee, D., Cunningham, A., Wright, D., and Hay, L.: Potential impacts of nonalgal materials on water-leaving Sun induced chlorophyll fluorescence signals in coastal waters, *Applied optics*, 46(31), pp.7720-7729, 2007.
- 9) Kishino, M., Sugihara, S., and Okami, N.: Theoretical analysis of the in-situ fluorescence of chlorophyll-a on the underwater spectral irradiance, *Bulletin de la Societe Franco-Japanaise d'Océanographie*, 24, pp.130-138, 1986.
- 10) Lee, Z., Carder, K. L., and Arnone, R. A.: Deriving inherent optical properties from water color: a multiband quasi-analytical algorithm for optically deep waters, *Applied optics*, 41(27), pp.5755-5772, 2002.
- 11) Gordon, H. R., Brown, O. B., Evans, R. H., Brown, J. W., Smith, R. C., Baker, K. S., and Clark, D. K.: A semianalytic radiance model of ocean color. *Journal of Geophysical Research*, 93(D9), 10909-10924, 1988.

(2015.3.18 受付)

A SUGGESTION FOR COASTAL ENVIRONMENT MONITORING METHODS USING OCEAN COLOR REMOTE SENSING IN TOKYO BAY

Hiroto HIGA, Yukio KOIBUCHI, Hiroshi KOBAYASHI,
Mitsuhiro TORATANI and Yuji SAKUNO

Satellite remote sensing methods of ocean color was developed based on the results of field observations in an eutrophication water area, Tokyo bay. From field observations, it was found that absorption coefficients of phytoplankton and detritus were related to Chl-a and that of color dissolved organic matter (CDOM) to salinity. On the basis of these optical properties, bio-optical model was developed and it showed that aph spectrum around 550nm increased when red tides occurred by the developed model. In addition, using these findings, we developed three parameters, Chl-a estimation model which assimilates observation results, a_{CDOM} estimation model which uses two bands, blue region and red region and a_d estimation model, modification of the Quasi-Analytical Algorithm. Furthermore temperature estimation accuracy by MODIS sensor was validated. Thus, it became possible to estimate each of four parameters spatially and simultaneously.