

Terra/ASTER VNIRデータによる千葉県の河川から 東京湾へ流入する汚濁水塊のマッピング

日大生産工 ○岩下 圭之 日大生産工 工藤 勝輝

日大生産工 大木 宜章

1 はじめに

東京湾は浦賀水道を境として南側を外湾、北側を内湾と区別している。内湾では、周辺陸域から流入する河川水によって富栄養化がもたらされ、これが起因となって赤潮や青潮の発生が確認されている。富栄養化をもたらす有機物質の主たる発生源としては、流入河川から海域への生活排水・工業排水・農業排水・牧畜排水などが考えられる。流入河川の流域では下水道整備等によって河川水の有機物汚濁に対する改善が試みられているにも関わらず、海域における富栄養化が進行しているのが現状のようである。海域における富栄養化への対策を検討する場合には、水質汚濁の時系列変化を広域的に把握する必要がある。これには地球観測衛星（以降、衛星と称す）で観測した海水面から反射してくる可視光～近赤外線波長域の電磁波反射特性に基づいて海域の状態を観測する衛星リモートセンシング技術の活用が有効である。近年、衛星で観測した可視光～近赤外線波長域の衛星データを用いて富栄養化の指標であるクロフィルa（以降、Chl. a）濃度を計測する数量化アルゴリズムが提案され、海域や湖沼におけるChl. a濃度がリアルタイムに把握できるようになった。

本研究は千葉県の東京湾流入河川を対象に、富栄養化現象を示す汚濁水マッピング手法について解説した。

2 研究の方法

東京湾の富栄養化に関わる流入河川の影響について、千葉県の東京湾流入河川を研究対象に以下の研究過程で評価した。

1) 衛星データによる流出土砂判読

流入河川から流出する土砂の状況を衛星画像に可視化した。

2) 衛星データによる流出Chl. a判読

水域のChl. a濃度を計測する数量化アルゴリズムにより、大雨直後の流入河川の河口部におけるChl. a濃度を可視化した。

3) Chl. aと土地利用形態との相関分析

流入河川の河口部におけるChl. a濃度は下水道普及率を含む河川流域の土地利用形態と相関性があると考え、流域の下水道普及率、山林面積、水田面積、畑・果樹園面積、その他の土地利用面積、などの土地利用形態を選び、これと衛星データの画像解析で判読したChl. a濃度との相関性について重回帰分析によって検討した。

3 汚濁水塊のスペクトル特性

水のスペクトル特性は、電磁スペクトルの可視領域においては中程度の反射率を示すが、赤外領域においては殆ど反射がなく、これらの条件下で波長の違いによる微妙な反射の相違を抽出するにはより細かなハイパースペクトル測定による分析を要する。河川よりもたらされる土粒子に含まれるSSがChl. aの生育に大きく関与しており、高分解能スペクトル反射特性の測定結果を

Mapping for Impact Assessment of Eutrophic River Inflow to
Tokyo Bay

Keishi IWASHITA, Katsuteru KUDOH, and Takaaki Ohki

媒介としたChl.aとSS(浮遊懸濁物質)との良好な正の相関関係にあることは知られている。なかでも都市河川から流入するSS構成成分にはChl.aの栄養源である有機物が多く含まれており、これらが内湾域の水質汚濁に大きく関わっている。図-1は、ASD社FieldSpecProを利用してモデル実験池において計測・把握したChl.a含有水の示すハイパースペクトル分光反射曲線である。

図から、Chl.a濃度の増大とともに曲線波形が徐々に変化し始め、80~110mg/lを境にしてそのパターンは大きく変化するようになり、可視光赤波長域(660~680nm)近辺での吸収が顕著となり、逆に近赤外線波長域(700~755nm)が強くなるという植物学的な応答が判読できる。しかしChl.a濃度が100mg/l以上の場合、水域の表面反射が含有SSの影響を受け易くなり、可視光青波長域(400~475nm)の反射ピークが可視光緑波長域(500~585nm)の方向に若干移動する傾向が見られる。

4. 衛星データによる汚濁水塊抽出

本研究で利用した衛星データは、2006年12月27日観測のASTER LIB/VNIRデータである。基本的にASTER LIBデータは補正済のプロダクトであるが、これまでの経験により本研究においてもNASA経験式による大気補正モデルに改良を加えた「Filament-Shaped法」²⁾による精密補正を施したデータを利用して画像解析を進めた。

4.1 流入河川の土砂流出

写真-1は、現地に200mm前後の大雨が降った直後の2006年12月27日にTerra衛星のASTER/VNIRセンサによって観測されたBand-2(可視光緑波長域)・Band-3(可視光赤波長域)・Band-4(近赤外線波長域)画像を用いて、それぞれの画像に青・赤・緑を割付けたカラー合成処理で作成した東京湾の赤外カラー画像を示したものである。なお、2006

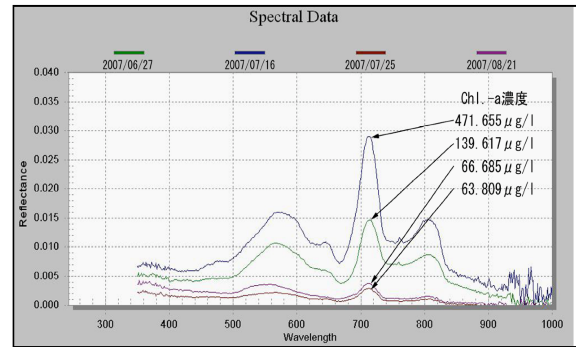


図-1 モデル実験池で計測したChl.a含有水の示すハイパースペクトル分光反射曲線

年12月27日以前の3日間に気象庁雨量観測所で観測された雨量は、千葉県北西部で170mm前後、千葉県南部で220mm、である。Band2・3・4データに(青・緑・赤)を割付け処理で作成した衛星画像は、針葉樹林が濃緑、広葉樹林が鮮緑、草地が黄緑、流出土砂が乳白色~赤紫、市街地が紫、水域が黒、などの発色で可視化されている。流入河川から排出拡散する土砂の様子は、乳白色から赤紫の色調変化で可視化され、なかでも水中に浮遊する粒径2mm以下の細かい土砂の粒子は不溶解性物質となり懸濁物質(SS: Suspended Solid)と呼ばれる。衛星画像から土砂流出が確認できる千葉県の東京湾流入河川は真間川・海老川・花見川・都川・村田川・養老川・小櫃川・小糸川・湊川などの9河川である。Filament-Shaped法によるエンハンス、スムージング、ノイズ除去効果により、衛星画像から判読される千葉県の東京湾流入河川の流出土砂に代表される汚濁水塊流出：(1)拡散範囲の大きさで示される流出土砂量の差異、(2)河口部における色調で示される汚濁水塊濃度の差異、(3)拡散形で示される沿岸域における海流の方向、などの様子が明瞭に判読することができる。

4.2 流入河川のChl.a流出

写真-2は、2006年12月27日に観測したTerra衛星のASTER / VNIR/Band-2・3・4データを用いた画像間

演算処理ならびにChl.a濃度数量化アルゴリズムにより抽出された各流入河川から流出するChl.aの濃度分布をレベルスライス処理により示したものである。表-1は、Chl.aの濃度分布画像からサンプリングした各流入河川の河口部における3画素(30m×3=90m²)が示すChl.aの平均濃度を示したものである。

5. Chl.a濃度と流域形態との相関

流入河川から排出するChl.a濃度と流域の土地利用形態との関係に相関性があると考えられるので、Chl.a濃度に関与すると思われる流域の下水道普及率および土地利用形態(山林、水田、畑・果樹園、その他)を選び、これと衛星データの画像解析で判読されたChl.a濃度との相関性を分析した。

本研究では下水道普及域を地下における土地利用形態、山林、水田、畑・果樹園、その他の土地利用を地表における土地利用形態と考え、両者を合わせて流域の土地利用形態と定義した。表-2は、各流入河川における下水道人口および夜間人口(千葉県,2008年),下水道人口を夜間人口で除して求めた下水道普及率を示したものである。表-3は、各流入河川の流域における土地利用形態を示したものである。

5.1 相関分析の結果

表-4は、流入河川の河口部におけるChl.a濃度と流域の下水道普及率および土地利用形態との重回帰分析で得た結果を示したものである。重回帰分析表中の回帰式の統計的有意性(有意F値)は目的変数を説明する回帰式が統計的に意味を持つかどうかの判断に利用される指標で、一般的には有意水準0.05以下であれば意味があるとされている。回帰式の有効性(寄与率)は目的変数の変動のうちで回帰式によって変動の割合を示す指標で、寄与率が1に近いほうが回帰式の当てはめがうまくいっていることを示して



写真-1 精密補正済のASTER衛星データが捕捉した集中豪雨直後の東京湾
(2006年12月27日)

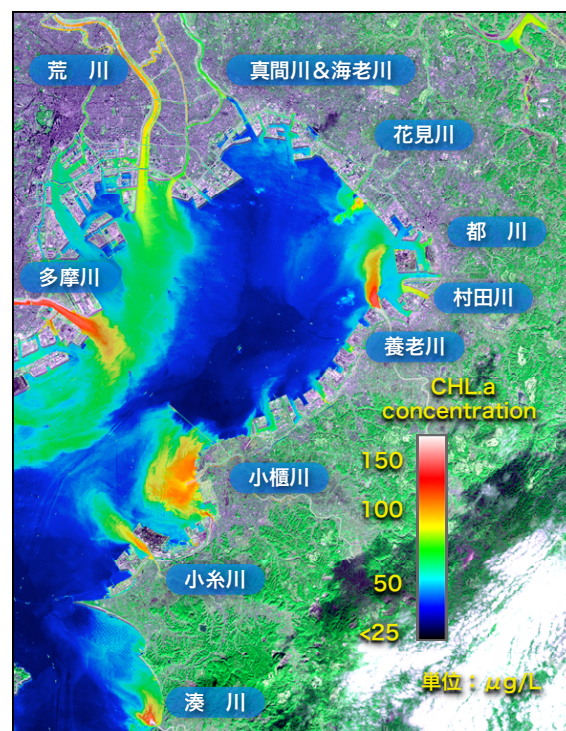


写真-2 数量化アルゴリズムによる各流入河口付近のChl.a濃度分布
(2006年12月27日)

いる。また、偏回帰係数は各説明変数の重み付き合計値で目的変数を説明するときの重みで、目的変数に対する影響度の判断に利用される。偏回帰係数の有意性(t値)は目的変数を説明する各説明変数の貢献度を検討する指標で、t値が高い変数ほど貢献度が高いことを示している¹⁶⁾。流入河川におけるChl. a濃度、下水道普及率および土地利用形態の多変量データを対象にした重回帰分析で得られた結果は、表-4のとおりである。

6. 考察

1) Chl. a濃度に対する下記に示した線形重回帰式の有意F値は0.029<有意水準0.05となり、本研究で設定した回帰式に統計的有意性があることを示した。

$$Y = 42.972 - 0.166(X1) + 0.461(X2) - 0.807(X3) + 1.556(X4) + 0.120(X5)$$

ここに、Y:Chl. a濃度、X1:下水道普及率、X2:山林面積、X3:水田面積、X4:畑・果樹園面積、X5:その他の土地利用形態面積

2) 偏回帰係数の符合から、流入河川の河口部におけるChl. a濃度は水田面積下水道普及率および水田面積が大きいほど低下することを示した。下水道の整備促進が水質汚濁の軽減に効果があることは知られており、この現象を本研究で改めて確認した。水田面積が大きいほどChl. a濃度が低下したのは、衛星によるChl. a濃度の観測時期が冬季であり、水田は土壌が露出している時期であるためと考えられる。

3) 偏回帰係数に対する(t値)の大小は、目的変数(Chl. a濃度)への貢献度がもっとも高い説明変数が山林、次位が下水道普及率、次いで畑・果樹園、水田、その他の土地利用、の順であることを示した。山林面積が最も関与しているのは、大雨時には山林からの降雨流出量が土地利用形態の中で最も大きいことが影響していると考えられる。

表-1 河口部Chl. aの平均濃度

流域	Chl. a (mg/ℓ)
真間川	56.7
海老川	51.7
花見川	53.3
都 川	51.7
村田川	56.7
養老川	91.7
小櫃川	95.0
小糸川	56.7
湊 川	83.3

表-2 流入河川の下水道普及率

流域	下水道人口(人)	夜間人口(人)	下水道普及率
真間川	94,800	343,300	27.6
海老川	45,000	214,500	21.0
花見川	289,000	317,200	91.2
都 川	180,500	200,300	90.1
村田川	99,400	169,600	58.6
養老川	40,800	86,400	47.2
小櫃川	2,600	64,700	4.0
小糸川	35,800	76,700	46.7
湊 川	0	9,800	0

表-3 土地利用形態別面積

流域	流域面積 (km ²)	土地利用形態 (km ²)			
		山林	水田	畑・果樹園	その他
真間川	53.25	2.5	1.3	11.0	38.5
海老川	25.27	0.6	1.2	3.9	19.5
花見川	55.37	5.2	1.9	9.4	38.9
都 川	77.69	28.0	2.0	5.7	42.0
村田川	110.37	31.5	15.7	12.3	50.9
養老川	278.78	101.4	42.9	18.1	116.4
小櫃川	265.61	98.7	34.6	12.5	119.9
小糸川	142.10	51.7	19.1	6.8	64.5
湊 川	115.70	86.5	11.5	4.9	12.9

表-4 流域状態との相関分析結果

回帰式の統計的有意性(有意F)			0.029
回帰式の重相関係数			0.979
回帰式の有効性(寄与率)			0.887
線形重回帰式	定 数	b0	42.972
	偏回帰係数	a1	-0.166
		a2	0.461
		a3	-0.807
		a4	1.556
		a5	0.120
偏回帰係数の有意性(t値)		t1	-2.122
		t2	3.221
		t3	-1.239
		t4	1.746
		t5	0.757