

TERRA ASTER L1b データによる汚濁水塊のスペクトル特性評価（その2）

岩下圭之（土木工学科）、大木宜章（土木工学科）、J. C. Dozier（UCSB）

1. はじめに

本プロジェクト開始から今日まで、自治体関連機関と共同で印旛沼や東京湾を対象に水質環境調査を行い、衛星データを利用した水質汚濁に起因した富栄養化状況の判読手法の構築で一定に成果をあげてきた。

本年度は、研究の方向を次のとおり2通りに分けて行った結果を報告する。

1) 水域環境において植物プランクトンが水中懸濁物（Suspended Solid:SS）の大半を占めるような内水域や半閉鎖性水域における衛星データによる水質推定モデルを提案してきた。しかし、これまでの研究過程において、SS混在の植物プランクトンのスペクトルノイズが弊害となっている事が判明した。特に、他の水質項目、特に水底堆積土や化学的酸素要求量（Chemical Oxygen Demand:以降 COD）に代表されるような無機懸濁物の推定モデルを構築する場合、これらのノイズが大きなファクターである事がわかった。そこで、植物プランクトン・Chlorophyll-a（以降:Chl.-a）推定モデルに関する既往の研究成果を基本に、無機懸濁物(SS)のスペクトルへの影響ならびにChl.-aと無機懸濁物との関係を詳細な予備実験をもって考察した結果を報告する。

2) 昨年度までに得られた成果ならびに上記1)を検討して得られた知見を基に、印旛沼と同様に水質環境の悪化が討議されてきた「手賀沼」を新たに調査対象水域に加え、衛星リモートセンシングを利用して水質環境悪化の主要因と思われるファクターである土地被覆状況の把握、また淡水赤潮やアオコの主要因である Chl.-a を対象とした富栄養化指数(Trophic State Index; 以降 TSI)評価画像を作成し、手賀沼の富栄養化状態を広域的かつ視覚的な水質評価を報告する。

2. 研究対象水域の概況

Photo 1 に研究対象域の概況を示した ASTER L1b 画像を示した。

2-1. 無機懸濁物質：COD

COD は水中に含まれる物質を酸化するときに必要な酸素量の事で、海洋や湖沼の汚染状態を見る指標である。半閉鎖性水域において無機栄養塩類（リン、窒素）が河川等から流れ込み、濃度が上昇すると共に富栄養化が起こる。それを栄養源とする植物性プランクトンが増加し、それに伴い COD も増加する。その結果、水質障害や酸素濃度低下による魚介類の死滅、水質値の悪化など、人間生活環境に大きく悪影響を与えるためChl.-aと同様に水域環境を評価する際無視できない項目である。

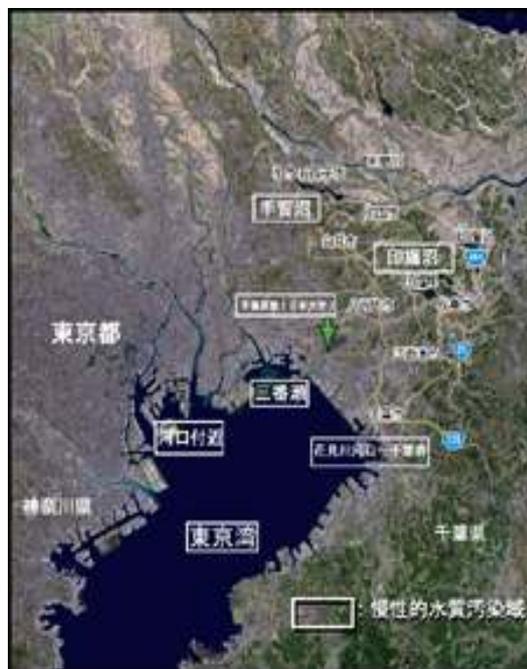


Photo 1 A infrared colored picture of an area in Tokyo Metropolitan Vicinity, surrounding the Tokyo bay and several polluted inland water.

今年度新たに研究対象水域と指定した東京湾北西部三番瀬は、本プロジェクト発足以前より人工衛星観測日に同期して定点水質調査（シートルース）を行っている東京湾の中でも特に水質環境に関して負の話題を提供している水域である。

2.2 手賀沼の水質環境

本研究で対象とした手賀沼は、全国的にも最も汚染している湖沼といわれている。手賀沼の流域である我孫子市、柏市沼南町等は昭和40年代から急激な都市開発が進み土地利用が変貌を遂げてきた。手賀沼は典型的な閉鎖性水域であるため汚濁水塊の自己浄化能力が低く、淡水赤潮やアオコの発生、異臭(カビ臭)などの水質障害や酸素濃度低下による魚介類の死滅、水域の水質値の悪化などを引き起こしている。しかし、近年下水道整備や北千葉道水路(利根川と江戸川を結ぶ流域調整河川)を通じて余剰水を導水し(最大 $10\text{m}^3/\text{s}$)、沼内の汚濁濃度の軽減および水の滞留時間を短縮し流動化させ、富栄養化状態の改善を試みているが、夏期におけるアオコの異常繁殖を軽減できないのが現実で、未だ環境基準は達成されておらず、引き続きモニタリングが必要な水域である。なお、現地調査は、千葉県ならびに本学が衛星(ASTER 及び LANDSAT)観測日と同期して定期的に行っている定点観測データより、2006年5月1日(導水約1時間後)の測定データを利用した。この定点観測は、富栄養化が著しい手賀沼に設定された18ヶ所の調査地点において船上から直接8項目の水質測定、試料水の採取ならびにスペクトル測定を行っている。

3. FieldSpec による水質スペクトル実験

3-1. Chl. -a 濃度変化に伴うスペクトル特性

衛星データの画像解析によって水質環境評価を行うためには、事前に水質汚濁物質が示すスペクトル特性を把握する必要がある。そこで、予備実験では本学部図書館横の池を利用して平成18年6月6日より同年9月7日までの快晴の日に、一定の時間帯でChl. -aの含有量がスペクトル特性に与える影響を再度確

認し、そのスペクトルパターンを選定するためChl. -a含有量の変化を測定した。なおCODとChl. -a含有量の相互関係を明らかにする為、同期してCODの分析も行った。

その結果、昨年度の実験結果と同様に、Fig. 1に示したようにChl. -a特有の分光反射特性が各波長に認められ、結果Chl. -a含有量 $100\mu\text{g}/\text{l}$ を境にして、 $100\mu\text{g}/\text{l}$ を越すような場合にはChl. -a推定モデルとして広く利用されているRVIモデル、 $100\mu\text{g}/\text{l}$ 以下の場合にはGordonモデルの有効性を確認することができた(Fig. 2)。

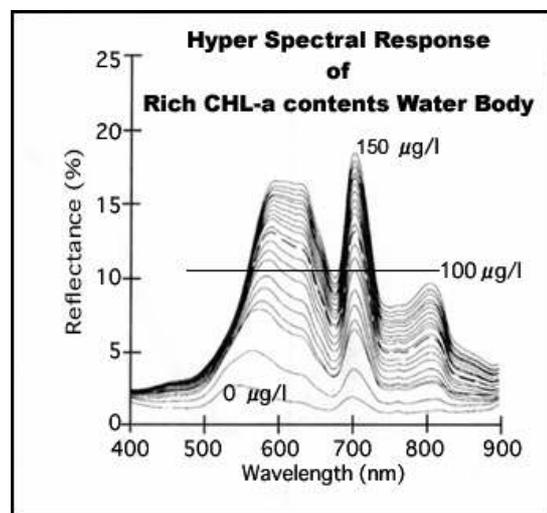


Fig. 1 In situ hyper-spectral response of rich Chl-a content water body with various levels of concentration show the specific feature. Progressive changes in percent reflectance for polluted water. Contrastly, four pronounced scattering/absorption features of Chl-a are evident in the algae-laden water body.

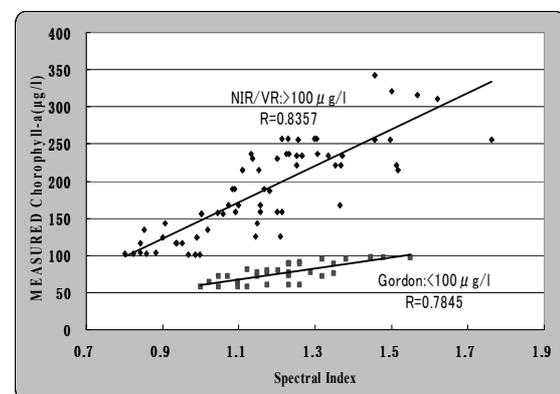


Fig. 2 Well correlation between spectral indice vs measured Chl-a concentration evidently shows the fact for appropriate band selection using satellite data.

3-2. Chl. -a 含有量の COD への影響評価

予備実験結果より得られた Chl. -a 含有量と COD 含有量との相関解析を行った結果、Fig. 3 のような結果を得た。この結果から Chl. -a と COD の間には $R=0.9629$ という良好な正の相関係数が認められ、これより Chl. -a 含有量が COD の含有量に大きく影響を与えていることが確認される。

Fig. 4 は、衛星データ観測日と同期して行ったシートルースにより得られた結果を基に Chl. -a 含有量と COD との相関解析を行ったものである。これも予備実験同様、良好な正の相関を得ることができた。このことから、Chl. -a を媒介として COD 推定モデル構築への基本的根拠を得ることが出来た。

4. 衛星データによる画像解析結果

利用した衛星データは 2006 年 5 月 1 日観測 (for 手賀沼) ならびに 2006 年 9 月 3 日観測 (for 東京湾) の ASTER L1B VNIR データである。この Level1B VNIR データは、すでにプロダクト補正済の反射率データであるが、現在構築後検証中のアルゴリズムである『複合ラジオメトリック補正法(Filament-Shaped 法)』の内、noise removal と smoothing 処理のみ施した。

4-1. 東京湾三番瀬の TSI_{COD} 評価

Photo2 は Fig. 4 より得られた結果を基に重回帰解析を行い、その結果を再度同年 9 月 3 日の TERRA ASTER データにフィードバックし作成された TSI_{COD} (Trophic State Index) 評価画像である。湾北東部 (三番瀬から千葉港にかけて) に加え、湾南西部 (横須賀港周辺)、湾北西部 (隅田川および荒川河口)、極めて高濃度の COD が東京湾特有の右回りの表面流に沿って、拡散している様子が判読できる。高濃度と判断される COD の移動方向は、全て東京湾に河口を持つ河口から向いていることから、東京湾には約 2600 万人の住む流域内のすべての汚濁物質が最終的に行き着く先ということが判る。

4-2. 手賀沼の TSI_{Chl} 評価

4-2-1 土地被覆状況の時系列的評価

Photo3 は 1972 年 11 月観測の LANDSAT MSS データ、また ASTER データにより得られた約 34 年のスパンにおける 2006 年 5 月時点による手賀沼流域の土地利用の変化を分類判読したものである。これより、典型的なサブアーバン型都市形態へと大きく変貌したことがわかる。

4-2-2. TSI 画像による評価

Photo4 に前述の Gordon 法ならびに RVI 法を基本に ASTER データを利用して作成された

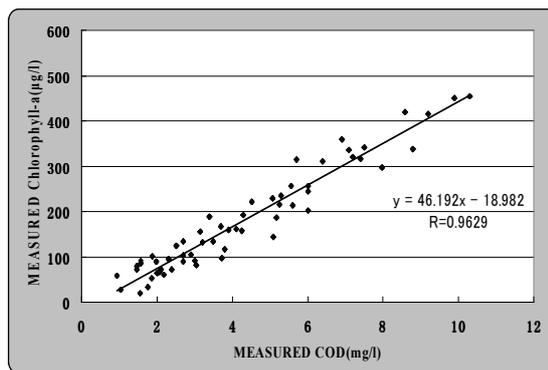


Fig. 3 Correlation between COD and Chl-a.
(In situ measurement)

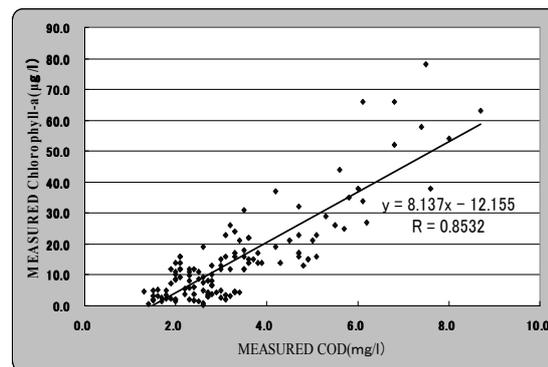


Fig. 4 Correlation between COD and Chl-a.
(sea truth at Tokyo Bay)

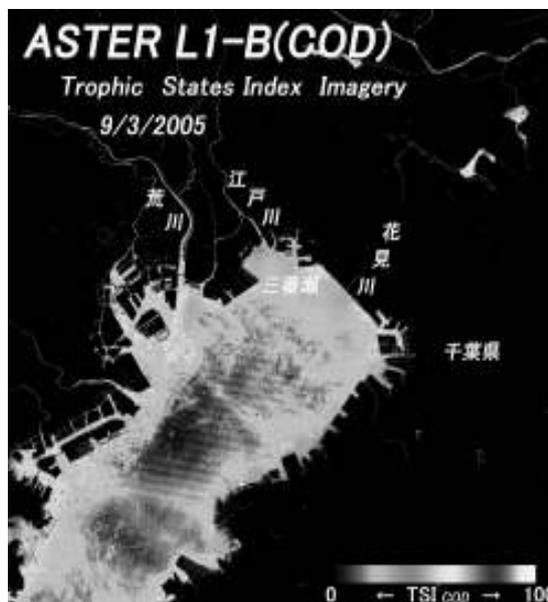


Photo 2 For inland and near-coastal water bodies, it is often difficult to disentangle the information about the phytoplankton pigments in the remote sensor data. This picture shows sophisticated radiometric correction techniques well applied to Terra ASTER multispectral data.

2006年5月1日午前11時頃の TSI_{CHL} 評価画像を示した。沼全体的に高濃度の $Chl.-a$ が分布している様子が判読できる。この観測日は利根川からの定期注水浄化の当日であり、利根川より導かれた河川水が手賀川を通じて沼へ注がれ、浄化作用が局所的に進行している様子が判読できる。なお、手賀沼公園沿いの超富栄養化域は、人工的に設置されたホテイアオイ(窒素、リン吸収)が高濃度の $Chl.-a$ として誤判読されたものである。Fig. 5 は、ASTER データと同期測定の $Chl.-a$ との関係を示したものである。

5. 総合評価

平成18年度を終え、本プロジェクトの達成目標の一つである『衛星データへの補正アルゴリズムの構築』については、2年間のFieldSpecによる予備実験ならびにLANDSAT, SPOT, TERRA ASTER等観測緒言の異なる衛星データや対象地の相違に適用した結果、一通りの成果を得ることができた。

以下、今年度の衛星データの画像解析結果により得られた知見を列記した。

- (1) このASTERデータ観測日と現地定点観測日とが異なるため、定量的な評価はできないが相対的な富栄養化状態を広域的かつ視覚的に捉えることができた。
- (2) 北千葉導水路において湖沼の汚濁水塊の最終放出は松戸排水機場から江戸川であることから、江戸川については東京湾、特に三番瀬の水環境への影響も複合的に調査解析する必要がある。
- (3) 有機物による水質汚濁のもう一つのバロメータであるCOD(化学的酸素要求量)は、アオコの発生の主要因とされていることから、COD分布の抽出も可能となってくる。
- (4) 東京湾は複数の河川の最終集結地であり、加えて複数の臨海工業地帯が隣接しているので、沿岸水域の水環境を維持するための環境モニタリングや管理計画に、衛星リモートセンシングのもつ広域観測性、同期観測性を活用する利点は大きい。

<参考文献>

- 1) "Remote Sensing Change Detection", R.S. Lunetta and C.D. Elvidge, Ann Arbor Press
- 2) "Remote Sensing of the Environment", J.R. Jensen, Prentice Hall Series
- 3) "Remote Sensing and Image Interpretation", T. Lillesand and R.W. Kiefer, John Wiley & sons,

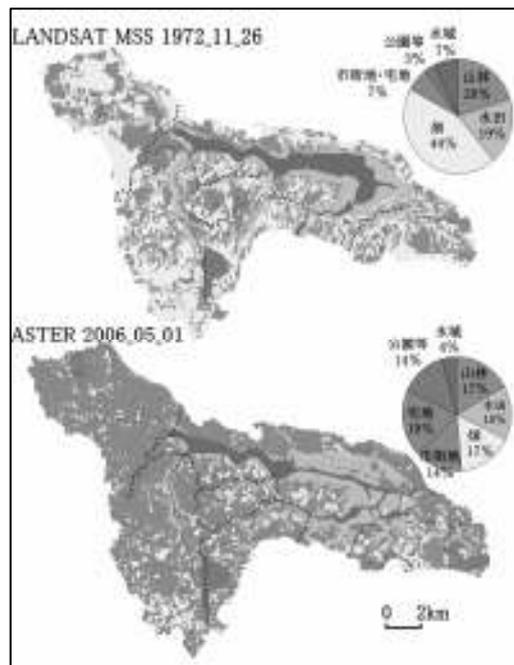


Photo 3 A time-series land use change analysis by spectral change identification methodology using Landsat MSS(1972) and Terra ASTER(2006). The change vector of a pixel is defined as the vector difference between the multi-band digital vectors of the pixel on two different dates.



Photo 4 TSI_{CHL} imagery using digitally corrected Terra ASTER band data (2006).

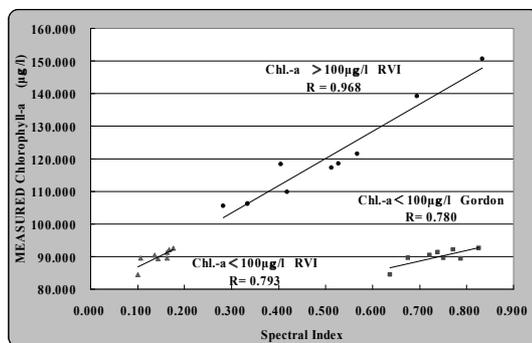


Fig. 5 Verification for image processing result ; ASTER spectral indice vs measured $Chl.-a$ concentration. (2006/5/1)

