

衛星情報を利用した手賀沼の水質浄化に関する時系列解析

日大生産工（院）○山本 岳宗 日大生産工（院）和具 良平
日大生産工 工藤 勝輝 日大生産工 岩下 圭之

1.はじめに

都市域における水系では、人間活動の影響による汚染は河川を通じて最終集結地である湖沼・港湾部などの「都市水域」に集約され、その水質汚濁は水に依存することの多い人間生活にとって深刻な社会問題となっている。近年、国際的にも「環境」への意識が高まっている中、わが国においても 1970 年代の「高度経済成長期」以来、日本水質環境の悪化は工業の発展・都市部への人口集中による工業排水・家庭排水の増加・船舶廃油などの流入により、急速に進行してきた。その対策として、1970 年に「水質汚濁防止法」が制定され、1993 年には「環境基本法」及び「水質汚濁防止法」が改定され行性的な対応は施行されて入るが、水の流動が弱い閉鎖性・半閉鎖性水域は、自己浄化能力が低いため依然として有機物による富栄養化現象が問題視されている。その結果、淡水赤潮やアオコの発生、異臭（カビ臭など）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。その結果、生態系の破壊だけではなく、人間生活環境にも大きく悪影響を齎している。

本研究は、既往の研究成果より得られた Chlorophyll-a(以降 Chl.-a)含有水のスペクトル特性に関する知見を基に、衛星リモートセンシングデータを利用して水質環境悪化の主要因と思われる土地被覆状況の変化、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、研究対象水域である千葉県手賀沼の富栄養化状態を時系列的に評価することを目的とした。

2.研究対象水域

本研究で研究対象水域に選定した手賀沼の流域である我孫子市、柏市沼南町等は昭和 40

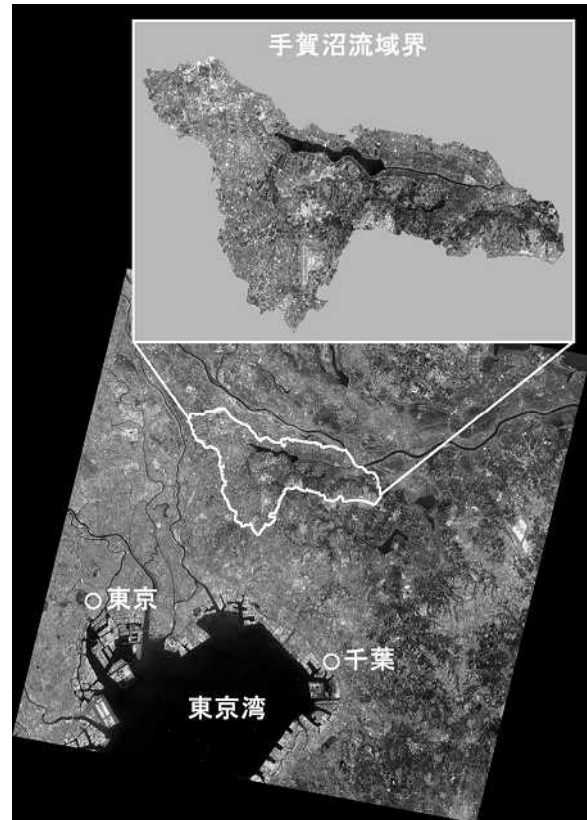


Photo 1 対象水域概況図

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り、閉鎖性・半閉鎖性水域特有の水質汚濁が問題視されていることから、昭和 60 年 12 月に湖沼水質保全特別措置法に基づく指定湖沼の指定を受け、下水道整備や北千葉道水路（利根川下流部と江戸川を結ぶ流況調整河川「平成 12 年 3 月完成」）を通じて余剰水を導水し（最大 10m³/s）、沼内における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。しかし、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環境基準達成に

A time-series Environmental Satellite Analysis of Water Quality of the Teganuma
-featuring new combined radiometric correction-

Takemune YAMAMOTO, Ryohei WAGU, Katsuteru KUDOH, Keishi IWASHITA

は、より一層の水質改善が必要であり、衛星リモートセンシングデータを用いた環境モニタリングが必要不可欠な水域である (Photo 1)。

3. Chl.-a 含有水のスペクトル特性

3-1. 汚濁水のハイパースペクトル予備実験

本研究では、本学部図書館横の池を利用した予備実験結果および定点水質観測項目より富栄養化指標の主要項目である Chl.-a を対象に解析を行った。測定には Field Spec:350nm-2500nm「ASD 社製」を使用。なお、水面の様に表面形状が常に微妙に変化するような対象物のスペクトルは、水の鏡面反射ならびに微波による乱反射を防ぐため直下測定を行った。

＜図書館横予備実験項目＞

- ① 固形肥料の実験池への散布
- ② 電解処理によるアオコの死滅（フロッグ化・固液分離「アオコの故意の減少」）
- ③ Chl.-a 含有量の測定
- ④ スペクトル測定

3-2. 定点調査

現地調査データは千葉県ならびに本学部が衛星観測日と同期して定期的に行っている任意に定点観測により取得されたものである。この共同定点観測は手賀沼内に設定された 18ヶ所の調査地点 (Photo 2) において船上から、資料水の採取、ならびに 8 項目 (以下①-⑧) の調査を行った。

本研究では定点観測より 2006 年 5 月 1 日に観測した測定データを利用した。

＜定点観測項目＞

- ①採取深度②気温・水温③濁度④透明度
- ⑤COD⑥N-ヘキサン⑦クロロフィル濃度
- ⑧直下測定スペクトル

3-3. スペクトル評価

Chl.-a 含有水が示すスペクトル特性(Gordon 法、RVI 法)と同地点の湖水の化学分析結果 (Chl.-a) との相関解析を行った結果、以下のような知見を得た。

- 1) Chl.-a 濃度が増すほど、Chl.-a の示すスペクトル波形は可視赤 (VR;680nm 近辺) における吸収が顕著となり、逆に近赤外 (NIR) のローバンド域 (700-730nm) の反射が強くなるという「植物的」なレスポンスを確認できる (Fig.1)。
- 2) Chl.-a 濃度が 100 $\mu\text{g/l}$ 以下の場合、表面反射が含有 SS (浮遊懸濁物質) の影響を受けやすくなり、スペクトルピークが VG (可視緑) に若干移動する傾向が見られるため、従来通りの推定モデルである Gordon 法も同

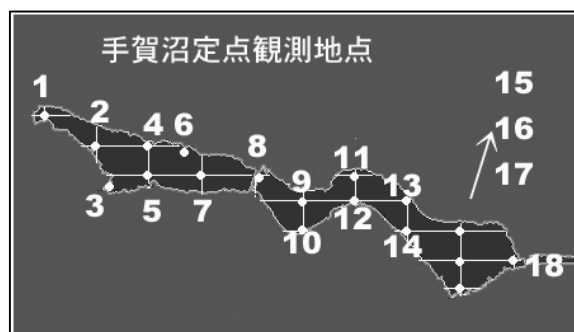


Photo 2 手賀沼定点水質観測地点

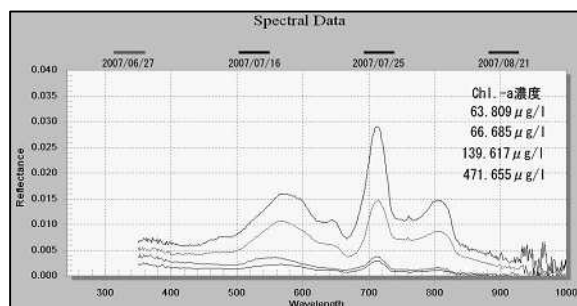


Fig.1 Chl.-a 濃度別スペクトル波形

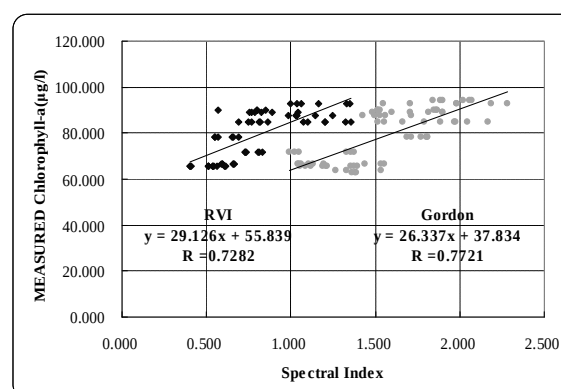


Fig.2 Chl.-a と Spectral Index との関係
(予備実験 Chl.-a < 100 $\mu\text{g/l}$)

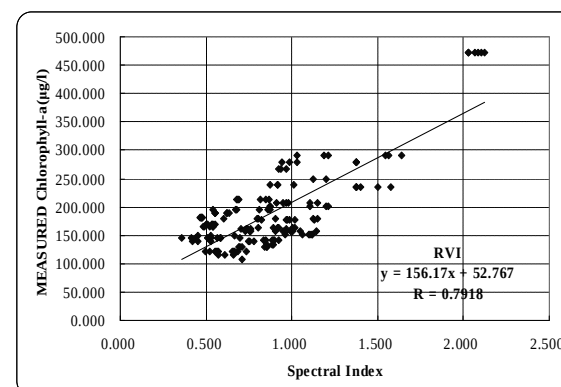


Fig.3 Chl.-a と Spectral Index との関係
(予備実験 Chl.-a > 100 $\mu\text{g/l}$)

時に検討した (Fig.2)。

- 3) 超高濃度 Chl.-a を対象にスペクトル評価を行う場合、RVI 法 (NIR/VR) を利用する方が適切である (Fig.3)。

既往の研究成果と同様に予備実験結果および定点水質観測項目結果の両者共に良好な相関を得ることができた (Fig.4)。

5.多時期の衛星データによる富栄養化状態時系列評価

水域の富栄養化状態を多重パラメータ指数として簡便にかつ正確に評価するために、1977年に Kent State Univ.の Carlson 博士が構築した「富栄養化指数 TSI：Trophical State Index」法による分類を視覚化し TSI 評価を行った。なお、本研究において利用した衛星データは 2006 年 5 月 1 日観測の ASTER L1B VNIR データおよび、1997 年 7 月 3 日観測の LANDSAT TM、1972 年 11 月 26 日観測の LANDSAT MSS データである。

- 1) 基本処理 (マスキング・幾何補正・輝度補正)
- 2) 複合ラジオメトリック補正法 (Filament-Shaped 法)の内、Bright Control Noise Removal と Smoothing 処理

なお、ASTER Level1B VNIR データは、既にプロダクト補正済の反射率データであるため、2)のみを施した。

5-1. 土地利用分類判読

水質汚濁の一要因である土地利用の変化について 1997 年から 2006 年に至るまで大きな土地利用の変化がないことから、開始年度 1972 年および解析年度 2006 年の約 35 年のスパンで解析した。Photo 3 は 1972 年 11 月 26 日観測の LANDSAT MSS データ、また 2006 年 5 月 1 日観測の ASTER L1B データを利用して、手賀沼流域の土地利用の時系列的変化を分類判読したものである。昭和 50 年代前半より急速に宅地化が進行し、平成のバブル期をピークとして開発により大きく変化を遂げてきた地域である。

5-2. TSI_{CHL} 評価画像

前述の Gordon 法ならびに RVI 法を基本に 1972 年・1997 年・2006 年に観測の各衛星データを用いて作成された TSI_{CHL} (Trophic State Index) 評価画像を Photo4・5 および 6 に示した。

- (a) 1972 年 11 月 26 日観測の LANDSAT MSS データは水質汚濁防止法の制定前であり、全体的に水汚濁に対する意識も低く直接排出、生活排水、工業・農業排水などが

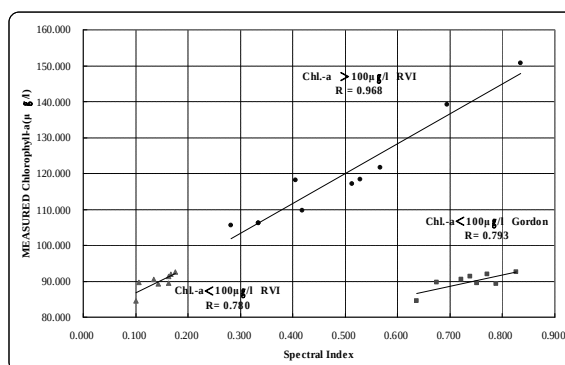


Fig.4 Chl.-a と Spectral Index との関係 (定点観測)

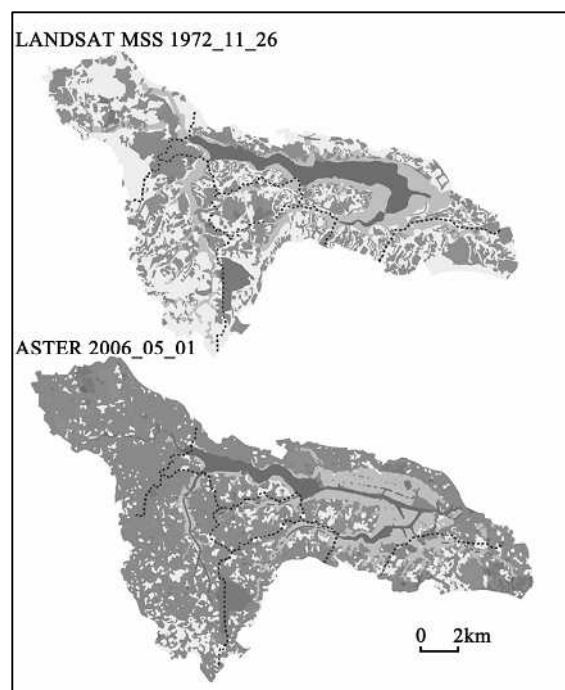


Photo 3 土地被覆状況の時系列変化

Table 1 土地占有率の時系列変化

	1972年	2006年	増加割合
流域人口 (万人)	11	48	4.4
沼の面積 (ha)	1085	650	0.6
緑地 (ha) (山林・水田・畑)	12435	7322	0.6
市街地・宅地 (ha)	1050	4974	4.7

流入し超高濃度の Chl.-a が沼全体に分布している様子が判読できる。

- (b) 1997 年 7 月 3 日観測の LANDSAT TM データは制定後である。上記データは沼全体に超高濃度の Chl.-a が分布しているのに比べ、制定後は全体的に濃度が低くなり、特に沼西側が低濃度である様子が判読できる。しかし、環境基準には達してはいない高濃度である。
- (c) 2006 年 5 月 1 日観測の ASTER L1B VNIR データは 1972 年・1997 年のデータと比

較すると Chl.-a 濃度は著しく低下している。また、北千葉導水路からの導水作用も局所的に判読することができる。しかし、定点観測結果の沼全域における Chl.-a 濃度の平均値は $106.247 \mu\text{g/l}$ という高濃度値であり、未だ富栄養化状態で沼の辺に分布する高濃度域は蒲や葦・蓮の Chl.-a が判読されたものである。

6. まとめ

本研究の成果として、スペクトルレスポンスを基本とした Gordon 法と RVI 法を実測濃度に応じて単用もしくは併用することにより極めて正確に Chl.-a ベースの富栄養化を評価できることが確認できた。また、多時期の衛星データを利用することにより、手賀沼における時系列的な富栄養化状態の変化を抽出することができた。このように約 35 年間で同水域の水質は改善されていったことが判る。本研究の結果より以下のことが考察される。

- 1) 1985 年に制定された湖沼水質保全特別措置法により公共用水域への汚濁負荷量（COD：化学的酸素要求量・N：窒素含有量・P：リン含有量）の排出基準が定められたため、沼内の Chl.-a の栄養分（N・P）の濃度が低下したことで、1980 年を境として富栄養化状態が極めて改善されてきたことが判る。
- 2) 手賀沼における排水負荷量に依存する同水域の富栄養化の主要因については現在においても生活排水がトップにあげられることから、住民に対する意識改革の必要が窺える。
- 3) 2000 年以降、手賀沼においては法律の制定に加え、自治体活動として周辺住民の環境保全に対する意識が向上してきたこともあるが、同水域の水環境の最適化のために同年に設置された「北千葉導水路」の作用が、さらに水質改善に寄与してきた様子が Photo 5 (b) から 6 (c) の推移からも伺える。
- 4) 手賀沼は水の流動が鈍い半閉鎖性水域ということもあり、未だ富栄養化状態であるのが現状で、本研究のような衛星データを利用した環境モニタリングの維持が必要である。
- 5) Chl.-a 濃度と同様に水質汚濁の指標である SS や COD は Chl.-a と相互関係があることから、ほぼ類似した分布になることが予測される。

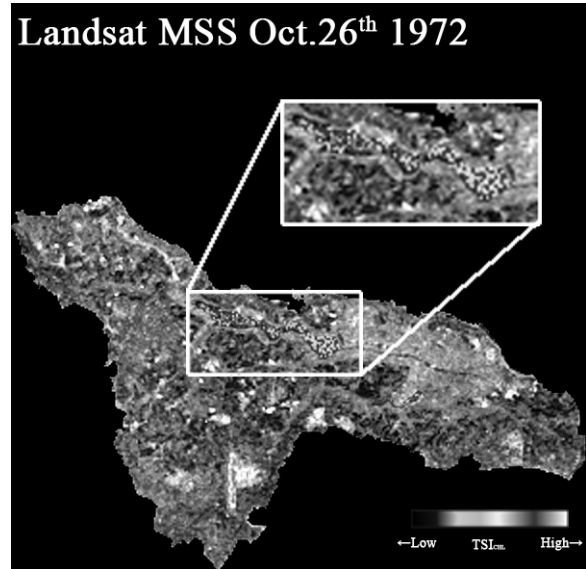


Photo 4(a) TSI_{CHL} 画像

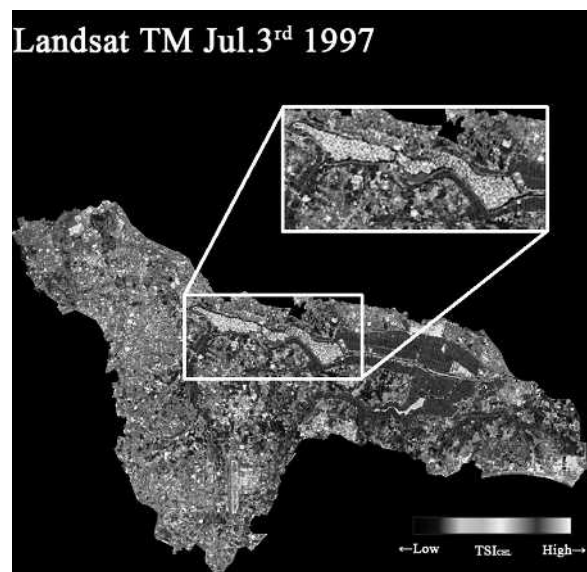


Photo 5(b) TSI_{CHL} 画像

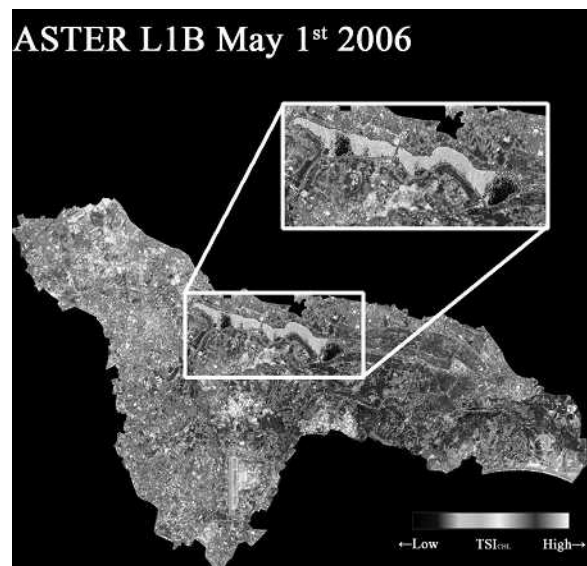


Photo 6(c) TSI_{CHL} 画像