

# ASTER衛星データを用いたサロマ湖、網走湖、オホーツク沿岸水域の水質推定

WATER QUALITY ESTIMATION OF LAKE SAROMA, ABASHIRI  
AND OKHOTSK SEASHORE BY USING ASTER DATA

北見工業大学大学院 ○学生員 宮田佳明 (Yoshiaki Miyata)  
北見工業大学工学部 フェロー 佐渡公明 (Kimiteru Sado)

## 1. まえがき

網走湖では、シジミ、ワカサギ養殖が盛んであるが、海水の逆流による塩淡水境界層が存在している。長年の人工、自然汚濁負荷が下層塩水層に流入貯留し、青潮、アオコの水質事故が近年多発し、シジミ、ワカサギの大量へい死を招いている。また、養殖ホタテの漁獲量で日本一のサロマ湖でも、底泥付近の海水は夏季に貧酸素状態となる。近年、サロマ湖では赤潮の発生も見られている。

このような水質問題に対応するには、広域における継続的なモニタリングが必要となるが、調査コストが安く、水表面の状態を広域、定期的かつ均質に表現する人工衛星によるリモートセンシングが有効である。

本研究では、Terra/ASTERを用いた簡易大気補正と回帰直線式によるクロロフィルa濃度、濁度推定を行う。

まず、クロロフィルa濃度、濁度推定については、作野ら<sup>1)</sup>の簡易大気補正式の物理的意味を検討する。次に、クロロフィルa濃度、濁度の出水後と平水時の相違、湖沼域及びオホーツク沿岸と沖合との水質の相違について論じる。

## 2. 使用した衛星データ

本研究では以下の衛星データを使用した。

Terra/ASTER VNIR\_L1B 2001/9/26, 2003/9/7, 9/16  
2003/9/23

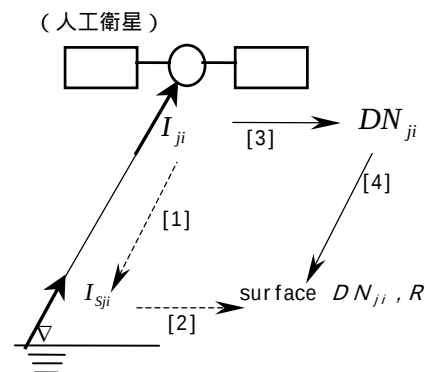
## 3. ASTERデータを用いた簡易大気補正と水中アルゴリズムによるクロロフィルa濃度・濁度推定

### (1) 簡易大気補正の物理的意味

衛星データは、大気層を通過する電磁波を利用しているため、大気補正を行い、8,10bitのデジタルデータに変換する必要がある。図-1に示したとおり、人工衛星に入射する放射輝度から水面放射輝度に変換する過程が大気補正であり、図中の[1]の過程で示される。作野らは、[1]の過程を回帰直線式(1)による大気補正と暗画素法(各バンドから最少放射輝度値を引く)を用いたバンド比から導いた(2)式で表した。(2)式から得られる水面放射輝度比 $(I_{s2i} - I_{s2min}) / (I_{s1i} - I_{s1min})$ をデジタル化して水面デジタル放射輝度比 $R$ を導き([2]の過程)、クロロフィルa濃度の推定に使用している。この方法では、バンド1,2の透過率 $\tau_1, \tau_2$ が必要となるため、現地観測等に

より求めなければならない。

一方、本研究では、まず観測輝度値 $(I_{2i} - I_{2min}) / (I_{1i} - I_{1min})$ をデジタル化して、 $(DN_{2i} - DN_{2min}) / (DN_{1i} - DN_{1min})$ とした([3]の過程)。次に、すでに大気補正されデジタル化された水面放射輝度比 $R$ を導く直線を仮定し、(3)式を提案する([4]の過程)。この方法では、作野らの方法で必要とされた透過率 $\tau_1, \tau_2$ を用いずに水面放射輝度比 $R$ を取得できるため、透過率のための現地観測等は必要ない。



$I_{ji}$  : 観測放射輝度 ( $j$ : 衛星のバンドNO.,  $i$ : 画像のピクセルNO.)

$I_{sji}$  :  $I_{ji}$ に対応する水面放射輝度

$$I_{ji} = \tau_j I_{sji} + P_j \quad (1)$$

$\tau_j$  : バンド  $j$  の透過率

$P_j$  : バンド  $j$  のパスラジアン

$DN$  : デジタルナンバー

$R$  : 水面デジタル放射輝度比

図-1 衛星観測放射輝度 $I_{ji}$ から水面デジタル放射輝度比 $R$ を算出する経路(破線矢印[1]及び[2]: 作野らの先行研究、実線矢印[3]及び[4]: 本研究)

$$\frac{I_{2i} - I_{2min}}{I_{1i} - I_{1min}} = \frac{\tau_2}{\tau_1} \frac{I_{s2i} - I_{s2min}}{I_{s1i} - I_{s1min}} \quad (2)$$

$$\frac{DN_{2i} - DN_{2min}}{DN_{1i} - DN_{1min}} = \frac{max - min}{R_{max}} \times R + min \quad (3)$$

$$max = \left[ \frac{DN_{2i} - DN_{2min}}{DN_{1i} - DN_{1min}} \right]_{max} \quad and \quad min = \left[ \frac{DN_{2i} - DN_{2min}}{DN_{1i} - DN_{1min}} \right]_{min}$$

本研究及び作野らの水面放射輝度比  $R$  を取得する過程については、図-2により模式的に示すことが出来る。作野らの方法では、観測放射輝度から水面放射輝度に変換する過程が第2象限であり、デジタル化された水面放射輝度比を導く過程が第3象限に該当する。一方、本研究が行った方法は、作野らと別の過程となり、第1象限で観測放射輝度値をデジタル化した後、(3)式により、水面放射輝度比  $R$  を算出する過程が第4象限に該当する。

先行研究（作野ら）の過程  
(透過率を必要とする)      ✱      本研究の過程  
(透過率を必要としない)

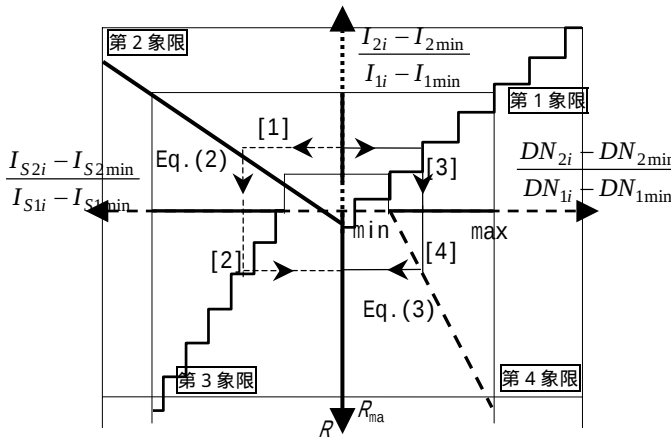


図-2 本研究（実線矢印[3]及び[4]）及び作野らの先行研究（破線矢印[1]及び[2]）における水面放射輝度比  $R$  の導出過程の比較

（[1]～[4]の記号は図-1に対応する）

本研究と作野らの方法とは、水面放射輝度比  $R$  を導くことでは同じである。しかし、前述したように作野らの方法では、透過率  $\tau_1, \tau_2$  を求めなければならない。本研究の方法は、これを必要としない利点がある代わりに、作野の方法では可能だった水面放射輝度  $I_{sfi}$  を導くことは出来ない。

## (2) ASTER VNIR\_L1Bデータによるクロロフィルa濃度推定

本研究で用いた観測データは、表-1に示したとおりであり、出水後としてクロロフィルa濃度のレイクトルスデータについて2001年9月25日及び27日のデータを使用し、衛星データは9月26日のものを使用した。平水時としては、クロロフィルa濃度として2003年9月16日のデータを使用し、衛星データも同日のものとした。

レイクトルスデータの観測地点は、図-3に示したとおり、網走湖内全域6地点である。

また、衛星データはTerra衛星に搭載されているセンサ（ASTER VNIR）の画像を使用した。ASTER VNIRは、 $0.52 \sim 0.86 \mu m$ の波長域を3つのバンドに分けて受信し

ている。空間分解能は15m、回帰日数は16日である。著者<sup>2),3)</sup>及びその他の先行研究<sup>4),5)</sup>による地上での分光放射計を用いて行ったクロロフィルa濃度推定に適した波長が $0.63 \sim 0.69 \mu m$ と $0.68 \sim 0.71 \mu m$ の比であった。従って、これらの波長域に最も近い橙色～赤色の波長域であるch2 ( $0.63 \sim 0.69 \mu m$ )、赤～近赤外の波長域であるch3 ( $0.78 \sim 0.87 \mu m$ )の比をとり水面分光反射率比  $R = (ch3 - ch3_{min}) / (ch2 - ch2_{min})$  とし、クロロフィルa濃度との1次相関をとったところ、図-4に示すように、相関係数が0.863と高い相関を示した。著者らが網走湖の船上で水面分光放射計を用いて1997年～2003年における34日間の観測を行った結果、水面分光反射率比とクロロフィルa濃度との間に高次相関が認められなかったため<sup>6)</sup>、同図の一次相関式に基いて、網走湖並びに周辺水域のクロロフィルa濃度推定を行った。

2001年9月11日の秋雨前線と台風15号による常呂川の観測史上最大の出水後、約2週間経過した9月26日における常呂川河口部、網走湖及び網走川河口部のクロロフィルaの推定濃度分布を図-5に示す。この図でわかるとおり、出水後においては、網走湖内のクロロフィルa濃度は沿岸海域や常呂川下流よりも低くなっている。また、網走湖より下流の河川と河口周辺では、網走湖のクロロフィルa濃度の影響によって、低濃度となっている。これは、出水によって2週間続いた高濁度により水中の透過光が減少し、網走湖内の植物プランクトンの増加が抑えられているためと考えられる。

表-1 網走湖の同期観測データ一覧

| 項目               | 現地観測日       | 観測地点 |      |      |      |      |      | 衛星データ    |
|------------------|-------------|------|------|------|------|------|------|----------|
|                  |             | 1    | 1-1  | 3    | 5    | 8    | 9    |          |
| 濁度 (ppm)         | '01/9/25,27 | 59.5 | 27.5 | 27.5 | 34.0 | 25.5 | 22.0 | '01/9/26 |
|                  | '03/9/16    | -    | 24.6 | 8.1  | 6.4  | 8.8  | 2.2  | '03/9/16 |
| クロロフィルa濃度 (mg/L) | '01/9/25,27 | 1.6  | 2.8  | 6.4  | 4.7  | 4.7  | 57.2 | '01/9/26 |
|                  | '03/9/16    | -    | 49.4 | 22.3 | 21.5 | 14.0 | 2.9  | '03/9/16 |

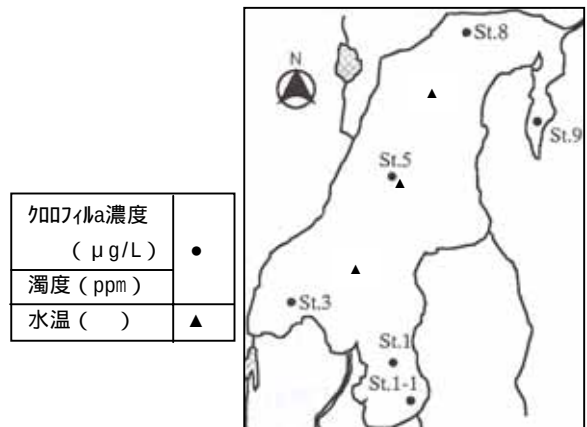


図-3 網走湖内レイクトルスデータ観測地点

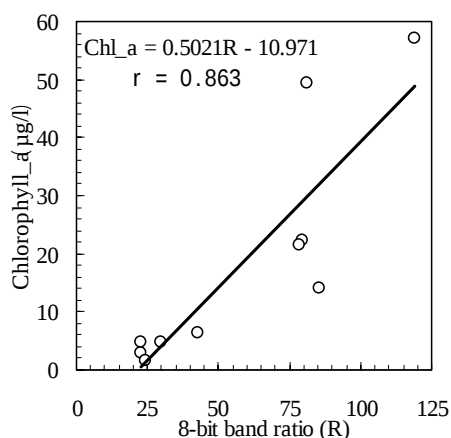


図-4 網走湖のクロロフィル a 濃度実測値とch2,3の比による水面分光反射率比  $R$  との相関

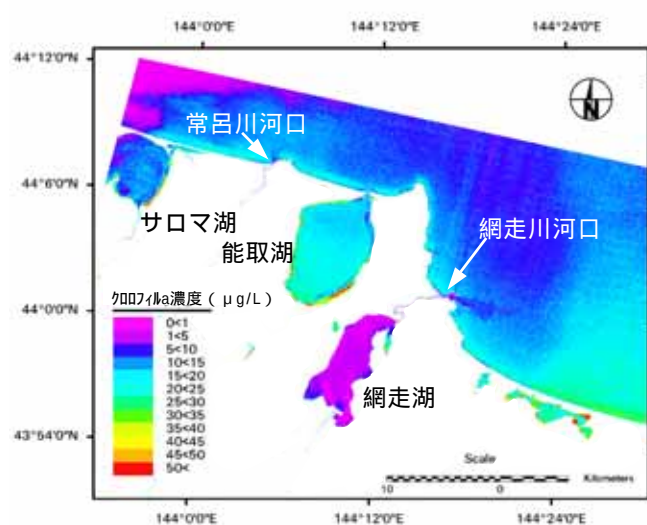


図-5 2001年9月26日（出水後）のASTER VNIRによるクロロフィルa濃度画像

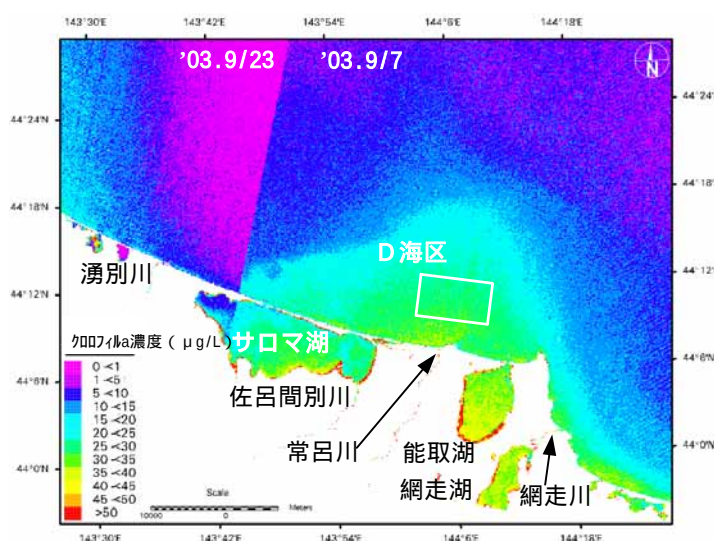


図-6 2003年9月7,23日（平水時）のASTER VNIRによるクロロフィルa濃度画像

図-4の1次相関式に基づいて平水時のクロロフィルa濃度を推定した結果を図-6に示す。網走湖の同期観測に用いた衛星画像は、サロマ湖を含んでいないため、以降の平水時の画像は2003年9月7日と同年9月23日の合成画像とする。図-6で網走湖内と網走川下流～河口並びに沿岸海域と比較すると、網走湖内の方がやや高い濃度となっており、常呂川河口域でも他の沿岸海域よりもクロロフィルa濃度がやや高くなっている。

網走湖においては、平水時は出水後に比べて透明度が高くなり、植物プランクトンの内部生産によって下流海域よりも濃度が上昇していると考えられる。また、常呂川河口は、図-6で示したとおり、ホタテ漁場のD海区に該当するが、このD海区が最も生産量の大きい区となっており、植物プランクトンが常呂川からの栄養塩類によって増加し、ホタテの成長を促していると考えられる。

### (3) ASTER VNIR\_L1Bデータによる濁度推定

レイクトルースデータ及び用いた衛星データについては、クロロフィルa濃度の出水後と同様に、表-1、図-3に示したとおりである。

著者ら<sup>2)</sup>の地上における分光放射計を用いて行った最適波長帯の検証の結果、濁度推定に最も適した波長が510nmと612nmの比であった。従って、衛星データについては、これらの波長域に最も近い緑色～黄色の波長域であるch1 (0.52～0.60  $\mu\text{m}$ )、橙色～赤色の波長域であるch2 (0.63～0.69  $\mu\text{m}$ ) の比をとり  $R = (ch2 - ch2_{min}) / (ch1 - ch1_{min})$  とし、レイクトルースデータの濁度と一次相関をとったところ、図-7に示すように、相関係数が0.869と高い相関を示した。以上より、同図の一次相関式に基づいて網走湖並びに周辺水域の濁度推定を行った。

出水2週間後における常呂川河口部、網走湖及び網走川河口部の濁度の推定濃度分布を図-8に示す。この図でわかるとおり、出水後においては、網走湖内の濁度は沿岸海域や常呂川下流よりも高くなっている。また、網走湖より下流の河川と河口周辺では、網走湖の濁度の影響によって高濃度となっている。これは、常呂川において観測史上最大の出水となった2001年9月11日による濁質が、網走湖内で長期間にわたって滞留していることを示すものであり、大規模出水が環境に与える影響を示す事例として貴重なデータであると考えられる。

図-7の1次相関式に基づいて平水時の濁度を推定した結果を図-9に示す。網走湖内と網走川河口並びに沿岸海域とを比較すると、網走湖内の方が若干高い濃度となっており、特に網走湖東岸側の濃度が高くなっている。また、常呂川河口域でも他の沿岸海域よりも濁度が高くなっている。

図-9を見ると、常呂川河口から沖合へ約20kmの範囲において、常呂川河口付近を最大として、他の海域よりも5～15ppm程度濁度が高くなっている。また、網走湖や常呂川河口域で濁度が若干高いのは、流下している土壌由来の濁質だけでなく、内部生産によって他の水域よりも植物プランクトン濃度が上昇したことによるものも含まれていると考えられる。リモートセンシングでは、外洋水をCASE1水、内陸、沿岸水をCASE2水と区別し、放射特

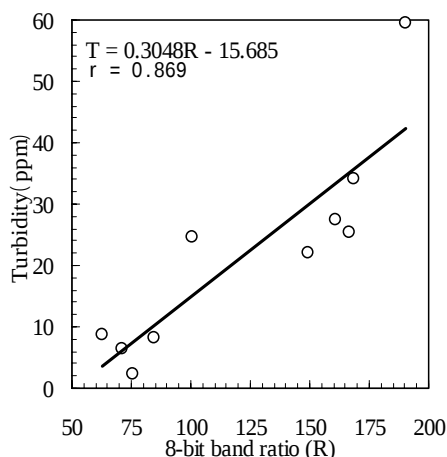


図-7 網走湖の濁度実測値とch1,2の比による水面分光反射率比  $R$  との相関 (濁度)

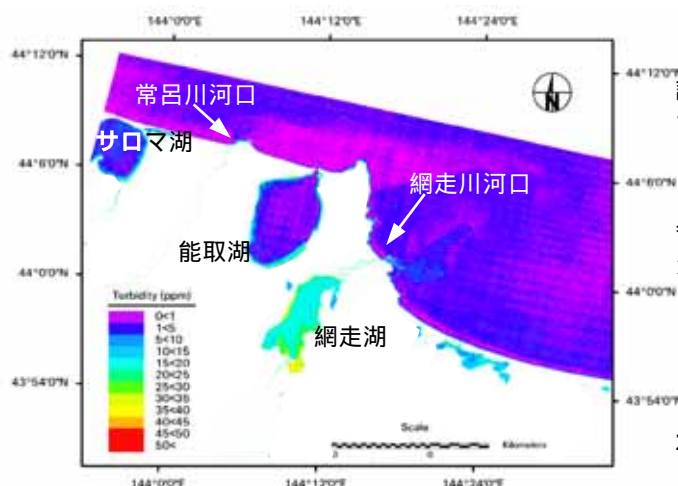


図-8 2001年9月26日 (出水後) のASTER VNIRによる濁度画像

性が異なる<sup>7)</sup>とされているが、この画像における沖合20km付近がCASE1水とCASE2水の境界となっている可能性がある。

#### 4. 結論

- (1) 作野らの簡易大気補正式の物理的意味を明らかにした。
- (2) クロロフィルa濃度 (2~50  $\mu\text{g/L}$ ) 及び濁度 (2~42ppm) とASTER VNIR\_L1Bの8ビットバンド比 ( $R$ ) との間の相関の良い回帰直線式が得られた。
- (3) 簡易大気補正(3)式と回帰直線式による水中アルゴリズムを組み合わせることにより、雲がないASTERデータから、空間分解能の良い広域のクロロフィルa濃度、濁度分布図を比較的簡単に求めることが出来る。
- (4) 常呂川河口から沖合20kmにかけてクロロフィルa濃度や濁度の高い海域が存在しており、ホタテの養殖に適した漁場であることが確認された。

謝辞：本研究は、北海道開発局網走開発建設部及びサロマ湖養殖漁業協同組合の多大なるご協力をいただき、ここに感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 作野 裕司、松永 恒雄、中山 大介、六川 修一、高安 克己、國井 英伸、中村 幹雄、山室 真澄：SPOT / HRVデータによるアオコ発生時の宍道湖表層クロロフィルa濃度分布の推定，日本リモートセンシング学会誌，Vol.19 No.2，pp.20 - 36，1999.
- 2) 宮田 佳明、佐渡 公明、Md.Monirul Islam：水面分光反射率比を用いた湖沼のクロロフィルa濃度及び濁度推定のための最適波長帯，水工学論文集，第49巻，pp.1195 - 1200，2005.
- 3) 佐渡公明：衛星画像を用いた湖沼のアオコおよび水温モニタリングシステムの開発，平成12~13年度科学研究費補助金（基礎研究(B)(2)）研究成果報告書，pp.11 - 20，2002.
- 4) 沖 一雄、安岡善文：高濃度水域における近赤外波長帯を含む二波長によるクロロフィルa推定モデルの作成，日本リモートセンシング学会誌，Vol.16 No.4，pp.1 - 9，1996.
- 5) 加藤晃司、渋谷直生、中津川誠、新庄 興：リモートセンシングによる釧路3湖沼の富栄養化状態の把握，水文水資源学会2004年研究発表会要旨集，pp.142 - 143，2004.
- 6) 宮田佳明、佐渡公明、Md.Monirul Islam、猪狩直也：水面分光反射率を用いたCase2水のクロロフィルa濃度推定，水文水資源学会2004年研究発表会要旨集，pp.250 - 251，2004.
- 7) 岸野元彰、福島 甫、虎谷充浩、陳 文忠、田中昭彦：海洋リモートセンシング，第3回海色リモートセンシング，日本リモートセンシング学会誌，Vol.22 No.3，pp.336 - 354，2002.

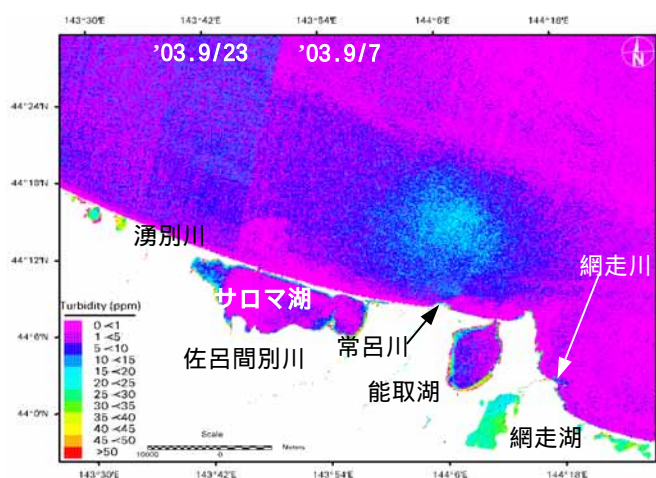


図-9 2003年9月7,23日 (平水時) のASTER VNIRによる濁度画像