

II-27

網走湖における分光反射率とクロロフィル a 濃度、濁度との相関

北見工業大学 学生員 塩見 秀之

北見工業大学 フェロー 佐渡 公明

1. はじめに

水の存在は、我々の生活や環境の見地から極めて重要な存在であり、同時に水量や水質においても適切な基準を満たさなければならない。しかし、現状は、本来望まない方向に移行しつつあり、その原因としては自然的なもの、産業排水または農業排水などに伴う人為的なものに分けられる。

本研究で調査した網走湖は、湖の干満により海水と河川水が混ざり合う汽水湖であり、最近富栄養化現象に悩まされている。この原因としては、塩水層から拡散される窒素・磷による内部負荷と人為的な工業・市街・畜産・農地からの排水による外部負荷が挙げられる。その結果、湖水中は植物プランクトンの異常発生であるアオコの大量発生を引き起こし、漁業や環境に大きな影響を与えている。これらの水域における水質汚濁の解明と環境浄化・保全には、正確な水質状態を把握し、最善な対策工に取り組む必要がある。

本研究では、分光放射計を用いた現地観測を行い、湖水域における各測定地点で分光反射率を算出し、水質汚濁の主要因となるクロロフィル a 濃度と濁度についてそれぞれの回帰分析を行いその相関を調べた。

2. 測定方法の概要

2.1 水面分光反射率の測定について

水面分光反射率の測定は多目的分光放射計((株)オプトリサーチ製、MSR-7000)を用いて行った。水面直上の受光部で検出される太陽光には、(I)水中物質により散乱された光、(II)水面における直接反射光の2つで構成される。水質の情報が含まれている(I)については、水中物質により分光特性が異なるので、そのスペクトル帯を知る事により水中物質の組成が分かる。

特に今回測定したクロロフィル a については 440nm、670nm と 700nm 付近のスペクトル帯が特徴的であり、その波長域を使用する事が望ましいと思われる。

図-1 に水面における測定概要を示す。分光反射率 R は、水面直上の上向分光放射輝度 $U(\mu w cm^{-2} sr^{-1} nm^{-1})$ と白色標準反射板を用いた水面下向分光照度 $H(\mu w cm^{-2} nm^{-1})$ より

$$R = \frac{U}{H} \quad (1)$$

と表される。ここで、上向分光放射輝度 U は図-1 における(I)と(II)成分の和である。また水面下向分光照度 H は、白色標準反射板の分光反射輝度値 W より

$$H = \frac{\pi W}{\rho} \quad (2)$$

で表すことができる。ここで、白色標準反射板は完全拡散面と仮定し、反射率は $\rho=1$ で近似した。

なお、船上調査では、測定波長域を 350~900nm

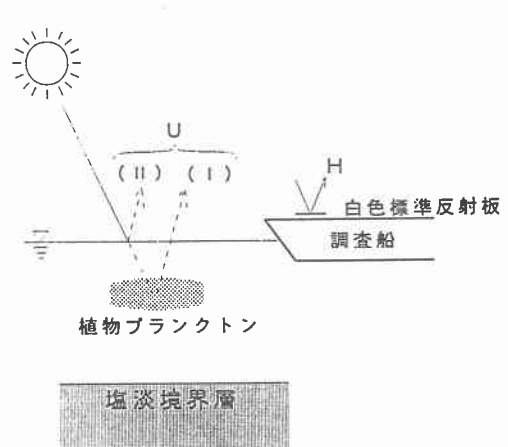


図-1 測定概要

Study on correlation between spectral reflectance and chlorophyll-a, suspended solid in lake Abashiri.

By Hideyuki SHIOMI and Kimiteru SADO

として、分解能 1nm、1 回のスキャン時間約 50 秒で行ない U、H を交互に 2 回測定して、その平均値より分光反射率 R を求めた。

2.2 クロロフィル a 濃度と濁度の測定について

クロロフィル a 濃度と濁度の測定は、クロロテック(アレック電子(株)製、ACL-1180-DK)を用いて行った。この測定器は発光部と受光部から構成されており、クロロフィル a 濃度については、その色素に対応する励起波長光(410~470nm)を発光部より照射させ、電子の励起作用を起こさせる。その後、電子は安定な状態に戻ろうとする為にエネルギーを放出する。そのエネルギーを蛍光波長光(640~700nm)として受光し濃度が得られる。濁度については、海中水中での減衰率の少ない 940nm の赤外光を発光して、浮遊物質からの後方散乱光を受光して得られる。なお測定は、湖面から湖底まで 10cm おきに行った。

船上調査は、網走湖全域から 7 地点を選択して 6 月~8 月まで合計 14 日間行った。(図-2 参照)

またクロロフィル a 濃度は、クロロテックを用いた測定の他に 6 月~8 月にかけて湖心などを中心に 10 地点で深さ方向(0,0.5,1,3,5m)に湖水を採水し、その水質分析からも得られた。

図-3 に現地観測により得られた分光反射率の一例を示す。この図-3 よりクロロフィル a による分光特性は、672nm で選択的に強い吸収が起こり、697nm では蛍光放射が現れている。これらの特徴的な波長を使用する事により、正確な水質状況を把握する事が可能と思われるが、必ずしも吸収と放射のピーク波長が一致するとは限らない。そこで、ピーク波長の分布を調べると 440nm、670nm そして 700nm を境に前後 10nm の範囲に収まっている事がわかった。よって、今回の解析ではクロロフィル a の吸収帯を 430~450nm と 660~680nm、蛍光放射帯を 690~710nm と定義して、この範囲での U、H の積算値より R を算出した。また、濃度の違いによるスペクトル状況の変化を図-4 に示した。ここで、それぞれの濃度はクロロテックの湖面から 1m までの平均値である。図-4 より、クロロフィル a 濃度の増加に伴い吸収帯と放射帯での分光特性がより顕著に現れている。濁度については、濃度の高い方が全体的に反射率が高くなっている。よって、濁度解析には 400~700nm を用いて行う事が望ましいと思われる。

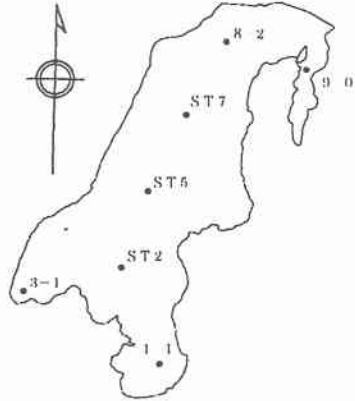


図-2 網走湖における観測地点

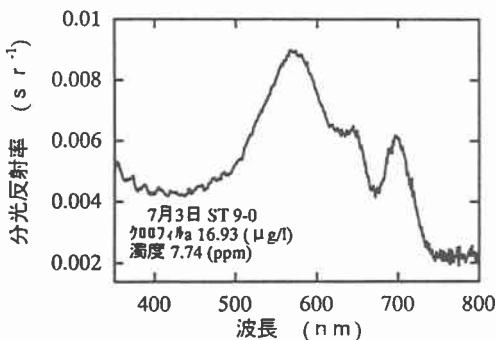


図-3 クロロフィル a による分光特性

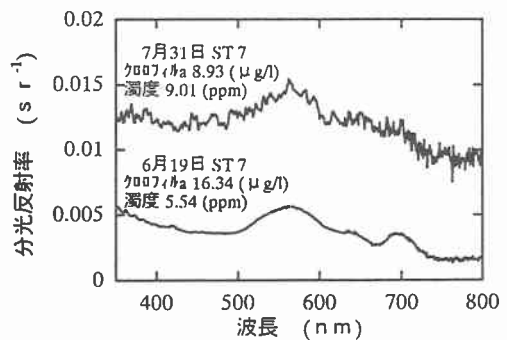


図-4 濃度別による分光反射率

3. クロロフィル a 濃度と分光反射率との相関解析

3.1 吸収帯を利用した相関解析

クロロフィル a の2つの吸収帯についてそれぞれ相関解析を行った。この時使用したクロロフィル a 濃度は、湖面から1mまでのデータの平均値を使用した。6月19日、7月24日、8月21日に行った現地観測より得られた結果は、短波長側の吸収帯でクロロフィル a 濃度と分光反射率の相関係数が-0.273、長波長側では-0.200となった。また、採水10地点における水質分析より得られたクロロフィル a 濃度と分光反射率との相関係数は、短波長側で-0.003、長波長側で0.175となり、両者とも良い結果が得られなかった。この原因としては、上向分光放射輝度の測定時に図-1で示した(II)成分の水面反射光の関与が大きな影響を与えていると思われる、この成分を除去する必要があると思われる。この水面反射光の影響について、理化学研究所の岡見等¹⁾は、霞ヶ浦湖において水中分光放射計を用いた測定により、分光反射率で550~700nm付近では水面反射光の割合がほぼ等しい事を述べている。よって、この波長範囲を何らかの方法で有効に利用する事により水面反射光の影響を除去する事が可能だと思われる。

3.2 分光反射率の差、比を使用した相関解析

550~700nm 付近の波長域には、クロロフィル a の吸収帯と蛍光放射帯が含まれている。よって、これら2つの分光特性を使用して相関解析を行う事が有効と思われる。表-1は、3.1に述べた3日間のデータを用いて、吸収帯(660~680nm)と蛍光放射帯(690~710nm)による分光反射率の差と比を用いた時の相関解析である。また、人工衛星データから植生状況を把握するのに、

正規化植生指標($NDVI = \frac{CH.2 - CH.1}{CH.2 + CH.1}$) が最も多く使用されている。この方法を利用して、植生の反射強度の強いCH.2を蛍光放射帯に、反射強度の弱いCH.1を吸収帯と見立て、NDVI方式でも相関解析の算出を行った。表-1より、差、比、NDVI方式それぞれの相関係数は、0.897、0.860、0.841となり、3.1に示した分光反射率のみの相関係数よりも明らかに良くなっている。また、これら3つの方法の中で分光反射率の差を用いた場合が一番良い相関が得られ、その分布状況を図-5に示す。図-5よりクロロフィル a 濃度が低い範囲では、分光反射率の差が負の値で現れ、蛍光放射が行われていない可能性がある事を示している。蛍光放射が行われる為には、クロロフィル a 濃度に基準値があるものと思われ、今回の測定により濃度が6.746 ($\mu\text{g/l}$) 以上で蛍光放射が行われているものと思われる。また表-2は、採水10地点における水質分析より得られたクロロフィル a 濃度と分光反射率の差、比、NDVI方式を用いた相関解析である。この結果からも3.1に示した分光反射率のみの相関係数より良くなっている事がわかる。

しかし、相関係数としては少し低い値となり、水面反射光以外の何らかの要因が影響している可能性があるものと思われる。以上の結果より、550~700nm 付近の範囲内で

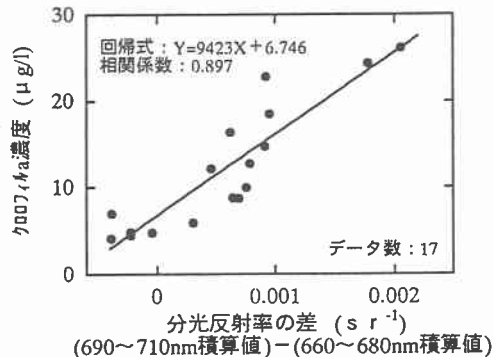


図-5 クロロフィルaと分光反射率の差との相関関係

	クロロフィルa濃度
分光反射率の差	0.897
分光反射率の比	0.860
NDVI方式	0.841

(データ数:17)

	クロロフィルa濃度
分光反射率の差	0.616
分光反射率の比	0.626
NDVI方式	0.623

(データ数:10)

あれば、分光反射率の差、比、NDVI 方式を使用する事により、水面反射光の影響はほぼ除去できると思われる。

4. 濁度と分光反射率との相関解析

図-6は、6月26日、7月17日、8月18日に行った現地観測の結果を示したものである。相関係数は0.831となったが、分光反射率において0.014 ($s r^{-1}$) 付近に濁度が80 (ppm) を超す値が存在し、明らかに異常点だと思われる。この点をカットした時の相関係数は、0.915 となり良い結果が得られた。また表-3は、6月~8月にかけて行った現地観測により得られた結果を観測地点ごとに分類した相関係数である(カッコ内はデータ数)。表-3よりST2が最も良い相関を示したが、その他の地点では正と負の相関が混在している結果が得られた。ここで濁度の測定は、光の照射に伴う物質の後方散乱光により得られるので、植物プランクトン(アオコ)も濁度値として換算される可能性が有り得る。その事を考慮すれば、地点ごとの相関係数よりアオコの分布状況を推定できると思われる。表より、網走湖のアオコはST 8-2、9-0 付近に分布していると思われ、また実際この場所での発生確率も高い。

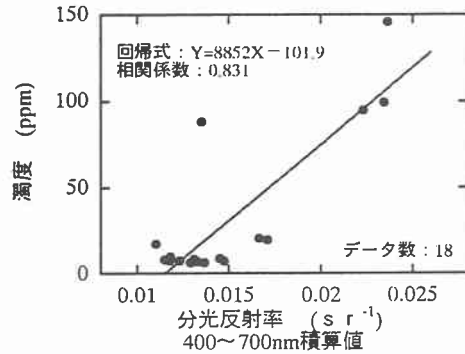


図-6 濁度と分光反射率との相関関係

表-3 観測地点ごとの濁度と分光反射率との相関係数

ST No	濁度
1-1	0.505 (10)
2	0.892 (6)
3-1	0.460 (8)
5	0.058 (12)
7	0.353 (8)
8-2	-0.379 (9)
9-0	-0.736 (9)

5. まとめ

- 1) 分光反射率の測定には水面反射光の関与が、クロロフィル a 濃度との相関に大きな影響をもたらす。本研究では、クロロフィル a の分光特性である吸収帯(660~680nm)と蛍光放射帯(690~710nm)を用いて、それらの分光反射率の差、比、NDVI 方式を使用する事により、水面反射光による影響をほぼ除去できたと思われる。
 - 2) クロロフィル a の分光特性である蛍光放射は、6.7 ($\mu g/l$) 以下の低濃度において発光しない事がある。
 - 3) 濁度の測定原理を考慮すれば、観測地点ごとに求めた濁度と分光反射率との相関係数により、植物プランクトン(アオコ)の分布状況を推定する事が可能だと思われる。
- また、最近注目されている人工衛星による観測データと水質解析との関係を見出す事ができれば、より正確な水質状況を面的に把握する事が可能と思われる。なお、今回使用した水質データは(株)北開水工コンサルタントに、観測では本学の兼子 信也君にご協力を頂いた。ここに深く感謝致します。

参考文献

- 1) 岡見 登, 岸野 元彰, 宮崎 忠国: 霞ヶ浦湖水の分光反射率と水質, 日本リモートセンシング学会誌, VOL.2 No.1, pp.21~31, 1982.
- 2) 安岡 善文, 宮崎 忠国: リモートセンシングによる湖水域の水質分布計測-回帰分析を用いた大気補正と水質推定-, 日本リモートセンシング学会誌, VOL.2 No.3, pp.51~62, 1982.
- 3) 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.