

II-40

NOAA データを用いた網走湖における  
クロロフィル a 濃度と表面水温の推定

北見工業大学工学部 フェロー 佐渡 公明  
北見工業大学工学部 ○学生員 吉川 泰弘  
北見工業大学工学部 非会員 佐々木好隆

1. はじめに

網走湖は窒素・燐の塩水層からの拡散や底泥溶出などによる内部負荷と、市街地・農畜産地からの排水による外部負荷による富栄養化に悩まされ、植物プランクトンの異常発生であるアオコを引き起こし、漁業や環境に大きな影響を与えている。本研究は、本学で受信している NOAA データを用いて網走湖におけるアオコの発生状況を面的に捉えることを目的として、分光放射計を用いた現地観測を 1997、1998、1999 年に実施した。1997、1998 年に得られた現地観測のデータと NOAA データおよび全天日射量よりクロロフィル a 濃度を予測するための回帰直線式を導く。次に 1998 年の NOAA データと全天日射量を用いてクロロフィル a 濃度の同定誤差を検討する。また、本来海面温度の推定に利用されている MCSST (Multi Channel Sea Surface Temperature) アルゴリズムを用いて、アオコの発生に大きく影響する湖面水温の推定を行う。

2. 網走湖における現地観測の概要

1997 年 6 月 12 日～9 月 11 日までの期間中の 13 日間と 1998 年 5 月 28 日～10 月 29 日までの期間中の 9 日間および 1999 年 5 月 13 日～8 月 30 日までの期間中の 6 日間の合計 28 日間、網走湖において NOAA 衛星と同期して船上調査を行った。主な測定項目は水面における分光反射率と湖水中のクロロフィル a 濃度および水温である。

2-1. 水面における分光反射率の測定

水面における分光反射率の測定には、多目的分光放射計 (樹オプトリサーチ製 MSR-7000) を用いて行った。分光反射率  $R$  ( $\text{sr}^{-1}$ ) は、水面直上の上向分光放射輝度  $U$  ( $\text{w}\cdot\text{m}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ ) と水面下向分光照度  $H$  ( $\text{w}\cdot\text{m}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$ ) より、

$$R=U/H \quad (1)$$

と表される。水面下向分光照度  $H$  は直接測定できないため、白色標準反射板の分光反射輝度  $W$  ( $\text{w}\cdot\text{m}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ ) を測定して、次式によって求めた。

$$H=\pi W/\rho \quad (2)$$

白色標準反射板は完全拡散面と仮定して反射率  $\rho$  を 1 と近似した。また湖心 (北緯:  $43^{\circ} 57' 54''$ 、東経:  $144^{\circ} 10' 30''$ ) における水面直上の上向分光放射輝度  $U$  の観測は NOAA 衛星と同期して行った。本解析では文献調査からクロロフィル a の吸収帯を 660~680nm、蛍光放射帯を 690~710nm と定めた。分光反射率  $R$  は、上記で定めた波長範囲における上向分光放射輝度  $U$  と白色板分光反射輝度  $W$  の積算値より、式 (1)、(2) を用いて算出した。

2-2. クロロフィル a 濃度と水温の測定

クロロフィル a 濃度および水温の測定は、クロロテック (アレック電子(株)製 ACL-1180-DK) を用いて行った。その他に本装置では、濁度・塩分濃度などを測定でき、水面から湖底まで 10cm おきに測定し、水深 Estimation of chlorophyll-a concentration and surface water temperature of the Lake Abashiri using NOAA data by Kimiteru Sado, Yasuhiro Yoshikawa and Yoshitaka Sasaki

方向の濃度変化の状況を把握した。水温センサーは白金測温抵抗体を用いた高性能なセンサーで、測定範囲は-5~40℃、測定精度は±0.05℃、分解能は0.01℃であるので、MCSSTの精度を検証するのに最適である。クロロテックを船上から吊り下げて水温測定を行うので、特に波が高い時には、湖面水温測定のための位置合わせが難しくなる。

### 3. NOAA データを用いた網走湖におけるクロロフィル a 濃度の推定

ここでは、NOAA データを用いて網走湖のクロロフィル a 濃度を予測するために、図-1のフローチャートに従って以下の6本の回帰直線式を導く。

#### 3-1. 6本の回帰直線式によるクロロフィル a 濃度の推定

(1)1997、1998年の現地観測において、NOAA衛星との同期観測に成功した5日間(1997年：7/24、8/21、8/28、1998年：5/28、9/10)のNOAAチャンネル1データ  $L_{580\sim680nm}$  と同じ波長範囲の水面直上上向分光放射輝度  $U_{580\sim680nm}$  との相関図を図-2に示す。ここで、NOAAデータの分解能は1.1km×1.1kmであるが、図-2にプロットした15点に対応するピクセル内は全て水域でしめられている。図-2の回帰直線式は、次式となる。

$$U_{580\sim680} = 0.647 \times L_{580\sim680} \cdot 9.48 \quad (3)$$

(2)分光反射率を計算するために、式(3)で得られる  $U_{580\sim680nm}$  から  $U_{660\sim680nm}$  と  $U_{690\sim710nm}$  を求めなければならない。本解析では1997、1998年に測定した水面直上の上向分光放射輝度より、図-3、4に示すように回帰分析を行い次の回帰直線式を算出した。

$$U_{660\sim680} = 0.1487 \times U_{580\sim680} + 0.0185 \quad (4)$$

$$U_{690\sim710} = 0.1226 \times U_{580\sim680} + 0.1307 \quad (5)$$

(3)分光反射率の計算に必要な水面直上の下向分光日射輝度  $W_{660\sim680nm}$  と  $W_{690\sim710nm}$  の算出には、本学の寒地気象観測露場(以下露場と呼ぶ)で測定している全日射量  $S$  (300~2800nm)と、現地観測での白色標準反射板を用いた分光放射輝度  $W$  との1997、1998年の回帰分析(図-5、6)より、次の回帰直線式を算出した。

$$W_{660\sim680nm} = 91.90 \times S + 2.749 \quad (6)$$

$$W_{690\sim710nm} = 81.43 \times S + 1.629 \quad (7)$$

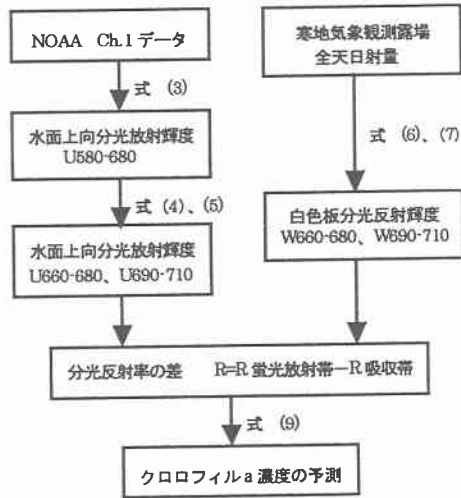


図-1 クロロフィル a 濃度予測フローチャート

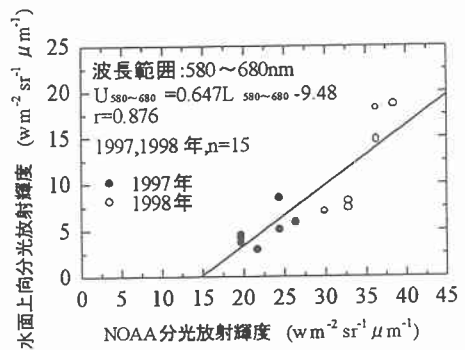


図-2 NOAA衛星輝度と水面上向分光放射輝度の相関図

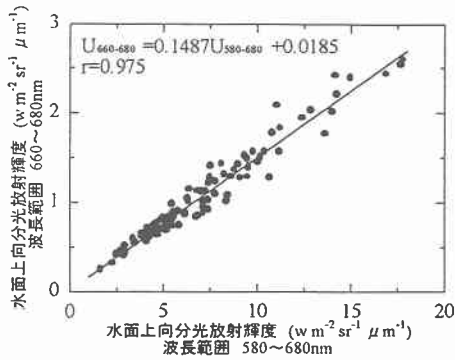


図-3 水面上向分光放射輝度の 580~680 nm から 660~680 nm への変換

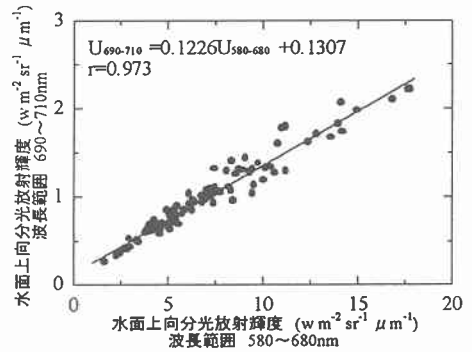


図-4 水面上向分光放射輝度の 580~680 nm から 690~710 nm への変換

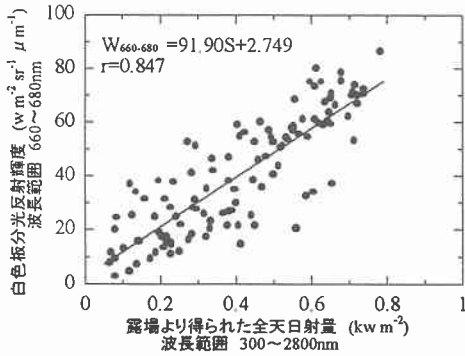


図-5 全日射量 (300~2800 nm) から水面下向分光日射輝度 (660~680 nm) への変換

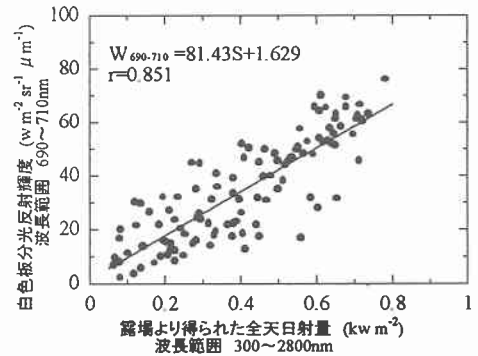


図-6 全日射量 (300~2800 nm) から水面下向分光日射輝度 (690~710 nm) への変換

(4)クロロフィル a 濃度を予測するために、クロロフィル a の分光特性である蛍光放射帯(690~710nm)と吸収帯(660~680nm)の分光反射率の差  $R$  を表す式 (8) を用いた。

$$R = R_{690\sim710} - R_{660\sim680} \\ = \frac{U_{690\sim710}}{\pi \times W_{690\sim710}} - \frac{U_{660\sim680}}{\pi \times W_{660\sim680}} \quad (8)$$

クロロフィル a 濃度の予測を行う場合、どの水深までの平均値を取るかが問題である。参考文献 (1) では、 $R$  と 0~2m 平均クロロフィル a 濃度の相関係数が最も良いことが示されている。この分光反射率の差と 0~2 m 平均クロロフィル a 濃度との散布図を図-7 に示す。このときの回帰直線式は式 (9)

$$Chl.a = 6979 \times R + 10.24 \quad (9)$$

と得られる。

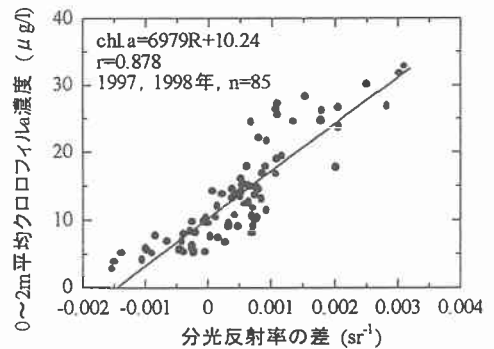


図-7 分光反射率の差とクロロフィル a 濃度の散布図

### 3-2. クロロフィル a 濃度の同定

上記の式 (3) ~ (7) の回帰直線式を用いて、1998 年 5 月 28 日、9 月 10 日の NOAA データ及び露場の全天日射量より分光反射率の差を推定し、式 (9) の回帰直線式を用いてクロロフィル a 濃度の同定値を算出した。図-8 は、5 月 28 日と 9 月 10 日のクロロフィル a 濃度の同定値と実測値の関係を示したものである。誤差評価として、誤差の絶対値の平均値を用いた場合、 $3.64 \mu\text{g/l}$ 、root mean square を用いた場合  $4.04 \mu\text{g/l}$  の誤差である。これらの精度を低くする原因は、NOAA 衛星との光路長や天気の違いによる大気補正式 (3) への影響、および北見と網走湖の天気の違いによる式 (6)、(7) への影響が考えられる。同定誤差が大きい 9 月 10 日における NOAA 衛星の最大仰角は  $34^\circ$  と低く、最大仰角が  $70^\circ$  である 5 月 28 日は、同定誤差が小さいことが分かる。

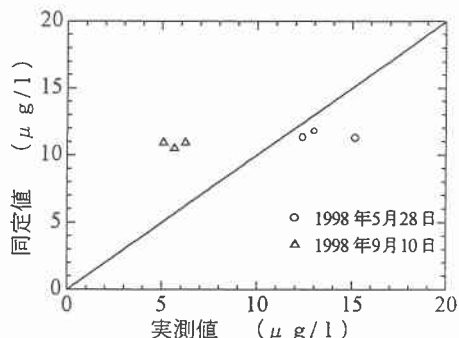


図-8 クロロフィル a 濃度の実測値と同定値

### 4. MCSST による湖面水温の推定

アオコは夏の高水温、高栄養塩類濃度の条件下で生じる。NOAA データに次式を適用して海面温度を求める MCSST を湖面水温の推定に用いる<sup>2)</sup>。

$$\text{SST} = 1.017342 \times \text{Ch.4} + 2.139588 \times (\text{Ch.4} \cdot \text{Ch.5}) + 0.779706 \times (\text{Ch.4} \cdot \text{Ch.5}) \times (\text{SEC}(\text{sza}) - 1) - 0.543 \quad (10)$$

Ch.4、Ch.5 : Ch.4、5 の輝度温度

sza : NOAA 衛星の天頂角

1997、1998、1999 年の現地観測において、NOAA 衛星との同期観測に 9 日間成功した。図-9 は、MCSST による湖面水温とクロロテックによる湖面実測水温の関係を示したものである。誤差評価として、誤差の絶対値の平均値を用いた場合  $1.41^\circ\text{C}$ 、root mean square を用いた場合  $1.67^\circ\text{C}$  の誤差を示している。絶対誤差は、 $-1.95 \sim 3.55^\circ\text{C}$  の範囲である。

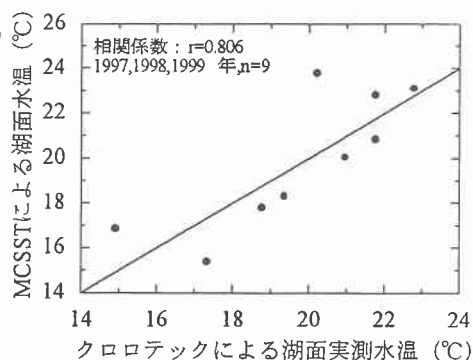


図-9 クロロテックデータと MCSST による湖面水温の相関図

### 5. 結論

1) 網走湖における 1997、1998 年の NOAA 衛星との同期観測データを用いて、NOAA データと全天日射量よりクロロフィル a 濃度を推定する 6 本の回帰直線式を求めた。

2) MCSST によって得られた網走湖の湖面水温の、root mean square 誤差は  $1.7^\circ\text{C}$  となった。

1997、1998 年の観測データは、当時大学院生の塩見秀之氏を中心に取得されたものであり、また 1997~1999 年の観測では北海道開発局網走開発建設部、(株)北開水工コンサルタントにご協力いただいた。ここに深く感謝いたします。

### 参考文献

- 1) 佐渡 公明、塩見 秀之：網走湖における分光反射率を用いたクロロフィル a 濃度の推定、土木学会北海道支部論文報告集、55 号 (B)、pp.88~91、1999。
- 2) SeaSpace Corp. : TeraScan 2.6 Reference Manual:Vol.1、pp.328~331、SeaSpace Corp. 1995。