

NOAA/AVHRR データによるサロマ湖・網走湖の水温推定

Estimation of water temperature of the Lake Saroma and Abashiri using NOAA/AVHRR data

北見工業大学大学院 ○学生員 引地則人 (Norihito Hikichi)
 北見工業大学工学部 フェロー 佐渡公明 (Kimiteru Sado)
 北見工業大学工学部 正員 吉川泰弘 (Yasuhiro Yoshikawa)

1. はじめに

サロマ湖は日本で3番目に大きい湖で、面積は150km²、周囲は92kmである。この湖の水質は栄養塩類、特に窒素・リンの化合物に富んでいる。夏季には有機物の分解により酸素の消費が進み、底層には低酸素層が出現することがある。このようにサロマ湖の水質は栄養に富んでいるために、水質汚染や赤潮発生に結びつきやすい。実際にサロマ湖の水質は年々悪化の傾向にある¹⁾。それは網走湖についても言えることである。水質問題解決のためには、水温の把握も必要である。

北見工業大学地域共同研究センターでは、衛星画像受信解析装置が導入されており、1996年3月から National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)衛星の受信をしている。本研究では、この衛星が搭載している観測センサー Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)から得られる輝度温度を用いて、大気補正として Multi Channel Sea Surface Temperature (MCSST)を行い、サロマ湖と網走湖の海面温度を求める。

2. NOAA/AVHRR データの受信・保存

2.1 NOAA/HRPT 受信解析装置

本システムで使用しているソフトウェアは、米国 SeaSpace 社の開発した衛星受信解析ソフト TeraScan Ver.3.1 である。TeraScan を使用し、地域共同研究センターにおいて、NOAA 衛星、Orbview-2 衛星の受信・解析が可能となっている。

図-1 に示す衛星画像受信解析装置は極軌道気象衛星 NOAA 用レドーム付きパラボラアンテナより、High Resolution Picture Transmission (HRPT,高分解送画方式)信号を受信し、UNIX ワークステーションを用いて大容量データの処理・解析・保存を行うことを目的としている。HRPT は、高分解能の画像をデジタル信号として送信する方法である。NOAA 画像では、AVHRR の画像データを360本/分の速度で位相変調のデジタル信号として送信している。現在、本学で受信している衛星は NOAA-12, 15, 16号と Orbview-2 衛星である。NOAA 衛星の受信範囲は、衛星の軌道によって異なってくるが、おおよその受信範囲は、北海道・オホーツク海付近から沖縄・台湾付近までである。Orbview-2 衛星の受信範囲も NOAA 衛星のそれとほぼ同じである。また衛星の地域共同研究センターに対する最大仰角が15度以上のパスについて、衛星仰角が5度から5度までを受信している。この設定により

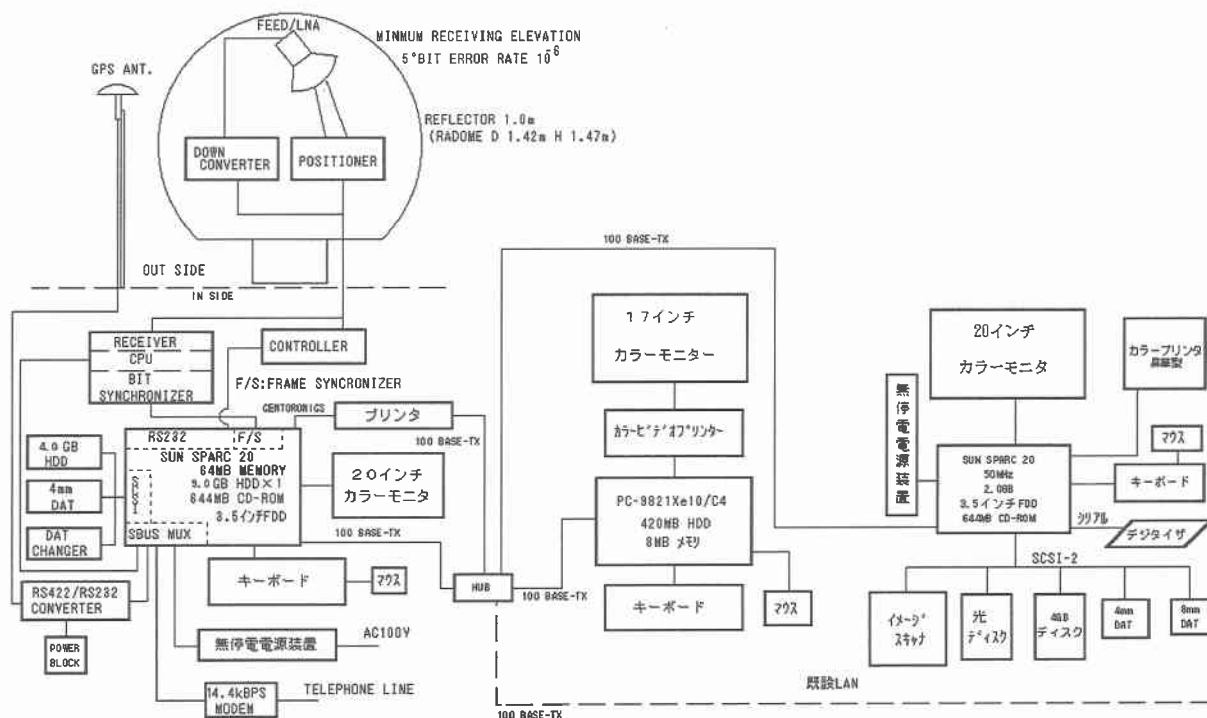


図-1 衛星画像受信解析装置

(左側：NOAA/HRPT 受信解析装置 中央：ひまわり画像データ端末装置 右側：衛星画像検索解析装置)

1 日に NOAA 衛星を約 8 パス、Orbview-2 衛星は約 2 パス受信している。

2.2 衛星受信時の処理

TeraScan では衛星の受信が始まると UNIX マシン内のハードディスク（パスディスク）にフルシーンデータが書き込まれ、受信終了後ただちに 4mmDAT への書き込みが開始される。その後スクリプトファイルにより下記のような北海道と北方領土を含む、北緯 43° 30′ 東経 144° 00′ を中心に 800 ピクセル×600 ラインの範囲の幾何補正後の画像が作成される。パスディスクには NOAA 用に 20 パス、Orbview-2 用に 10 パス用意されている。

- AVHRR 画像（反射率、輝度温度の画像）
- NDVI 画像（陸地の植生状況の画像）
- MCSST 画像（海面、水域の温度画像）

これらの画像のうち、AVHRR 画像と Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) 画像については各受信時の画像が作成される。MCSST の画像は各受信時に作成された画像を重ねることにより、1 日 1 枚の画像を作成している。重ね合わせは各画素の最大値を取っているため、作成された画像は 1 日の中での各画素毎の最高温

度になっている。

3. MCSST によるサロマ湖、網走湖の水温推定

3.1 MCSST による水温計算法

NOAA 衛星の生データ (10bit) から得られる ch.1, 2, のアルベドおよび ch.3, 4, 5 の輝度温度を用いて大気補正を行い、海面温度を求めるアルゴリズムが MCSST である。始めに雲・陸域を検出し、雲のない水面を抽出するフローチャートを図-2 に示す。フローチャートを実行するのに 3×3 の画素に注目する。中心画素周辺の画素の ch.4 輝度温度から中心画素の ch.4 輝度温度を引いた絶対値の最大値が 1℃より大きいとき、中心画素は雲または陸域である。小さいときは、観測時間が昼間の場合と夜間の場合に分ける。まず昼間の場合を考える。中心画素周辺の画素の ch.2 アルベドから中心画素の ch.2 アルベドを引いた絶対値の最大値が、0.25%より大きいとき中心画素は雲または陸域である。小さいときは、中心画素の ch.2 アルベドが 7%より大か小について考える。大きいとき中心画素は雲または陸域である。小さいときは、太陽反射光と衛星センサーのなす角度から Sun glint の影響がある画素を除去する。Sun glint の影響のない画素につ

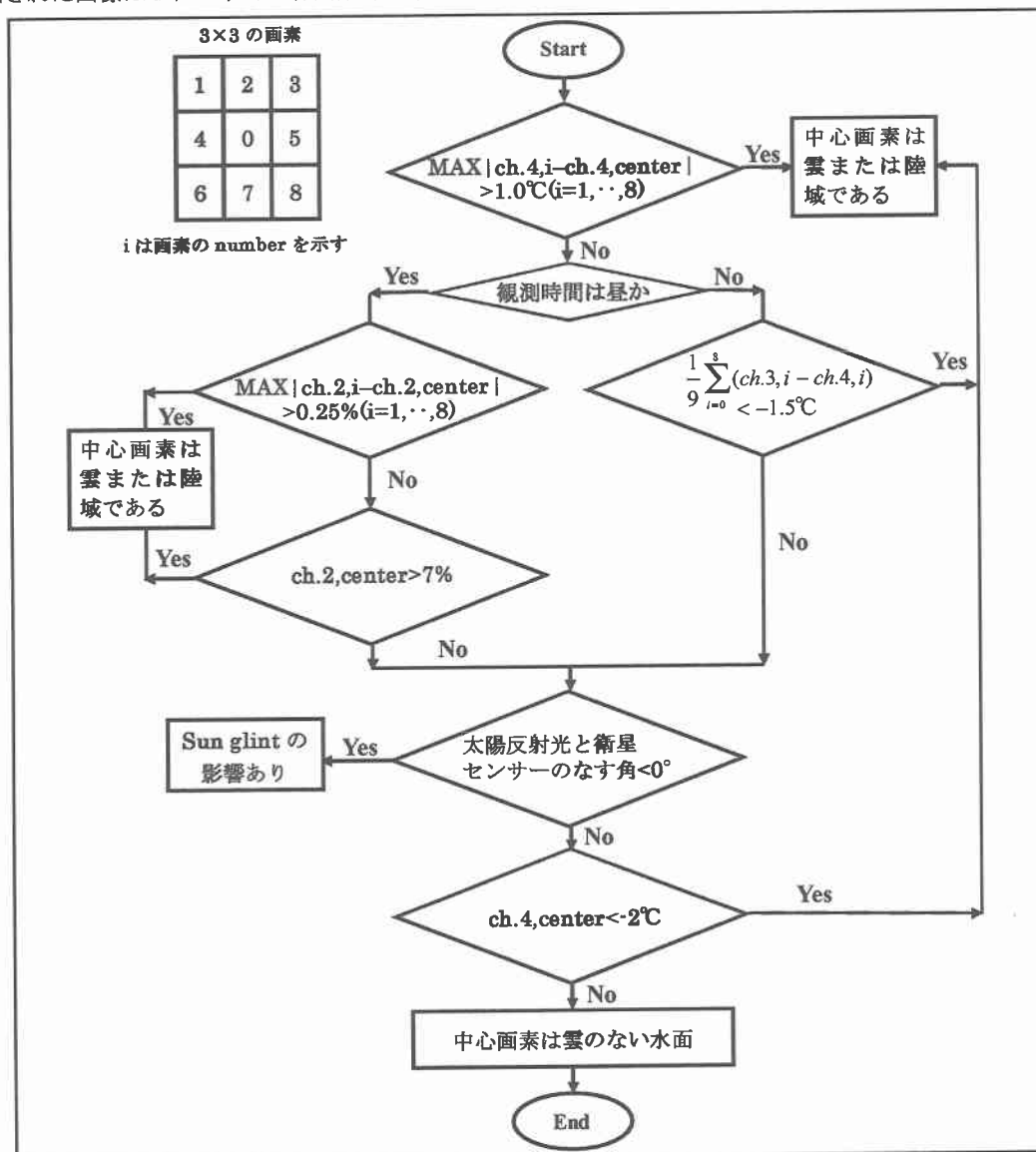


図-2 雲・陸域検出のフローチャート

いて、中心画素の ch.4 輝度温度が-2℃より小さいとき、中心画素は雲または陸域である。大きいときは、中心画素は最終的に雲のない水面と判断する。次に観測時間が夜間の場合を考える。ch.3 輝度温度から ch.4 輝度温度を引いた値の 9 画素の平均値が-1.5℃より小さいとき、中心画素は雲または陸域である。大きいときは、以後は昼間の場合と同じである。この雲・陸域検出をすべての画像範囲のピクセルに適用して、最終的に雲のない水面を抽出し海面温度を推定する。

海面温度を求めるのに大気補正をしなくてはならない。衛星と測定対象である海面との間が 850km ほど離れており、その間に大気が存在する。大気があるために消散（吸収、散乱）が起こり、AVHRR センサーに向かう赤外線エネルギーが変化する。これは主に大気中に含まれている水蒸気が原因で、これを除くために「窓領域」と呼ばれる ch.3, 4, 5 の透過率の良い波長帯を選んで使用している。それでも、大気の影響を少なからず受ける²⁾。大気の影響を補正するために、TeraScan がサポートしている Bernstein による Split-window 法と呼ばれる式(1)を用いる³⁾。式(1)では、ch.4 と ch.5 の輝度温度を利用している。

$$SST = A \cdot ch.4 + B(ch.4 - ch.5) + C(ch.4 - ch.5)(SEC(sza) - 1) + D(SEC(sza) - 1) + E \quad \dots (1)$$

ここで、SST：海面温度、sza：衛星天頂角、ch.4：輝度温度、ch.5：輝度温度、A～E：係数である。式(1)の係数は、衛星データとそれに同期して得られた現場観測による海面水温データとを多数収集して、経験的に決められている。TeraScan で用いられている A～E の係数を表-1 に示す。

表-1 Split-window 法に用いる係数					
	A	B	C	D	E (℃)
NOAA-16	0.999317	2.301950	0.628966	0.000	-0.806561
NOAA-15	0.959456	2.663579	0.570613	0.000	1.045
NOAA-12	1.013674	2.443474	0.314312	0.000	-0.912

3.2 水温推定結果

サロマ湖、網走湖を含む 2002 年 8 月 4 日の温度画像を図-3 に示す。2.2 で述べたように、各画素は 1 日の中の最高温度になっている。1 画素は 1.1km×1.1km である。図-2 の雲・陸域の検出フローチャートを適用して、陸は黒く見えマスクがかかっている。海、湖面で黒くなっているところは、雲と検出された画素である。凡例にあるように水面温度が高いほど白くなっており、サロマ湖の中心部付近が最も高く、21.07℃である。この値は温度画像の上端にある data の右端に表示されている。その右側の earth は、21.07℃と表示したピクセルの緯度、経度である。また白いラインは海岸線を示している。MCSST による水面温度は、現地と衛星を結ぶ直線上に雲が存在すると計算ができない。2002 年 4 月 1 日～11 月 30 日までの 244 日間で、衛星が通過したときに晴れており 1 ピクセルでも水温計算値が得られた日数は、サロマ湖で 153 日、網走湖で 69 日である。割合にしてサロマ湖は 63%、

網走湖は 28%であった。これはサロマ湖が網走湖より面積が、約 5 倍大きいためであると思われる。

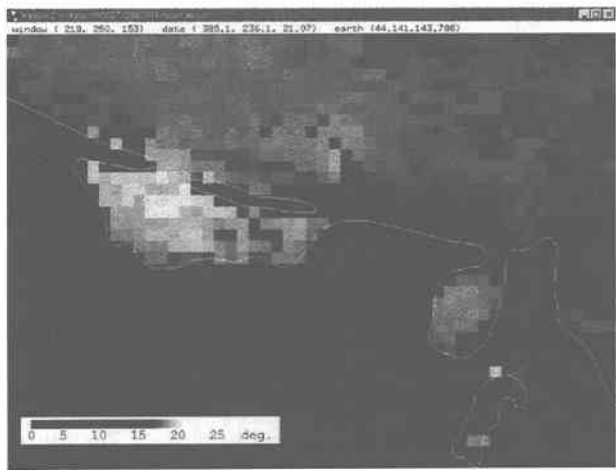


図-3 2002 年 8 月 4 日の水面温度を表す衛星画像

図-4 に MCSST により計算された、サロマ湖及び網走湖の水面温度の比較を示す。本システムでは、MCSST による計算の温度幅は 256 階調である。4 月 1 日～11 月 13 日は温度の表示幅の設定を 7～32.5℃で、11 月 14 日～11 月 30 日は 0～25.5℃とした。しかし 4 月中は 0～25.5℃の温度幅が適切だと思われる。なぜなら 4 月上旬の水温

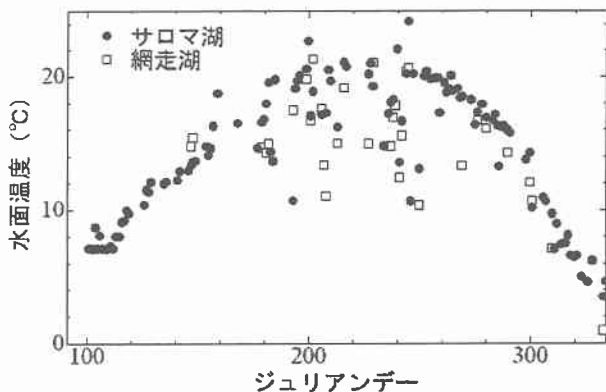


図-4 MCSST によるサロマ湖、網走湖の水面温度比較（2002 年）

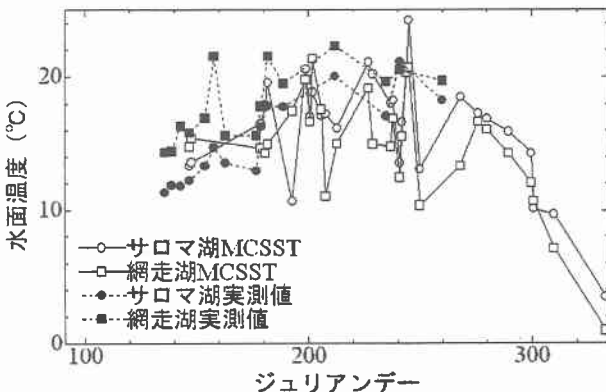


図-5 サロマ湖、網走湖における MCSST 計算値と実測値による水面温度の比較（2002 年、計算値と実測値はそれぞれ同じ日の値を示している）

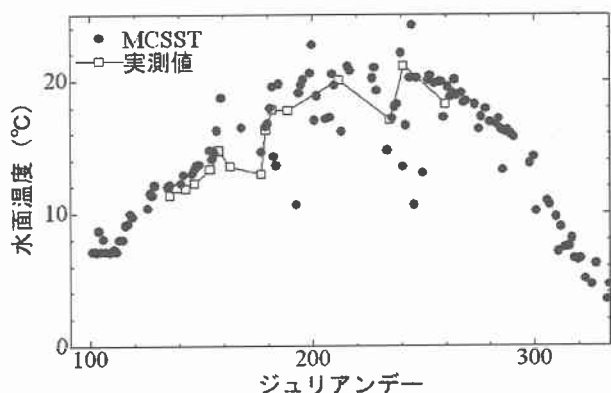


図-6 サロマ湖におけるMCSSTによる水面温度計算値と実測値の比較（2002年）

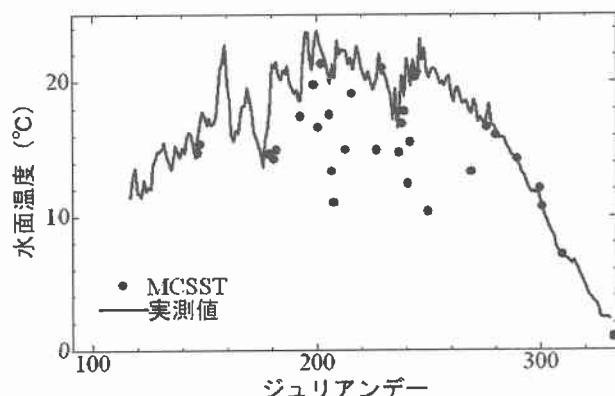


図-7 サロマ湖におけるMCSSTによる水面温度計算値と実測値の比較（2002年）

はグラフの計算値、実測値から見て 7℃以下と推定されるからである。そのため図-4 から 4 月上旬の 7℃付近の計算値を除去した。さらに、5 月～8 月の夏季に 10℃以下の値が見られたが、これは低い位置の雲やガスの温度だと思われるために、これらも図-4 から除去した。

図-5 に示すサロマ湖、網走湖で同じ日に計算された温度 29 個を比較し、平均温度を計算したところ、サロマ湖は 16.2℃、網走湖は 14.8℃であった。次に実測値についても同じ日に測定された温度 15 個を比較し、平均温度を計算したところ、サロマ湖は 15.3℃、網走湖は 18.1℃であった。計算値は、網走湖に比べてサロマ湖の温度が高くてきたが、実測値は網走湖が高くなった。これは網走湖の実測値は 1 時間毎に測定したデータであり、1 日の最高温度に極めて近いが、サロマ湖の実測値は 1 日 1 つのデータなので、必ずしも最高温度とは言えないからだと考えられる。次に、MCSST で求められた温度と実測値との比較を図-6、図-7 に示す。

図-6 ではサロマ湖での実測値が 15 日間あり、その内 12 日はサロマ湖養殖漁業協同組合からのデータである。残りの 3 日のデータは、我々がサロマ湖で直接測定したものである。養殖漁業協同組合が測定した地点は、st.4-北緯 44° 07′、東経 143° 48′ である。測定装置には Sea Bird Electronics 製の CTD model 5T で、水温センサーはサーミスターを用いて、水深 0.5m で測定している。我々が測定した地点もほぼ同一で、測定装置はアレック電子（株）製のクロロテック ACL-1180-DK と CTD を用い

た。クロロテックの水温センサーは白金測温抵抗体である。MCSST の計算値はジュリアンデーで 193 日～250 日までの低い計算値を除くと、ほぼ実測値と一致している。

図-7 では網走湖の実測値として、2002 年 4 月 27 日～11 月 27 日までの期間、青潮監視装置 1, 2, 3 号機で 1 時間毎に水深 0.1m で測定された中での日最高水温を用いている。水温センサーは白金測温抵抗体である。図-6, 7 では 4 月～9 月までの間で、低い雲やガスのためと考えられる低い計算値が見られる。これを除去するためには、図-2 のフローチャートを使って、雲の検出能力を高めるようにパラメーターの設定値を変更する必要がある。

次に、サロマ湖、網走湖について、MCSST による計算値の実測値に対する、誤差の絶対値の平均値 E_{rr} を求めてみる。サロマ湖については、計算値と実測値が同一の日数は 7 日、網走湖については、32 日あった。これらについて、次に示される式(2)を用いて、誤差の絶対値の平均値を求める。

$$E_{rr} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |T_{cal,i} - T_{obs,i}| \quad \dots (2)$$

ここで、 n : データ数、 $T_{cal,i}$: 計算値、 $T_{obs,i}$: 実測値である。式(2)から求めた結果、サロマ湖は 2.1℃、網走湖は 3.2℃となった。

4. 結論

本論文より得られた結果を要約すると、次のようになる。

- (1) MCSST の計算値と実測値を比較すると、春から夏にかけての低い雲やガスの影響を除くと、計算値は実測値に近い傾向を示している。
- (2) 雲の検出フローチャートにおいて、パラメーターの設定値を変えて雲の検出力を高めることにより、低い雲やガスを除去する必要がある。
- (3) サロマ湖と網走湖において同じ日の計算値を比較した場合、サロマ湖の方が温度は高くなった。逆に実測値は網走湖が高くなった。それは、サロマ湖の実測値の水温が 1 日 1 個のために、必ずしも日最高水温を表していないからである。

今後は、NOAA/AVHRR から得られる水面温度を境界条件として 3 次元流動・水温解析を行い、また Orbview2/SeaWiFS から得られるクロロフィル a 濃度を求め、ホームページ上に公開したいと思う。また来年の春、本格稼動するサロマ湖内の自動水質観測システムによる、水温・クロロフィル a 濃度の実測値と NOAA/AVHRR, Orbview2/SeaWiFS から得られる計算値の比較検討を行いたい。サロマ湖養殖漁業協同組合の前川氏、阪口氏および北海道網走開発建設部の崇田氏には、貴重なデータを提供して頂きました。紙面を借りて感謝いたします。

参考文献

- 1) 加藤重信, 前川公彦: サロマ湖の水産資源と水質, 平成 14 年度第 2 回北見工業大学公開講座, pp.9-14, 2002.
- 2) 川村宏: 海洋リモートセンシング, 第 2 回衛星観測による海面水温, 日本リモートセンシング学会誌, Vol.22, No.2, pp.206-211, 2002.
- 3) SeaSpace Corp.: TeraScan2.6 Reference Manual, SeaSpace Corp., Vol.1, pp.328-331, 1995.