

NOAA/AVHRR データによるサロマ湖の水温モニタリング

Monitoring of water temperature in Lake Saroma using NOAA/AVHRR data

北見工業大学大学院 ○学生員 清水洋平 (Youhei Shimizu)
北見工業大学工学部 フェロー 佐渡公明 (Kimiteru Sado)

1. はじめに

サロマ湖は、周囲 92km、面積 150km² のオホーツク海に面した北海道で最大の湖である。この湖は、富栄養湖で2つの湖口によりオホーツク海と直接つながっている。また、ホタテやカキの養殖がとて盛んであるが、貝の小型化が問題になってきている。明確ではないが、異常養殖などが原因とみられていて、養殖許容量算出のための調査が実施されている。

そんな中、近年水質が悪化してきて、何度か(1980, 83, 93, 98 年)赤潮が発生している。COD, 全窒素・リンについては増加傾向がみられ、環境基準を頻繁に超過する状況にある。水質を改善するためには、様々な調査が必要である。

本研究では、NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)衛星が搭載している AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer)センサーを利用して、水質に大きく影響する湖面水温の推定を行った。現在それらの水温データを、ホームページ上で試験的に公開しているが、推定値に異常値が多くみられた。そこで本論文では、正確な水温データ公開のための、異常値削除の検討を行う。

2. NOAA/AVHRR データの受信と処理

2.1 衛星データの受信状況

本研究で利用した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 NOAA 衛星データの受信をしている。

地域共同研究センターの屋上には、NOAA 衛星用レドーム付きパラボアンテナが設置されている。これより HRPT(High Resolution Picture Transmission)信号を受信し、UNIX ワークステーションを利用して大容量データの処理・解析、保存を行っている。

現在は、NOAA-12, 15, 16, 17 号衛星を受信している。NOAA 衛星の受信範囲は、衛星の軌道によって異なるが、北海道・オホーツク海付近から沖縄・台湾付近までである。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。同センターでは、その他にクロロフィル a 濃度や濁度の推定ができる Orbview2 衛星の SeaWiFS データも受信している。なお、1 日に NOAA 衛星を約 15 パス、Orbview-2 衛星は約 2 パス受信している。

2.2 衛星データの処理

UNIX ワークステーションでは、米国 SeaSpace 社の開発した衛星受信解析ソフト TeraScan Ver.3.1 を使用するこ

とにより NOAA 衛星、Orbview-2 衛星データの解析が可能となっている¹⁾。

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にフルシーンデータが書き込まれ、バックアップとして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 AVHRR (反射率、輝度温度) 画像、NDVI (陸地の植生状況) 画像、MCSST (Multi-Channel Sea Surface Temperature : 海面、水域の温度) 画像の 3 種類の画像を自動的に作成している。さらに MCSST 画像については、TeraScan 形式から jpeg ファイルに変換し、その画像とそれを利用した水温データを ftp でホームページサーバーに転送し公開している。全体の流れとしてスクリプトファイルの内容を図-1 に示す。

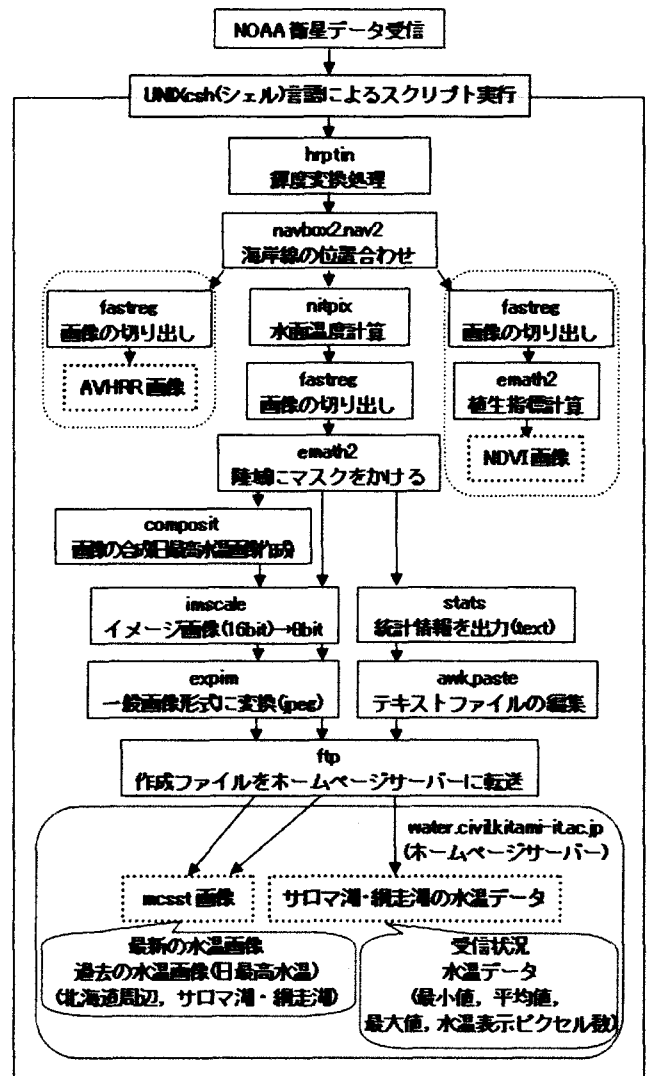


図-1 NOAA 衛星データの受信からホームページ作成までの流れ

3. サロマ湖における水温推定

3.1 MCSST による水温計算法

まず、図-2 に示すフローチャートを利用して、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湖面温度を推定する。

次に ch4・ch5 を利用して、大気補正済の海面温度を求める。衛星と測定対象である海面との間は 850km ほど離れており、大気が存在する。そのために吸収・散乱が起こり、水蒸気・オゾンなどが原因で AVHRR センサーに向かう赤外線のエネギーが変化する。これを除くために「窓領域」と呼ばれる ch4・ch5 の透過率の良い波長帯を選んで使用している。一般的に大気の影響を除去するために、多チャンネル法が利用されている²⁾。

今回は TeraScan がサポートしているいくつかの式のうち、よく使われている Bernstein による Split-window 法と呼ばれる式(1)で計算した。

$$SST = A \cdot ch4 + B(ch4 - ch5) + C(ch4 - ch5)(SEC(sza) - 1) + D(SEC(sza) - 1) + E \quad \dots\dots\dots (1)$$

(SST : 海面温度 *sza* : 衛星天頂角 *ch.4, 5* : 熱赤外バンドの輝度温度 *A~E* : 係数)

式(1)で用いられている係数 A~E は、衛星データと同期して得られたグランドトゥースデータによる海面水温データを多数収集して、経験的に決められたものである。

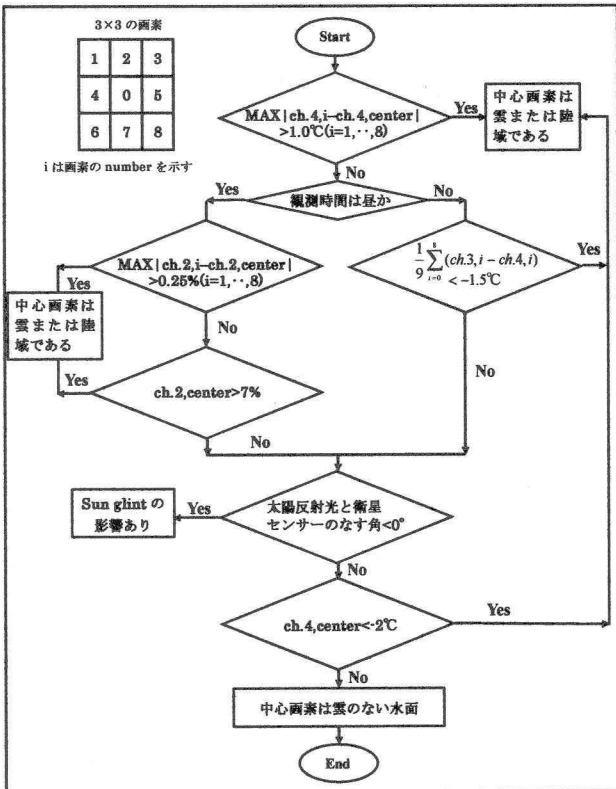


図-2 雲・陸域検出のフローチャート

3.2 MCSST による水温推定結果

画像の一例として図-3, 4, 5 に MCSST 画像を示す。1 画素は 1.1km×1.1km である。陸域は黒く見えるが、これは図-1 で説明した emath2 により、マスクをかけているためである。海や湖で黒く見える画素については、図

-2 の雲・陸域の検出フローチャートにより雲と判定された画素である。また白い線は海岸線である。MCSST 画像をディスプレイ上で操作する場合、クリックすると温度、緯度、経度などの情報がピクセルごとに表示される。図-3 は、サロマ湖上空には、ほとんど雲がないと判定された場合で、図-4 は雲が半分程度、図-5 については、ほとんどの画素が雲域と判定された画像である。年間で見ると、図-3 のように多くの水温が出ている場合は少ない。



図-3 2003年8月21日20:24の水温画像

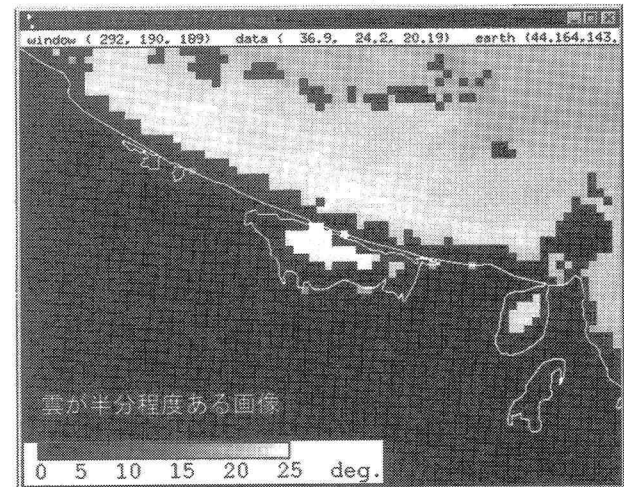


図-4 2003年8月21日2:22の水温画像

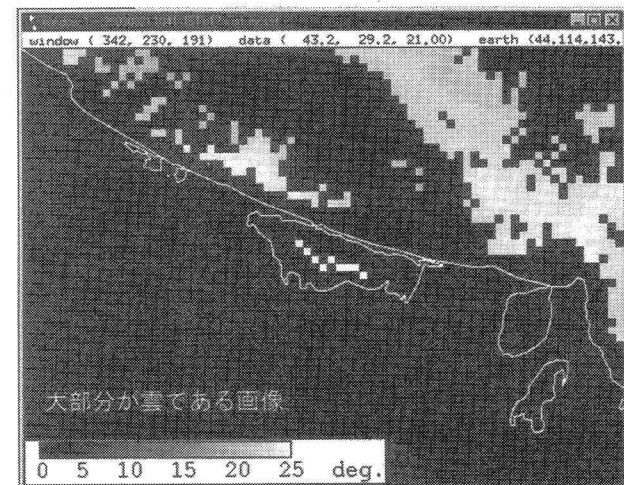


図-5 2003年8月21日10:41の水温画像

今回、2002年4月1日～12月31日、2003年3月1日～11月30日までの水温推定を行った。

3.3 グランドトリスデータについて

2002年は、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のデータである。残りの3日のデータについては、我々がサロマ湖で直接測定したものである。サロマ湖養殖漁業協同組合が測定した地点は、図-6のブイ.3付近(北緯44°07'、東経143°48')である。測定装置は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。

2003年については、全てサロマ湖養殖漁業協同組合のホームページからダウンロードした5月1日～11月20日までのデータで、図-6のブイ.1～4の水深0.6mにおける1時間毎の水温を利用した。

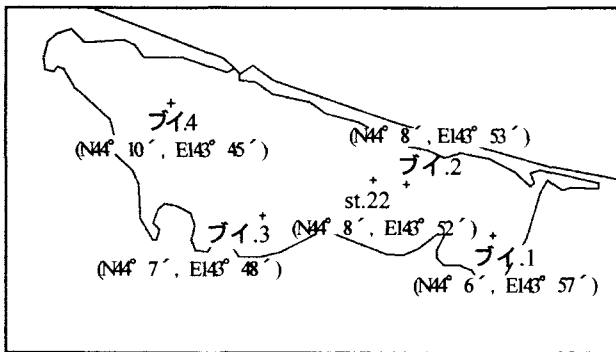


図-6 ブイ.1～4, st.22の位置

3.4 MCSSTとグランドトリスデータの比較

サロマ湖水温における2002年、2003年のMCSSTとグランドトリスデータの比較のグラフを図-7に示す。このグラフを見ると、MCSSTの値が実測値と比べて明らかに低く出てきている日が数多く見られる。これは、異常値と判断できる。次章でこれらの異常値の検討を行った。

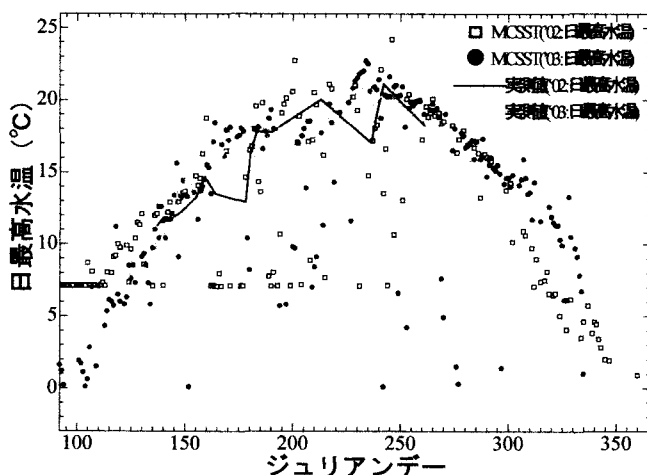


図-7 MCSSTとグランドトリスデータの比較

4. 水温異常値削除のための検討

4.1 雲・陸域検出フローチャートの閾値

MCSSTによる計算の温度幅は256階調である。2002年4月上旬の水温は、実測値などから考えて7°C以下と推定されるが、温度幅の設定値が7～32.5°Cと不適切であった。そのため、図-7から2002年4月上旬の7°C付近の計算値を削除した。

次に、5月～9月の夜間に10°C以下の値が多く見られたが、これは低い位置の雲やガスの温度だと思われる。そこで、図-2のフローチャートにおける式(2)の閾値を、変える事により低い値の除去を試みた。

表-1 雲・陸域検出フローチャートにおける閾値の検討

		ch3-ch4=-1.5				ch3-ch4=-1.0							
No.	受信状況(JST)	min	mean	max	pix	min	mean	max	pix				
1	2003年9/11. 20:36. n17	18.7	19.3	19.8	71	18.7	19.3	19.8	71				
2	2003年9/14. 4:54. n12	*	*	*	0	*	*	*	0				
3	2003年9/14. 21:08. n17	18.7	19.1	19.5	42	18.7	19.1	19.5	42				
4	2003年9/15. 4:30. n12	5.9	6.3	6.3	2	*	*	*	0				
5	2003年9/20. 4:08. n12	18.3	18.8	19.6	22	18.3	18.8	19.6	22				
6	2003年9/21. 5:24. n12	6.8	10	18.2	8	7.1	11	18.2	6				
7	2003年9/23. 4:35. n12	17.3	18	18.7	50	17.3	18	18.7	50				
8	2003年9/23. 21:05. n17	17.2	17.7	18.1	57	17.2	17.7	18.1	57				
9	2003年9/24. 4:10. n15	17.6	18	18.4	43	17.6	18	18.4	43				
10	2003年9/24. 18:03. n15	17.2	17.8	18.2	39	17.2	17.8	18.2	39				
11	2003年9/24. 20:42. n17	16.8	17.5	17.9	49	16.8	17.5	17.9	49				
12	2003年9/26. 17:16. n15	3.8	5.7	7.8	34	3.8	5.7	7.8	33				
13	2003年9/28. 1:42. n16	1.5	2	2.6	5	1.5	2	2.6	5				
		ch3-ch4=-0.5				ch3-ch4=-0.1				ch3-ch4=0			
No.		min	mean	max	pix	min	mean	max	pix	min	mean	max	pix
1		18.8	19.3	19.7	43	*	*	*	0	*	*	*	0
2		*	*	*	0	*	*	*	0	*	*	*	0
3		18.7	19.1	19.5	42	18.7	19.1	19.5	42	18.7	19.1	19.5	26
4		*	*	*	0	*	*	*	0	*	*	*	0
5		18.3	18.8	19.6	22	18.3	18.8	19.6	22	18.3	18.8	19.6	22
6		7.8	13	18.2	4	7.8	13	18.2	4	7.8	13	18.2	4
7		17.3	18	18.7	48	17.3	18	18.5	41	17.3	17.9	18.5	35
8		17.2	17.7	18.1	57	17.2	17.6	18	18	17.9	17.9	18	2
9		17.6	18	18.4	35	17.6	18	18.2	19	17.6	17.9	18.2	11
10		17.2	17.8	18.2	39	17.2	17.8	18.2	37	17.2	17.8	18.2	25
11		16.8	17.5	17.9	49	*	*	*	0	*	*	*	0
12		4.2	6.3	7.8	14	*	*	*	0	*	*	*	0
13		1.5	2	2.6	5	*	*	*	0	*	*	*	0

$$\frac{1}{9} \sum_{i=1}^8 (ch3, i - ch4, i) < -1.5^{\circ}C \quad \dots \dots \dots (2)$$

式(2)は、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°Cより小さいとき、中心画素は雲または陸域とするものである。

Terascanでのデフォルト値は0°Cとなっており、現在の閾値である-1.5°Cとの間に最適な値があると考えた。そこで試験的に2003年9月の夜間13個のデータについて閾値を-1.5°C～0°Cの間5パターンについて計算した。その結果を表-1に示す。

これによると、閾値(雲域の検出力)を大きくするにしたがって、確実に異常値を減らす事ができることがわかった。しかし、表-1のNo.1に顕著に現れているように、正常値も雲域と判定し除去してしまう事もある。これでは、良い水温データを多く失ってしまう恐れがあるので、安易に閾値を変更できないとの結論に至った。

4. 2 下部管理限界線による異常値削除

品質管理に使われている管理図を用いるために、水温実測値の管理限界線を設定し、それより外に出た MCSST の値を異常値とし削除することにした。

あるジュリアンデー j における日平均水温 T_j が正規分布 $N(\mu_j, \sigma_j^2)$ に従うと仮定する。平均値 μ_j と標準偏差 σ_j は、サロマ湖養殖漁業協同組合の図-6 の st.22 における、水深 3m の 1987~2002 年までの 16 年間の日平均水温のデータから求めた。また、毎日の T_j が 16 年分あるわけではなく、 T_j が得られる年数を n_j とする。

$$\left. \begin{aligned} \mu_j &= \sum_{i=1}^{n_j} T_{ji} / n_j \quad (n_j \leq 16) \\ \sigma_j &= \left[\sum_{i=1}^{n_j} T_{ji}^2 / n_j - (\mu_j)^2 \right]^{1/2} \end{aligned} \right\} \dots\dots (3)$$

異常値の限界として、

$$\left. \begin{aligned} 3\sigma \text{法} : \mu_j - 3\sigma_j &\leq T_j \leq \mu_j + 3\sigma_j \\ 2\sigma \text{法} : \mu_j - 2\sigma_j &\leq T_j \leq \mu_j + 2\sigma_j \\ 1\sigma \text{法} : \mu_j - \sigma_j &\leq T_j \leq \mu_j + \sigma_j \end{aligned} \right\} \dots\dots (4)$$

を考える。この方法をそれぞれ 3, 2, 1 σ 法といい $\mu_j - \alpha\sigma_j$ を下部閾値、 $\mu_j + \alpha\sigma_j$ を上部閾値とする。この異常値判定結果を図-8 に示す。

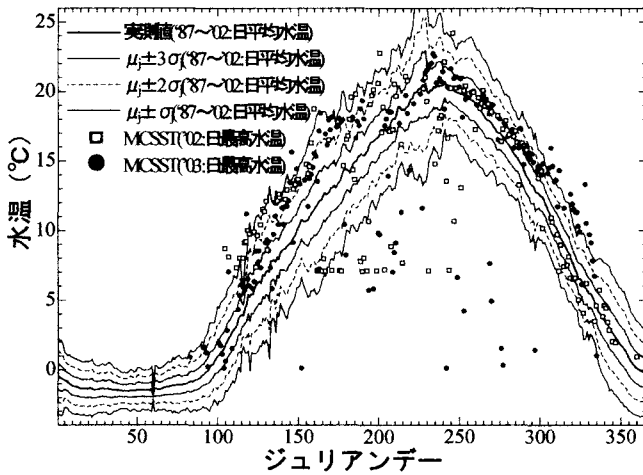


図-8 異常値判定結果

今回は、低い値を削除するという目的なので下部閾値だけを使用する。次に 1~3 σ 法の中でどの閾値が適しているか決定するため、平均値に対する相対的な散らばりの大きさを示すグラフを作成し、図-9 に示す。

グラフ内の β はサロマ湖内の 2003 年水温実測値の空

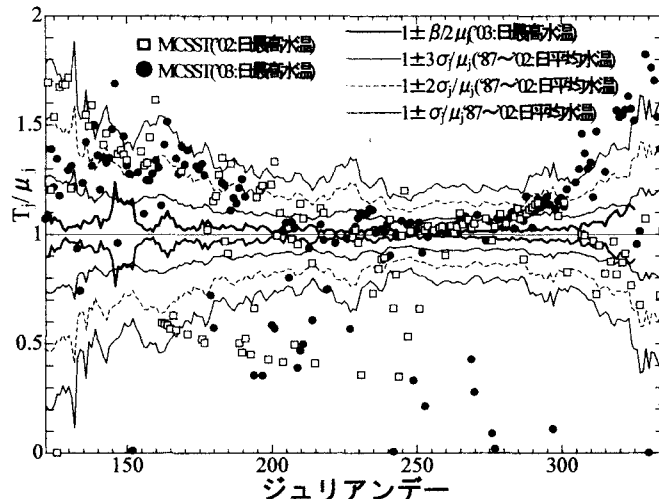


図-9 日平均水温の平均値に対する変動

間変化を表していて、図-6 に示すブイ 1~ブイ 4 の日最高水温の最大差である。

このグラフから、サロマ湖内の水温の空間変化は、2 σ 法の範囲内に入っている事がわかった。なお、異常値となる水温は実測値と比べるとかなり低い値で、正常値を多く残したいので、3 σ 法を使うことにする。最後に、3 σ 法の下部閾値により MCSST の異常値を削除したグラフを図-10 に示す。

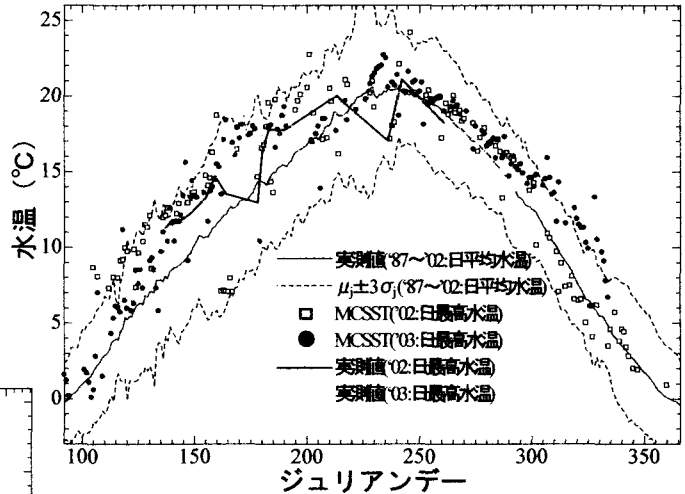


図-10 3 σ 法で異常値削除後の MCSST と実測値

5. 結果と考察

(1) MCSST の精度

MCSST 計算値と実測値が同一の日に得られた日数について、2002 年は、3 σ 法による修正前で 9 日、修正後で 7 日あった。2003 年については修正前で 160 日、修正後で 140 日あった。これらについて、MCSST 計算値の実測値に対する RMS(Root Mean Square)誤差を求めた。

その結果、3 σ 法で修正することにより、2002 年は 5.0 $^{\circ}$ C から 2.7 $^{\circ}$ C に、2003 年は 4.4 $^{\circ}$ C から 1.4 $^{\circ}$ C となり、RMS 誤差を大きく下げる結果となった。これにより、修正後の MCSST は実測値に近い傾向を示している。

(2) 今後の展開

今回使った 3 σ 法の下部閾値をテーブルとし、MCSST を算出した後に、サロマ湖内でそのテーブルの値より低い値が出たとき、異常値(雲画素)と判定しその値を削除する。そのような処理をスクリプトに新たに追加して、MCSST の水温推定を行い、より正確な水温データをホームページ上に公開していきたいと思う。

謝辞

サロマ湖養殖漁業協同組合の前川さんには貴重な水温データを提供して頂いた。また、平成 15 年度科学研究費補助金(特別研究員奨励費 02334)の助成を受けた。記してここに感謝の意を示す。

参考文献

- 1) SeaSpace Corp. : TeraScan2.6 Reference Manual , SeaSpace Corp. , Vol.1 , pp.328-331 , 1995.
- 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.