

# NOAA/AVHRR と現地データを用いたサロマ湖の高精度水温推定

Estimation of more accurate water temperature in Lake Saroma using NOAA/AVHRR and ground truth data

北見工業大学大学院 ○学生員 大津 将則 (Masanori Ootsu)  
 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 中尾 隆志 (Takashi Nakao)

## 1. はじめに

平成7年に本学に設置された衛星画像受信装置を用いて、本研究室では NOAA/AVHRR データの受信、及び Orbview2/SeaWiFS データの受信保存を行っている<sup>1)</sup>。北海道東部に位置するサロマ湖は面積 150km<sup>2</sup> と我が国で3番目に大きい湖で、ホタテやカキの養殖が盛んである。しかし、富栄養湖に分類され水質は近年悪化の傾向を示している。例えば、夏季の高水温期には有機物分解のために酸素が消費され、底層付近に貧酸素域が出現することもあり、平成10年には赤潮が発生している。

水質問題解決のためには、まず正確な水温のモニタリングが必要である。海面水温計算アルゴリズムとして一般に用いられている MCSST (多チャンネル海面温度) 法は全球に対して経験的に係数を定めている (Global な係数)<sup>2), 3)</sup>。しかし、この係数は局地的に見た場合、より水温計算精度の高い係数が考えられる。そこで、本研究では、サロマ湖のグランドトゥルスデータを用い、Local な係数を求め、サロマ湖の水温計算精度を上げることを目的とする。

## 2. 修正 MCSST 計算アルゴリズム

NOAA/AVHRR の赤外域 3 チャンネルデータを用いて、大気補正を行い、海面温度を求める MCSST アルゴリズムとして、TeraScan でサポートされているスプリットウィンドウ法は次式である。

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

ここに、SST: 海面温度, ch. 4, ch. 5: チャンネル 4, 5 の輝度温度, sza: 衛星天頂角, A~E: NOAA の号数と観測時刻が昼か夜かで決められている経験定数。

(1) 式は、SST を目的変数として ch. 4, (ch. 4-ch. 5), (ch. 4-ch. 5) (sec(sza)-1), (sec(sza)-1) を説明変数とする重回帰式と見ることができる。

そこで本研究では、NOAA-12, 15, 16, 17 号で測定された ch. 4, ch. 5, sza と、サロマ湖のグランドトゥルスデータを用いて、Fortran での重回帰分析を行なう。

## 3. サロマ湖への適用

図-1にサロマ湖のMCSSTデータの画素配列と観測地点を示す。黒が陸域で、白が水域である。水温実測値の観測地点①, ②, ③, ④はサロマ湖養殖組合のブイ観測地点である。重回帰分析に用いる画素は、4観測地点を含む画素とその画素に隣接する8画素のうち水温実測値に一番近いGlobal水温計算値が得られている画素とする。その画素のch. 4, ch. 5, szaデータと水温実測値を用いて重回帰分析を行った。図-1はNOAA-17号のMCSSTデータであり、数値の入った網かけの画素が採用する画素である。\*\*\*は雲の影響で水温計算値が得られなかった画素である。データ収集期間は、2003年4月8日から8月31日までである。

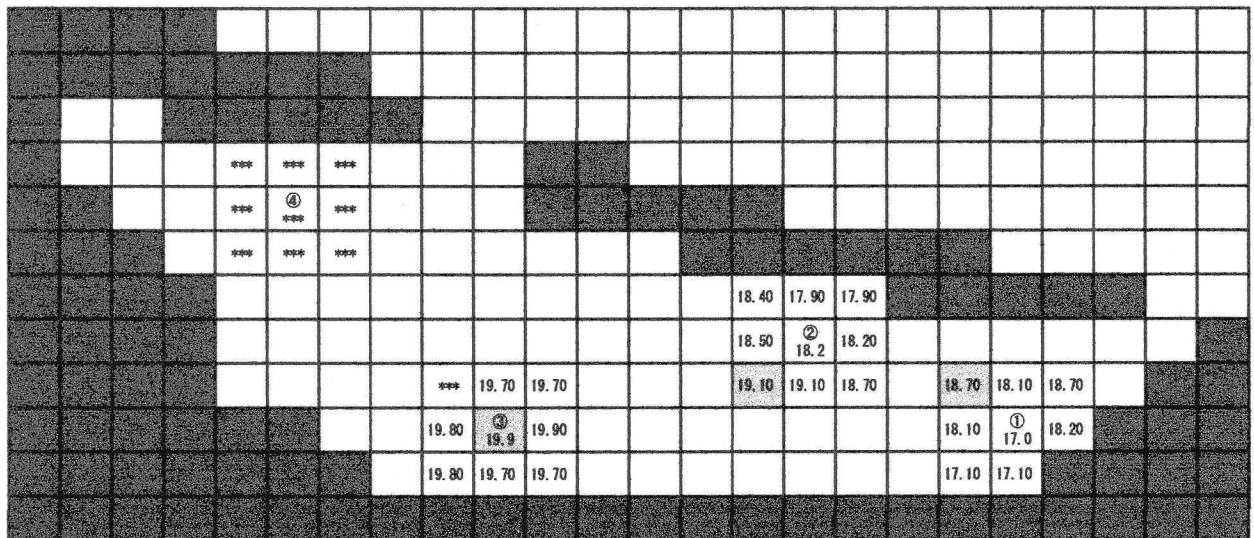


図-1 4ヶ所の水温観測地点①~④と隣接する画素のGlobal水温計算値 (NOAA-17 2003年8月21日 21:51)

データ収集に隣接する画素も含めたのは、観測地点を含む画素だけではデータ数が少なく、データ数を増やすためである。また重回帰分析を行なう際にデータの組数が多い方が良いためである。しかし、Global 水温計算値には雲の影響を除去しきれず異常値を示すものもある。そこで品質管理に使われている3 $\sigma$ 法<sup>4)</sup>により水温実測値との誤差が大きいものを3 $\sigma$ , 2 $\sigma$ , 1 $\sigma$ の3パターンに分けて削除した。

本研究室で受信している NOAA-12, 15, 16, 17 号についてデータ収集を行い、水温異常値検出の3パターンとそれぞれ昼と夜の組み合わせ 4 $\times$ 3 $\times$ 2=24 パターンについてサロマ湖に適用されるA~EのLocal 経験定数の計算を行なった。

#### 4. 水温計算結果

重回帰分析を行なった結果の一部を表-1に示す。得られたA~Eの係数をLocal 係数、この係数を使って求めた水温計算値をLocal MCSSTと呼ぶ。

表-1は、NOAA-12, 15, 16, 17号について重相関係数、重回帰式の検定、偏回帰係数の検定結果である。それぞれのパターンでの重相関係数は0.891~0.999と高く、重回帰式の検定では1, 5%有意であるという結果が得られた。偏回帰係数の検定では、係数AはNOAA-16号の昼間を除いて全て1%有意でありLocal MCSSTの計算に役立っているが係数B,Cは有意な場合と有意でない場合がある。

表-1 重回帰分析の検定

NOAA号数	昼か夜	異常水温の閾値	データ数	重相関係数	重回帰式の検定	偏回帰係数の検定		
						A	B	C
NOAA-12	DAY	1 $\sigma$	50	0.9554	1%有意	1%有意	5%有意	有意でない
		2 $\sigma$	59	0.9219	"	"	有意でない	"
		3 $\sigma$	62	0.8909	"	"	5%有意	"
	NIGHT	1 $\sigma$	33	0.9786	1%有意	1%有意	有意でない	5%有意
		2 $\sigma$	42	0.9637	"	"	5%有意	"
		3 $\sigma$	54	0.9408	"	"	"	1%有意
NOAA-15	DAY	1 $\sigma$	87	0.9542	1%有意	1%有意	5%有意	有意でない
		2 $\sigma$	88	0.9551	"	"	有意でない	"
		3 $\sigma$	90	0.9388	"	"	"	"
	NIGHT	1 $\sigma$	16	0.9598	1%有意	1%有意	有意でない	有意でない
		2 $\sigma$	17	0.9555	"	"	"	"
		3 $\sigma$	17	0.9555	"	"	"	"
NOAA-16	DAY	1 $\sigma$	6	0.9998	1%有意	有意でない	有意でない	有意でない
		2 $\sigma$	6	0.9998	"	"	"	"
		3 $\sigma$	7	0.9632	5%有意	"	"	"
	NIGHT	1 $\sigma$	83	0.9655	1%有意	1%有意	5%有意	1%有意
		2 $\sigma$	100	0.9559	"	"	有意でない	"
		3 $\sigma$	104	0.9498	"	"	"	"
NOAA-17	DAY	1 $\sigma$	21	0.9905	1%有意	1%有意	1%有意	有意でない
		2 $\sigma$	21	0.9905	"	"	"	"
		3 $\sigma$	21	0.9905	"	"	"	"
	NIGHT	1 $\sigma$	86	0.9569	1%有意	1%有意	有意でない	5%有意
		2 $\sigma$	108	0.9603	"	"	"	"
		3 $\sigma$	111	0.9587	"	"	"	"

表-2 修正水温計算の係数と誤差

		データ数	A				B				C				D				E				RMS error (°C)
			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R			
NOAA-12	DAY (Global)	62	0.963563	2.57921	0.242598	0.0	0.1910000	2.17															
		1 $\sigma$	50	0.862168	1.05769	-1.320005	0.0	3.0084653	1.15														
		2 $\sigma$	59	0.854126	0.94649	1.164903	0.0	3.2134352	1.61														
		3 $\sigma$	62	0.809865	1.19986	1.779688	0.0	3.4756761	1.91														
		NIGHT (Global)	54	0.967077	2.38438	0.480788	0.0	0.2170000	2.87														
			1 $\sigma$	33	0.982523	-0.07717	1.687930	0.0	2.7595551	1.17													
	2 $\sigma$		42	1.074295	-2.31289	1.534418	0.0	4.9088268	1.50														
	3 $\sigma$		54	1.074432	-2.16283	1.870876	0.0	5.1495843	1.76														
	NOAA-15		DAY (Global)	90	0.959456	2.66358	0.570613	0.0	1.0450000	1.77													
				1 $\sigma$	87	0.882909	1.12299	2.215274	0.0	2.6951692	1.37												
		2 $\sigma$		88	0.886000	1.09054	2.226222	0.0	2.6950665	1.36													
		3 $\sigma$		90	0.873444	1.06472	2.585590	0.0	2.9382524	1.57													
NIGHT (Global)		17		0.993892	2.75235	0.662999	0.0	0.0840000	2.26														
		1 $\sigma$		16	0.719082	2.91780	-0.709000	0.0	2.8327763	1.26													
		2 $\sigma$	17	0.706560	2.79502	-0.833139	0.0	3.1650953	1.30														
		3 $\sigma$	17	0.706560	2.79502	-0.833139	0.0	3.1650953	1.30														
		NOAA-16	DAY (Global)	7	0.999317	2.30195	0.628966	0.0	-0.8065610	2.32													
				1 $\sigma$	6	1.024926	1.33758	3.172904	0.0	-0.7080310	0.08												
2 $\sigma$				6	1.024926	1.33758	3.172904	0.0	-0.7080310	0.08													
3 $\sigma$				7	0.536310	4.47991	2.229677	0.0	2.2821820	1.13													
NIGHT (Global)	104			0.995050	2.53655	0.753291	0.0	-1.3520930	1.99														
	1 $\sigma$			83	0.947559	0.81096	0.667111	0.0	2.0403175	1.08													
	2 $\sigma$		100	0.974082	0.22846	0.884499	0.0	2.6038537	1.34														
	3 $\sigma$		104	0.992770	-0.20077	1.085777	0.0	2.9529715	1.43														
	NOAA-17		DAY (Global)	21	0.992818	2.49916	0.915103	0.0	-0.0177633	1.11													
				1 $\sigma$	21	0.826541	4.05201	-1.846087	0.0	0.0184700	0.70												
2 $\sigma$				21	0.826541	4.05201	-1.846087	0.0	0.0184700	0.70													
3 $\sigma$				21	0.826541	4.05201	-1.846087	0.0	0.0184700	0.70													
NIGHT (Global)		111		1.010150	2.58150	1.000540	0.0	-0.6675275	2.15														
		1 $\sigma$		86	0.976884	0.17743	0.915755	0.0	2.5452549	1.30													
		2 $\sigma$	108	0.987557	-0.14995	0.998518	0.0	2.8776374	1.33														
		3 $\sigma$	111	0.969410	-0.09042	0.952699	0.0	3.0691540	1.35														

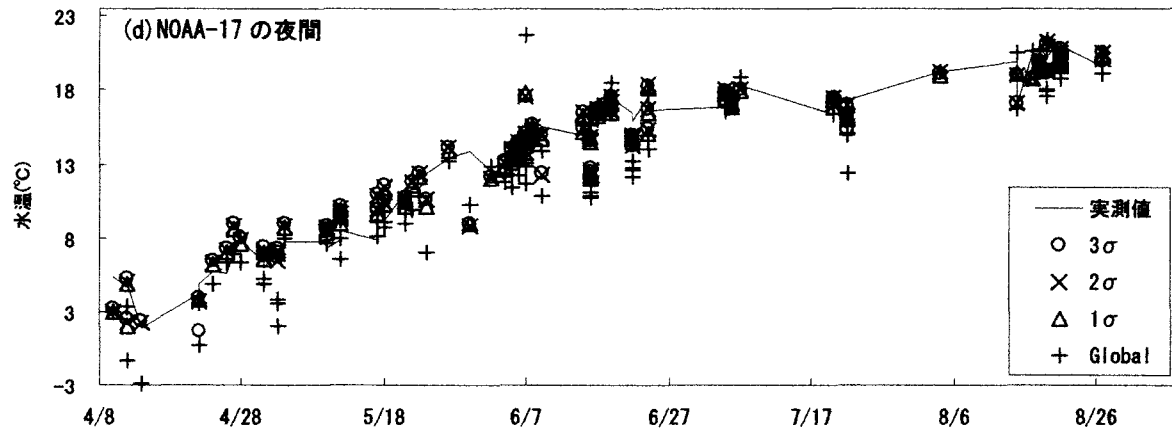
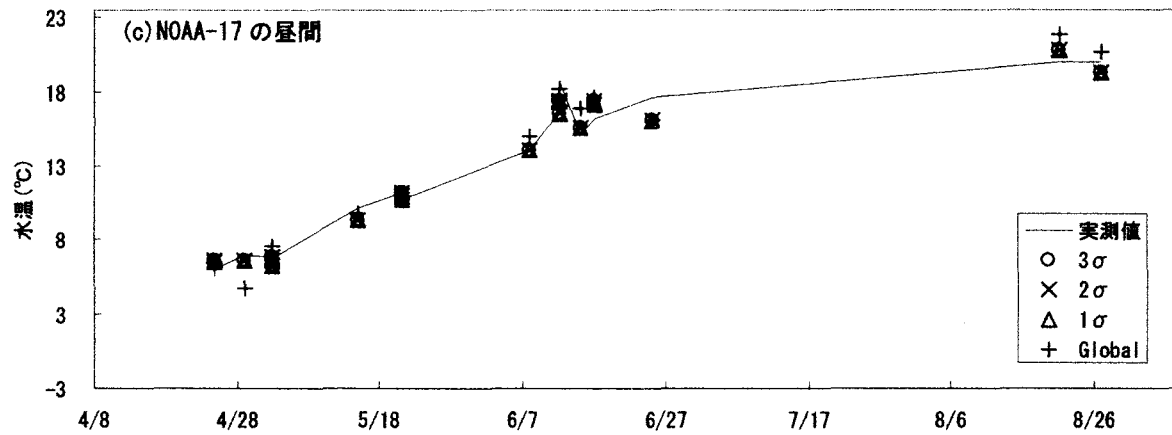
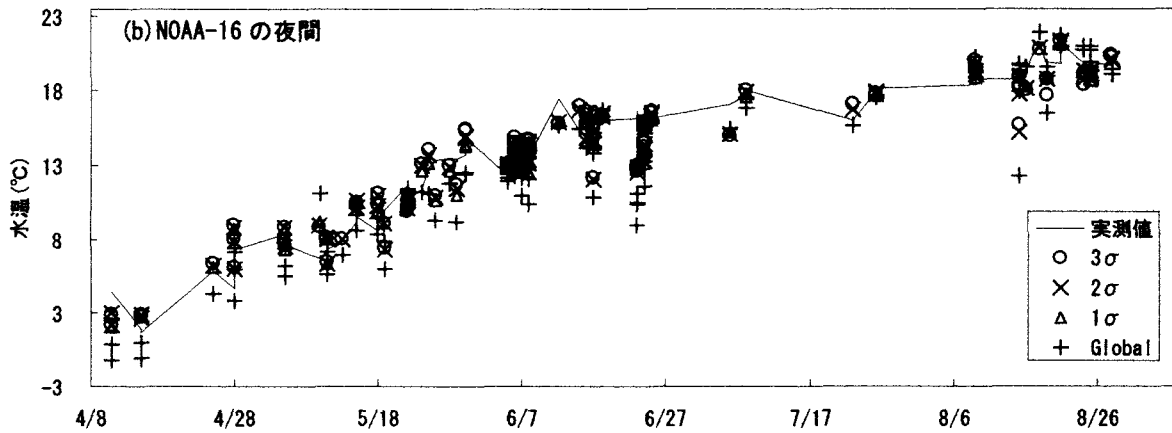
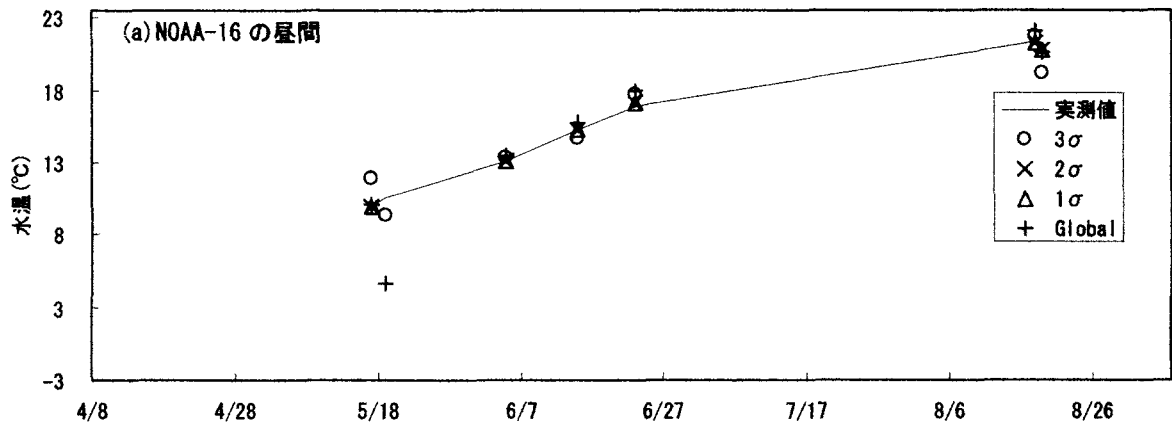


図 - 2 水温実測値と各係数による水温計算値の比較

表-2 は, Fortran で求めた各 NOAA の 8 パターンの計算結果と誤差をまとめたものである。係数 A, B は大気中の水蒸気の影響を補正するためのものである。係数 C は衛星と観測地点との光路長による誤差を補正するものである。仮に大気がないとした場合は (1) 式の第一項のみが水温計算に用いられる。すなわち, 係数 A は 1 に近くなる。表-2 より係数 A は NOAA-16 号の昼間の  $3\sigma$  以外は 1 に近い値となった。係数 B, C, E については, Global 係数と比較すると大きく異なっている。一般に誤差評価に用いられている RMS (Root Mean Square) error を見ると, NOAA の号数, 昼間, 夜間に関わらず Global 係数での RMS error が一番大きく, 順に  $3\sigma$ ,  $2\sigma$ ,  $1\sigma$  と小さくなっていく。

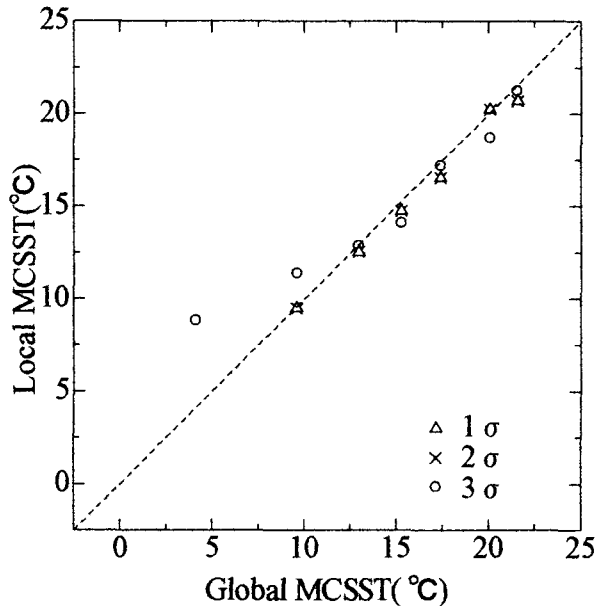


図-3 Global 係数と Local 係数による水温計算値の比較 (NOAA-16 号の昼間)

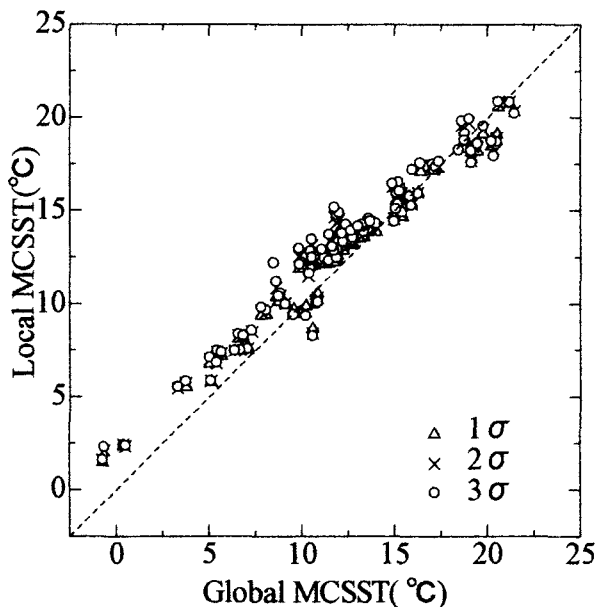


図-4 Global 係数と Local 係数による水温計算値の比較 (NOAA-16 号の夜間)

図-2 は, NOAA-16, 17 号の昼間, 夜間の水温実測値と各係数による水温計算値の比較である。この図より, 特徴的なことは水温が低い場合は修正後の水温は Global MCSST より水温実測値に近く, 係数の修正がうまくいったといえる。Global 係数が他の Local 係数での水温計算値より実測値から一番離れており, 誤差が大きい事がわかる。

図-3, 4 は, Global 係数と Local 係数による NOAA-16 号の昼間と夜間の水温計算値の比較である。図-2 と同様に, 水温が低い場合に Global MCSST は Local MCSST より小さくなる傾向がある。45° 直線に分布すれば, 修正が不要であることを意味する。他の NOAA-12, 15, 17 号の Global 係数と Local 係数の比較についても同じような傾向が見られる。

## 5. 結論

本研究で得られた結果を要約すると次のようになる。

- (1) 各 NOAA の昼間, 夜間ともに Global 係数より Local 係数を用いて水温計算を行なったほうがより水温実測値に近づけることができた。
- (2)  $3\sigma$  法により, Global MCSST と水温実測値の差が大きい異常値データを減らして係数計算をすると,  $3\sigma$ ,  $2\sigma$ ,  $1\sigma$  の順に RMS error は小さくなり, 水温計算の精度は上がる。
- (3) 水温が  $5^{\circ}\text{C}$  以下では Global MCSST は Local MCSST より低すぎ,  $10^{\circ}\text{C}$  以上では Global MCSST と Local MCSST の差はほとんどない。

データ数が少なかった NOAA-15 号の夜間と NOAA-16, 17 号の昼間については, データ数を増やして再度計算を行ないたい。また, 今回得られた各 Local 係数を使って今後計算する水温計算値が水温実測値に近づくかどうか見ていき, 精度が悪くであれば係数 A~E の再計算を行い, 良ければ今回得られた係数を使ってホームページ公開用のサロマ湖, 網走湖の水温計算を行なっていきたい。

## 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いただいた。記してここに感謝の意を示す。

また本研究は, 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。ここに感謝の意を示します。

## 参考文献

- 1) 榎本浩之, 佐渡公明: 研究室紹介, 北見工業大学土木開発工学科寒冷地工学講座, 日本リモートセンシング学会誌, Vol. 20 No. 4, pp. 111-112, 2000.
- 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温度, 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.: TeraScan 2.6 Reference Manual Vol. 1, pp. 328-331, SeaSpace Corp., 1995.
- 4) 清水洋平, 佐渡公明: NOAA/AVHRR データによるサロマ湖の水温モニタリング, 土木学会北海道支部論文報告集, 第 60 号, 2004(投稿中).