

Landsat ETM+データと同時観測データによる2002年9月2日の諏訪湖の水質

柳町晴美¹・高木直樹²・花里孝幸¹・朴 虎東³

¹信州大学山地水環境教育研究センター・²信州大学工学部・³信州大学理学部

Water quality investigation using Landsat ETM+ data and the simultaneous observation data in Lake Suwa on September 2, 2002

Harumi Yanagimachi¹, Naoki Takagi², Takayuki Hanazato¹, Ho-Dong Park³

¹Research and Education Center for Inlandwater Environment, Shinshu University

²Faculty of Engineering, Shinshu University, ³ Faculty of Science, Shinshu University

キーワード： 諏訪湖, アオコ, 水質, Landsat ETM+

keywords: Lake Suwa, *Microcystis*, water quality, Landsat ETM+

1. はじめに

諏訪湖は、湖周辺域に人口が集中しているために、少なくとも1900年代初頭から人為的な富栄養化が進み、高度経済成長期以降、特に1970年代から1980年代初めに富栄養化がピークに達した。原因は主に未処理の農業排

水、生活排水が流入したためであった。富栄養化がピークであった1970年代を中心に、アオコ (*Microcystis*) も頻繁に発生した。アオコには毒素 (*microcystin*) が含まれるために (Park et al., 1998, 朴ほか2001など)、アオコの発生は、湖水が流出する天竜川流域環境にも影

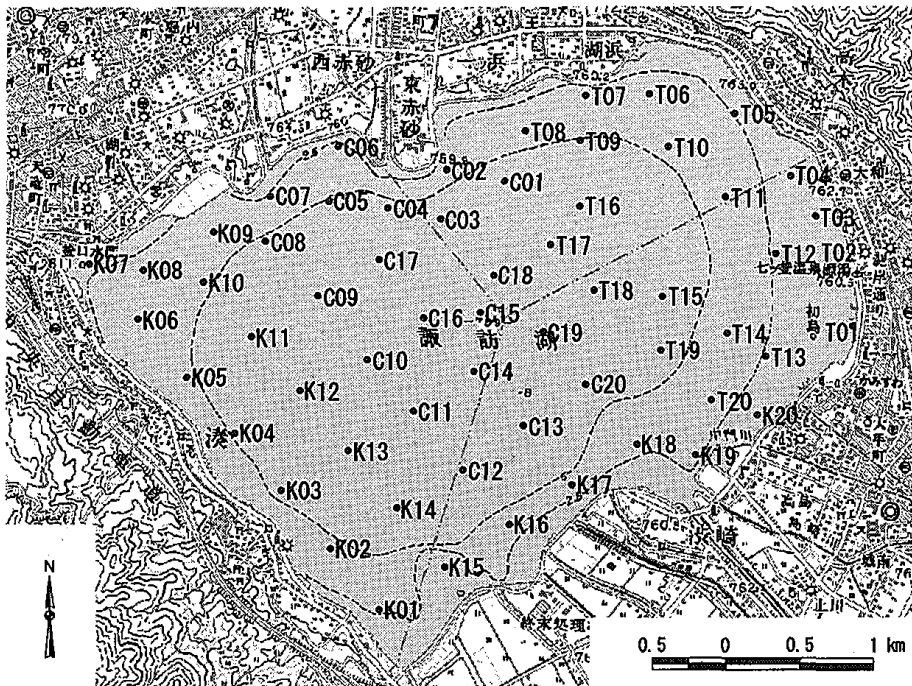


図1 諏訪湖の水質調査測点 (5万分の1地形図上)

Fig.1. Survey points in Lake Suwa shown on the 1:50,000 topographic map.

表1 諏訪の気象データ(2002年9月2日)
Table 1. Meteorological data at Suwa observation station.
(Sep. 2, 2002). (36° 02.6' N, 138° 06.7' E)

Time (JST)	Air temp. (°C)	Wind direction	Wind speed (m/s)	Sunshine duration (h)
8:00 AM	20.5	NNW	1.1	1.0
9:00 AM	22.4	NNW	1.3	1.0
10:00 AM	24.7	WNW	1.7	1.0
11:00 AM	26.5	NW	3.1	1.0

表3 水質データの要約統計量
Table 3. Summary statistics of water quality data.

	SS(mg/l)	Chl-a(μg/l)	Trans.(cm)	W.T.(°C)
Max	28.7	105.2	105.0	27.7
Min	8.0	27.3	55.0	24.6
Mean	13.2	54.1	82.9	25.8
S.D.	4.1	16.5	13.2	0.5
N	58	59	58	59

T01, C20(SS), K15(Trans.)は計算から除外した。
T01, C20(SS) and K15(Trans.) are excluded from the calculations.

表4 Landsat ETM+ DN値の要約統計量
Table 4. Summary statistics of Landsat ETM+ DN's.

	B1	B2	B3	B4	B5	B7	B61	B62
Max	73	52	43	38	39	28	138	163
Min	55	38	25	9	4	5	130	149
Mean	59.8	42.4	29.8	11.1	9.6	9.0	132.2	152.3
S.D.	1.3	1.2	1.4	1.4	1.3	1.3	0.8	1.3

N=13105

B61, B62はそれぞれバンド6のロウゲインとハイゲインに相当する。
B61 and B62 correspond with low gain and high gain of band 6 respectively.

表5 水質データとDN値との相関係数
Table 5. Correlation coefficients between water quality data and DN's.

	SS	Chl-a	Trans.	W.T.
SS	1.000			
Chl-a	0.938 **	1.000		
Trans.	-0.295	-0.333	1.000	
W.T.	-0.502 **	-0.486 **	0.514 **	1.000
B1	0.339 **	0.329	0.050	-0.203
B2	0.301	0.287	-0.088	-0.338 **
B3	0.369 **	0.345 **	-0.144	-0.218
B4	-0.011	-0.030	-0.173	0.356 **
B5	0.301	0.221	-0.310	-0.158
B7	0.196	0.203	-0.131	-0.025
B61	0.110	0.037	-0.208	-0.051
B62	0.070	-0.014	-0.194	0.012

** : significant at 0.01 significant level.

T01, C20(SS), K15(Trans.)は計算から除外した。

T01, C20(SS) and K15(Trans.) are excluded from the calculations.

響する懸念を含んでいる。その後、流域下水道の整備が行われ、下水処理施設の建設(1981年)により、諏訪湖は次第に浄化が進んだが、2000年には広範囲なアオコの

発生が見られた。

諏訪湖の水質は、1900年初頭から陸水学者により度々調査されてきた。1977年以降、信州大学山地水環境教育

研究センター(旧理学部諏訪臨湖実験所)が、また、1972年以降、長野県諏訪保健所が定期的に諏訪湖の水質を調査しており、諏訪湖の水質変遷を知る貴重な資料となっている(沖野・花里, 1997)。これらのデータは、湖の定点(1地点ないし3地点)における観測データであるため、湖全域における2次元的な水質の把握にはやや困難がある。

湖全域の調査は、渡辺ほか(1982)が、水質と微生物の水平分布を44地点において行っている例などがある。このような全域調査は、多くの人員を要し手間がかかるために、定期的には実施されていない。

諏訪湖では、風速2m前後の風では湖の北側に反時計回りの微弱な湖流(環流)が、南側にはその反転流的な時計回りの湖流のあることが推測されている(沖野, 2002など)。アオコ発生時にはアオコが風で風下に吹き寄せられる状況が観察される。諏訪湖周辺には温泉が湧出しており、流入河川も多いために、諏訪湖内でも水温に違いがあることが推測される。また、終末処理場で処理された排水は、諏訪湖内の釜口水門近くで湖に放流されているが、こうした排水の影響調査には2次元的な水質の把握が必要となる。諏訪湖の水質分布への湖流、風、河川、下水などの影響を俯瞰的に捉え、水質分布の経年的な変化を把握するには、広域性、反復性という特徴を持つ衛星リモートセンシングデータは有効であると考えられる。

アオコ発生時の平面的な分布を衛星データから解析するためには、植物プランクトン現存量の指標としてのクロロフィルa濃度と衛星データDN値(デジタルナンバー)との関係を把握する必要がある。

衛星データから水質を推定する研究は、霞ヶ浦、宍道湖、東京湾などで行なわれている(安岡・宮崎, 1985, 田中ほか, 1990, 作野ほか, 1998, 1999a, 1999b, 2001, 中山ほか, 1999)。衛星データからクロロフィルa濃度推定のためには、重回帰分析などの統計的手法を用いた研究が行なわれている。宍道湖においてSPOT HRVデータからの表層クロロフィルa濃度推定には、衛星データに含まれるオフセット値を現場データにより適切に除去することが必要と指摘されている(作野ほか, 2001)。Landsat TMバンド4と1の重回帰式によるクロロフィルa濃度の推定は、調査日毎に回帰係数が異なっているのでTMデータ単独での推定は難しいが相対的な推定に

は有効である(水尾ほか, 1998)。いずれも衛星と同期した水質データにより、精度の高い推定を可能とする。

本研究では、衛星データから平面的な水質データを推定するための基礎的な研究として、諏訪湖においてLandsat EMT+と同期した水質データを観測し、Landsat EMT+データと水質データとの関連を分析した。

2. 方法

2-1. 水質調査

2002年9月2日のLandsat-7号通過日に、通過時刻に合わせて、3隻の観測船(C, K, Tコース)により、同時にそれぞれ20測点(C01~C20, K01~K20, T01~T20)において観測・採水した(図1)。水質調査測点は予め地形図上で設定し、舟を移動後、実際の測点においてGPSにより位置を計測した。C・Kコースで使用したGPS(Garmin社eTrex)の位置精度は15m RMS、Tコースで使用したGPS(SONY IPS-360)の位置精度は30~100m(いずれもカタログ値、IPS-360のカタログ値は1999年以前)である。Tコース用GPSの位置精度が悪いが、2000年5月以降アメリカによるSA信号(軍事目的のスクランブル信号)が解除されたため、カタログ値よりも精度が向上していると推測される。

観測・分析項目は、懸濁物質(以下ではSS)、クロロフィルa濃度(以下ではChl-a)、透明度(Trans.)、水温(W.T.)である。観測・分析は表層水について行った。

水質調査所要時間は、Cコース1時間13分、Kコース1時間9分、Tコース1時間47分である。C・Kコースは1時間強であったが、TコースではGPSによる位置計測に時間がかかり2時間弱となった。衛星通過時刻は午前10時10分であったので、水質データは衛星通過時刻よりも前に観測・採水したものが多(表2)。

SSは、適量の試水を秤量済みのグラスファイバーフィルター(Whatman GF/C)にて濾過し、フィルター上の物質を乾燥(100°C, 24時間)した後再び秤量し、濾過後と濾過前の重量の差から求めた。

Chl-aは、適量の試水をグラスファイバーフィルター(Whatman GF/C)にて濾過し、フィルター上の物質を100%メタノールで抽出後、分光光度計を用いてMarker et al. (1980)に従って測定、算出した。

表2 諏訪湖の水質データ (2002年9月2日)
Table 2. Observed water quality data in Lake Suwa (September 2, 2002).

Station	Time JST	Longitude			Latitude			SS (mg/l)	Chl- <i>a</i> (μ g/l)	Trans. (cm)	W.T. ($^{\circ}$ C)
		deg	min	sec	deg	min	sec				
C01	8:45	138	5	19.3 E	36	3	19.0 N	16.4	62.3	75	25.6
C02	8:49	138	5	3.5 E	36	3	21.1 N	18.2	66.2	75	25.6
C03	8:53	138	5	2.3 E	36	3	10.4 N	16.9	65.6	81	25.7
C04	8:56	138	4	48.1 E	36	3	12.4 N	26.3	100.6	81	25.8
C05	9:00	138	4	32.0 E	36	3	13.6 N	13.4	52.6	83	25.8
C06	9:04	138	4	34.1 E	36	3	25.6 N	15.6	56.5	97	25.6
C07	9:08	138	4	16.3 E	36	3	14.3 N	18.5	70.8	87	25.7
C08	9:12	138	4	15.4 E	36	3	4.3 N	19.1	77.9	95	25.7
C09	9:16	138	4	30.0 E	36	2	52.6 N	11.9	56.5	100	25.6
C10	9:20	138	4	43.8 E	36	2	39.1 N	11.4	51.9	100	25.8
C11	9:23	138	4	56.8 E	36	2	28.1 N	14.3	61.0	101	25.9
C12	9:26	138	5	10.6 E	36	2	15.4 N	13.1	57.8	100	26.1
C13	9:30	138	5	26.6 E	36	2	25.4 N	19.1	80.5	89	25.9
C14	9:34	138	5	12.5 E	36	2	37.3 N	12.4	50.0	98	26.5
C15	9:38	138	5	13.9 E	36	2	50.0 N	10.9	46.8	93	26.0
C16	9:41	138	4	58.7 E	36	2	48.7 N	11.6	50.6	96	25.9
C17	9:45	138	4	46.0 E	36	3	1.0 N	10.0	42.9	105	26.0
C18	9:50	138	5	17.0 E	36	2	58.4 N	10.1	44.8	100	26.1
C19	9:54	138	5	30.9 E	36	2	46.2 N	9.5	42.2	98	26.3
C20	9:58	138	5	43.2 E	36	2	35.0 N	no data	37.0	93	26.4
K01	8:54	138	4	49.2 E	36	1	44.3 N	15.8	68.8	60	25.4
K02	8:59	138	4	35.5 E	36	1	57.5 N	12.9	57.1	70	26.0
K03	9:03	138	4	21.9 E	36	2	9.8 N	12.5	50.6	75	25.4
K04	9:07	138	4	8.7 E	36	2	22.2 N	12.9	50.0	60	25.3
K05	9:08	138	3	55.3 E	36	2	34.1 N	14.4	56.5	67	25.2
K06	9:11	138	3	41.6 E	36	2	46.5 N	11.2	56.5	70	25.1
K07	9:15	138	3	27.9 E	36	2	58.3 N	17.7	76.6	65	25.3
K08	9:20	138	3	42.4 E	36	2	57.4 N	11.4	59.1	80	25.8
K09	9:25	138	4	1.2 E	36	3	5.9 N	13.6	59.7	62	25.6
K10	9:28	138	3	59.0 E	36	2	55.0 N	14.4	61.7	80	25.2
K11	9:31	138	4	12.3 E	36	2	43.4 N	13.3	62.3	63	25.7
K12	9:34	138	4	26.0 E	36	2	31.8 N	12.5	60.4	62	25.5
K13	9:37	138	4	39.5 E	36	2	18.9 N	13.9	60.4	55	25.7
K14	9:40	138	4	53.0 E	36	2	6.6 N	13.4	59.7	62	25.9
K15	9:43	138	5	6.4 E	36	1	54.2 N	8.5	35.1	bottom (*)	27.7
K16	9:50	138	5	23.6 E	36	2	3.8 N	12.1	51.3	82	26.1
K17	9:53	138	5	40.3 E	36	2	12.8 N	10.4	45.5	78	26.1
K18	9:56	138	5	57.2 E	36	2	22.2 N	20.7	98.7	65	25.6
K19	9:59	138	6	13.3 E	36	2	20.2 N	9.8	40.3	80	25.9
K20	10:03	138	6	29.6 E	36	2	29.3 N	10.0	42.2	80	25.8
T01	8:35	138	6	54.5 E	36	2	49.5 N	19.9	76.0	60	24.1
T02	8:45	138	6	43.9 E	36	3	1.7 N	15.3	55.8	63	24.6
T03	8:55	138	6	43.5 E	36	3	13.3 N	28.7	105.2	75	24.8
T04	9:04	138	6	36.3 E	36	3	22.0 N	13.3	42.2	81	24.9
T05	9:09	138	6	20.8 E	36	3	35.2 N	11.2	37.7	91	25.6
T06	9:16	138	5	57.7 E	36	3	38.9 N	12.0	42.9	88	25.6
T07	9:20	138	5	40.6 E	36	3	38.1 N	11.1	41.6	89	26.0
T08	9:24	138	5	24.5 E	36	3	30.0 N	13.3	53.2	83	25.8
T09	9:31	138	5	39.3 E	36	3	28.2 N	11.7	45.5	80	25.9
T10	9:35	138	6	3.2 E	36	3	27.5 N	9.3	40.3	88	25.9
T11	9:39	138	6	19.2 E	36	3	17.0 N	9.0	35.7	83	25.8
T12	9:43	138	6	33.1 E	36	3	4.9 N	11.5	37.7	85	26.0
T13	9:48	138	6	31.2 E	36	2	42.2 N	10.7	48.7	100	25.4
T14	9:51	138	6	20.7 E	36	2	47.1 N	15.1	72.7	96	25.6
T15	10:01	138	6	3.0 E	36	2	54.8 N	8.0	27.3	88	26.3
T16	10:06	138	5	39.9 E	36	3	14.0 N	9.0	35.1	89	26.3
T17	10:12	138	5	32.2 E	36	3	5.3 N	10.9	40.3	90	26.6
T18	10:15	138	5	44.3 E	36	2	55.6 N	8.1	29.9	82	26.3
T19	10:19	138	6	2.8 E	36	2	43.0 N	8.3	33.1	100	26.7
T20	10:22	138	6	17.1 E	36	2	32.3 N	8.7	39.6	97	26.5

調査測点の位置は図1に示した。緯度、経度は旧日本測地系による。

(*) K15では湖底まで見えた。

Locations of the surveyed stations are shown in Fig. 1.

Latitude and Longitude are expressed based on the Tokyo Datum.

(*) The bottom of the lake could be observed at K15.

2-2. Landsat データの処理

使用した Landsat-7 号の ETM+データは、パス、ロウが 108, 35 である。バンド 1,2,3,4,5,7 (以下では B1, B2, B3, B4, B5, B7) およびバンド 6 のロウゲインとハイゲイン (以下では B61, B62) を、幾何補正し (Total RMS=0.3452), UTM 座標系に変換して、諏訪湖水域のみを解析対象とした。

水質調査測点に対応する Landsat 画像の DN 値は、水質調査測点の位置誤差を考慮して、水質調査測点を中心とする 3×3 画素の平均値を使用した。

3. 結果と考察

3-1. 調査時の気象データ

水質調査時間帯を含む諏訪における時別の気象観測値 (アメダスの気温、風向、風速、日照時間) を表 1 に示す。調査時刻は、午前 8 時 35 分から午前 10 時 22 分までであるので (表 2), アメダス時別値からの内挿では、気温は 21.6°C (午前 8 時 35 分) から 25.4°C (午前 10 時 22 分) に変化し、3.8°C 上昇したことになる。

風向は WNW から NNW, 風速は 3.1m/s 以下であった。また、観測時間を通じて日照があり、衛星画像利用には良好な天候状態であった。

3-2. 水質調査データ

2002 年 8 月上旬には諏訪湖表層の広範囲でアオコの発生が見られたが、調査日にはアオコはごく限定された所 (測点 C18 など) でのみ確認された。60 測点における水質データを表 2 に、分布図を図 2 に示す。

測定値の要約統計量を表 3 に、各パラメーター間の相関係数を表 5 上段に示した。測点 K15 は水草帯であり、湖底まで見る事ができた。K15 の透明度は、分布図 (図 2 (c)) では隣接する K01 と K16 の平均値 (71cm) により補間して等値線を描いているが、統計量 (表 3) の算出、相関係数の算出 (表 5) からは除外した。

SS と Chl-a は相関が強く ($r=0.938$ 図 3), SS は主として植物プランクトンによる懸濁物であることが示唆される。水温と Chl-a ($r=0.486$ 図 4), 水温と SS ($r=0.502$) には負の相関が、水温と透明度 ($r=0.514$) には正の相関がみられた (表 5)。

SS と Chl-a の分布は類似している (図 2 (a), (b))。湖

の西部よりも東部で値が小さい傾向を示すが、北部の砥川河口部付近、南東部の上川河口部付近、湖の最東端部付近で大きな値を示す。透明度はこれらとはやや異なり、SS, Chl-a が最も小さい値を示す所よりも西よりも透明度が大きい。また、湖西部では、約 100cm から約 60cm に急激に変化している部分があり、等値線が密集する特徴的な分布を示した。

水温分布は、水草帯 (K15) で最も高温であったが、全般的には、湖中心部で高温、湖岸付近で低温という傾向が見られた。

3-3. Landsat ETM+データの分析

測点 T01 の DN 値は他の測点における値とは異なり、陸域の特徴を示すと考えられたので、以下の分析からは除外した。これは、GPS による位置測定時の誤差、あるいは、T01 が陸地に近い地点であるので、3×3 画素の平均値算出に陸域の値が反映されたためと考えられる。

諏訪湖水域内 (30m×30m, 13105 画素) における、各バンド DN 値の要約統計量を表 4 に示す。

諏訪湖水域での DN 値の標準偏差は、すべてのバンドで非常に小さく、0.8~1.4 である (表 4)。ほとんどの画素の DN 値は、5~6 (平均±標準偏差×2) カウント以内に含まれ、湖全域でほぼ一様に近い状況であることを示している。本来、水域は陸域と比較して DN 値の範囲が非常に狭いが、衛星通過前日 (2002 年 9 月 1 日) に諏訪湖では花火大会が実施され、大量の花火の残骸により湖水が攪拌されたことも影響していると思われる。T06 では前日の花火大会のゴミが浮遊しているのが観察された。

別の日の Landsat 画像では、DN 値の標準偏差が 5 を越える場合もあるので、2002 年 9 月 2 日の画像は、DN 値の範囲が狭いケースであったと推測される。

水質データと DN 値との相関係数 (表 5 下段) で、有意な相関 (有意水準 $p=0.01$) がみられたのは、SS と B3 ($r=0.339$), SS と B1 ($r=0.369$), Chl-a と B3 ($r=0.345$), W.T. と B2 ($r=0.338$), W.T. と B4 ($r=0.356$) である。絶対値はいずれも 0.37 未満である。

宍道湖では、Chl-a と SPOT2/HRV バンド 1 (緑波長) との相関が特に高いとされたが (作野ほか, 1998), 今回の諏訪湖のデータでは、このような特徴は見られなかつ

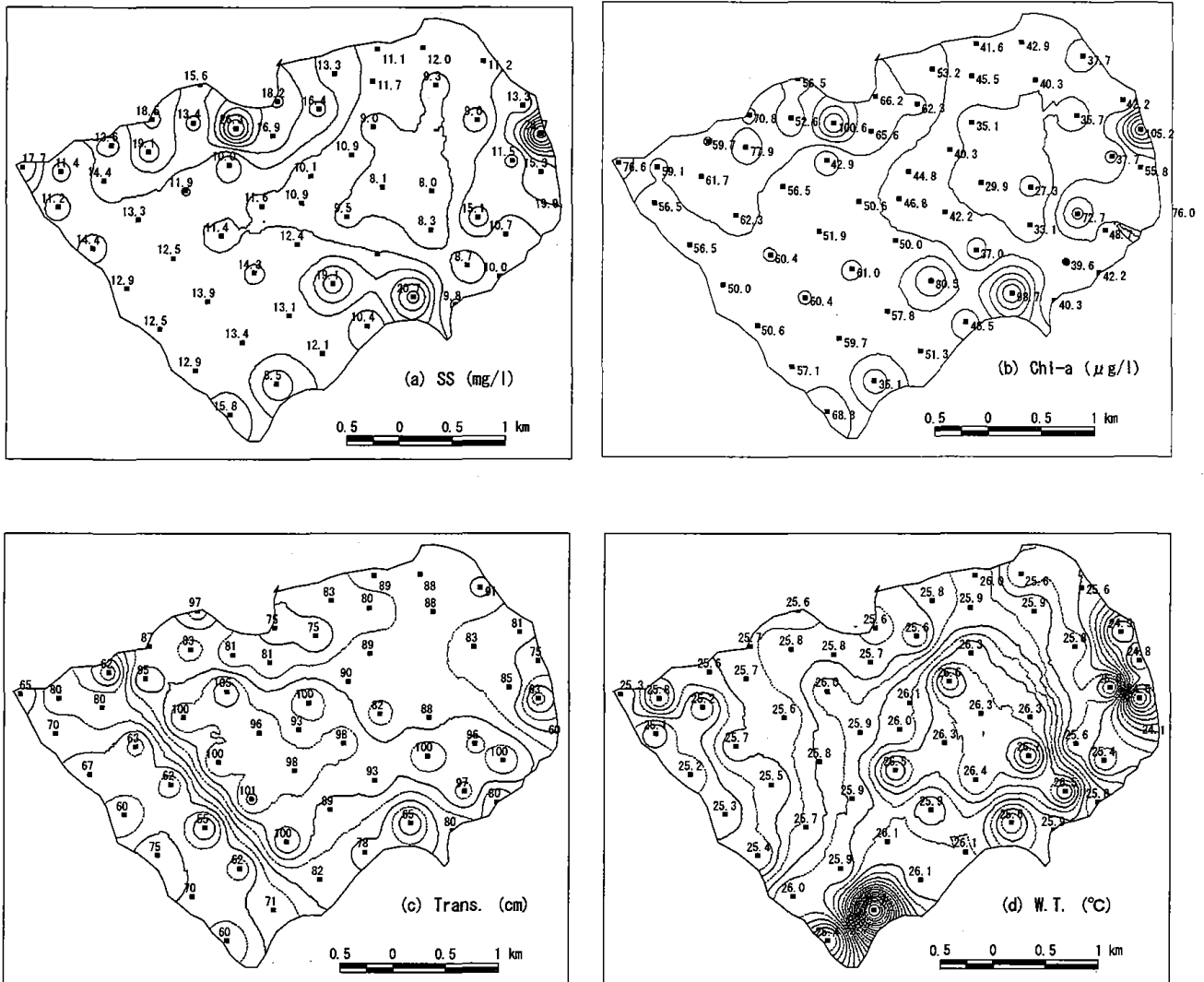


図2 諏訪湖の水質分布図 (2002年9月2日) (a)懸濁物質質量, (b)クロロフィルa濃度, (c)透明度, (d)水温

Fig. 2. Water quality maps of Lake Suwa on September 2, 2002. (a)SS, (b) Chl-a, (c)Trans., (d)W.T.

た。東京湾における水質と Landsat TM データとの相関では、神奈川県側では TM データとクロロフィル a とは正の相関、TM データと透明度は負の相関を示すが、千葉県側では逆の傾向が示す (水尾ほか, 1998)。場所、日時により衛星データと水質データとの相関関係が異なるので、今回諏訪湖で得られた相関関係は、さらに調査データを集積して検討する必要がある。

水温と B61, B62 (熱赤外バンド) にはほとんど相関が見られなかった。水尾ほか (1998) は、東京湾における Landsat TM バンド6 と水温の相関は、全体としては強いが、調査日毎に比較すると、相関が強い場合や弱い

場合などがあり、エアロゾルの影響もあると指摘している。大気補正の必要性が示唆される。また、相関現象において、いわゆる切りとられたデータのみを使用したために、無相関になった可能性もある。

4. まとめ

2002年9月2日における Landsat ETM+単バンドの DN 値と同時観測水質データとの相関関係を調べた。SS, Chl-a, 水温と有意な相関関係を示すバンドが見られたが、他地域で行なわれた研究結果とは必ずしも整合的ではなかった。今回は1日分の衛星データと水質調査データと

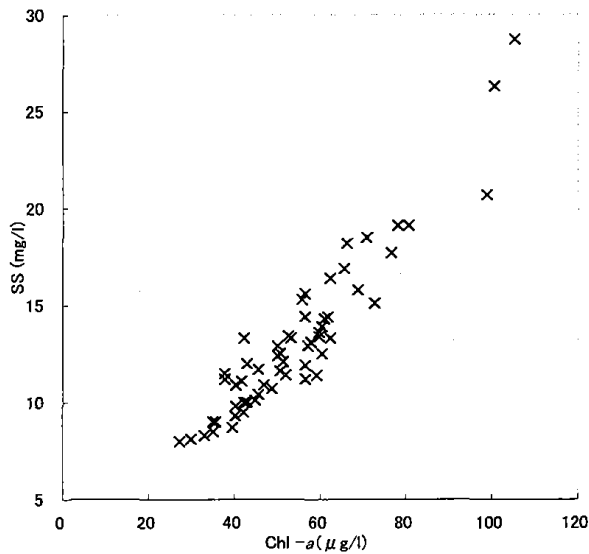


図3 クロロフィル-a濃度と懸濁物質濃度との関係
Fig. 3. Correlation between Chl-a and SS.

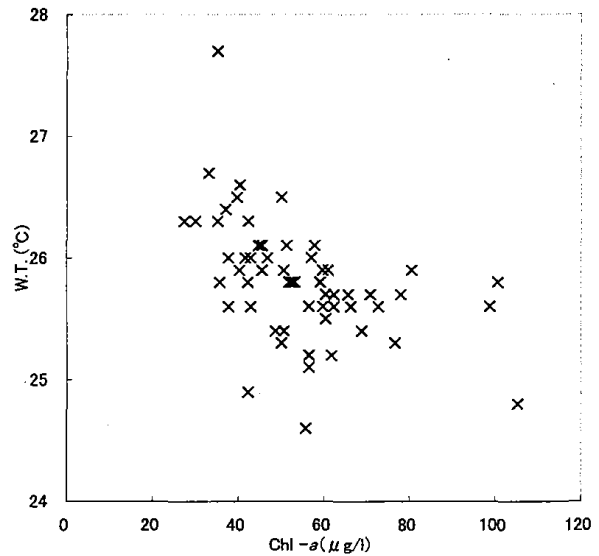


図4 クロロフィル-a濃度と水温との関係
Fig. 4. Correlation between Chl-a and W.T..

の比較・分析であったので、さらに事例を増やして検討することが必要である。

SSはChl-aと非常に類似した分布を示し、植物プランクトン起源の懸濁物が多いことが示唆された。SS, Chl-aともに湖の西部よりも東部で値が小さい傾向を示した。

透明度は、SS, Chl-aとはやや異なる分布を示した。

水温は全般的に湖中心部で高温、湖岸付近で低温であった。

2002年9月2日のLandsat DN値には、数カウント程度の情報しか含まれていないが、このような限られた情報からも、水質データの推定を可能とするために、さらに、複数のバンドによる重回帰分析、バンド間の比演算を用いた推定の可能性を検討したいと考えている。

従来指摘されているように、衛星データから精度の高い水質データを推定するためには大気補正が必要である。今後の課題としたい。

謝辞

本研究は、2002年度科学研究費補助金（基盤研究A：14208070）「諏訪湖・天竜川水系の物質循環、水循環とマネーフローからの研究（研究代表者：戸田任重）」の一部を使用した。水質調査・分析には、信州大学山地水環境教育研究センター研究室所属の大学院生・学部生に協力していただいた。水質調査測点の選定には、信州大学

繊維学部平林公男先生にご教示いただいた。関係各位に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 沖 一雄・安岡善文(1996)：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, 16, 315-323.
- 沖野外輝夫・花里孝幸(1997)：諏訪湖定期調査：20年間の結果。諏訪臨湖実験所報告, 10：7-249.
- 沖野外輝夫(2002)：湖沼の生態学。p.194, 共立出版.
- 作野祐司・中山大介・松永恒雄・高安克巳・六川修一・中村幹雄・國井秀伸(1998)：衛星リモートセンシングによる中海・宍道湖の水質濃度マッピング(その1)ーアオコ発生時の透明度、懸濁物質濃度およびクロロフィルa濃度の面的把握ー。LAGUNA, 5, 183-196.
- 作野祐司・中山大介・松永恒雄・高安克巳・六川修一・中村幹雄・國井秀伸(1999a)：衛星リモートセンシングによる中海・宍道湖の水質濃度マッピング(その2)ー1998年3月の調査。LAGUNA, 6, 205-216.
- 作野祐司・松永恒雄・中山大介・六川修一・高安克巳・國井秀伸・中村幹雄・山室真澄(1999b)：SPOT/HRVデータによるアオコ発生時の宍道湖表層クロロフィルa濃度分布の推定, 日本リモートセンシング学会誌, 19, 132-148.

- 作野祐司・松永恒雄・六川修一・高安克己・國井秀伸・中村幹雄 (2001) : 多時期 SPOT HRV データによる宍道湖表層の総一次生産量モニタリング, 日本リモートセンシング学会誌, 21, 141-149.
- 田中修三・比企三蔵・小西浩之 (1990) : Landsat の捉えた霞ヶ浦のアオコの拡がり と吹送流. 日本リモートセンシング学会誌, 10, 337-347.
- 中山大介・作野祐司・松永恒雄・高安克己・國井秀伸 (1999) : 宍道湖・中海の鉛直クロロフィル *a* 濃度分布特性. LAGUNA, 6, 217-222.
- Park H-D, C. Iwami, M. F. Watanabe, K.-I. Harada, T. Okino, H. Hayashi (1998) : Temporal Variabilities of the Concentrations of Intra- and Extracellular Microcystin and Toxic Microcystis Species in a Hypertrophic Lake, Lake Suwa, Japan (1991-1994). Environmental Toxicology and Water Quality, 13, 61-72.
- 朴 虎東・横山淳史・沖野外輝夫 (2001) : 諏訪湖におけるアオコ毒素 microcystin の動態. 陸水学雑誌, 62, 229-248.
- Bartolucci, L.A. & M. Chang (1988) : Look-up Tables to Convert Landsat TM Thermal IR Data to Water Surface Temperatures. Geocarto International, 3, 61-67.
- Marker, A.F.H., Nusch, E.A., Rai, H. and Rieman, B. (1980) The measurement of photosynthetic pigments in freshwaters and standardization of methods: Conclusion and recommendations. Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol., 14: 91-106.
- 水尾寛己・岡 敬一・小倉久子・二宮勝幸・大道章一・飯村 晃・安藤晴夫・三嶋義人・安岡善文 (1998) : 人工衛星データによる水質モニタリング — 関連自治体による環東京湾プロジェクトの紹介 —. 日本リモートセンシング学会誌, 18, 286-290.
- 安岡善文 (1985) : 遠隔計測による水質の定量, 国立環境研究所研究報告, 77, 165-185.
- 渡辺雄二・久保博彦・竹内勝巳・丹羽由実・沖野外輝夫・林 秀剛・召田明子・大槻剛士・渡辺義人・山本満寿夫・中本信忠 (1982) : 諏訪湖の水質および生物の水平分布調査資料 (1981年5月27日), 文部省「環境科学」特別研究, 諏訪湖集水域生態系研究報告第8号, 57-75.