

2003 年夏季における諏訪湖の水質分布

柳町晴美・花里孝幸・宮原裕一

信州大学山地水環境教育研究センター

Water quality distribution in Lake Suwa in the summer of 2003

Harumi Yanagimachi, Takayuki Hanazato, Yuichi Miyabara

Research and Education Center for Inlandwater Environment, Shinshu University

キーワード：諏訪湖、水質、クロロフィル a、懸濁物質、透明度、水温

keywords: Lake Suwa, water quality, chlorophyll-a, suspended solids, transparency, water temperature

1. はじめに

諏訪湖では、1960 年代からアオコの異常発生がみられ、1980 年代以降は改善されつつある。しかし、最近でも小規模なアオコの発生はしばしば観察されており、富栄養湖の状態は継続している。

アオコの主体であるラン藻類の *Microcystis* は、最大成長をもたらす最適水温が 30℃ 付近にあり、発生量を左右する気象的要因としては、日照、降雨量、風が最も基本的なものである (朴ほか, 2001)。また、水温はアオコ発生時期と発生量に大きく左右する要因である (朴・沖野, 1998, Park et al, 1998)。「諏訪湖では、風は午前中弱く、午後に強く吹く。月に数日は毎秒 10m 以上の風で、波長 6~7m の波が立ち、夏の水温成層期でも湖底付近まで全層の水が混合される (西條・三田村, 1995)」。強風は、湖水を攪拌し、さらに、表層のアオコを吹き寄せるなど、水質分布にも強く影響を及ぼす。

また、諏訪湖には流域から大小の河川が流入しており、河川からの流入量は降水量により規定される。特に少雨な時期には、諏訪湖から天竜川への流出量が人為的に管理されるが、一般的には流出量も降水量に依存する。降水量が多ければ、河川水の流入が増し、懸濁物の流入も増加し、湖内の水も攪拌される。下水処理施設の移動後 (1981 年)、生活排水の流入などの人為的要因が水質へ与える影響は以前よりも低下している。気象条件の違いによる水質分布への影響度合いは相対的に増したことになる。CO₂ 増加による地球温暖化は、地域毎に異なった

気候変化を引き起こしている。気象条件の違いが水質分布へ与える影響評価は、温暖化対応としても重要な意味を持つ。

本研究の目的は、諏訪湖の水質分布データから、2003 年の分布の特徴を明らかにし、衛星リモートセンシングデータから、過去の水質分布を推定するための基礎データとして蓄積すること。さらに、これまで指摘されてきた、気象条件が水質分布に与える影響について、諏訪湖の観測データに基づいて検討することである。

諏訪湖の水質は、人口密度が高い周辺地域にとっては、重要な環境問題であり、諏訪湖の水質観測も継続的に実施されてきた (沖野・花里, 1997, 花里ほか, 2003, など)。湖全域にわたる水質調査は、定期的には実施されていないが、渡辺ほか (1982) が実施した例があるほか、筆者らが 2002 年 9 月に実施している (柳町ほか, 2003)。

2. 方法

2-1. 水質調査

水質観測は、2003 年夏季に、7 月 3 日、8 月 27 日、9 月 28 日の 3 回実施し、2002 年 9 月 2 日と同様の調査方法を適用した。すなわち、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)。予め地形図上で設定した測点へ移動後、実際の測点において改めて GPS により位置を計測した。位置精度が約 15m RMS である GPS (Garmin 社 eTrex または eTrex

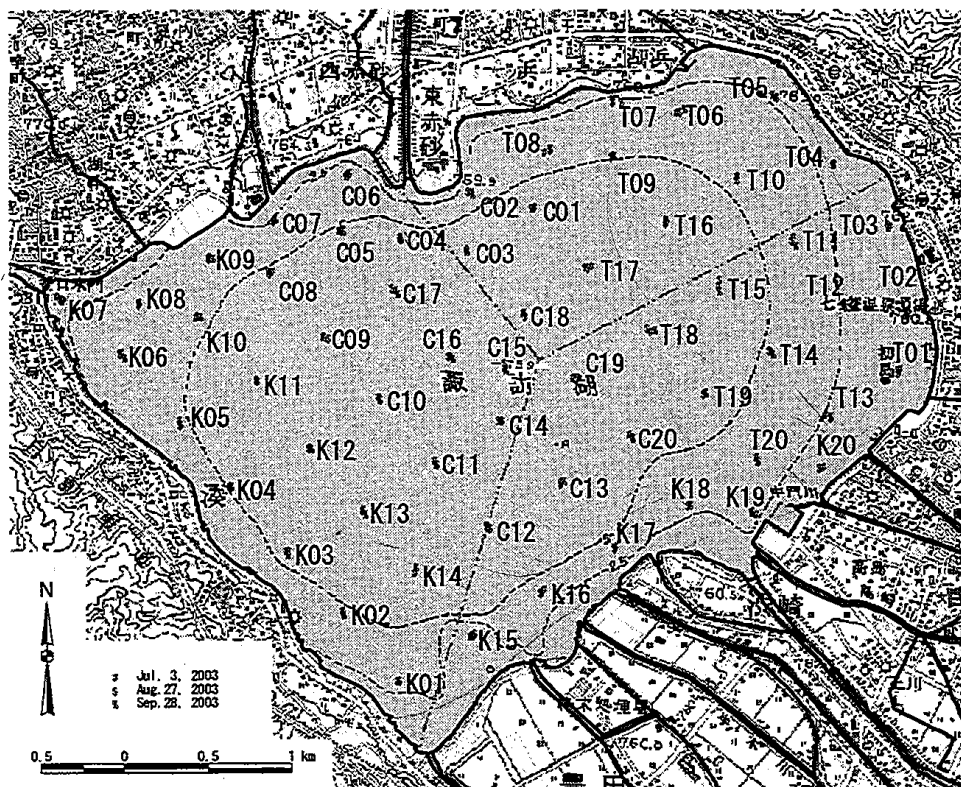


図1 諏訪湖の水質調査測点 (5万分の1地形図「諏訪」)

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

Thick lines indicate rivers and lake shorelines.

Summit)を使用している。実際に観測した測点の位置は、観測毎にややずれている(図1)。ずれの距離は、平均20m、標準偏差12mであった(1測点で3回観測、60測点分、計180個の距離をUTM座標値から計算)。

観測・分析項目は、懸濁物質濃度(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。

水質観測所要時間は、7月3日1時間26分、8月27日1時間32分、9月28日2時間45分である。9月28日は、観測船のトラブルにより他の日より1時間20分近く長い。観測時間と水質データとの散布図・相関係数から見て、観測時刻と観測値には相関関係は認められなかった。

SS、Chl-aの算出方法は、柳町ほか(2003)と同一である。

得られた3日間、4種類の水質データから、2003年夏季における諏訪湖の空間的な水質分布を、多変量解析手

法(主成分分析、クラスター分析)により解析した。事例数を増やし、結果を一般化するために、2002年9月2日の観測データも同様に多変量解析を行ない考察した。

2003年・2002年夏季における気象データ(平均気温、降水量、日照時間)から、水質分布への影響を検討した。

3. 結果と考察

3-1. 2003年夏季の気象データ

2003年夏季は、関東甲信・東南北部の梅雨明けが8月2日と平年より約10日遅れであり、東日本・北日本では、8月には降水量が多く冷夏であった。

2003年の6月1日から9月30日までの、諏訪(北緯36度02.7分、東経138度06.5分)におけるアメダスの日平均気温3日移動平均と日降水量を図5に示す。日平均気温が平年より5~6℃低い日が8月中旬に出現し、降水量は、8月に平年よりも多く、特に、8月上旬・中旬に多い。9月下旬にも降水量が多い。日照時間は、平年比で、

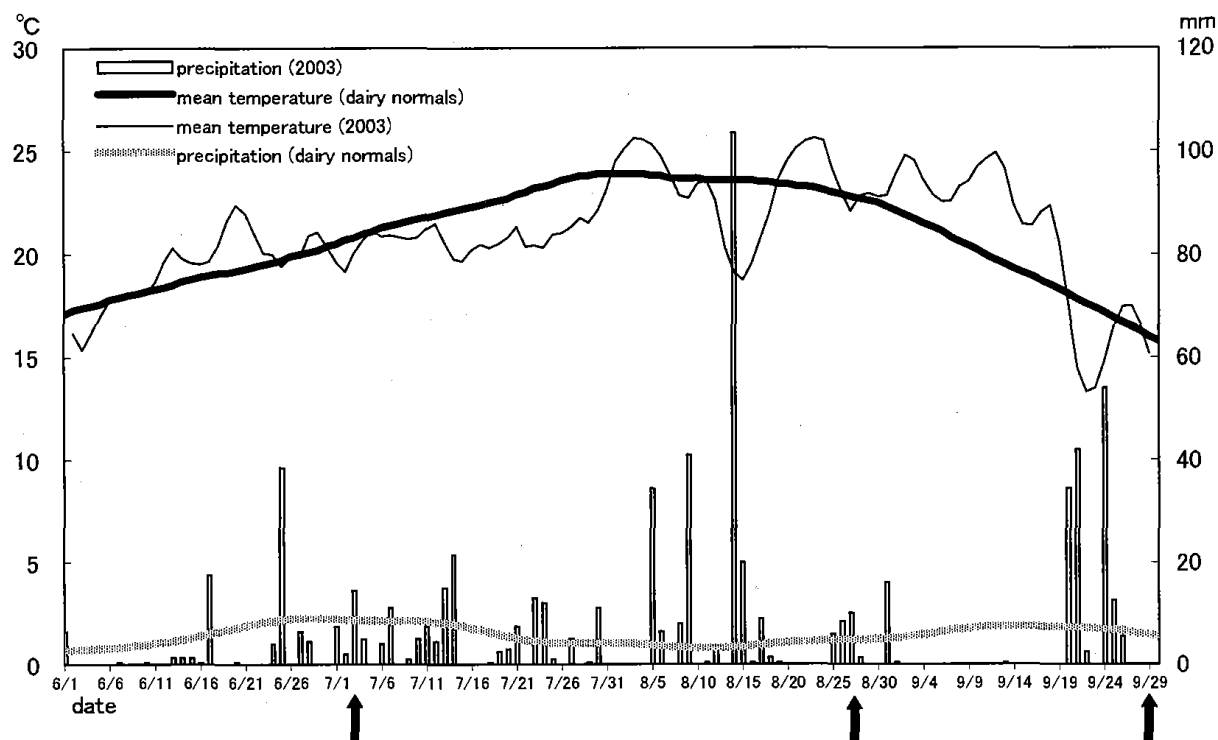


図2 2003年夏季における日平均気温（3日移動）と日降水量

Fig2. Three days moving averages of the daily mean temperature and the dairy precipitation in the summer of 2003.

Three arrows indicate the date of observations.

94.9% (6月), 61.3% (7月), 80.0% (8月), 134.9% (9月)であった。

諏訪における2003年7月、8月の気象は、低温で降水量が多く日照時間が短い日が多かった。すなわち、2003年8月末頃までは、日射量が少なく、低温な日が継続し、しばしば降水があるという、アオコの発生を抑制する気象条件が継続した。9月上旬、中旬には、高温で無降水の日が続き、日照時間も平年より長く、アオコ発生に有利な気象条件となった。

実際には、2003年夏季に諏訪湖ではアオコの異常発生は観察されず、9月にアオコの小規模な発生が見られた。なお、2002年8月は、逆に、平年よりも高温で降水量が少なく日照時間が長かった。2002年8月上旬に諏訪湖表層の広範囲でアオコの発生が見られた。

風については、台風や低気圧の通過時など、特に強風が吹く時に湖水を攪拌するなどの影響を与える。2003年8月の平均風速2.3m/s、最大風速9.4m/s、2002年8月の平均風速2.8m/s、最大風速10.5m/sであり、月平均では2002年8月の方がやや強い風が吹いた。平均値では把

握できない強風による影響に関しては別に論じたい。

3-2. 水質調査データ

60測点における水質データを表7～表9に、観測日毎の各要素の分布図を図2～図4に示す。測定値の要約統計量を表1に、観測日毎に算出した要素間の相関係数を表2に、要素毎に算出した観測日間の相関係数のうち有意なものを表3に示す。

2003年9月28日のT05地点のSSとChl-aは、他の測点の値よりも異常に大きな値となった(SS=47.8, Chl-a=337.3)。SSは[平均+標準偏差×6]、Chl-aは[平均+標準偏差×7]を超える極端な異常値であるため、T05を除外した統計量も算出した(表1)。T05地点は、ヒシ水草帯に位置しており、アオコが集積しやすい、集積した部分を採水・計測したため異常値を示したと考えられる。以下の統計解析においては、T05のSSとChl-aは除外している。

3-2-1. 水質調査データの統計量

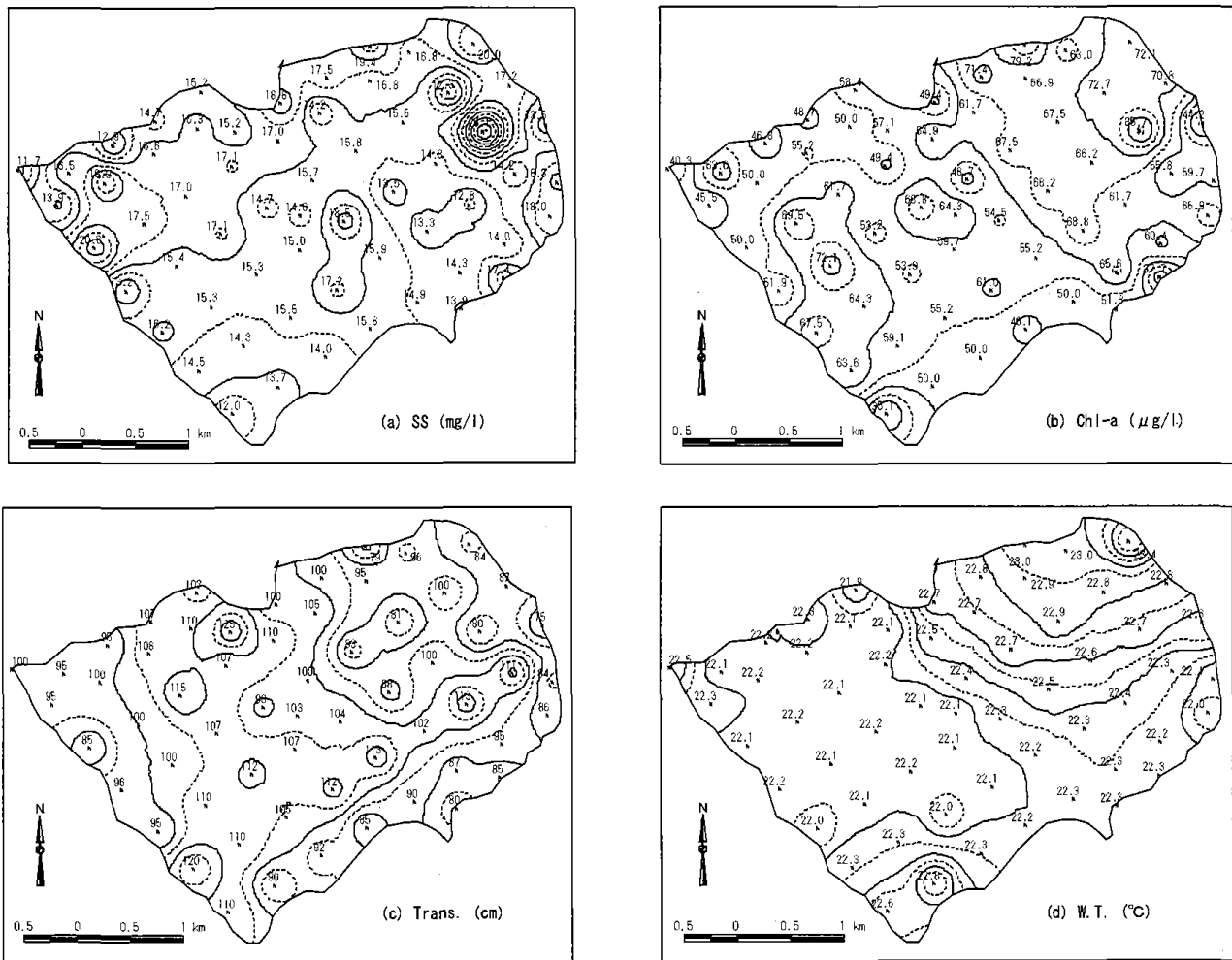


図3 諏訪湖の水質分布図（2003年7月3日）(a)懸濁物質濃度 (b)クロロフィルa濃度 (c)透明度 (d)水温

Fig. 3. Water quality maps of Lake Suwa on July 3, 2003. (a)SS, (b)Chl-a, (c)Trans., (d)W.T.

各観測日毎に算出した水質データの平均値を比較すると、観測日間で、SSとChl-aは類似した傾向を示し、透明度はこれらと逆の傾向を示す（表1）。すなわち、SSとChl-aは、7月3日と9月28日には、8月27日より大きく、透明度は7月3日と9月28日には、8月27日より小さい。Chl-aが8月に低下しているのは、冷夏の影響と考えられる。気象条件がアオコ発生に有利であった9月には、Chl-aが再び増加している。SSはChl-aに同期して変動したものと推察される。水温は、他の3要素とは異なり、8月27日が最も高温、9月27日が最も低温となり、季節変化を反映している。

3-2-2. 水質調査データの相関関係

2002年9月2日のSSとChl-aには、相関係数 $r=0.938$

の強い相関が見られたが（柳町ほか、2003）、2003年3日分の水質要素間には、絶対値が0.8を超えるような強い相関は見られない。しかし、いずれの観測日においても、SSとChl-aには、2002年9月2日と同様に有意な正相関が見られる。他に、3日とも有意な相関関係（無相関の検定による）となるものは、Chl-aと水温（正相関）、透明度と水温（負相関）である。

以上から、2003年夏季においては、「SSとChl-aが大きい所では、水温が高く、透明度は低い」という傾向が示唆される。2002年9月2日の相関係数からは、SS、Chl-a、透明度の3要素は、2003年と同様の相関関係であったが、水温は逆の傾向を示した（柳町ほか、2003）。すなわち、「SSとChl-aが大きい所では、水温が低く、透明度は低い」。

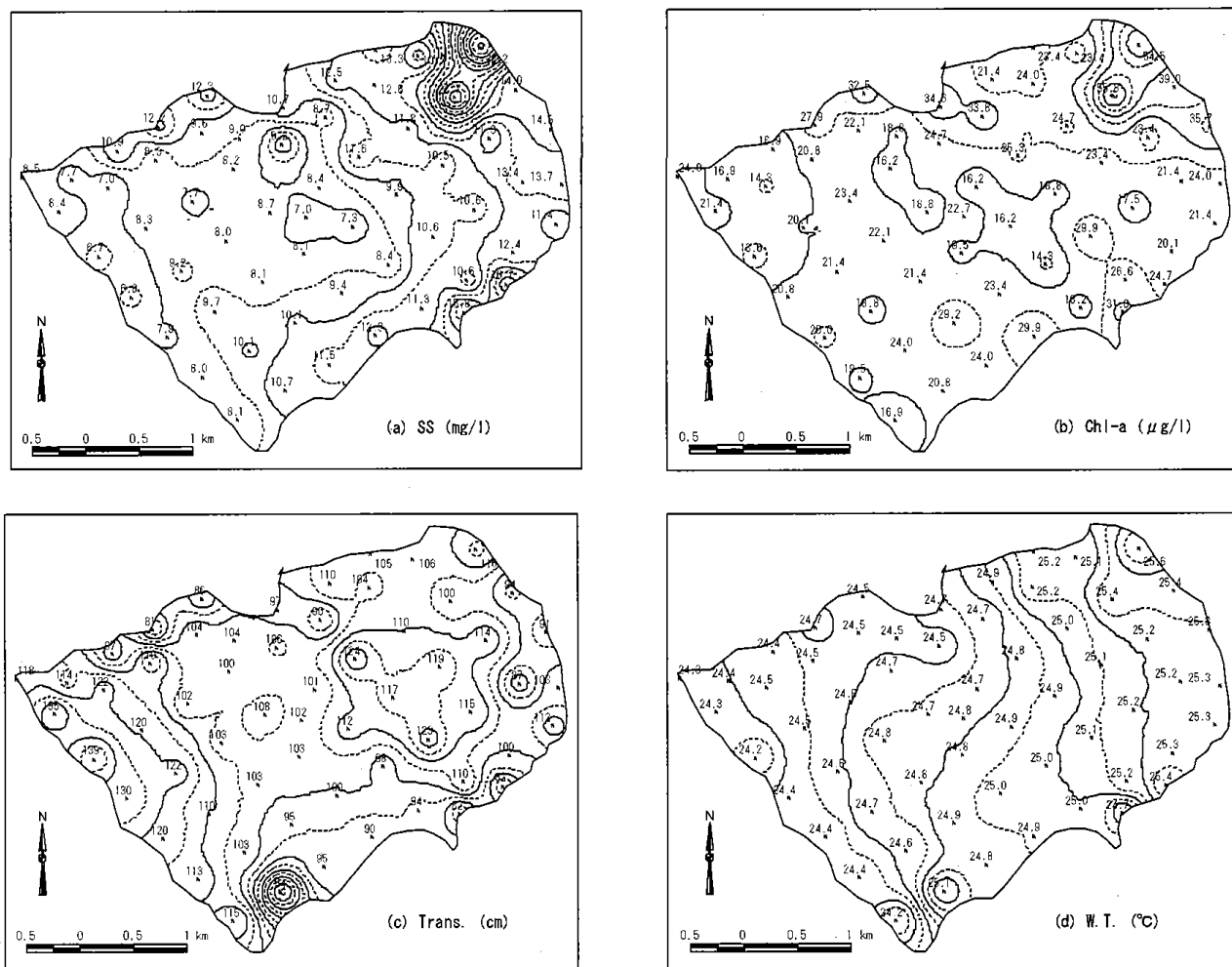


図4 諏訪湖の水質分布図（2003年8月27日）(a)懸濁物質、(b)クロロフィルa濃度、(c)透明度、(d)水温

Fig. 4. Water quality maps of Lake Suwa on August 27, 2003. (a)SS, (b)Chl-a, (c)Trans., (d)W.T.

SS の構成要素が主に植物プランクトンによる懸濁物である場合は、SS と Chl-a は、強い正相関を示し、分布も類似する。2003 年夏季に、SS と Chl-a は、有意な正相関であるが、2003 年 9 月 2 日ほど強くない理由としては、降水量が多かったために、SS は、流入河川からの植物プランクトン以外の懸濁物質を多く含むため、と考えられる。

SS と Chl-a が大きければ、透明度は低下する傾向がある。2002 年と 2003 年を比べると、水温が他の要素と逆の相関関係を示す点は注目される。これらの結果が、気象条件の違いを反映したものかに関して、事例を増やして検討する必要がある。宍道湖・中海では、多時期 Landsat/TM データにより推定された表層 Chla が高いと表層水温は低くなり、表層 Chla が低いと表層水温は

高くなる傾向があることが指摘されている（作野ほか、2003a）。

要素毎に算出した、観測日間の相関係数のうち、有意な相関関係があったものは表 3 の 4 つであった。8 月 27 日の SS の分布は、9 月 28 日の SS の分布と負相関であり、SS が大きい部分は、日によって異なる場所に出現することを示唆している。SS の分布は、8 月 27 日、9 月 28 日ともに、湖の北東端（T05、T06、T10 付近）では相対的に他よりも大きい分布を示すものの、8 月 27 日には、相対的に東部で大きく西部で小さい分布、9 月 28 日には、相対的に東部で小さく西部で大きい分布、と大小関係が逆になっている（図 4(a)、図 5(a)）。これは、8 月 27 日に、西部で SS が特に低下したことを反映している。

水温は、7 月 3 日と 8 月 27 日、7 月 3 日と 9 月 28 日

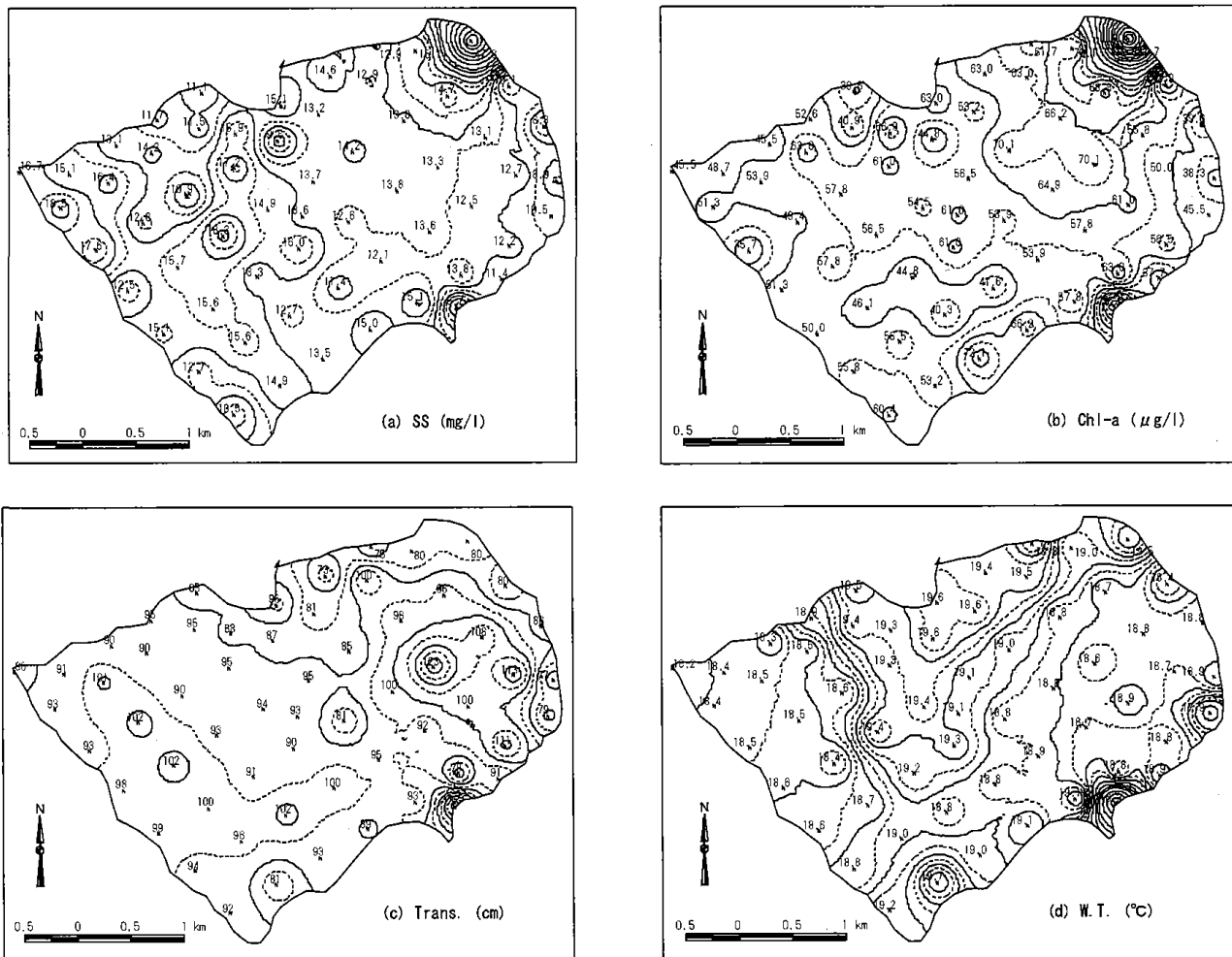


図5 諏訪湖の水質分布図(2003年9月28日) (a)懸濁物質、(b)クロロフィルa濃度、(c)透明度、(d)水温

Fig. 5. Water quality maps of Lake Suwa on September 28, 2003. (a)SS, (b)Chl-a, (c)Trans., (d)W.T.

が有意な正相関関係にあった。また、2003年9月28日と2002年9月2日も有意な正相関であった。水温は、湖の西半部で低く、砥川河口東側(T05~T08付近)で高く、南端付近(K15)の水草帯で高い傾向が認められる(図3~図5(d))。2002年9月2日には、湖中心部と南端(K15)付近が相対的に高温、沿岸付近で低温であった。

水温分布は、他の要素よりも定常性がある可能性があるが、さらに事例を増やして確認する必要がある。

3-3. 各観測日の主成分分析

2003年夏季3日間と2002年9月2日の計4日分、4種類の水質データ分布の特徴を、主成分分析により解析した。主成分分析は観測日毎に水質要素の相関行列を用

いて行なった。第1成分、第2成分の固有値と寄与率は表4の値となる。第1成分が全分散の約半分(44.4%~65.4%)を説明する。第2成分の固有値が1を超える日は2003年9月28日の1.03のみであり、他の日では1未満であるので、以下では寄与率が高い第1成分について考察する。

2003年3日間における第1成分の主成分負荷量は、類似した傾向を示し、SS、Chl-a、水温の符号は、透明度の符号と逆になる(表5)。すなわち、「SS、Chl-a、水温が大きい所では、透明度が小さく、SS、Chl-a、水温が小さい所では、透明度が大きい」傾向がある。

2002年9月2日は、水温が2003年とは異なる分布を示した。すなわち、「SS、Chl-aが大きい所では、透明度、水温が小さく、SS、Chl-aが小さい所では、透明度、水

表1 水質データの要約統計量

Table 1. Summary statistics of water quality data.
July 3, 2003

	SS(mg/l)	Chl-a(μ g/l)	Trans.(cm)	W.T.(°C)
Max	25.1	85.7	125.0	23.4
Min	11.7	35.1	75.0	21.9
Mean	15.8	58.8	98.5	22.4
S.D.	2.4	10.2	11.3	0.3
N	60	60	60	60

August 27, 2003

	SS(mg/l)	Chl-a(μ g/l)	Trans.(cm)	W.T.(°C)
Max	26.2	55.8	139.0	25.6
Min	5.2	13.6	54.0	24.2
Mean	10.6	23.9	105.5	24.8
S.D.	3.5	8.0	14.4	0.3
N	60	60	60	60

September 28, 2003

	SS(mg/l)	Chl-a(μ g/l)	Trans.(cm)	W.T.(°C)
Max	47.8	337.7	132.0	19.8
Min	6.7	5.2	73.0	16.2
Mean	14.0	58.5	93.1	18.9
S.D.	5.0	38.3	10.7	0.5
N	60	60	60	60

September 28, 2003

	SS(mg/l)	Chl-a(μ g/l)	Trans.(cm)	W.T.(°C)
Max	18.5	72.1	132.0	19.8
Min	6.7	5.2	73.0	16.2
Mean	13.4	53.8	93.3	18.9
S.D.	2.4	11.4	10.6	0.5
N	59	59	59	59

T05 is excluded from the calculations.

表3 要素毎に算出した観測日間の有意な相関係数

Table 3. Significant correlation coefficients between the observation dates for each water quality element.

element	date		Correlation coefficient
SS	Aug. 27, 2003	Sep. 28, 2003	-0.326 *
Chl-a	Jul. 3, 2003	Sep. 28, 2003	0.277 *
W.T.	Jul. 3, 2003	Aug. 27, 2003	0.457 **
W.T.	Jul. 3, 2003	Sep. 28, 2003	0.285 *

**: significant at 0.01 significant level.

*: significant at 0.05 significant level.

表4 固有値と寄与率

Table 4. Eigenvalues and proportions

July 3, 2003

	Eigenvalue	Proportion	Cumulative proportion
Component 1	1.778	44.4%	44.4%
Component 2	0.957	23.9%	68.4%

August 27, 2003

	Eigenvalue	Proportion	Cumulative proportion
Component 1	2.457	61.4%	61.4%
Component 2	0.854	21.4%	82.8%

September 28, 2003

	Eigenvalue	Proportion	Cumulative proportion
Component 1	2.033	50.8%	50.8%
Component 2	1.030	25.7%	76.6%

September 2, 2002

	Eigenvalue	Proportion	Cumulative proportion
Component 1	2.617	65.4%	65.4%
Component 2	0.895	22.4%	87.8%

表2 観測日毎に算出した要素間の相関係数

Table 2. Correlation coefficients between the water quality elements for each observation date.

July 3, 2003

	SS	Chl-a	Trans	W.T.
SS	1.000			
Chl-a	0.354 **	1.000		
Trans	-0.253	-0.141	1.000	
W.T.	0.138	0.289 *	-0.380 **	1.000

August 27, 2003

	SS	Chl-a	Trans	W.T.
SS	1.000			
Chl-a	0.773 **	1.000		
Trans	-0.300 *	-0.227	1.000	
W.T.	0.687 **	0.454 **	-0.342 **	1.000

September 28, 2003

	SS	Chl-a	Trans	W.T.
SS	1.000			
Chl-a	0.478 **	1.000		
Trans	-0.087	-0.209	1.000	
W.T.	0.244	0.509 **	-0.489 **	1.000

T05(SS, Chl-a) is excluded from the calculations.

**: significant at 0.01 significant level.

*: significant at 0.05 significant level.

表5 主成分負荷量

Table 5. Component loadings

July 3, 2003

	Component 1	Component 2
SS	0.643 **	0.521 **
Chl-a	0.669 **	0.472 **
Trans	-0.667 **	0.495 **
W.T.	0.688 **	-0.467 **

August 27, 2003

	Component 1	Component 2
SS	0.926 **	0.211
Chl-a	0.824 **	0.326 *
Trans	-0.510 **	0.838 **
W.T.	0.813 **	-0.045

September 28, 2003

	Component 1	Component 2
SS	0.614 **	0.627 **
Chl-a	0.804 **	0.312 *
Trans	-0.590 **	0.673 **
W.T.	0.813 **	-0.294 *

T05 is excluded from the calculations.

September 2, 2002

	Component 1	Component 2
SS	0.902 **	0.393 **
Chl-a	0.893 **	0.396 **
Trans	-0.635 **	0.671 **
W.T.	-0.776 **	0.364 **

C20 and K15 are excluded from the calculations.

**: significant at 0.01 significant level.

*: significant at 0.05 significant level.

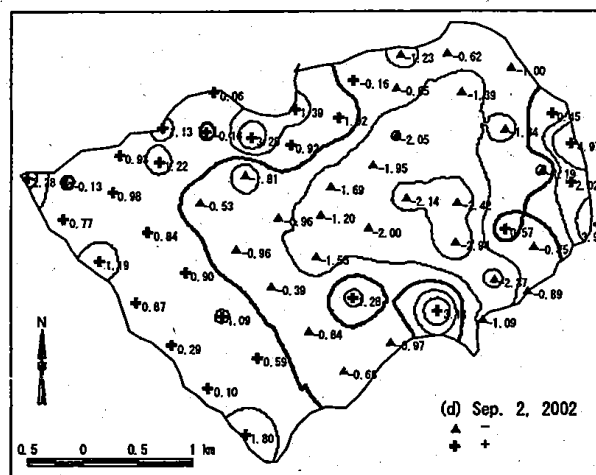
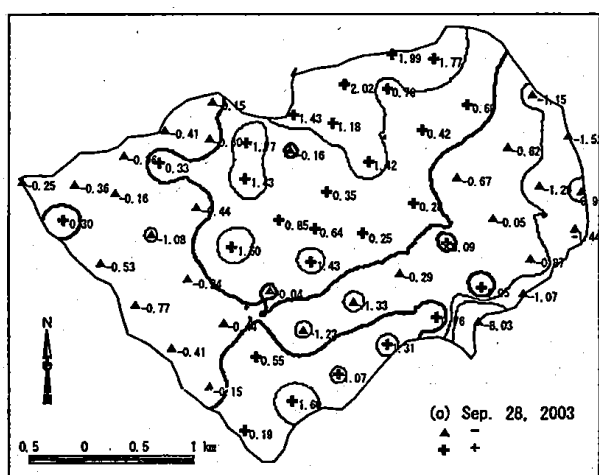
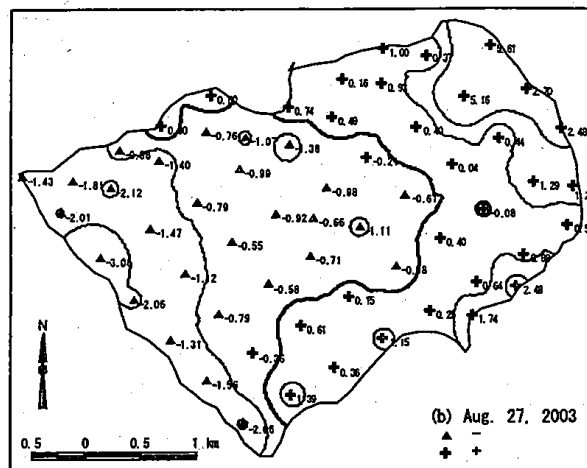
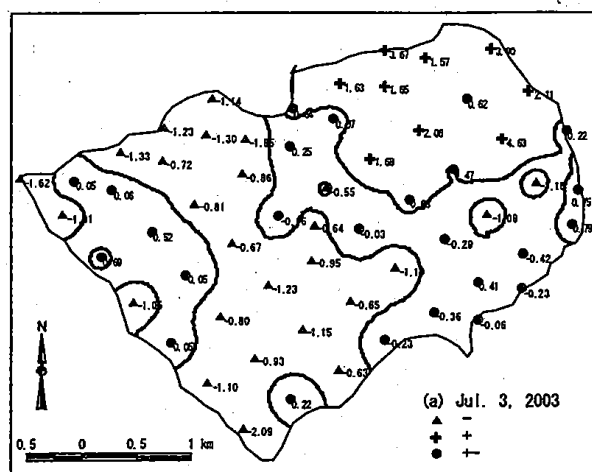


図6 第1主成分の主成分得点に基づく地域区分

Fig. 6. Regional divisions based on the component scores of Component 1.

(a) July 3, 2003, (b) August 27, 2003, (c) September 28, 2003, (d) September 2, 2002

Symbols (+, ▲, ●) indicate the separated groups.

表6 地域区分された各グループの特徴

Table 1. Characteristics of the regionally divided groups.

	+ (Fig. 6)				▲ (Fig. 6)			
	SS	Chl- <i>a</i>	Trans.	W.T.	SS	Chl- <i>a</i>	Trans.	W.T.
Jul. 3, 2003								
Aug. 27, 2003	+	+	-	+	-	-	+	-
Sep. 28, 2003								
Sep. 2, 2002	+	+	-	-	-	-	+	+

温が大きい。」

これらの分析結果は、要素間の相関係数からの考察と整合的である。

3-4. 水質データ分布による地域区分

2003年夏季3日間と2002年9月2日の水質分布の特徴は、いずれも第1成分により分布のほぼ半分が説明された。特に、2003年は3日とも同様な特徴を示したので、2003年の第1成分は、諏訪湖の水質分布の経年変化、季節変化を把握する上で、重要な意味を持つ可能性がある。

また、2003年8月は低温多雨寡照であったが、2002年8月は高温少雨多照と対照的な天候であり、2002年9月2日の直前9日間は無降水、直前5日間は平均気温が平年よりも2℃以上高温であり、直前に高温で静穏な日が継続したケースである。そこで、第1成分の主成分得点から、60地点を類似した地域に分類し、各観測日に主にどの地域で第1成分の特徴が見られるかを検討した。

ユークリッド距離を使用した ward 法によるクラスター分析結果を参考に分類すると、2003年7月3日は3グループに、2003年8月27日、2003年9月28日、2002年9月2日はいずれも2グループに分類される。

観測日毎に行なった、水質データに基づく諏訪湖の地域区分を図6に示す。第1成分の主成分得点、グループを示す記号（+、▲、●）、地域区分線とはほぼ一致する等値線を太線で示した（図6）。

表6に各グループの特徴を示した。2003年7月3日、2003年8月27日、2003年9月28日は、「SS、Chl-*a*、水温の値が大きく、透明度の値が小さい」グループ（図6の+）と、「SS、Chl-*a*、水温の値が小さく、透明度の値が大きい」グループ（図6の▲）に分類される。

2003年7月3日は、さらに両グループ間の漸移帯の特徴を持つグループが分離された（図6の●）。漸移帯は、第1成分の主成分得点が0に近い値であるので、第1成分の特徴をあまり反映しない地域である。

2002年9月2日は、「SS、Chl-*a*の値が大きく、透明度、水温の値が小さい」グループ（図6の+）と、「SS、Chl-*a*の値が小さく、透明度、水温の値が大きい」グループ（図6の▲）に分類される。水温と他要素との関係は、2002年と2003年では異なっている。

4. まとめ

今回は、諏訪湖の水質分布の特徴を解析し、さらに、衛星リモートセンシングデータ解析のための基礎データを蓄積することを目的として、諏訪湖の水質調査を行ない、水質分布を多変量解析により解析した。

2003年夏季3日分の観測から、「SS、Chl-*a*、水温が大きい所では、透明度が小さく、SS、Chl-*a*、水温が小さい所では、透明度が大きい」傾向があり、これらの特徴を示す地域を区分した。

2002年9月2日の観測から、「SS、Chl-*a*が大きい所

では、透明度、水温が小さく、SS、Chl-*a*が小さい所では、透明度、水温が大きい。」傾向があり、これらの特徴を示す地域を区分した。

2003年3日と2002年1日の計4日間のデータ解析があるので、今回の結果がどの程度普遍性を有するかについて、さらに事例を増やして検証する必要がある。

2003年8月はアオコの発生を抑制する気象条件（平年よりも低温で降水量が多く日照時間が短い）であり、2002年8月はアオコの発生を促進する気象条件（平年よりも高温で降水量が少なく日照時間が長い）であった。Chl-*a*量の変動は気象条件を反映していることを確認した。

今後も、水質調査を実施し、水質分布に河川流入量、気象条件が与える影響について分析したいと考えている。さらに、過去の水質分布の把握は、衛星リモートセンシングデータ解析により可能となる。衛星リモートセンシングデータから、水質分布を推定するための基礎データとして、実際の水質分布データの集積が不可欠であり、水質分布の観測事例を増やすことは重要である。

Aster データに基づいて推定した宍道湖・中海の水温は、湖心は同程度の水温でも周囲の水温は異なる場合があり、厳密な温度を利用する研究を行なうときは、面的な水温さを考慮する必要がある（作野ほか、2003b）、という指摘からも、水質データの集積は、諏訪湖の生態系に関連する他の分野において、2次元の水質観測データを利用した解析を行なうことで、新たな知見が得られる可能性もある。

謝辞

本研究は、2003年度科学研究費補助金（基盤研究C：15500681）「リモートセンシングデータによる天竜川上・下流域における自然環境の変化解析」（研究代表者：柳町晴美）と、2003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。関係各位に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 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.
- 西條八束・三田村緒佐武 (1995) : 『新編湖沼調査法』. 講談社.
- 作野裕司・吉田武史・山本正智・松永恒雄・中山大介・高安克巳・古津年章・下舞豊志 (2003a) : 多時期 Landsat/TM データによる宍道湖・中海の表層クロロフィル a 濃度分布推定. LAGUNA, 10, 57-63.
- 作野裕司・山本正智・吉田武史・松永恒雄・中山大介・高安克巳・古津年章・下舞豊志 (2003b) : ASRER データを用いた宍道湖・中海の水温・濁度推定 (2000～2002 年). LAGUNA, 10, 65-72.
- 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・沖野外輝夫 (1998) : アオコの発生と水質, 気象要因等との関係 (諏訪湖). 日本水産学会誌 64(2), 307-308.
- 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.
- 花里孝幸, 小河原誠, 宮原裕一 (2003) : 諏訪湖定期調査 (1997～2001). 信州大学山地水環境教育研究センター研究報告, 1, 109-174.
- 柳町晴美・高木直樹・花里孝幸・朴 虎東 (2003) : 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, 信州大学環境科学年報, 25, 21-28.
- 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.

表7 諏訪湖の水質データ (2003年7月3日)

Table 7. Observed water quality data in Lake Suwa (July 3, 2003).

Station	Time JST	Longitude			Latitude			SS (mg/l)	Chl- <i>a</i> (μ g/l)	Trans. (cm)	W.T. (°C)
		deg	min	sec	deg	min	sec				
C01	9:38	138	05	07.9 E	36	03	29.9 N	14.2	61.7	105	22.7
C02	9:43	138	04	52.8 E	36	03	32.5 N	18.8	49.4	100	22.7
C03	9:47	138	04	52.2 E	36	03	21.2 N	17.0	64.9	110	22.5
C04	9:51	138	04	35.8 E	36	03	23.4 N	15.2	57.1	125	22.1
C05	9:54	138	04	21.5 E	36	03	24.4 N	16.3	50.0	110	22.1
C06	9:58	138	04	23.0 E	36	03	35.4 N	15.2	58.4	103	21.9
C07	10:01	138	04	05.8 E	36	03	26.0 N	14.7	48.7	107	22.3
C08	10:07	138	04	05.7 E	36	03	16.1 N	16.6	55.2	108	22.2
C09	10:10	138	04	18.1 E	36	03	03.8 N	17.0	61.7	115	22.1
C10	10:15	138	04	32.0 E	36	02	52.2 N	17.1	53.2	107	22.2
C11	10:19	138	04	45.6 E	36	02	40.2 N	15.3	53.9	112	22.2
C12	10:23	138	04	59.1 E	36	02	27.3 N	15.5	55.2	105	22.0
C13	10:26	138	05	16.1 E	36	02	36.2 N	17.2	61.0	112	22.1
C14	10:29	138	05	01.4 E	36	02	48.1 N	15.0	59.7	107	22.1
C15	10:32	138	05	01.9 E	36	02	58.5 N	14.6	64.3	103	22.1
C16	10:36	138	04	48.8 E	36	03	00.5 N	14.7	68.8	98	22.1
C17	10:39	138	04	35.1 E	36	03	13.0 N	17.1	49.4	107	22.2
C18	10:44	138	05	05.8 E	36	03	09.4 N	15.7	48.7	100	22.4
C19	10:48	138	05	18.4 E	36	02	57.3 N	18.5	54.5	104	22.3
C20	10:53	138	05	32.2 E	36	02	46.4 N	15.9	55.2	113	22.2
K01	9:48	138	04	38.3 E	36	01	57.2 N	12.0	35.1	110	22.6
K02	9:53	138	04	24.8 E	36	02	10.5 N	14.5	63.6	120	22.3
K03	9:58	138	04	11.0 E	36	02	21.9 N	16.2	67.5	95	22.0
K04	10:05	138	03	56.8 E	36	02	34.1 N	13.2	51.9	96	22.2
K05	10:08	138	03	44.3 E	36	02	46.8 N	20.6	50.0	85	22.1
K06	10:12	138	03	30.0 E	36	02	59.4 N	13.9	45.5	95	22.3
K07	10:15	138	03	14.1 E	36	03	09.9 N	11.7	40.3	100	22.5
K08	10:18	138	03	33.9 E	36	03	09.2 N	16.5	63.0	95	22.1
K09	10:21	138	03	50.2 E	36	03	18.5 N	12.9	46.8	95	22.2
K10	10:24	138	03	47.7 E	36	03	06.8 N	19.9	50.0	100	22.2
K11	10:28	138	04	02.6 E	36	02	54.6 N	17.5	69.5	100	22.2
K12	10:31	138	04	15.6 E	36	02	42.2 N	15.4	72.1	100	22.1
K13	10:34	138	04	28.8 E	36	02	30.2 N	15.3	64.3	110	22.1
K14	10:37	138	04	41.7 E	36	02	18.3 N	14.3	59.1	110	22.3
K15	10:40	138	04	55.4 E	36	02	06.1 N	13.7	50.0	90	22.8
K16	10:44	138	05	12.7 E	36	02	15.6 N	14.0	50.0	92	22.3
K17	10:47	138	05	29.5 E	36	02	24.6 N	15.8	48.1	85	22.2
K18	10:50	138	05	46.9 E	36	02	33.2 N	14.9	50.0	90	22.3
K19	10:54	138	06	03.0 E	36	02	31.4 N	13.9	51.3	80	22.3
K20	10:58	138	06	18.6 E	36	02	41.2 N	17.4	37.7	85	22.3
T01	9:32	138	06	36.1 E	36	03	00.7 N	18.0	66.9	86	22.0
T02	9:38	138	06	37.9 E	36	03	11.0 N	18.3	59.7	84	22.1
T03	9:43	138	06	33.1 E	36	03	28.3 N	13.5	44.2	75	22.6
T04	9:48	138	06	19.2 E	36	03	40.0 N	17.2	70.8	87	22.8
T05	9:52	138	06	04.9 E	36	03	52.5 N	20.0	72.1	84	23.4
T06	9:59	138	05	41.1 E	36	03	49.2 N	16.8	63.0	96	23.0
T07	10:03	138	05	25.9 E	36	03	50.8 N	19.4	79.2	79	23.0
T08	10:09	138	05	09.9 E	36	03	40.6 N	17.5	71.4	100	22.8
T09	10:12	138	05	26.6 E	36	03	40.3 N	16.8	66.9	95	22.9
T10	10:16	138	05	56.1 E	36	03	37.1 N	12.3	72.7	100	22.8
T11	10:20	138	06	09.9 E	36	03	25.6 N	25.1	85.7	80	22.7
T12	10:23	138	06	22.4 E	36	03	13.1 N	14.2	55.8	111	22.3
T13	10:27	138	06	18.8 E	36	02	51.4 N	14.0	60.4	95	22.2
T14	10:30	138	06	05.2 E	36	03	03.3 N	12.8	61.7	113	22.4
T15	10:35	138	05	52.2 E	36	03	15.8 N	14.8	66.2	100	22.6
T16	10:38	138	05	39.4 E	36	03	27.8 N	15.6	67.5	81	22.9
T17	10:43	138	05	22.0 E	36	03	18.7 N	15.8	67.5	83	22.7
T18	10:46	138	05	36.6 E	36	03	06.6 N	13.5	68.2	88	22.5
T19	10:49	138	05	49.9 E	36	02	55.0 N	13.3	68.8	102	22.3
T20	10:52	138	06	02.4 E	36	02	42.7 N	14.3	65.6	87	22.3

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

Latitude and Longitude are expressed based on the Japanese Geodetic Datum 2000.

表8 諏訪湖の水質データ (2003年8月27日)

Table 8. Observed water quality data in Lake Suwa (August 27, 2003).

Station	Time JST	Longitude			Latitude			SS (mg/l)	Chl- <i>a</i> (μ g/l)	Trans. (cm)	W.T. (°C)
		deg	min	sec	deg	min	sec				
C01	10:12	138	05	07.8 E	36	03	30.0 N	8.7	33.8	90	24.7
C02	10:16	138	04	51.9 E	36	03	32.6 N	10.7	34.6	97	24.7
C03	10:19	138	04	52.1 E	36	03	21.4 N	5.2	24.7	106	24.5
C04	10:23	138	04	36.2 E	36	03	23.0 N	9.0	18.8	104	24.5
C05	10:27	138	04	22.0 E	36	03	24.3 N	9.6	22.1	104	24.5
C06	10:31	138	04	23.4 E	36	03	35.5 N	12.3	32.5	86	24.5
C07	10:35	138	04	05.6 E	36	03	25.7 N	12.2	27.9	81	24.7
C08	10:39	138	04	05.1 E	36	03	15.5 N	8.3	20.8	119	24.5
C09	10:43	138	04	19.5 E	36	03	03.3 N	7.7	23.4	102	24.6
C10	10:46	138	04	32.5 E	36	02	51.7 N	8.0	22.1	103	24.8
C11	10:49	138	04	46.5 E	36	02	39.4 N	8.1	21.4	103	24.8
C12	10:52	138	04	59.4 E	36	02	27.3 N	10.1	29.2	95	24.9
C13	10:55	138	05	16.2 E	36	02	36.6 N	9.4	23.4	100	25.0
C14	10:58	138	05	01.7 E	36	02	48.3 N	8.1	19.5	103	24.8
C15	11:01	138	05	02.0 E	36	02	59.4 N	7.0	22.7	102	24.8
C16	11:04	138	04	48.4 E	36	03	00.5 N	8.7	18.8	108	24.7
C17	11:08	138	04	34.5 E	36	03	13.4 N	8.2	16.2	100	24.7
C18	11:12	138	05	06.5 E	36	03	08.7 N	8.4	16.2	101	24.7
C19	11:15	138	05	19.4 E	36	02	57.1 N	7.3	16.2	112	24.9
C20	11:18	138	05	33.0 E	36	02	45.8 N	8.4	14.3	98	25.0
K01	10:02	138	04	38.8 E	36	01	57.2 N	8.1	16.9	115	24.2
K02	10:20	138	04	25.0 E	36	02	09.9 N	8.0	19.5	113	24.4
K03	10:23	138	04	11.6 E	36	02	21.8 N	7.9	26.0	120	24.4
K04	10:25	138	03	57.5 E	36	02	33.7 N	6.8	20.8	130	24.4
K05	10:28	138	03	44.8 E	36	02	45.7 N	6.7	13.6	139	24.2
K06	10:31	138	03	29.7 E	36	02	59.1 N	8.4	21.4	135	24.3
K07	10:34	138	03	15.2 E	36	03	09.3 N	8.5	24.0	118	24.3
K08	10:37	138	03	33.9 E	36	03	08.8 N	7.7	16.9	114	24.4
K09	10:40	138	03	50.4 E	36	03	18.0 N	10.9	16.9	97	24.4
K10	10:43	138	03	47.9 E	36	03	06.9 N	7.0	14.3	122	24.5
K11	10:45	138	04	02.5 E	36	02	54.8 N	8.3	20.1	120	24.5
K12	10:48	138	04	15.7 E	36	02	42.0 N	9.2	21.4	122	24.6
K13	10:51	138	04	28.8 E	36	02	30.1 N	9.7	18.8	110	24.7
K14	10:54	138	04	41.9 E	36	02	18.5 N	10.1	24.0	103	24.6
K15	10:58	138	04	56.4 E	36	02	06.6 N	10.7	20.8	54	25.1
K16	11:02	138	05	12.0 E	36	02	14.9 N	11.5	24.0	95	24.8
K17	11:05	138	05	29.4 E	36	02	24.1 N	12.3	29.9	90	24.9
K18	11:08	138	05	46.5 E	36	02	32.9 N	11.3	18.2	94	25.0
K19	11:10	138	06	02.0 E	36	02	32.1 N	15.8	31.8	82	24.7
K20	11:13	138	06	17.8 E	36	02	40.9 N	16.7	24.7	82	25.4
T01	10:04	138	06	35.8 E	36	02	59.7 N	11.4	21.4	112	25.3
T02	10:07	138	06	37.5 E	36	03	11.5 N	13.7	24.0	103	25.3
T03	10:11	138	06	32.5 E	36	03	28.4 N	14.5	35.7	91	25.3
T04	10:15	138	06	19.1 E	36	03	40.1 N	14.0	39.0	94	25.4
T05	10:20	138	06	05.2 E	36	03	52.6 N	26.2	54.5	116	25.6
T06	10:28	138	05	41.9 E	36	03	49.2 N	10.7	23.4	106	25.1
T07	10:32	138	05	25.9 E	36	03	50.7 N	13.3	23.4	105	25.2
T08	10:38	138	05	11.3 E	36	03	41.1 N	12.5	21.4	110	24.9
T09	10:41	138	05	26.0 E	36	03	40.2 N	12.6	24.0	104	25.2
T10	10:45	138	05	56.1 E	36	03	37.0 N	22.7	55.8	100	25.4
T11	10:49	138	06	09.7 E	36	03	25.1 N	11.3	23.4	114	25.2
T12	10:52	138	06	22.8 E	36	03	12.3 N	13.4	21.4	87	25.2
T13	10:57	138	06	20.1 E	36	02	50.7 N	12.4	20.1	100	25.3
T14	11:01	138	06	04.9 E	36	03	03.4 N	10.6	17.5	115	25.2
T15	11:05	138	05	52.6 E	36	03	16.8 N	10.5	23.4	119	25.1
T16	11:09	138	05	39.3 E	36	03	27.6 N	11.8	24.7	110	25.0
T17	11:16	138	05	21.2 E	36	03	18.3 N	11.6	25.3	124	24.8
T18	11:26	138	05	35.8 E	36	03	07.1 N	9.9	18.8	117	24.9
T19	11:30	138	05	49.5 E	36	02	54.7 N	10.6	29.9	123	25.1
T20	11:34	138	06	03.1 E	36	02	41.9 N	10.6	26.6	110	25.2

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

Latitude and Longitude are expressed based on the Japanese Geodetic Datum 2000.

表9 諏訪湖の水質データ (2003年9月28日)

Table 9. Observed water quality data in Lake Suwa (September 28, 2003).

Station	Time JST	Longitude			Latitude			SS (mg/l)	Chl- <i>a</i> (μ g/l)	Trans. (cm)	W.T. (°C)
		deg	min	sec	deg	min	sec				
C01	10:04	138	05	07.2 E	36	03	29.8 N	13.2	53.2	81	19.6
C02	10:06	138	04	53.0 E	36	03	32.0 N	15.1	63.0	96	19.6
C03	10:11	138	04	52.1 E	36	03	21.0 N	9.5	44.8	87	19.6
C04	10:15	138	04	36.2 E	36	03	22.9 N	15.9	66.9	88	19.3
C05	10:19	138	04	22.2 E	36	03	24.1 N	11.5	40.9	95	19.4
C06	10:22	138	04	22.8 E	36	03	34.9 N	11.1	39.6	85	19.5
C07	10:27	138	04	06.2 E	36	03	26.2 N	11.7	52.6	95	18.9
C08	10:30	138	04	04.9 E	36	03	16.1 N	14.2	63.0	90	18.5
C09	10:34	138	04	18.4 E	36	03	03.5 N	10.9	57.8	90	18.6
C10	11:23	138	04	32.2 E	36	02	51.7 N	18.3	56.5	93	19.4
C11	11:26	138	04	46.0 E	36	02	39.3 N	13.3	44.8	91	19.2
C12	11:29	138	04	58.7 E	36	02	27.8 N	12.7	40.3	102	18.8
C13	11:35	138	05	16.8 E	36	02	36.7 N	11.4	41.6	100	18.8
C14	11:39	138	05	01.0 E	36	02	48.4 N	16.0	61.0	90	19.3
C15	11:44	138	05	02.1 E	36	02	58.2 N	13.6	61.0	93	19.1
C16	12:05	138	04	49.2 E	36	03	00.1 N	14.9	54.5	94	19.4
C17	12:09	138	04	35.9 E	36	03	12.4 N	17.2	61.0	95	19.3
C18	12:13	138	05	06.1 E	36	03	09.2 N	13.7	56.5	95	19.1
C19	12:17	138	05	19.5 E	36	02	57.0 N	12.6	53.9	81	18.8
C20	12:20	138	05	32.8 E	36	02	45.5 N	12.1	53.9	95	18.9
K01	10:00	138	04	38.6 E	36	01	56.9 N	10.5	60.4	92	19.2
K02	10:07	138	04	25.0 E	36	02	09.7 N	12.7	55.8	94	18.8
K03	10:11	138	04	11.2 E	36	02	21.0 N	15.1	50.0	99	18.6
K04	10:15	138	03	57.5 E	36	02	34.0 N	12.5	51.3	98	18.6
K05	10:18	138	03	44.7 E	36	02	45.9 N	17.6	35.7	93	18.5
K06	10:21	138	03	30.9 E	36	02	58.4 N	18.5	51.3	93	18.4
K07	10:25	138	03	15.1 E	36	03	09.4 N	16.7	45.5	86	18.2
K08	10:28	138	03	34.1 E	36	03	09.0 N	15.1	48.7	91	18.4
K09	11:38	138	03	51.4 E	36	03	18.2 N	13.1	45.5	90	18.3
K10	11:43	138	03	48.7 E	36	03	06.7 N	16.4	53.9	101	18.5
K11	11:46	138	04	02.5 E	36	02	54.7 N	12.8	49.4	102	18.5
K12	11:50	138	04	16.2 E	36	02	41.8 N	15.7	57.8	102	18.4
K13	11:53	138	04	29.5 E	36	02	29.2 N	15.6	46.1	100	18.7
K14	11:56	138	04	42.0 E	36	02	19.3 N	15.6	56.5	96	19.0
K15	11:59	138	04	55.9 E	36	02	06.2 N	14.9	53.2	81	19.7
K16	12:04	138	05	11.9 E	36	02	14.9 N	13.5	72.1	93	19.0
K17	12:25	138	05	29.4 E	36	02	24.2 N	15.0	66.2	89	19.1
K18	12:31	138	05	46.9 E	36	02	32.9 N	15.1	57.8	93	19.1
K19	12:35	138	06	01.9 E	36	02	31.9 N	6.7	5.2	132	16.2
K20	12:40	138	06	17.9 E	36	02	40.9 N	11.4	37.7	91	18.9
T01	9:55	138	06	35.9 E	36	03	00.4 N	10.5	45.5	79	17.9
T02	9:56	138	06	37.5 E	36	03	11.4 N	8.9	38.3	77	18.9
T03	10:00	138	06	32.4 E	36	03	27.9 N	8.3	39.6	88	18.8
T04	10:04	138	06	18.8 E	36	03	39.8 N	10.1	42.9	80	18.4
T05	10:07	138	06	04.0 E	36	03	53.1 N	47.8	337.7	80	19.5
T06	10:12	138	05	43.0 E	36	03	49.8 N	15.1	70.1	80	19.0
T07	10:15	138	05	28.2 E	36	03	50.8 N	12.9	61.7	75	19.8
T08	10:20	138	05	11.1 E	36	03	41.4 N	14.6	63.0	73	19.4
T09	10:23	138	05	26.6 E	36	03	40.3 N	12.9	63.0	100	19.5
T10	10:27	138	05	55.8 E	36	03	36.5 N	14.7	68.8	96	18.7
T11	10:30	138	06	10.4 E	36	03	24.0 N	13.1	55.8	108	18.8
T12	10:34	138	06	22.4 E	36	03	12.7 N	12.7	50.0	113	18.7
T13	10:37	138	06	20.2 E	36	02	51.0 N	12.2	56.5	111	18.8
T14	10:42	138	06	05.7 E	36	03	02.7 N	12.5	61.0	100	18.9
T15	10:50	138	05	52.6 E	36	03	14.6 N	13.3	70.1	123	18.6
T16	11:46	138	05	39.6 E	36	03	28.3 N	13.8	66.2	98	18.8
T17	11:52	138	05	20.6 E	36	03	18.4 N	14.2	70.1	85	19.0
T18	11:56	138	05	37.6 E	36	03	06.7 N	13.8	64.9	100	18.8
T19	12:01	138	05	50.0 E	36	02	54.9 N	13.6	57.8	92	18.7
T20	12:05	138	06	02.9 E	36	02	41.9 N	13.8	63.0	78	18.8

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

Latitude and Longitude are expressed based on the Japanese Geodetic Datum 2000.