

2005 年夏季における諏訪湖の水平・垂直水質分布

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

Horizontal and vertical water quality distribution in Lake Suwa in the summer of 2005

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, DO

Keywords: Lake Suwa, water quality, chlorophyll-a, suspended solids, transparency, water temperature, dissolved oxygen

1. はじめに

筆者らは、2002 年、2003 年、2004 年夏季において、計 8 日間、諏訪湖の水質（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（以下では Trans.）、水温（以下では W.T.））の水平的な分布を観測し、「SS, Chl-a, W.T. が大きい所では Trans. が小さく、SS, Chl-a, W.T. が小さい所では Trans. が大きい」という分布パターンが、8 観測日のうち 5 日間に認められ、このパターンは、近年、諏訪湖において夏季に卓越するパターンである可能性があることを指摘した（柳町ほか、2005）。

その他に以下の結果が得られた。SS と Chl-a は、8 観測日全てで有意な正相関であり、諏訪湖では SS は主に植物プランクトンに起因することが確認された。W.T. の変動は、他の水質要素よりも複雑であり、観測日毎の第 1 成分主成分負荷量によれば、他の要素と同期する観測日（6 日）と無相関である観測日（2 日）がある。同期する観測日のうち、5 日は SS, Chl-a と正相関（主成分負荷量が同符号）、Trans. とは負相関（主成分負荷量が逆の符号）であり、2002 年 9 月 2 日のみ SS, Chl-a と負相関（主成分負荷量が逆の符号）、Trans. とは正相関（主成分負荷量が同符号）であった。

以上の結果を踏まえて、2005 年夏季において諏訪湖の水質観測を実施し、事例を増やしてこれまで得られたパターンの存在について検証し、比較・検討のためのデー

タを蓄積することが本研究の目的である。

諏訪湖では 1977 年以降、湖心における水質データが定期的に観測されており、最近の諏訪湖における水質の変遷を確認することができる（沖野、花里、1997、花里ほか、2003）。本研究において 2005 年夏季に実施した水質調査では、諏訪湖の水質を、これまでの 2 次元的分布の把握から、3 次元的分布の把握へと拡大し分析することを試みた。

2004 年夏季にはアオコのやや広範囲な発生が見られたが、2005 年夏季にもアオコの顕著な発生（表層に植物プランクトンが緑のマット状に浮遊）が観察された期間があった。1999 年以降はアオコの発生が少ない年が続き、夏の平均透明度が 100cm に達しており、諏訪湖では水質浄化が明らかに進んできたといえる（花里、2004）が、下水処理施設では処理されない河川などからの汚染原因物質の流入は継続しており、2005 年夏季の気象条件がアオコ発生を助長した可能性がある。そこで 2005 年夏季の気象データも検討した。

今回の観測データも、これまでの観測データとともに、衛星リモートセンシングデータ解析のための水質分布基礎データとして蓄積する。

2. 方法

2005 年夏季の水質観測は、8 月 17 日、10 月 6 日の 2 回実施した。観測方法は、2002 年 1 回、2003 年 3 回、

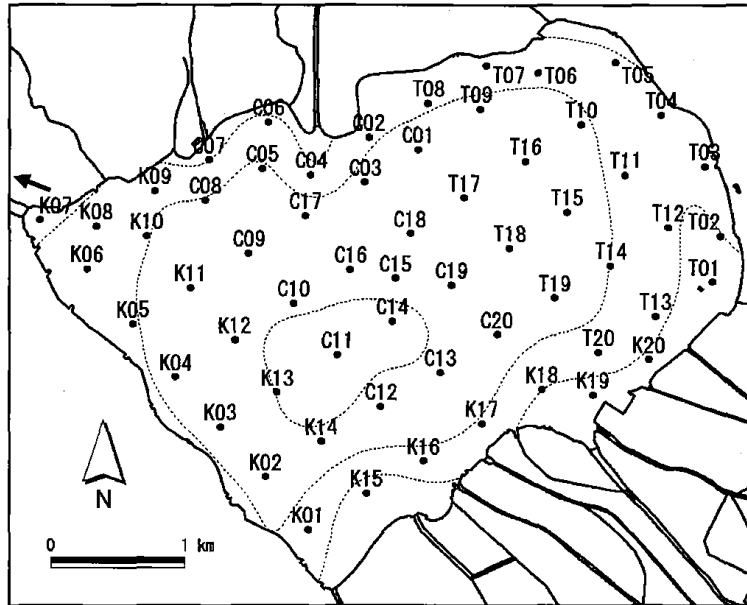


図1 60観測地点と流入・流出河川

Fig.1. 60 survey points in Lake Suwa, inlets and outlet

Dotted lines show the contour lines of the depth of water at intervals of two meters on October 6, 2005.

表1 観測時刻と水質要素間のスピアマンの順位相関係数
Table 1. Spearman's rank correlation coefficient between the observation time and the water quality elements

	August 17, 2005		October 6, 2005	
	r_s	N	r_s	N
SS	-0.325 *	60	0.085	60
Chl- <i>a</i>	-0.317 *	60	0.150	60
Trans.	0.188	59	-0.313 *	60
IL	-0.265 *	60	0.176	60
DO 0m	0.583 **	60	0.735 **	60
DO 1m	0.625 **	60	0.773 **	60
DO 2m	0.385 **	56	0.736 **	54
DO 3m	0.064	46	0.708 **	42
DO 4m	-0.012	33	0.569 **	31
DO 5m	-0.127	19	-0.268	19
DO 6m	0.080	10	-0.500	3
W.T. 0m	0.838 **	60	0.584 **	60
W.T. 1m	0.475 **	60	0.468 **	60
W.T. 2m	0.042	56	0.198	54
W.T. 3m	0.086	46	0.101	42
W.T. 4m	0.077	33	-0.016	30
W.T. 5m	-0.421	19	-0.239	19
W.T. 6m	0.025	10		3
W.T.0m at 10:30	0.039	60		

** : significant at 0.01 significant level.

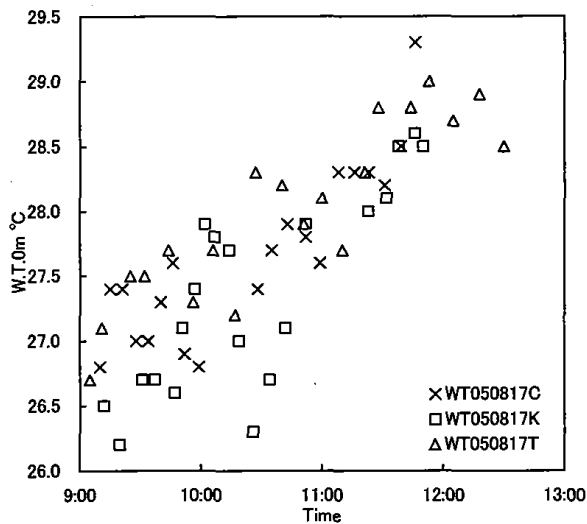
* : significant at 0.05 significant level.

2004年4回実施したものに準拠し、これまでと同じ60観測点において観測した(図1)(柳町ほか, 2003, 2004, 2005)。観測は3艘の観測船により実施し、それぞれ20観測点ずつ観測した(C01~C20, K01~K20, T01~T20)。

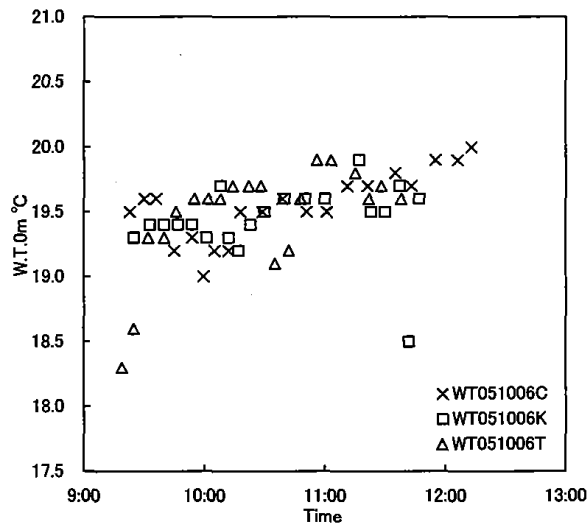
観測・分析項目は、これまでと同様の、表層のSS, Chl-*a*, Trans., W.T.0mと、新たに、水深1m間隔の水温(W.T.1m,

W.T.2m, ...)とDO(DO0m, DO1m, DO2m, ...), 表層の強熱減量(以下ではIL)を追加した。

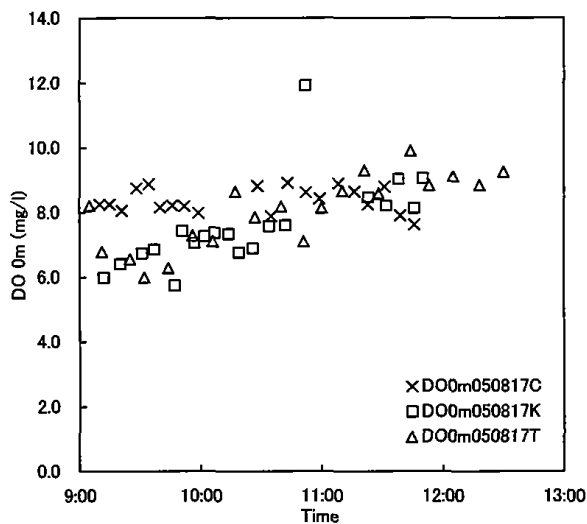
各観測点においては、表層水の採水を行ない、透明度の計測、表層の水温とDOの測定、続いて水深1mの水温とDO、水深2mの水温とDO、以下1m毎に湖底に達するまで測定した。SS, Chl-*a*の測定方法は、柳町ほか



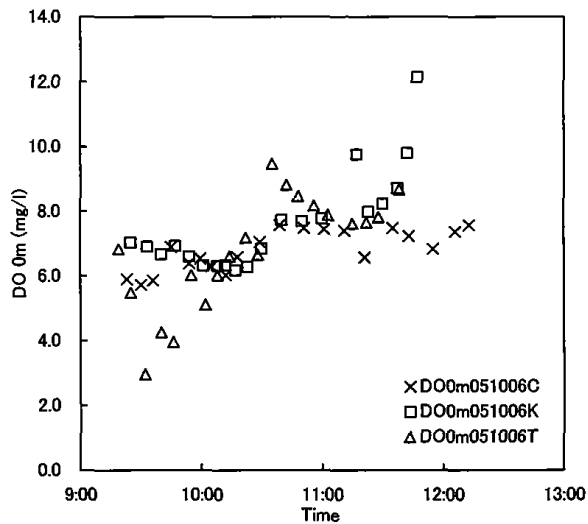
(a) W. T. 0m on August 17, 2005



(b) W. T. 0m on October 6, 2005



(c) DO 0m on August 17, 2005



(d) DO 0m on October 6, 2005

図2 表層水温, DO と観測時刻との散布図

Fig.2. Scattergrams of W.T.0m and DO 0m versus observed time

× : C01~C20, □ : K01~K20, △ : T01~T20

(2003)と同様である。水中の溶存酸素濃度は、YSI社 model 55型DOメーターで測定した。水中の強熱減量は、懸濁物質(SS)を秤量したGF/Cフィルターを電気炉で450°C3時間強熱後、再度秤量し、減少した質量から求めた。

観測時間は8月17日9:05~12:30、10月6日9:19~12:13、所要時間はそれぞれほぼ3時間半、3時間である。各測点における測定開始時刻は、表9、表10に記載されている。各測点における水深により測定数が異なるので、測点毎に所要時間に違いがある。また、垂直方向の測定を行なったため、全体の所要時間は2002年、2003年、

2004年の観測日より長く、最も短い所要時間であった2004年8月30日の1時間20分と比較すると、2倍以上の時間を要した。

観測時刻と水質データとのスピアマンの順位相関係数によれば、8月17日、10月6日の観測時刻と幾つかの水質要素の観測値には有意な相関がみられた(表1)¹⁾。相関係数の絶対値が0.3~0.4程度の場合、散布図で観測コース別に見ると、明瞭な相関関係は確認しがたい(2004年7月13日と7月29日のChl-a, W.T.) (柳町, 2005)。

表層、および表層に近い水深のW.T.とDOには、観測時刻と相関係数0.7~0.8程度の強い正相関を示すものが

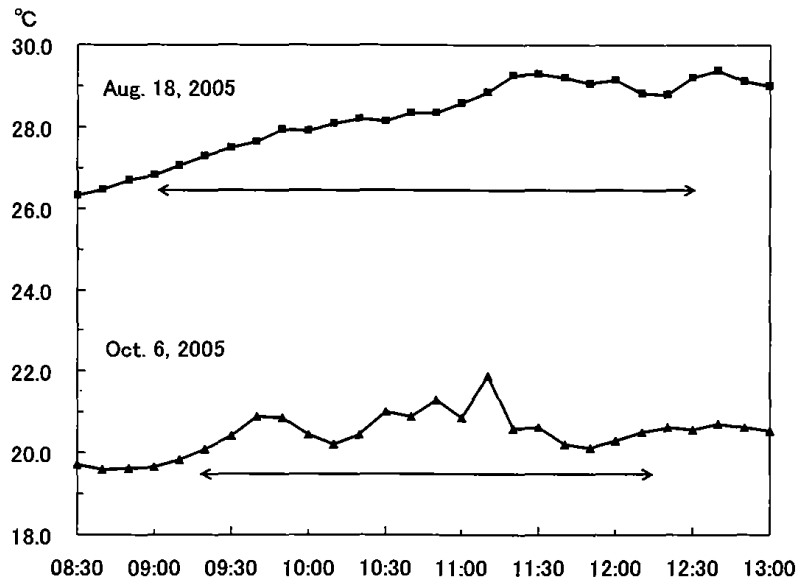


図3 湖心(C15)における表層水温
 Fig.3. Surface water temperature at center of Lake Suwa (C15)
 Allows show the length of observation on August 17, 2005 and on October 6, 2005.

ある。これらが時間の経過に伴って上昇傾向にあったのかをさらに散布図から検討する。観測をほぼ同時に行ったコース別 (C コース : C01~C20, K コース : K01~K20, T コース : T01~T20, 図1) に, 8月17日と10月6日の W.T.0m と DO 0m の観測値を時間経過に対してプロットした散布図を図2に示す。

8月17日の W.T.0m は, 全体として, 右上がりの分布である (図2(a))。一方, 10月6日の W.T.0m は, 8月17日と比較すると, 時間経過による水温の上昇は限定的であり, 3測点を除けば水温の分布域は約1°Cであり, 水温の上昇傾向は明瞭とは言い難い (図2(b))。

8月17日, 10月6日とも, 観測船による観測とは別に, 水温のデータロガー (HOBO Water Temp Pro) を湖心の C15 測点付近でブイに接続して表層水温を10分間隔で測定した (図3)。矢印は観測船による観測を行なった時間帯である。

8月17日の湖心における水温は, 観測開始以降, 11:30の29.3°Cまで上昇し, その後, 12:20に28.8°Cへと低下したものの, 12:30には29.2°C, 12:40に29.4°Cと再び上昇した。このように, 8月17日の W.T. 0m は, 観測時刻の経過に伴う水温上昇傾向があり, W.T. 0m の水平分布を見るためには補正が必要と考えられる。そこで, 後述のように回帰分析を使用した補正を行なった。

一方, 10月6日の水温の変化には波があり (図3), 観測時間帯を通じて水温が上昇しているわけではないため, 時間経過による水温上昇の補正は行なわないこととした。11時10分のピークは, ロガーが水面の上方に浮かんで気温を測定した値と推測される。

8月17日の DO 0m は, K コース (□) と T コース (△) では, 時間経過による増加傾向が見られるが, C コース (×) においては時間経過による増加傾向が見られない (図2(c))。

10月6日の DO 0m は, 8月17日よりデータ範囲が広く, 全体としては時間経過による DO の増加傾向があるが, コースによる変化傾向の違いが顕著である (図2(d))。

時間経過による水温上昇に伴い植物プランクトンや水草の光合成が活発になり DO の値も上昇したと推察されるが, そもそも, 水草帯や植物プランクトンが多い所では, それ以外の所よりも DO の増加率が大きいと想定されるので, 回帰分析を利用して, 観測時刻の経過のみから DO を一律に補正することが適切とは限らない。

8月17日, 10月6日の DO については, 他の観測値との相関, および, 垂直分布の特徴を調べ, 水平分布, 時間経過による観測値の補正は, 観測事例を蓄積後検討することとした。

2002年～2004年夏季に得られた水質分布パターンの検証を行なうために、2005年2日分、4種類の水質データ(SS, Chl-*a*, Trans., W.T. 0m (8月17日は補正した値))から、2005年夏季における諏訪湖の水平的な水質分布を、主成分分析により解析し、水質分布を特徴付ける分布パターン(主成分負荷量)を抽出し、その特徴が顕著に見られる地域を主成分得点から解析した。これらの結果を2002年～2004年の解析から得られたパターンと比較検討した。

W.T., DOについては、観測日毎に垂直分布の特徴を調べた。

観測された水質データが2005年夏季の気象を反映しているかについて、気象データとの比較から考察した。

2-1. 2005年8月17日表層水温の補正

2005年8月17日の表層水温は以下の手順で補正を行い、60測点のデータを10:30amの値に換算した。10:30は観測時間帯のほぼ中央である。

60測点における観測開始時刻が9:05から12:30であるので(表9)、湖心における表層水温(図3)のこの時間帯を含む9:00～12:40の23個の時刻(10分間隔)を説明変数、観測値を目的変数とする回帰分析を行い、単位時間当りの気温上昇(傾き, °C)を算出した。1時間当りの気温上昇は、0.637909°Cと算出されたので、各測点の観測時刻と10:30との時間差から測点毎の補正量を計算し、各測点の表層水温観測値(W.T. 0m)に補正量を加算して10:30の水温補正值(W.T. 0m at 10:30)を求めた。時刻毎の補正量は、10:30より前は正、10:30より後は負となり、10:30から遠ざかるほど線形的に絶対値が大きくなる²⁾。

8月17日の表層水温の水平的な分布は、W.T. 0m 10:30により検討する。各測点では、水深が異なる水温を近接した時刻に観測しているので、W.T.の垂直的な分布の検討には、補正なしの値を使用した。

3. 結果と考察

60測点における水質データを表9～表10に、観測日毎の表層4要素(SS, Chl-*a*, Trans., W.T.0m)の分布図を図4～図5に示す。測定値の要約統計量を表2に、観測日毎に算出した要素間(表層)の相関係数を表3に

示す。

3-1. 水質データの統計量

60測点における水質データの要約統計量(表2)によれば、SS, Chl-*a*, ILの平均値は、いずれも8月17日の方が10月6日より小さい。Trans.の平均値は、逆に8月17日の方が10月6日より大きい。8月17日のTrans.の最大値144cm, 最小値75cm, 平均値110.1cmは、2002年～2005年の計10日間で最も大きな値であった(柳町ほか, 2003, 2004, 2005)。

10月6日には、顕著なアオコの発生が広範囲に観察され、Trans.の平均値が41.8cmであった2004年10月1日より緑色のアオコの異常発生(表層で植物プランクトンがマット状になった状態)が印象であったが、透明度の平均値は89.0cmと比較的大きな値であった。また、2004年10月1日のSS, Chl-*a*の平均値(30.9mg/l, 159.9μg/l)の方が2005年10月6日(17.6mg/l, 46.3μg/l)よりも大きな値であった。

W.T.とDOの統計量については、3-5.で検討する。

3-2. 水質データの相関関係

8月17日, 10月6日のいずれの観測日においても、SS, Chl-*a*, IL, Trans.は、相互に有意な正相関または負相関がある(表3)。Trans.と他の3要素(SS, Chl-*a*, IL)とはいずれも負相関であり、SS, Chl-*a*, ILは相互に正相関である。

両日ともILとSS, Chl-*a*との相関係数は他の要素間と比較して特に大きい。SSとChl-*a*との相関が強く、SSが主に植物プランクトンに起因する場合には、SSが大きければ加熱の際に失われる有機物も大きいので、ILはSS, Chl-*a*と強い相関を示すと言えよう。

DOは、8月17日には他の要素と有意な相関がないが、10月6日にはSS, Chl-*a*, ILと有意な正相関, Trans.と有意な負相関である。

8月17日の表層水温については、時刻による補正なしW.T.0mと補正ありW.T.0m at 10:30の両方と、他要素との相関係数を算出した。表層水温とSS, Chl-*a*, ILとの相関係数は、W.T.0mとW.T.0m at 10:30では符号が逆転したが、絶対値はいずれも小さく、有意な相関は見られない。W.T.0mとDO 0mのみ有意な正相関である。

表2 水質データの要約統計量
Table 2. Summary statistics of water quality data.

August 17, 2005

	SS(mg/l)	Chl-a(μ g/l)	IL(mg/l)	Trans.(cm)	W.T.0m10:30(°C)
Max	38.3	150.0	37.3	144.0	28.5
Min	3.0	15.6	6.2	75.0	26.3
Mean	11.8	41.0	11.6	110.1	27.7
S.D.	6.4	21.5	5.9	14.7	0.4
N	60	60	60	59	60

	DO 0m(mg/l)	DO 1m(mg/l)	DO 2m(mg/l)	DO 3m(mg/l)	DO 4m(mg/l)	DO 5m(mg/l)	DO 6m(mg/l)
Max	11.92	10.39	9.30	6.65	6.23	3.52	0.22
Min	5.74	4.14	1.69	0.67	0.16	0.10	0.07
Mean	7.99	7.47	5.84	5.12	3.97	0.45	0.15
S.D.	1.07	1.62	1.31	1.20	1.73	0.76	0.04
N	60	60	56	46	33	19	10

	W.T.0m(°C)	W.T.1m(°C)	W.T.2m(°C)	W.T.3m(°C)	W.T.4m(°C)	W.T.5m(°C)	W.T.6m(°C)
Max	29.3	27.6	26.7	26.6	26.0	24.8	23.3
Min	26.2	25.4	25.2	24.7	24.2	22.8	22.7
Mean	27.7	26.4	26.0	25.8	25.5	24.0	22.9
S.D.	0.7	0.4	0.3	0.4	0.4	0.6	0.2
N	60	60	56	46	33	19	10

October 6, 2005

	SS(mg/l)	Chl-a(μ g/l)	IL(mg/l)	Trans.(cm)
Max	49.4	177.9	41.4	113.0
Min	8.9	9.7	5.1	52.0
Mean	17.6	46.3	12.1	89.0
S.D.	6.4	33.4	6.0	11.9
N	60	60	60	60

	DO 0m(mg/l)	DO 1m(mg/l)	DO 2m(mg/l)	DO 3m(mg/l)	DO 4m(mg/l)	DO 5m(mg/l)	DO 6m(mg/l)
Max	12.14	10.60	8.39	7.99	6.72	6.43	6.06
Min	2.96	2.95	3.15	1.87	5.03	3.30	5.79
Mean	7.07	6.83	6.41	6.10	6.12	5.80	5.88
S.D.	1.42	1.25	0.98	1.03	0.40	0.69	0.15
N	60	60	54	42	31	19	3

	W.T.0m(°C)	W.T.1m(°C)	W.T.2m(°C)	W.T.3m(°C)	W.T.4m(°C)	W.T.5m(°C)	W.T.6m(°C)
Max	20.0	19.9	19.6	19.5	19.5	19.4	19.3
Min	18.3	18.0	18.6	18.8	19.0	18.9	19.3
Mean	19.5	19.4	19.3	19.3	19.3	19.3	19.3
S.D.	0.3	0.4	0.2	0.2	0.1	0.1	0.0
N	60	60	54	42	30	19	3

表3 観測日毎に算出した要素間の相関係数
Table 3. Correlation coefficients between the water quality elements for each observation date.

August 17, 2005

	SS	Chl-a	IL	Trans	DO 0m	W.T.0m
SS	1.000					
Chl-a	0.875 **	1.000				
IL	0.976 **	0.908 **	1.000			
Trans	-0.468 **	-0.295 *	-0.376 **	1.000		
DO 0m	-0.069	-0.068	-0.032	-0.229	1.000	
W.T.0m	-0.163	-0.177	-0.147	0.023	0.514 **	1.000
W.T.0m at 10:30	0.229	0.104	0.235	-0.234	0.123	0.600 **

October 6, 2005

	SS	Chl-a	IL	Trans	DO 0m	W.T.0m
SS	1.000					
Chl-a	0.860 **	1.000				
IL	0.965 **	0.892 **	1.000			
Trans	-0.681 **	-0.636 **	-0.606 **	1.000		
DO 0m	0.449 **	0.444 **	0.406 **	-0.616 **	1.000	
W.T.0m	-0.304 *	-0.169	-0.205	0.132	0.137	1.000

** : significant at 0.01 significant level.

* : significant at 0.05 significant level.

10月6日のW.T.0mは、SSとは有意な負相関であるが、他の要素とは有意な相関は見られない。

3-3. 各観測日の主成分分析

8月17日と10月6日の夏季2日分、4種類の表層の水質データ分布(図4~図5)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2成分までの固有値と寄与率を表4に示す。両日とも第2成分の固有値が1未満であり、第1成分の固有値が特に大きいので第1成分のみが主要な分布パターンといえる。第1成分の寄与率はそれぞれ55.4%、63.4%である。以下では、寄与率が高い第1成分について考察する。

8月17日と10月6日の第1成分の主成分負荷量を比較すると、SS、Chl-a、Trans.の3要素は類似した傾向を示すが、W.T.0m(8月17日は補正值)は両日で異なる傾向を示した(表5)。

両日とも、第1成分の主成分負荷量は、SS、Chl-a、とTrans.の符号が逆である。

W.T.の符号は、両日で異なり、8月17日にはSS、Chl-a、と同符号(Trans.と逆符号)、10月6日にはSS、Chl-a、と逆符号(Trans.と同符号)である。

すなわち、第1成分の主成分負荷量から見て、8月17日には「SS、Chl-aが大きい所では、Trans.が小さく、W.T.0m at 10:30はやや大きい」、
「SS、Chl-aが小さい所では、Trans.が大きく、W.T.0m at 10:30はやや小さい」傾向がある。

10月6日には「SS、Chl-aが大きい所では、Trans.が小さく、W.T.0m at 10:30はやや小さい」、
「SS、Chl-aが小さい所では、Trans.が大きく、W.T.0m at 10:30はやや大きい」傾向がある。表層水温の主成分負荷量は、第1成分よりも第2成分の絶対値が大きいので、他の3要素と比較して、第1成分で説明される表層水温の変動量は少ない。このため、表層水温の特徴は「やや大きい」あるいは「やや小さい」と表現した。

8月17日のパターンは、2002年~2004年夏季8観測日のうち5日間(2003年7月3日、2003年8月27日、2003年9月28日、2004年7月13日、2004年7月29日)で認められたパターンとほぼ同じである(柳町ほか、2004、2005)。また、10月6日のパターンは、2002年9

月2日のパターンとほぼ同じである。「ほぼ同じ」とした理由は、上述の、第1成分による表層水温の説明量が少ないことにある。

3-4. 各観測日の水質分布の特徴

各観測日に第1成分の主成分得点の絶対値が大きい地域は第1成分の特徴を最も反映する地域とみなすことができる。2003年、2004年夏季の水質分布と同様に(柳町ほか、2004、2005)、第1成分の主成分得点をクラスター分析し(ユークリッド距離を使用したward法)、特徴的な地域にグループ分けした。

第1成分の主成分得点から、8月17日、10月6日とも、測点は3グループに分類された(図6、表6の+、△、×)。いずれの観測日においても、主要な2グループは、主成分得点が正(+)または負(△)となるグループである。3つめは主成分得点が特に大きいグループ(×)である。(×)は(+)地域中の際立った特徴を示すグループと言える。観測日毎の各グループの特徴を表6に示す。

8月17日(図6(a))の場合、+の地域(SS、Chl-aが大きく、Trans.が小さい、W.T.0m at 10:30はやや大きい)は、湖の北東部から南東部にかけて(東端部)と、北部から中央部にかけて分布し、△の地域(SS、Chl-aが小さく、Trans.が大きい、W.T.0m at 10:30はやや小さい)は、湖の西部、南部を中心に広く分布する。SS、Chl-aが特に大きな×の地域は、北東端、南東端、北西端の限られた地点に分布する。

主成分負荷量から見た8月17日の特徴は、前述のように、2003年7月3日、2003年8月27日、2003年9月28日、2004年7月13日、2004年7月29日と類似しているが、特徴的な分布を示す地域は異なっている。北東部に+が分布している点に限れば、2005年8月17日は、2003年7月3日、2003年8月27日、2004年7月13日と同じである。

10月6日(図6(b))の場合、+の地域(SS、Chl-aが大きく、Trans.が小さい、W.T.0m はやや小さい)は、諏訪湖の東部から南部、南西部にかけて分布し、△の地域(SS、Chl-aが小さく、Trans.が大きい、W.T.0m はやや大きい)は、湖の東部・南部以外に広く分布する。SS、Chl-aが特に大きな×の地域は、東端部と南端部に分布

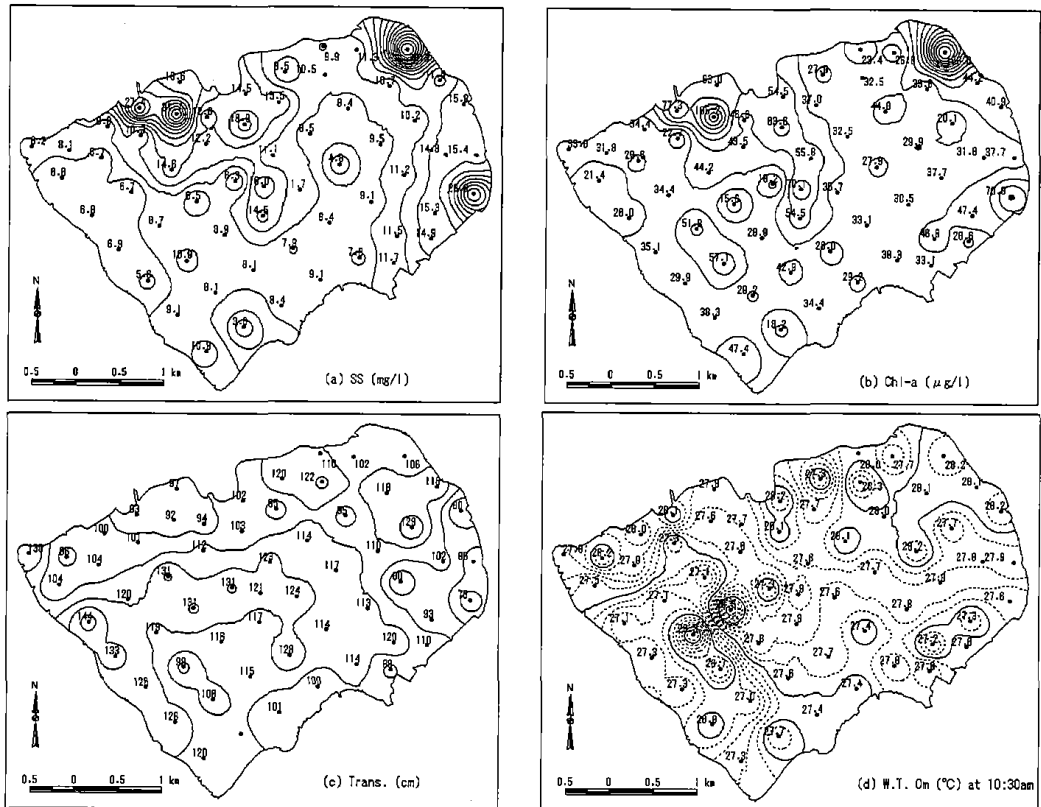


図4 諏訪湖の水質分布図 (2005年8月17日) (a)懸濁物質量, (b)クロロフィルa濃度, (c)透明度, (d)表層水温
 Fig. 4. Water quality maps of Lake Suwa on August 17, 2005. (a)SS, (b) Chl-a, (c)Trans., (d)W.T.0m at 10:30

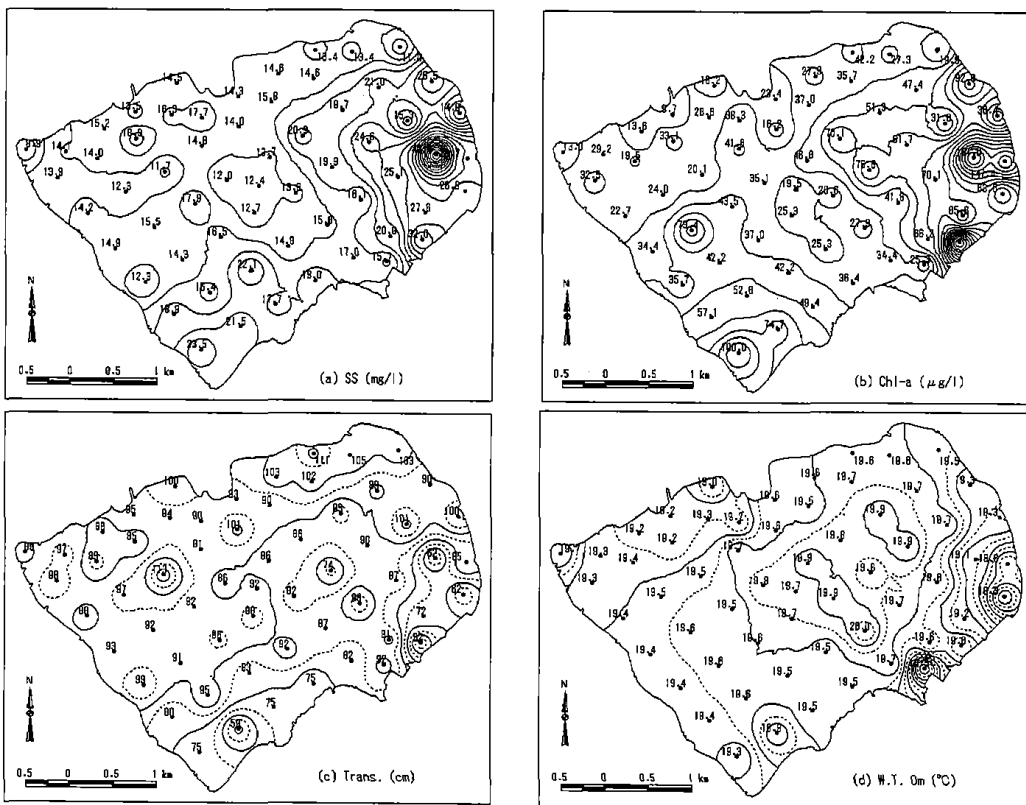


図5 諏訪湖の水質分布図 (2005年10月6日) (a)懸濁物質量, (b)クロロフィルa濃度, (c)透明度, (d)表層水温
 Fig. 5. Water quality maps of Lake Suwa on October 6, 2005. (a)SS, (b) Chl-a, (c)Trans., (d)W.T.0m

表4 固有値と寄与率

Table 4. Eigenvalues and proportions
August 17, 2005

	Eigenvalue	Proportion	Cumulative proportion
Component 1	2.216	55.4%	55.4%
Component 2	0.981	24.5%	79.9%

October 6, 2005

	Eigenvalue	Proportion	Cumulative proportion
Component 1	2.538	63.4%	63.4%
Component 2	0.937	23.4%	86.9%

表5 主成分負荷量

Table 5. Component loadings
August 17, 2005

	Component 1	Component 2
SS	0.946 **	-0.194
Chl-a	0.869 **	-0.379 **
Trans	-0.649 **	-0.295 *
W.T.0m 10:30	0.381 **	0.844 **

October 6, 2005

	Component 1	Component 2
SS	0.946 **	0.013
Chl-a	0.911 **	0.158
Trans	-0.827 **	-0.214
W.T.0m	-0.358 **	0.930 **

** : significant at 0.01 significant level.

* : significant at 0.05 significant level.

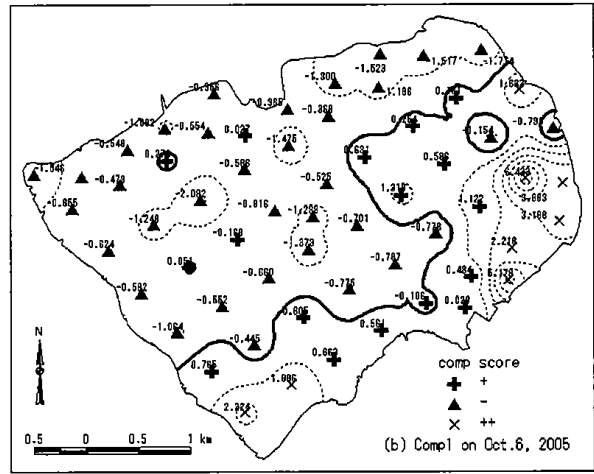
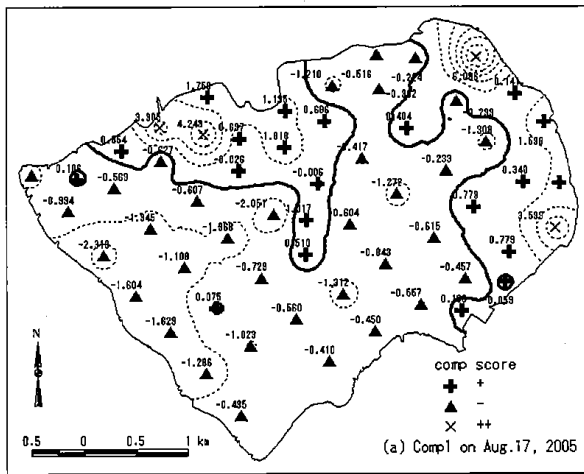


図6 第1主成分の主成分得点に基づく地域区分

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

(a) August 17, 2005, (b) October 6, 2005

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

表6 3グループの特徴

Table 6. Characteristics of the three groups

	+ (Fig. 6)				▲ (Fig. 6)				× (Fig. 6)			
	SS	Chl-a	Trans	W.T.0m	SS	Chl-a	Trans	W.T.0m	SS	Chl-a	Trans	W.T.0m
Aug. 17, 2005	+	+	-	(+)	-	-	+	(-)	++	++		
Oct. 6, 2005	+	+	-	(-)	-	-	+	(+)	++	++		

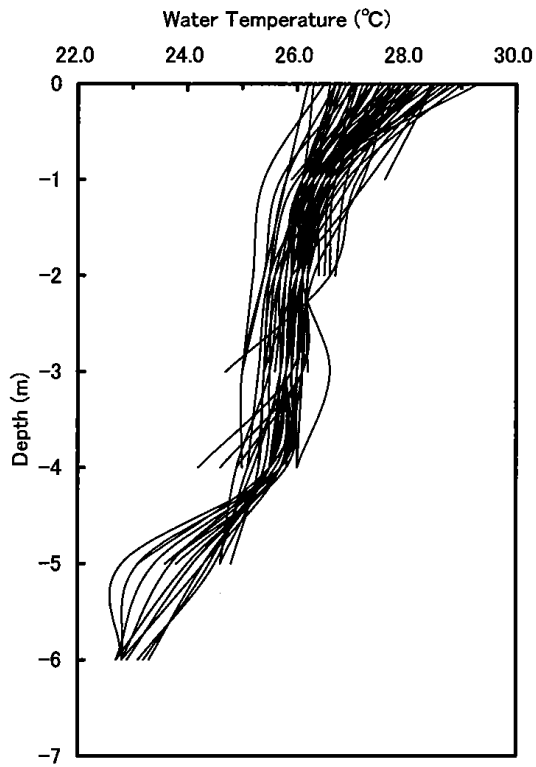
Plus(+) indicates bigger value than mean and minus(-) indicates smaller value than mean.

する。

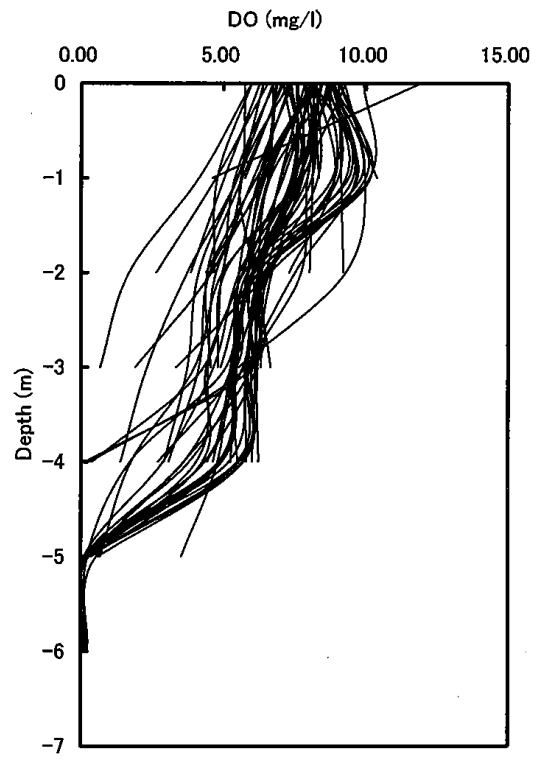
主成分負荷量から見た10月6日の特徴は、2002年9月2日と類似しているが、特徴的な分布を示す地域は異なっている。東部で、SS、Chl-aが大きく、Trans.が小さい点に限れば、2005年10月6日は、2003年8月27日、2004年7月13日、2005年8月17日と類似している。さらに、南東部から南端部にかけて、SS、Chl-aが大きく、Trans.が小さい点に限れば、2003年8月27日、2004年7月29日と類似している。南端部の同様な特徴

は2003年9月28日とやや類似している。

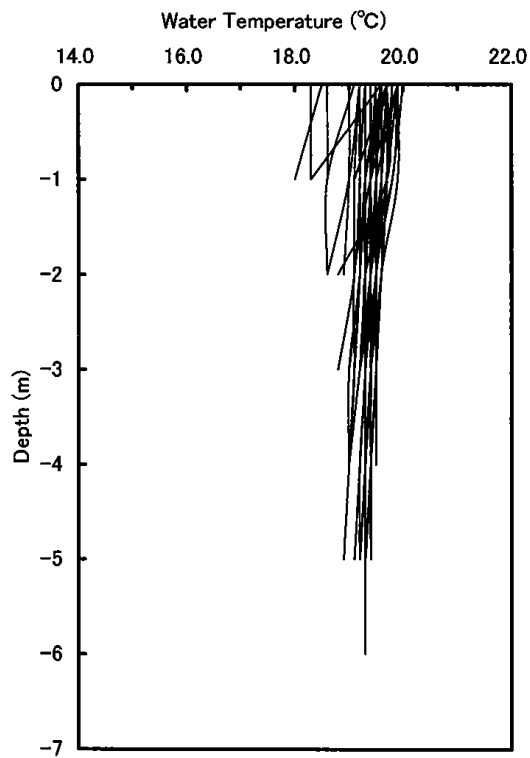
2005年10月6日には顕著なアオコの分布が観察されたが、SS、Chl-aの分布を反映する第1成分の主成分得点から類推されるアオコの分布地域は、湖東部に限定的であったと推測される。全域的にTrans.が低下した2004年10月1日のアオコ発生状況とは異なっていたと考えられる。2004年10月1日には、植物プランクトンがマット状になる状態は2005年10月6日ほど顕著ではなかったが、植物プランクトンの増殖は2005年10月6日より



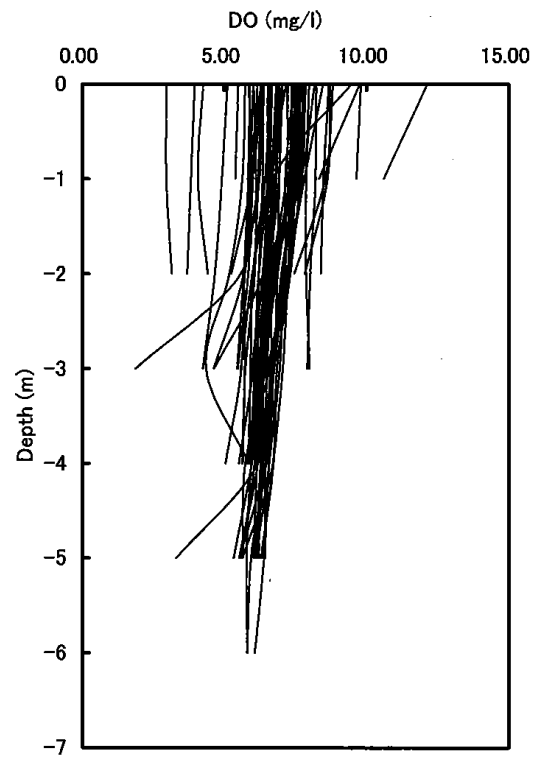
(a) W. T. 0m on August 17, 2005



(b) DO 0m on August 17, 2005



(c) W. T. 0m on October 6, 2005



(d) DO 0m on October 6, 2005

図7 測点毎の水温とDOの垂直分布

Fig.7. Vertical distributions of water temperature and DO at 60 observation points in Lake Suwa

も全域的にみられ透明度が低下したものと考えられる。

3-5. W.T. と DO の垂直分布

水深 1m 間隔の水温 (W.T.0m, W.T.1m, W.T.2m, …), および DO (DO0m, DO1m, DO2m, …) は, 測点毎に湖底に達する手前の水深まで測定した。諏訪湖は最も深い所でも水深 7m に達しない浅い湖であるので, 最も深い観測は水深 6m の水温と DO である。各観測日の水温と DO の 60 測点の垂直分布を図 7 に示す。8 月 17 日の表層水温は時刻による補正を行っていないものである。

8 月 17 日の水温 (図 7(a)) は, 表層では水深 1m 以下の水温よりも分散が大きい。時間経過による気温上昇の影響を反映していると考えられる。水深 1m~4m まではほぼ一定の水温を示すが, 水深 5m の水温は水深 4m より浅い層の水温から急激に低下し, 水深 6m の水温はさらに低下傾向にある。8 月 17 日の水温は, 夏季の温度成層を示している。

8 月 17 日の DO (図 7(b)) は, 表層よりも水深 1m でのばらつきが大きい (表 2)。測点により垂直方向の変化傾向 (傾き) に違いが見られ, 水温と同様に水深 4m まででは変化が小さく水深 5m で急激に 0mg/l に近づく測点や, 水深 4m で 0mg/l に近い値となる測点などがある。

10 月 5 日の水温 (図 7(c)) は, 表層から水深 6m まで水温の変化は非常に小さく, 水深毎の平均水温は, 表層

から湖底方向へ, 19.5°C, 19.4°C, 19.3°C, 19.3°C, 19.3°C, 19.3°C, 19.3°C であり, 夏季の温度成層が解消され, ほぼ一定の水温であった。

10 月 5 日の DO (図 7(d)) は, 水温と類似の変化傾向であり, 水深にかかわらずほぼ一定の値を示す測点が多い。

3-6. 2005 年夏季の気象

2005 年 6 月から 10 月までの, 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月別値を平年値と比較すると, 6 月~10 月の月平均気温はいずれも平年値より高く, 9 月は平年比+2.1°C, 10 月は+1.9°C であり, 非常に高温であった。月降水量は, 7 月平年比が 103.9%であった以外は, 平年よりも少雨であり, 9 月には 30.9%と非常に少雨であった。日照時間は, 9 月には平年よりも長く, 8 月, 10 月はやや平年よりも短かった (表 7)。水質観測を実施した 2005 年夏季から秋季の気象は, 非常に暑く, 雨が少ないと特徴付けることができる。高温という気象条件は平年よりもアオコ発生に有利であったと言えよう。

8 月 17 日と 10 月 6 日における観測時間帯の特別の風向, 風速データを表 8 に示す。

8 月 17 日には, 観測時間帯に風向の変動が見られるが, 南寄りの風の時に風速が大きい。10 月 6 日には, 一貫し

表 7 諏訪における月平均気温, 月降水量, 日照時間月合計
Table 7. Monthly mean temperature, monthly precipitation and monthly sunshine duration at Suwa observation station

	Mean Temperature		Precipitation		Sunshine duration	
	°C	* °C	mm	* %	hours	* %
June, 2005	20.8	2.0	132.5	73.9%	178.6	114.3%
July, 2005	22.9	0.5	206.5	103.9%	153.1	91.1%
August, 2005	23.9	0.4	83.0	64.0%	165.8	85.3%
September, 2005	21.1	2.1	63.0	30.9%	157.9	113.6%
October, 2005	14.4	1.9	68.5	64.6%	139.4	87.4%

* Difference from the monthly normals or proportions to the monthly normals.
(36° 02.7' N, 138° 06.5' E)

表 8 諏訪の風向, 風速 (特別値)
Table 8. Wind direction and wind speed at Suwa observation station

Time	Aug. 17, 2005		Oct. 6, 2005	
	Wind D.	Wind S.(m/s)	Wind D.	Wind S.(m/s)
9:00	ENE	1.8	WNW	4.4
10:00	SW	3.1	WNW	2.2
11:00	WNW	1.6	WNW	3.6
12:00	SSE	3.1	WNW	2.3
13:00	SSE	3.8	WNW	4.2

(36° 02.7' N, 138° 06.5' E)

てWNWの風向であった。

2004年の観測日の風向データから類推したケースと同様に(柳町ほか, 2005), 図6(b)の+と×の分布から見て, 風下方向へ表層水(表層のアオコも)が吹き寄せられ, 風下にあたる湖東部でSS, Chl-aが大きくなった可能性がある。

水質分布へ風の影響があることはこれまでも指摘されているが, 卓越風がどの程度継続して吹送すると水質分布に影響があるのか, また, どの程度の風速で影響があるのかについては, さらに事例を増やして検討する必要がある。

4. まとめ

2005年8月17日, 10月6日に諏訪湖において水質観測を行い以下の結果が得られた。

2005年8月17日, 10月6日の, 諏訪湖60測点における表層4水質要素(SS, Chl-a, Trans., W.T.0m)を観測日毎に主成分分析し, それぞれ主要な水質分布パターンが抽出された。

8月17日には「SS, Chl-aが大きい所では, Trans.が小さく, W.T.0m at 10:30はやや大きい。」「SS, Chl-aが小さい所では, Trans.が大きく, W.T.0m at 10:30はやや小さい。」というパターンが第1成分として抽出された。これは, 2002年~2004年の夏季8観測日のうち5日間で抽出されたものとほぼ同様のパターンである。

10月6日には「SS, Chl-aが大きい所では, Trans.が小さく, W.T.0m at 10:30はやや小さい。」「SS, Chl-aが小さい所では, Trans.が大きく, W.T.0m at 10:30はやや大きい。」というパターンが第1成分として抽出された。これは, 2002年9月2日のパターンとほぼ同じである。

主成分得点からみて, これらのパターンが湖内において特徴的な分布を示す地域は, 主成分負荷量がほぼ同じ特徴を持つ過去の観測日において特徴的な分布を示す地域とは異なっている。ただし, 特定の地域(湖の北東部, 東部, 南東部, 南端部)に注目すれば, 同じ分布を示す観測日がある。

2005年10月6日のアオコの異常発生は, SS, Chl-aの分布を反映する第1成分の主成分得点からみて, 湖東部に限定的であったと推測される。全域的にTrans.が低下した2004年10月1日のアオコ発生状況とは異なっ

いたと考えられる。

8月17日の水温の垂直分布は, 広い地域で水深4mまでほぼ一定, 水深5m以深で急激に低下し, 夏季の温度成層を示した。DOの垂直分布は, 水温と同様に水深4mまで変化が小さく水深5mで急激に0mg/lに近づく地域, または, 水深4mで0mg/lに近い値となる地域が観測された。

10月6日の水温の垂直分布では変化が小さく, 夏季の温度成層が解消されほぼ一定の水温であった。DOの垂直分布も水温と同様に, ほとんどの地域で水深にかかわらずほぼ一定の値を示した。

水質観測を実施した2005年夏季から秋季の気象は, 非常に暑く少雨であり, 高温という気象条件は平年よりもアオコ発生に有利であったと言える。

2004年のケースと同様に, 10月6日には, 風下方向へ表層水が吹き寄せられ, 風下にあたる地域でSS, Chl-aが大きくなった可能性がある。

2005年の観測では, 観測項目を増やしたため, 全体の観測時間が長くなり, 表層水温は時間経過とともに上昇傾向にあり, 水平分布を論じる際には補正することが必要であった。同時性に優れた衛星リモートセンシングデータを利用することで, 観測データの結果を補完したいと考えている。水質解析のための衛星リモートセンシングデータの利用は天候に左右されるので, 今後も, 水質データの蓄積を継続する必要がある。

謝辞

本研究は, 2005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)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。

注

1) 8月17日K15のTrans.は, 水草が水面近くまで繁茂し計測不能であったので, データ数N=59となった。10月6日C06の観測開始時刻は記入もれであったが, 前後の観測時刻から9:59と補間し, 相関係数の算出に使用

した。

2) 説明変数として使用した観測時刻は、0:00 を 0, 24:00 を 1 とする Microsoft Excel における時刻シリアル値として扱い、時刻（シリアル値 1=24 時間）に対する係数を算出し、これを補正に使用した。回帰分析結果を以下に示す。

R	0.9372
R2	0.8783
Adjusted R2	0.8725

Analysis of Variance					
	Sum of Sq.	DF	Mean Sq.	F value	p value
Regression	11.4392	1	11.4392	151.5674	0.0000
Residual	1.5849	21	0.0755		
Total	13.0241	22			

Coefficients				
	Reg. Coeff.	Std. Error	t value	p value
Const.	21.47397	0.5642	38.0579	0.0000
Time	15.30982	1.2436	12.3113	0.0000

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.
- 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.
- 花里孝幸 (2004) : 湖の水質と生態系との関わり. 水環境学会誌, 27, 509~513.
- 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.
- 柳町晴美・花里孝幸・宮原裕一 (2004) : 2003 年夏季における諏訪湖の水質分布, 信州大学環境科学年報, 26, 55-67.
- 柳町晴美・花里孝幸・宮原裕一 (2005) : 2004 年夏季における諏訪湖の水質分布, 信州大学環境科学年報, 27, 17-30.

表10 諏訪湖の水質データ (2005年10月6日)
Table 10. Observed water quality data in Lake Suwa on October 6, 2005

Station	Time JST	Longitude			Latitude			Depth (m)	SS (mg/l)	Chl-a ($\mu\text{g/l}$)	Trans. (cm)	IL (mg/l)	W.T.(°C)						DO(mg/l)												
		deg	min	sec	deg	min	sec						0m	1m	2m	3m	4m	5m	6m	0m	1m	2m	3m	4m	5m	6m					
C01	9:23	138	05	07.1	E	36	03	30.3	N	4.79	15.8	37.0	90	8.6	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	5.90	5.84	5.70	5.71	5.64				
C02	9:30	138	04	51.7	E	36	03	32.1	N	3.57	14.3	23.4	93	8.0	19.6	19.6	19.6	19.4					5.73	5.63	5.17	4.35	5.86				
C03	9:36	138	04	52.4	E	36	03	20.8	N	4.97	14.0	16.2	101	7.7	19.6	19.6	19.5	19.5	19.4				5.86	5.95	5.71	5.59	5.03				
C04	9:45	138	04	35.6	E	36	03	23.5	N	2.46	17.7	38.3	90	10.1	19.2	19.2	19.2					6.89	6.83	6.62							
C05	9:54	138	04	21.4	E	36	03	24.1	N	4.26	16.3	26.6	94	8.6	19.3	19.3	19.2	19.1	19.0				6.38	6.34	6.21	6.14	5.81				
C06		138	04	23.4	E	36	03	36.2	N	2.09	14.5	16.2	100	6.1	19.0	19.0	18.9					6.53	6.51	6.49							
C07	10:05	138	04	04.8	E	36	03	24.9	N	2.07	13.5	9.7	95	6.2	19.2	19.1	19.1					6.30	5.98	5.24							
C08	10:12	138	04	05.7	E	36	03	15.0	N	4.43	18.9	33.1	85	10.8	19.2	19.2	19.2	19.0	19.0				6.03	6.11	6.06	5.73	5.62				
C09	10:18	138	04	19.2	E	36	03	03.0	N	5.46	11.7	20.1	113	7.3	19.5	19.5	19.5	19.4	19.3	19.3				6.58	6.64	6.59	6.50	6.36	6.13		
C10	10:29	138	04	33.8	E	36	02	51.3	N	5.94	17.9	43.5	92	12.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.4	19.4				7.05	6.93	6.86	6.71	6.28	6.20		
C11	10:39	138	04	46.1	E	36	02	39.3	N	6.15	16.5	37.0	96	12.4	19.6	19.5	19.4	19.4	19.3	19.3	19.3				7.57	7.38	7.08	6.94	6.57	6.39	6.06
C12	10:51	138	05	00.1	E	36	02	27.5	N	5.54	22.1	42.2	83	16.2	19.5	19.5	19.4	19.4	19.3	19.2				7.48	7.35	6.83	6.42	5.96	5.32		
C13	11:01	138	05	17.1	E	36	02	36.6	N	5.68	14.8	25.3	92	10.0	19.5	19.5	19.5	19.3	19.3	19.3				7.44	7.14	7.12	6.58	5.73	5.64		
C14	11:11	138	05	01.1	E	36	02	48.7	N	6.08	12.7	25.3	98	8.3	19.7	19.6	19.5	19.3	19.3	19.3	19.3				7.40	7.26	6.87	6.30	5.94	5.77	5.80
C15	11:21	138	05	02.5	E	36	02	58.9	N	5.87	12.4	19.5	92	7.5	19.7	19.7	19.6	19.5	19.4	19.3				6.57	6.54	6.47	6.31	6.14	6.02		
C16	11:35	138	04	47.8	E	36	03	00.5	N	5.77	12.0	35.1	86	8.8	19.8	19.7	19.6	19.4	19.4	19.3				7.48	7.45	7.22	6.73	6.57	6.08		
C17	11:43	138	04	35.8	E	36	03	13.0	N	5.17	14.8	41.6	91	9.7	19.7	19.6	19.4	19.3	19.2	19.1				7.23	7.17	6.65	6.47	6.40	5.53		
C18	11:55	138	05	07.2	E	36	03	09.4	N	5.68	13.7	46.8	86	8.9	19.9	19.9	19.6	19.5	19.4	19.3				6.83	6.82	6.57	6.37	6.17	5.51		
C19	12:06	138	05	19.5	E	36	02	56.6	N	5.73	13.6	26.6	82	9.5	19.9	19.7	19.5	19.4	19.4	19.4				7.37	7.31	6.66	6.23	6.06	5.56		
C20	12:13	138	05	34.5	E	36	02	44.9	N	4.91	15.6	27.9	87	10.4	20.0	19.8	19.5	19.5	19.4				7.57	7.54	7.00	6.74	6.43				
K01	9:25	138	04	38.6	E	36	01	57.1	N	3.26	23.5	100.0	75	17.8	19.3	19.2	19.2	19.1					7.03	6.67	6.36	4.63					
K02	9:33	138	04	25.6	E	36	02	09.8	N	4.45	18.9	57.1	80	13.0	19.4	19.4	19.4	19.3	19.3				6.90	6.92	6.54	6.25	5.74				
K03	9:40	138	04	11.9	E	36	02	21.5	N	4.70	12.3	35.7	99	9.0	19.4	19.4	19.4	19.4	19.3				6.67	6.59	6.39	6.21	5.86				
K04	9:47	138	03	57.8	E	36	02	33.5	N	4.55	14.9	34.4	93	9.7	19.4	19.4	19.4	19.3	19.3				6.92	6.79	6.47	6.07	5.95				
K05	9:54	138	03	44.7	E	36	02	46.5	N	3.90	14.2	22.7	88	8.9	19.4	19.4	19.3	19.3					6.59	6.52	6.35	5.95					
K06	10:01	138	03	30.3	E	36	02	59.2	N	2.95	13.9	32.5	98	7.9	19.3	19.3	19.2					6.31	6.19	6.06							
K07	10:08	138	03	15.4	E	36	03	09.5	N	1.65	8.9	13.0	89	5.1	19.7	19.1							6.30	5.82							
K08	10:12	138	03	33.6	E	36	03	09.1	N	2.70	14.1	29.2	97	9.4	19.3	19.3	19.2					6.33	6.20	5.67							
K09	10:17	138	03	50.7	E	36	03	18.0	N	3.40	15.2	13.6	88	6.4	19.2	19.2	19.1	18.8					6.17	6.00	5.83	5.46					
K10	10:23	138	03	48.2	E	36	03	07.0	N	3.95	14.0	19.5	83	7.0	19.4	19.4	19.3	19.2					6.28	6.23	5.71	5.44					
K11	10:30	138	04	01.5	E	36	02	54.9	N	5.10	12.3	24.0	97	7.8	19.5	19.5	19.5	19.4	19.4	19.4				6.84	6.70	6.67	6.29	6.16	3.30		
K12	10:40	138	04	15.5	E	36	02	42.1	N	5.75	15.5	73.4	92	11.8	19.6	19.5	19.5	19.5	19.4	19.4				7.72	7.40	7.23	7.05	6.71	6.31		
K13	10:50	138	04	28.6	E	36	02	30.2	N	6.05	14.3	42.2	91	10.9	19.6	19.6	19.5	19.4	19.4	19.3	19.3				7.69	7.50	7.27	6.63	6.46	5.93	5.79
K14	11:00	138	04	41.5	E	36	02	18.5	N	5.50	15.4	52.6	95	10.9	19.6	19.5	19.4	19.4	19.3	19.2				7.77	7.66	7.31	6.84	6.72	6.28		
K15	11:17	138	04	56.2	E	36	02	06.3	N	0.85	21.5	74.7	59	11.7	19.9	19.5								9.76	8.33						
K16	11:23	138	05	11.9	E	36	02	14.7	N	3.20	17.7	49.4	75	11.8	19.5	19.4	19.4	19.3					7.98	7.88	7.87	7.99					
K17	11:30	138	05	29.8	E	36	02	24.2	N	3.60	19.0	36.4	75	13.7	19.5	19.5	19.5	19.4					8.23	8.20	8.02	7.91					
K18	11:37	138	05	46.7	E	36	02	33.2	N	2.05	17.0	34.4	82	11.5	19.7	19.7	18.8					8.71	8.62	7.82							
K19	11:42	138	06	01.9	E	36	02	32.1	N	1.10	15.7	25.3	92	9.1	18.5	18.0								9.80	9.64						
K20	11:47	138	06	18.2	E	36	02	40.9	N	1.65	32.0	177.9	52	26.5	19.6	18.3								12.14	10.60						
T01	9:19	138	06	37.0	E	36	02	59.5	N	1.71	26.9	63.0	62	16.6	18.3	18.3								6.83	6.66						
T02	9:25	138	06	37.8	E	36	03	11.5	N	1.99	29.7	147.4	85	24.0	18.6	18.6								5.49	5.38						
T03	9:32	138	06	33.5	E	36	03	28.5	N	2.18	14.8	36.4	100	13.2	19.3	19.3	19.3							2.96	2.95	3.15					
T04	9:40	138	06	20.1	E	36	03	40.0	N	2.35	25.5	92.9	90	22.2	19.3	19.3	19.3							4.26	4.06	4.41					
T05	9:46	138	06	05.0	E	36	03	52.4	N	2.26	11.0	19.5	103	9.0	19.5	19.5	19.5							3.96	3.82	3.69					
T06	9:55	138	05	43.0	E	36	03	49.9	N	3.38	13.4	27.3	105	8.2	19.6	19.5	19.5	19.2							6.02	5.87	5.57	1.87			
T07	10:02	138	05	26.3	E	36	03	50.1	N	2.82	13.4	42.2	111	9.1	19.6	19.4	19.4	19.4							5.11	4.91	4.66	4.24			
T08	10:08	138	05	09.6	E	36	03	40.6	N	3.75	14.6	27.9	103	7.8	19.6	19.5	19.5	19.4							6.02	5.85	5.67	4.62			
T09	10:14	138	05	26.1	E	36	03	39.6	N	4.64	14.6	35.7	102	9.9	19.7	19.6	19.5	19.5	19.4							6.60	6.43	6.00	5.91	5.85	
T10	10:22	138	05	56.0	E	36	03	37.1	N	4.22	21.0	47.4	89	14.4	19.7	19.4	19.4	19.4	19.4							7.18	6.57	6.21	6.00	5.50	
T11	10:28	138	06	09.7	E	36	03	25.0	N	3.20	15.3	31.8	101	11.1	19.7	19.3	19.3	19.3							6.66	6.54	5.98	5.57			
T12	10:35	138	06	23.4	E	36	03	12.6	N	2.10	49.4	161.0	62	41.4	19.1	18.6	18.6								9.47	6.71	6.73				
T13	10:42	138	06	19.1	E	36	02	50.8	N	2.33	27.6	65.6	72	21.7	19.2	19.0	18.6								8.82	8.54	7.45				
T14	10:48	138	06	06.1	E	36	0																								