

2008 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, 山本雅道
信州大学山岳科学総合研究所

Horizontal and vertical water quality distribution in Lake Suwa in the summer of 2008

H. Yanagimachi, T. Hanazato, Y. Miyabara & M. Yamamoto
Institute of Mountain Science, Shinshu University

2008 年夏季の諏訪湖の水平・垂直水質分布を調査し、主成分分析により主要な分布パターンを抽出した。2008 年 8 月 7 日, 2008 年 9 月 18 日の第 1 成分は, 2002~2007 年の夏季 14 観測日のうち 8 日で抽出されたものと類似している。2008 年 8 月 7 日の諏訪湖の水質は, 2002~2008 年の 16 観測日中 2~3 番目に浄化された状態であり, 2008 年 9 月 18 日の水質は, SS, Chl-*a* は平均的な状態, Trans. は低い方であった。夏季における諏訪湖の水温への降水・気温の影響は季節推移により異なっている。

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

筆者らは夏季における諏訪湖の水質の水平的な分布を 2002 年以降, 継続して観測している。これらは, 湖心において定期的に観測された水質データ(沖野・花里, 1997, 花里・小河原・宮原, 2003, 宮原, 2005, 2007 など)を, 水平・垂直方向に拡張して解析するための基礎データである。2007 年までに 14 日間観測を行った(柳町ほか, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007)。2008 年夏季も, 2007 年までと同様の観測を 2 日間実施した。すなわち, 懸濁物質質量(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.), 表層水温(以下では W.T.0m)の水平分布のほか, 2005 年からは水深 1m 毎の水温(W.T.1m, W.T.2m, ...)と溶存酸素濃度(以下では DO)(DO0m, DO1m, DO2m, ...), 表層 SS の強熱減量(以下では IL)も観測している。

本研究では, 2008 年夏季の水質分布を多変量解析などにより解析し, これまで得られた水質分布パターンとの類似性を検証する。さらに, 諏訪湖湖心に設置した水温データロガーで観測した水温の 2008 年夏季における変動傾向について,

降水量, 気温との比較により検討する。

2. 方法

2008 年夏季の水質観測日は 8 月 7 日, 9 月 18 日である。観測方法は, 2002 年 1 回, 2003 年 3 回, 2004 年 4 回, 2005 年 2 回, 2006 年 2 回, 2007 年 2 回実施したものに準拠し(柳町ほか, 2008 など), これまでと同じ 60 測点において行なった(図 1)。観測は 3 艘の観測船により実施し, それぞれ 20 測点ずつ観測した(C01~C20, K01~K20, T01~T20)。2008 年 8 月 7 日の T コースは観測船の故障により T10 の観測後 1 時間 8 分中断した。C コースの観測終了後, C コースの観測船が T11~T20 の測点の観測を実施した。

観測時間は 8 月 7 日 8:54~12:50, 9 月 18 日 8:52~11:31, 所要時間はそれぞれ, 3 時間 56 分, 2 時間 39 分である。各測点での測定開始時刻は, 表 7, 表 8 に記載した。

2005~2007 年夏季と同様に, 湖心の C15 測点付近のブイに接続した水温データロガー(HOBO Water Temp Pro)により水温を 10 分間隔で計測した。観測日の各水深(0.2m(9 月 18 日は 1 時間

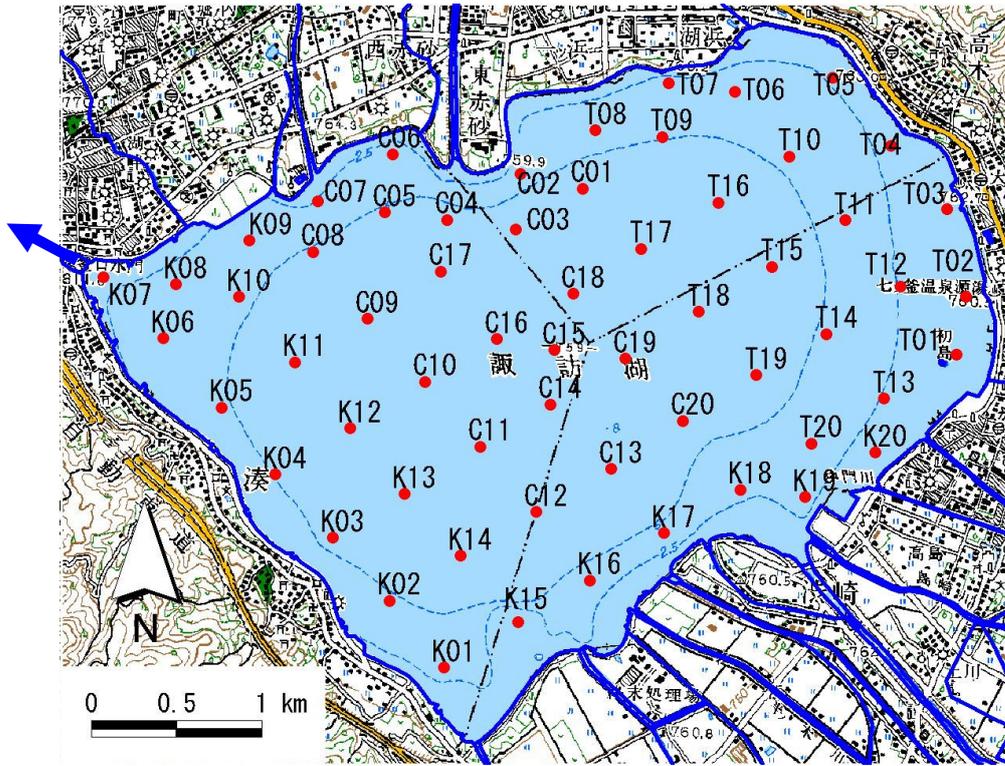
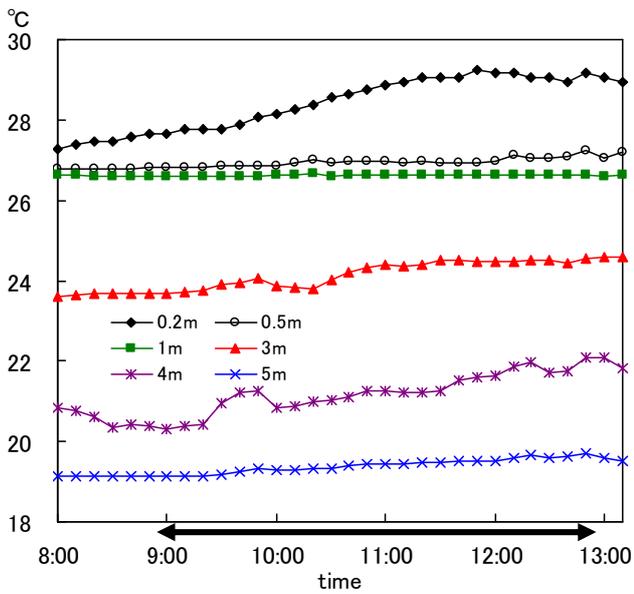
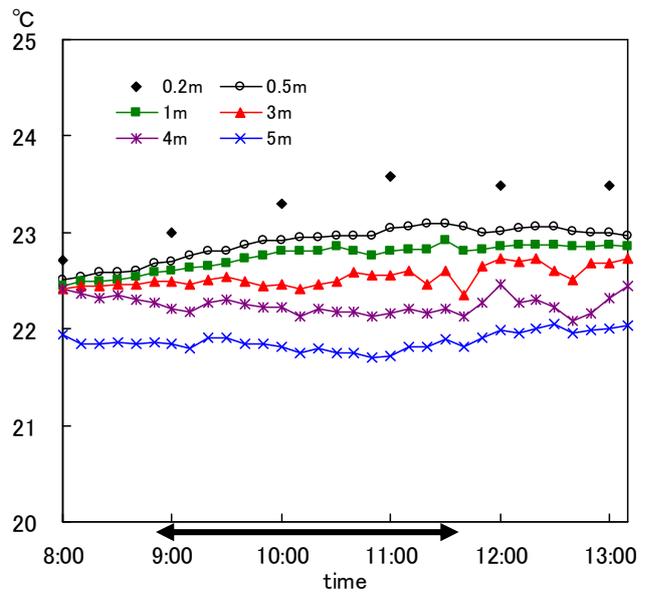


図1 60観測地点と流入・流出河川（5万分の1地形図「諏訪」）

Fig.1. 60 survey points in Lake Suwa, inlets and outlet shown on the 1:50,000 topographic map "Suwa"



(a) August 7, 2008



(b) September 18, 2008

図2 湖心 (C15) における水温

Fig.2. Water temperatures at the center of Lake Suwa (C15)

Allows show the length of observation on August 7, 2008 and on September 18, 2008.

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

	August 7, 2008			September 18, 2008		
	r	r _s	N	r	r _s	N
SS	-0.471 **	-0.742 **	60	-0.509 **	-0.641 **	60
Chl- <i>a</i>	-0.497 **	-0.673 **	60	0.002	-0.004	60
Trans.	0.232	0.245	55	0.218	0.260 *	59
IL	-0.449 **	-0.701 **	60	-0.629 **	-0.680 **	60
DO 0m	0.486 **	0.463 **	60	0.045	-0.090	60
DO 1m	0.524 **	0.641 **	58	0.023	-0.097	58
DO 2m	0.455 **	0.548 **	53	-0.094	-0.098	52
DO 3m	0.286	0.186	42	-0.096	-0.234	41
DO 4m	0.669 **	0.670 **	31	-0.212	-0.319	31
DO 5m	0.348	0.348	17	0.154	0.221	17
W.T. 0m	0.779 **	0.785 **	60	-0.596 **	-0.617 **	60
W.T. 1m	0.503 **	0.473 **	58	-0.586 **	-0.582 **	58
W.T. 2m	0.039	-0.019	53	-0.507 **	-0.507 **	52
W.T. 3m	0.024	0.023	42	-0.598 **	-0.616 **	41
W.T. 4m	0.180	0.288	31	-0.515 **	-0.489 **	31
W.T. 5m	-0.092	-0.064	17	-0.183	-0.103	17
W.T.0m at10:30	0.000	-0.071	60			

** : significant at 0.01 significant level.

* : significant at 0.05 significant level.

毎), 0.5m, 3m, 5m) における水温の変化を図2に示す。矢印は観測船による観測を行なった時間帯である。2006年, 2007年は, 表層水温を計測したが, 2008年は0.2mと0.5m水温を計測した。水面直下に設置したデータロガーは波により水面上に浮上し, 水温ではなく気温を観測する恐れがあるためである。

8月7日, 9月18日の観測時刻と水質要素との相関係数には有意な相関を示すものが多い(表1)。

まず, 表層水温(W.T.0m)について時間経過に伴う水温変化を考慮した観測値の補正が必要であるかを検討した。

2008年8月7日のW.T.0mと観測時刻との相関係数(積率相関係数, 時間経過を数値化して算出)は0.779, スピアマンの順位相関係数は0.785であり, いずれも1%の有意水準で有意となる(表1)。

8月7日のW.T.0mと観測時刻との散布図(図3(a))では, 10:50am頃からKコースの観測値が急激に上昇し, Cコースの観測値も11:30am頃から上昇傾向にある。Tコースは前述のように観測船の故障で一時観測が中断したが, 再開後の観測値は中断前よりも全般的に高くバラツキが大きい。

また, 湖心(C15)のデータロガーで計測した水深0.2mの水温も, 観測時間帯を通してほぼ一貫して上昇傾向を示す(図2(a))。このため, 8

月7日のW.T.0mの水平分布を見るためには時間経過による補正が必要と考えられる。

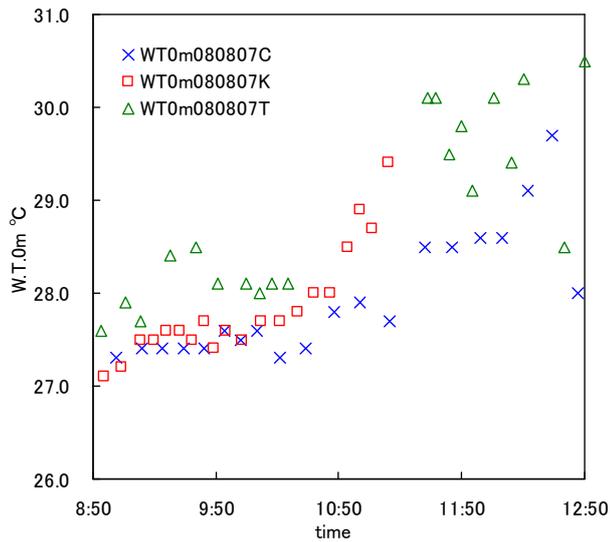
9月18日のW.T.0mと観測時刻との相関係数は-0.596, スピアマンの順位相関係数は-0.617であり, いずれも1%の有意水準で有意となる(表1)。9月18日のW.T.0mと観測時刻との散布図からは時間経過に伴って水温が全体として低下する傾向が見られる(図3(b))。コースごとに詳細を見ると, Kコース, Tコースは上昇の後, 変動しながら低下傾向を示すが, Cコースでは上昇, 低下を繰り返している。

湖心における水深0.2m, 水深0.5mの水温は逆に上昇傾向を示す(図2(b))。Cコースと湖心の水温の変動から, 諏訪湖全体で観測時間帯を通して水温が一貫して低下傾向を示したとは言い難い。このため, 9月18日のW.T.0mは, 時間経過による補正は実施しないこととした。

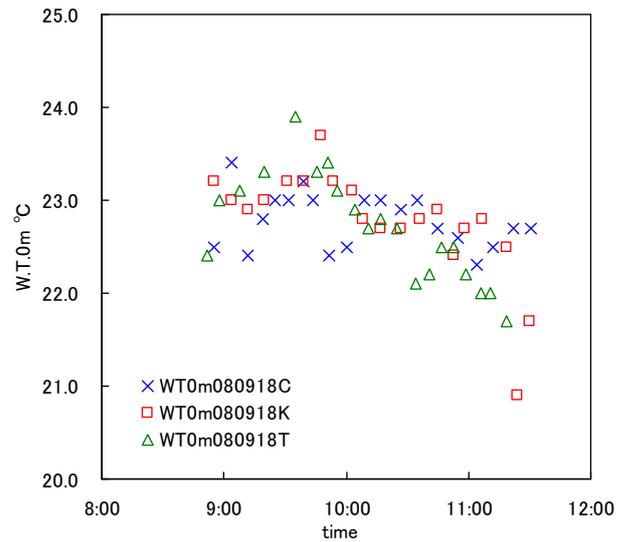
2008年8月7日のW.T.0mの補正方法については2-1で述べる。

2008年8月7日のW.T.1mも観測時刻と有意な正相関であるが(表1), 湖心における水温は水深0.5m, 水深1mでは観測時間帯を通じてほぼ一定であるので(図2(a)), 時間経過に伴う上昇とは限らない。

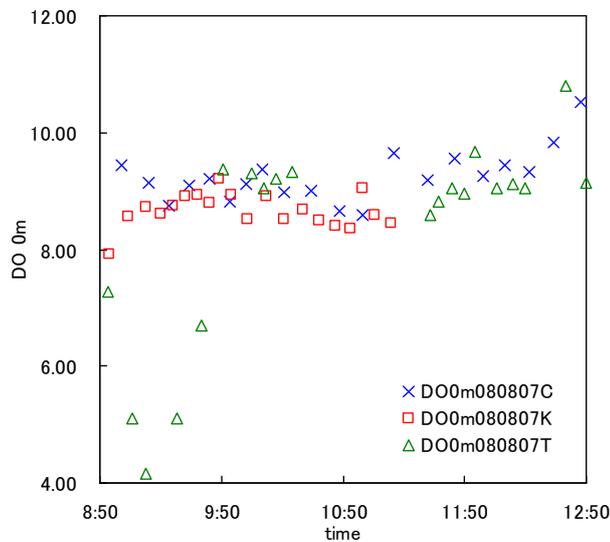
2008年9月18日のW.T.0m~W.T.4mは観測時刻と負相関であるが(表1), 湖心における水深0.2m, 0.5m, 1mの水温は観測時間内に逆にやや上昇している(図2(b))。



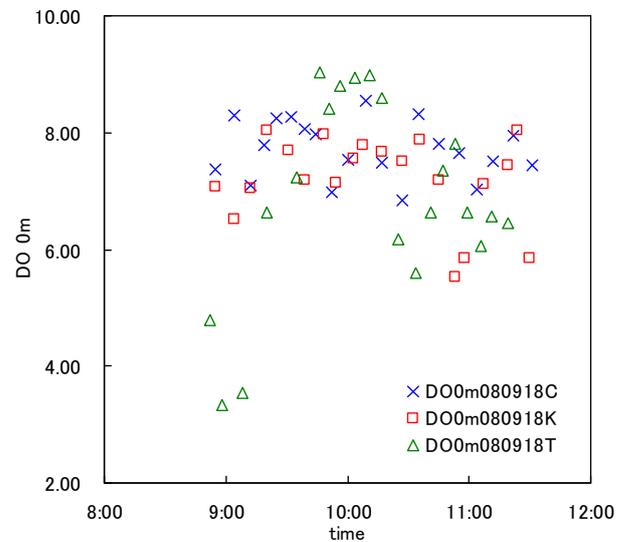
(a) W.T.0m on August 7, 2008



(b) W.T.0m on September 18, 2008



(c) DO 0m on August 7, 2008



(d) DO 0m on September 18, 2008

図3 表層水温、DOと観測時刻との散布図

Fig.3. Scattergrams of W.T.0m and DO 0m versus observed time

× : C01~C20, □ : K01~K20, △ : T01~T20

他の水質要素にも観測時刻と有意な相関が見られるものがあるが、夏季の表層水温のように時間経過による補正を行なうことが適切であるとは限らないため、時間経過を考慮した補正は実施しない。

2007年までの解析方法と同様に、2008年夏季2日分の表層データ(SS, Chl-*a*, Trans., W.T.0m)は、水質分布を特徴付ける分布パターンを主成分分析により抽出し、第1成分の主成分得点分布図から、特徴が顕著に見られる地域を解析した。

W.T., DOについては、垂直分布の特徴を調べた。

さらに、降水と気温が各水深の水温変動にどのように影響しているのかを、諏訪の日降水量、平均気温データを用いて解析した。

2-1. 2008年8月7日表層水温の補正

時間経過によるW.T.0mの補正は、2005年8月17日と2007年10月4日の観測値について実施している(柳町ほか, 2006, 2008)。2005年8

月 17 日は、湖心に設置したロガーで計測した水温を目的変数、観測時刻を説明変数とする一次回帰式を用いて W.T.0m の補正を行ない 10:30am における水温補正值 (W.T.0m at 10:30) を算出した (補正值 1)。2007 年 10 月 4 日は、60 測点の W.T.0m を用いた回帰分析を使用して補正を行ない 10:30am における水温補正值 (W.T.0m at 10:30) を算出した (補正值 2)。

2008 年 8 月 7 日の 60 測点の表層水温の補正は補正值 1 と補正值 2 のどちらが適度であるかについて両方の回帰係数から検討した。補正值 1 は、観測時間が 8:54~12:50 であるので、観測時間帯を含む 8:50~12:50 の 25 個の時刻 (10 分間隔) を説明変数、湖心 (C15) における水深 0.2m 水温観測値を目的変数とする回帰分析を行った。補正值 2 は 60 測点の観測時刻と計測した表層水温 (W.T.0m) を使用した。回帰係数から水温上昇率を算出すると、 $0.4363^{\circ}\text{C}/\text{h}$ (補正值 1)、 $0.6102^{\circ}\text{C}/\text{h}$ (補正值 2) となる。

2005 年 8 月 17 日の水温上昇率は、 $0.6379^{\circ}\text{C}/\text{h}$ (補正值 1)、 $0.6583^{\circ}\text{C}/\text{h}$ (補正值 2)、2007 年 10 月 4 日は $0.7216^{\circ}\text{C}/\text{h}$ (補正值 2) であった (柳町ほか, 2006, 2008)。2008 年 8 月 7 日の補正值 1 の水温上昇率は、2005 年 8 月 17 日、2007 年 10 月 4 日の水温上昇率と比較して小さな値である。表層水温ではなく水深 0.2m における水温上昇率であるので、やや小さくなった可能性がある。

これら 3 日の観測時間帯における気温上昇率 (観測開始時刻と観測終了時刻を挟む諏訪の特別気温値から算出) は、 $1.2\sim 1.6^{\circ}\text{C}/\text{h}$ (2005 年 8 月 17 日)、 $1.2\sim 1.3^{\circ}\text{C}/\text{h}$ (2007 年 10 月 4 日)、 $1.3\sim 1.6^{\circ}\text{C}/\text{h}$ (2008 年 8 月 7 日) である。3 日間の気温上昇率にはあまり差がないので、2008 年 8 月 7 日の表層水温上昇率は他の観測日の値に近い $0.6102^{\circ}\text{C}/\text{h}$ (補正值 2) の方が $0.4363^{\circ}\text{C}/\text{h}$ (補正值 1) よりも妥当と考えられる。そこで 2008 年 8 月 7 日の表層水温の補正には補正值 2 を採用した。

各測点では水深 1m 毎の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、2007 年までと同様に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 7~表 8 に、

観測日毎の表層 4 要素 (SS, Chl-*a*, Trans., W.T.0m at 10:30 または W.T.0m) の分布図を図 4~図 5 に、水質要素毎の要約統計量を表 2 に示す。

(1) 表層水質データの統計量

SS, Chl-*a* の平均値は 2008 年 8 月 7 日の方が 2008 年 9 月 18 日より小さく、Trans.の平均値は逆に 8 月 7 日の方が 9 月 18 日より大きい。これは、2007 年の 2 観測日と類似した傾向である。2007 年の場合も、SS, Chl-*a* の平均値は 2007 年 8 月 8 日の方が 2007 年 10 月 4 日より小さく、Trans.の平均値は逆に 2007 年 8 月 8 日の方が 2007 年 10 月 4 日より大きかった。

2007 年 8 月 8 日の諏訪湖の水質は、SS, Chl-*a*, Trans.の平均値 ($8.1\text{mg}/\text{L}$, $30.1\mu\text{g}/\text{L}$, 125cm) から見て、14 観測日中 2~3 番目に浄化された状態であった (柳町ほか, 2008)。2008 年 8 月 7 日の平均値 ($6.0\text{mg}/\text{L}$, $27.9\mu\text{g}/\text{L}$, 163cm) は、2007 年 8 月 8 日より水質がさらに改善されていたことを示す。また、Trans.の平均値、最大値、最小値 (163cm, 206cm, 115cm) は、2006 年 7 月豪雨直後で透明度が最も高かった 2006 年 8 月 4 日 (167cm, 213cm, 134cm) に近い値となった。従って、2008 年 8 月 7 日は 16 観測日中 2~3 番目に浄化された状態であった。

2008 年 9 月 18 日の SS と Chl-*a* の平均値 ($12.9\text{mg}/\text{L}$, $54.2\mu\text{g}/\text{L}$) は、ともに 16 観測日中 8 番目に小さな値であり平均的な状態である。一方、Trans.の平均値 (81cm) は 3 番目に小さく、Trans.は低い方であった。9 月 18 日は観測時間帯に継続して $0.5\text{mm}/\text{h}$ の弱い降水があったが、降水時の観測例は少ないため、降水時の水質分布については今後さらに検討が必要である。

2003~2008 年の観測日間の比較では、いずれの年も 8 月は 9 月 10 月よりも透明度が高い。8 月は水温成層しているのに対し、9 月、10 月は湖水が鉛直混合しており、栄養塩の湖内での循環が良くなり、植物プランクトンが増えやすい環境にあるため透明度が低下すると考えられる。

(2) 表層水質データの相関関係

表層水質要素間の相関係数を表 3 に示す。

8 月 7 日の SS, Chl-*a*, IL, Trans., DO0m には、相互に有意な正相関または負相関がある。SS, Chl-*a*, IL は相互に有意な正相関であり、植物プ

表2 水質データの要約統計量

Table 2. Summary statistics of water quality data

August 7, 2008

	SS(mg/l)	Chl-a(μ g/l)	IL(mg/l)	Trans.(cm)	Depth(m)	W.T.0m10:30(°C)
Max	22.2	100.4	18.3	206.0	6.10	29.5
Min	3.7	12.1	3.7	115.0	0.80	26.6
Mean	6.0	27.9	5.3	163.5	4.00	28.2
S.D.	2.7	12.5	2.2	23.2	1.46	0.6
N	60	60	60	55	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	10.79	11.30	10.58	8.91	5.77	0.25	
Min	4.15	3.85	2.99	0.22	0.14	0.02	
Mean	8.75	9.24	8.60	6.64	1.25	0.10	
S.D.	1.10	1.41	1.37	1.96	1.42	0.07	
N	60	58	53	42	31	17	0

	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	30.5	28.0	27.3	26.8	25.0	20.9	
Min	27.1	26.8	25.9	24.6	21.7	19.2	
Mean	28.2	27.3	26.8	25.8	23.2	19.9	
S.D.	0.9	0.3	0.3	0.6	0.6	0.5	
N	60	58	53	42	31	17	0

September 18, 2008

	SS(mg/l)	Chl-a(μ g/l)	IL(mg/l)	Trans.(cm)	Depth(m)
Max	24.1	74.3	12.5	98.0	6.25
Min	8.8	19.0	5.7	53.0	1.00
Mean	12.9	54.2	9.1	80.5	3.97
S.D.	2.5	11.4	1.6	9.9	1.47
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	9.03	9.03	8.70	8.35	8.10	6.14	
Min	3.33	3.09	3.10	1.43	0.11	0.09	
Mean	7.26	7.18	6.91	6.32	5.18	2.94	0.75
S.D.	1.14	1.21	1.16	1.36	1.92	1.87	
N	60	58	52	41	31	17	1

	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	23.9	23.7	23.3	22.9	22.7	22.4	
Min	20.9	21.6	21.6	21.9	21.5	21.2	
Mean	22.7	22.8	22.7	22.5	22.2	21.8	21.0
S.D.	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	
N	60	58	52	41	31	17	1

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 7, 2008

	SS	Chl-a	IL	Trans	DO 0m	W.T.0m
SS	1.000					
Chl-a	0.962 **	1.000				
IL	0.983 **	0.956 **	1.000			
Trans	-0.537 **	-0.465 **	-0.571 **	1.000		
DO 0m	-0.685 **	-0.640 **	-0.668 **	0.388 **	1.000	
W.T.0m	-0.249	-0.344 **	-0.230	-0.030	0.124	1.000
W.T.0m at 10:30	0.188	0.068	0.192	-0.340 *	-0.406 **	0.627 **

September 18, 2008

	SS	Chl-a	IL	Trans	DO 0m	W.T.0m
SS	1.000					
Chl-a	0.164	1.000				
IL	0.683 **	0.420 **	1.000			
Trans	-0.431 **	-0.281 *	-0.346 **	1.000		
DO 0m	0.282 *	0.347 **	0.542 **	0.044	1.000	
W.T.0m	0.564 **	0.077	0.731 **	-0.286 *	0.249	1.000

** : significant at 0.01 significant level.

* : significant at 0.05 significant level.

ランクトン起源の SS が多い。Trans., DO0m はともに SS, Chl-*a*, IL のいずれとも有意な負相関である。補正後の表層水温 W.T.0m at 10:30 は, Trans., DO0m と有意な負相関がある。

9月18日の SS と Chl-*a* には相関がない。2002～2007年の観測では, 2006年9月20日を除く他の13観測日において SS と Chl-*a* には有意な正相関が見られた。9月18日に降水があったことが影響した可能性がある。SS と Trans. は殆どの観測日と同様に有意な正相関である。SS と W.T.0m も有意な正相関である。

(3) 各観測日の主成分分析

8月7日と9月18日における, 4種類の表層水質要素の分布(図4～図5)を, 主成分分析により解析した。柳町ほか(2004, 2005, 2006, 2007, 2008)と同様に, 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3成分までの固有値と寄与率を表4に, 主成分負荷量を表5に示す。湖底まで透視可能で Trans. が数値データとして得られなかった8月7日の K07, K15, K18, K19, K20 と, 9月18日の K19 は除外したため, 8月7日は N=55, 9月18日は N=59 への適用である。

第1成分の固有値は, 8月7日 2.423, 9月18日 1.921 であり, 寄与率はそれぞれ 60.6%, 48.0% である。第2成分の固有値は, 1.026 と 1.068, 寄与率は 25.6%, 26.7% である。以下では寄与率が高い第1成分を中心に考察する。

8月7日と9月18日の第1成分の主成分負荷量は同じ傾向を示す。すなわち SS, Chl-*a*, W.T.0m または W.T.0m at 10:30 の符号は同じであり, これらと Trans. の符号が逆である。

ただし, 8月7日の W.T.0m at 10:30 の値は 0.371 であり, SS 0.951, Chl-*a* 0.909, Trans. -0.744 に比べて絶対値がやや小さい。また, 9月18日の Chl-*a* の値は 0.349 であり, SS 0.846, Trans. -0.732, W.T.0m 0.740 に比べて絶対値がやや小さい。

従って, 8月7日の第1成分は, 「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」というパターンである。

9月18日の第1成分は, 「SS, W.T.0m が大きい所では, Trans. が小さく, Chl-*a* はやや大きい」,

「SS, W.T.0m が小さい所では, Trans. が大きく, Chl-*a* はやや小さい」というパターンである。

これらの特徴は, 2002～2007年の夏季14観測日のうち8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, 2005年8月17日, 2006年8月4日, 2007年8月8日)で抽出された第1成分と類似しており, 2008年8月7日, 9月18日を含めると, 16観測日のうち10日で抽出されたことになる。

8月7日の W.T.0m at 10:30 と9月18日の Chl-*a* は, いずれも第2成分の主成分負荷量の絶対値が第1成分よりも大きいので, 第2成分により主に説明される。

(4) 各観測日の水質分布の特徴

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。2002～2007年夏季の水質分布では, 第1成分の主成分得点をクラスター分析し, 60測点を特徴的なグループに区分した(柳町ほか, 2004, 2005, 2006, 2007)。2008年も同様の方法を試みたが, 8月7日は主成分得点の符号が考慮されない分類結果となった。主成分得点が0に近い測点は, 第1成分の特徴をあまり反映しない言わば漸移帯である。2003年7月3日, 2004年7月13日, 2006年8月4日, 2006年9月20日の例を参考に, 主成分得点の絶対値0.5で区切ってグループ分けし, 第1成分の特徴を反映する地域と, 漸移帯を区別することとした。

すなわち, 8月7日, 9月18日とも60測点を, 第1成分の主成分得点が正(+ , 0.5～), 負(▲ , ~-0.5), ゼロ付近(● , -0.5～0.5)の3グループに分類した。観測日毎の各グループの特徴を表6に, 第1成分の主成分得点に基づく地域区分を図6示す。

8月7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, 湖の東端部に分布し, ▲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, 湖の中央部に分布する。

9月18日(図6(b))の場合, +の地域「SS, W.T.0m が大きく, Trans. が小さい, Chl-*a* はやや大きい」は, 湖の北西部と北東部に分布する。▲

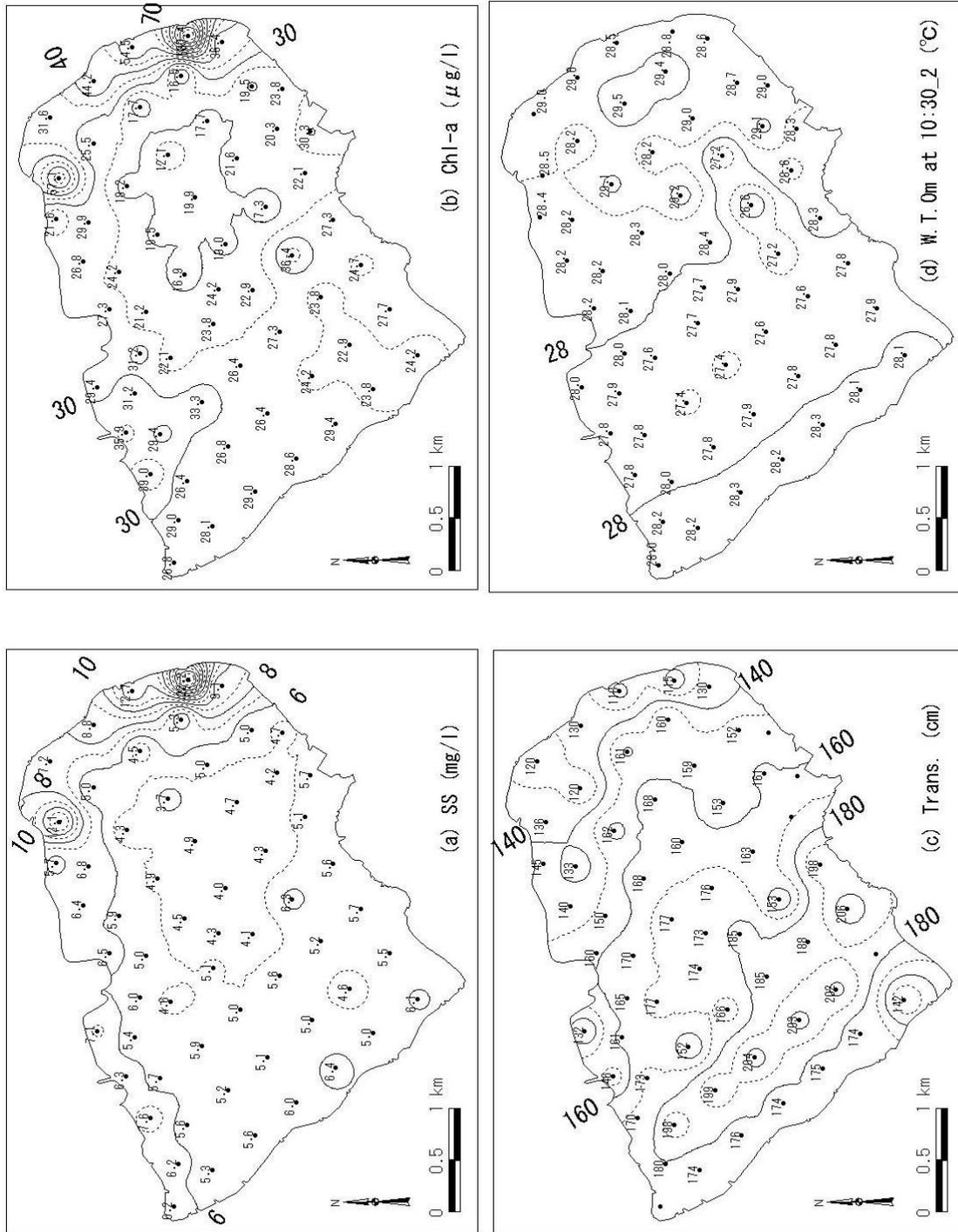


図4 水質分布図 (2008年8月7日) (a)懸濁物質質量, (b)クロロフィルa濃度, (c)透明度, (d)表層水温
 Fig. 4. Water quality maps of Lake Suwa on August 7, 2008. (a)SS, (b)Chl-a, (c)Trans., (d)W.T.0m at 10:30

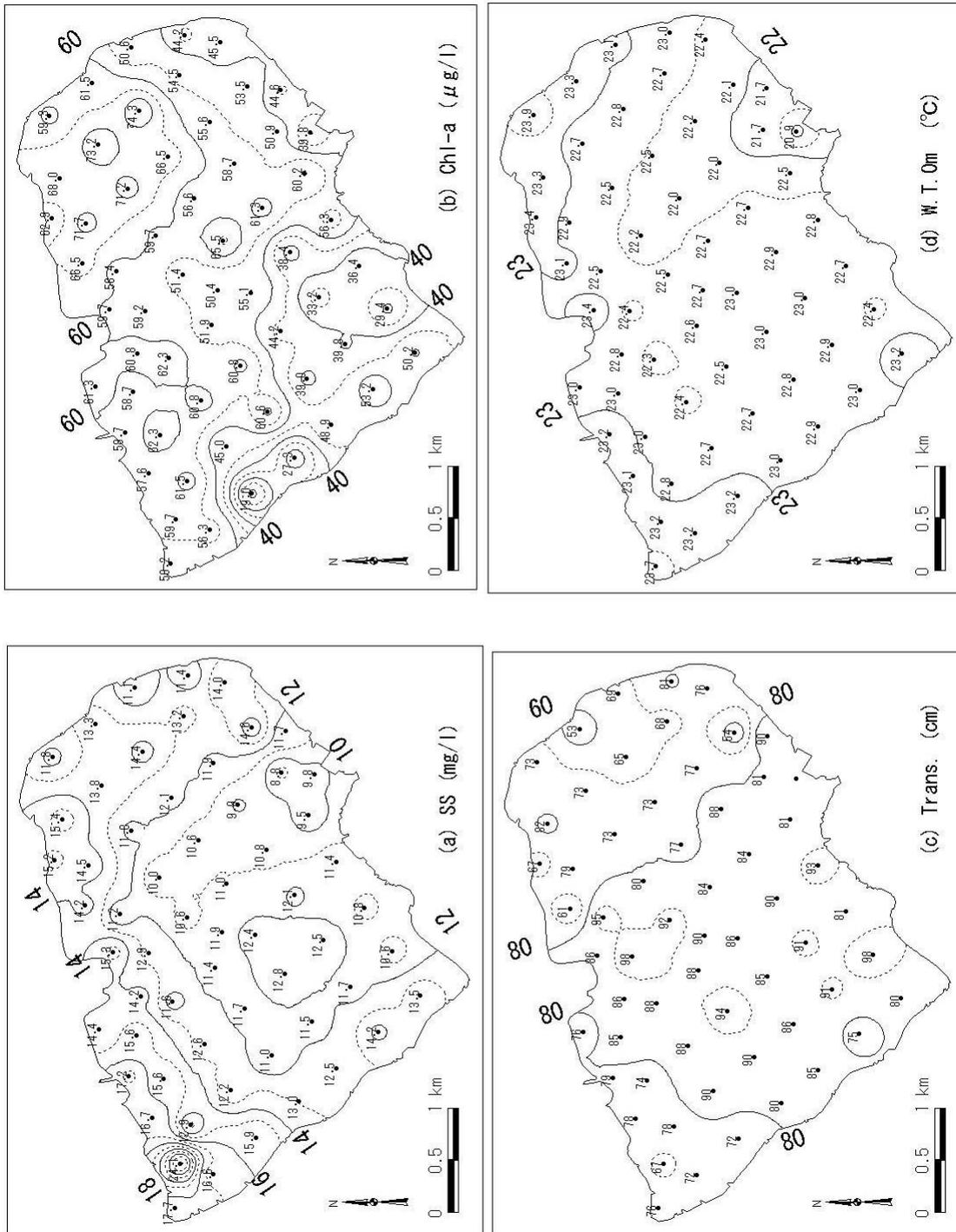


図5 水質分布図 (2008年9月18日) (a)懸濁物質量, (b)クロロフィルa濃度, (c)透明度, (d)表層水温
 Fig. 5. Water quality maps of Lake Suwa on September 18, 2008. (a)SS, (b) Chl-a, (c)Trans., (d)W.T.0m

表4 表層水質要素の固有値, 寄与率, 累積寄与率

Table 4. Eigenvalues, proportions and cumulative proportions of surface water quality elements

August 7, 2008 N=55			
	Eigenvalue	Proportion	Cumulative proportion
Component 1	2.423	60.6%	60.6%
Component 2	1.026	25.6%	86.2%
Component 3	0.525	13.1%	99.3%

September 18, 2008 N=59

	Eigenvalue	Proportion	Cumulative proportion
Component 1	1.921	48.0%	48.0%
Component 2	1.068	26.7%	74.7%
Component 3	0.603	15.1%	89.8%

表5 表層水質要素の主成分負荷量

Table 5. Component loadings of surface water quality elements

August 7, 2008 N=55			
	Component 1	Component 2	Component 3
SS	0.951 **	-0.226	0.174
Chl-a	0.909 **	-0.360 **	0.178
Trans	-0.744 **	-0.294 *	0.600 **
W.T.0m 10:30	0.371 **	0.871 **	0.321 *

September 18, 2008 N=59

	Component 1	Component 2	Component 3
SS	0.846 **	-0.200	0.103
Chl-a	0.349 **	0.851 **	0.390 **
Trans	-0.732 **	-0.296 *	0.597 **
W.T.0m	0.740 **	-0.465 **	0.289 *

** : significant at 0.01 significant level.

* : significant at 0.05 significant level.

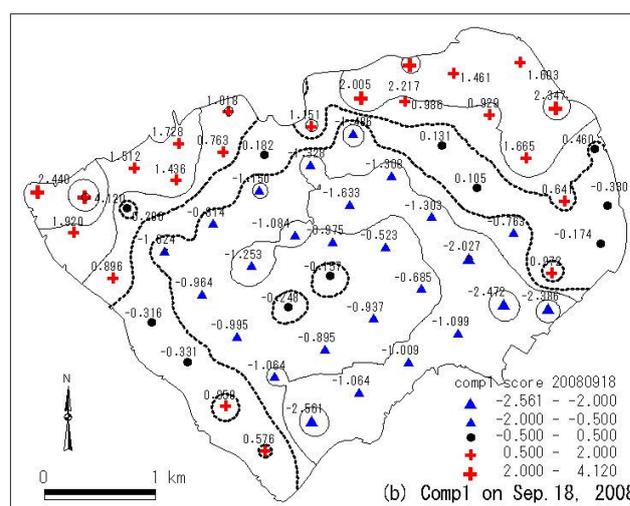
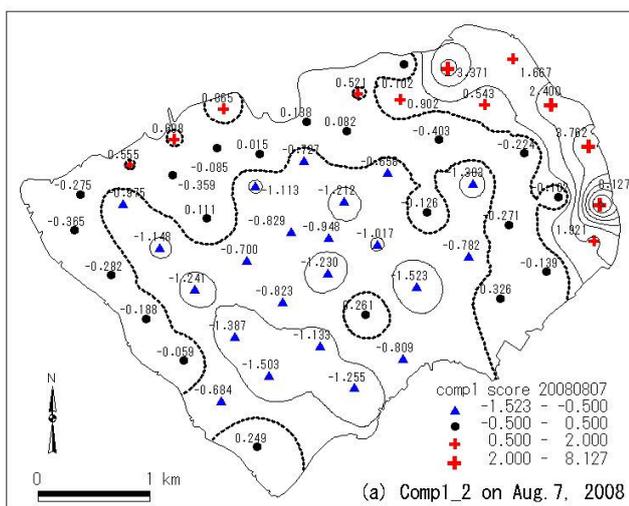


図6 第1主成分の主成分得点に基づく地域区分

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

(a) August 7, 2008, (b) September 18, 2008

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. 7, 2008	+	+	-	(+)	-	-	+	(-)	+-	+-	+-	(+-)
Sep. 18, 2008	+	(+)	-	+	-	(-)	+	-	+-	(+-)	+-	+-

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

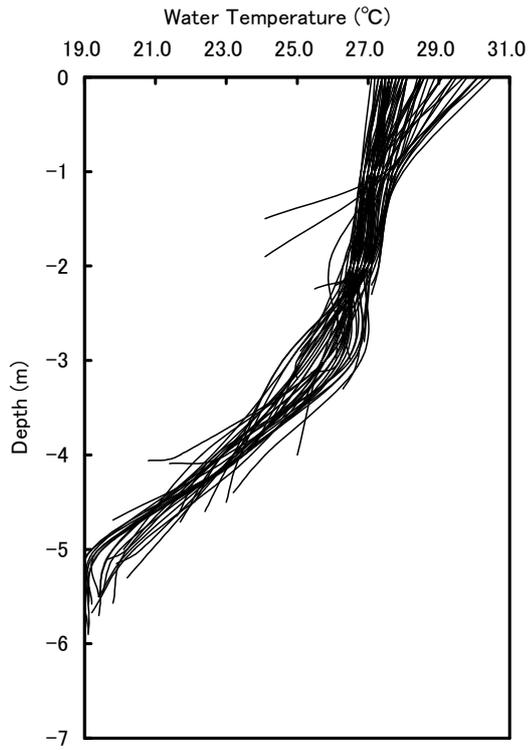
の地域「SS, W.T.0m が小さく, Trans.が大きい, Chl-a はやや小さい」は, 湖の中央部に分布する。

主成分得点の絶対値が大きい特徴的な地域は2日間でやや異なっている。

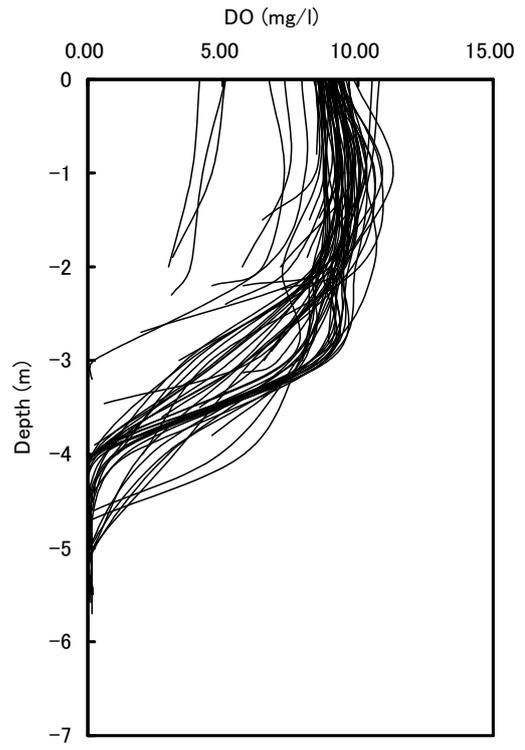
(5) 水温 (W. T.) と DO の垂直分布

水深 1m 間隔の水温 (W.T.0m, W.T.1m, W.T.2m, ..., 湖底直上) と, DO (DO0m, DO1m, DO2m, ..., 湖底直上) を, 表7, 表8に示す。

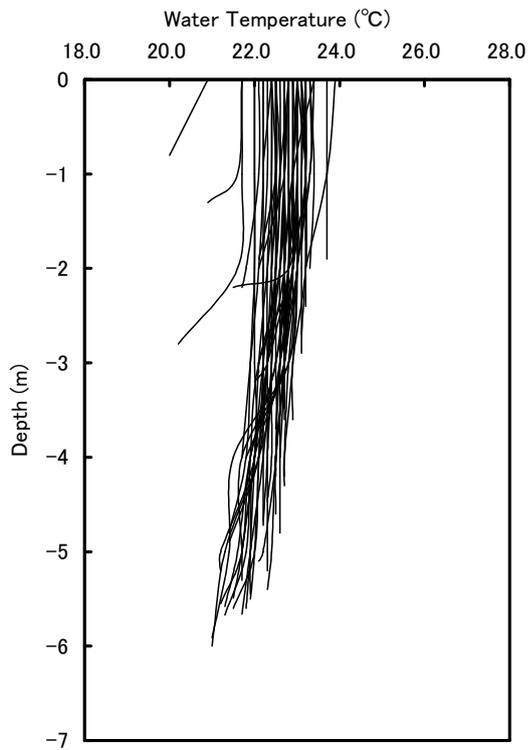
各測点における最深の W.T., DO 欄には, 直上の値をイタリック体で, 直上でかつ 1m 間隔の値は下線をつけて記載した。直上の水深は各測点の



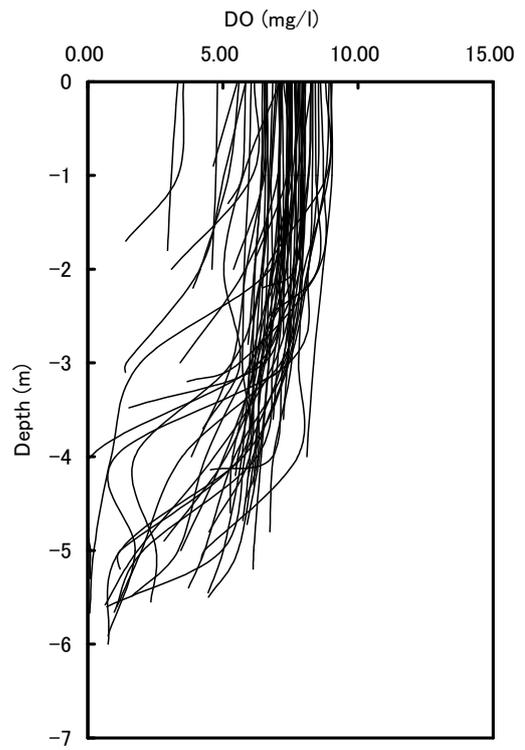
(a) W. T. on August 7, 2008



(b) DO on August 7, 2008



(c) W. T. on September 18, 2008



(d) DO on September 18, 2008

図7 測地点毎の水温とDOの垂直分布

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

水深より約 20cm 上方である。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 7 日には、W.T.0m (未補正) は測点毎の差が大きいが、W.T.1m は差が小さく諏訪湖全域で近接した値を示す (標準偏差 0.9°C と 0.3°C)。夏季の温度成層がみられ、水深 3m 付近まで、多くの測点の水温がほぼ一定であり、水温躍層は水深 3m 以深に出現している。湖底に近い W.T.5m の平均水温は 19.9°C であり、W.T.0m の平均 28.2°C よりも 8.3°C 低い。K18 と K20 では表層から水深 2m 弱まで水温が急激に 24.1°C まで低下する (図 7 (a) の 2 本の線)。上川からの流入水の影響により水温が急激に低下したと考えられる。ただし河口に最も近接した K19 は、2006 年、2007 年の観測では水深 1m 付近の湖底直上で特に低温であったが、2008 年 8 月 7 日は周辺の測点よりむしろ高温であった。観測時の風向が影響した可能性がある。

9 月 18 日には夏季の温度成層が解消され、ほとんどの測点において表層から湖底付近までの温度変化はわずかである。K19 では表層の 20.9°C から水深 0.8m の 20.0°C へ低下しており (図 7 (c) の短い線)、2006 年、2007 年の観測日と同様に上川の影響により低温になったと想定される。

DO の垂直分布はほぼ水温成層の存否を反映した特徴を示す。8 月 7 日は水深 2~3m まで一定の値で推移し、その後、急激に低下する測点が多い。水深 4m~5m 以深では殆どの測点で 3mg/L 以下の貧酸素となる。表層の 5.00mg/L 付近から水深 2m 付近へ延びる 3 本の線は T02, T03, T04 のものである (図 7 (b))。この 3 測点はヒシ帯の中に位置している。

9 月 18 日にも同様の線が 2 本あり、これらは T02 と T01 である (図 7 (d))。やはりヒシ帯の中である。ヒシの繁茂により水中が暗くなり、光合成よりも呼吸 (酸素消費) が上回りヒシ帯で DO が低くなった。あるいは、植物遺骸 (水草の) が多いためその分解に酸素が使われた可能性がある。

9 月 18 日の DO の垂直分布は、水深 5m までほぼ一定の値を示す測点が多いが、2005~2007 年の水温成層が解消された観測日の垂直分布と比べるとバラツキが大きく、水深 3m~4m 付近で急激に DO が低下する測点が目立つ。これらは C11, C12, C13, C14, C16, C19, K13, K14 など湖の中央から西部にかけての水深が深い地域に位置

している。水深が深いところでは、まだ完全に鉛直混合していないため、有機物の分解により下層 (底泥) での酸素消費の影響がでやすいことが考えられる。

(6) 2008 年夏季の水温変化

2008 年夏季の諏訪湖湖心 (C15) における水深 0.5m, 1m, 3m, 5m の水温変化を図 8 に示す (10 分間隔, 9 月 9 日~10 日欠測, 太線は 144 項 (24 時間) 移動平均)。

24 時間移動平均からみた水温のピークは、水深 0.5m と水深 1m は 8 月 16 日、水深 3m は 8 月 17 日、水深 5m は 8 月 25 日に出現した。

夏季における降水・気温と水温との関係には、次の 3 つのケースが観測された。

1 つ目は、8 月 12 日のように降水があっても水温が低下しないケース。8 月 12 日には 58.5mm の降水があったが、日平均気温は平年値を超えていた。夏季の最も気温が高い時期には、降雨時に河川から流入する河川水の水温も高いために、湖水の水温が低下しないと推測される。

2 つ目は、8 月 17 日、7 月 18~20 日のように、降水はないが気温が低下し、その後、水深 0.5m, 1m, 3m へ徐々に水温低下が及んだケース。2008 年 8 月の諏訪における日平均気温は 7 月 11 日から 8 月 16 日まで平年値を越える日が殆どであり、平年値を下回ったのは 7 月 28~30 日、8 月 10 日の 4 日のみである。水深 0.5m, 1m, 3m の水温がピークを過ぎて低下に転じた 8 月 16~17 日には降水はなかったため、8 月 17 日の気温低下が水深 3m 以浅の水温低下の原因と推測される。7 月 18 日にも日最高気温が急激に低下しており、日降水量は 1mm のみであるため、気温低下が水温低下の原因といえる。

3 つ目は、7 月 28 日のように気温低下、降水ともにあり、水深 0.5m, 1m, 3m で水温が低下したケース。

2006 年、2007 年の夏季の水温成層が解消される過程においては、降水時に水深 5m の急激な水温低下がみられた。2008 年にこのような特徴が見られたのは、8 月 24 日と 8 月 28~30 日である。しかし、9 月 6~7 日の降水時には水深 5m 水温に急激な低下はみられなかった。

夏季における諏訪湖の水温への降水、気温の影響は季節推移により異なっている。

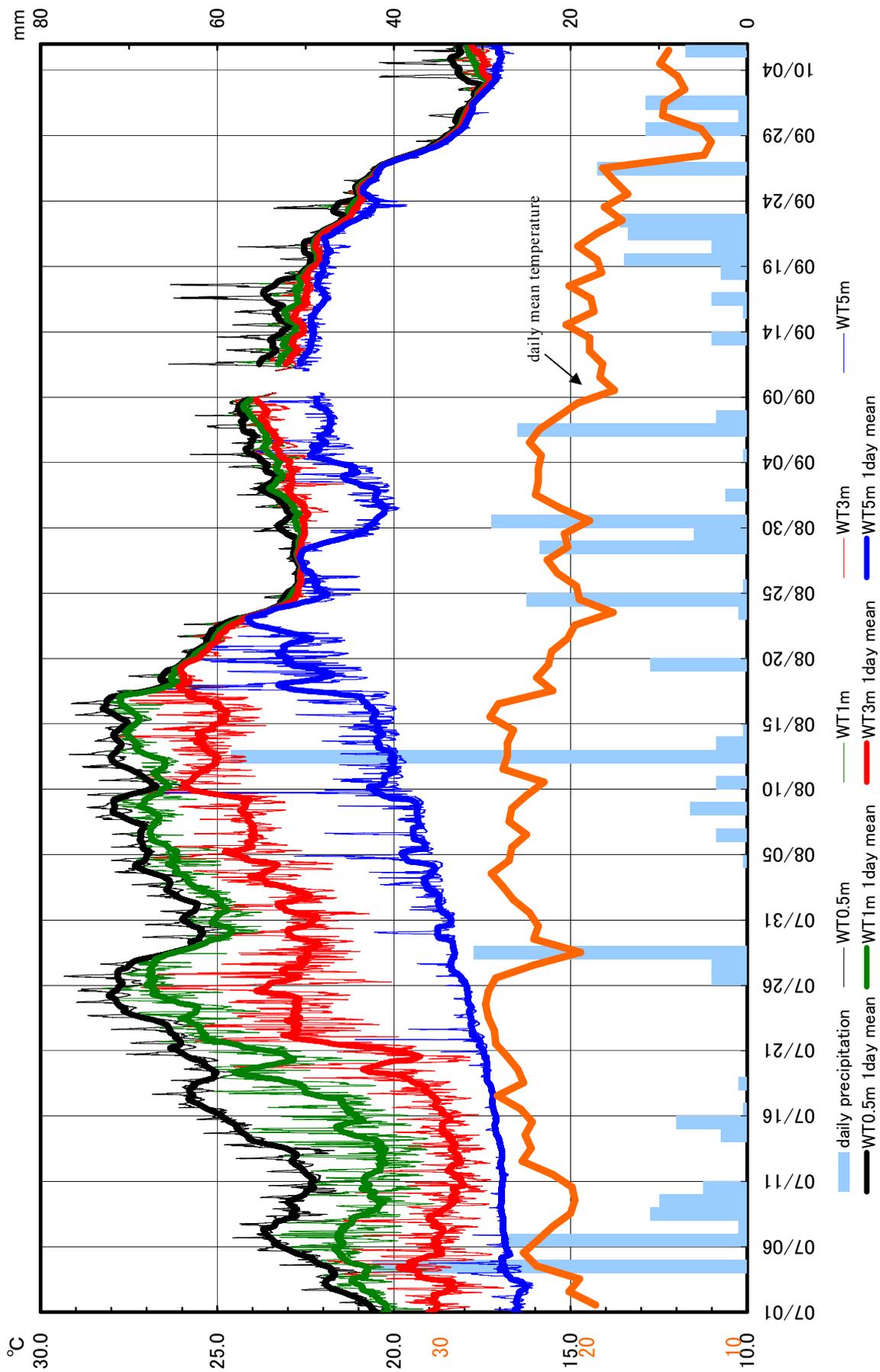


図8 湖心 (C15) における 2008 年夏季の水深 0.5m, 水深 1m, 水深 3m, 水深 5m の水温変化
 Fig. 8. Variations in water temperatures at depths of 0.5m, 1m, 3m and 5m at the center of Lake Suwa (C15) in the summer of 2008

4. まとめ

2008年8月7日、9月18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。

2008年8月7日の諏訪湖の水質は、2002～2008年の16観測日中2～3番目に浄化された状態であった。

9月18日のSS, Chl-aは、ともに16観測日中では平均的な状態であった。Trans.は低い方であった。

2008年8月7日、9月18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、8月7日、9月18日も第1成分が主要な水質分布パターンとして抽出された。

8月7日は、「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」というパターンである。

9月18日は、「SS, W.T.0mが大きい所では、Trans.が小さく、Chl-aはやや大きい」、「SS, W.T.0mが小さい所では、Trans.が大きく、Chl-aはやや小さい」というパターンである。

これらの特徴は2002～2007年の夏季14観測日のうち8日で抽出されたものと類似している。

8月7日の水温の垂直分布には夏季の温度成層が見られた。水深3m付近まで、多くの測点の水温がほぼ一定であり、水温躍層は水深3m以深に出現した。

9月18日には夏季の温度成層が解消され、ほとんどの測点において表層から湖底付近までの温度変化はわずかであった。

DOの垂直分布は、8月7日には水深2～3mまで一定の値で推移し、その後、急激に低下する測点が多かった。水深4m～5m以深では殆どの測点で3mg/L以下の貧酸素となった。

9月18日は、水深5mまでほぼ一定の値を示す測点が多いが、バラツキが大きく水深3m～4m付近で急激にDOが低下する測点が目立った。

2008年の水温のピークは、水深0.5mと水深1mは8月16日、水深3mは8月17日、水深5mは8月25日であった。

降水・気温と水温との関係には、3つのケースが観測された。降水があっても水温が低下しないケース。降水はないが気温が低下し、水深0.5m, 1m, 3mへ徐々に水温低下が及んだケース。気温

低下、降水ともにあり、水深0.5m, 1m, 3mで水温が低下したケース。

夏季における諏訪湖の水温への降水、気温の影響は季節推移により異なっている。

謝辞

本研究は、2008年度科学研究費補助金(基盤研究A:17201012)「水質浄化対策が引き起こす富栄養化の生態系構造の変化とそのメカニズムの解明」(研究代表者:花里孝幸)を使用した。水質調査・分析には、信州大学山岳科学総合研究所山地下水域環境保全学部門(山地下水環境教育研究センター)研究室所属の大学院生・学部生等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) 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、時刻に対する回帰係数を算出した。回帰分析結果を以下に示す。回帰係数/24で算出した気温上昇率は、0.4363°C/h(補正值1), 0.6102°C/h(補正值2)となる。

補正值1

R	0.9435
R ²	0.8902
Adjusted R ²	0.8854

Analysis of Variance

	Sum of Sq.	DF	Mean Sq.	F value	P value
Regression	6.8725	1	6.8725	186.4512	0.0000
Residual	0.8478	23	0.0369		
Total	7.7202	24			

Coefficients

	Reg. Coeff.	Std. Error	T value	P value
Const.	23.8345	0.3482	68.4438	0.0000
Time	10.4700	0.7668	13.6547	0.0000

補正值2

R	0.7792
R ²	0.6071
Adjusted R ²	0.6003

Analysis of Variance

	Sum of Sq.	DF	Mean Sq.	F value	P value
Regression	28.6995	1	28.6995	89.6231	0.0000
Residual	18.5730	58	0.3202		
Total	47.2725	59			

Coefficients

	Reg. Coeff.	Std. Error	T value	P value
Const.	21.7617	0.6866	31.6938	0.0000
Time	14.6458	1.5471	9.4669	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.
- 宮原裕一 (2005) : 諏訪湖水質の季節変動調査結果詳細 (2004~2005). 信州大学山地水環境教育研究センター研究報告, 4, 25-56.
- 宮原裕一・諏訪湖定期調査観測グループ (2007) : 諏訪湖定期調査 (2002~2006) の結果. 信州大学山地水環境教育研究センター研究報告, 5, 47-94.
- 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.
- 柳町晴美・花里孝幸・宮原裕一 (2006) : 2005年夏季における諏訪湖の水平・垂直水質分布, 信州大学環境科学年報, 28, 23-37.
- 柳町晴美・花里孝幸・宮原裕一・山本雅道 (2007) : 2006年夏季における諏訪湖の水平・垂直水質分布, 信州大学環境科学年報, 29, 5-23.
- 柳町晴美・花里孝幸・宮原裕一・山本雅道 (2008) : 2007年夏季における諏訪湖の水平・垂直水質分布, 信州大学環境科学年報, 30, 21-39.

(原稿受付 2009.3.23)

表7 諏訪湖の水質データ (2008年8月7日)
Table 7. Observed water quality data in Lake Suwa
on August 7, 2008

Station	Time JST	Longitude			Latitude			Depth (m)	SS (mg/l)	Chl- <i>a</i> (μ g/l)	Trans. (cm)	IL (mg/l)		
		deg	min	sec	deg	min	sec							
C01	9:01	138	05	06.7	E	36	03	30.0	N	4.75	5.9	24.2	150	5.9
C02	9:14	138	04	52.3	E	36	03	32.4	N	3.66	6.5	27.3	160	6.0
C03	9:24	138	04	51.8	E	36	03	21.2	N	4.85	5.0	21.2	170	4.2
C04	9:34	138	04	35.7	E	36	03	22.6	N	3.33	6.0	31.2	165	5.6
C05	9:44	138	04	20.6	E	36	03	23.9	N	4.26	5.4	31.2	161	5.3
C06	9:54	138	04	22.5	E	36	03	35.4	N	2.44	7.1	29.4	132	5.6
C07	10:02	138	04	05.4	E	36	03	26.2	N	1.68	6.3	35.9	146	6.2
C08	10:10	138	04	05.1	E	36	03	15.7	N	4.29	5.7	29.4	173	5.1
C09	10:21	138	04	17.8	E	36	03	03.2	N	5.31	5.9	33.3	152	5.2
C10	10:34	138	04	32.4	E	36	02	51.6	N	5.77	5.0	26.4	166	4.4
C11	10:48	138	04	45.5	E	36	02	39.7	N	6.08	5.6	27.3	185	4.8
C12	11:00	138	04	59.3	E	36	02	27.3	N	5.78	5.2	23.8	188	4.4
C13	11:15	138	05	15.1	E	36	02	36.6	N	5.74	6.3	36.4	153	5.1
C14	11:32	138	05	01.3	E	36	02	48.5	N	6.10	4.1	22.9	185	3.7
C15	11:45	138	05	01.3	E	36	02	59.0	N	5.78	4.3	24.2	173	4.0
C16	11:59	138	04	47.8	E	36	03	00.4	N	5.87	5.1	23.8	174	4.4
C17	12:10	138	04	34.5	E	36	03	13.3	N	4.91	4.6	22.1	177	4.3
C18	12:22	138	05	06.4	E	36	03	09.6	N	5.67	4.5	16.9	177	4.0
C19	12:34	138	05	18.6	E	36	02	57.4	N	5.76	4.0	19.0	176	4.0
C20	12:47	138	05	33.1	E	36	02	45.3	N	4.89	4.3	17.3	163	4.3
K01	8:55	138	04	38.2	E	36	01	57.1	N	3.40	6.1	24.2	142	4.7
K02	9:04	138	04	24.7	E	36	02	10.4	N	4.70	5.0	23.8	174	4.2
K03	9:13	138	04	11.0	E	36	02	21.6	N	4.79	6.4	29.4	175	5.4
K04	9:20	138	03	57.3	E	36	02	33.5	N	4.70	6.0	28.6	174	5.3
K05	9:26	138	03	44.4	E	36	02	45.9	N	4.09	5.6	29.0	176	5.0
K06	9:32	138	03	30.7	E	36	02	58.7	N	2.93	5.3	28.1	174	5.0
K07	9:38	138	03	16.2	E	36	03	10.3	N	1.75	6.2	26.8	bottom(*)	4.8
K08	9:44	138	03	32.6	E	36	03	09.2	N	2.63	6.2	29.0	180	5.1
K09	9:49	138	03	49.8	E	36	03	18.3	N	3.16	7.6	39.0	170	6.6
K10	9:55	138	03	47.6	E	36	03	07.0	N	3.80	5.6	26.4	198	4.8
K11	10:03	138	04	01.3	E	36	02	54.6	N	4.97	5.2	26.8	199	4.5
K12	10:12	138	04	14.3	E	36	02	42.7	N	5.70	5.1	26.4	204	4.4
K13	10:21	138	04	29.1	E	36	02	29.3	N	5.88	5.0	24.2	203	4.2
K14	10:30	138	04	41.4	E	36	02	18.2	N	5.50	4.6	22.9	202	4.0
K15	10:38	138	04	55.4	E	36	02	06.1	N	0.80	5.5	27.7	bottom(*)	4.3
K16	10:46	138	05	12.1	E	36	02	15.4	N	3.22	5.7	24.7	206	4.5
K17	10:54	138	05	29.0	E	36	02	24.3	N	3.70	5.6	27.3	198	4.5
K18	11:00	138	05	46.7	E	36	02	33.5	N	2.12	5.1	22.1	bottom(*)	4.2
K19	11:06	138	06	02.5	E	36	02	32.1	N	1.00	5.7	30.3	bottom(*)	4.6
K20	11:14	138	06	18.6	E	36	02	41.3	N	1.71	4.7	23.8	bottom(*)	4.5
T01	8:54	138	06	35.7	E	36	03	00.2	N	2.40	9.1	36.4	130	6.6
T02	9:06	138	06	37.7	E	36	03	10.9	N	2.10	22.2	100.4	115	18.3
T03	9:13	138	06	32.9	E	36	03	27.8	N	2.20	12.7	54.5	118	11.7
T04	9:28	138	06	19.3	E	36	03	39.5	N	2.50	8.8	44.2	130	7.5
T05	9:40	138	06	05.0	E	36	03	52.5	N	2.40	7.2	31.6	120	6.7
T06	9:51	138	05	41.9	E	36	03	49.3	N	3.50	12.1	57.1	136	10.4
T07	10:05	138	05	26.1	E	36	03	49.8	N	3.00	5.7	21.6	145	4.8
T08	10:11	138	05	10.2	E	36	03	41.0	N	4.00	6.4	26.8	140	5.3
T09	10:17	138	05	25.4	E	36	03	39.8	N	4.60	6.8	29.9	133	6.2
T10	10:25	138	05	55.4	E	36	03	39.0	N	4.20	5.0	25.5	120	5.1
T11	11:33	138	06	09.9	E	36	03	25.0	N	3.23	4.5	17.7	161	4.4
T12	11:37	138	06	22.5	E	36	03	12.6	N	2.20	5.3	16.5	160	4.7
T13	11:44	138	06	19.2	E	36	02	50.7	N	2.40	5.0	19.5	152	4.4
T14	11:50	138	06	05.4	E	36	03	04.0	N	4.15	5.0	17.7	159	3.7
T15	11:55	138	05	52.0	E	36	03	15.9	N	5.13	3.7	12.1	168	3.8
T16	12:06	138	05	39.5	E	36	03	28.2	N	5.35	4.3	18.2	162	4.1
T17	12:14	138	05	21.5	E	36	03	18.5	N	5.71	4.9	19.5	168	4.0
T18	12:20	138	05	36.0	E	36	03	07.0	N	5.70	4.9	19.9	160	4.3
T19	12:40	138	05	51.4	E	36	02	54.7	N	4.80	4.7	21.6	153	4.4
T20	12:50	138	06	03.1	E	36	02	42.5	N	3.10	4.2	20.3	161	4.2

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

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

表7 諏訪湖の水質データ (2008年8月7日) 続き
 Table 7. Observed water quality data in Lake Suwa on August 7, 2008
 (continued)

Station	W.T.(°C)							DO(mg/l)						
	0m	1m	2m	3m	4m	5m	6m	0m	1m	2m	3m	4m	5m	6m
C01	27.3	26.9	26.7	26.6	23.4	<i>21.5</i>		9.44	9.67	9.40	8.91	0.23	<i>0.14</i>	
C02	27.4	26.9	26.7	25.7	<u>24.6</u>			9.15	9.84	8.97	6.13	<i>0.61</i>		
C03	27.4	26.9	26.7	26.5	22.7	<i>21.6</i>		8.75	9.61	9.48	8.66	0.39	<i>0.06</i>	
C04	27.4	26.9	26.7	26.2	<u>25.4</u>			9.10	9.39	9.14	7.03	<i>5.75</i>		
C05	27.4	27.1	26.7	25.8	21.7	<i>20.8</i>		9.20	9.15	8.34	7.77	0.14	<i>0.07</i>	
C06	27.6	27.1	26.8	<u>25.5</u>				8.81	9.38	9.48	<i>7.18</i>			
C07	27.5	27.4	<u>27.0</u>					9.11	9.29	<i>8.56</i>				
C08	27.6	27.2	26.7	26.4	23.0	<i>21.4</i>		9.38	9.52	9.42	8.45	0.15	<i>0.05</i>	
C09	27.3	26.8	26.5	26.4	22.9	20.2	<i>19.6</i>	8.98	9.41	9.04	8.63	0.18	0.03	<i>0.02</i>
C10	27.4	26.8	26.5	25.8	22.8	20.2	<i>19.8</i>	9.01	9.36	8.54	7.40	0.26	0.03	<i>0.02</i>
C11	27.8	27.3	26.3	25.1	23.5	19.5	<i>19.1</i>	8.65	8.83	8.60	5.33	0.62	0.02	<i>0.01</i>
C12	27.9	26.9	26.4	26.0	22.9	19.3	<i>19.2</i>	8.59	8.56	7.22	7.42	0.16	0.02	<i>0.11</i>
C13	27.7	26.9	26.6	26.1	23.5	19.2	<i>19.1</i>	9.64	10.03	9.66	8.29	0.96	0.04	<i>0.02</i>
C14	28.5	27.3	26.5	26.2	23.5	19.2	<i>19.1</i>	9.18	9.65	9.26	8.25	1.05	0.04	<i>0.02</i>
C15	28.5	27.2	26.5	26.3	23.5	19.5	<i>19.1</i>	9.55	10.29	9.02	8.51	1.38	0.02	<i>0.01</i>
C16	28.6	27.2	26.6	25.8	23.7	20.4	<i>19.2</i>	9.25	10.09	9.41	7.67	2.32	0.07	<i>0.02</i>
C17	28.6	27.5	26.7	25.8	22.9	<i>21.7</i>		9.45	10.21	10.58	8.28	0.55	<i>0.11</i>	
C18	29.1	27.2	26.7	26.0	23.3	20.0	<i>19.5</i>	9.33	10.32	9.91	8.80	1.06	0.13	<i>0.05</i>
C19	29.7	27.1	26.6	26.2	23.5	19.4	<i>19.1</i>	9.84	11.30	9.49	8.27	2.85	0.08	<i>0.03</i>
C20	28.0	27.2	26.8	25.8	23.2	<i>19.8</i>		10.52	10.24	9.15	7.83	5.77	<i>0.19</i>	
K01	27.1	26.8	26.6	25.0	<u>25.0</u>			7.92	8.05	6.57	0.22	<i>0.15</i>		
K02	27.2	27.0	26.7	25.2	22.9	<i>22.1</i>		8.57	8.72	8.43	4.89	0.23	<i>0.15</i>	
K03	27.5	27.2	26.9	24.6	23.2	<u>22.4</u>		8.73	8.79	8.36	3.62	0.68	<i>0.15</i>	
K04	27.5	27.1	26.9	24.8	23.4	<i>23.0</i>		8.62	8.82	8.53	4.25	0.96	<i>0.17</i>	
K05	27.6	27.1	26.9	25.1	<u>23.8</u>			8.76	9.27	8.66	4.91	<i>0.25</i>		
K06	27.6	27.2	27.0	<u>25.8</u>				8.91	9.20	8.73	<i>1.96</i>			
K07	27.5	27.1	<u>27.0</u>					8.94	8.76	<i>8.20</i>				
K08	27.7	27.2	26.9	<u>26.5</u>				8.79	8.99	7.50	<i>5.10</i>			
K09	27.4	27.3	25.9	<u>26.5</u>				9.20	9.22	8.71	<u>6.52</u>			
K10	27.6	27.2	26.9	25.7	<u>24.6</u>			8.94	9.34	8.46	5.76	<i>2.75</i>		
K11	27.5	27.3	26.7	25.4	22.9	<i>20.1</i>		8.52	8.92	9.25	5.90	0.22	<i>0.14</i>	
K12	27.7	27.1	26.6	25.3	22.7	19.8	<i>19.4</i>	8.90	9.74	8.72	8.63	0.26	0.15	<i>0.14</i>
K13	27.7	27.0	26.5	24.8	22.6	19.8	<i>19.4</i>	8.53	9.45	8.42	4.78	0.20	0.15	<i>0.15</i>
K14	27.8	27.0	26.5	25.2	23.2	20.9	<i>20.2</i>	8.68	9.14	8.79	3.74	0.16	0.13	<i>0.14</i>
K15	28.0	<u>27.4</u>						8.49	<i>8.94</i>					
K16	28.0	27.3	26.3	<u>26.1</u>				8.40	8.77	8.58	<u>7.93</u>			
K17	28.5	27.1	26.5	25.7	<i>25.1</i>			8.36	9.16	8.84	6.46	<i>4.14</i>		
K18	28.9	27.6	<u>24.1</u>					9.04	9.27	<i>8.12</i>				
K19	28.7	<u>28.0</u>						8.58	<i>8.46</i>					
K20	29.4	27.5	<u>24.1</u>					8.44	8.43	<i>6.47</i>				
T01	27.6	27.0	<u>26.6</u>					7.28	7.44	<u>5.72</u>				
T02	27.9	27.2	<u>27.1</u>					5.10	4.59	<i>3.14</i>				
T03	27.7	27.2	<u>27.1</u>					4.15	3.85	<u>2.99</u>				
T04	28.4	27.7	27.3	<i>27.1</i>				5.10	4.25	3.80	<i>3.10</i>			
T05	28.5	27.7	27.3	<i>27.1</i>				6.70	7.27	6.47	<i>4.60</i>			
T06	28.1	27.6	27.1	26.7	<i>26.3</i>			9.37	10.10	8.98	8.00	<i>6.41</i>		
T07	28.1	27.5	27.1	<i>26.9</i>				9.30	9.80	9.15	<i>8.90</i>			
T08	28.0	27.4	27.0	26.6	<i>24.0</i>			9.05	10.31	8.34	7.90	<i>4.60</i>		
T09	28.1	27.2	26.9	26.8	24.1	<i>23.2</i>		9.20	10.90	9.15	8.76	1.53	<i>0.20</i>	
T10	28.1	27.6	27.2	25.7	<u>25.0</u>			9.33	10.85	10.05	4.55	<u>2.03</u>		
T11	30.1	27.8	27.1	<u>25.0</u>				8.58	10.62	9.16	<u>3.38</u>			
T12	30.1	27.7	<u>27.3</u>					8.81	9.87	<u>7.13</u>				
T13	29.5	27.8	27.0	<i>26.1</i>				9.04	9.62	8.95	<i>5.75</i>			
T14	29.8	27.9	27.0	24.6	<u>23.3</u>			8.96	10.03	8.75	3.93	<u>1.10</u>		
T15	29.1	27.5	27.1	25.8	22.3	<u>20.1</u>		9.66	9.86	9.43	5.88	2.00	<u>0.19</u>	
T16	30.1	27.9	27.0	25.2	23.2	20.6	<i>19.9</i>	9.05	10.58	9.79	5.90	0.37	0.16	<i>0.15</i>
T17	29.4	27.4	26.9	26.0	23.3	20.3	<i>19.4</i>	9.11	9.76	9.42	7.50	2.97	0.25	<i>0.19</i>
T18	30.3	27.6	27.0	25.5	23.4	19.4	<i>19.4</i>	9.05	9.91	9.53	6.08	3.19	0.20	<i>0.15</i>
T19	28.5	27.8	27.0	25.5	23.4	<i>20.7</i>		10.79	10.43	9.33	7.73	4.88	<i>0.22</i>	
T20	30.5	28.0	26.9	<u>25.1</u>				9.15	9.75	9.16	<i>6.80</i>			

The values of W.T. and DO near the bottom are printed in italic.

The underlined values are observed near the bottom at every 1m water depth.

表8 諏訪湖の水質データ (2008年9月18日)
Table 8. Observed water quality data in Lake Suwa
on September 18, 2008

Station	Time JST	Longitude			Latitude			Depth (m)	SS (mg/l)	Chl- <i>a</i> (μ g/l)	Trans. (cm)	IL (mg/l)		
		deg	min	sec	E	deg	min						sec	N
C01	8:55	138	05	06.8	E	36	03	30.3	N	4.67	11.2	58.4	95	9.3
C02	9:04	138	04	52.1	E	36	03	32.0	N	3.68	15.3	59.7	86	11.6
C03	9:12	138	04	52.1	E	36	03	21.0	N	4.92	12.9	59.2	98	9.4
C04	9:19	138	04	35.8	E	36	03	23.1	N	3.20	14.2	60.8	86	10.4
C05	9:25	138	04	21.0	E	36	03	23.9	N	4.20	15.6	58.7	85	11.6
C06	9:32	138	04	22.6	E	36	03	35.6	N	2.40	14.4	61.3	76	11.6
C07	9:39	138	04	05.3	E	36	03	26.0	N	1.70	17.2	58.7	79	11.3
C08	9:44	138	04	04.8	E	36	03	15.2	N	4.34	15.6	62.3	74	11.0
C09	9:52	138	04	18.4	E	36	03	03.0	N	5.40	12.6	60.8	88	8.6
C10	10:00	138	04	32.2	E	36	02	51.1	N	5.86	11.7	60.8	94	8.9
C11	10:09	138	04	45.8	E	36	02	39.2	N	6.25	12.8	44.2	85	9.8
C12	10:17	138	04	59.2	E	36	02	27.6	N	5.87	12.5	33.2	91	8.9
C13	10:27	138	05	16.0	E	36	02	36.9	N	5.75	12.1	38.4	90	8.4
C14	10:35	138	05	00.3	E	36	02	48.6	N	6.11	12.4	55.1	86	10.1
C15	10:45	138	05	00.9	E	36	02	58.8	N	5.78	11.9	50.4	90	8.8
C16	10:55	138	04	47.3	E	36	03	00.5	N	5.80	11.4	51.9	88	8.6
C17	11:04	138	04	34.2	E	36	03	13.2	N	4.88	11.6	62.3	88	8.1
C18	11:12	138	05	06.3	E	36	03	09.7	N	5.65	10.6	51.4	92	8.1
C19	11:22	138	05	19.6	E	36	02	57.8	N	5.69	11.0	65.5	84	8.4
C20	11:31	138	05	32.6	E	36	02	45.9	N	5.10	10.8	61.3	84	8.2
K01	8:55	138	04	39.2	E	36	01	57.5	N	3.20	13.5	50.2	80	9.4
K02	9:04	138	04	24.9	E	36	02	10.1	N	4.40	14.2	53.2	75	9.0
K03	9:12	138	04	10.6	E	36	02	22.5	N	4.80	12.5	48.9	85	8.4
K04	9:20	138	03	57.6	E	36	02	33.6	N	4.50	13.0	27.3	80	9.6
K05	9:31	138	03	43.5	E	36	02	46.4	N	3.80	15.9	19.0	72	9.5
K06	9:39	138	03	29.1	E	36	02	59.1	N	2.90	16.6	56.3	72	9.9
K07	9:48	138	03	16.0	E	36	03	10.7	N	2.10	17.7	50.2	76	10.1
K08	9:54	138	03	32.8	E	36	03	09.5	N	2.60	24.1	59.7	67	10.5
K09	10:03	138	03	49.9	E	36	03	18.4	N	3.10	16.7	57.6	78	9.6
K10	10:08	138	03	47.5	E	36	03	06.6	N	3.80	12.9	61.5	78	9.3
K11	10:17	138	04	01.3	E	36	02	54.7	N	5.00	12.2	45.0	90	8.6
K12	10:27	138	04	15.0	E	36	02	42.5	N	5.60	11.0	60.6	90	8.4
K13	10:36	138	04	28.1	E	36	02	30.5	N	5.80	11.5	39.0	86	8.6
K14	10:45	138	04	41.6	E	36	02	19.1	N	5.50	11.7	39.8	91	8.0
K15	10:53	138	04	55.6	E	36	02	06.5	N	1.10	10.6	29.4	98	7.5
K16	10:58	138	05	11.7	E	36	02	15.4	N	3.30	10.8	36.4	81	6.7
K17	11:07	138	05	28.9	E	36	02	24.5	N	3.90	11.4	56.3	93	7.4
K18	11:19	138	05	46.3	E	36	02	33.4	N	2.10	9.5	60.2	81	7.1
K19	11:24	138	06	02.0	E	36	02	31.9	N	1.00	9.8	39.8	bottom(*)	5.7
K20	11:30	138	06	17.9	E	36	02	41.2	N	1.50	11.7	44.6	90	6.4
T01	8:52	138	06	35.6	E	36	03	00.3	N	2.12	14.0	45.5	76	8.4
T02	8:58	138	06	37.8	E	36	03	11.5	N	1.96	11.4	44.2	81	8.6
T03	9:08	138	06	32.6	E	36	03	27.8	N	2.04	11.1	50.6	69	9.3
T04	9:20	138	06	18.6	E	36	03	39.5	N	2.28	13.3	61.5	53	10.3
T05	9:35	138	06	05.4	E	36	03	52.3	N	2.20	11.8	59.3	73	10.0
T06	9:46	138	05	41.8	E	36	03	48.6	N	3.40	15.4	68.0	82	12.5
T07	9:51	138	05	26.5	E	36	03	50.6	N	2.62	15.2	62.9	67	11.6
T08	9:56	138	05	09.6	E	36	03	40.8	N	3.90	14.2	66.5	61	11.6
T09	10:04	138	05	24.9	E	36	03	40.2	N	4.34	14.5	71.7	79	11.8
T10	10:11	138	05	55.1	E	36	03	37.0	N	4.22	13.8	73.2	73	11.5
T11	10:17	138	06	08.4	E	36	03	24.8	N	3.52	14.4	74.3	65	10.8
T12	10:25	138	06	22.5	E	36	03	12.6	N	2.24	13.2	54.5	68	8.5
T13	10:34	138	06	18.8	E	36	02	51.6	N	2.44	14.6	53.5	54	8.2
T14	10:41	138	06	04.9	E	36	03	02.9	N	4.20	11.9	55.6	77	7.8
T15	10:47	138	05	51.3	E	36	03	15.5	N	5.10	12.1	66.5	73	8.8
T16	10:53	138	05	38.6	E	36	03	27.5	N	5.30	11.8	71.2	73	9.0
T17	10:59	138	05	21.0	E	36	03	18.4	N	5.82	10.0	59.7	80	7.0
T18	11:06	138	05	35.5	E	36	03	06.9	N	5.54	10.6	56.6	77	6.6
T19	11:11	138	05	49.4	E	36	02	55.0	N	4.92	9.9	58.7	88	6.8
T20	11:19	138	06	02.2	E	36	02	42.0	N	3.02	8.8	50.9	81	6.3

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

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

表8 諏訪湖の水質データ（2008年9月18日）続き
 Table 8. Observed water quality data in Lake Suwa on September 18, 2008
 (continued)

Station	W.T.(°C)							DO(mg/l)						
	0m	1m	2m	3m	4m	5m	6m	0m	1m	2m	3m	4m	5m	6m
C01	22.5	22.5	22.5	22.4	22.4	22.3		7.38	7.35	7.21	6.40	6.30	5.83	
C02	23.4	22.9	22.7	22.7	22.7			8.30	7.76	7.14	6.52	1.52		
C03	22.4	22.4	22.4	22.4	22.3	22.2		7.09	7.09	7.03	6.70	6.35	5.90	
C04	22.8	22.7	22.6	<u>22.6</u>				7.78	7.56	6.78	<u>6.60</u>			
C05	23.0	22.9	22.7	22.7	<u>21.8</u>			8.25	8.15	7.58	7.18	<u>5.78</u>		
C06	23.0	23.0	22.8	21.5				8.26	8.18	7.65	6.46			
C07	23.2	23.1	<u>23.1</u>					8.06	7.99	<u>7.95</u>				
C08	23.0	23.0	23.0	22.6	22.5	22.5		7.98	7.93	7.83	7.22	6.83	4.54	
C09	22.4	22.4	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	6.97	6.78	6.83	6.69	6.41	6.14	6.12
C10	22.5	22.5	22.5	22.4	22.2	21.9	21.7	7.54	7.40	7.26	6.86	6.26	2.05	0.98
C11	23.0	23.0	22.9	22.6	22.1	21.3	<u>21.0</u>	8.54	8.52	8.17	7.45	5.75	1.21	<u>0.75</u>
C12	23.0	22.9	22.9	22.1	21.9	21.8	21.3	7.48	7.41	6.76	1.95	0.87	0.22	0.07
C13	22.9	22.9	22.8	22.5	21.9	21.7	21.2	6.85	6.72	6.45	5.33	1.74	2.53	2.33
C14	23.0	23.0	23.0	22.8	21.5	21.4	21.0	8.32	8.31	8.16	7.45	1.02	1.75	0.75
C15	22.7	22.7	22.7	22.5	21.9	21.6	21.3	7.82	7.68	7.70	6.89	4.68	1.85	0.64
C16	22.6	22.6	22.5	22.3	22.1	22.0	21.5	7.65	7.68	7.34	6.42	5.81	4.96	0.71
C17	22.3	22.3	22.2	22.2	22.2	22.2		7.03	6.79	6.43	6.18	6.00	5.74	
C18	22.5	22.5	22.3	22.1	22.0	21.9	21.9	7.51	7.47	6.89	6.04	5.70	5.01	4.45
C19	22.7	22.7	22.7	22.3	22.0	21.7	21.5	7.95	7.92	7.67	6.02	4.37	3.34	1.63
C20	22.7	22.7	22.6	22.3	22.1	21.4		7.43	7.43	7.12	6.51	5.12	2.82	
K01	23.2	23.2	23.0	<u>22.7</u>				7.08	7.03	5.83	<u>3.42</u>			
K02	23.0	23.0	23.0	22.8	22.7	22.7		6.52	6.57	6.48	6.28	5.56	5.46	
K03	22.9	22.9	22.9	22.7	22.5	22.5		7.06	7.09	6.83	6.17	5.36	5.27	
K04	23.0	23.0	23.0	22.9	22.7	22.7		8.04	8.03	7.85	6.56	6.21	6.14	
K05	23.2	23.2	23.2	22.9	22.9			7.70	7.67	7.33	7.02	6.86		
K06	23.2	23.2	23.2	<u>23.1</u>				7.18	7.23	7.25	7.24			
K07	23.7	23.7	<u>23.7</u>					7.96	7.88	<u>7.84</u>				
K08	23.2	23.2	23.2	<u>23.2</u>				7.13	7.05	6.99	6.56			
K09	23.1	23.1	23.1	<u>23.1</u>				7.56	7.55	7.50	7.42			
K10	22.8	22.8	22.8	22.7	22.7			7.79	7.81	7.69	7.39	7.24		
K11	22.7	22.7	22.7	22.6	22.6	22.6		7.68	7.71	7.62	7.54	6.87	6.73	
K12	22.7	22.7	22.7	22.7	22.5	22.4	22.3	7.51	7.42	7.39	7.35	5.43	4.33	3.72
K13	22.8	22.8	22.8	22.7	22.0	21.9	21.8	7.88	7.91	7.90	7.14	3.49	1.99	1.07
K14	22.9	22.9	22.9	22.8	21.7	21.7	21.7	7.18	7.10	7.12	6.32	0.11	0.09	0.08
K15	22.4	<u>22.2</u>						5.53	<u>4.64</u>					
K16	22.7	22.7	22.6	22.1	22.1			5.84	5.04	4.15	1.43	1.39		
K17	22.8	22.6	22.4	22.3	22.2			7.12	5.75	5.03	5.63	4.26		
K18	22.5	22.5	<u>22.1</u>					7.43	7.36	6.18				
K19	20.9	<u>20.0</u>						8.05	<u>7.64</u>					
K20	21.7	21.6	<u>20.9</u>					5.84	5.71	5.19				
T01	22.4	22.5	<u>22.4</u>					4.80	4.74	<u>4.59</u>				
T02	23.0	23.2	<u>23.1</u>					3.33	3.09	<u>2.95</u>				
T03	23.1	23.2	<u>23.2</u>					3.54	3.34	1.40				
T04	23.3	23.4	<u>23.3</u>					6.63	6.55	<u>5.40</u>				
T05	23.9	23.7	<u>23.2</u>					7.24	7.57	<u>7.18</u>				
T06	23.3	23.3	22.8	22.7	22.7			9.03	8.91	8.00	7.27	6.41		
T07	23.4	23.3	23.0	22.9				8.42	8.44	8.50	6.69			
T08	23.1	23.2	22.9	22.6	22.5			8.80	8.84	6.61	5.99	6.05		
T09	22.9	23.0	22.8	22.7	22.5	22.5		8.93	8.80	8.14	7.40	6.11	5.95	
T10	22.7	22.7	22.7	22.7	<u>22.6</u>			8.99	9.03	8.70	8.35	<u>8.10</u>		
T11	22.8	22.8	22.8	22.3	22.0			8.60	8.72	8.54	5.62	3.68		
T12	22.7	22.7	<u>22.1</u>					6.17	6.10	<u>3.10</u>				
T13	22.1	22.1	21.8	21.7				5.60	5.21	4.16	3.89			
T14	22.2	22.2	22.1	21.9	<u>21.7</u>			6.63	6.49	5.86	5.33	<u>3.83</u>		
T15	22.5	22.6	22.5	22.2	22.0	<u>21.7</u>		7.35	7.38	7.05	6.25	5.04	<u>3.44</u>	
T16	22.5	22.5	22.5	22.5	22.2	22.1		7.80	7.94	7.94	7.80	7.77	4.33	4.20
T17	22.2	22.2	22.2	22.2	22.1	22.0	21.9	6.63	6.66	6.65	6.44	6.15	5.56	4.47
T18	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	21.2	21.2	6.05	5.96	5.78	5.72	5.65	1.21	1.19
T19	22.0	22.0	22.0	21.9	21.8	21.4		6.57	6.44	6.19	6.10	5.99	4.49	
T20	21.7	21.7	21.6	<u>20.2</u>				6.46	6.42	6.16	5.93			

The values of W.T. and DO near the bottom are printed in italic.
 The underlined values are observed near the bottom at every 1m water depth.