

2015 年夏季における諏訪湖の水平・垂直水質分布

柳町晴美¹, 宮原裕一², 山本雅道³, 花里孝幸²

¹信州大学社会科学系, ²信州大学山岳科学研究所, ³信州大学理学系

Horizontal and vertical water quality distribution in Lake Suwa in the summer of 2015

H. Yanagimachi¹, Y. Miyabara², M. Yamamoto³ & T. Hanazato²

¹Institute of Social Sciences, Shinshu University,

²Institute of Mountain Science, Shinshu University,

³Institute of Science, Shinshu University

2015 年 8 月 5 日の諏訪湖は, 2003 年以降の同時期の平均よりも混濁しており, 全体として高温であった。

2015 年 8 月 5 日の表層 4 水質要素の主成分分析により主要な分布パターンを抽出した。第 1 成分は, SS, Chl-*a* の変動を説明するパターンである。第 2 成分は, Trans., W.T.0m at 10:00 の変動を説明するパターンである。

8 月 5 日の水温の垂直分布には, 明瞭な水温躍層が出現した。

2015 年夏季の諏訪湖湖心における水深 1m の水温ピークは, 8 月 1 日 (28.6℃), 水深 3m のピークは 8 月 9 日 (26.5℃), 水深 5m のピークは 8 月 15 日 (24.9℃) に出現した。

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

諏訪湖の水質の変動を把握するために, 2002 年 9 月以降, 毎年, 夏季の諏訪湖の水質を観測しており, 2014 年までの 13 年間に 27 日間の水平分布に関するデータ, 2005 年以降の 19 日間はさらに垂直分布に関するデータを蓄積している(柳町ほか, 2003, 柳町ほか, 2004, 2005, 2006, 柳町ほか, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015)。

2015 年もこれまでと同様に, 諏訪湖の水質の水平分布, 垂直分布の観測を 8 月 5 日に実施した。2013 年以前は夏季に 2 日観測を実施したが, 2015 年は 2014 年と同様に夏季 1 日の観測である。

これらの観測結果は, 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, 花里ほか, 2003, 宮原, 2005, 2013, 宮原・諏訪湖定期調査観測グループ, 2007, など)を, 水平方向に拡張して解析するための基礎データとして利用可能である。

2015 年夏季も 2014 年までと同様の水質要素の観測を実施した。すなわち, 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.), 表層水温(以下では W.T.0m), 水深 1m 毎の水温(W.T.1m, W.T.2m, ...), 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)である。

本研究では, 2015 年夏季の諏訪湖の水質分布パターンと, 2015 年夏季における諏訪湖湖心の水温の変動傾向について解析する。

2. 方法

2015 年 8 月 5 日の水質観測方法は, 2002~2014 年に実施したものに準拠し, 2014 年までの観測と同じ 60 測点において行なった。水質観測は 3 艘の観測船により C コース, K コース, T コースに分けて実施し, それぞれ 20 測点ずつ観測した(C01~C20, K01~K20, T01~T20)。図 1 は観

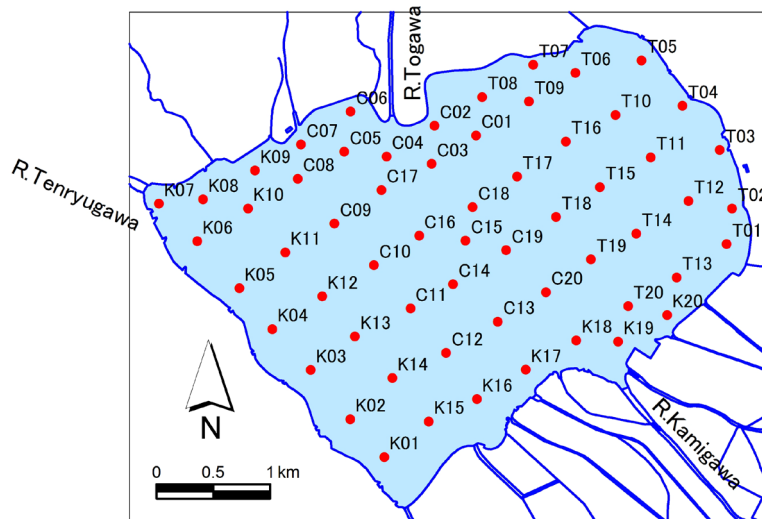


図 1 60 観測地点と流入・流出河川

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

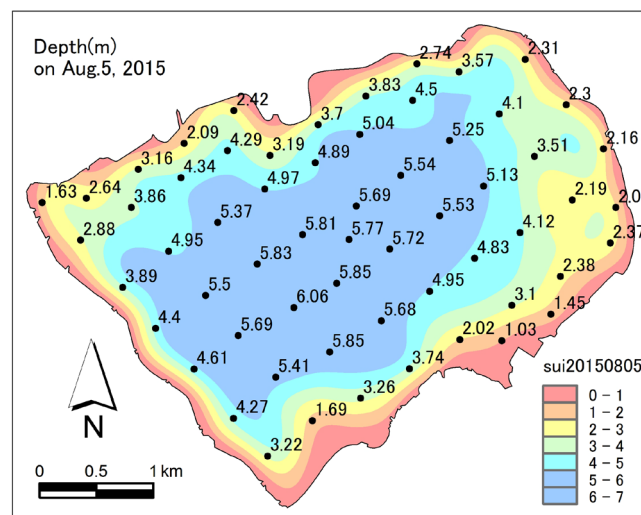


図 2 観測日の諏訪湖の水深 2015 年 8 月 5 日

Fig.2. Depth of Lake Suwa on August 5, 2015

測した 60 測点の位置，図 2 は 60 測点で計測した水深から作成した水深分布図である。図 1 の 60 測点の位置は観測日のものである。GPS を用いて毎年ほぼ同じ位置になるようにしている。

8 月 5 日の観測時間は 8:30～11:54，所要時間は 3 時間 24 分である。各測点での観測開始時刻（以下では観測時刻）は附表 1 に記載した。

2014 年までの解析方法と同様に，2015 年 8 月

5 日の表層データ（SS, Chl-*a*, Trans., W.T.0m）は，水質分布を特徴づける分布パターンを主成分分析により抽出し，主成分得点分布図から特徴が顕著に見られる地域を抽出した。

W.T., DO については，垂直分布の特徴を調べた。

さらに，2014 年までと同様に，2015 年夏季の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（気象庁特別地域気象観測所）の日降水量，毎時気温を用いて解析した。

3. 結果と考察

(1) 表層水温と表層 DO の時間経過

観測船による観測時間帯に諏訪（気象庁特別地域気象観測所）の毎時気温はほぼ上昇傾向にあり，湖心（C15 測点）における水深 0m 水温（WT0m）（湖心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 1 時間間隔で計測）も，8 時から 12 時までに 28.10℃から 29.84℃に上昇した（図 3）。矢印で示した観測時間帯（8:30～11:54）での温度変化を時別値から内挿により算出すると，1.46℃の上昇である。なお，図 3 から見て，湖心における水深 1m 水温（WT1m），水深 3m 水温（WT3m），水深 5m 水温（WT5m）は，観測時間帯にはほぼ一定であった。

表層水温（W.T.0m）と表層の DO（DO0m）について，時間経過に伴う変化を，観測時刻との相関係数（表 1），観測時刻との散布図（図 4）から調べた。

2015 年 8 月 5 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 0.852（ $p<0.001$ ），スピアマンの順位相関係数は 0.862（ $p<0.001$ ）であり（表 1），いずれも有意水準 0.1%で有意な正の相関がある。

60 測点の W.T.0m と観測時刻との散布図（図 4 (a)）をみると，3 コースとも水温が時間経過とともに上昇傾向にある。

60 測点の水温は，各コースで変動しながら時間経過とともに上昇し，相関係数も 0.852 と高いことから，W.T.0m の水平分布を見るためには時間経過に伴う補正が必要と考えられる。

表層 DO（DO0m）の時間経過に伴う変化は，観測時刻との散布図（図 4 (b)）から見て，T コースの 4 測点が特に小さな値を示し，C コースの最後から 3 つ目の測点（C18）の値がやや高いが，その他の測点では大きな変動がなく推移した。

(2) 表層水温の補正

60 測点における表層水温の時間経過に伴う補正は，2005 年 8 月 17 日，2007 年 10 月 4 日，2008 年 8 月 7 日の観測において実施した。

2005 年 8 月 17 日は，湖心において 10 分間隔

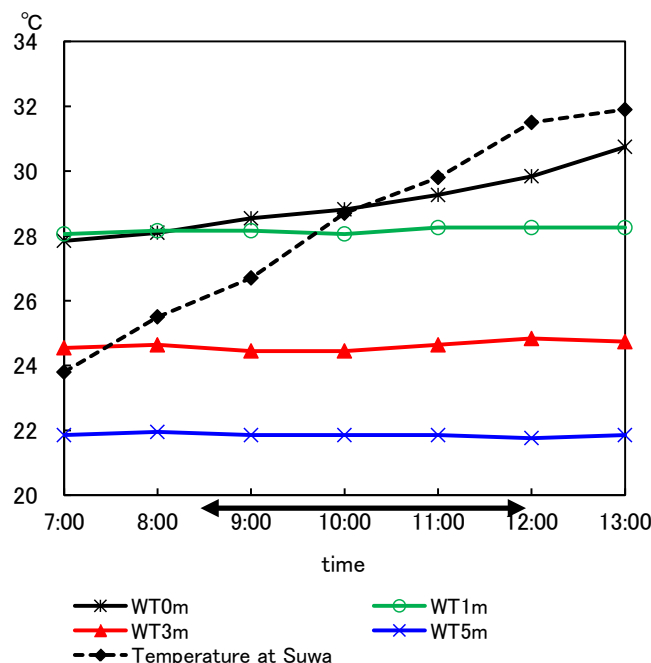


図 3 2015 年 8 月 5 日の湖心 (C15) における水温
矢印は観測時間帯を示す

Fig.3. Water temperatures at the center of Lake Suwa (C15) on August 5, 2015
Allow shows the time span of observation

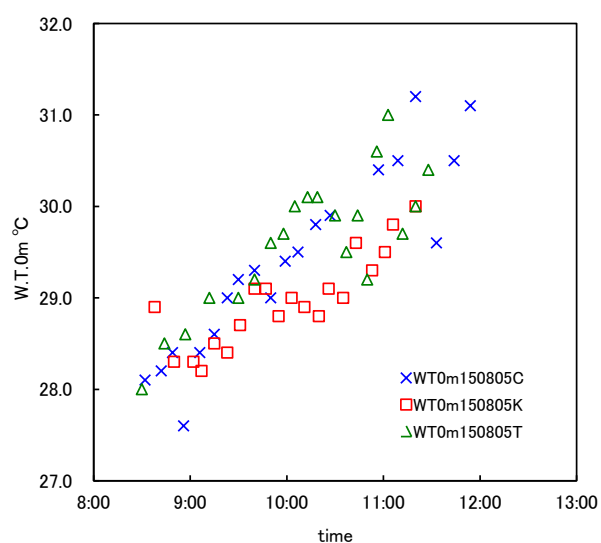
表1 観測時刻と水質要素間の相関係数, スピアマンの順位相関係数
Table 1. Correlation coefficients and Spearman's rank correlation coefficients between the observation time and the water quality elements

	August 5, 2015				
	r	p value	r _s	p value	N
SS	-0.027	0.841	-0.197	0.139	58
Chl- <i>a</i>	-0.059	0.662	-0.199	0.134	58
IL	-0.044	0.745	-0.265	0.045 *	58
Trans.	0.086	0.519	0.099	0.460	58
DO 0m	0.446	0.000 **	0.566	0.000 **	58
DO 1m	0.429	0.001 **	0.493	0.000 **	57
DO 2m	0.271	0.052	0.117	0.408	52
DO 3m	0.093	0.557	0.080	0.617	42
DO 4m	0.249	0.177	0.303	0.097	31
DO 5m	0.317	0.215	0.294	0.253	17
W.T. 0m	0.852	0.000 **	0.862	0.000 **	58
W.T. 1m	0.722	0.000 **	0.779	0.000 **	57
W.T. 2m	0.347	0.012 *	0.364	0.008 **	52
W.T. 3m	0.148	0.350	0.053	0.738	42
W.T. 4m	0.360	0.047 *	0.378	0.036 *	31
W.T. 5m	0.156	0.550	-0.093	0.723	17
W.T.0m at10:00	0.007	0.956	-0.033	0.808	58

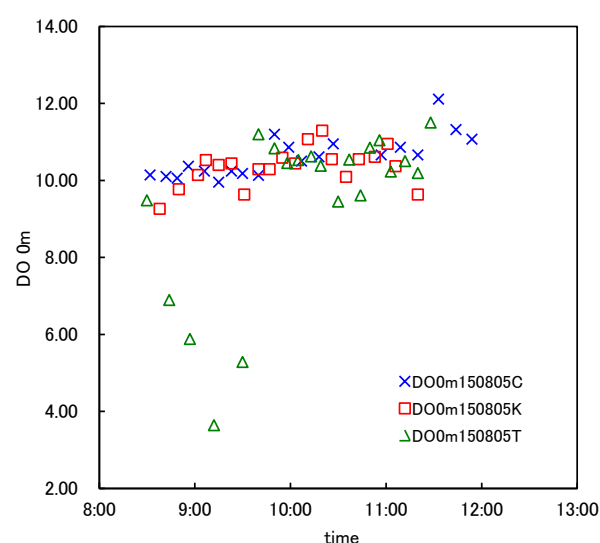
** : significant at 0.01 significant level.

* : significant at 0.05 significant level.

T04 and T11 are excluded from the calculations.



(a) W.T. 0m on August 5, 2015



(b) DO 0m on August 5, 2015

図4 表層水温, DO と観測時刻との散布図

Fig.4. Scattergrams of W.T.0m and DO 0m versus observed time

× : C01~C20, □ : K01~K20, △ : T01~T20

で観測した表層水温を目的変数, 観測時刻を説明変数とする回帰分析から, 60 測点の表層水温を 10:30am の値に補正した (補正值 1) (柳町ほか, 2006)。

湖心の表層水温データが利用できない観測日 (2007 年 10 月 4 日, 2008 年 8 月 7 日) は, 60 測点における表層水温を目的変数, 観測時刻を説明変数とする回帰分析から, 60 測点の表層水温

を 10:30am の値に補正した（補正值 2）（柳町ほか，2008，2009）。

2005 年 8 月 17 日の補正值 1 と補正值 2 との相関係数は 0.999 であり，60 測点の表層水温を用いた補正方法による補正值 2 は表層水温の時間経過に伴う補正值として妥当と考えられた（柳町ほか，2008）。

2015 年 8 月 5 日の湖心における水温観測は 1 時間間隔であるため，データが少なく前述の補正值 1 の算出は適当ではないと考えられる。今回は，2007 年 10 月 4 日，2008 年 8 月 7 日と同様に補正值 2 の方法，すなわち 60 測点の表層水温を目的変数，観測時刻を説明変数とする回帰分析（注 1）から補正を行った。すなわち，単位時間当たりの気温上昇量を用いて，観測時刻のほぼ平均時刻である 10:00am の水温補正值（W.T.0m at 10:00）を算出した。

(3) 表層水質データの統計量

60 測点における水質データを附表 1 に，水質要素毎の要約統計量を表 2 に示す。

8 月 5 日における SS，Chl-*a*，IL，Trans.の平均（SS 14.9mg/L，Chl-*a* 66.0 μ g/L，IL 14.0mg/L，Trans. 95.9cm）（表 2）を，2003～2015 年 7・8 月の 16 観測日平均（2005 年以降測定している IL は 2005～2015 年 8 月の 10 観測日平均（2005 年以降の 7・8 月観測日はすべて 8 月））（SS 11.0mg/L，

Chl-*a* 50.9 μ g/L，IL 8.2mg/L，Trans. 117.7cm）と比較する。

8 月 5 日の SS，Chl-*a* の平均は，7・8 月の 16 観測日平均よりも高く，どちらも 16 観測日中 4 番目に高かった。Trans.の平均は 16 観測日平均よりも低く，16 観測日中 3 番目に低かった。

8 月 5 日の IL の平均は，8 月の 10 観測日平均よりも高く，10 観測日中 2 番目に高かった。

8 月 5 日の SS の最大値（T04 測点の 69.5 mg/L）は，7・8 月の 16 観測日の最大値であり，8 月 5 日の Chl-*a* の最大値（T04 の 310.8 μ g/L）は，7・8 月の 16 観測日中 2 番目に高く，8 月 5 日の IL の最大値（T04 の 62.6 mg/L）は，8 月の 10 観測日中の最大値であった。

SS，Chl-*a*，IL に関しては，観測値が他の測点より特に高い測点（T04，T11，T08，T19）がある。この 4 測点を除いた SS，Chl-*a*，IL の 56 測点平均は，SS 12.6mg/L，Chl-*a*，55.2 μ g/L，IL 11.8mg/L とやや低下するが，いずれも 16 観測日平均より高い。以上から，2015 年 8 月 5 日の諏訪湖は同時期の平均よりも混濁していた。

かつて，アオコが異常発生時した時期には，緑のペンキを流したような状態が湖全体で観測されていた。8 月 5 日の場合，かつてのようなアオコの異常発生でなく，SS，Chl-*a*，IL の観測値が高い測点は，風によりアオコが集積した所と考えられる。

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

August 5, 2015							
	SS(mg/L)	Chl- <i>a</i> (μ g/L)	IL(mg/L)	Trans.(cm)	Depth(m)	W.T.0m10:00(°C)	
Max	69.5	310.8	62.6	110	6.06	30.2	
Min	9.8	39.6	8.5	83	1.03	28.4	
Mean	14.9	66.0	14.0	95.9	3.97	29.3	
S.D.	9.9	45.6	9.2	6.3	1.42	0.4	
N	60	60	60	59	60	60	

	DO0m(mg/L)	DO1m(mg/L)	DO2m(mg/L)	DO3m(mg/L)	DO4m(mg/L)	DO5m(mg/L)	DO6m(mg/L)
Max	12.11	12.37	10.45	8.30	6.33	0.21	
Min	3.64	0.19	0.08	0.18	0.11	0.06	
Mean	10.14	10.27	7.53	3.03	0.78	0.12	0.09
S.D.	1.41	2.13	2.95	2.43	1.30	0.04	
N	60	59	54	43	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	31.2	30.0	28.4	27.5	26.0	23.7	
Min	27.6	27.7	25.5	24.0	23.3	22.5	
Mean	29.3	28.4	27.6	26.0	24.4	23.0	22.3
S.D.	0.8	0.4	0.6	1.0	0.8	0.3	
N	60	59	54	43	31	17	1

8月5日の水深1m毎水温(W.T.0m~W.T.5m)平均(W.T.0m 29.3℃, W.T.1m 28.4℃, W.T.2m 27.6℃, W.T.3m 26.0℃, W.T.4m 24.4℃, W.T.5m 23.0℃)(表2)を, W.T.1m~W.T.5mの測定を開始した2005年以降の8月11観測日の水深1m毎水温平均(W.T.0m 27.2℃, W.T.1m 26.3℃, W.T.2m 25.6℃, W.T.3m 24.6℃, W.T.4m 23.3℃, W.T.5m 21.6℃)と比較すると, 8月5日のW.T.0m~W.T.5mは, いずれも11観測日平均よりも高い。

11観測日平均との水温差は, 水深2mまでは2.0~2.1℃高く, 水深3m以深では1.1~1.4℃高い。2015年8月5日の諏訪湖は, 表層から低層まで全体として例年同時期の平均よりも高温であり, 水深2mまでの浅い層と水深3m以深の低層の水温差が大きいため, 水温成層が顕著であったと推察される。

(4) 表層水質データの水平分布

8月5日の表層水質4要素(SS, Chl-*a*, Trans., W.T.0m at 10:00)の分布図を図5に示す。SS, Chl-*a*は, 諏訪湖東部で高く, 特にT04, T11の値が極めて高く, 次いでT08, T19の値が高い。中部~西部は東部よりも低い。

Trans.は北部から中部で高く, 西部, 特に北西部で低い。

W.T.0m at 10:00は, 諏訪湖北東部で高く, 南西部で低い。

(5) 表層水質データの相関関係

8月5日の表層水質要素間の相関係数を表3に示す。T04周辺には水草帯が広がり, T04はヒシが繁茂していたため, Trans.の測定は不能であった。また, T04, T11のSS, Chl-*a*, ILは, 平均

+3 σ を超える異常値であるため, これら2測点を除外したN=58の相関係数を算出した。

SS, Chl-*a*, ILの3要素は, 相互に強い正相関(相関係数はいずれも0.9以上)であり, SS, Chl-*a*, ILが同じ分布傾向であることを示唆する。

前述のように, SS, Chl-*a*, ILは, T04, T11の値が極めて高く, 次いでT08, T19の値も高いため, さらにこれら2測点の観測値を除いた相関係数(N=56)も算出し比較した。SS, Chl-*a*, ILの3要素間の相関係数(N=56)はいずれも0.9以上であり, 有意水準0.001で相互に有意な正相関であった。

時間経過に伴う補正を行ったW.T.0m at 10:00は, 補正前のW.T.0mと有意水準0.001で有意な正相関であり, 過剰な補正ではないと考えられる。

(6) 表層水質データの主成分分析

8月5日における, 4種類の表層水質要素(SS, Chl-*a*, Trans., W.T.0m at 10:00)の分布(図5)を, 主成分分析により解析した。柳町ほか(2004, 2005, 2006), 柳町ほか(2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015)と同様に, 主成分分析は水質要素の相関行列を用いている。

前述のようにT04, T11のSS, Chl-*a*は, 平均+3 σ を超える異常値であるため除外し58測点を用いた分析と, 次いでT08, T19の値も高いため, さらにこの2測点も除外した56測点を用いた分析も行い比較した。

第3成分までの固有値と寄与率を表4に, 主成分得点を表5に示す。N=56の固有値, 寄与率, 第3成分までの主成分負荷量は, N=58のものと極めて近接した値を示した。そこで以下ではN=58の結果について述べる。

表3 水質要素間の相関係数
Table 3. Correlation coefficients between the water quality elements

August 5, 2015													
	SS	<i>p</i>	Chl- <i>a</i>	<i>p</i>	IL	<i>p</i>	Trans	<i>p</i>	DO 0m	<i>p</i>	W.T.0m	<i>p</i>	
SS	1.000												
Chl- <i>a</i>	0.947	0.000 **	1.000										
IL	0.997	0.000 **	0.938	0.000 **	1.000								
Trans	-0.004	0.974	0.008	0.955	-0.029	0.830	1.000						
DO 0m	-0.256	0.053	-0.248	0.060	-0.226	0.088	-0.042	0.752	1.000				
W.T.0m	0.041	0.758	0.042	0.756	0.017	0.897	0.186	0.163	0.305	0.020 *	1.000		
W.T.0m10:00	0.122	0.360	0.174	0.191	0.104	0.438	0.215	0.105	-0.140	0.295	0.531	0.000 **	

** : significant at 0.01 significant level.

* : significant at 0.05 significant level.

T04 and T11 are excluded from the calculations.

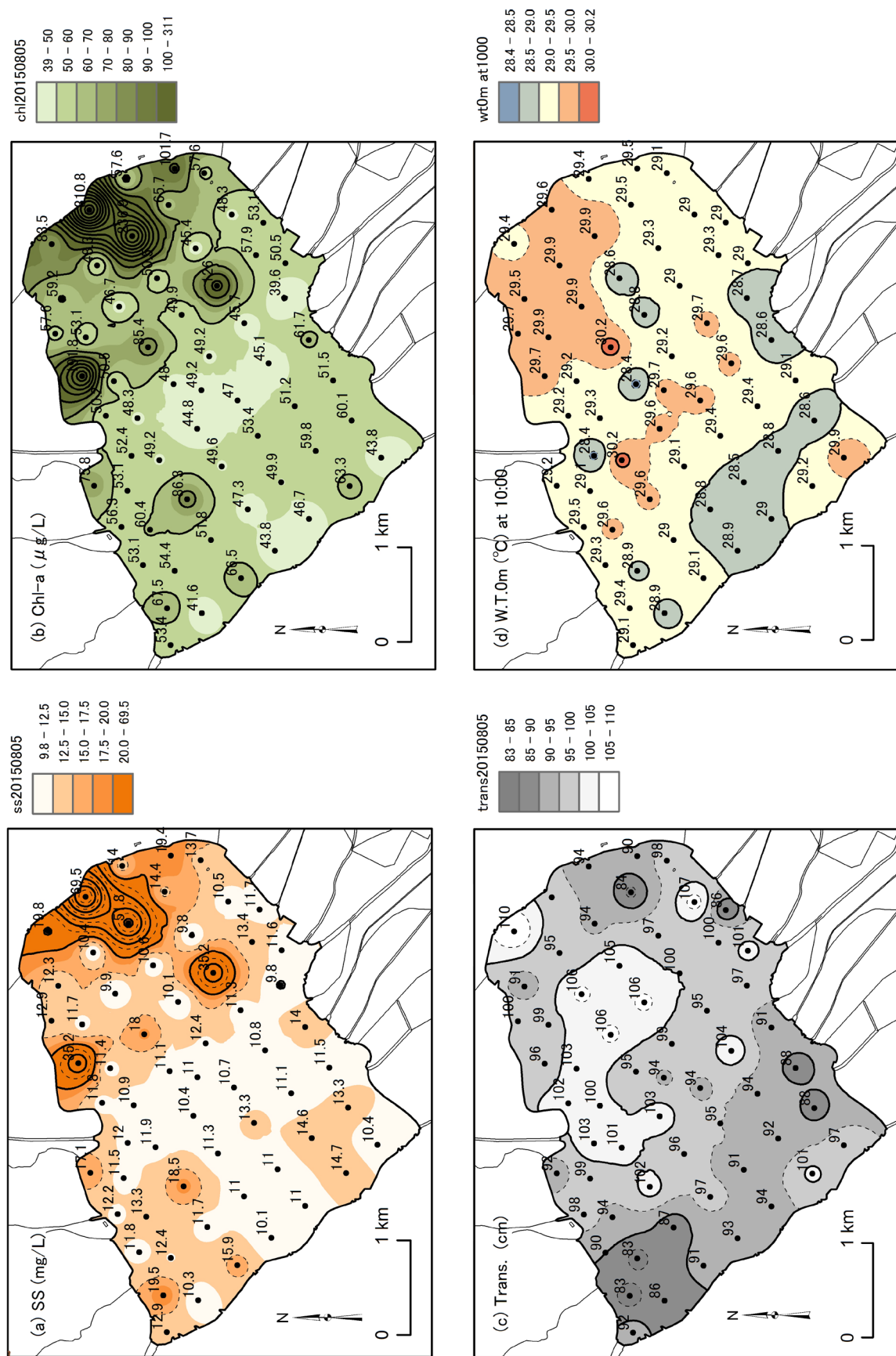


図5 水質分布図 (2015年8月5日) (a)懸濁物質量, (b)クロロフィル a 濃度, (c)透明度, (d)表層水温補正值

Fig. 5. Water quality maps of Lake Suwa on August 5, 2015. (a)SS, (b) Chl- a , (c)Trans., (d)W.T.0m at10:00

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 5, 2015 N=58			
	Eigenvalue	Proportion	Cumulative proportion
Component 1	1.993	49.8%	49.8%
Component 2	1.188	29.7%	79.5%
Component 3	0.767	19.2%	98.7%

T04 and T11 are excluded from the caluculations.

August 5, 2015 N=56			
	Eigenvalue	Proportion	Cumulative proportion
Component 1	1.991	49.8%	49.8%
Component 2	1.218	30.4%	80.2%
Component 3	0.727	18.2%	98.4%

T04, T08, T11 and T19 are excluded from the caluculations.

N=58 の第 1 成分の固有値は 1.993, 寄与率は 49.8%である。第 2 成分の固有値は 1.188, 寄与率は 29.7%である。第 1 成分と第 2 成分により全変動の 79.5%が説明される。

N=58 の SS, Chl-*a* の第 1 成分の主成分負荷量は, それぞれ 0.969, 0.978 であり, いずれも第 2 成分以下の主成分負荷量よりも絶対値が大きく, これらの 2 要素の変動は, 主に第 1 成分により説明される。

Trans., W.T.0m at 10:00 の第 1 成分主成分負荷量の絶対値は, 第 2 成分, 第 3 成分よりも小さく, 第 1 成分が説明する変動は, 第 2 成分, 第 3 成分よりも小さい。

従って, 第 1 成分は, SS と Chl-*a* の変動を説明するパターンである。すなわち, 「SS が高い所は, Chl-*a* も高い», 「SS が低い所は, Chl-*a* も低い」いう変動を説明する。

第 2 成分は, Trans., W.T.0m at 10:00 の変動を説明するパターンである。Trans., W.T.0m at 10:00 の変動は, 第 3 成分よりも第 2 成分の主成分負荷量の絶対値の方が大きいため, Trans., W.T.0m at 10:00 の変動は, 第 2 成分によって説明される割合が最も大きい。

(7) 水質分布の特徴

4 要素を対象とする第 1 成分, 第 2 成分の主成分得点分布図 (N=58 と N=56) を図 6 に, 主成分得点に基づく地域区分の特徴を表 6 に示す。

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

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 5, 2015 N=58				
	Component 1	Component 2	Component 3	
SS	0.969 **	-0.160	0.098	
Chl- <i>a</i>	0.978 **	-0.119	0.061	
Trans	0.069	0.806 **	0.588 **	
W.T.0m at 10:00	0.306 *	0.706 **	-0.639 **	

August 5, 2015 N=56				
	Component 1	Component 2	Component 3	
SS	0.971 **	-0.116	0.104	
Chl- <i>a</i>	0.973 **	-0.057	0.131	
Trans	-0.068	0.821 **	0.567 **	
W.T.0m at 10:00	0.309 *	0.726 **	-0.614 **	

**: significant at 0.01 significant level.

*: significant at 0.05 significant level.

ことができる。

主成分得点の符号を考慮した測点のグループ分けは, 2008~2014 年と同様の方法で行った (柳町ほか, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015)。すなわち, 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 (第 1 成分の特徴をあまり反映しない) を区別した。さらに, 第 1 成分の特徴を反映する地域は, 第 1 成分の主成分得点が正 (+, 0.5~) と, 負 (▲, ~-0.5) に分けた。漸移帯は, 第 1 成分の主成分得点がゼロ付近 (●, -0.5~0.5) である。分布図では, 主成分得点の絶対値が 2.0 を超える場合は, 大きな記号で区別した。

8 月 5 日の第 1 成分主成分得点分布図 (図 6 (a)N=58, (c)N=56) において, + は「SS, Chl-*a* が高い」地域, ▲ は「SS, Chl-*a* が低い」地域を示す。(a) は T08 と T11 を含み, これらの 2 測点での値が特に高い。T08 と T11 を除外した(c)では, 残りの測点中で相対的に SS, Chl-*a* が高い測点で主成分得点が上昇している。

図 6 (a), (c)では, 湖の東岸近くに「SS, Chl-*a* が高い」地域があるほか, パッチ上に「SS, Chl-*a* が高い」測点が散在する。逆に, 「SS, Chl-*a* が低い」地域は, 湖の西岸近く, T19 の周り, 湖中央部に散在する。

また, 「SS, Chl-*a* が高い」地域は広範囲に分布せず, 特定の測点での特徴を示す。「SS, Chl-*a* が低い」を示す地域は, (a)よりも(c)で拡大するが, (a), (c)とも主成分得点の絶対値が 2 を超える測点はなく, この特徴を示す範囲も限定的であ

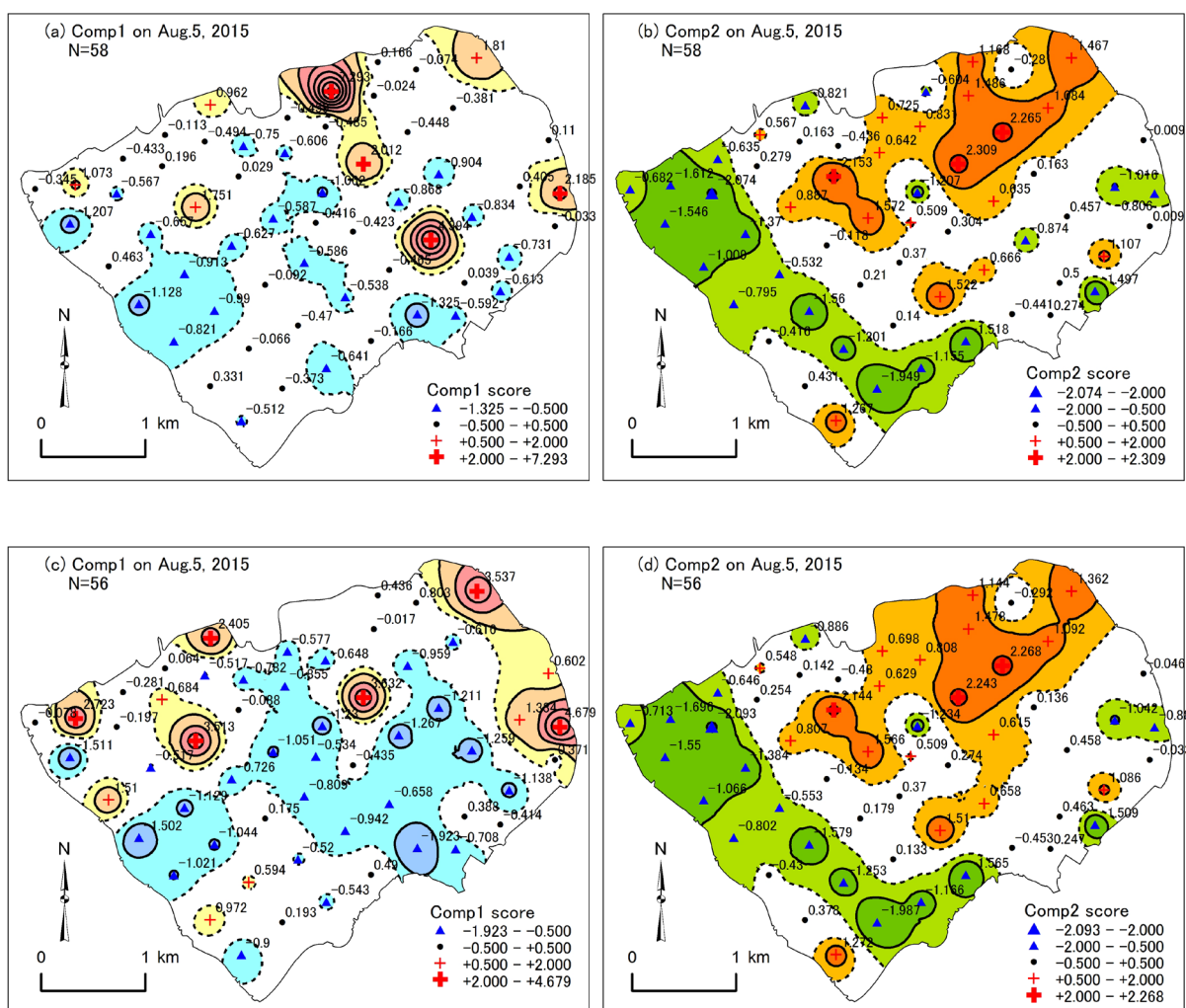


図6 4要素の主成分分析による主成分得点分布図，2015年8月5日
 (a) 第1主成分(N=58) (b) 第2主成分(N=58) (c) 第1主成分(N=56) (d) 第2主成分(N=56)
 Fig. 6. Distribution maps of the component scores of 4 elements PCA on August 5, 2015
 (a) Component1(N=58) (b) Component2(N=58) (c) Component1(N=56) (d) Component2(N=56)

表6 主成分得点に基づく地域区分の特徴，2015年8月5日
 Table 6. Characteristics of the regional divisions
 based on the component scores on August 5, 2015

(a) Component1						
✕ (Fig. 6(a), (c))				▲ (Fig. 6(a), (c))		
SS	Chl- <i>a</i>	Trans.	W.T.0m at10:00	SS	Chl- <i>a</i>	Trans. W.T.0m at10:00
+	+			-	-	

(b) Component2						
✕ (Fig. 6(b), (d))				▲ (Fig. 6(b), (d))		
SS	Chl- <i>a</i>	Trans.	W.T.0m at10:00	SS	Chl- <i>a</i>	Trans. W.T.0m at10:00
		+	+			- -

Plus(+) and minus(-) indicate bigger value and smaller value respectively.

る。第1成分は特定の測点の傾向を説明するパターンと言える。ただし、図6(a), (c)には、異常値として除外した T04, T11 が含まれていない。これら2測点も考慮すると、湖東部には SS, Chl-*a* が異常に高い地域が図6(a), (c)よりも広く分布していたと言えよう。

8月5日の第2成分主成分得点分布図(図6(b)N=58, (d)N=56)は類似した分布を示す。+の地域「Trans.が高く W.T.0m at 10:00 が高い」は、湖北東部から北部に分布し、▲の地域「Trans.が低く W.T.0m at 10:00 が低い」は、湖北西部から南西部に分布する。

(8) 水温(W.T.)とDOの垂直分布

60測点の水深1m間隔水温(W.T.0m, W.T.1m, W.T.2m, ..., 湖底直上)と、DO(DO0m, DO1m, DO2m, ..., 湖底直上)を、付表1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。直上の水深は測点の水

深より約10cm上方である。60測点における水温とDOの垂直分布を図7に示す。

2005~2010年の諏訪湖の8月の水温観測では、夏季の明瞭な水温躍層が観測されていたが、2011~2014年8月の観測では水温の垂直分布に明瞭な水温躍層が見られなかった(柳町ほか, 2012, 2013, 2014, 2015)。

8月5日の水温は、水深2mまで水温低下がわずかで、水深2m以深で急激に水温が低下する測点が多い。前述のように、1m毎の水深における水温平均値から水温成層の出現が推測されたが、個々の測点の垂直分布からも明瞭な水温躍層の出現が確認された。水温躍層の水深は測点により異なるが、水深2m~4mに出現する測点が多い(図7(a))。

8月5日のDOの垂直分布は、表層から水深1mまたは2mまでDO値があまり変化せず、水深1mまたは2mから急激に低下し、湖底直上付近で0に近い値を示す測点が多い(図7(b))。

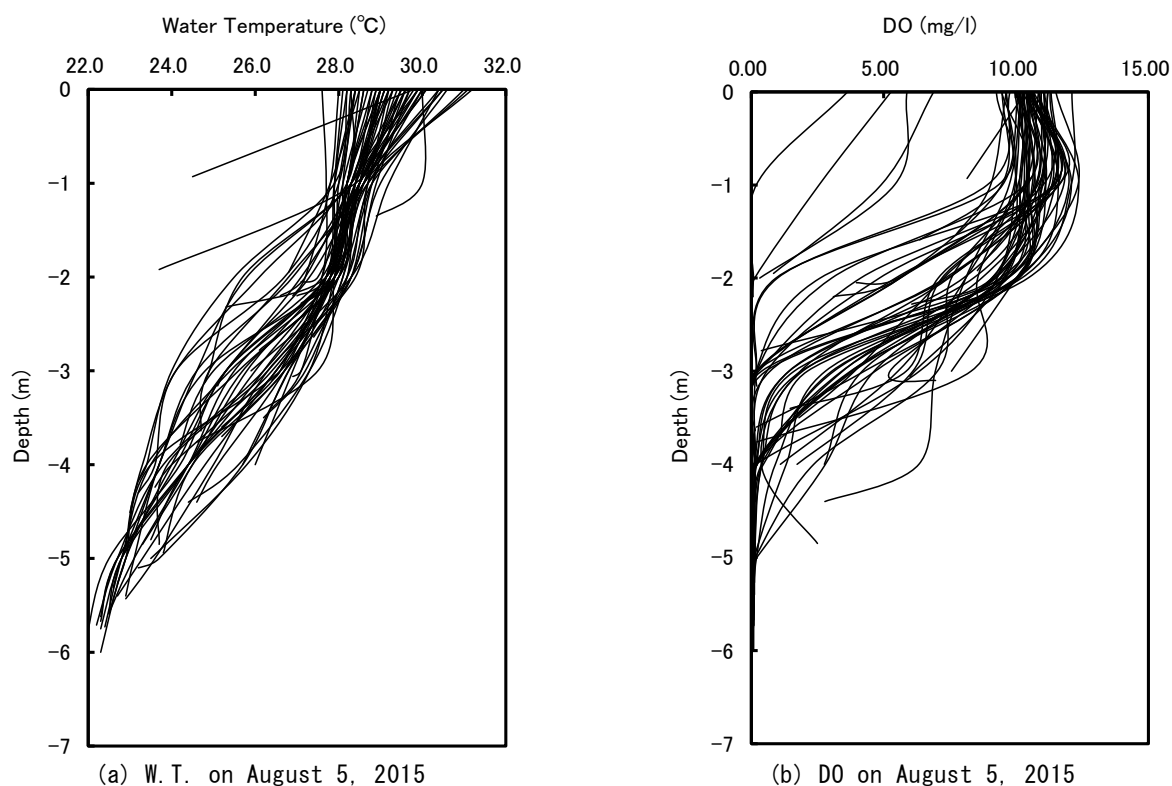


図7 測地点毎の水温とDOの垂直分布

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

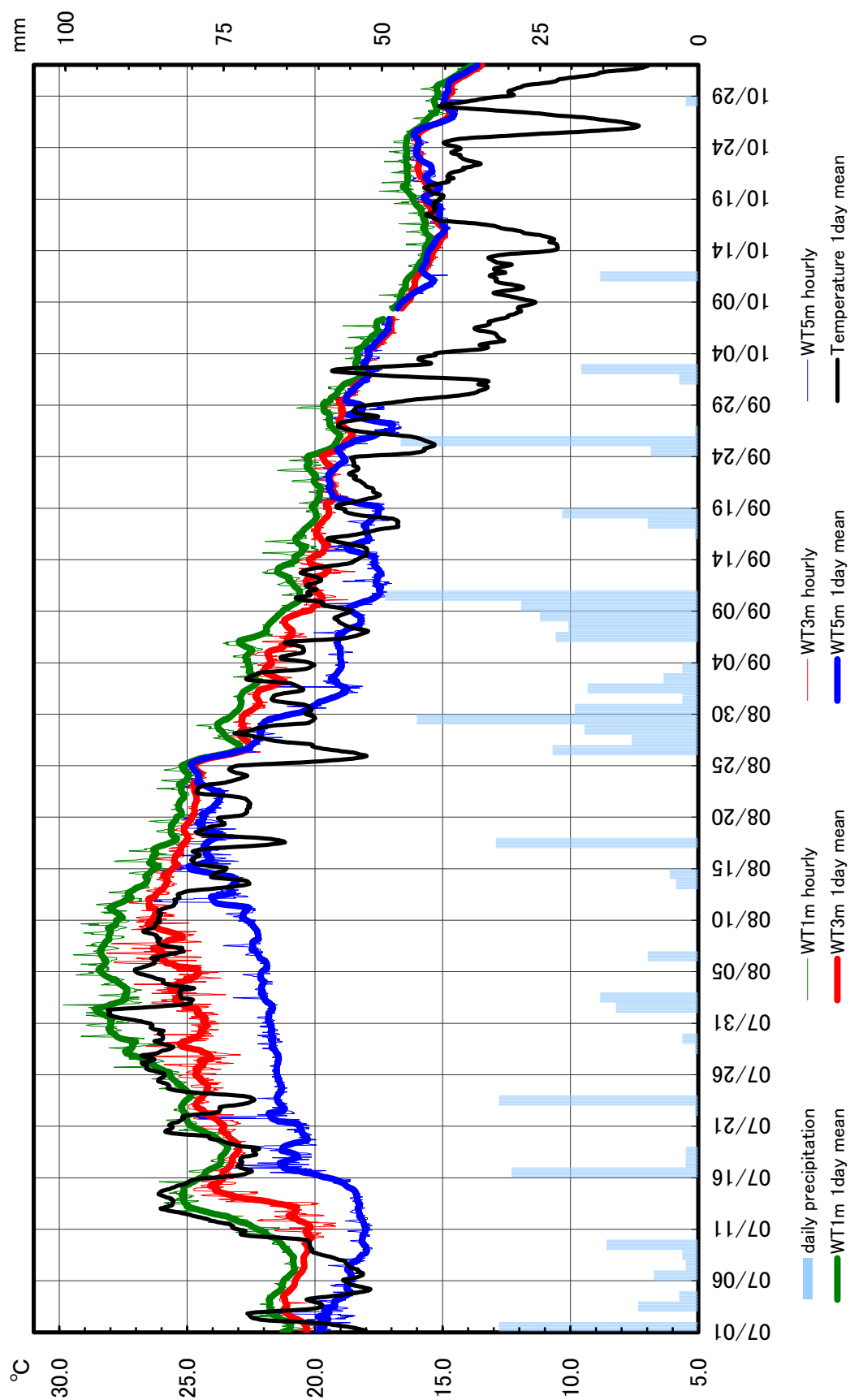


図 8 2015 年夏季の湖心 (C15) における水深 1m, 水深 3m, 水深 5m の水温変化と諏訪における日降水量, 日平均気温の変化

Fig.8. Variations in water temperatures at depths of 1m, 3m and 5m at the center of Lake Suwa (C15) and variations in daily precipitation and daily mean temperature at Suwa observation station in the summer of 2015

(9) 2015 年夏季の水温変化

2015 年夏季の諏訪湖湖心（C15）における水深 1m, 3m, 5m の水温変化（1 時間間隔、太線は 24 時間移動平均）、諏訪（特別地域気象観測所）における日平均気温（毎時気温の 24 時間移動平均）と日降水量を図 8 に示す。

2015 年の 24 時間移動平均（図 8, 1day mean）からみた水深 1m の水温ピークは、8 月 1 日（28.6℃）、水深 3m のピークは 8 月 9 日（26.5℃）、水深 5m のピークは 8 月 15 日（24.9℃）に出現した。

2015 年夏季の諏訪湖の水深 1m と水深 3m の水温（24 時間移動平均）には、7 月 11～14 日、7 月 27 日～8 月 8 日までほぼ 2℃以上の差が観測されたが、それ以外の期間は水温差約 0.5℃の日が多かった。

水深 3m と水深 5m の水温差は、7 月 4 日～8 月 14 日までほぼ 2℃以上で推移した。7 月初旬から 8 月半ばまで、水温成層が形成されていたと考えられる。水質観測を実施した 8 月 5 日もこの期間に含まれる。

8 月半ば以降、水深 1m, 3m 水温は近接した状態で変動しながら徐々に低下した。台風 15 号が九州を縦断した 25 日には、水深 1m, 3m, 5m 水温がほぼ同じ値となった。台風による強風で湖水が攪拌されたと推測される。

9 月上旬から中旬は、水深 1m, 3m 水温と水深 5m 水温との差が見られたが、下旬には差が小さくなった。9 月 29 日以降、水深 1m, 3m 水温と水深 5m 水温がほぼ同じとなり、秋の循環期に入ったと考えられる。

諏訪（特別地域気象観測所）における 2015 年夏季の気温は、7 月中旬から 8 月上旬は、平年値よりも高く、降水量は平年より少なかった。水質観測日の 8 月 5 日頃は、諏訪湖ではアオコが発生しやすい気象状況であったと考えられる。

4. まとめ

2015 年 8 月 5 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。

2015 年 8 月 5 日の諏訪湖は、例年同時期の平均よりも混濁しており、表層から低層まで全体として例年同時期の平均より高温であった。

2015 年 8 月 5 日の諏訪湖における表層 4 水質要素（SS, Chl-*a*, Trans., W.T.0m at 10:00）を主

成分分析し、第 1 成分、第 2 成分を主要な水質分布パターンとして抽出した。

第 1 成分は、SS, Chl-*a* の変動を説明するパターンである。第 2 成分は、Trans., W.T.0m at 10:00 の変動を説明するパターンである。

8 月 5 日の水温の垂直分布には、明瞭な水温躍層が出現した。

湖心における水深 1m の水温ピークは、8 月 1 日（28.6℃）、水深 3m のピークは 8 月 9 日（26.5℃）、水深 5m のピークは 8 月 15 日（24.9℃）に出現した。

2015 年夏季の諏訪湖湖心における水深 1m, 3m, 5m の水温の推移から、7 月中旬から 8 月上旬には水温成層が安定的に形成されていたと推察される。

9 月 29 日以降、水深 1m, 3m, 5m の水温がほぼ同じとなり、秋の循環期に入ったと考えられる。

謝辞

本研究の水質調査・分析には、信州大学山岳科学研究所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

1) 補正值 2（w.t.0m at 10:00）算出用の回帰分析結果を以下に示す。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った。回帰係数 18.0585 を 24 で除算した 1 時間当たりの気温上昇は、0.7524℃となる。

R	0.8470
R ²	0.7174
Adjusted R ²	0.7125

Analysis of Variance

	Sum of Sq.	DF	Mean Sq.	F value	P value
Regression	27.8091	1	27.8091	147.2416	0.0000
Residual	10.9543	58	0.1889		
Total	38.7633	59			

Coefficients

	Reg. Coeff.	Std. Error	t value	P value
Const.	21.7348	0.6273	34.6459	0.0000
Time	18.0585	1.4882	12.1343	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.
- 宮原裕一 (2013) : 諏訪湖定期調査 (2007～2011) の結果. 信州大学山地水環境教育研究センター研究報告, 9, 1-214.
- 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.
- 柳町晴美・花里孝幸・宮原裕一・山本雅道 (2009) : 2008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, 31, 11-29.
- 柳町晴美・花里孝幸・宮原裕一・山本雅道 (2010) : 2009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, 32, 17-35.
- 柳町晴美・花里孝幸・宮原裕一・山本雅道 (2011) : 2010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, 33, 46-63.
- 柳町晴美・花里孝幸・宮原裕一・山本雅道 (2012) : 2011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, 34, 25-43.
- 柳町晴美・花里孝幸・宮原裕一・山本雅道 (2013) : 2012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, 35, 46-64.
- 柳町晴美・花里孝幸・宮原裕一・山本雅道 (2014) : 2013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, 36, 54-73.
- 柳町晴美・花里孝幸・宮原裕一・山本雅道 (2015) : 2014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, 37, 53-66.

(原稿受付 2016. 3. 15)

附表1 諏訪湖の水質データ（2015年8月5日）

Appendix table 1. Observed water quality data in Lake Suwa on August 5, 2015

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	8:32	138	05	07.2 E	36	03	29.8 N	5.04	11.4	50.5	103	11.1
C02	8:42	138	04	52.5 E	36	03	32.2 N	3.70	11.8	50.2	102	11.3
C03	8:49	138	04	51.9 E	36	03	21.3 N	4.89	10.9	48.3	100	10.4
C04	8:56	138	04	35.9 E	36	03	23.0 N	3.19	12.0	52.4	103	11.4
C05	9:06	138	04	21.0 E	36	03	24.0 N	4.29	11.5	53.1	99	11.1
C06	9:15	138	04	22.8 E	36	03	35.5 N	2.42	17.1	75.8	92	16.2
C07	9:23	138	04	05.7 E	36	03	25.7 N	2.09	12.2	56.3	98	11.7
C08	9:30	138	04	04.9 E	36	03	15.9 N	4.34	13.3	60.4	94	12.7
C09	9:40	138	04	18.3 E	36	03	03.4 N	5.37	18.5	86.3	102	18.0
C10	9:50	138	04	32.6 E	36	02	51.9 N	5.83	11.3	49.6	96	10.5
C11	9:59	138	04	45.9 E	36	02	39.8 N	6.06	13.3	53.4	95	12.9
C12	10:07	138	04	59.0 E	36	02	27.4 N	5.85	11.1	51.2	94	10.9
C13	10:18	138	05	16.8 E	36	02	36.8 N	5.68	10.8	45.1	104	10.1
C14	10:27	138	05	00.7 E	36	02	47.1 N	5.85	10.7	47.0	94	10.2
C15	10:57	138	05	04.6 E	36	02	59.7 N	5.77	11.0	49.2	94	10.4
C16	11:09	138	04	48.2 E	36	03	00.7 N	5.81	10.4	44.8	103	9.6
C17	11:20	138	04	34.4 E	36	03	13.4 N	4.97	11.9	49.2	101	10.8
C18	11:33	138	05	06.8 E	36	03	09.3 N	5.69	11.1	48.0	95	10.1
C19	11:44	138	05	19.0 E	36	02	57.3 N	5.72	12.4	49.2	99	11.6
C20	11:54	138	05	33.4 E	36	02	45.6 N	4.95	11.3	45.7	95	10.8
K01	8:38	138	04	38.3 E	36	01	57.2 N	3.22	10.4	43.8	97	9.6
K02	8:50	138	04	25.9 E	36	02	07.7 N	4.27	14.7	63.3	101	13.7
K03	9:02	138	04	11.5 E	36	02	21.4 N	4.61	11.0	46.7	94	10.5
K04	9:07	138	03	57.6 E	36	02	32.7 N	4.40	10.1	43.8	93	9.8
K05	9:15	138	03	45.6 E	36	02	44.1 N	3.89	15.9	66.5	91	15.4
K06	9:23	138	03	30.3 E	36	02	57.2 N	2.88	10.3	41.6	86	9.9
K07	9:31	138	03	16.4 E	36	03	07.6 N	1.63	12.9	53.4	92	11.9
K08	9:40	138	03	31.9 E	36	03	09.2 N	2.64	19.5	67.5	83	18.8
K09	9:47	138	03	49.8 E	36	03	17.9 N	3.16	11.8	53.1	90	11.1
K10	9:55	138	03	47.8 E	36	03	07.0 N	3.86	12.4	54.4	83	11.5
K11	10:03	138	04	01.3 E	36	02	54.8 N	4.95	11.7	51.8	87	11.2
K12	10:11	138	04	14.8 E	36	02	42.5 N	5.50	11.0	47.3	97	10.6
K13	10:20	138	04	26.7 E	36	02	31.3 N	5.69	11.0	49.9	91	10.6
K14	10:26	138	04	40.3 E	36	02	19.8 N	5.41	14.6	59.8	92	14.0
K15	10:35	138	04	53.6 E	36	02	07.7 N	1.69	13.3	60.1	88	12.3
K16	10:43	138	05	10.3 E	36	02	14.5 N	3.26	11.5	51.5	88	10.9
K17	10:53	138	05	27.1 E	36	02	23.3 N	3.74	14.0	61.7	91	13.5
K18	11:01	138	05	44.6 E	36	02	32.1 N	2.02	9.8	39.6	97	9.8
K19	11:06	138	05	59.3 E	36	02	32.1 N	1.03	11.6	50.5	101	10.8
K20	11:20	138	06	16.2 E	36	02	40.1 N	1.45	11.7	53.1	86	10.7
T01	8:30	138	06	36.4 E	36	03	00.9 N	2.37	13.7	57.6	98	12.8
T02	8:44	138	06	37.9 E	36	03	11.1 N	2.04	19.4	101.7	90	18.1
T03	8:57	138	06	33.0 E	36	03	27.7 N	2.16	14.0	57.6	94	12.9
T04	9:12	138	06	19.4 E	36	03	40.0 N	2.30	69.5	310.8	no data	62.6
T05	9:30	138	06	04.5 E	36	03	52.6 N	2.31	19.8	83.5	110	17.4
T06	9:40	138	05	41.4 E	36	03	48.5 N	3.57	12.3	59.2	91	11.8
T07	9:50	138	05	26.6 E	36	03	50.4 N	2.74	12.9	57.6	100	11.5
T08	9:58	138	05	09.0 E	36	03	40.8 N	3.83	35.2	191.8	96	33.0
T09	10:05	138	05	25.4 E	36	03	39.9 N	4.50	11.7	53.1	99	10.4
T10	10:13	138	05	56.0 E	36	03	36.8 N	4.10	10.4	48.3	95	9.3
T11	10:19	138	06	08.8 E	36	03	25.0 N	3.51	51.8	236.9	94	50.2
T12	10:30	138	06	22.5 E	36	03	12.9 N	2.19	14.4	65.7	84	12.9
T13	10:37	138	06	19.2 E	36	02	51.0 N	2.38	10.5	48.3	107	9.5
T14	10:44	138	06	04.5 E	36	03	03.1 N	4.12	9.8	45.4	97	8.5
T15	10:50	138	05	51.3 E	36	03	16.1 N	5.13	10.6	50.5	105	9.3
T16	10:56	138	05	38.8 E	36	03	28.8 N	5.25	9.9	46.7	106	9.1
T17	11:03	138	05	22.1 E	36	03	18.4 N	5.54	18.0	85.4	106	16.8
T18	11:12	138	05	36.2 E	36	03	07.2 N	5.53	10.1	49.9	106	8.8
T19	11:20	138	05	48.9 E	36	02	55.4 N	4.83	35.2	126.0	100	33.6
T20	11:28	138	06	02.4 E	36	02	42.3 N	3.10	13.4	57.9	100	12.3

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

附表1 諏訪湖の水質データ（2015年8月5日）続き

Appendix table 1. Observed water quality data in Lake Suwa on August 5, 2015
(continued)

Station	W.T.(°C)								DO(mg/L)							
	0m	1m	2m	3m	4m	5m	6m	6m+	0m	1m	2m	3m	4m	5m	6m	6m+
C01	28.1	27.9	27.8	26.7	24.5	23.8			10.14	10.30	9.69	3.86	0.23	0.10		
C02	28.2	27.9	27.8	26.6	25.2				10.10	10.72	10.06	4.27	0.20			
C03	28.4	28.0	27.8	26.5	24.4	23.5			10.06	10.43	10.12	3.75	0.18	0.12		
C04	27.6	27.7	27.6	26.6	26.4				10.37	10.61	9.40	5.24	6.96			
C05	28.4	27.9	27.7	26.2	24.4	24.1			10.24	10.18	9.41	4.19	2.76	3.02		
C06	28.6	28.2	27.7	25.3					9.95	10.42	9.53	7.34				
C07	29.0	28.5	27.9						10.24	10.67	9.28					
C08	29.2	28.3	27.9	26.4	24.0	23.6			10.18	9.97	9.28	6.35	0.17	0.11		
C09	29.3	28.3	28.0	26.6	23.5	22.9	22.7		10.13	11.12	10.01	4.68	0.19	0.13	0.12	
C10	29.0	28.5	27.9	25.4	23.5	22.8	22.4		11.20	10.91	9.62	0.55	0.15	0.11	0.10	
C11	29.4	28.6	27.8	25.3	24.0	22.9	22.3		10.86	11.37	7.32	0.71	0.14	0.10	0.09	
C12	29.5	28.5	27.3	25.3	24.1	22.8	22.3		10.50	11.45	4.84	0.59	0.15	0.11	0.08	
C13	29.8	28.4	27.7	25.5	24.4	23.1	22.5		10.61	10.74	8.01	1.42	0.20	0.12	0.09	
C14	29.9	28.3	27.7	25.3	24.2	22.5	22.0		10.95	10.89	8.39	1.43	0.11	0.06	0.06	
C15	30.4	28.6	27.8	26.5	24.4	22.7	22.3		10.66	11.35	8.70	3.45	0.39	0.12	0.10	
C16	30.5	28.7	27.9	26.2	23.8	22.7	22.2		10.86	11.01	9.18	3.78	0.14	0.10	0.07	
C17	31.2	28.6	28.0	25.6	23.4	22.9			10.66	12.37	10.45	1.88	0.14	0.11		
C18	29.6	28.5	28.0	25.7	24.4	22.8	22.5		12.11	12.08	10.21	1.62	0.39	0.13	0.10	
C19	30.5	28.6	27.8	26.0	24.4	22.7	22.3		11.32	11.49	9.40	1.94	0.41	0.12	0.09	
C20	31.1	28.7	27.7	25.8	24.5	23.3			11.07	11.37	7.46	1.85	0.38	2.50		
K01	28.9	28.3	25.7	24.9	24.8				9.26	9.33	0.93	0.18	0.12			
K02	28.3	27.9	25.5	24.0	23.4	23.2			9.77	8.91	0.99	0.18	0.14	0.12		
K03	28.3	28.2	26.1	24.1	23.3	23.0			10.14	10.34	3.04	0.21	0.14	0.13		
K04	28.2	28.0	26.7	24.1	23.6	23.2			10.53	10.42	5.62	0.21	0.15	0.13		
K05	28.5	28.2	27.6	25.0	24.2				10.40	10.77	7.42	0.19	0.15			
K06	28.4	28.1	28.0	26.1					10.44	10.45	9.49	0.38				
K07	28.7	28.1	27.9						9.63	9.04	7.74					
K08	29.1	28.4	28.2	27.4					10.29	10.49	10.04	4.32				
K09	29.1	28.4	28.1	27.1	26.9				10.29	10.37	9.60	6.17	5.99			
K10	28.8	28.2	27.9	27.5	24.6				10.59	10.07	8.55	8.30	0.21			
K11	29.0	28.2	27.9	26.3	23.9	23.7			10.44	11.11	9.23	3.42	0.18	0.13		
K12	28.9	28.2	27.9	24.8	23.7	23.1	22.9		11.07	10.97	9.66	0.39	0.16	0.12	0.12	
K13	28.8	28.3	26.9	24.6	23.7	22.9	22.5		11.29	11.02	5.63	0.20	0.15	0.12	0.11	
K14	29.1	28.3	25.8	24.6	23.7	22.8	22.6		10.55	11.57	2.60	0.18	0.11	0.09	0.09	
K15	29.0	28.4	27.7						10.09	9.49	6.36					
K16	29.6	28.5	27.1	25.3	25.1				10.55	11.41	4.13	0.28	0.21			
K17	29.3	28.6	26.8	24.9	24.7				10.61	11.63	5.45	0.19	0.15			
K18	29.5	28.4	23.7						10.95	10.75	8.54					
K19	29.8	24.5							10.37	8.15						
K20	30.0	30.0	28.9						9.63	10.02	10.02					
T01	28.0	27.8	27.2	26.9					9.48	9.45	5.60	3.10				
T02	28.5	27.8	26.8						6.89	4.90	0.84					
T03	28.6	28.2	27.6						5.88	5.41	0.32					
T04	29.0	28.2	27.7	27.0					3.64	0.19	0.08	0.06				
T05	29.0	28.3	27.2	26.6					5.28	2.56	0.13	0.06				
T06	29.2	28.7	28.1	27.2	26.2				11.20	10.82	7.26	3.90	1.80			
T07	29.6	28.8	28.3	27.4					10.83	11.80	9.14	5.51				
T08	29.7	28.9	28.3	26.7	25.2				10.45	11.60	10.06	2.12	1.09			
T09	30.0	28.6	27.7	26.7	25.1	24.6			10.53	11.99	9.70	3.12	0.46	0.16		
T10	30.1	28.5	27.8	26.9	26.0				10.62	11.57	7.20	6.10	1.73			
T11	30.1	28.5	27.7	27.1	26.4				10.38	11.40	7.06	5.85	1.47			
T12	29.9	28.6	27.5	27.1					9.45	10.32	5.54	3.97				
T13	29.5	28.4	27.9	27.1					10.54	10.37	9.09	6.06				
T14	29.9	28.5	27.9	26.8	25.7				9.61	9.93	8.10	5.54	1.10			
T15	29.2	28.5	27.9	27.3	25.8	23.5			10.85	10.32	7.56	7.03	2.36	0.14		
T16	30.6	29.0	28.3	26.8	25.7	23.7	23.2		11.04	11.25	9.08	4.64	2.80	0.21	0.09	
T17	31.0	28.8	28.2	26.5	24.8	23.3	22.7		10.23	12.09	10.00	2.80	1.32	0.12	0.07	
T18	29.7	28.7	28.4	26.3	25.0	23.6	22.9		10.50	10.12	10.00	3.04	0.91	0.20	0.09	
T19	30.0	28.8	28.2	27.3	25.6	24.4			10.19	9.74	8.10	6.95	6.33	2.78		
T20	30.4	29.2	28.3	25.9					11.50	12.34	10.01	7.56				

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.