

## 2006 年夏季における諏訪湖の水平・垂直水質分布

柳町晴美<sup>1</sup>, 花里孝幸<sup>1</sup>, 宮原裕一<sup>1</sup>, 山本雅道<sup>1</sup><sup>1</sup> 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 2006

H. Yanagimachi<sup>1</sup>, T. Hanazato<sup>1</sup>, Y. Miyabara<sup>1</sup> & M. Yamamoto<sup>1</sup><sup>1</sup>Institute of Mountain Science, Shinshu University

2006 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。8 月 4 日の第 1 成分は、2002～2005 年に 6 観測日において抽出されたものと同様である。「SS, Chl-*a* が大きい所では, Trans. が小さく, W.T.0m は大きい」「SS, Chl-*a* が小さい所では, Trans. が大きく, W.T.0m は小さい」。9 月 20 日の第 1 成分は、これまでの観測結果とは異なり、Chl-*a* の変動を説明しないパターンである。

8 月前半に水深 3m 以深での低水温が顕著であり、2006 年 7 月豪雨の影響と考えられる。

2002～2006 年 12 日分の表層水温から主成分分析により抽出された特徴的な分布(第 1 グループ)は、湖の東部で高温、西部で低温、中央部では平均的な値となる。この、「東部と西部の差異が大きい」パターンは、表層 4 水質要素による主成分分析により 3 観測日で確認されたものと類似しており、夏季に諏訪湖でしばしば出現している可能性がある。

---

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

2002～2005 年夏季に、諏訪湖の水質(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.)、水温(以下では W.T.))の水平分布を計 10 日分観測し、2005 年には水深 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)を追加して観測を行なっている(柳町ほか 2003, 2004, 2005, 2006)。

諏訪湖での水質変化を継続的に調査する目的で 2006 年夏季にも水平・垂直水質分布の調査を実施し、観測データを多変量解析などにより解析した。

諏訪湖集水域では、2006 年 7 月 17 日から 19 日に豪雨があり、諏訪特別地域気象観測所(アメダス観測所)における 7 月の月降水量は 506.5mm 以上(欠測期間を含む)であり、平年値の 2.5 倍以上となった。このため、諏訪湖への河川からの流入量も平年より非常に多かった。豪雨から約 2 週間後の 8 月 4 日の諏訪湖では豪雨の影響がどの

程度残っているのか、さらに、その後の水温変化についても検討した。

## 2. 方法

2006 年夏季の水質観測は、8 月 4 日、9 月 20 日の 2 回実施した。観測方法は、2002 年 1 回、2003 年 3 回、2004 年 4 回、2005 年 2 回実施したものに準拠し、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)。

観測・分析項目は、2004 年までと同様に表層の SS, Chl-*a*, Trans., W.T.0m, 2005 年と同様に、水深 1m 間隔の水温(W.T.1m, W.T.2m, ...)と DO(DO0m, DO1m, DO2m, ...)、表層 SS の強熱減量(以下では IL)である。湖底直上の水温と DO も観測した。

各測点においては、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

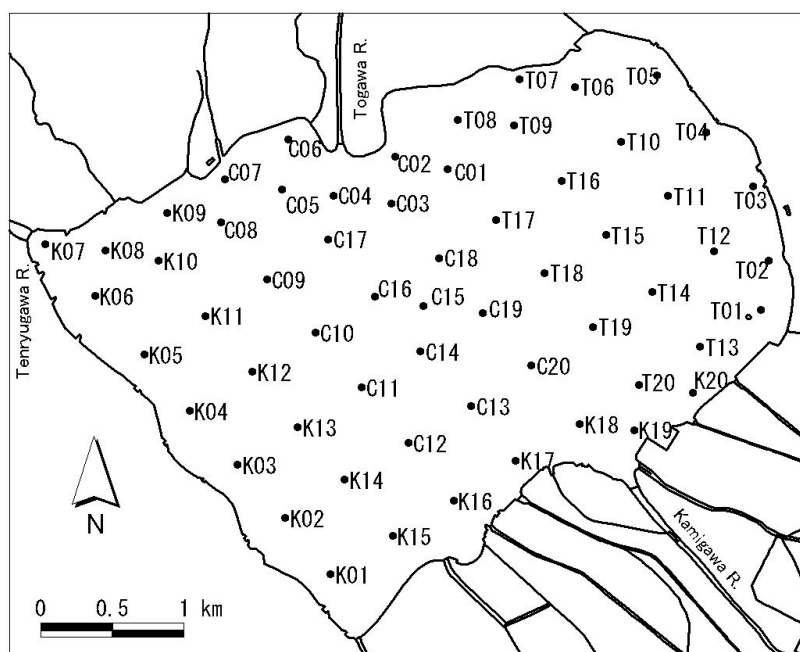


図1 60観測地点と流入・流出河川  
Fig.1. 60 survey points in Lake Suwa, inlets and outlet

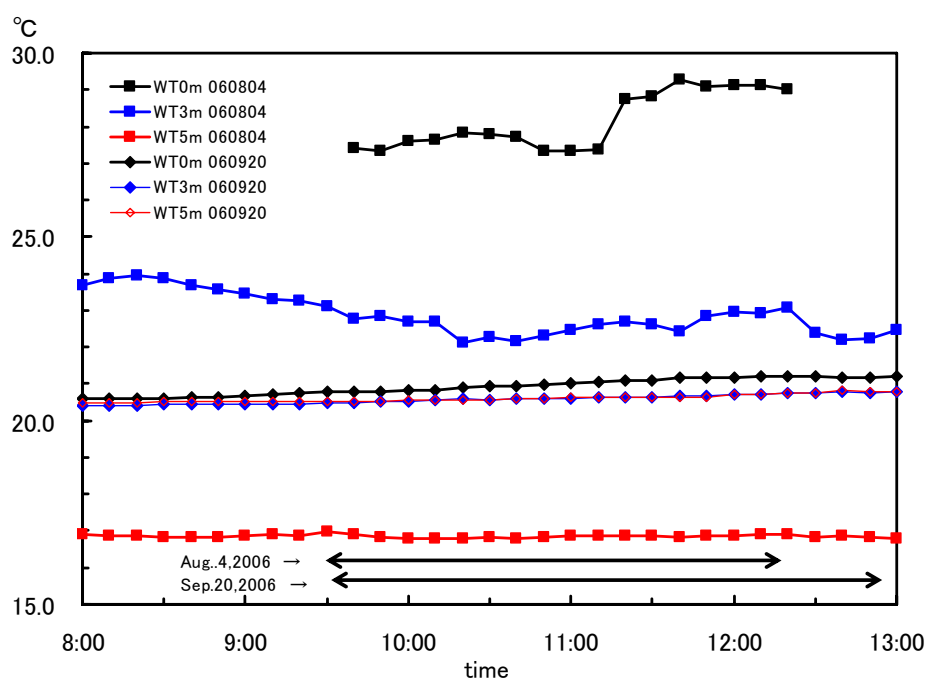


図2 湖心(C15)における表層水温  
Fig.2. Surface water temperatures at the center of Lake Suwa (C15)  
Arrows show the length of observation on August 4, 2006 and on September 20, 2006.

1m 毎に湖底に達するまで測定した。SS, Chl-*a*, DO, 強熱減量の測定方法は、柳町ほか (2003, 2006) と同様である。

観測時間は8月4日 9:30 ~ 12:17, 9月20日 9:32

~ 12:53, 所要時間はそれぞれ, 2 時間 47 分, 3 時間 21 分である。各測点での測定開始時刻は、表 9, 表 10 に記載されている。9月20日のTコース (T01 ~ T20) では、船のトラブルによる約

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 4, 2006			September 20, 2006		
	r	r <sub>s</sub>	N	r	r <sub>s</sub>	N
SS	-0.026	0.002	55	-0.108	-0.083	59
Chl- <i>a</i>	-0.084	0.082	60	0.549 **	0.562 **	59
Trans.	0.075	0.040	57	0.128	0.117	57
IL				-0.157	-0.056	59
DO 0m	0.408 **	0.384 **	60	0.262 *	0.266 *	59
DO 1m	0.371 **	0.425 **	59	0.276 *	0.254	58
DO 2m	0.219	0.274 *	53	0.303 *	0.300 *	53
DO 3m	0.079	-0.071	41	0.444 **	0.407 **	43
DO 4m	0.087	0.076	31	0.089	0.206	34
DO 5m	0.034	-0.336	19	-0.229	-0.069	18
W.T. 0m	0.425 **	0.448 **	60	0.201	0.472 **	59
W.T. 1m	0.113	0.188	59	0.234	0.496 **	58
W.T. 2m	0.134	0.154	53	0.636 **	0.630 **	53
W.T. 3m	-0.051	-0.180	41	0.598 **	0.693 **	43
W.T. 4m	-0.086	-0.102	31	0.318	0.545 **	34
W.T. 5m	0.001	-0.152	19	-0.395	-0.109	18

\*\* : significant at 0.01 significant level.

\* : significant at 0.05 significant level.

K19 on Sep.20, 2006 is excluded from the calculations.

40 分の中断があり観測時間がやや長くなった。

2005 年夏季と同様に 8 月 4 日, 9 月 20 日とも, 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) により表層水温を 10 分間隔で測定した (図 2)。矢印は観測船による観測を行なった時間帯である。水深 3m, 5m の水温も同時に計測した。

観測時刻と水質データとの相関係数によれば, 8 月 4 日, 9 月 20 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る (表 1)。時間経過に起因する観測値の変化の補正が必要であるか検討した。

2006 年 8 月 4 日, 9 月 20 日の W.T.0m と観測時刻とのスピアマンの順位相関係数は, 0.448, 0.472 であり, いずれも 1% の有意水準で有意となる (表 1)。8 月 4 日の W.T.0m と観測時刻との散布図 (図 3) では, C コース (×) と K コース (○) では時間経過による水温上昇傾向が見られるが, T コース (□) では上昇傾向がみられない。全体としては, 測点の特性を反映した上昇か, 時間経過による上昇かを判別しにくい。

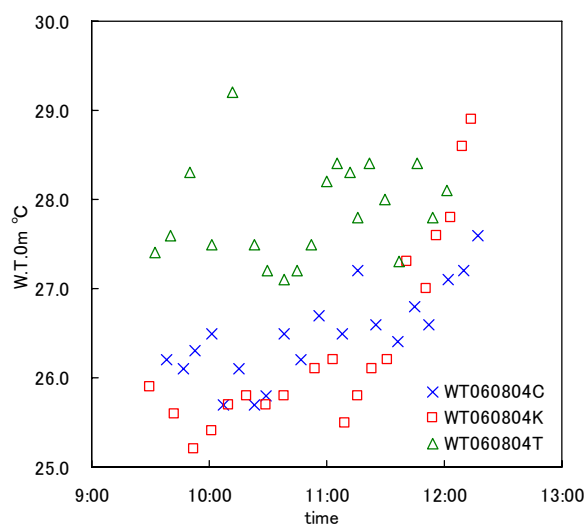
湖心 (C15) において, ロガーにより 10 分毎に観測した水温は, 全体として 8 月 4 日の水質観測時間帯には上昇傾向にあるが, 11 時前後にやや下降し, その後 11:10 から 11:20 に急激に上昇している (図 2)。ロガーにより計測した表層水温は, 11:36 に水温計で観測した 26.4 (表 9, C15 の

W.T.0m) と比較して 2 以上高温である。ロガー設置時刻が観測当日の 9:28am であるので, 設置直後の観測値が不安定であったか, あるいは, ロガーが水面より上に出ていた可能性も考えられる。

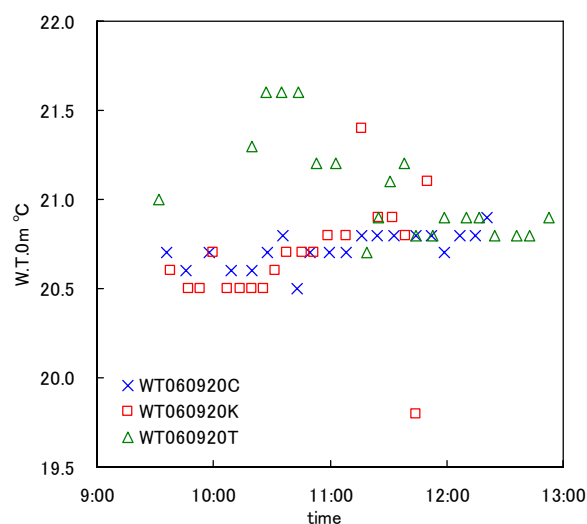
2005 年 8 月 17 日の観測では, W.T.0m と観測時刻とのスピアマンの順位相関係数は 0.838 であり, 散布図からも時間経過に伴う水温上昇が明瞭であったので, 湖心 (C15) の水温を目的変数, 観測時刻を説明変数とする一次回帰式を用いて W.T.0m の補正を行なった (柳町ほか, 2006)。2006 年 8 月 4 日の場合は, 2005 年 8 月 17 日ほど時間経過に伴う W.T.0m の上昇が明瞭ではなく, 散布図でも明瞭な相関関係が確認できないので, 時間経過による補正は実施しないこととした。

2006 年 9 月 20 日の場合, 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, 0.201 と小さな値となる。時刻と W.T.0m との散布図 (図 3) でも, 時間経過による上昇は限定的であるので, 時間経過による補正は行なわない。W.T.1m ~ W.T.4m のスピアマンの相関係数は 0.496 ~ 0.693 の値を示すが, データ範囲がきわめて狭く (標準偏差 0.1 ~ 0.4), 補正にはなじまない。

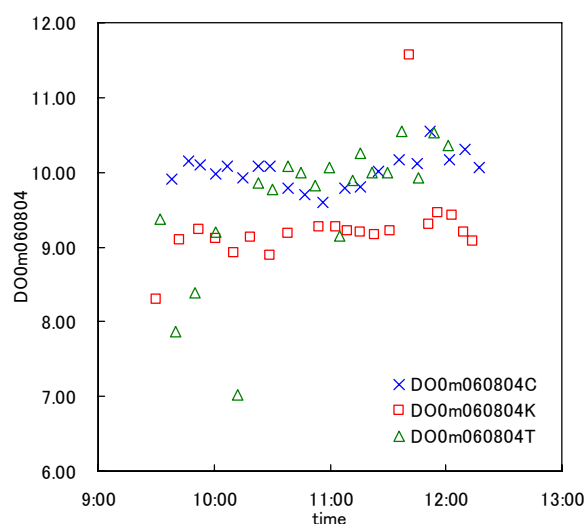
水温以外の要素にも観測時刻との有意な相関が見られるが, 散布図では明瞭な関係とはみなしがないので, 時間経過による補正は行なわない。



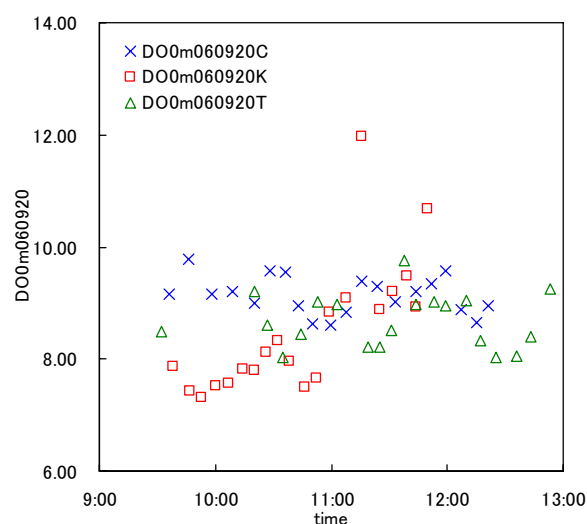
(a) W.T.0m on August 4, 2006



(b) W.T.0m on September 6, 2006



(c) DO 0m on August 4, 2006



(d) DO 0m on September 20, 2006

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

2006年夏季2日の表層データ(SS, Chl-*a*, Trans., W.T.0m)は,これまでと同様に,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解析した。主要な主成分を抽出し,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。

W.T., DO については,垂直分布の特徴を調べた。

さらに,2002年~2005年夏季と2006年夏季の観測により,計12日分の表層水質分布データが蓄積されたので,これらのデータからW.T.0mに関して,主成分分析を利用して卓越する分布パタ

ーンの解析も行なった。

### 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に示す。

#### (1) 表層水質データの統計量

60測点におけるSS, Chl-*a*の平均値は,8月4日の方が9月20日より小さいが,Trans.の平均

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

August 4, 2006

	SS(mg/l)	Chl- <i>a</i> (μg/l)	IL(mg/l)	Trans.(cm)	Depth(m)
Max	6.7	33.8		213.0	6.40
Min	2.9	4.5		134.0	0.98
Mean	4.2	12.2		166.6	4.07
S.D.	0.9	5.9		17.5	1.52
N	55	60	no data	57	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	11.56	11.16	10.46	9.42	7.47	5.13	0.15
Min	7.02	6.59	2.40	1.50	0.33	0.12	0.05
Mean	9.63	9.90	9.00	7.23	4.05	1.01	0.09
S.D.	0.70	0.87	1.80	2.23	2.24	1.31	0.04
N	60	59	53	41	31	19	5

	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	29.2	27.0	25.5	23.7	22.6	20.7	17.4
Min	25.2	22.5	23.7	19.2	17.1	16.7	16.8
Mean	26.9	25.6	24.5	22.1	19.6	17.6	16.9
S.D.	1.0	0.8	0.5	1.3	1.6	1.0	0.3
N	60	59	53	41	31	19	5

September 20, 2006

	SS(mg/l)	Chl- <i>a</i> (μg/l)	IL(mg/l)	Trans.(cm)	Depth(m)	SS* (mg/l)
Max	41.7	102.6	11.4	120.0	6.12	20.9
Min	6.7	50.0	3.6	53.0	0.85	6.7
Mean	15.5	78.9	6.6	94.9	4.01	15.0
S.D.	4.3	10.2	1.2	12.5	1.47	2.6
N	60	60	60	58	60	59

	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	11.96	10.38	9.48	9.38	9.20	8.80	5.79
Min	7.31	7.24	4.95	6.44	4.60	5.44	5.06
Mean	8.77	8.63	8.24	8.11	7.80	7.77	5.38
S.D.	0.80	0.67	0.92	0.82	1.01	0.83	0.37
N	60	59	53	43	34	18	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	21.6	21.6	21.0	20.9	20.8	20.7	20.3
Min	19.8	18.7	20.4	20.1	19.9	19.0	20.0
Mean	20.8	20.8	20.7	20.6	20.5	20.5	20.2
S.D.	0.3	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.2
N	60	59	53	43	34	18	3

SS\*: K19 is excluded from the calculations.

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 4, 2006

	SS	Chl- <i>a</i>	IL	Trans	DO 0m	W.T.0m
SS	1.000					
Chl- <i>a</i>	0.597 **	1.000				
Trans	-0.385 **	-0.508 **		1.000		
DO 0m	-0.011	-0.041		-0.073	1.000	
W.T.0m	0.274 *	0.597 **		-0.378 **	-0.014	1.000

September 20, 2006 K19 is excluded from the calculations.

	SS	Chl- <i>a</i>	IL	Trans	DO 0m	W.T.0m
SS	1.000					
Chl- <i>a</i>	-0.139	1.000				
IL	0.533 **	-0.043	1.000			
Trans	-0.412 **	-0.019	-0.120	1.000		
DO 0m	-0.158	0.487 **	0.140	0.227	1.000	
W.T.0m	-0.113	-0.026	0.518 **	0.232	0.346 **	1.000

\*\* : significant at 0.01 significant level.

\* : significant at 0.05 significant level.

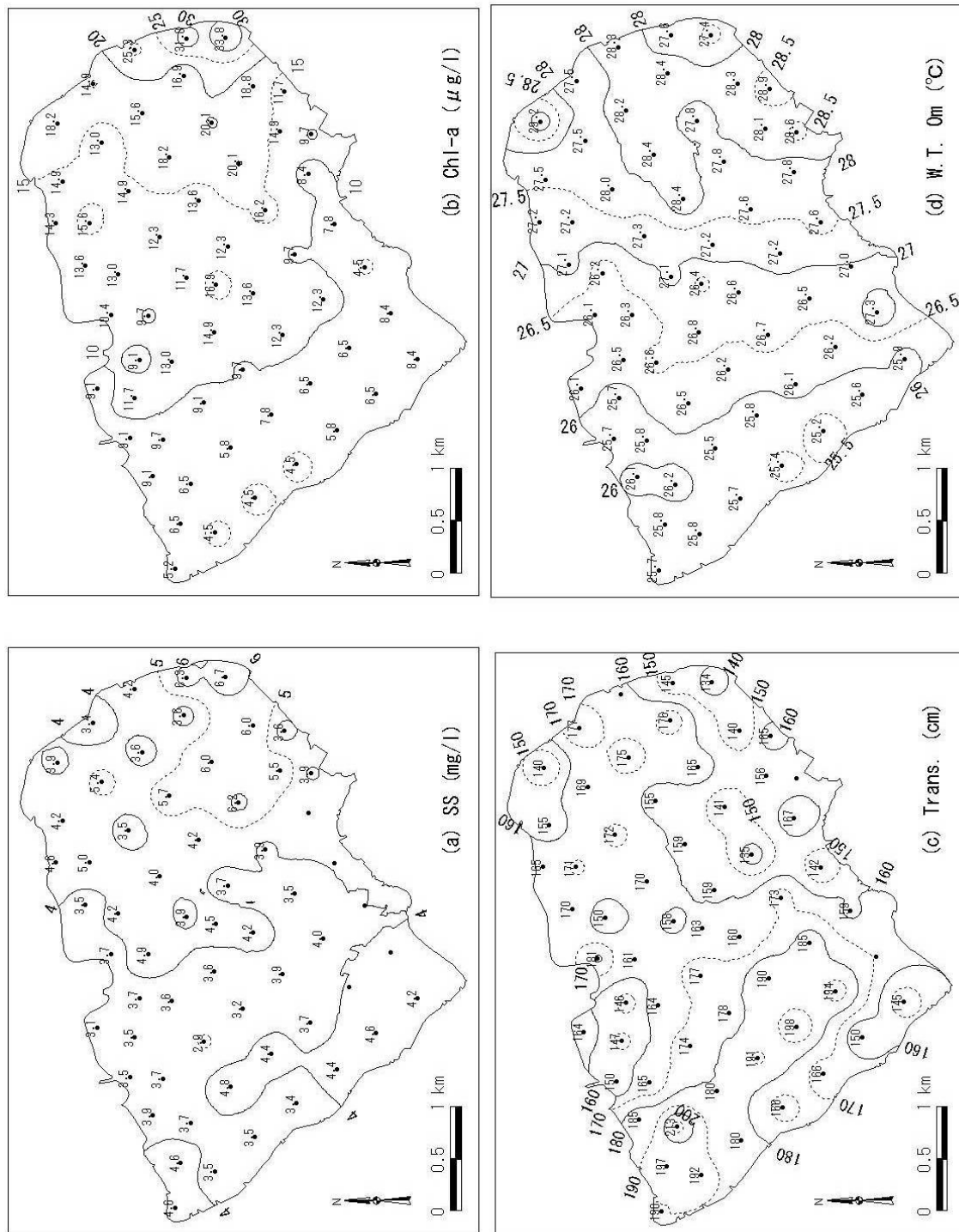


図 4 水質分布図 (2006 年 8 月 4 日) (a) 懸濁物質量, (b)クロロフィル a 濃度, (c)透明度, (d)表層水温

Fig. 4. Water quality maps of Lake Suwa on August 4, 2006. (a)SS, (b) Chl-a, (c)Trans., (d)W.T.0m

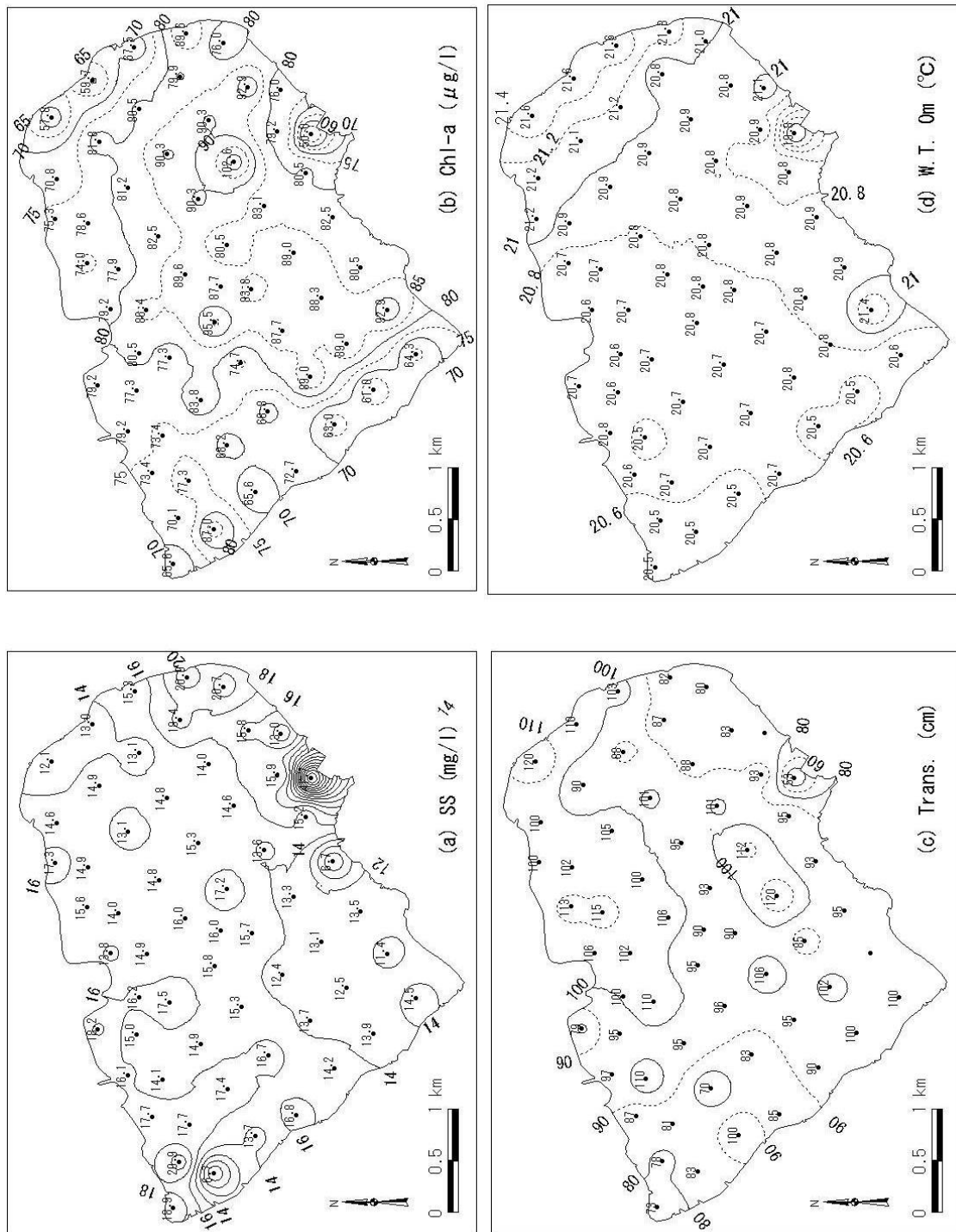


図 5 水質分布図 (2006 年 9 月 20 日) (a) 懸濁物質濃度, (b) クロロフィル *a* 濃度, (c) 透明度, (d) 表層水温

Fig. 5. Water quality maps of Lake Suwa on September 20, 2006. (a)SS, (b) Chl-*a*, (c)Trans., (d)W.T.0m

値は、逆に 8 月 4 日の方が 9 月 20 日より大きい。

8 月 4 日の SS, Chl-*a* の平均値, 4.2mg/L, 12.2  $\mu$ g/L と, 標準偏差 0.9 mg/L, 5.9  $\mu$ g/L は, すべて 2002~2006 年の 12 観測日中で最小値であった。逆に, 8 月 4 日の Trans. の最大値 213cm, 最小値 134cm, 平均値 166.6cm は, 12 観測日中, 最大値であった(柳町ほか, 2003, 2004, 2005, 2006)(表 2)。SS と Chl-*a* が最も低く, Trans. が最も高い理由は, 2006 年 7 月豪雨により植物プランクトンが諏訪湖から流出したためと考えられ, 大雨により諏訪湖の水質は一時的に浄化されたと言える。

9 月 20 日の SS の平均値 15.5 mg/L は 12 観測日中 5 番目, Chl-*a* の平均値 78.9  $\mu$ g/L は 3 番目に高かった。K19 測点における SS は 41.7 mg/L であり, 平均, 標準偏差からみて外れ値といえる。K19 を除外して SS の平均値を算出すると, 15.0 mg/L に低下するが, 12 観測日中 5 番目の順位は変わらない。K19 測点は上川河口の北東に位置しており, 底泥の巻き上げか, 河川からの土砂の流入により SS が大きくなったと考えられる。また, K19 における W.T.0m, W.T.1m の値も, 他の測点の値とかけ離れて低温であった。以下では, 相関係数の算出, 多変量解析の適用には K19 の値を除外した。

8 月 4 日の IL は殆どの測点の値が, 処理手順に起因すると考えられる異常値となったために, すべて考察から除外した。

W.T. と DO の統計量については, (5) で検討する。

## (2) 表層水質データの相関関係

no data の測点と, K19 (SS が外れ値) を除いて算出した表層水質要素間の相関係数を表 3 に示す。8 月 4 日の SS, Chl-*a*, Trans. には, 相互に有意な正相関または負相関がある。SS と Chl-*a* は正相関であり, SS と Trans., Chl-*a* と Trans. は負相関である。8 月 4 日の SS, Chl-*a*, Trans. 間の相関関係は, 2002~2005 年の多くの観測日において確認されたものである。

9 月 20 日の SS と Chl-*a* は無相関である。SS と IL とは有意な正相関であるが, 散布図から, SS の異常値(K06, K17, SS 計測時の処理手順に起因する可能性がある), または IL の外れ値(T01, T02)

の影響により相関係数が大きくなったと考えられる。2002 年以降の他の 11 観測日では, すべて SS と Chl-*a* には有意な正の相関関係があり, SS が主に植物プランクトンに起因すると推定された。9 月 20 日の SS と植物プランクトンの関係は他の観測日とは異なっていたことが示唆される。秋の循環期に入って, 湖底から泥が巻き上がり, 有機物が分解されていないヘドロが SS として計測される比率が, 植物プランクトンよりも高くなったため, SS と Chl-*a* の相関がみられないと推測されるが, 観測事例を増やして検討する必要がある。

W.T.0m と他の要素との相関関係は, 8 月 4 日には, SS, Chl-*a* と正の有意な相関が, Trans. と負の有意な相関が見られる。9 月 20 日の W.T.0m には, IL と DO 0m と正の有意な相関が見られる。このように, W.T.0m と他の要素との関係は, 観測日により異なっている。

DO 0m は, 9 月 20 日の Chl-*a* との間にのみ有意な相関(正)が見られる。

## (3) 各観測日の主成分分析

8 月 4 日と 9 月 20 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)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。no data の地点と異常値, 外れ値を除外したため, 8 月 4 日は N=53 (K14, K15, K16, K17, K18, K19, T03 を除外), 9 月 20 日は N=55 (K06, K15, K17, K19, K20 を除外)への適用である。8 月 4 日は, 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 61.6%である。8 月 4 日については, 寄与率が高い第 1 成分についてのみ考察する。

9 月 20 日の場合, 第 1 成分の固有値が 1.725 であり, 第 2 成分 1.046, 第 3 成分 0.875 との差がやや小さいが, 全変動の 43.1%を説明する最も卓越するパターンであり, 第 2 成分の 1.6 倍, 第 3 成分の 2.0 倍の変動を説明するので, 以下では第 1 成分について考察する。

8 月 4 日の第 1 成分の主成分負荷量の絶対値は 4 要素いずれも 0.7 以上である。SS, Chl-*a*, 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 4, 2006 N=53

	Eigenvalue	Proportion	Cumulative proportion
Component 1	2.464	61.6%	61.6%
Component 2	0.708	17.7%	79.3%
Component 3	0.614	15.4%	94.7%

K14, K15, K16, K17, K18, K19 and T03 are excluded from the calculations.

September 20, 2006 N=55

	Eigenvalue	Proportion	Cumulative proportion
Component 1	1.725	43.1%	43.1%
Component 2	1.046	26.1%	69.3%
Component 3	0.875	21.9%	91.1%

K06, K15, K17, K19 and K20 are excluded from the calculations.

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 4, 2006 N=53

	Component 1	Component 2	Component 3
SS	0.733 **	0.540 **	0.375 **
Chl- <i>a</i>	0.921 **	-0.062	0.116
Trans	-0.723 **	-0.169	0.665 **
W.T.0m	0.745 **	-0.620 **	0.134

September 20, 2006 N=55

	Component 1	Component 2	Component 3
SS	0.867 **	-0.169	0.222
Chl- <i>a</i>	-0.030	0.879 **	0.475 **
Trans	-0.890 **	0.042	-0.162
W.T.0m	-0.425 **	-0.493 **	0.757 **

\*\* : significant at 0.01 significant level.

\* : significant at 0.05 significant level.

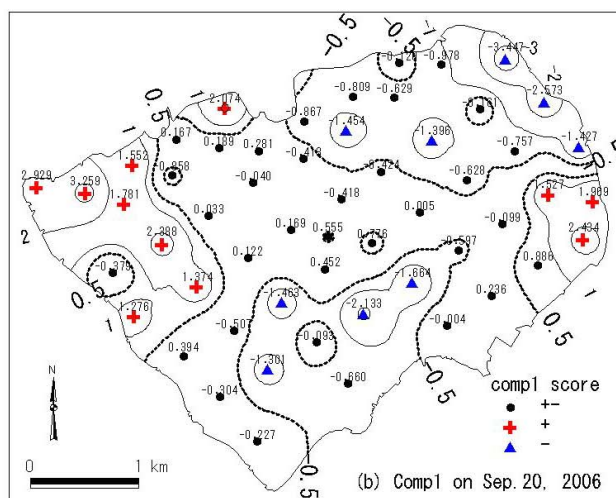
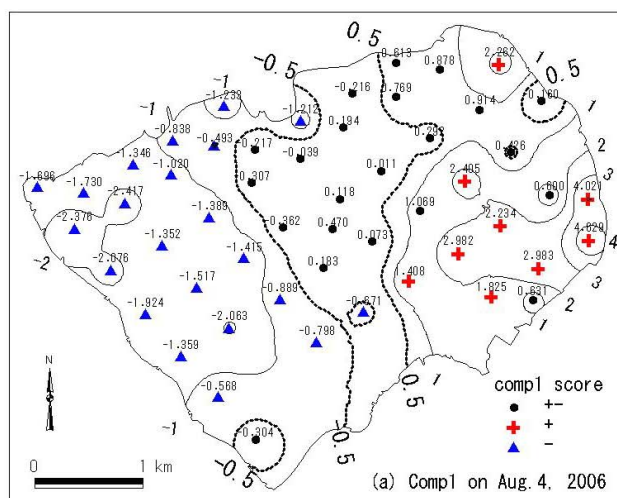


図6 第1主成分の主成分得点に基づく地域区分

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

(a) August 4, 2006, (b) September 20, 2006

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- <i>a</i>	Trans.	W.T.0m	SS	Chl- <i>a</i>	Trans.	W.T.0m	SS	Chl- <i>a</i>	Trans.	W.T.0m
Aug. 4, 2006	+	+	-	+	-	-	+	-	+-	+-	+-	+-
Sep. 20, 2006	+	-	-	(-)	-	+	(+)	-	+-	+-	+-	(+-)

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

の符号は同じであり, これらと Trans.の符号が逆である。すなわち, 「SS, Chl-*a* が大きい所では, Trans.が小さく, W.T.0m は大きい。」 「SS, Chl-*a* が小さい所では, Trans.が大きく, W.T.0m は小さい。」というパターンが確認された。これは, 2002 ~ 2005 年の夏季 10 観測日のうち 6 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, 柳町ほか, 2004, 2005, 2006) で抽出されたものとほぼ同様のパターンである。

9 月 20 日の第 1 成分主成分負荷量の符号は, SS と, Trans.・W.T.0m が逆になる。すなわち「SS が大きい所では, Trans.が小さい, W.T.0m がやや小さい。」 「SS が小さい所では, Trans.が大きい,

W.T.0m がやや大きい。」W.T.0m の主成分負荷量の絶対値は、第 3 成分が最も大きいので、「やや大きい」あるいは「やや小さい」と表現した。Chl-*a* の変動は、第 1 成分ではほとんど説明されない。SS と Chl-*a* は無相関であることを反映している。前述のように、2002 年以降の他の 11 観測日すべてにおいて、SS と Chl-*a* には有意な正の相関関係があるために、各観測日ごとの主成分分析で抽出された第 1 成分は、常に SS と Chl-*a* の同期的な変動を説明するものであった。9 月 20 日の第 1 成分は「Chl-*a* の変動を説明しない」ものであり、他の観測日の結果と異なっている。

#### (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 年、2003 年、2004 年、2005 年夏季の水質分布と同様に(柳町ほか, 2003, 2004, 2005, 2006), 第 1 成分の主成分得点をクラスター分析し、特徴的なグループに区分した。

第 1 成分の主成分得点から、8 月 4 日、9 月 20 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 つめは主成分得点の絶対値が 0 に近いグループ( )であり、第 1 成分の特徴があまり反映されない地域を示す。主成分得点が正である + グループは、主成分得点が特に大きな値の地域も含んでいる。観測日毎の各グループの特徴を表 6 に示す。

8 月 4 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 は大きい)は、湖の東部(特に東端部)に分布し、 の地域(SS, Chl-*a* が小さく, Trans. が大きい, W.T.0m は小さい)は、湖の西部に広く分布する。 の地域(第 1 成分の特徴が顕著ではない)は、湖の中部に分布する。

前述のように、2006 年 8 月 4 日の主成分負荷量の特徴(「SS, Chl-*a* が大きい所では, Trans. が小さく, W.T.0m は大きい。」「SS, Chl-*a* が小さい所では, Trans. が大きく, W.T.0m は小さい。」)と類似した観測日は、8 月 4 日も含めて 12 観測日のうち 7 日となる。このうち、特徴的な分布を示す地域に注目すると、8 月 4 日の第 1 成分の主成分得点分布パターン(東部、西部に特徴的な地域

が出現)は、2003 年 8 月 27 日、2004 年 7 月 13 日と類似している。湖の東部と西部の水質に最も差異がある分布パターンが 12 観測日のうち 3 回観測され、このパターンが諏訪湖の夏季にしばしば出現している可能性がある。

9 月 20 日(図 6(b))の場合、+ の地域(SS が大きく, Trans. が小さい, W.T.0m がやや小さい)は、湖の東端部と西端部に出現し、 の地域(SS が小さく, Trans. が大きい, W.T.0m がやや大きい)は、北東部と、南部のやや中心より出現する。

#### (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 9, 表 10 に示す。各測点における最深 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、各測点の水深よりやや上方となる。各観測日の水温と DO の、60 測点の垂直分布を図 7 に示す。

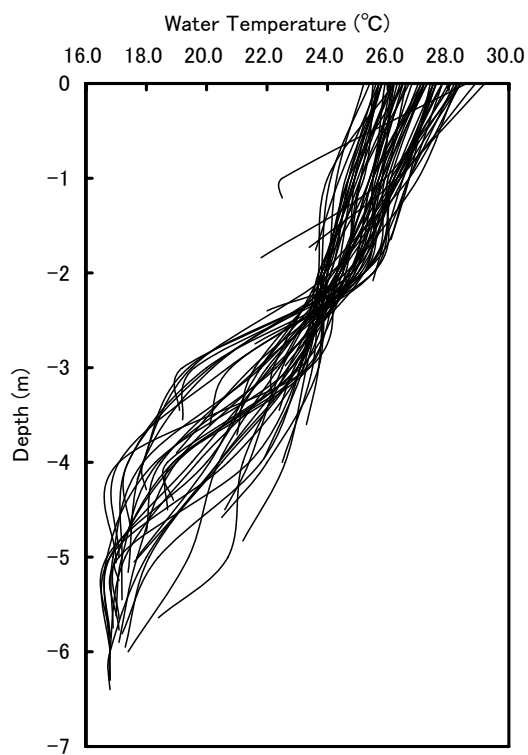
8 月 4 日には、夏季の温度成層がみられる。水深 2~3m まで徐々に水温が低下、その後急激に低下し、水深約 4m 以深で再び徐々に低下する。

9 月 20 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。上川河口に近い K19 測点のみ、水深 1m で 18.7 と非常に低温である。諏訪湖では、西北西の強風時に湖東部で反時計回りの循環流の存在が指摘されており(豊田, 2007), 9 月 20 日の観測時間帯にも、諏訪で西北西(11 時のみ西)の、風速 6m/s 以上の風(アメダス時別値)が吹送していたので、上川からの流入水が K19 測点の方向へ流れて水温に影響したと考えられる。

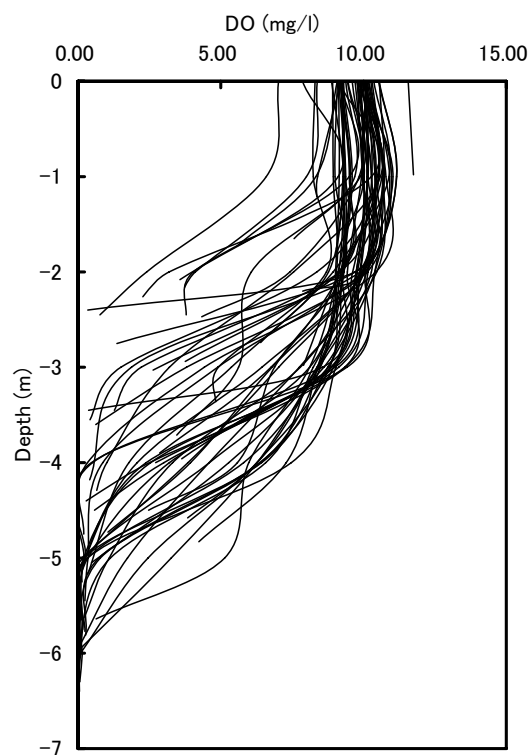
DO の垂直分布は、水温成層の存否を反映した特徴を示す。8 月 4 日には、水深 2~3m まで類似した値で推移し、その後、急激に低下する測点が多い。急激な低下は湖底近くで観測されたものが多い。9 月 20 日には、水深 4~5m までほぼ一定の値を示す測点が多い。急激な低下は湖底付近で観測されている。

#### (6) 2006 年夏季の水温変化

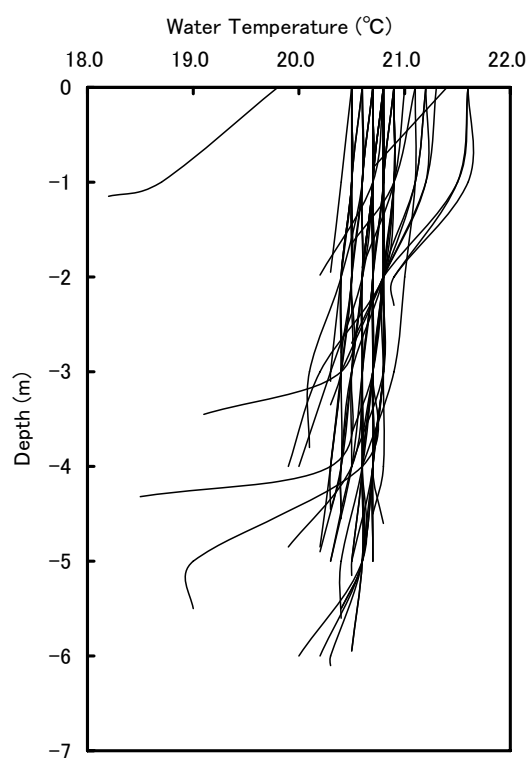
2006 年 7 月 31 日から諏訪湖湖心(C15)に水温ロガーを設置し、表層、水深 3m、水深 5m の



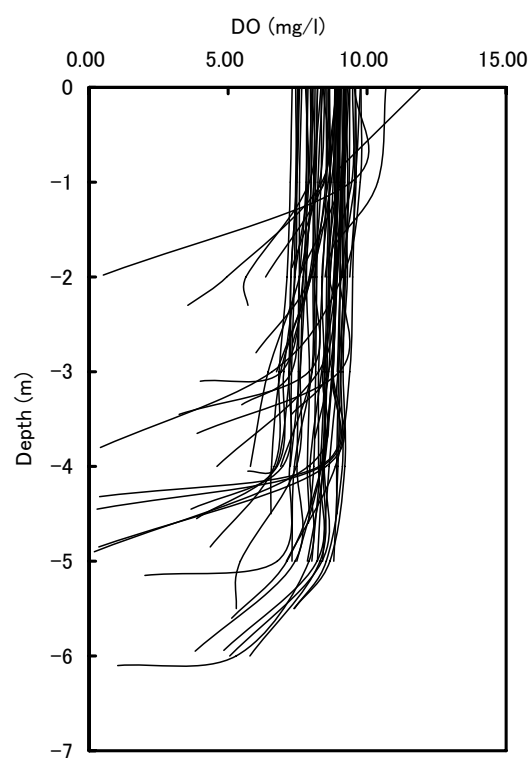
(a) W.T. on August 4, 2006



(b) DO on August 4, 2006



(c) W.T. on September 20, 2006



(d) DO on September 20, 2006

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

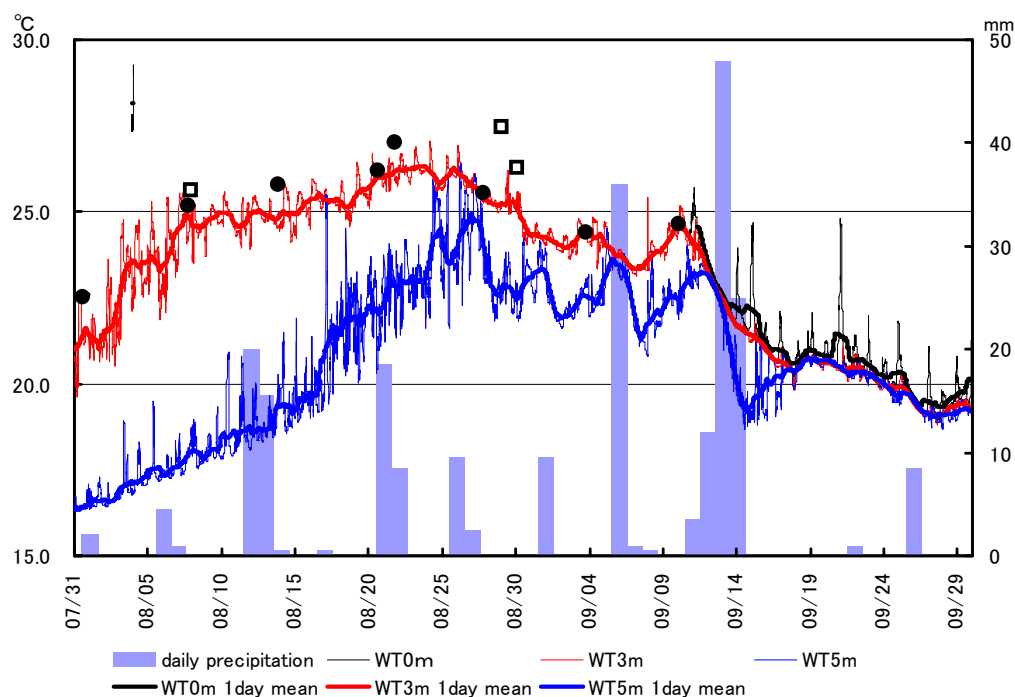


図8 湖心(C15)における2006年夏季の表層、水深3m、水深5mの水温変化  
 Fig.8. Variations in water temperatures of surface, at depths of 3m and 5m at the center of Lake SUWA (C15) in the summer of 2006  
 : WT0m at about 8:00 to 9:00, : WT0m at about 14:00

水温を10分間隔で計測した(図8)。ただし、表層水温は8月4日の水質観測時間帯と、9月11日以降のデータのみである。太線は144項(24時間)の移動平均である。信州大学山岳科学総合研究所山地水域環境保全学部門で、定期観測している諏訪湖湖心表層水温も図8に表示した。は午前8~9時頃、は午後2時頃の観測値である。

7月31日以降、水深3mの水温、水深5mの水温はいずれも変動しながら8月下旬まで上昇した。湖心の水温が最も高温となったのは、水深3mで8月23日頃、水深5mで8月27日頃である。8月初頭から8月下旬の最高水温出現時まで、水深3mでは約5℃、水深5mでは10℃近く上昇した。この時期には水温の成層状態が確立されていた。

8月半ば以降、水深3mと5mの水温差がそれ以前にくらべ次第に小さくなり、近接したり離れたりを繰り返しながら8月下旬以降、次第に水温が低下した。

9月5日~6日に、水深3mと5mの水温は極めて近接したが、9月7日に水深5mの水温が急激に低下し3mと5mの水温差が拡大した。9月10

日頃からこの差が縮小し、9月12日に表層、3mと5mの水温はほぼ同じとなり、ここで水温成層が一旦解消された。しかし、9月13日に水深5mの水温が急激に低下し、3mと5mの水温差が再び拡大した。9月15日頃から5m水温が上昇に転じ、9月18日には、表層、3m、5mの水温がほぼ同じとなり、秋の循環期に入った。

夏季の水温成層が解消される過程において、水深3mと5mの水温がほぼ同じとなった後、再び成層状態に戻る状況が2回観測された。いずれも水深5mの水温が急激に低下したことに起因している。この急激な水温の低下が起きた日、あるいはその付近において、諏訪(アメダス日別値)で降水が観測されている。9月6日36mm、12日12mm、13日48mm、14日25mm。最初に水深3mと5mの水温が近接した9月5日以降、これらの日以外の降水量は非常に少ない(9月11日3.5mm、9月7日1mm、9月8日0.5mm)ため、降水による河川からの流入水が、水深5m水温の急激な低下を引き起こしたと考えられる。降水による底層水温低下が2006年の夏季に限った現象であるのか、または、通常現象であるのかについては、

さらに事例を増やして検証する必要がある。

#### (7) 2006 年 7 月豪雨の水温への影響

2006 年 7 月 17 日から 19 日の豪雨が水温に影響を及ぼしたかについて検討する。諏訪における平均気温の平年値（気象庁）は、7 月 30 日～8 月 4 日の 23.9 が最も高温となる。気温を反映すると考えられる諏訪湖の水温も通常 7 月末～8 月初頭に 1 年で最も高温となる（沖野・花里，1997，花里ほか，2003，宮原，2005）。観測を実施した 2006 年 8 月 4 日の W.T.0m の平均値は 26.9 であり，これは，2004 年 7 月 29 日の 25.4，2005 年 8 月 17 日の 27.7 と比較して特に異常な値とは考えにくい。

2005 年 8 月 17 日の水温の垂直分布では，湖底に近い水深 6m の平均水温は 22.9（10 測点平均，柳町ほか，2006）であった。この値と比較すると，2006 年 8 月 4 日の水深 6m の平均水温 16.9（5 測点平均）は 6 低い。過去の観測値（沖野・花里，1997，花里ほか，2003）と比較しても，2006 年 8 月 4 日の湖底近くの水温は例年よりもきわめて低い。豪雨により大量に流入した河川水が，暖められていた湖水を流出させ，冷たく重い水塊が湖底に沈んだ状態となっていたと考えられる。

2006 年 8 月 4 日の表層水温が特に異常ではないので，この頃までに表層水温への豪雨の影響が解消され通常の水温になっていたと推察される。しかし，湖底近くの水温は通常より低下していた。8 月下旬までに徐々に水温が上昇し，8 月 17 日以降，水深 5m 水温の上昇速度が増している。8

月の定期観測による表層水温は，水深 3m の水温より高いが，表層と水深 3m の水温差よりも，水深 3m と 5m の水温差の方が大きく，8 月前半の水深 3m 以深の低水温が顕著であった。

#### (8) 2002～2006 年 W.T.0m の分布パターン

これまでに実施した 12 観測日の表層水温 W.T.0m は，観測日間の相関係数が 0.7～0.8 程度を示すものが多いので，他の水質要素に比べ相互に類似した分布を示すと考えられる。正の相関を示す観測日は，W.T.0m の分布図でも類似したパターンとなると考えられるので，水温分布を特徴づけるパターンを抽出するために，観測日によっては外れ値を含む K19 と T05 を除いた 58 測点，12 日分の W.T.0m のデータについて主成分分析を行なった。観測数が少ないため，12 観測日を変数，58 測点をケースとして主成分分析した。抽出された第 5 成分までの固有値，寄与率，累積寄与率を表 7 に，第 2 成分までの主成分負荷量を表 8 に示す。

第 1 成分の寄与率は 36.3%，第 2 成分の寄与率は 23.7%であり，第 3 成分以下の寄与率は低いので，主要な成分は第 2 成分までとみなすことができる。第 1 成分，第 2 成分について，その成分の主成分負荷量の絶対値だけが大きい（他の成分の主成分負荷量の絶対値は大きくない）観測日は以下の通りである。

##### 第 1 成分（第 1 グループ）：

2003 年 8 月 27 日，2006 年 8 月 4 日，  
2007 年 7 月 13 日，2006 年 9 月 20 日

表7 表層水温の固有値，寄与率，累積寄与率  
Table 7. Eigenvalues, proportions and cumulative proportions of surface water temperatures  
W.T.0m 12days N=58

	Eigenvalue	Proportion	Cumulative proportion
Component 1	4.360	36.3%	36.3%
Component 2	2.845	23.7%	60.0%
Component 3	1.112	9.3%	69.3%
Component 4	1.053	8.8%	78.1%
Component 5	0.796	6.6%	84.7%

K19 and T05 are excluded from the caluculations.

表8 表層水温の主成分負荷量  
Table 8. Component loadings of surface water temperatures  
W.T.0m 12days N=58

	Component 1	Component 2
Aug.27, 2003	0.939 **	-0.071
Aug.4, 2006	0.913 **	0.063
Jul.13, 2004	0.825 **	-0.162
Sep.20, 2006	0.816 **	-0.133
Aug.30, 2004	0.740 **	-0.496 **
Aug.17, 2005	0.587 **	0.482 **
Jul.3, 2003	0.547 **	0.244
Sep.2, 2002	0.151	0.884 **
Oct.6, 2005	0.157	0.819 **
Sep.28, 2003	0.106	0.597 **
Jul.29, 2004	-0.214	0.481 **
Oct.1, 2004	-0.044	0.463 **

\*\*：significant at 0.01 significant level.

\*：significant at 0.05 significant level.

K19 and T05 are excluded from the caluculations.

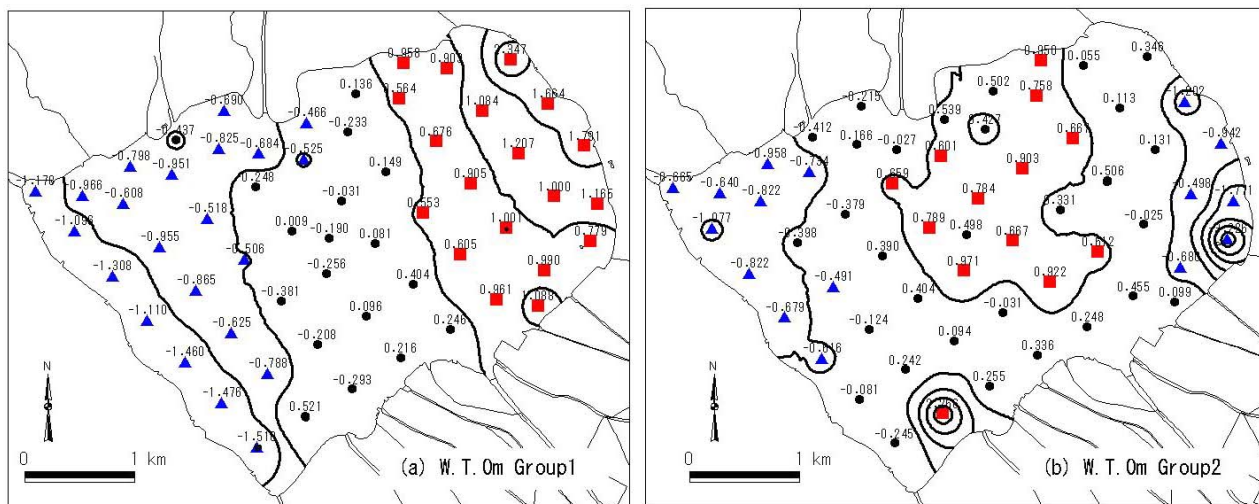


図9 表層水温の卓越パターン (a)第1グループ, (b)第2グループ  
Fig.9. Prevailing patterns of W.T.0m (a) group 1, (b) group 2

#### 第2成分(第1グループ):

2002年9月2日, 2005年10月6日,  
2003年9月28日

これらの観測日の主成分負荷量の符号はすべてプラスである。第1成分, 第2成分は, これらの観測日の分布によって特徴づけられたものとなる。第1成分と関連が強い観測日を第1グループ, 第2成分と関連が強い観測日を第2グループと呼ぶ。第1グループ, 第2グループを特徴づける分布パターンを次のように求めた。

第1成分を特徴づける4日分58測点のW.T.0mを, 観測日毎に平均0, 標準偏差1になるように基準化し, さらに測点毎に4日分の基準化値の平均を算出する。基準化値の平均値による等値線図(図9)を作成する。

第1グループの表層水温分布パターンは, 等値線が北西から南東, あるいは北から南に走り, 湖の東部で高温, 西部で低温となり, 中央部は平均的な値となる。特に東端部で高温となる。

第2グループの表層水温分布パターンは, 湖の中央部北半分で高温, 東端部と西端部で低温。T01付近で特に低温, K15で特に高温となる。

W.T.0mの分布として, 第1グループの分布パターンが夏季にしばしば出現する可能性が示唆される。

観測日毎に行なった表層4要素の主成分分析でも, W.T.0mの第1グループの分布図と類似し

た分布パターンが抽出されている。表層4要素の第1成分主成分得点の分布図のうち, 2006年8月4日(図6), 2003年8月27日(柳町ほか, 2004), 2004年7月13日(柳町ほか, 2005)は, 湖の東部と西部で最も差異がある点で, 類似している。

#### 4. まとめ

2006年8月4日, 9月20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。

2006年8月4日, 9月20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4日には第1成分が主要な水質分布パターンとして抽出され, 「SS, Chl-a が大きい所では, Trans.が小さく, W.T.0m は大きい。」「SS, Chl-a が小さい所では, Trans.が大きく, W.T.0m は小さい。」という変動パターンが確認された。これにより, 2002~2006年の夏季12観測日のうち7日間ではほぼ同様のパターンが第1成分として抽出された。

9月20日の第1成分は, 「SS が大きい所では, Trans.が小さい, W.T.0m がやや小さい。」「SS が小さい所では, Trans.が大きい, W.T.0m がやや大きい。」という変動パターンである。9月20日の第1成分は「Chl-a の変動を説明しない」ものであり, 他の観測日の結果と異なっている。

2006年8月4日の第1成分の主成分得点分布



( 東部 , 西部に特徴的な地域が出現 ) は , 2003 年 8 月 27 日 , 2004 年 7 月 13 日の第 1 成分と類似しており , 湖の東部と西部の水質に最も差異がある分布が 12 観測日のうち 3 回観測された。

8 月 4 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 2 ~ 3m まで徐々に水温が低下し , その後急激に低下 , 水深約 4m 以深で再び徐々に低下する。DO の垂直分布は , 水深 2 ~ 3m まで類似した値で推移し , その後 , 急激に低下する測点が多い。

9 月 20 日の水温の垂直分布で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。DO の垂直分布も水深 4 ~ 5m までほぼ一定の値を示す測点が多い。急激な低下は湖底付近で観測されている。

夏季の水温成層が解消される過程において , 降水による河川からの流入が , 水深 5m 水温の急激な低下を引き起こしたと考えられる現象が 2 回観測された。

2006 年 8 月 4 日の水深 6m の平均水温は , 通常よりも極めて低温であり , 2006 年 7 月 17 日から 19 日の豪雨の影響と考えられる。また , 8 月前半の水深 3m 以深の顕著な低水温も , 諏訪地域における 2006 年 7 月豪雨の影響と考えられる。

2002 ~ 2006 年 12 観測日の W.T.0m の分布に , 主成分分析を適用して , 第 1 グループ , 第 2 グループを抽出した。第 1 グループは , 湖の東部で高温 , 西部で低温となり , 中央部は平均的な値となる。特に東端部で高温となるパターンを示す。第 2 グループは , 湖中央部北半分で高温 , 東端部と西端部で低温。T01 付近で特に低温 , K15 で特に高温となる。

第 1 グループのパターンは , 表層水質 4 要素を主成分分析し , 12 観測日のうち 3 回観測された分布パターンと類似している。

2002 年 ~ 2006 年夏季の水質観測において , 表層水質 4 要素 , W.T.0m の , 最も主要なパターンは , いずれも , 湖の東部と西部で差異が大きく , 中央部は平均的な値となる。このような分布パターンが諏訪湖の夏季にしばしば出現している可能性がある。どの程度の頻度で出現するか , 水温以外の要素の卓越パターンとの関連については今後の課題である。8 月前半の底層水温は , 2006 年 7 月豪雨の影響により非常に低温であったが ,

気象条件が卓越パターンの出現に影響するのかについても今後の課題である。

諏訪湖の水質に関する 2 次元的な分布を把握するためには , リモートセンシングデータが有効である。残念ながら , 現在 , 解像度が高い画像を定期的に高頻度で入手することには困難があるので , 現地における水質同時観測が有効な手法であり , 特に 3 次元的に水質を把握するためには , 観測データが欠かせないものとなる。今後も今回のような観測データを蓄積し解析することが重要であるといえよう。

#### 謝辞

本研究は , 2006 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 , 信州大学山岳科学総合研究所山地水域環境保全学部門 ( 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。

#### 【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 .
- 豊田政史 ( 2007 ) : 浅い山地湖沼における大気 - 水 - 物質循環に関する研究 .
- 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 .
- 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 .
- ( 原稿受付 2007.3.15 )

表9 諏訪湖の水質データ（2006年8月4日）  
Table 9. Observed water quality data in Lake Suwa  
on August 4, 2006

Station	Time JST	Longitude			Latitude			Depth (m)	SS (mg/l)	Chl- <i>a</i> ( $\mu$ g/l)	Trans. (cm)
		deg	min	sec	deg	min	sec				
C01	9:38	138	05	07.5 E	36	03	30.6 N	5.00	4.2	13.0	150
C02	9:47	138	04	51.8 E	36	03	32.5 N	3.60	3.7	10.4	181
C03	9:53	138	04	52.1 E	36	03	21.0 N	5.06	4.8	9.7	161
C04	10:01	138	04	35.2 E	36	03	23.3 N	3.45	3.7	9.1	146
C05	10:07	138	04	20.6 E	36	03	24.4 N	4.40	3.4	11.7	147
C06	10:15	138	04	23.7 E	36	03	36.1 N	2.40	3.1	9.1	164
C07	10:23	138	04	05.2 E	36	03	25.5 N	2.20	3.4	9.1	150
C08	10:29	138	04	05.1 E	36	03	15.3 N	4.50	3.6	9.7	165
C09	10:38	138	04	19.6 E	36	03	03.0 N	5.65	2.9	9.1	174
C10	10:47	138	04	32.7 E	36	02	51.2 N	6.30	3.2	9.7	178
C11	10:56	138	04	46.3 E	36	02	39.3 N	6.40	3.9	12.3	190
C12	11:08	138	05	00.2 E	36	02	27.0 N	6.00	4.0	12.3	185
C13	11:16	138	05	17.1 E	36	02	36.3 N	5.95	3.5	9.7	173
C14	11:25	138	05	01.7 E	36	02	48.8 N	6.30	4.2	13.6	160
C15	11:36	138	05	04.7 E	36	03	00.3 N	5.85	4.4	16.9	163
C16	11:45	138	04	46.4 E	36	03	00.4 N	6.00	3.6	14.9	177
C17	11:52	138	04	34.6 E	36	03	13.3 N	5.25	3.6	13.0	164
C18	12:02	138	05	07.0 E	36	03	09.4 N	5.85	3.9	11.7	158
C19	12:10	138	05	19.3 E	36	02	57.1 N	5.90	3.7	12.3	159
C20	12:17	138	05	33.3 E	36	02	45.8 N	5.00	3.8	16.2	135
K01	9:30	138	04	38.7 E	36	01	57.3 N	3.36	4.1	8.4	145
K02	9:42	138	04	24.8 E	36	02	09.8 N	4.50	4.5	6.5	150
K03	9:52	138	04	10.6 E	36	02	21.5 N	4.83	4.3	5.8	166
K04	10:01	138	03	57.2 E	36	02	33.8 N	4.58	3.3	4.5	166
K05	10:10	138	03	44.1 E	36	02	46.3 N	3.96	3.5	4.5	180
K06	10:19	138	03	30.4 E	36	02	58.4 N	3.03	3.5	4.5	192
K07	10:29	138	03	16.2 E	36	03	10.4 N	1.76	4.6	5.2	190
K08	10:38	138	03	33.4 E	36	03	09.1 N	2.94	4.6	6.5	197
K09	10:54	138	03	51.0 E	36	03	18.1 N	3.60	3.9	9.1	185
K10	11:03	138	03	48.6 E	36	03	06.4 N	4.00	3.7	6.5	213
K11	11:09	138	04	02.7 E	36	02	54.3 N	5.05	4.8	5.8	180
K12	11:16	138	04	15.8 E	36	02	42.0 N	5.77	4.4	7.8	191
K13	11:23	138	04	28.0 E	36	02	30.3 N	5.81	3.7	6.5	198
K14	11:31	138	04	42.2 E	36	02	18.5 N	5.64	no data	6.5	194
K15	11:41	138	04	55.8 E	36	02	06.1 N	0.98	no data	8.4	bottom*
K16	11:51	138	05	13.0 E	36	02	14.6 N	2.74	no data	4.5	159
K17	11:56	138	05	29.0 E	36	02	24.3 N	3.71	no data	7.8	142
K18	12:03	138	05	47.7 E	36	02	32.9 N	1.84	no data	8.4	167
K19	12:09	138	06	02.9 E	36	02	32.4 N	1.21	3.9	9.7	bottom*
K20	12:14	138	06	18.7 E	36	02	41.0 N	1.73	3.6	11.7	165
T01	9:32	138	06	38.5 E	36	02	59.6 N	1.65	6.7	33.8	134
T02	9:40	138	06	37.8 E	36	03	11.8 N	2.08	6.3	31.8	145
T03	9:50	138	06	32.9 E	36	03	27.8 N	2.16	4.2	25.3	bottom*
T04	10:01	138	06	19.5 E	36	03	40.3 N	2.45	3.3	14.9	177
T05	10:12	138	06	03.9 E	36	03	50.9 N	2.45	3.9	18.2	140
T06	10:23	138	05	42.1 E	36	03	48.7 N	3.55	4.2	14.9	155
T07	10:30	138	05	26.1 E	36	03	50.3 N	2.75	4.6	14.3	165
T08	10:38	138	05	10.4 E	36	03	40.8 N	4.18	3.5	13.6	170
T09	10:45	138	05	26.5 E	36	03	40.1 N	4.75	4.9	15.6	171
T10	10:52	138	05	57.1 E	36	03	37.1 N	4.29	5.3	13.0	169
T11	11:00	138	06	09.0 E	36	03	24.8 N	3.45	3.6	15.6	175
T12	11:05	138	06	23.5 E	36	03	12.3 N	2.26	3.5	16.9	176
T13	11:12	138	06	20.4 E	36	02	50.8 N	2.47	6.0	18.8	140
T14	11:16	138	06	06.0 E	36	03	03.1 N	3.90	6.0	20.1	165
T15	11:22	138	05	52.6 E	36	03	16.0 N	5.16	5.6	18.2	155
T16	11:30	138	05	39.2 E	36	03	28.2 N	5.45	3.5	14.9	172
T17	11:37	138	05	21.9 E	36	03	18.1 N	5.75	4.0	12.3	170
T18	11:46	138	05	36.4 E	36	03	06.5 N	5.62	4.2	13.6	159
T19	11:54	138	05	51.0 E	36	02	54.5 N	4.73	6.2	20.1	141
T20	12:01	138	06	03.6 E	36	02	41.9 N	2.98	5.5	14.9	156

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

\* The bottom of the lake could be observed.



表9 諏訪湖の水質データ（2006年8月4日）続き  
Table 9. Observed water quality data in Lake Suwa on August 4, 2006  
(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	26.2	25.5	25.2	20.7	17.1	<u>17.1</u>				9.91	10.40	10.06	9.42	0.47	<u>0.27</u>			
C02	26.1	25.5	25.1	20.8	<i>20.1</i>					10.15	10.16	10.12	3.80	<i>0.62</i>				
C03	26.3	25.5	24.3	23.4	17.1	<i>17.0</i>				10.10	10.29	9.78	8.99	0.51	<i>0.21</i>			
C04	26.5	25.1	24.5	22.9	<i>22.4</i>					9.98	10.16	9.62	8.56	<i>0.37</i>				
C05	25.7	24.9	24.6	23.1	18.7	<i>18.9</i>				10.08	9.93	9.43	9.34	2.50	<i>0.28</i>			
C06	26.1	25.8	24.8	<i>22.0</i>						9.92	9.96	9.71	<i>0.34</i>					
C07	25.7	25.1	24.5	<i>23.5</i>						10.08	10.12	10.01	<i>7.87</i>					
C08	25.8	24.7	23.9	23.4	18.9	<i>18.7</i>				10.08	10.13	9.74	8.88	3.01	<i>0.58</i>			
C09	26.5	24.7	23.9	23.0	19.0	17.0	<i>17.1</i>			9.78	10.13	9.88	8.96	3.20	0.34	<i>0.12</i>		
C10	26.2	24.9	24.3	23.2	20.7	16.8	16.8	<i>16.8</i>		9.70	10.01	9.87	9.03	7.47	0.33	0.15	<i>0.06</i>	
C11	26.7	25.1	24.1	23.0	20.4	18.0	16.8	<i>16.8</i>		9.60	10.02	9.74	8.95	6.36	0.78	0.10	<i>0.05</i>	
C12	26.5	25.6	24.8	22.4	20.4	19.4	<u>17.4</u>			9.78	9.97	10.27	8.45	6.27	2.45	<u>0.09</u>		
C13	27.2	25.5	24.8	22.8	20.4	18.1	<i>17.3</i>			9.80	10.28	10.11	8.38	6.27	3.26	<i>0.09</i>		
C14	26.6	25.4	24.4	22.7	19.7	17.3	16.8	<i>16.8</i>		10.01	10.69	10.02	8.24	6.57	1.13	0.05	<i>0.05</i>	
C15	26.4	25.4	24.3	22.1	19.5	16.8	<i>16.8</i>			10.17	10.68	9.96	8.61	4.60	0.24	<i>0.07</i>		
C16	26.8	25.7	24.3	22.8	18.3	16.7	<u>16.8</u>			10.12	10.70	10.16	9.13	2.54	0.20	<u>0.08</u>		
C17	26.6	25.9	24.4	23.3	18.9	17.0	<i>17.1</i>			10.55	10.73	10.39	9.34	2.39	0.24	<i>0.14</i>		
C18	27.1	25.5	24.7	22.0	20.0	16.7	<i>16.8</i>			10.17	10.91	10.39	8.75	6.43	0.18	<i>0.08</i>		
C19	27.2	25.7	25.2	22.2	19.0	17.7	<i>17.1</i>			10.30	10.68	10.46	7.75	4.59	1.73	<i>0.09</i>		
C20	27.6	26.4	24.4	21.8	20.1	<u>17.7</u>				10.06	10.41	9.96	7.03	3.85	<u>0.12</u>			
K01	25.9	25.4	23.8	22.2	<i>22.2</i>					8.30	8.24	8.70	4.92	<i>4.82</i>				
K02	25.6	24.7	24.1	22.5	21.4	<i>20.6</i>				9.09	9.00	9.30	6.88	5.58	<i>2.47</i>			
K03	25.2	24.3	24.0	23.3	22.6	<i>21.2</i>				9.23	9.29	9.30	8.39	7.29	<i>4.23</i>			
K04	25.4	24.1	23.8	23.7	22.0	<i>20.5</i>				9.12	9.15	9.02	8.82	6.26	<i>3.84</i>			
K05	25.7	24.8	23.8	23.2	<i>21.9</i>					8.92	8.94	9.05	8.11	<i>3.63</i>				
K06	25.8	24.6	23.9	<i>21.7</i>						9.13	9.36	9.18	<i>2.63</i>					
K07	25.7	24.4	<i>23.6</i>							8.88	9.30	<i>9.05</i>						
K08	25.8	24.8	24.0	<i>22.5</i>						9.18	9.50	9.13	<i>3.75</i>					
K09	26.1	24.9	24.0	23.7	<i>23.3</i>					9.27	9.60	9.25	8.75	<i>5.46</i>				
K10	26.2	24.0	23.7	23.5	<u>22.5</u>					9.27	9.31	9.26	8.85	<u>2.72</u>				
K11	25.5	25.2	23.7	23.0	20.5	<i>17.6</i>				9.22	9.31	9.13	8.37	5.28	<i>0.47</i>			
K12	25.8	24.9	23.9	23.1	21.4	17.1	<i>17.1</i>			9.20	9.37	9.31	8.43	5.80	0.33	<i>0.24</i>		
K13	26.1	25.0	23.8	23.1	21.8	18.4	<i>17.2</i>			9.17	9.54	9.21	8.49	6.40	0.73	<i>0.26</i>		
K14	26.2	25.7	24.3	22.7	21.2	20.7	<i>18.4</i>			9.22	9.53	9.11	8.11	5.98	5.13	<i>0.63</i>		
K15	27.3	<i>25.5</i>								11.56	<i>11.75</i>							
K16	27.0	25.8	24.9	<i>23.2</i>						9.30	9.28	8.77	<i>6.40</i>					
K17	27.6	26.2	24.2	21.6	<i>21.0</i>					9.46	9.88	6.07	5.62	<i>3.46</i>				
K18	27.8	25.9	<i>21.8</i>							9.43	10.02	<i>9.00</i>						
K19	28.6	22.5	<i>22.5</i>							9.20	8.39	<i>8.36</i>						
K20	28.9	26.3	<i>23.4</i>							9.08	8.33	<i>5.56</i>						
T01	27.4	26.7	<i>26.1</i>							9.38	9.69	<i>7.57</i>						
T02	27.6	26.5	<i>25.5</i>							7.86	9.11	<i>3.57</i>						
T03	28.3	27.0	24.7	<i>24.6</i>						8.38	8.00	4.11	<i>3.73</i>					
T04	27.5	26.5	24.7	<i>24.0</i>						9.20	9.50	4.04	<i>3.79</i>					
T05	29.2	26.4	24.3	<i>23.7</i>						7.02	6.59	2.40	<i>0.77</i>					
T06	27.5	26.2	25.2	19.6	<i>19.2</i>					9.86	10.48	8.36	1.50	<i>0.42</i>				
T07	27.2	26.1	25.5	<i>21.6</i>						9.77	10.27	9.70	<i>1.36</i>					
T08	27.1	25.9	25.2	19.4	<i>17.7</i>					10.08	10.44	9.88	1.87	<i>0.41</i>				
T09	27.2	26.0	25.5	20.0	17.4	<i>17.5</i>				10.00	10.78	10.43	4.42	0.33	<i>0.20</i>			
T10	27.5	26.3	24.1	19.5	17.9	<i>18.0</i>				9.82	10.59	7.55	3.20	1.01	<i>0.65</i>			
T11	28.2	26.7	25.2	19.2	<i>19.1</i>					10.06	10.54	9.17	2.21	<i>1.27</i>				
T12	28.4	26.7	23.9	<i>23.8</i>						9.15	10.27	3.19	<i>2.27</i>					
T13	28.3	26.3	24.9	<i>23.6</i>						9.89	9.84	7.42	<i>4.33</i>					
T14	27.8	26.3	25.0	21.5	<i>19.0</i>					10.26	10.52	9.23	6.76	<i>2.86</i>				
T15	28.4	26.4	24.6	20.2	17.9	<i>17.4</i>				10.00	10.64	8.93	5.37	1.78	<i>0.35</i>			
T16	28.0	26.3	24.8	20.1	17.4	17.2	<i>17.2</i>			10.00	10.98	9.95	4.89	0.87	0.35	<i>0.24</i>		
T17	27.3	25.8	24.4	21.8	17.9	16.9	<i>16.9</i>			10.55	11.15	10.06	6.44	2.07	0.26	<i>0.16</i>		
T18	28.4	26.1	24.7	22.3	18.4	17.2	<i>17.0</i>			9.93	11.03	9.88	7.78	3.31	1.09	<i>0.23</i>		
T19	27.8	26.7	25.2	21.7	18.5	<i>18.0</i>				10.53	11.16	10.06	6.80	3.94	<i>1.05</i>			
T20	28.1	26.2	25.0	<i>22.6</i>						10.36	10.89	9.16	<i>7.90</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10 諏訪湖の水質データ (2006年9月20日)  
Table 10. Observed water quality data in Lake Suwa  
on September 20, 2006

Station	Time JST	Longitude			Latitude			Depth (m)	SS (mg/l)	Chl- <i>a</i> ( $\mu$ g/l)	Trans. (cm)	IL (mg/l)
		deg	min	sec	deg	min	sec					
C01	9:36	138	05	08.5 E	36	03	30.1 N	4.90	14.0	77.9	115	6.3
C02	9:46	138	04	52.9 E	36	03	32.2 N	3.80	13.8	79.2	106	6.5
C03	9:58	138	04	53.2 E	36	03	21.1 N	4.85	14.9	86.4	102	7.3
C04	10:09	138	04	36.6 E	36	03	23.0 N	2.98	16.2	80.5	100	6.2
C05	10:20	138	04	22.2 E	36	03	23.5 N	4.32	15.0	77.3	95	6.2
C06	10:28	138	04	23.8 E	36	03	35.5 N	2.20	18.2	79.2	79	7.0
C07	10:36	138	04	06.4 E	36	03	25.7 N	1.98	16.1	79.2	97	6.3
C08	10:43	138	04	05.3 E	36	03	15.0 N	4.45	14.1	73.4	110	5.7
C09	10:50	138	04	19.2 E	36	03	03.5 N	5.36	14.9	83.8	95	5.9
C10	11:00	138	04	33.9 E	36	02	51.3 N	5.94	15.3	74.7	96	5.6
C11	11:08	138	04	46.7 E	36	02	38.7 N	6.12	12.4	87.7	106	5.5
C12	11:16	138	04	59.8 E	36	02	27.0 N	5.80	13.1	88.3	85	6.3
C13	11:24	138	05	16.7 E	36	02	36.1 N	5.77	13.3	89.0	120	6.2
C14	11:33	138	05	02.2 E	36	02	48.7 N	6.10	15.7	83.8	90	6.2
C15	11:44	138	05	02.9 E	36	02	58.4 N	5.84	16.0	87.7	90	6.3
C16	11:52	138	04	49.3 E	36	02	59.9 N	5.80	15.8	95.5	95	6.7
C17	11:59	138	04	35.0 E	36	03	13.5 N	5.20	17.5	77.3	110	6.7
C18	12:07	138	05	07.3 E	36	03	09.5 N	5.70	16.0	89.6	106	5.7
C19	12:15	138	05	19.0 E	36	02	56.9 N	5.83	17.2	80.5	93	5.7
C20	12:21	138	05	34.1 E	36	02	45.6 N	5.05	13.6	83.1	112	6.0
K01	9:38	138	04	39.3 E	36	01	57.1 N	3.35	14.5	64.3	100	6.6
K02	9:47	138	04	25.2 E	36	02	10.0 N	4.45	13.9	61.0	100	5.7
K03	9:53	138	04	11.6 E	36	02	21.7 N	4.85	14.2	63.0	90	5.8
K04	10:00	138	03	53.1 E	36	02	33.2 N	4.55	16.8	72.7	85	6.3
K05	10:07	138	03	44.9 E	36	02	45.7 N	4.05	13.7	65.6	100	5.9
K06	10:14	138	03	30.2 E	36	02	58.2 N	3.10	6.7	87.0	83	3.6
K07	10:20	138	03	16.3 E	36	03	10.4 N	1.95	18.9	65.6	73	6.2
K08	10:26	138	03	33.9 E	36	03	09.2 N	2.80	20.9	70.1	78	6.3
K09	10:32	138	03	51.0 E	36	03	17.8 N	3.45	17.7	73.4	87	6.5
K10	10:38	138	03	48.4 E	36	03	06.3 N	4.25	17.7	77.3	81	6.1
K11	10:46	138	04	02.5 E	36	02	54.8 N	5.15	17.4	68.2	70	6.2
K12	10:52	138	04	15.8 E	36	02	42.5 N	5.95	16.7	68.8	83	6.2
K13	10:59	138	04	29.6 E	36	02	29.7 N	6.10	13.7	89.0	95	6.5
K14	11:08	138	04	42.4 E	36	02	18.8 N	5.60	12.5	89.0	102	6.2
K15	11:16	138	04	56.0 E	36	02	06.5 N	0.85	11.4	92.9	no data	6.0
K16	11:25	138	05	11.9 E	36	02	15.1 N	3.45	13.5	80.5	95	5.9
K17	11:32	138	05	30.6 E	36	02	24.3 N	3.65	6.7	82.5	93	6.1
K18	11:39	138	05	47.3 E	36	02	33.0 N	1.85	15.2	80.5	95	6.2
K19	11:44	138	06	02.2 E	36	02	31.8 N	1.15	41.7	50.0	53	10.3
K20	11:50	138	06	18.9 E	36	02	41.5 N	1.65	13.0	76.0	no data	6.7
T01	9:32	138	06	36.0 E	36	02	59.8 N	1.90	20.7	76.0	80	10.6
T02	10:20	138	06	39.2 E	36	03	11.3 N	2.05	20.9	89.6	82	11.4
T03	10:27	138	06	33.3 E	36	03	27.3 N	2.15	15.3	67.5	103	8.4
T04	10:35	138	06	20.2 E	36	03	40.0 N	2.30	13.0	59.7	110	7.3
T05	10:44	138	06	05.6 E	36	03	52.4 N	2.30	12.1	57.8	120	7.0
T06	10:53	138	05	42.2 E	36	03	50.1 N	3.10	14.6	70.8	100	7.2
T07	11:03	138	05	26.9 E	36	03	50.2 N	2.90	17.3	75.3	100	8.0
T08	11:19	138	05	10.3 E	36	03	40.0 N	4.10	15.6	74.0	113	6.8
T09	11:25	138	05	25.5 E	36	03	40.0 N	4.60	14.9	78.6	102	6.7
T10	11:31	138	05	56.9 E	36	03	37.4 N	4.10	14.9	81.8	90	6.8
T11	11:38	138	06	10.0 E	36	03	25.3 N	3.30	13.1	80.5	88	6.8
T12	11:44	138	06	22.8 E	36	03	12.9 N	2.15	18.4	79.9	87	7.0
T13	11:53	138	06	19.6 E	36	02	51.7 N	2.40	15.8	92.9	83	7.1
T14	11:59	138	06	06.3 E	36	03	03.6 N	3.80	14.0	90.3	88	7.0
T15	12:10	138	05	52.9 E	36	03	16.3 N	5.10	14.8	90.3	101	7.0
T16	12:17	138	05	39.7 E	36	03	27.9 N	5.20	13.1	81.2	105	6.1
T17	12:25	138	05	21.5 E	36	03	18.0 N	5.60	14.8	82.5	100	6.2
T18	12:36	138	05	36.0 E	36	03	06.2 N	4.50	15.3	90.3	95	6.1
T19	12:43	138	05	50.7 E	36	02	55.5 N	4.70	14.6	102.6	101	5.9
T20	12:53	138	06	03.0 E	36	02	42.2 N	4.00	15.9	79.2	93	6.8

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

表10 諏訪湖の水質データ（2006年9月20日）続き  
Table 10. Observed water quality data in Lake Suwa on September 20, 2006  
(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	20.7	20.6	20.6	20.5	20.4	20.2				9.17	9.11	8.91	8.41	7.89	0.19			
C02	20.6	20.6	20.4	20.1	20.1					9.78	9.75	9.10	6.58	0.41				
C03	20.7	20.7	20.6	20.6	20.5	19.9				9.16	9.08	8.89	8.78	8.52	0.35			
C04	20.6	20.5	20.5	no data						9.20	9.14	9.11	no data					
C05	20.6	20.6	20.5	20.5	20.3	18.5				9.00	8.98	8.83	8.77	8.28	0.38			
C06	20.7	20.7	20.6	no data						9.58	9.60	9.38	no data					
C07	20.8	20.7	20.2							9.55	9.43	0.51						
C08	20.5	20.5	20.4	20.4	20.4	20.3				8.95	8.83	8.90	8.72	8.37	0.29			
C09	20.7	20.7	20.6	20.6	20.6	20.5	no data			8.63	8.66	8.38	8.46	8.31	8.01	no data		
C10	20.7	20.7	20.6	20.6	20.6	20.6	20.5			8.61	8.55	8.40	8.25	8.25	8.20	4.85		
C11	20.7	20.7	20.7	20.6	20.6	20.6	20.6			8.84	8.78	8.62	8.56	8.46	8.38	5.06		
C12	20.8	20.7	20.7	20.7	20.7	20.6	20.4			9.38	9.35	9.22	9.14	9.20	8.66	7.37		
C13	20.8	20.7	20.7	20.7	20.7	20.6	20.4			9.29	9.18	9.29	9.06	9.11	8.53	7.38		
C14	20.8	20.8	20.7	20.7	20.6	20.6	20.2			9.01	8.95	8.81	8.74	8.43	8.31	5.79		
C15	20.8	20.8	20.8	20.8	20.7	20.7	no data			9.21	9.30	9.19	8.96	8.63	8.40	no data		
C16	20.8	20.8	20.7	20.7	20.7	20.7	no data			9.35	9.20	9.15	9.05	8.95	8.80	no data		
C17	20.7	20.7	20.7	20.6	20.5	20.3				9.58	9.55	9.48	9.38	8.86	7.10			
C18	20.8	20.8	20.8	20.8	20.7	20.6	no data			8.88	8.65	8.55	8.49	8.35	7.47	no data		
C19	20.8	20.8	20.8	20.8	20.7	20.7	no data			8.65	8.65	8.62	8.55	8.40	8.21	no data		
C20	20.9	20.8	20.8	20.8	20.8	20.7				8.95	9.03	9.03	8.98	8.90	8.92			
K01	20.6	20.5	20.5	20.4	20.3					7.87	7.81	7.57	7.28	5.49				
K02	20.5	20.5	20.4	20.4	20.3	20.3				7.43	7.45	7.26	7.18	6.96	3.67			
K03	20.5	20.5	20.5	20.4	20.3	20.2				7.31	7.24	7.12	6.83	6.66	4.36			
K04	20.7	20.6	20.6	20.5	20.4	20.4				7.53	7.48	7.41	7.00	6.76	3.87			
K05	20.5	20.5	20.4	20.4	20.3	20.3				7.57	7.47	7.26	7.21	6.73	5.71			
K06	20.5	20.5	20.4	20.3	20.3					7.83	7.81	7.71	6.92	4.00				
K07	20.5	20.4	20.3							7.79	7.87	7.41						
K08	20.5	20.5	20.5	20.4						8.13	8.07	7.95	6.00					
K09	20.6	20.6	20.5	20.4	19.1					8.34	8.34	8.11	7.91	3.24				
K10	20.7	20.6	20.6	20.5	20.5	20.5				7.96	7.98	7.78	7.58	7.24	2.96			
K11	20.7	20.7	20.6	20.6	20.6	20.5	20.5			7.50	7.43	7.38	7.28	7.22	6.77	2.01		
K12	20.7	20.7	20.7	20.6	20.6	20.6	20.5			7.65	7.57	7.56	7.53	7.48	7.41	3.82		
K13	20.8	20.8	20.8	20.7	20.6	20.6	20.3	20.3		8.84	8.85	8.80	8.36	7.94	7.91	5.29	1.03	
K14	20.8	20.8	20.8	20.7	20.6	20.4	20.4			9.09	9.10	8.93	8.74	8.36	7.11	5.13		
K15	21.4	20.7								11.96	9.02							
K16	20.9	20.9	20.8	20.7	20.7					8.88	8.92	8.83	8.61	7.28				
K17	20.9	20.8	20.8	20.7	20.5					9.20	9.14	9.02	9.00	3.89				
K18	20.8	20.8	20.8							9.48	9.45	8.59						
K19	19.8	18.7	18.2							8.92	8.46	8.04						
K20	21.1	20.9	20.5							10.68	10.38	8.87						
T01	21.0	20.9	20.6							8.49	8.29	7.30						
T02	21.3	21.2	20.8							9.20	9.04	7.55						
T03	21.6	21.5	20.9							8.60	8.44	6.35						
T04	21.6	21.6	20.9	20.9						8.04	7.92	5.64	5.72					
T05	21.6	21.5	20.8	20.8						8.44	8.37	4.95	3.55					
T06	21.2	21.1	20.8	20.4						9.01	8.71	7.99	6.74					
T07	21.2	21.2	20.8	20.5						8.97	8.60	7.97	7.32					
T08	20.7	20.7	20.6	20.3	20.0					8.22	8.10	7.57	6.44	5.80				
T09	20.9	20.9	20.8	20.5	20.4	20.4				8.21	8.15	7.92	6.89	6.56	6.55			
T10	21.1	21.1	21.0	20.9	20.6					8.52	8.51	8.13	8.02	6.89				
T11	21.2	21.1	20.8	20.8						9.76	9.56	9.07	8.93					
T12	20.8	20.8	20.7							8.97	8.89	8.49						
T13	20.8	20.7	20.7	20.7						9.03	8.97	8.66	8.80					
T14	20.9	20.8	20.8	20.7	20.6					8.95	8.93	8.67	8.62	8.12				
T15	20.9	20.9	20.8	20.7	20.7	20.5				9.05	8.97	8.83	8.75	8.45	7.85			
T16	20.9	20.9	20.8	20.8	20.5	20.3				8.34	8.09	8.05	8.01	7.38	7.30			
T17	20.8	20.7	20.7	20.7	20.6	19.0	19.0			8.02	7.90	7.70	7.60	7.45	5.44	5.30		
T18	20.8	20.8	20.8	20.8	20.7	20.7				8.05	7.99	7.82	7.93	7.85	7.92			
T19	20.8	20.8	20.8	20.8	20.7	20.8				8.40	8.23	8.19	8.15	8.08	7.89			
T20	20.9	20.9	20.8	20.2	19.9					9.25	9.06	8.88	8.25	4.60				

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.