

## 2018 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>, 宮原裕一<sup>2</sup>, 山本雅道<sup>3</sup>

<sup>1</sup>信州大学社会科学系, <sup>2</sup>信州大学山岳科学研究所, <sup>3</sup>信州大学理学系

Horizontal and vertical water quality distribution in Lake Suwa in the summer of 2018

H. Yanagimachi<sup>1</sup>, Y. Miyabara<sup>2</sup> & M. Yamamoto<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institute of Social Sciences, Shinshu University,

<sup>2</sup>Institute of Mountain Science, Shinshu University,

<sup>3</sup>Institute of Science, Shinshu University

2018 年 8 月 7 日の諏訪湖では, SS, Chl-*a*, IL が 2003 年以降の同時期の平均に近い状態であった。Trans. は同時期の平均的な状況よりも改善されていた。表層水温 W.T.0m は同時期の平均に近い状況であり, 中層から底層の水温は同時期の平均より高温であった。表層付近の DO は同時期平均よりも低く, DO4m は高かった。

2018 年 8 月 7 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 主成分は, SS, Chl-*a*, Trans. の変動を説明し, 第 2 主成分は W.T.0m の変動を説明するパターンである。

2018 年夏季の諏訪湖湖心における水深 0.5m と水深 1.5m の水温ピークは, いずれも 7 月 22 日(水深 0.5m 29.0°C, 水深 1.5m 28.7°C) に出現した。水深 3m のピークは 8 月 15 日 (27.4°C), 水深 5m のピークは 8 月 9 日 (26.1°C) 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, 2017 年までの 16 年間に 30 日間の水平分布に関するデータ, 2005 年以降の 22 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, 柳町ほか, 2014, 2015, 2016, 柳町ほか, 2017, 2018)。

2018 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 7 日に実施した。2013 年以前は夏季に 2~4 日観測を実施したが, 2014 年以降は夏季 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。

2018 年夏季も 2017 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, 2018 年夏季の諏訪湖の水質分布パターンと, 2018 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

2018 年 8 月 7 日の水質観測方法は, 2002~2017

年に実施の実施方法に準拠している。2015 年までの観測は 60 測点において行なったが、2016 年以降、2 艘の観測船により、計 30 測点において観測を実施し、2018 年も 30 測点での観測である。

各水質要素の 60 測点平均（2002～2015 年）と 30 測点平均（2002～2015 年）には大きな差はないため、30 測点による平均値は 60 測点による平均値と同程度に諏訪湖の水質を反映すると考えられる（柳町ほか、2017）。

30 測点の位置（図 1）は、GPS を用いて毎年ほぼ同じ場所になるようにしている。測点の名称は 2015 年までと同じである。2 艘の観測船はそれぞれ A ルート、B ルートで観測を行った。各ルートの観測順は、毎年若干異なっている（附表 1 と図 1 に 2018 年の各ルートの観測順を示した）。2018 年夏季は、A ルート 18 測点、B ルート 12 測点を観測した。

図 2 は 30 測点で計測した水深から作成した水深分布図である。

8 月 7 日の観測時間は 7:15～10:39、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）を附表 1 に記載した。

2017 年までの解析方法と同様に、2018 年 8 月 7 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、2017 年までと同様に、2018 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）の降水量、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）の気温は上昇傾向にあった（24.5℃（7:10）～29.0℃（10:40））。湖心（C15 測点）における水深 0.5m 水温（W.T.0.5m）（湖心付近のブイに接続した水温データロガー-HOBO U-26 により 10 分間隔で計測）は、27.2℃（7:10）から 27.0℃（8:10～8:30）へ低下、その後 27.7℃（10:40）まで上昇した（図 3）。観測時間帯を含む 3 時間 30 分間には 0.5℃の上昇である。

観測時間帯における他の水深の水温、すなわち水深 1.5m 水温（W.T.1.5m）、水深 3m 水温（W.T.3m）、水深 4m 水温（W.T.4m）の水温も上昇傾向であったが、上昇幅は水深 0.5m 水温（W.T.0.5m）よりも小さかった。水深 5m 水温（W.T.5m）は、逆に

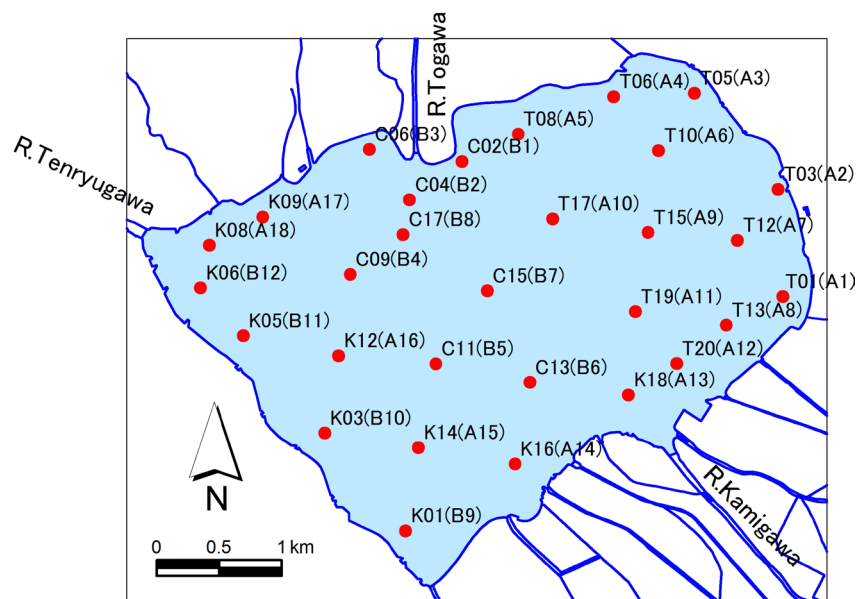


図 1 30 観測地点（A, B ルートの観測順）と流入・流出河川 2018 年 8 月 7 日

Fig.1. 30 survey points (observation order of A or B route) in Lake Suwa, inlets and outlet on August, 2018

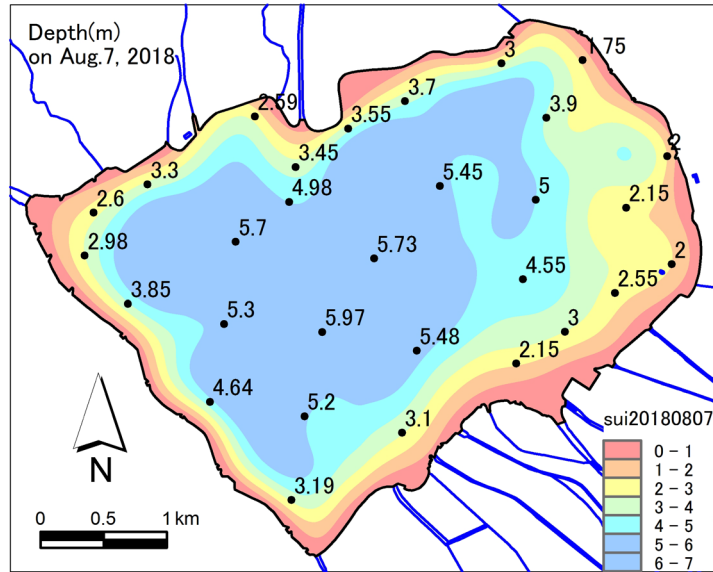


図2 観測日の諏訪湖の水深 2018年8月7日

Fig.2. Depth of Lake Suwa on August 7, 2018

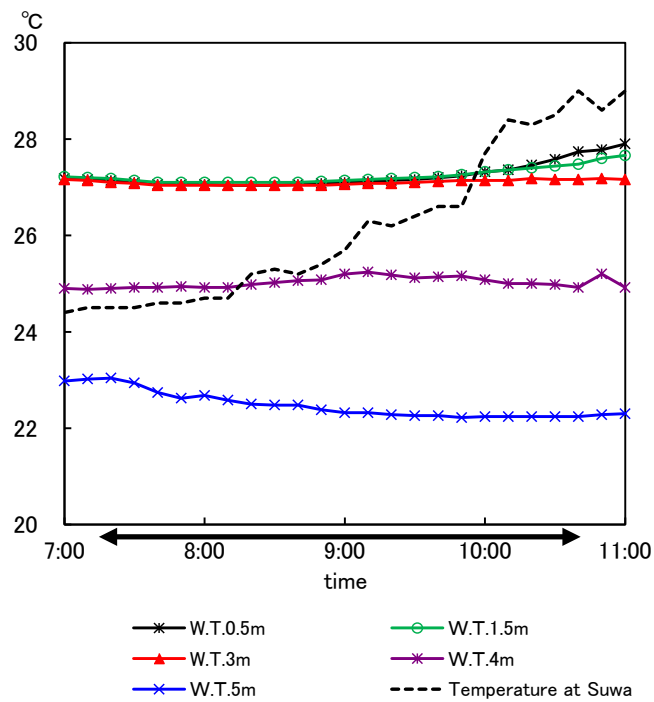


図3 2018年8月7日の湖心(C15)における水温と諏訪の気温  
矢印は観測時間帯を示す

Fig.3. Water temperatures at the center of Lake Suwa (C15) and temperature at Suwa observation station on August 7, 2018  
Arrow shows the time span of observation

低下傾向であった。(図3)。

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。

2018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0.1936( $p=0.3052$ )、スピアマンの順位相関係数は0.1507( $p=0.4267$ )であり(表1)、有意水準5%でいずれも統計的に有意な相関があるとは言えない。

W.T.0mと観測時刻との散布図(図4(a))をみると、10時以前は、Aルート、Bルートとも水温が低下・上昇し、10時以降は2ルートとも水温がやや上昇している。

時間経過とともに水温が上昇しているとは言いがたいため、時間経過に伴うW.T.0mの補正は実施しない。

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、Aルートの2測点(T03, T05)が特に小さな値を示し、その他の測点は、7.00~8.00mg/L付近の値を示す。

DO0m・DO1mと観測時刻との相関係数は、0.2067( $p=0.2731$ )・0.2125( $p=0.2595$ )、スピアマンの順位相関係数は0.1820( $p=0.3357$ )・0.1947( $p=0.3026$ )であり、いずれも有意水準5%で有意な相関関係はみられない(表1)。

T03, T05測点は、湖岸近くの水深が比較的浅い所(水深2.00m, 1.75m)に位置する。2017年8月23日、2016年8月9日など過去の多くの観測日においてもこの付近でDO値が低い。

## (2) 水質データの統計量

2018年8月7日の30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(a)に示す。Chl-*a*はマーカ法により算出した。K14測点のSS, ILは秤量時の計測ミスによりno dataとした。K14測点のTrans.も観測記録表への記載漏れによりno dataとした。

表2(b)は、2015年以前の60測点から、2016年以降の30測点と同じ測点のみ抽出し、2018年までの観測期間における各水質要素の最大値、最小値、平均値を示したものである。

8月7日におけるSS, Chl-*a*, IL, Trans.の平均(SS 10.2mg/L, Chl-*a* 35.4 $\mu$ g/L, IL 5.7mg/L, Trans.

131.3cm)(表2(a))を、2003~2018年7・8月の19観測日平均(2005年以降測定しているILは2005~2018年8月の13観測日平均(2005年以降の7・8月観測日はすべて8月)(SS 11.1mg/L, Chl-*a* 49.8 $\mu$ g/L, IL 7.9mg/L, Trans. 118.6cm)(表2(b))と比較する。

8月7日のSS, Chl-*a*, ILの平均は、7・8月の19観測日(ILは13観測日)平均よりやや低く、19または13観測日中の順位(降順)はそれぞれ12位, 10位, 8位であり、これら3要素から見た諏訪湖の水質は同時期の平均に近い状況であった。

Trans.の平均は19観測日の平均よりも12.6cm高く、19観測日中6番目に高かった。Trans.は同時期の平均的な状況よりも改善されていた。

なお、8月7日のSS, Chl-*a*, IL, Trans.の平均値は、2017年8月23日(柳町ほか, 2018)と類似した傾向を示した。

次に、8月7日の水深1m毎水温(W.T.0m~W.T.5m)平均(W.T.0m 27.4 $^{\circ}$ C, W.T.1m 27.5 $^{\circ}$ C, W.T.2m 27.3 $^{\circ}$ C, W.T.3m 27.0 $^{\circ}$ C, W.T.4m 26.1 $^{\circ}$ C, W.T.5m 24.4 $^{\circ}$ C)(表2(a))を、W.T.1m~W.T.5mの測定を開始した2005年以降の8月14観測日の水深1m毎水温平均(W.T.0m 27.1 $^{\circ}$ C, W.T.1m 26.5 $^{\circ}$ C, W.T.2m 25.8 $^{\circ}$ C, W.T.3m 24.9 $^{\circ}$ C, W.T.4m 23.6 $^{\circ}$ C, W.T.5m 22.1 $^{\circ}$ C)(表2(b))と比較する。

8月7日のW.T.0mは2005年以降の14観測日平均よりも0.2 $^{\circ}$ C高く、2003年以降の19観測日平均との比較では1.0 $^{\circ}$ C高い。19または14観測日中の順位(降順)はいずれも6位であり、2005年以降の同時期平均に近い状況であった。

W.T.1m~W.T.5mの平均は、いずれも14観測日平均よりも高く、14観測日平均との差は、W.T.1m 1.1 $^{\circ}$ C, W.T.2m 1.5 $^{\circ}$ C, W.T.3m 2.1 $^{\circ}$ C, W.T.4m 2.4 $^{\circ}$ C, W.T.5m 2.3 $^{\circ}$ Cであり、水深が深いほど差が大きくなる傾向がある。14観測日中の順位(降順)は、W.T.1m 3位, W.T.2m 2位, W.T.3m 1位, W.T.4m 1位, W.T.5m 2位であり、いずれの水深の水温も高温であった。

表層水温は平均的な状況であったが、中層から底層では同時期平均よりも高温であり、特にW.T.3m, W.T.4m水温は14観測日中最も高温であった。

水深1m毎水温と同様に、8月7日の水深1m毎DO平均値(DO0m 7.39mg/L, DO1m 7.31mg/L,

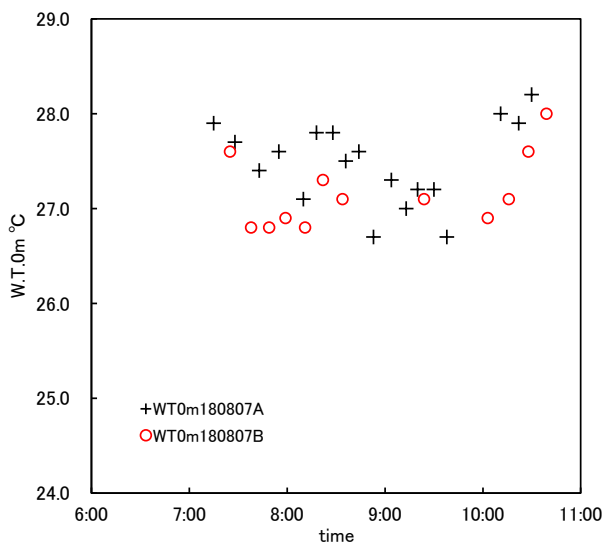
DO2m 6.96mg/L, DO3m 6.22mg/L, DO4m 4.23mg/L, DO5m 0.61mg/L) (表 2 (a)) を, 2005 年以降の 8 月 13 観測日の DO 平均値 (DO0m 8.78mg/L, DO1m 8.51mg/L, DO2m 7.28mg/L, DO3m 5.57mg/L, DO4m 2.94mg/L, DO5m 0.74mg/L) (表 2 (b)) と比較した。

8 月 7 日の DO は, DO0m, DO1m が 13 観測日平均より低く, DO4m が 13 観測日平均より高かった。DO2m, DO5m は 13 観測日平均程度であった。すなわち 8 月 7 日の表層付近の DO は同時期平均よりも低く, DO4m は同時期平均よりも高かった。

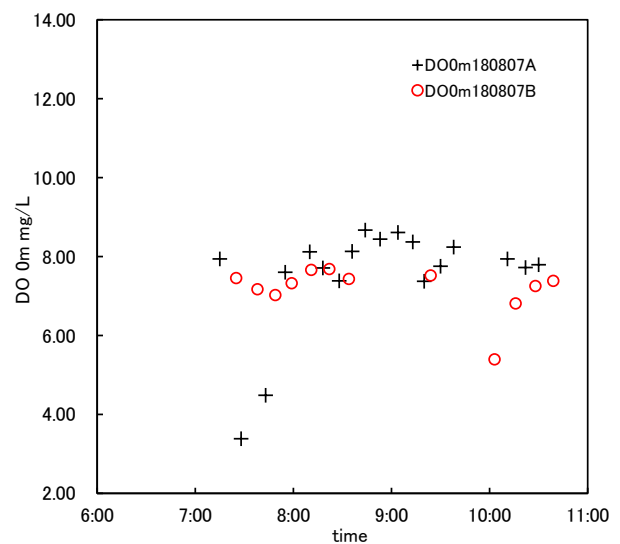
表1 観測時刻と水質要素間の相関係数, スピアマンの順位相関係数  
Table 1. Correlation coefficients and Spearman's rank correlation coefficients between the observation time and the water quality elements

	August 7, 2018				N
	r	p value	r <sub>s</sub>	p value	
SS	-0.2069	0.2816	-0.3686	0.0491 *	29
Chl-a	0.2980	0.1097	0.3085	0.0972	30
IL	-0.0505	0.7948	0.0616	0.7509	29
Trans.	0.1126	0.5610	0.0744	0.7014	29
DO 0m	0.2067	0.2731	0.1820	0.3357	30
DO 1m	0.2125	0.2595	0.1947	0.3026	30
DO 2m	-0.1289	0.5217	-0.0104	0.9590	27
DO 3m	-0.2574	0.2874	-0.2386	0.3253	19
DO 4m	0.0862	0.8009	0.1909	0.5739	11
DO 5m	0.6968	0.0819	0.0357	0.9394	7
W.T. 0m	0.1936	0.3052	0.1507	0.4267	30
W.T. 1m	-0.1030	0.5882	-0.1018	0.5924	30
W.T. 2m	-0.1489	0.4585	-0.1132	0.5739	27
W.T. 3m	-0.2281	0.3477	-0.2079	0.3930	19
W.T. 4m	0.1746	0.6076	0.1412	0.6787	11
W.T. 5m	0.5503	0.2005	0.3571	0.4316	7

\*: significant at 0.05 significant level.



(a) W. T. 0m on August 7, 2018



(b) DO 0m on August 7, 2018

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

+: A route, o: B route

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

(a) August 7, 2018

	SS(mg/L)	Chl- <i>a</i> ( $\mu$ g/L)	IL(mg/L)	Trans.(cm)	Depth(m)		
Max	14.7	59.2	10.8	159	5.97		
Min	4.3	10.4	3.3	96	1.75		
Mean	10.2	35.4	5.7	131.3	3.76		
S.D.	1.9	8.9	1.2	12.8	1.31		
N	29	30	29	29	30		

	DO0m(mg/L)	DO1m(mg/L)	DO2m(mg/L)	DO3m(mg/L)	DO4m(mg/L)	DO5m(mg/L)	DO6m(mg/L)
Max	8.67	8.64	8.57	8.12	7.79	7.79	2.72
Min	3.38	3.25	3.01	0.31	0.17	0.17	0.16
Mean	7.39	7.31	6.96	6.22	4.23	4.23	0.61
S.D.	1.14	1.16	1.40	2.40	3.15	3.15	0.94
N	30	30	27	19	11	7	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	28.2	28.3	28.2	28.2	27.5	26.1	
Min	26.7	26.8	25.3	25.4	24.0	22.8	
Mean	27.4	27.5	27.3	27.0	26.1	24.4	
S.D.	0.4	0.4	0.7	0.8	1.3	1.1	
N	30	30	27	19	11	7	0

(b) July and August, 2003~2018 at 30 observation points

	SS(mg/L)	Chl- <i>a</i> ( $\mu$ g/L)	IL(mg/L)	Trans.(cm)	Depth(m)		
Max	51.8	373.6	50.2	235	6.43		
Min	1.9	4.5	3.2	32	1.42		
Mean	11.0	49.8	7.9	118.6	3.85		
Observation period	2003~2018	2003~2018	2005~2018	2003~2018	2006~2018		
Observation days	19	19	13	19	13		

	DO0m(mg/L)	DO1m(mg/L)	DO2m(mg/L)	DO3m(mg/L)	DO4m(mg/L)	DO5m(mg/L)
Max	19.06	14.91	11.69	10.21	7.98	5.89
Min	0.71	0.38	0.12	0.17	0.01	0.00
Mean	8.78	8.51	7.28	5.57	2.94	0.74
Observation period	2005~2018	2005~2018	2005~2018	2005~2018	2005~2018	2005~2018
Observation days	13	13	13	13	13	13

	W.T.0m(°C)	W.T.1m(°C)	W.T.2m(°C)	W.T.3m(°C)	W.T.4m(°C)	W.T.5m(°C)
Max	31.4	31.4	29.3	28.4	28.2	27.5
Min	21.9	23.7	23.8	19.9	19.4	17.9
Mean	26.4	27.1	26.5	25.8	24.9	23.6
Observation period	2003~2018	2005~2018	2005~2018	2005~2018	2005~2018	2005~2018
Observation days	19	14	14	14	14	14

IL on Aug.4, 2006 and DO on Aug.8, 2007 are excluded from the calculations.

### (3) 表層水質データの水平分布

8月7日の表層水質4要素(SS, Chl-*a*, Trans., W.T.0m)の分布図を図5に示す。SSは諏訪湖南東岸付近、北東部で高く、Chl-*a*は南部で高い。

Trans.はSSとほぼ逆の分布傾向にあり、諏訪湖南東岸付近と北東部で低い。SSとChl-*a*が低い東岸(T03)のTrans.は、159cmと最も高い。湖中央付近は135cm以上の透明度が高い地域となっている。

W.T.0mは、諏訪湖東部と西部で高く、南端から北部の砥川河口付近で低い。

### (4) 表層水質データの相関関係

8月7日の表層水質要素間の相関係数を表3に示す。前述のようにK14のSS, IL, Trans.はno dataであるため、K14を除外して相関係数を算出した。

SS, Chl-*a*, ILの3要素は、相互の相関係数が0.5以上であり、有意水準1%で相互に有意な正相

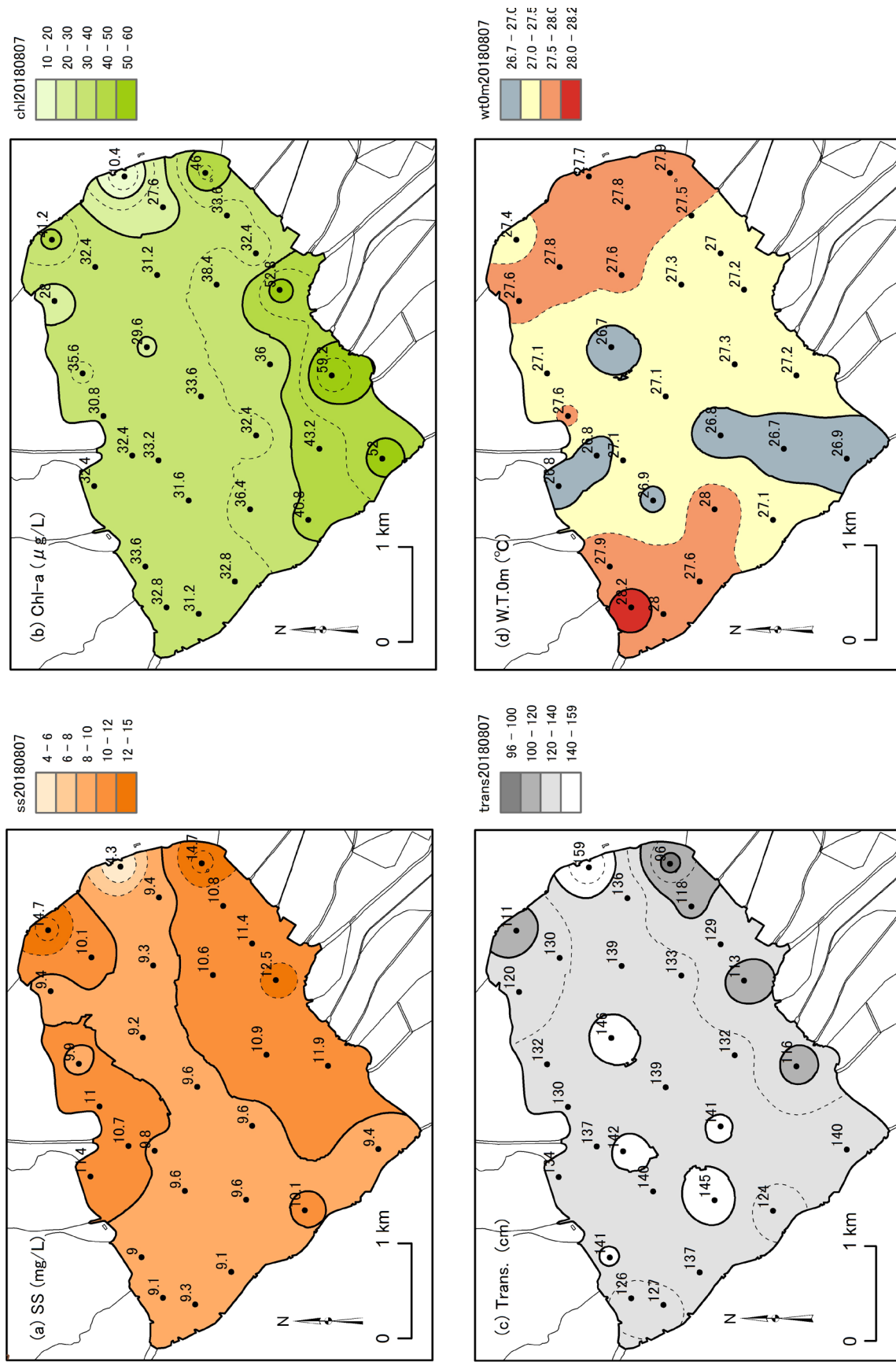


図 5 水質分布図 (2018 年 8 月 7 日) (a) 懸濁物質質量, (b) クロロフィル *a* 濃度, (c) 透明度, (d) 表層水温

Fig. 5. Water quality maps of Lake Suwa on August 7, 2018. (a)SS, (b) Chl-*a*, (c)Trans, (d)W.T.0m

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

August 7, 2018											
	SS	$\rho$	Chl- <i>a</i>	$\rho$	IL	$\rho$	Trans	$\rho$	DO 0m	$\rho$	W.T.0m
SS	1.0000										
Chl- <i>a</i>	0.6729	0.0001 **	1.0000								
IL	0.7837	0.0000 **	0.5002	0.0057 **	1.0000						
Trans	-0.8220	0.0000 **	-0.5964	0.0006 **	-0.6133	0.0004 **	1.0000				
DO 0m	0.2225	0.2461	0.1624	0.3998	-0.1191	0.5382	-0.1655	0.3908	1.0000		
W.T.0m	-0.1261	0.5145	-0.1897	0.3244	0.0382	0.8441	-0.1872	0.3309	0.0092	0.9622	

\*\* : significant at 0.01 significant level.

K14 is excluded from the calculations.

関である。SS, Chl-*a*, IL は類似した分布傾向であることを示す。Trans.は、これらの3要素と有意水準0.1%で有意な負相関である。

すなわち、要素間の相関係数から SS, Chl-*a*, IL の3要素と Trans.はほぼ逆の分布傾向であることが示唆される。この傾向は、2017年8月23日、2016年8月9日など過去の多くの観測日で確認されている（柳町ほか、2017, 2018, など）。

#### (5) 表層水質データの主成分分析

8月7日における、4種類の表層水質要素(SS, Chl-*a*, Trans., W.T.0m)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), 柳町ほか(2014, 2015, 2016), 柳町ほか(2017, 2018)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。

K14のSS, Trans.はno dataであるためK14測点を除外し、29測点を用いた分析を行った。

第3主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。

第1主成分の固有値は2.402, 寄与率は60.1%である。第2主成分の固有値は1.104, 寄与率は27.6%である。第1主成分と第2主成分により全変動の87.7%が説明される。

SS, Chl-*a*, Trans.の第1主成分の主成分負荷量は、それぞれ0.938, 0.843, -0.898であり、いずれも第2主成分以下の主成分負荷量よりも絶対値が大きい。SS, Trans.の2要素の変動は、主に第1主成分により説明される(SS 88.0%, Trans. 80.6%)。Chl-*a*は、第1主成分により変動の71.0%が説明され、第3主成分により24.8%が説明される。

W.T.0mの第2主成分の主成分負荷量は、-0.981

であり、第2主成分により変動の96.2%が説明される。

第1主成分は、SS, Chl-*a*, Trans.の変動を説明するパターンである。すなわち、「SS, Chl-*a*が高い所はTrans.が低い」、「SS, Chl-*a*が低い所はTrans.が高い」という変動を説明する。

第2主成分はW.T.0mの変動を説明するパターンである。

8月7日の第1主成分、第2主成分は、いずれも2017年8月23日、2016年8月9日など過去の多くの観測日で出現したパターンと同様の特徴を示した。

#### (6) 水質分布の特徴

4要素を対象とする第1主成分、第2主成分の主成分得点分布図を図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主成分の主成分得点の絶対値が大きい地域は第1主成分の特徴を最も反映する地域とみなすことができる。

主成分得点の符号を考慮した測点のグループ分けは、2008~2017年と同様の方法で行った(柳町ほか、2009, 2010, 2011, 2012, 2013), 柳町ほか(2014, 2015, 2016), 柳町ほか(2017, 2018)。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主成分、第2主成分それぞれの特徴を反映する地域と、漸移帯(第1主成分、第2主成分の特徴をあまり反映しない)を区別した。さらに、第1主成分、第2主成分の特徴を反映する地域は、第1主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主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。



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, 2018 N=29			
	Eigenvalue	Proportion	Cumulative proportion
Component 1	2.402	60.1%	60.1%
Component 2	1.104	27.6%	87.7%
Component 3	0.372	9.3%	96.9%

K14 is 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 7, 2018 N=29			
	Component 1	Component 2	Component 3
SS	0.938 **	0.034	-0.250
Chl- <i>a</i>	0.843 **	0.206	0.498 **
Trans	-0.898 **	0.315	0.192
W.T.0m	-0.078	-0.981 **	0.157

\*\* : significant at 0.01 significant level.

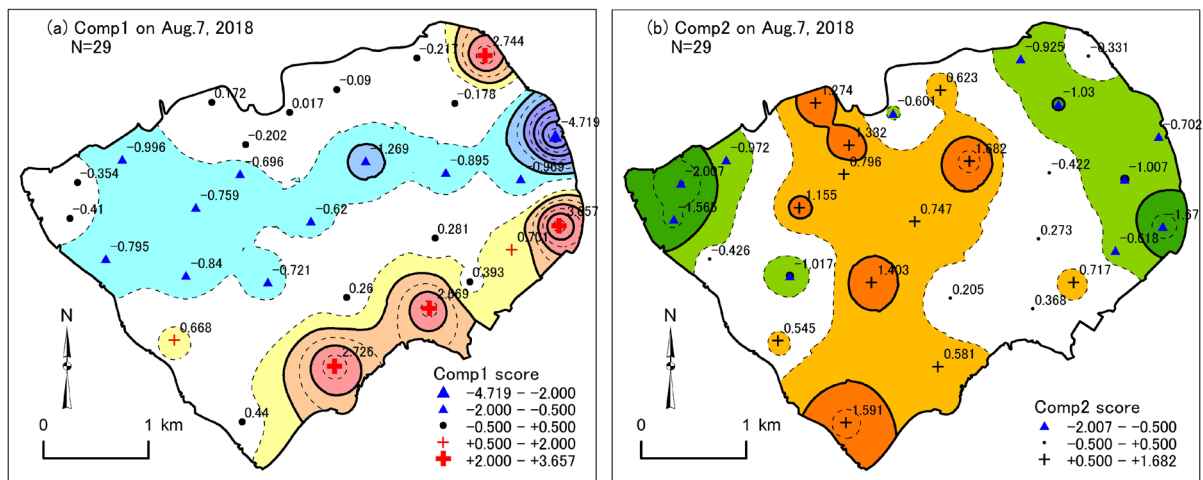


図6 4要素の主成分分析による主成分得点分布図, 2018年8月7日

(a) 第1主成分 (b) 第2主成分

Fig. 6. Distribution maps of the component scores of 4 elements PCA on August 7, 2018

(a) Component1 (b) Component2

表6 主成分得点に基づく地域区分の特徴, 2018年8月7日

Table 6. Characteristics of the regional divisions

based on the component scores on August 7, 2018

(a) Component1							
+ (Fig. 6(a))				▲(Fig. 6(a))			
SS	Chl- <i>a</i>	Trans.	W.T.0m	SS	Chl- <i>a</i>	Trans.	W.T.0m
+	+	-		-	-	+	

(b) Component2							
+ (Fig. 6(b))				▲(Fig. 6(b))			
SS	Chl- <i>a</i>	Trans.	W.T.0m	SS	Chl- <i>a</i>	Trans.	W.T.0m
			-				+

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

8月7日の第1主成分主成分得点分布図(図6(a))において、+は「SS, Chl-*a*が高く, Trans.が低い」地域, ▲は「SS, Chl-*a*が低く, Trans.が高い」地域を示す。

図6(a)では, 湖の南東岸~南岸付近と北東端部に「SS, Chl-*a*が高く, Trans.が低い」地域があり, 逆に, 「SS, Chl-*a*が低く, Trans.が高い」地域は, 東端部~中央部~西部にかけて分布する。

8月7日の第2成分主成分得点分布図(図6(b))において, +の地域「W.T.0mが低い」は, 南端から北部砥川河口付近に分布し, ▲の地域「W.T.0mが高い」は, 東部と西部に分布する。

### (7) 水温(W.T.)とDOの垂直分布

30測点における水深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)を附表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。30測点における水温とDOの垂直分布を図7に示す。

水深2m, 3m, または4mまで水温は殆ど低下せず, 水深2m, 3m, または4m以深で水温が低下する測点と, 湖底直上まで水温がほとんど変化しない測点がある(図7(a), 附表1)。水深が3.85m以深である測点では, T19測点を除き, 躍層が出現する水深は4mか5mとなる。また, 躍層が出現しない測点の水深は, 3.7mよりも浅い。

2018年8月7日のW.T.0mとW.T.4mの平均水温差は1.3°Cであり, 8月の14観測日中2番目に小さい値である。また, W.T.0mとW.T.5mの平均水温差は3.0°Cであり, 8月の14観測日中3番目に小さい値である。

水深1m毎の水温平均, 各測点の水温垂直分布から見て, 2018年8月7日は, 表層と低層の水温差は同時期の平均より小さい状況であった。2017年8月23日も同様の状況であったが(柳町ほか, 2018), 2018年8月7日はさらに水温差が小さかった。

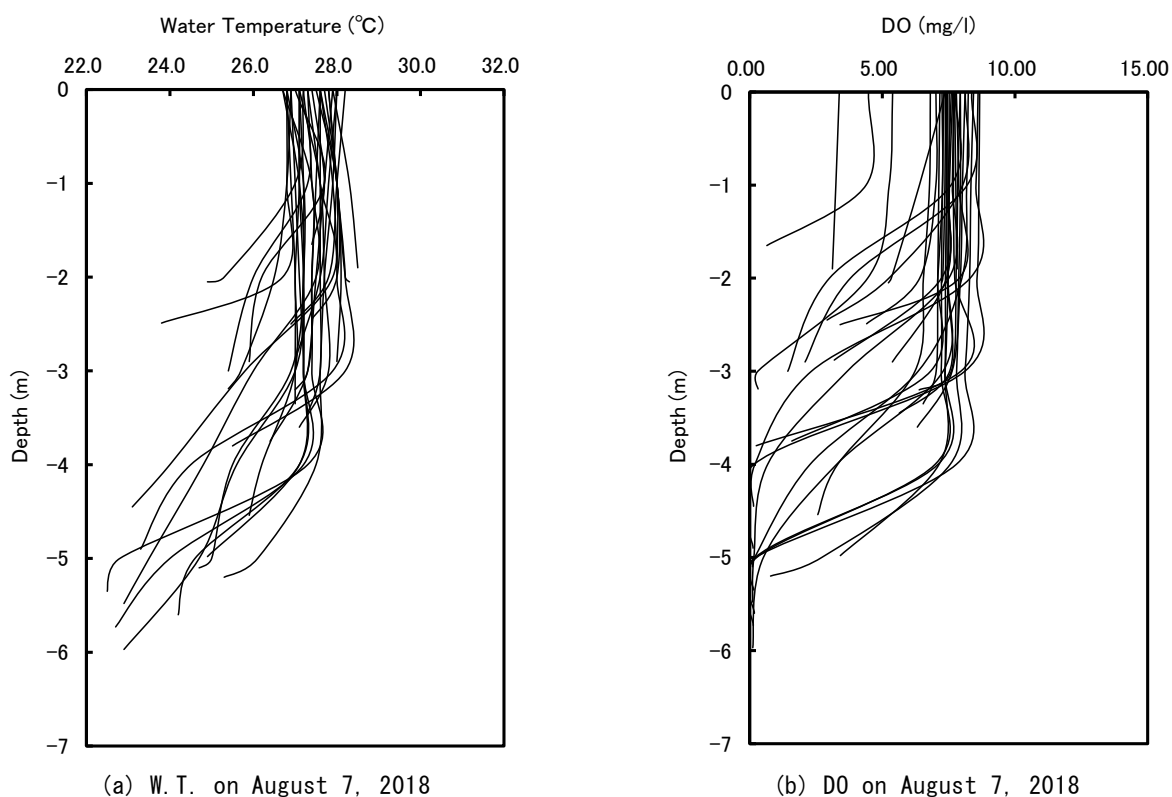


図7 測地点毎の水温とDOの垂直分布

Fig.7. Vertical distributions of water temperature and DO at 30 observation points in Lake Suwa

表層から水深 3m までの水深 1m 毎の水温平均は、それぞれ 27.4℃、27.5℃、27.3℃、27.0℃（表 2）であり、表層から中層にかけて水温がほとんど低下しない測点が多いことを反映している。

8 月 7 日の DO の垂直分布は、水深 2m、3m、または 4m まで DO は殆ど変化せず、水深 2m、3m、または 4m 以深で DO が急激に低下し、湖底直上付近で 0 に近い値を示す測点が非常に多かったが、湖底直上まで DO がほとんど変化しない測点も観測された（図 7 (b)）。

#### (8) 2018 年夏季の水温変化

2018 年夏季の諏訪湖湖心（C15）における水深 0.5m、1.5m、3m、5m の水温度変化（10 分間隔、太線は 24 時間移動平均）、諏訪（特別地域気象観測所）における日降水量を図 8 に示す。

2018 年夏季の諏訪湖の水深 0.5m 水温（24 時間移動平均、以下同様）と水深 1.5m 水温は、7 月中旬に約 2℃の水温度差が出現したが、7 月中旬以外の期間には極めて近接した値で推移した。

8 月 9 日頃まで、水深 0.5m・水深 1.5m 水温と水深 3m 水温には 1~7℃の差があり、水深 3m 水温と水深 5m 水温も 2~8℃の差を保持して推移した。

8 月 9 日頃、水深 0.5m、水深 1.5m、水深 3m、水深 5m の各水温はほぼ同じになった。8 月 9 日には、台風 13 号が銚子沖に接近し宮城沖を北上した。諏訪において台風の影響による強風が観測されており、湖水が攪拌されたためと考えられる。

以後、水深 0.5m、水深 1.5m、水深 3m 水温は近接した値となり水温度差が小さい状態で推移した。水深 5m 水温とこれらの 3 水深水温との差は拡大・縮小を繰り返しながら水温度差は次第に縮小した。

観測を実施した 8 月 7 日頃は、水深 0.5m 水温、水深 1.5m 水温、水深 3m 水温はほぼ同じであり、これらの水温と水深 5m 水温差は 4℃程度であった。従って、観測日の湖心付近において水深 3m 以深に水温躍層が出現していた。

観測日の W.T.0m と W.T.5m の 30 測点による平均水温度差は 3.0℃（表 2）と同時期としては小さかったが、図 8 から 2018 年 7 月後半には、表層水温と水深 5m 水温差は大きく、明瞭な水温度層が出現していたと推測される。諏訪における 2018 年 7 月の付き平均気温 25.5℃は、1945 年以降で

最も高く、また、7 月後半の降水量が少なかったため、水温度層が安定的に形成されていたと考えられる。

10 月下旬、水深 0.5m、1.5m、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。

2018 年夏季における、24 時間移動平均（図 8、1day mean）からみた湖心における水深 0.5m と水深 1.5m の水温ピークは、いずれも 7 月 22 日（水深 0.5m 29.0℃、水深 1.5m 28.7℃）、2 番目のピークはいずれも 8 月 6 日（水深 0.5m 28.5℃、水深 1.5m 28.1℃）に出現した。水深 3m のピークは 8 月 15 日（27.4℃）、2 番目のピークは観測日の 8 月 7 日（27.3℃）に出現した。水深 5m のピークは 8 月 9 日（26.1℃）、2 番目のピークは 8 月 11 日（25.6℃）に出現した。

諏訪における 2018 年夏季の気温は、7 月は平年値+2.8℃と非常に高温、8 月も平年比+1.3℃と高温であった。7 月非常に高温であったため、水深 0.5m と水深 1.5m の水温ピークが 7 月下旬に出現したと考えられる。

7 月の降水量は平年比 101.1%であり平年並み、8 月は 59.9%と平年よりも少雨であった。7 月 5 日の日降水量は 91mm と多く、各水深の水温が急激に低下した。9 月の降水量は平年比 189.6%と多雨であった。9 月 4 日の日降水量 66mm、9 月 29 日の 52.5mm など日降水量の多さは水深 5m 水温低下の原因と考えられる。ただし表層中層水温への影響は明瞭ではない。9 月 4 日は台風 21 号、9 月 29~30 日は台風 24 号の影響により多雨となった。

#### 4. まとめ

2018 年 8 月 7 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。

2018 年 8 月 7 日の諏訪湖の SS、Chl-a、IL は、例年同時期のほぼ平均状態であった。Trans.は同時期の平均的な状況よりも改善されていた。

表層水温は同時期平均に近い状況であった。中層から底層の水温は同時期の平均よりも高温傾向であった。

8 月 7 日の表層付近の DO は同時期の平均よりも低く、DO4m の DO は同時期平均よりも高かった。

2018 年 8 月 7 日の諏訪湖における表層 4 水質

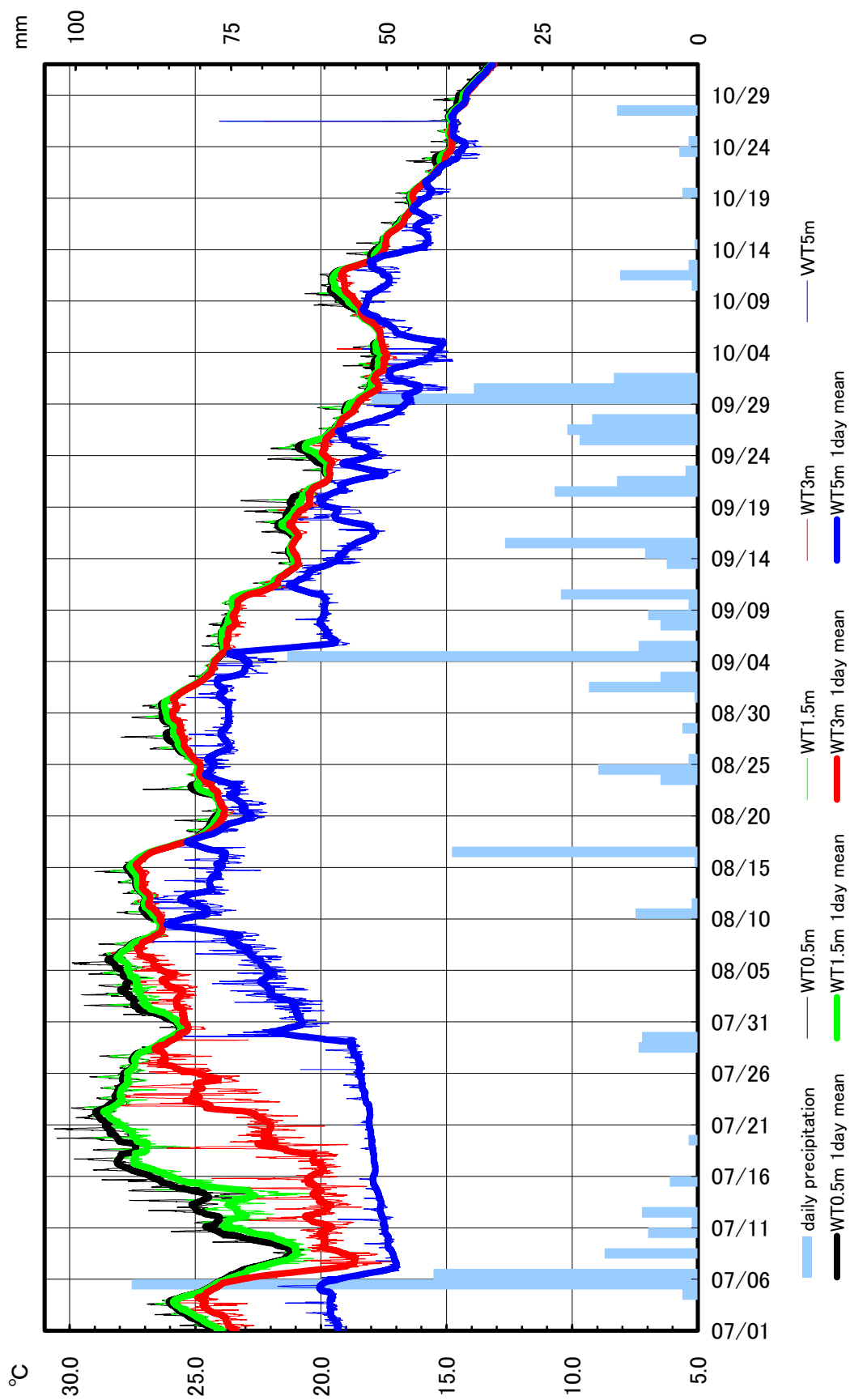


図8 2018年夏季の湖心(C15)における水深0.5m, 水深1.5m, 水深3m, 水深5mの水温変化と諏訪における日降水量の変化  
 Fig.8. Variations in water temperatures at depths of 0.5m, 1.5m, 3m and 5m at the center of Lake Suwa (C15) and variations in daily precipitation at Suwa observation station in the summer of 2018

要素 (SS, Chl-*a*, Trans., W.T.0m) を主成分分析し、第 1 主成分、第 2 主成分を主要な水質分布パターンとして抽出した。

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

2018 年 7 月後半、表層水温と水深 5m 水温差が大きく、明瞭な水温躍層が出現していた。

10 月下旬、水深 0.5m, 1.5m, 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。

湖心における水深 0.5m の水温ピークは、7 月 22 日 (29.0℃)、水深 1.5m の水温ピークは、7 月 22 日 (28.7℃)、水深 3m のピークは 8 月 15 日 (27.4℃)、水深 5m のピークは 8 月 9 日 (26.1℃) に出現した。

## 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。

## 【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.
- 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・宮原裕一・花里孝幸・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・宮原裕一・花里孝幸・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.
- 柳町晴美・宮原裕一・花里孝幸・山本雅道 (2016) : 2015 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, 38, 49-63.
- 柳町晴美・宮原裕一・山本雅道 (2017) : 2016 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, 39, 35-51.
- 柳町晴美・宮原裕一・山本雅道 (2018) : 2017 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, 40, 16-30.

(原稿受付 2019. 3. 5)

附表1 諏訪湖の水質データ (2018年8月7日)  
 Appendix table 1. Observed water quality data in Lake Suwa on August 7, 2018

Station	Route	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					
C02	B1	7:25	138	04	52.0 E	36	03	32.8 N	3.55	11.0	30.8	130	6.1
C04	B2	7:38	138	04	35.7 E	36	03	22.5 N	3.45	10.7	32.4	137	5.5
C06	B3	7:49	138	04	22.4 E	36	03	35.2 N	2.59	11.4	32.4	134	5.4
C09	B4	7:59	138	04	17.5 E	36	03	02.8 N	5.70	9.6	31.6	140	5.5
C11	B5	8:11	138	04	45.7 E	36	02	40.4 N	5.97	9.6	32.4	141	5.3
C13	B6	8:22	138	05	15.8 E	36	02	36.3 N	5.48	10.9	36.0	132	5.7
C15	B7	8:34	138	05	01.4 E	36	02	59.6 N	5.73	9.6	33.6	139	5.0
C17	B8	9:24	138	04	34.0 E	36	03	13.5 N	4.98	9.8	33.2	142	5.2
K01	B9	10:03	138	04	37.6 E	36	01	57.0 N	3.19	9.4	52.0	140	5.1
K03	B10	10:16	138	04	10.9 E	36	02	21.6 N	4.64	10.1	40.8	124	5.6
K05	B11	10:28	138	03	44.0 E	36	02	46.1 N	3.85	9.1	32.8	137	6.1
K06	B12	10:39	138	03	29.9 E	36	02	58.1 N	2.98	9.3	31.2	127	5.1
K08	A18	10:30	138	03	32.3 E	36	03	09.2 N	2.60	9.1	32.8	126	5.5
K09	A17	10:22	138	03	49.1 E	36	03	16.9 N	3.30	9.0	33.6	141	5.7
K12	A16	10:11	138	04	14.6 E	36	02	41.7 N	5.30	9.6	36.4	145	6.0
K14	A15	9:38	138	04	40.9 E	36	02	18.6 N	5.20	no data	43.2	no data	no data
K16	A14	9:30	138	05	11.9 E	36	02	15.1 N	3.10	11.9	59.2	116	7.0
K18	A13	9:20	138	05	47.3 E	36	02	33.8 N	2.15	12.5	52.8	113	6.5
T01	A1	7:15	138	06	35.6 E	36	03	00.4 N	2.00	14.7	46.0	96	6.4
T03	A2	7:28	138	06	33.1 E	36	03	28.1 N	2.00	4.3	10.4	159	3.3
T05	A3	7:43	138	06	05.5 E	36	03	52.2 N	1.75	14.7	41.2	111	10.8
T06	A4	7:55	138	05	39.8 E	36	03	50.7 N	3.00	9.4	28.0	120	5.2
T08	A5	8:10	138	05	09.7 E	36	03	40.3 N	3.70	9.9	35.6	132	4.9
T10	A6	8:18	138	05	54.6 E	36	03	37.1 N	3.90	10.1	32.4	130	5.5
T12	A7	8:28	138	06	20.6 E	36	03	14.6 N	2.15	9.4	27.6	136	5.4
T13	A8	8:36	138	06	17.9 E	36	02	52.6 N	2.55	10.8	33.6	118	5.9
T15	A9	8:44	138	05	52.0 E	36	03	15.9 N	5.00	9.3	31.2	139	5.2
T17	A10	8:53	138	05	21.5 E	36	03	18.7 N	5.45	9.2	29.6	146	5.0
T19	A11	9:04	138	05	48.7 E	36	02	55.4 N	4.55	10.6	38.4	133	5.9
T20	A12	9:13	138	06	02.4 E	36	02	42.3 N	3.00	11.4	32.4	129	6.3

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

附表1 諏訪湖の水質データ (2018年8月7日) 続き  
Appendix table 1. Observed water quality data in Lake Suwa on August 7, 2018  
(continued)

Station	W.T.(°C)								DO(mg/L)							
	0m	1m	2m	3m	4m	5m	6m	6m+	0m	1m	2m	3m	4m	5m	6m	6m+
C02	27.6	27.6	27.6	27.6	<i>27.3</i>				7.45	7.44	7.45	7.54	<i>5.64</i>			
C04	26.8	26.9	27.0	27.0	<i>27.0</i>				7.17	7.13	7.09	7.03	<i>6.54</i>			
C06	26.8	26.8	26.7	<i>23.8</i>					7.02	7.02	6.41	<i>4.41</i>				
C09	26.9	27.0	27.1	27.2	27.1	24.6	<i>24.2</i>		7.32	7.27	7.23	7.22	6.99	0.27	<i>0.18</i>	
C11	26.8	27.2	27.2	27.0	25.6	24.7	<i>22.9</i>		7.66	7.53	7.48	7.29	3.28	0.52	<i>0.12</i>	
C13	27.3	27.4	27.5	26.0	24.8	23.5	<i>22.9</i>		7.68	7.64	7.51	3.68	0.68	0.16	<i>0.12</i>	
C15	27.1	27.2	27.2	27.2	27.2	24.0	<i>22.7</i>		7.43	7.42	7.38	7.36	7.10	0.21	<i>0.14</i>	
C17	27.1	27.1	27.2	27.2	27.1	<i>24.9</i>			7.52	7.51	7.48	7.37	7.14	<i>3.42</i>		
K01	26.9	26.8	26.5	25.7	<i>25.4</i>				5.39	5.26	4.45	0.31	<i>0.32</i>			
K03	27.1	27.1	27.0	27.0	26.2	<i>25.9</i>			6.81	6.78	6.55	6.23	3.32	<i>2.57</i>		
K05	27.6	27.5	27.4	27.3	<i>26.4</i>				7.25	7.27	7.09	6.82	<i>1.59</i>			
K06	28.0	27.8	27.6	<i>27.0</i>					7.38	7.41	7.23	<i>3.19</i>				
K08	28.2	28.0	27.8	<i>26.9</i>					7.79	7.88	7.90	<i>3.41</i>				
K09	27.9	27.7	27.5	27.3	<i>27.0</i>				7.72	7.77	7.78	7.60	<i>6.39</i>			
K12	28.0	27.9	27.7	27.6	27.5	26.1	<i>25.3</i>		7.94	7.95	7.88	7.80	7.56	2.72	<i>0.79</i>	
K14	26.7	27.1	27.2	26.9	25.5	25.0	<i>24.7</i>		8.24	8.18	8.00	6.35	2.28	0.19	<i>0.11</i>	
K16	27.2	27.3	26.0	<u><i>25.4</i></u>					7.75	7.59	3.01	<u><i>1.44</i></u>				
K18	27.2	27.0	25.3	<i>24.9</i>					7.37	6.40	5.34	<i>5.23</i>				
T01	27.9	28.3	<i>28.5</i>						7.94	7.84	<i>7.82</i>					
T03	27.7	28.0	<i>28.0</i>						3.38	3.25	<i>3.12</i>					
T05	27.4	27.7	<i>27.4</i>						4.48	4.39	<i>0.65</i>					
T06	27.6	28.0	28.1	<i>28.0</i>					7.60	7.48	7.42	<i>5.38</i>				
T08	27.1	27.6	27.7	27.8	<i>27.1</i>				8.12	8.02	7.94	7.63	<i>6.32</i>			
T10	27.8	28.0	28.2	28.2	<i>25.5</i>				7.71	7.68	7.73	7.96	<i>0.25</i>			
T12	27.8	28.0	28.2	<i>28.3</i>					7.38	7.36	7.28	<i>7.23</i>				
T13	27.5	28.0	28.0	<i>27.4</i>					8.13	8.03	5.25	<i>2.92</i>				
T15	27.6	27.9	28.0	27.9	24.5	<i>23.3</i>			8.67	8.64	8.57	8.11	0.17	<i>0.13</i>		
T17	26.7	27.4	27.4	27.4	27.3	22.8	<i>22.5</i>		8.44	8.34	8.29	8.12	7.79	0.22	<i>0.16</i>	
T19	27.3	27.6	27.9	25.8	24.0	<i>23.1</i>			8.61	8.53	8.31	2.33	0.20	<i>0.15</i>		
T20	27.0	27.7	26.2	<i>25.9</i>					8.37	8.20	3.80	<i>2.09</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.