

## 2017 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 2016

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

2017 年 8 月 23 日の諏訪湖では, SS, Chl-*a*, IL が 2003 年以降の同時期のほぼ平均状態であった。Trans. は同時期平均よりも改善されていた。水温は, 表層は平年並み, 中層から底層にかけて同時期の平均よりやや高温であった。表層から中層の DO は同時期の平均よりも高かった。

2017 年 8 月 23 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。

2017 年夏季の諏訪湖湖心における水深 0.5m の水温ピークは, 8 月 6 日 (27.1°C), 水深 1.5m の水温ピークは, 8 月 12 日 (26.6°C), 水深 3m のピークは 8 月 14~15 日 (26.4°C), 水深 5m のピークは 8 月 7 日 (25.4°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, 2016 年までの 15 年間に 29 日間の水平分布に関するデータ, 2005 年以降の 21 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)。

2017 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 23 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。

2017 年夏季も 2016 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, 2017 年夏季の諏訪湖の水質分布パターンと, 2017 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

2017 年 8 月 23 日の水質観測方法は, 2002~2016 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, 2017 年は 2016 年と同様に, 2 艘の観測船により 15 測点ずつ計 30 測点において観測した。

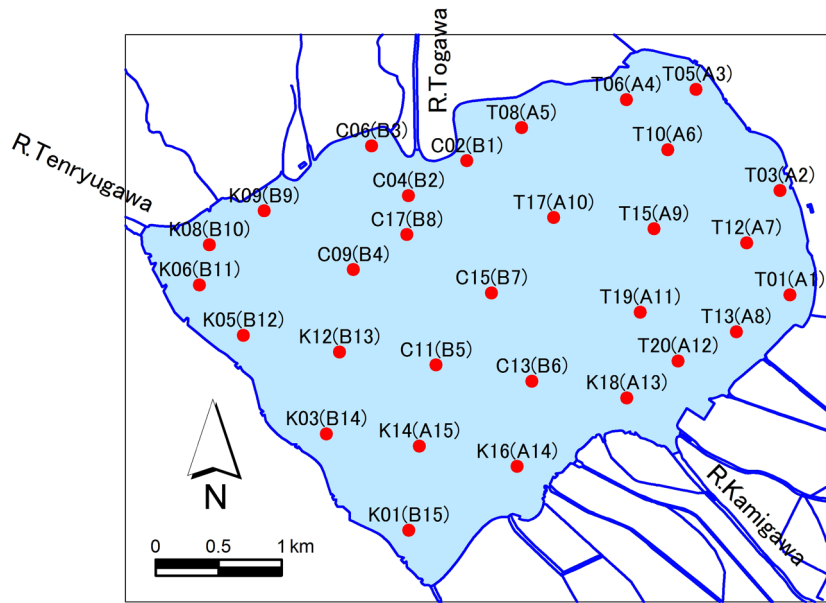


図1 30観測地点（A,Bルートでの観測順）と流入・流出河川

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

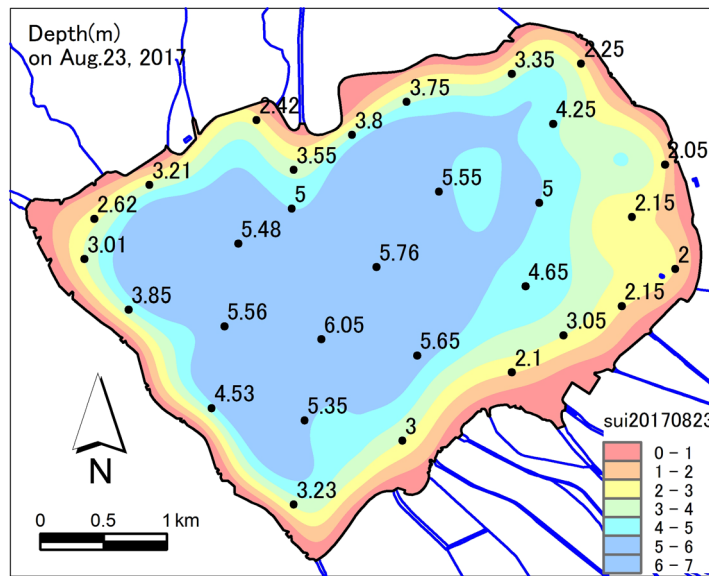


図2 観測日の諏訪湖の水深 2017年8月23日

Fig.2. Depth of Lake Suwa on August 23, 2017

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（附表1と図1に測点毎の観測順を示した）で観測を行った。Bルート

の観測順は、2016年夏季と一部異なっている。

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23日の観測時間は6:51~9:55, 所要時間は3時間4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。

2016年までの解析方法と同様に、2017年8月23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、2016年までと同様に、2017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)の気温はほぼ上昇傾向にあった。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 Water Temp Proにより10分間隔で計測)は、6時50分から10時00分までの3時間10分で0.3℃(25.3℃から25.6℃)と、わずかに上昇した(図3)。

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),水深5m水温(W.T.5m)の変化もごくわずかであり,水温が低下する時間帯も観測された。(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。

2017年8月23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0.6150( $p<0.001$ ),スピアマンの順位相関係数は0.5993( $p<0.001$ )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。

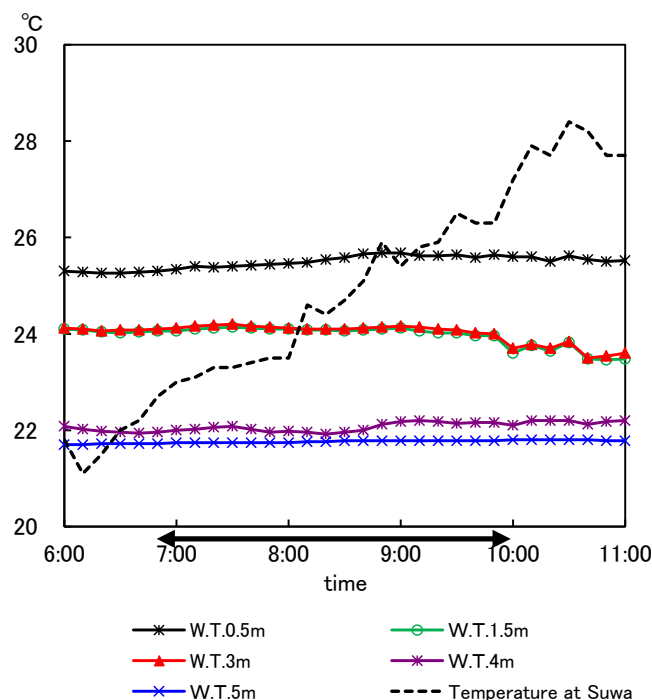


図3 2017年8月23日の湖心(C15)における水温と諏訪の気温  
矢印は観測時間帯を示す

Fig.3. Water temperatures at the center of Lake Suwa (C15) and temperature at Suwa observation station on August 23, 2017  
Arrow 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

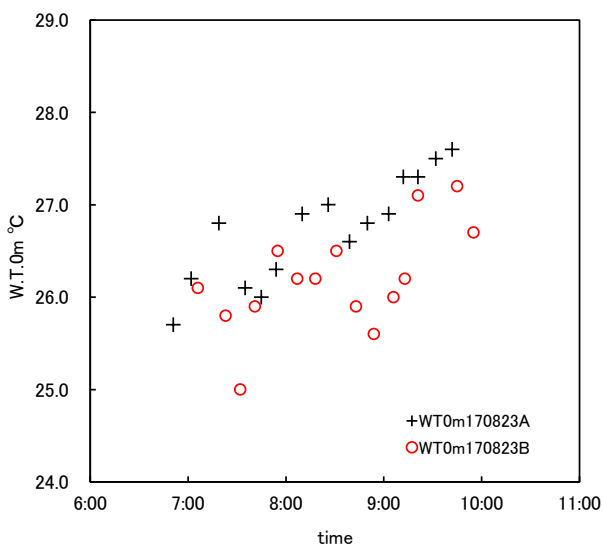
	August 23, 2017				
	r	p value	r <sub>s</sub>	p value	N
SS	-0.3739	0.0500 *	-0.3359	0.0805	28
Chl- <i>a</i>	-0.1924	0.3175	-0.0104	0.9575	29
IL	-0.3777	0.0434 *	-0.3402	0.0709	29
Trans.	0.1994	0.2996	-0.0062	0.9747	29
DO 0m	0.5822	0.0009 **	0.7094	0.0000 **	29
DO 0m	0.6792	0.0001 **	0.6508	0.0002 **	27
DO 1m	0.5709	0.0012 **	0.6633	0.0001 **	29
DO 1m	0.5383	0.0038 **	0.5964	0.0010 **	27
DO 2m	-0.0213	0.9160	-0.2888	0.1440	27
DO 3m	-0.6587	0.0022 **	-0.5509	0.0145 *	19
DO 4m	-0.1818	0.5717	-0.1541	0.6325	12
DO 5m	-0.5363	0.2146	-0.8154	0.0254 *	7
W.T. 0m	0.6150	0.0004 **	0.5993	0.0006 **	29
W.T. 1m	0.3043	0.1085	0.3845	0.0394 *	29
W.T. 2m	-0.4738	0.0126 *	-0.4694	0.0135 *	27
W.T. 3m	-0.6332	0.0036 **	-0.4945	0.0314 *	19
W.T. 4m	-0.2742	0.3884	-0.3509	0.2634	12
W.T. 5m	0.2035	0.6617	-0.0727	0.8768	7

\*\* : significant at 0.01 significant level.

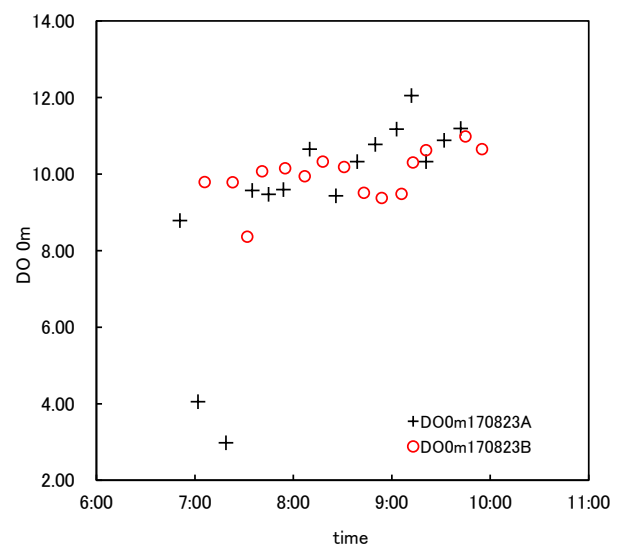
\* : significant at 0.05 significant level.

T20 is excluded from the calculations.

T03 and T05 are excluded from the calculations in the cases of DO0m(N=27) and DO1m(N=27).



(a) W. T. 0m on August 23, 2017



(b) DO 0m on August 23, 2017

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

W.T.0m と観測時刻との散布図 (図4(a)) をみると, Aルート, Bルートとも水温が時間経過とともにほぼ上昇傾向といえるが, 2ルートとも水

温が低下する時間帯がある。

8月23日の時間経過に伴う水温上昇率は, 過去に時間経過に伴う水温補正を行った観測日の

水温上昇率よりも小さいため、時間経過に伴う W.T.0m の補正は行わない。

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、その他の測点では若干上昇傾向が見られた。

DO0m・DO1m と観測時刻との相関係数は、T03, T05 を含むもの (N=29) と含まないもの (N=27) のいずれも、有意水準 1% で有意な正相関がある (表 1)。

T03, T05 測点は、湖岸近くの水深が比較的浅い所 (水深 2.05m, 2.25m) に位置する。2016 年 8 月 9 日など過去の観測でもこの付近で DO 値が低い、夏季にヒシが繁茂し、水中の光量が少なくなるためと考えられる。

## (2) 水質データの統計量

2017 年 8 月 23 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 はマーカー法により算出した。K05

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

(a) August 23, 2017

	SS(mg/L)	Chl-a( $\mu$ g/L)	IL(mg/L)	Trans.(cm)	Depth(m)
Max	26.0	235.8	22.2	159	6.05
Min	7.7	32.0	5.8	84	2.00
Mean	10.0	47.1	7.6	130.9	3.81
S.D.	3.5	36.9	3.0	18.6	1.33
N	29	30	30	30	30

	DO0m(mg/L)	DO1m(mg/L)	DO2m(mg/L)	DO3m(mg/L)	DO4m(mg/L)	DO5m(mg/L)	DO6m(mg/L)
Max	12.05	11.83	10.79	10.21	7.98	0.58	
Min	2.98	2.73	2.40	1.15	0.18	0.15	
Mean	9.69	9.47	8.34	7.30	3.02	0.23	
S.D.	1.85	1.94	1.96	2.20	2.80	0.16	
N	30	30	28	20	12	7	0

	W.T.0m( $^{\circ}$ C)	W.T.1m( $^{\circ}$ C)	W.T.2m( $^{\circ}$ C)	W.T.3m( $^{\circ}$ C)	W.T.4m( $^{\circ}$ C)	W.T.5m( $^{\circ}$ C)	W.T.6m( $^{\circ}$ C)
Max	27.6	27.2	26.9	26.3	25.4	23.4	
Min	25.0	25.2	23.8	24.4	23.0	22.4	
Mean	26.5	26.4	25.9	25.5	24.2	22.8	
S.D.	0.6	0.5	0.7	0.6	0.8	0.4	
N	30	30	28	20	12	7	0

(b) July and August, 2003~2017 at 30 observation points

	SS(mg/L)	Chl-a( $\mu$ 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	11.1	50.6	8.1	117.9	3.85
Observation period	2003~2017	2003~2017	2005~2017	2003~2017	2006~2017
Observation days	18	18	12	18	12

	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	8.90	8.61	7.31	5.51	2.83	0.75
Observation period	2005~2017	2005~2017	2005~2017	2005~2017	2005~2017	2005~2017
Observation days	12	12	12	12	12	12

	W.T.0m( $^{\circ}$ C)	W.T.1m( $^{\circ}$ C)	W.T.2m( $^{\circ}$ C)	W.T.3m( $^{\circ}$ C)	W.T.4m( $^{\circ}$ C)	W.T.5m( $^{\circ}$ C)
Max	31.4	31.4	29.3	28.4	27.2	26.3
Min	21.9	23.7	23.8	19.9	19.4	17.9
Mean	26.3	27.1	26.4	25.7	24.8	23.4
Observation period	2003~2017	2005~2017	2005~2017	2005~2017	2005~2017	2005~2017
Observation days	18	13	13	13	13	13

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

測点のSSは秤量時の記載ミスにより no data とした。

表 2 (b)は、2015 年以前の 60 測点から 2016 年・2017 年の 30 測点と同じ測点のみ抽出し、2017 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 23 日における SS, Chl-*a*, IL, Trans.の平均 (SS 10.0mg/L, Chl-*a* 47.1  $\mu$  g/L, IL 7.6mg/L, Trans. 130.9cm) (表 2 (a)) を、2003~2017 年 7・8 月の 18 観測日平均 (2005 年以降測定している IL は 2005~2017 年 8 月の 12 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* 50.6  $\mu$  g/L, IL 8.1mg/L, Trans. 117.9cm) (表 2 (b)) と比較する。

8 月 23 日の SS, Chl-*a* の平均は、7・8 月の 18 観測日平均よりやや低く、18 観測日中の順位 (降順) はそれぞれ 12 位、8 位であった。

8 月 23 日の IL の平均は、8 月の 12 観測日平均よりもやや低いが、12 観測日中の順位 (降順) は 5 位であった。

8 月 23 日の SS, Chl-*a*, IL の平均は、2003 年以降 18 観測日の平均よりやや低いものの平均に近接した値であり、諏訪湖は同時期の平均的な状況であった。

Trans.の平均は 18 観測日の平均よりも 13cm 高く、18 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。

8 月 23 日の水深 1m 毎水温 (W.T.0m~W.T.5m) 平均 (W.T.0m 26.5°C, W.T.1m 26.4°C, W.T.2m 25.9°C, W.T.3m 25.5°C, W.T.4m 24.2°C, W.T.5m 22.8°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 13 観測日の水深 1m 毎水温平均 (W.T.0m 27.1°C, W.T.1m 26.4°C, W.T.2m 25.7°C, W.T.3m 24.8°C, W.T.4m 23.4°C, W.T.5m 21.9°C) (表 2 (b)) と比較すると、8 月 23 日の W.T.2m~W.T.5m は、いずれも 13 観測日平均よりも高い。W.T.1m は 13 観測日平均と同じである。W.T.0m は 2005 年以降の 13 観測日平均よりも 0.6°C 低く、2003 年以降の 18 観測日平均より 0.2°C 高い。

2003 年・2004 年の観測日 (2003 年 7 月 3 日、2003 年 8 月 27 日、2004 年 7 月 13 日、2004 年 7 月 29 日、2004 年 8 月 30 日) を含む 18 観測日平均は、7 月上旬、8 月下旬の観測日も含むため、2005 年以降の 13 観測日平均よりも平均が低いと

考えられる。

表層水温は平均的な状況であり、中層から底層では平均よりもやや高温であったと推測される。

水深 1m 毎水温と同様に、8 月 23 日の水深 1m 毎 DO 平均値 (DO0m 9.69mg/L, DO1m 9.47mg/L, DO2m 8.34mg/L, DO3m 7.30mg/L, DO4m 3.02mg/L, DO5m 0.23mg/L) (表 2 (a)) を、2005 年以降の 8 月 12 観測日の DO 平均値 (DO0m 8.90mg/L, DO1m 8.61mg/L, DO2m 7.31mg/L, DO3m 5.51mg/L, DO4m 2.83mg/L, DO5m 0.75mg/L) (表 2 (b)) と比較した。

8 月 23 日の DO は、DO1m~DO4m が 12 観測日平均より高く、DO5m のみ 12 観測日平均より低かった。DO3m は 12 観測日中最も高い値であり、DO1m, DO2m の 12 観測日中の順位 (降順) はいずれも 4 位、DO4m, DO5m の順位 (降順) は 5 位、DO5m は 7 位であった。

8 月 23 日の表層から中層の DO は同時期の平均よりも高く、DO3m, DO4m の最大値は、2005 年 8 月 12 観測日の最大値であった。

### (3) 表層水質データの水平分布

8 月 23 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, Chl-*a* は、概ね諏訪湖北東部~南東部で高く、西部で低い。南東部の T20 測点における SS, Chl-*a* が最も高い。

Trans.は、SS, Chl-*a* とは逆に諏訪湖北東部~東部~南東部の湖岸沿いで低い。北西部~中央部で高く、砥川河口近くの C02, C04, C06 付近が最も高い。

W.T.0m は、諏訪湖中央部~南部で高く、北西岸付近で低い。

### (4) 表層水質データの相関関係

8 月 23 日の表層水質要素間の相関係数を表 3 に示す。T20 の SS, Chl-*a*, IL は、平均+3 $\sigma$ を超える異常値であるため、T20 を除外し、さらに T03 と T05 の DO0m も平均-3 $\sigma$ を超えるため、これら 2 測点の DO0m も除外して相関係数を算出した。

SS, Chl-*a*, IL の 3 要素は、相互の相関係数がいずれも 0.8 以上と高く、有意水準 0.1% で相互に有意な正相関であり、SS, Chl-*a*, IL が同じ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った。

相関係数から SS, Chl-*a*, IL の 3 要素と Trans.

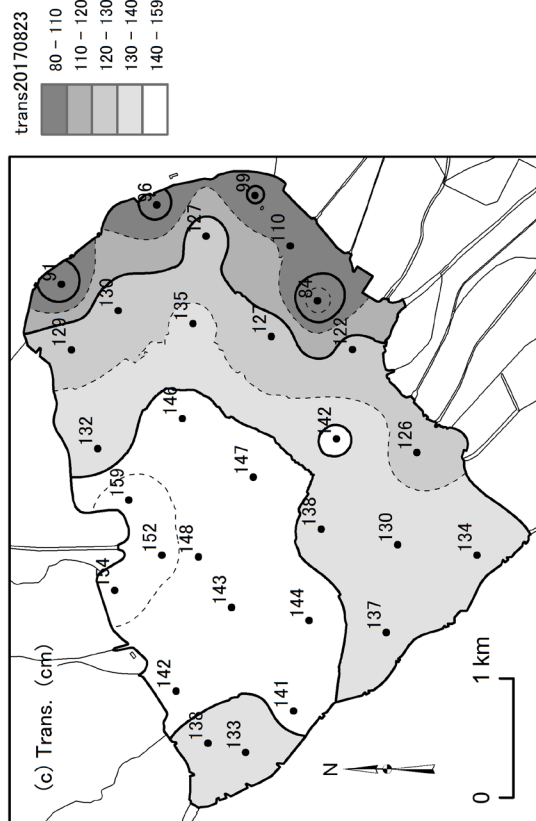
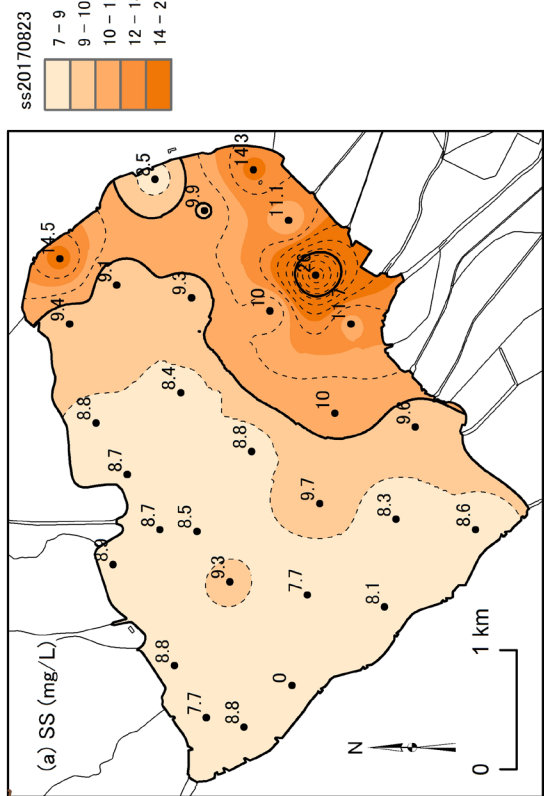
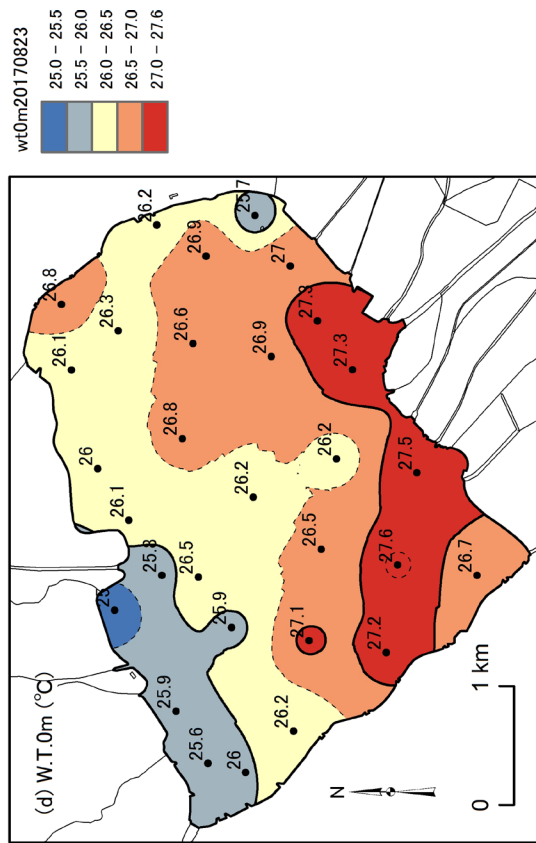
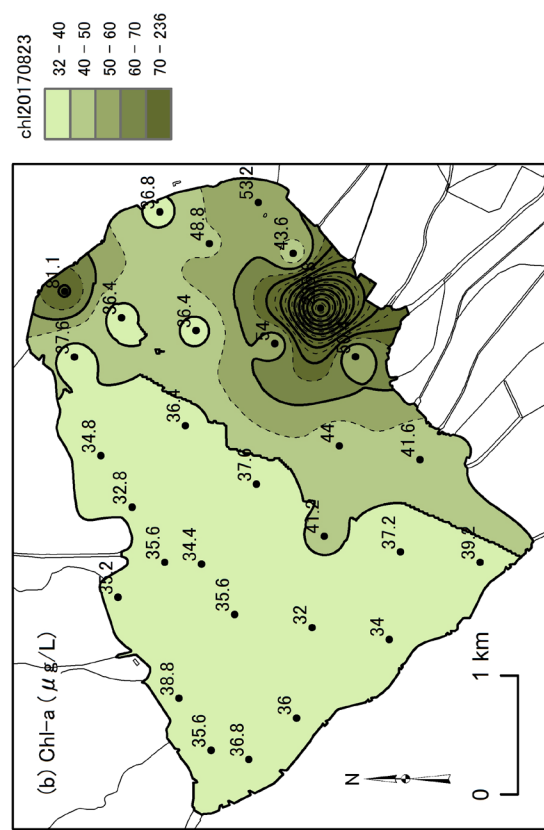


図 5 水質分布図 (2017 年 8 月 23 日) (a) 懸濁物質量, (b) クロロフィル *a* 濃度, (c) 透明度, (d) 表層水温  
Fig. 5. Water quality maps of Lake Suwa on August 23, 2017. (a)SS, (b) Chl-*a*, (c) Trans., (d)W.T.0m

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

August 23, 2017											
	SS	$\rho$	Chl- <i>a</i>	$\rho$	IL	$\rho$	Trans	$\rho$	DO 0m	$\rho$	
SS	1.0000										
Chl- <i>a</i>	0.8683	0.0000 **	1.0000								
IL	0.8921	0.0000 **	0.9074	0.0000 **	1.0000						
Trans	-0.7006	0.0000 **	-0.6823	0.0000 **	-0.7576	0.0000 **	1.0000				
DO 0m	-0.2838	0.1600	0.0781	0.6988	0.0130	0.9489	0.0453	0.8225	1.0000		
W.T.0m	0.0665	0.7366	0.2279	0.2344	0.2016	0.2942	-0.2589	0.1751	0.8305	0.0000 **	

\*\* : significant at 0.01 significant level.

\* : significant at 0.05 significant level.

T20, T03(DO0m) and T05(DO0m) are excluded from the calculations.

は逆の分布傾向であることが示唆される。この傾向は、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，など）。

#### (5) 表層水質データの主成分分析

8月23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)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K05のSSはno dataであり、T20のSS, Chl-*a*は平均±3 $\sigma$ を超える異常値であるためこれら2測点を除外し、28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2.564, 寄与率は64.1%である。第2主成分の固有値は0.969, 寄与率は24.2%である。第1主成分と第2主成分により全変動の88.3%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0.991, 0.932, -0.868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く、SS, Chl-*a*の2要素の変動は、主に第1主成分により説明される。Trans.は、第1主成分により変動の75%が説明され、第3主成分により25%が説明される。

W.T.0mの第2主成分の主成分負荷量は、-0.945であり、第2主成分により変動の89%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が高い所は、

Chl-*a*も高く、Trans.が低い」、「SSが低い所は、Chl-*a*も低く、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23日の第1主成分、第2主成分は、いずれも2016年8月9日など過去の多くの観測日でも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、2008~2016年と同様の方法で行った(柳町ほか, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017)。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。

8月23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。



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 23, 2017 N=28			
	Eigenvalue	Proportion	Cumulative proportion
Component 1	2.564	64.1%	64.1%
Component 2	0.969	24.2%	88.3%
Component 3	0.353	8.8%	97.1%

K05 and T20 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 23, 2017 N=28			
	Component 1	Component 2	Component 3
SS	0.919 **	0.261	0.164
Chl- <i>a</i>	0.932 **	0.085	0.271
Trans	-0.868 **	0.028	0.495 **
W.T.0m	0.313	-0.945 **	0.084

\*\* : significant at 0.01 significant level.

\* : significant at 0.05 significant level.

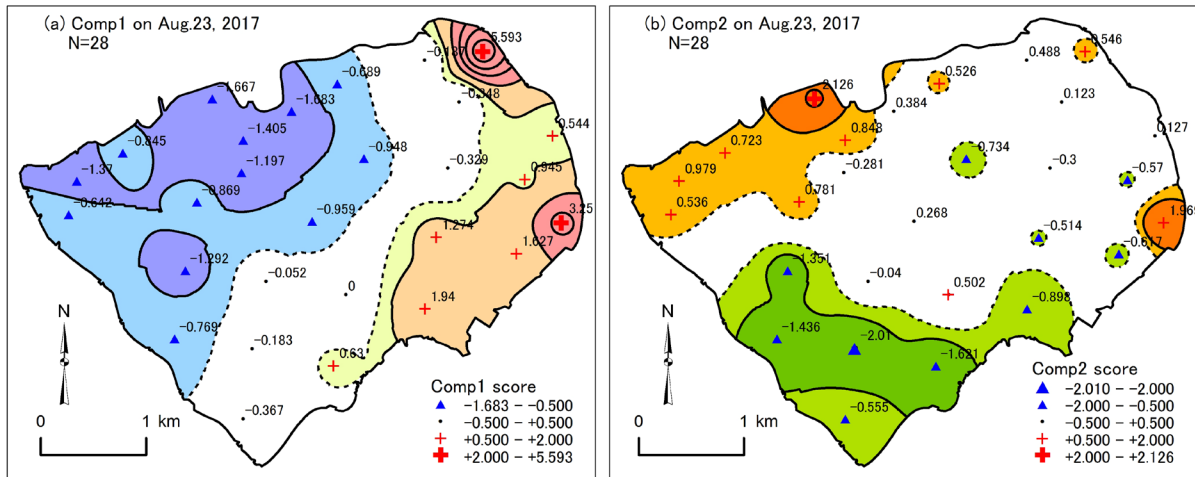


図6 4要素の主成分分析による主成分得点分布図, 2017年8月23日  
(a) 第1主成分 (b) 第2主成分

Fig. 6. Distribution maps of the component scores of 4 elements PCA on August 23, 2017  
(a) Component1 (b) Component2

表6 主成分得点に基づく地域区分の特徴, 2017年8月23日  
Table 6. Characteristics of the regional divisions based on the component scores on August 23, 2017

(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.

図6(a)では, 湖の北東部から南東部に「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, 北部~西部に分布する。

8月23日の第2成分主成分得点分布図(図6(b))において, 十の地域「W.T.0mが低い」は, 北西岸付近に分布し, ▲の地域「W.T.0mが高い」は, 湖南部に分布する。

### (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, 直上であつ 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 3m まで水温は殆ど低下せず, 水深 3m 以深または 4m 以深で水温が低下する測点が多い (図 7 (a))。

2017 年 8 月 23 日の W.T.0m と W.T.5m の平均水温差は 3.6°C であり, 8 月の 13 観測日中 5 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, 2017 年 8 月 23 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。

8 月 23 日の DO の垂直分布は, 測点により変化傾向が異なり, ばらついた垂直分布を示した。DO

値が表層から水深 3m または 4m まで殆ど変化せず, 水深 3m または 4m 以深で急激に低下し湖底直上付近で 0 に近い値を示す測点は多く観測された (図 7 (b))。

### (8) 2016 年夏季の水温変化

2017 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。8 月 27 日～9 月 8 日の期間は, 水深 0.5m, 1.5m のロガーが固定した水深からずれ水深 3m にあった可能性が高いと推測されるため, この期間の水深 0.5m, 1.5m の水温データを削除した。

2017 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 月末以降近接して推移した期間が長かった。水深 0.5m・水深 1.5m 水温と水深 3m 水温との差も, 7 月末以降, 小さい期間が長かった。

7 月～8 月は水深 3m 水温と水深 5m 水温との差

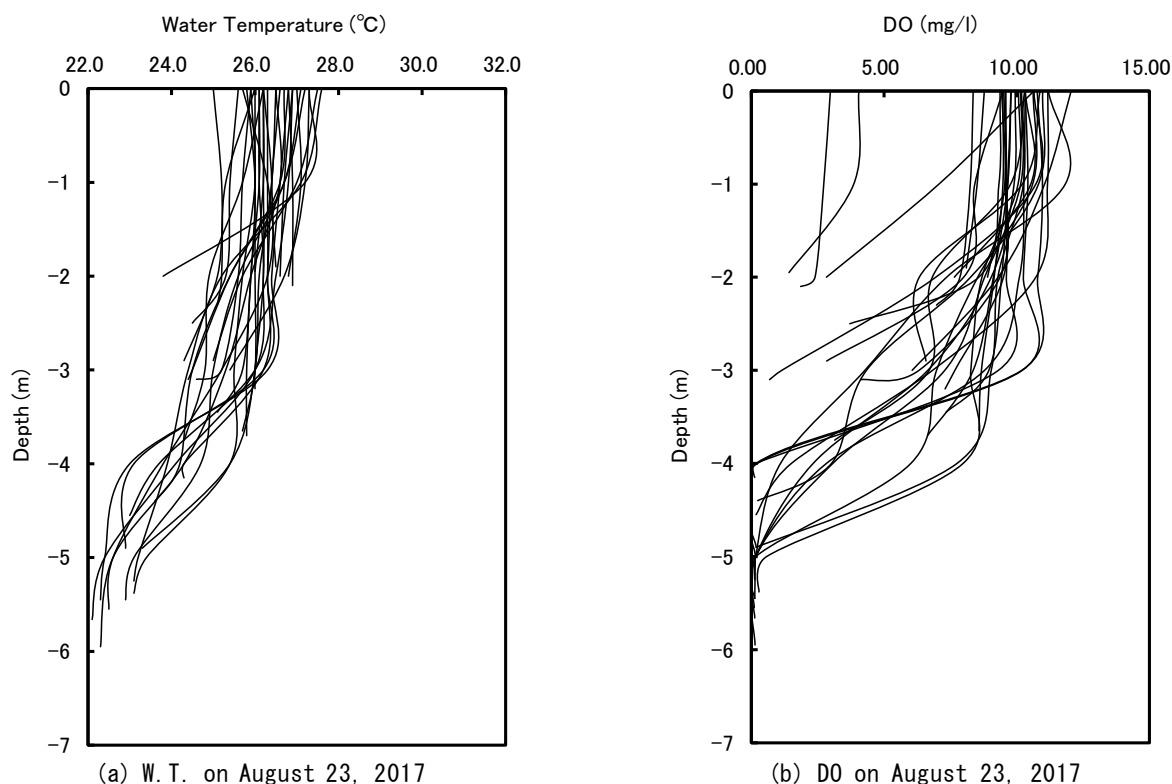


図 7 測地点毎の水温と DO の垂直分布

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

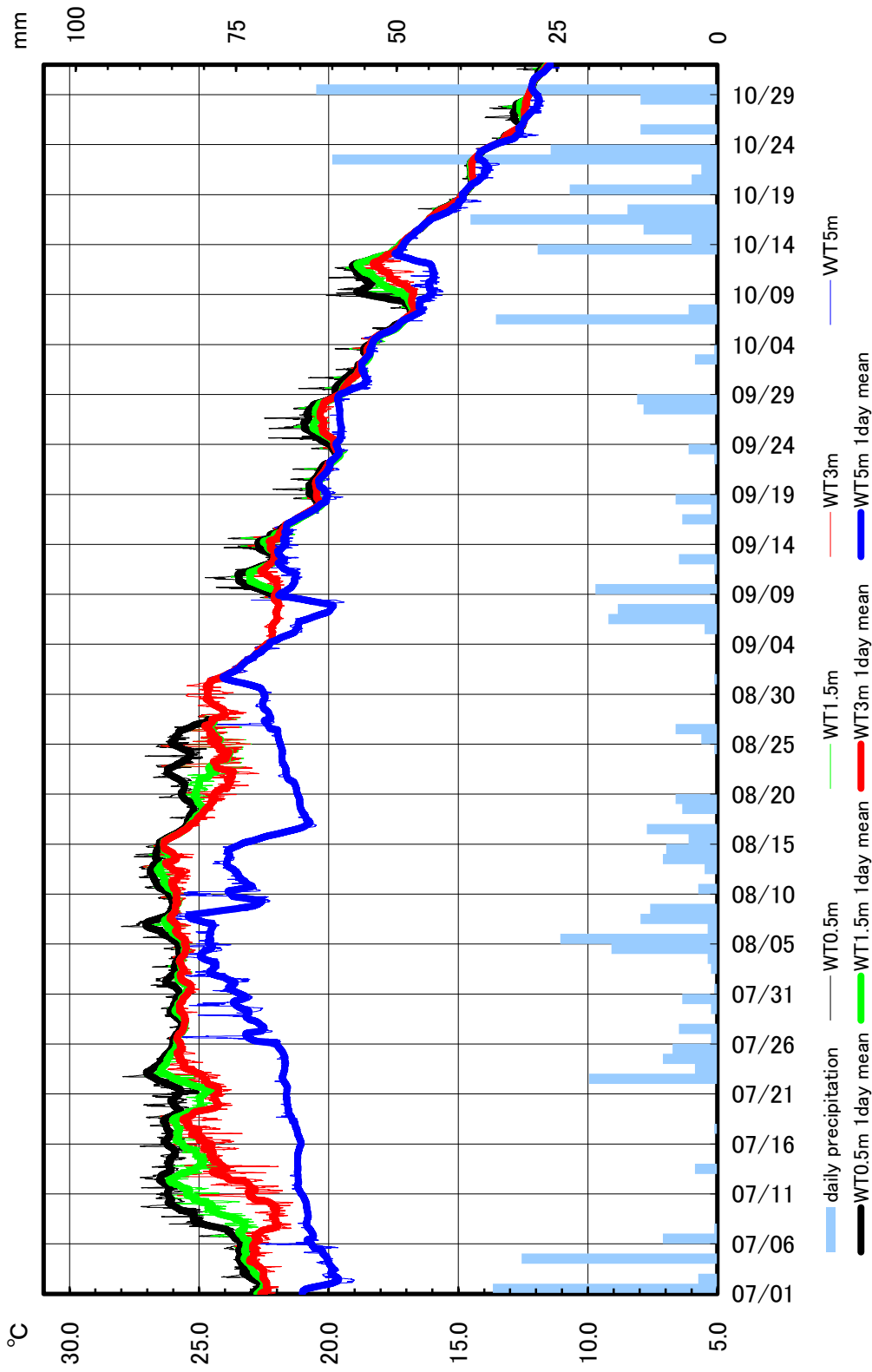


図8 2017年夏季の湖心(C15)における水深0.5m、水深1.5m、水深3m、水深5mの水温変化と諏訪における日降水量の変化  
 Fig.8. Variations in water temperatures at depths of 0.5m, 1.5m, 3m and 5m at the center of Lake Suwa (C15) and variations in daily precipitation at Suwa observation station in the summer of 2017

の方が、水深 0.5m・水深 1.5m 水温と水深 3m 水温との差よりも大きく、2~4℃の差が保持されていた。

観測を実施した 8 月 23 日付近で水深 0.5m 水温と水深 1.5m 水温との差が 1.5℃程度に大きくなり、水深 1.5m 水温と水深 3m 水温との差は殆どなかった。水深 3m と水深 5m 水温差は 2.5℃程度であった。従って、観測日には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。

9 月になると水深 3m 水温と水深 5m 水温の差も小さくなり、9 月 15 日頃には秋の循環期に入ったと考えられる。

2017 年夏季における、24 時間移動平均(図 8, 1day mean) からみた水深 0.5m の水温ピークは、8 月 6 日 (27.1℃)、水深 1.5m のピークは 8 月 12 日 (26.6℃)、水深 3m のピークは 8 月 14~15 日 (26.4℃)、水深 5m のピークは 8 月 7 日 (25.4℃) に出現した。

諏訪における 2017 年夏季の気温は、7 月は平年値+1.7℃とかなり高温、8 月は平年並みであった。7 月の降水量は平年の 70%と少なく、8 月は平年並みであった。8 月末から気温が急激に低下し、その後の水深 3m 水温、水深 5m 水温の低下の誘因となったと考えられる。

#### 4. まとめ

2017 年 8 月 23 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。

2017 年 8 月 23 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。

表層水温は平年並み、中層から底層の水温は同時期の平均よりもやや高温であった。

8 月 23 日の表層から中層の DO は同時期の平均よりも高かった。

2017 年 8 月 23 日の諏訪湖における表層 4 水質要素 (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。

2017 年夏季の諏訪湖湖心における水温は、7 月末以降、水深 0.5m, 1m, 3m 水温の差が小さい期間が長かった。水深 3m 水温と水深 5m 水温の差

は 8 月末まで 2~4℃に保持されていた。

9 月 15 日頃、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、8 月 6 日 (27.1℃)、水深 1.5m の水温ピークは、8 月 12 日 (26.6℃)、水深 3m のピークは 8 月 14~15 日 (26.4℃)、水深 5m のピークは 8 月 7 日 (25.4℃) 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。

信州大学山岳科学研究所山地水環境教育研究センター花里孝幸教授は、2002 年の本研究開始以来、共同研究者として参加され、多大な貢献をしていただいた。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.
- 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, 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.

(原稿受付 2018. 3. 12)

附表1 諏訪湖の水質データ (2017年8月23日)  
 Appendix table 1. Observed water quality data in Lake Suwa on August 23, 2017

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	7:06	138	04	53.2 E	36	03	32.2 N	3.80	8.7	32.8	159	6.9
C04	B2	7:23	138	04	35.1 E	36	03	22.8 N	3.55	8.7	35.6	152	6.6
C06	B3	7:32	138	04	22.9 E	36	03	35.3 N	2.42	8.9	35.2	154	6.4
C09	B4	7:41	138	04	18.3 E	36	03	03.4 N	5.48	9.3	35.6	143	7.2
C11	B5	7:55	138	04	45.4 E	36	02	39.6 N	6.05	9.7	41.2	138	7.4
C13	B6	8:07	138	05	15.9 E	36	02	36.2 N	5.65	10.0	44.0	142	7.1
C15	B7	8:18	138	05	02.2 E	36	02	58.5 N	5.76	8.8	37.6	147	6.4
C17	B8	8:31	138	04	34.9 E	36	03	12.8 N	5.00	8.5	34.4	148	6.2
K01	B15	9:55	138	04	38.3 E	36	01	57.0 N	3.23	8.6	39.2	134	6.6
K03	B14	9:45	138	04	11.4 E	36	02	21.1 N	4.53	8.1	34.0	137	6.1
K05	B12	9:13	138	03	44.2 E	36	02	45.7 N	3.85	no data	36.0	141	6.1
K06	B11	9:06	138	03	29.8 E	36	02	58.3 N	3.01	8.8	36.8	133	6.4
K08	B10	8:54	138	03	32.5 E	36	03	08.7 N	2.62	7.7	35.6	138	5.9
K09	B9	8:43	138	03	49.6 E	36	03	17.8 N	3.21	8.8	38.8	142	6.3
K12	B13	9:21	138	04	14.7 E	36	02	42.2 N	5.56	7.7	32.0	144	5.8
K14	A15	9:42	138	04	40.9 E	36	02	18.7 N	5.35	8.3	37.2	130	6.7
K16	A14	9:32	138	05	12.0 E	36	02	14.2 N	3.00	9.6	41.6	126	7.5
K18	A13	9:21	138	05	46.0 E	36	02	32.6 N	2.10	11.7	50.4	122	8.4
T01	A1	6:51	138	06	36.7 E	36	03	00.3 N	2.00	14.3	53.2	99	9.6
T03	A2	7:02	138	06	32.5 E	36	03	27.0 N	2.05	8.5	36.8	96	8.0
T05	A3	7:19	138	06	05.0 E	36	03	52.3 N	2.25	14.5	81.1	91	11.1
T06	A4	7:35	138	05	43.1 E	36	03	49.1 N	3.35	9.4	37.6	129	6.6
T08	A5	7:45	138	05	10.2 E	36	03	41.1 N	3.75	8.8	34.8	132	6.2
T10	A6	7:54	138	05	56.7 E	36	03	36.6 N	4.25	9.1	36.4	130	6.5
T12	A7	8:10	138	06	22.5 E	36	03	13.3 N	2.15	9.9	48.8	127	8.9
T13	A8	8:26	138	06	20.1 E	36	02	50.4 N	2.15	11.1	43.6	110	7.6
T15	A9	8:39	138	05	53.1 E	36	03	16.2 N	5.00	9.3	36.4	135	6.9
T17	A10	8:50	138	05	21.2 E	36	03	18.3 N	5.55	8.4	36.4	146	6.6
T19	A11	9:03	138	05	49.5 E	36	02	54.7 N	4.65	10.0	54.0	127	8.2
T20	A12	9:12	138	06	01.9 E	36	02	42.5 N	3.05	26.0	235.8	84	22.2

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

附表1 諏訪湖の水質データ（2017年8月23日）続き  
Appendix table 1. Observed water quality data in Lake Suwa on August 23, 2017  
(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	26.1	26.1	25.9	25.8	<i>25.8</i>				9.79	9.66	9.12	8.36	<i>6.64</i>			
C04	25.8	26.0	25.9	25.7	<i>25.1</i>				9.78	9.66	9.43	8.95	<i>7.34</i>			
C06	25.0	25.2	25.2	<i>25.1</i>					8.36	8.25	7.86	<i>6.98</i>				
C09	25.9	26.0	25.7	25.5	25.4	23.4	<i>23.1</i>		10.07	10.05	8.69	8.27	7.98	0.58	<i>0.29</i>	
C11	26.5	26.6	25.9	25.3	24.3	22.6	<i>22.3</i>		10.15	10.15	8.79	7.29	3.07	0.18	<i>0.14</i>	
C13	26.2	26.4	26.3	25.2	23.8	22.6	<i>22.5</i>		9.94	9.90	9.04	6.65	2.33	0.17	<i>0.11</i>	
C15	26.2	26.2	26.2	26.0	24.1	22.4	<i>22.1</i>		10.32	10.27	10.10	8.79	2.83	0.17	<i>0.13</i>	
C17	26.5	26.4	26.1	26.0	25.4	<i>23.3</i>			10.18	10.25	9.29	9.04	7.75	<i>0.19</i>		
K01	26.7	26.6	25.4	24.5	<i>24.4</i>				10.65	10.72	6.95	1.15	<i>0.69</i>			
K03	27.2	26.7	25.4	24.5	24.2	<i>23.6</i>			10.98	10.82	8.26	4.34	3.02	<i>0.24</i>		
K05	26.2	25.7	24.9	24.8	<i>24.3</i>				10.30	9.77	6.82	6.70	<i>3.14</i>			
K06	26.0	25.3	25.1	<i>24.3</i>					9.48	8.42	8.00	<i>2.84</i>				
K08	25.6	25.4	25.3	<i>24.5</i>					9.37	9.33	8.57	<i>3.71</i>				
K09	25.9	25.7	25.6	25.2	<i>24.6</i>				9.51	9.61	9.37	6.32	<i>4.14</i>			
K12	27.1	26.7	25.6	25.0	24.7	23.1	<i>22.9</i>		10.62	10.60	8.53	6.98	6.01	0.17	<i>0.13</i>	
K14	27.6	27.1	25.2	24.4	23.9	23.2	<i>23.1</i>		11.19	11.83	7.36	4.28	1.10	0.16	<i>0.13</i>	
K16	27.5	27.0	25.7	<i>25.0</i>					10.88	10.21	6.33	<i>6.58</i>				
K18	27.3	27.2	<i>23.8</i>						10.32	10.53	<i>7.65</i>					
T01	25.7	26.3	<i>26.5</i>						8.78	8.51	<i>8.10</i>					
T03	26.2	26.2	<i>26.0</i>						4.05	3.86	<i>1.42</i>					
T05	26.8	26.9	26.9	<i>26.9</i>					2.98	2.73	2.40	<i>1.86</i>				
T06	26.1	26.1	26.2	26.0	<i>26.0</i>				9.57	9.61	9.50	7.67	<i>7.30</i>			
T08	26.0	26.0	26.0	26.0	<i>25.7</i>				9.47	9.48	9.15	8.67	<i>8.58</i>			
T10	26.3	26.3	26.3	26.2	24.3	<i>24.3</i>			9.59	9.58	9.61	9.31	0.18	<i>0.13</i>		
T12	26.9	26.7	<i>26.6</i>						10.65	7.07	<i>2.83</i>					
T13	27.0	27.1	<i>26.8</i>						9.43	9.55	<i>8.90</i>					
T15	26.6	26.4	26.3	26.2	23.1	<i>22.9</i>			10.32	10.42	10.25	10.21	0.23	<i>0.18</i>		
T17	26.8	26.6	26.4	26.3	23.0	22.4	<i>22.3</i>		10.77	10.97	10.79	10.19	0.18	0.15	<i>0.13</i>	
T19	26.9	26.8	26.5	26.0	23.7	<i>23.0</i>			11.17	11.16	10.72	6.83	1.51	<i>0.18</i>		
T20	27.3	27.2	26.7	<i>25.4</i>					12.05	11.05	9.30	<i>6.06</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.