

## 2016 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

2016 年 8 月 9 日の諏訪湖では, SS, Chl-*a*, IL, Trans.が, 2003 年以降の同時期のほぼ平均状態であった。水温は, 中層から底層にかけて平均よりやや高温であった。

2016 年 8 月 9 日の表層 4 水質要素の主成分分析により主要な分布パターンを抽出した。第 1 成分は, SS, Chl-*a*, Trans.の変動を説明し, 第 2 成分は W.T.0m の変動を説明する。

2016 年夏季の諏訪湖湖心における水深 1m の水温ピークは, 8 月 6 日 (29.0°C), 水深 3m のピークは 8 月 8 日 (28.1°C), 水深 5m のピークは 8 月 18 日 (26.2°C) に出現した。

諏訪湖においてワカサギ等の大量死が発見された 2016 年 7 月 26 日頃は, 底層から表層までの水温差が極めて小さい状況であり, 底層水と表層水が混合していた。

---

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, 2015 年までの 14 年間に 28 日間の水平分布に関するデータ, 2005 年以降の 20 日間はさらに垂直分布に関するデータを蓄積している(柳町ほか, 2003, 柳町ほか, 2004, 2005, 2006, 柳町ほか, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016)。

2016 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 9 日に実施した。2013 年以前は夏季に 2 日観測を実施したが, 2014 年, 2015 年, 2016 年は, 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。

2016 年夏季も 2015 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, 2016 年夏季の諏訪湖の水質分布パターンと, 2016 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

2016 年 8 月 9 日の水質観測方法は, 2002~2015 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 年は観測人員の制約により, 水質観測は 2 艘の観測船により実施した。このため, 2015 年以前の測点(C01~C20, K01~K20, T01~T20)から, 湖

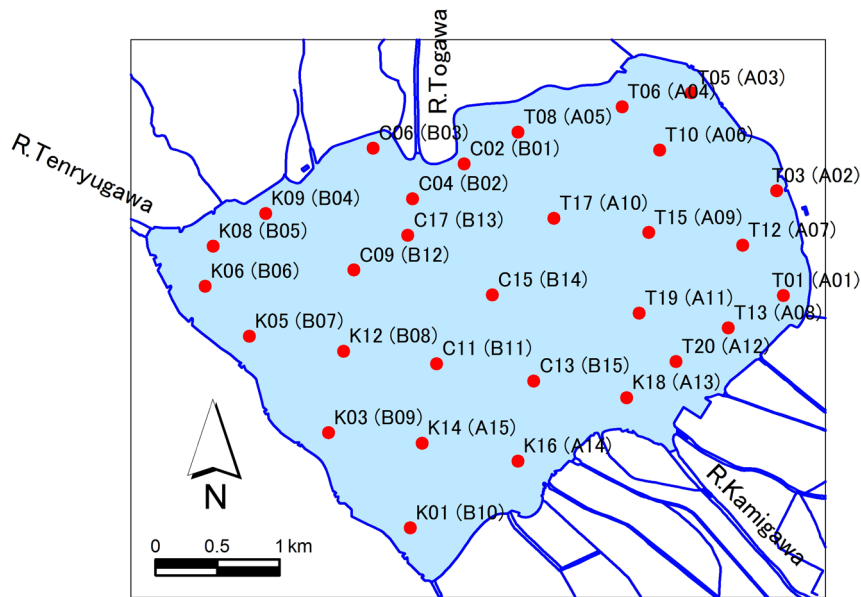


図1 30観測地点（A, Bルートでの観測順）と流入・流出河川

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

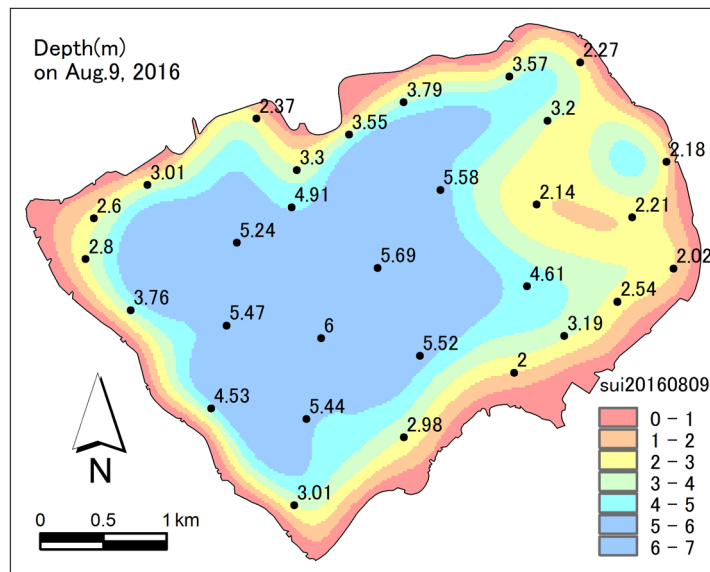


図2 観測日の諏訪湖の水深 2016年8月9日

Fig.2. Depth of Lake Suwa on August 9, 2016

全体にほぼ均等に配置されるように30測点を選択し、2艘で15測点ずつ観測した。後述のように、各水質要素の60測点平均と30測点平均には大きな差はなく、湖全域に分布する30測点の観測により、諏訪湖水質の水平分布、垂直分布を把

握することが可能である。

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(付表1と図1に測点

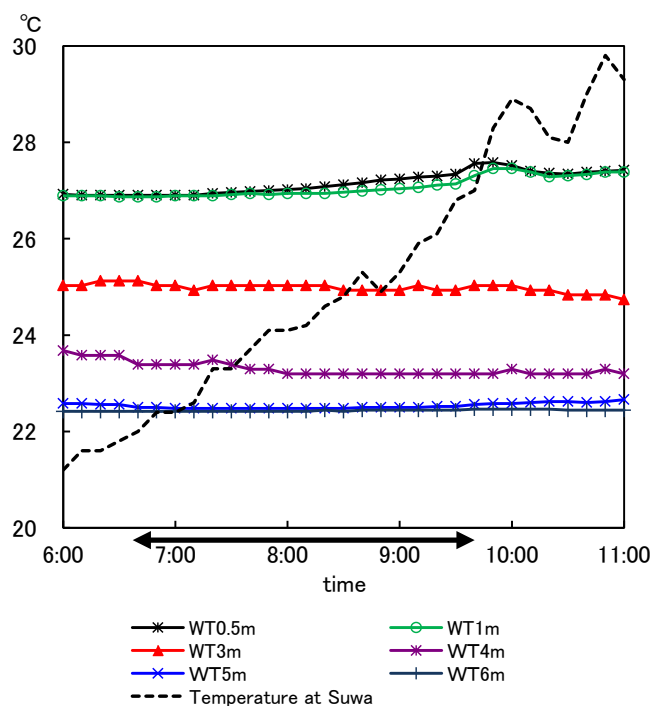


図3 2016年8月9日の湖心(C15)における水温と諏訪の気温  
矢印は観測時間帯を示す

Fig.3. Water temperatures at the center of Lake Suwa (C15) and temperature at Suwa observation station on August 9, 2016  
Allow shows the time span of observation

毎の観測順を示した)で観測を行った。

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。T15測点の水深は2.14mであったが、過去の観測では5.13m(2015年8月5日)、4.98m(2014年8月11日)など全て5m前後であった。堆積物等がこの付近に存在した可能性があるが、今後の観測において水深の推移を確認したいと考える。

8月9日の観測時間は6:38~9:42、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)は附表1に記載した。

2015年までの解析方法と同様に、2016年8月9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、2015年までと同様に、2016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り、湖心(C15測点)における水深0.5m水温(WT0.5m)(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)も、6時30分から9時50分までに26.90°Cから27.58°Cに上昇した(図3)。観測時間(6:38~9:42)の3時間4分間に0.68°Cとわずかに上昇した。なお、観測時間帯の湖心における水深1m水温(WT1m)、水深3m水温(WT3m)、水深4m水温(WT4m)、水深5m水温(WT5m)、水深6m水温(WT6m)の変化も0.05~0.60°Cと小さい(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

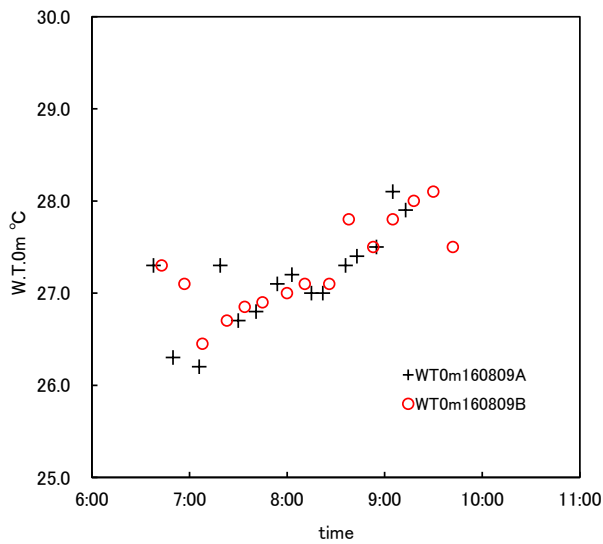
表1 観測時刻と水質要素間の相関係数, スピアマンの順位相関係数  
 Table 1. Correlation coefficients and Spearman's rank correlation coefficients between the observation time and the water quality elements

	August 9, 2016				N
	r	p value	r <sub>s</sub>	p value	
SS	-0.640	0.000 **	-0.696	0.000 **	29
Chl- <i>a</i>	-0.610	0.000 **	-0.669	0.000 **	29
IL	-0.679	0.000 **	-0.861	0.000 **	29
Trans.	0.456	0.013 *	0.388	0.037 *	29
DO 0m	0.291	0.125	0.318	0.093	29
DO 1m	0.349	0.064	0.379	0.043 *	29
DO 2m	0.193	0.324	0.021	0.916	28
DO 3m	-0.400	0.112	-0.400	0.112	17
DO 4m	0.058	0.874	0.036	0.920	10
DO 5m	-0.047	0.920	-0.214	0.645	7
W.T. 0m	0.725	0.000 **	0.730	0.000 **	29
W.T. 1m	0.451	0.014 *	0.422	0.022 *	29
W.T. 2m	0.045	0.819	0.035	0.859	28
W.T. 3m	-0.514	0.035 *	-0.701	0.002 **	17
W.T. 4m	0.014	0.970	0.036	0.920	10
W.T. 5m	-0.189	0.684	-0.286	0.535	7

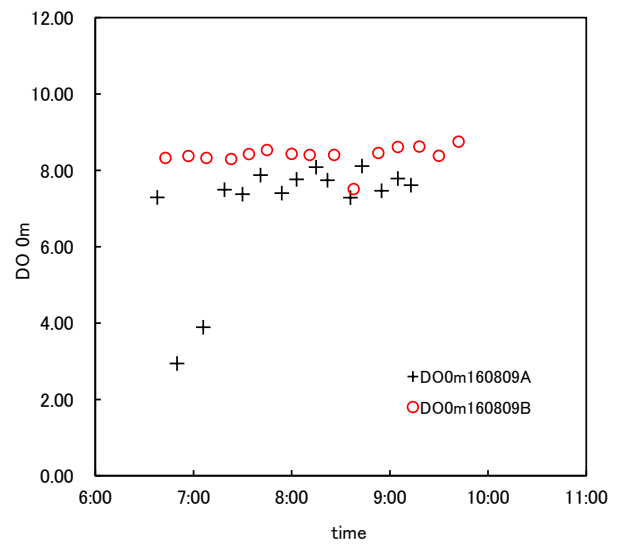
\*\* : significant at 0.01 significant level.

\* : significant at 0.05 significant level.

T03 is excluded from the calculations.



(a) W. T. 0m on August 9, 2016



(b) DO 0m on August 9, 2016

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

ら調べた。

2016年8月9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0.725 ( $p<0.001$ ), スピアマンの順位相関係数は0.730 ( $p<0.001$ )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。

30測点の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9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たが, その他の測点では大きな変動がなく推移した。T03, T05測点は, 湖岸近くの水深が比較的浅い所(水深2.18m, 2.27m)に位置する。過去の観測でもこの付近でDO値が低いが, 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) 表層水質データの統計量

2016年8月9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。表2(b)は, 2015年以前の60測点から2016年の30測点と同じ測点のみ抽出し, 2016年までの観測期間における各水質要素の最大値, 最小値, 平均値である。

30測点を対象とする最大値, 最小値, 平均値と, 2015年以前の60測点を対象とする最大値, 最小値, 平均値にはどの程度の差異があるか確認するために, 同じ観測期間(観測開始~2015年)における, 各水質要素の最大値, 最小値, 平均値の, 30測点の値を表2(c), 60測点の値を表2(d)に示す。

最大値, 最小値は, 特定の測点の観測値を反映するため, その測点を除外すると最大値, 最小値も変化する。次の要素では30測点と60測点の値が異なっている。SSの最大値, ILの最大値, 最小値, Trans.の最大値, Depthの最小値, DO1mの最小値, DO2mの最小値, DO3mの最大値, DO4mの最大値, W.T.0mの最大値, 最小値, W.T.1mの

最大値, 最小値, W.T.3mの最大値, 最小値, W.T.4m最大値, 最小値, W.T.5mの最小値。

各水質要素について, 30測点と60測点による平均値は, SS 10.9と11.0 mg/L, Chl-a 51.9と50.9  $\mu$ g/L, Trans.117.1と117.7cmなど近接した値を示す(表2(c), (d))。従って, 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。

8月9日におけるSS, Chl-a, IL, Trans.の平均(SS 10.3mg/L, Chl-a 33.5  $\mu$ g/L, IL 5.8mg/L, Trans. 118.1cm)(表2(a))を, 2003~2016年7・8月の17観測日平均(2005年以降測定しているILは2005~2016年8月の11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 50.8  $\mu$ g/L, IL 8.1mg/L, Trans. 117.2cm)(表2(b))と比較する。

8月9日のSS, Chl-aの平均は, 7・8月の17観測日平均よりも低く, どちらも17観測日中の順位はほぼ中央であった。Trans.の平均は17観測日の平均値付近であり, 17観測日中7番目に高かった。

8月9日のILの平均は, 8月の11観測日平均よりも低いが, 11観測日中の順位は中央であった。

SS, Chl-a, IL, Trans.は, 2003年以降の17観測日中の順位がいずれも中央部であり, 2016年8月9日の諏訪湖は同時期の平均的な状況であった。

8月9日の水深1m毎水温(W.T.0m~W.T.5m)平均(W.T.0m 27.2°C, W.T.1m 27.1°C, W.T.2m 27.0°C, W.T.3m 26.5°C, W.T.4m 24.9°C, W.T.5m 23.8°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12観測日の水深1m毎水温平均(W.T.0m 27.2°C, W.T.1m 26.4°C, W.T.2m 25.7°C, W.T.3m 24.7°C, W.T.4m 23.4°C, W.T.5m 21.8°C)(表2(b))と比較すると, 8月9日のW.T.1m~W.T.5mは, いずれも12観測日平均よりも高い。W.T.0mは12観測日平均と同じであるが, 2003年以降の17観測日平均26.3°Cより高い。

12観測日平均との水温差は, 水深1m 0.7°C, 水深2m 1.3°C, 水深3m 1.8°C, 水深4m 1.5°C, 水深5m 2.0°Cであり, 2016年8月9日の諏訪湖は, 表層は例年同時期の平均ないしやや高温, 中層から底層にかけては平均よりもやや高温であった。中層から底層は, 12観測日平均との水温差が大

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

(a) August 9, 2016

	SS(mg/L)	Chl- <i>a</i> ( $\mu$ g/L)	IL(mg/L)	Trans.(cm)	Depth(m)		
Max	24.8	69.9	17.8	151	6.00		
Min	6.7	22.4	4.0	62	2.00		
Mean	10.3	33.5	5.8	118.1	3.65		
S.D.	3.6	9.4	2.4	16.6	1.31		
N	30	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	8.75	8.80	8.31	8.38	5.14	0.29	
Min	2.94	2.77	2.63	0.57	0.15	0.10	
Mean	7.73	7.68	7.23	5.96	1.77	0.16	
S.D.	1.26	1.33	1.43	2.11	1.89	0.06	
N	30	30	29	17	10	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	28.1	27.6	27.5	27.0	26.3	24.2	
Min	26.2	26.5	26.4	25.4	23.7	23.3	
Mean	27.2	27.1	27.0	26.5	24.9	23.8	
S.D.	0.5	0.3	0.2	0.5	0.8	0.3	
N	30	30	29	17	10	7	0

(b) July and August, 2003~2016 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	11.1	50.8	8.1	117.2	3.86		
Observation period	2003~2016	2003~2016	2005~2016	2003~2016	2006~2016		
Observation days	17	17	11	17	11		

	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	9.34	7.76	5.89
Min	0.71	0.38	0.12	0.17	0.01	0.00
Mean	8.83	8.53	7.22	5.35	2.81	0.80
Observation period	2005~2016	2005~2016	2005~2016	2005~2016	2005~2016	2005~2016
Observation days	11	11	11	11	11	11

	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	27.2	25.9
Min	21.9	23.7	23.8	19.9	19.4	16.8
Mean	26.3	27.2	26.4	25.7	24.7	21.8
Observation period	2003~2016	2005~2016	2005~2016	2005~2016	2005~2016	2005~2016
Observation days	17	12	12	12	12	12

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

表2 水質データの要約統計量 続き

Table 2. Summary statistics of water quality data (continued)

(c) July and August, 2003~2015 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	10.9	51.9	8.4	117.1	3.88		
Observation period	2003~2015	2003~2015	2005~2015	2003~2015	2006~2015		
Observation days	16	16	10	16	10		

	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	9.34	7.76	5.89
Min	0.71	0.38	0.12	0.17	0.01	0.00
Mean	8.94	8.61	7.21	5.29	2.92	0.86
Observation period	2005~2015	2005~2015	2005~2015	2005~2015	2005~2015	2005~2015
Observation days	10	10	10	10	10	10

	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	26.2	25.9
Min	21.9 23.7	23.8	19.9	19.4	17.9	16.8
Mean	26.3 27.1	26.3	25.6	24.6	23.3	21.7
Observation period	2003~2015 2005~2015	2005~2015	2005~2015	2005~2015	2005~2015	2005~2015
Observation days	16 11	11	11	11	11	11

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

(d) July and August, 2003~2015 at 60 observation points

	SS(mg/L)	Chl- <i>a</i> ( $\mu$ g/L)	IL(mg/L)	Trans.(cm)	Depth(m)		
Max	69.5	373.6	62.6	238	6.43		
Min	1.9	4.5	1.1	32	0.80		
Mean	11.0	50.9	8.2	117.7	4.00		
Observation period	2003~2015	2003~2015	2005~2015	2003~2015	2006~2015		
Observation days	16	16	10	16	10		

	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	9.42	8.12	5.89
Min	0.71	0.19	0.08	0.17	0.01	0.00
Mean	9.00	8.62	7.32	5.50	2.92	0.81
Observation period	2005~2015	2005~2015	2005~2015	2005~2015	2005~2015	2005~2015
Observation days	10	10	10	10	10	10

	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	33.0 33.0	30.0	28.4	27.5	26.3	25.9
Min	21.9 23.6	22.0	19.9	19.2	17.1	16.7
Mean	26.3 27.2	26.3	25.6	24.6	23.3	21.6
Observation period	2003~2015 2005~2015	2005~2015	2005~2015	2005~2015	2005~2015	2005~2015
Observation days	16 11	11	11	11	11	11

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

きいため、表層との水温差が小さくなり、水温成層は例年ほど安定していなかったと推察される。

水深 1m 毎水温と同様に、8 月 9 日の水深 1m 毎 DO 平均値(DO0m 7.73mg/L, DO1m 7.68 mg/L, DO2m 7.23 mg/L, DO3m 5.96 mg/L, DO4m 1.77 mg/L, DO5m 0.16mg/L) (表 2 (a)) を、2005 年以降の 8 月 11 観測日の DO 平均値(DO0m 8.83 mg/L, DO1m 8.53 mg/L, DO2m 7.22 mg/L, DO3m 5.35 mg/L, DO4m 2.81mg/L, DO5m 0.80 mg/L) (表 2 (b)) と比較した。

8 月 9 日の DO は、DO2m, DO3m が 11 観測日平均付近であり、他の水深では 11 観測日平均より低かった。11 観測日中では、DO0m は低い方から 2 番目、DO1m, DO2m, DO4m, DO5m は低い方から 4 番目、DO3m は低い方から 7 番目 (高い方から 5 番目) であった。8 月 9 日の表層、底層の DO は同時期の平均よりも低く、DO0m は 2014 年 8 月 11 日に次いで低かった。

### (3) 表層水質データの水平分布

8 月 9 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、概ね諏訪湖東部～北部で高く、逆に、Trans. は諏訪湖東部～北部で低い。東端部の T03 における SS, Chl-*a* が最も高く、Trans. が最も低い。

諏訪湖中西部では、SS, Chl-*a* が低く、Trans. が高い。

W.T.0m は、諏訪湖中央部～南部で高く、北東部、北岸～北西岸付近で低い。

### (4) 表層水質データの相関関係

8 月 9 日の表層水質要素間の相関係数を表 3 に

示す。T03 の SS, Chl-*a*, IL は、平均+3 $\sigma$  を超え、Trans., DO0m は、平均-3 $\sigma$  を超える異常値であるため、T03 を除外した N=29 の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 0.9 以上と高く、有意水準 0.1% で相互に有意な正相関であった。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 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. は逆の分布傾向であることが示唆される。

### (5) 表層水質データの主成分分析

8 月 9 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, 2014, 2015, 2016) 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 T03 の SS, Chl-*a*, Trans. は、平均 $\pm 3\sigma$  を超える異常値であるため除外し、29 測点を用いた分析を行った。

第 3 成分までの固有値と寄与率を表 4 に、主成分得点を表 5 に示す。

第 1 成分の固有値は 2.488, 寄与率は 62.2% である。第 2 成分の固有値は 0.892, 寄与率は 22.3% である。第 1 成分と第 2 成分により全変動の 84.5% が説明される。

SS, Chl-*a*, Trans. の第 1 成分の主成分負荷量は、それぞれ 0.943, 0.910, -0.772 であり、いずれも第 2 成分以下の主成分負荷量よりも絶対値が大きく、SS, Chl-*a* の 2 要素の変動は、主に第 1 成

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

August 9, 2016										
	SS	<i>p</i>	Chl- <i>a</i>	<i>p</i>	IL	<i>p</i>	Trans	<i>p</i>	DO 0m	<i>p</i>
SS	1.000									
Chl- <i>a</i>	0.910	0.000 **	1.000							
IL	0.914	0.000 **	0.923	0.000 **	1.000					
Trans	-0.609	0.000 **	-0.524	0.004 **	-0.474	0.009 **	1.000			
DO 0m	-0.083	0.668	-0.133	0.490	-0.282	0.138	0.286	0.132	1.000	
W.T.0m	-0.253	0.185	-0.220	0.252	-0.381	0.041 *	0.234	0.222	0.365	0.051

\*\* : significant at 0.01 significant level.

\* : significant at 0.05 significant level.

T03 is excluded from the calculations.



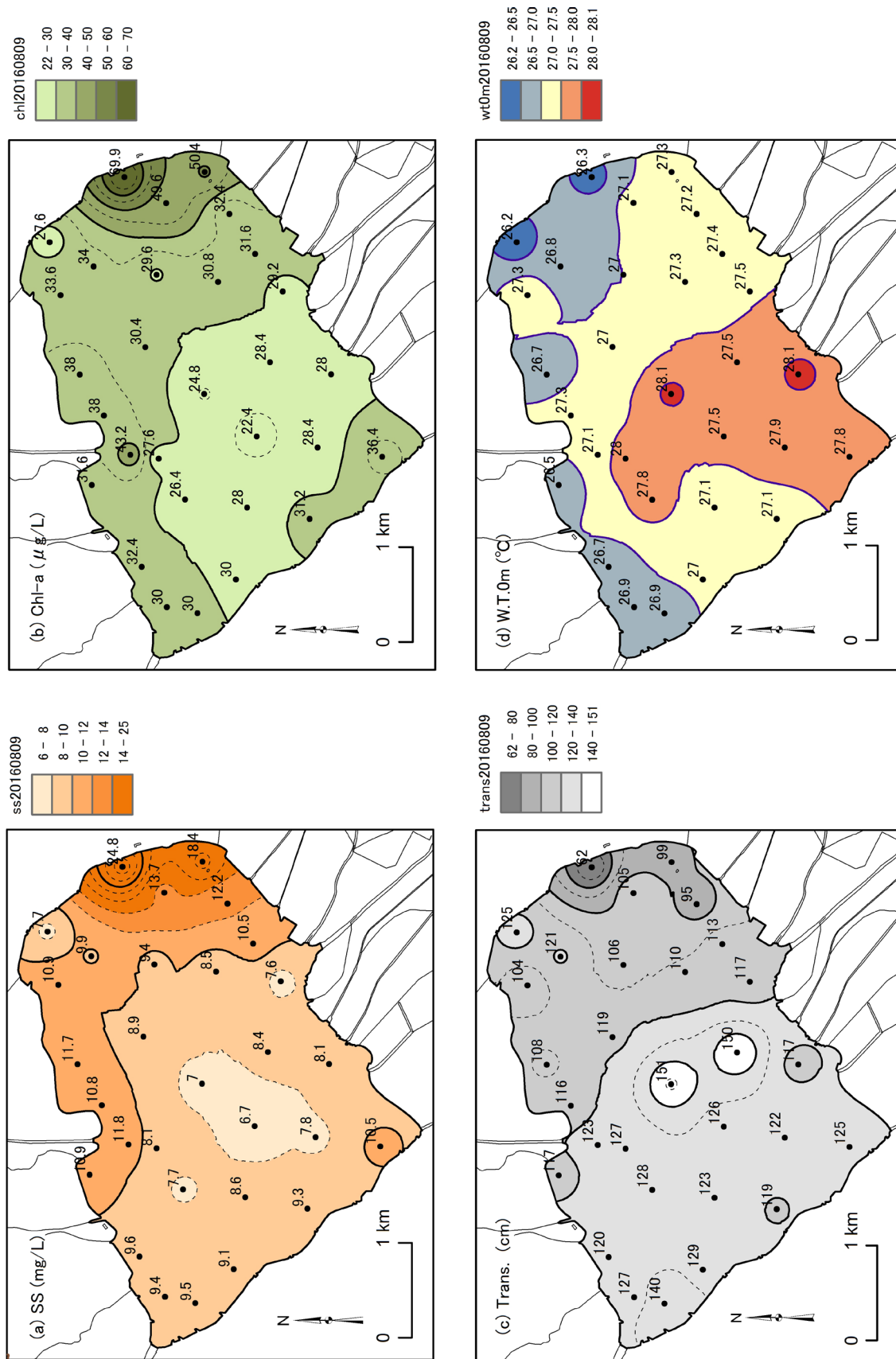


図5 水質分布図 (2016年8月9日) (a)懸濁物質質量, (b)クロロフィル  $a$  濃度, (c)透明度, (d)表層水温

Fig. 5. Water quality maps of Lake Suwa on August 9, 2016. (a)SS, (b) Chl- $a$ , (c)Trans., (d)W.T.0m

表4 表層水質要素の固有値, 寄与率, 累積寄与率

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

August 9, 2016 N=29			
	Eigenvalue	Proportion	Cumulative proportion
Component 1	2.488	62.2%	62.2%
Component 2	0.892	22.3%	84.5%
Component 3	0.536	13.4%	97.9%

T03 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 9, 2016 N=29			
	Component 1	Component 2	Component 3
SS	0.943 **	0.168	0.191
Chl- <i>a</i>	0.910 **	0.200	0.307
Trans	-0.772 **	-0.048	0.633 **
W.T.0m	-0.417 *	0.906 **	-0.069

\*\* : significant at 0.01 significant level.

\* : significant at 0.05 significant level.

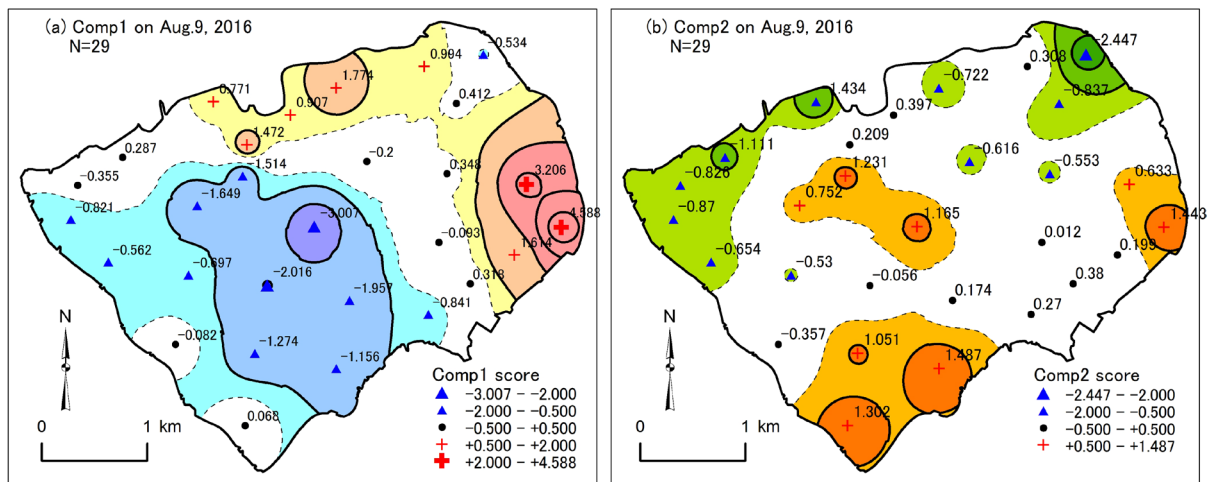


図6 4要素の主成分分析による主成分得点分布図, 2016年8月9日

(a) 第1成分 (b) 第2成分

Fig. 6. Distribution maps of the component scores of 4 elements PCA on August 9, 2016

(a) Component1 (b) Component2

表6 主成分得点に基づく地域区分の特徴, 2016年8月9日

Table 6. Characteristics of the regional divisions based on the component scores on August 9, 2016

(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.

分により説明される。Trans.は、第1成分で変動の約60%が説明され、40%は第3成分により説明される。

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

従って、第1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成分はW.T.0mの変動を説明するパターンである。W.T.0mの変動は、主に第2成分によって説明される。

#### (6) 水質分布の特徴

4要素を対象とする第1成分、第2成分の主成分得点分布図を図6に、主成分得点に基づく地域区分の特徴を表6に示す。

第1成分の主成分得点の絶対値が大きい地域は第1成分の特徴を最も反映する地域とみなすことができる。

主成分得点の符号を考慮した測点のグループ分けは、2008～2015年と同様の方法で行った(柳町ほか、2009、2010、2011、2012、2013、2014、2015、2016)。すなわち、主成分得点の絶対値0.5で区切ってグループ分けし、第1成分の特徴を反映する地域と、漸移帯(第1成分の特徴をあまり反映しない)を区別した。さらに、第1成分の特徴を反映する地域は、第1成分の主成分得点が正(十、0.5～)と、負(▲、～-0.5)に分けた。漸移帯は、第1成分の主成分得点がゼロ付近(●、-0.5～0.5)である。分布図では、主成分得点の絶対値が2.0を超える場合は、大きな記号で区別した。

8月9日の第1成分主成分得点分布図(図6(a))において、十は「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、湖の東部に「SS, Chl-*a*が高く、Trans.が低い」地域があり、北部にも「SS, Chl-*a*が高く、Trans.が低い」測点が分布する。逆に、「SS, Chl-*a*が低く、Trans.が高い」地域は、湖中央部～西部に分布する。

8月9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が高い」は、湖南部、中央部、南東岸付近に分布し、▲の地域「W.T.0mが低い」は、北東岸、北岸、北西部に分布する。

#### (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。

2006～2010年、2015年8月の諏訪湖の水温観測では、W.T.0mとW.T.5mの平均水温差は5℃以上あり、夏季の明瞭な水温躍層が観測された。

2011～2014年8月の観測では、表層と底層の水温差が小さく、上記の年のような明瞭な水温躍層は見られなかった(柳町ほか、2012, 2013, 2014)。

2016年8月9日のW.T.0mとW.T.5mの平均水温差は3.4℃であり、8月の12観測日中3番目に小さい値である。水深3mまで水温は殆ど低下せず、水深3m以深で水温が低下する測点が多い(図7(a))。

水深1m毎の水温平均値、各測点の水温垂直分布から見て、2016年8月9日には、2006～2010年、2015年に観測されたような明瞭な水温躍層は出現しないものの、水深3m以深では水温は低下したが、水温成層は安定的ではなかったと考えられる。

8月9日のDOの垂直分布は、DO値が表層から湖底直上まで殆ど変化しない測点と、DO値が表層から水深2mまたは3mまで殆ど変化せず、水深2mまたは3mから急激に低下し、湖底直上付近で0に近い値を示す測点が観測された(図7(b))。

#### (8) 2016年夏季の水温変化

2016年夏季の諏訪湖湖心(C15)における水深0.5m, 1m, 3m, 5mの水温変化(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。

2016年夏季の諏訪湖の水深0.5mと水深1mの

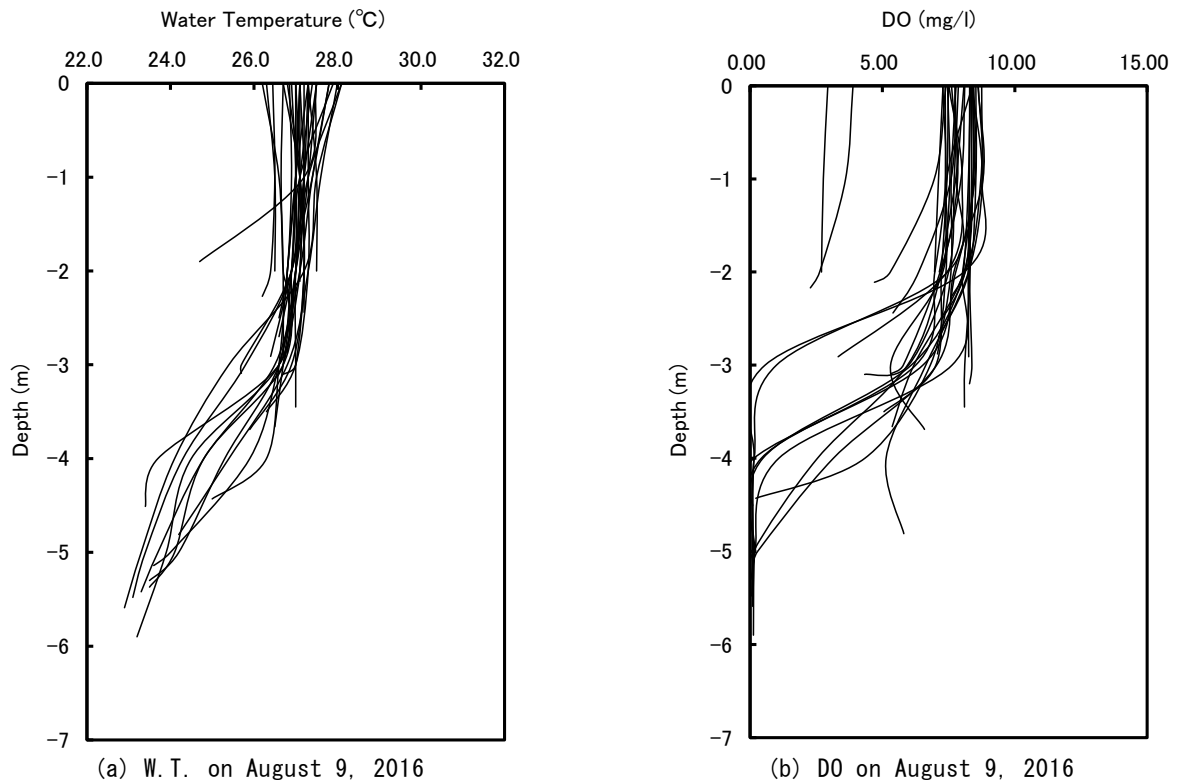


図7 測地点毎の水温とDOの垂直分布

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

水温（24時間移動平均）は、9月29日付近を除き、ほぼ近接して推移した。9月28日に42.5mm、29日に32.5mmの日降水量があったため、水深1m水温より水深0.5m水温の方が低温になった可能性が考えられる。

2016年夏季における、24時間移動平均（図8、1day mean）からみた水深1mの水温ピークは、8月6日（29.0°C）、水深3mのピークは8月8日（28.1°C）、水深5mのピークは8月18日（26.2°C）に出現した。

水深1mと水深3mの水温は、7月上旬、8月上旬、9月29日付近において、2°C以上の差の日が出現したが、それ以外の期間は水温差が約1°C以下であり、特に、8月10日頃から9月25日頃まで、水深1m水温と水深3m水温は、水温差0.5°C程度ときわめて近接して推移した。

水深3mと水深5mの水温差は、10月4日頃まで、水深1mと水深3mの水温差よりも概ね大きく、1~3°Cの差が観測される日が多かった。10

月4日頃まで水温成層が形成されていたと考えられる。

水質観測を実施した8月9日も、湖心における水深1mと水深3mの水温差は約1.5°C、水深3mと水深5mの水温差は約3°Cであり、水深3m以深では水温が低下し、水温成層が形成されていた。

10月5日以降、水深1m、3m、5m水温がほぼ同じとなり、秋の循環期に入ったと考えられる。

諏訪湖では2016年7月26日に、ワカサギやコイなどの大量死が発見された。7月23日~26日の水深1mから水深5mまでの水温は、その前後の期間よりも近接しており、水深1mと水深3mの水温差は、最小0.1°Cまで低下、水深3mと水深5mの水温差は、最小0.6°Cまで低下し、底層から表層までの水温差が極めて小さい状況となった。DO値が低い底層水が表層まで攪拌されていた可能性が考えられる。

ただし、過去の観測においても、水深1m、3m、5m水温がほぼ同じ状況が観測されている。たと

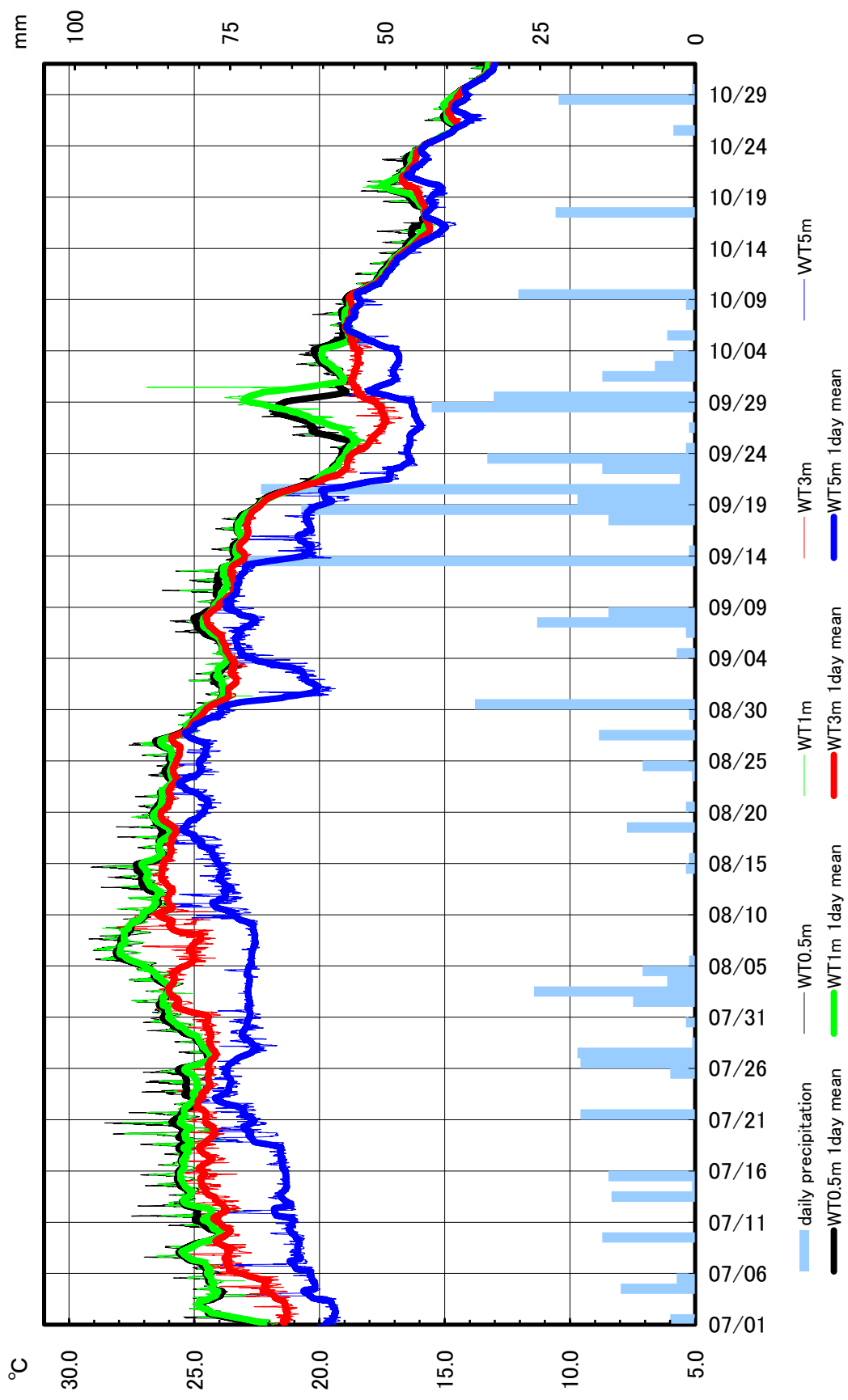


図8 2016年夏季の湖心 (C15) における水深0.5m, 水深1m, 水深3m, 水深5mの水温変化と諏訪における日降水量の変化  
 Fig.8. Variations in water temperatures at depths of 0.5m, 1m, 3m and 5m at the center of Lake Suwa (C15) and variations in daily precipitation at Suwa observation station in the summer of 2016

えば、2014年8月9～10日（柳町ほか、2015、図8）、2015年8月25～26日（柳町ほか、2016、図8）は、湖水が攪拌されたことにより、水温成層が一時的に解消されていたと考えられる。

諏訪（特別地域気象観測所）における2016年夏季の気温は、7月下旬から8月3日まで平年値よりもほぼ低く、8月4日から8月26日まで平年値よりも高温であった。7月の降水量は平年の65%と少なく、8月は平年並みであった。

7月26日の平均気温は平年値よりも4.3℃低く、日降水量18.5mmであり、湖水が攪拌されやすい気象状況であったといえる。しかし、降水が諏訪湖に流入し表層水温が低下、底層から表層までの水温差が解消される状況は、過去にもしばしば発生しているため、7月26日のワカサギなどの大量死の原因に気象条件がどの程度関係するかに関しては、さらに検証が必要である。

#### 4. まとめ

2016年8月9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。

2016年8月9日の諏訪湖の水質（SS, Chl-*a*, IL, Trans.）は、例年同時期のほぼ平均状態であった。

表層は平均的な水温であったが、中層から底層にかけて平均よりもやや高温であった。

8月9日の表層、底層のDOは同時期の平均よりも低かった。

2016年8月9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成分、第2成分を主要な水質分布パターンとして抽出した。

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

8月9日の水温の垂直分布では、水温躍層は明瞭ではなかった。

湖心における水深1mの水温ピークは、8月6日（29.0℃）、水深3mのピークは8月8日（28.1℃）、水深5mのピークは8月18日（26.2℃）に出現した。

2016年夏季の諏訪湖湖心における水深1m, 3m, 5mの水温の推移から、水深1m水温と水深3m水温は、水温差0.5℃程度、水深3mと水深5mの水温は、水温差1～3℃が観測される日が多かった。

10月5日以降、水深1m, 3m, 5mの水温がほぼ同じとなり、秋の循環期に入ったと考えられる。

ワカサギ等の大量死が発見された2016年7月26日頃は、底層から表層までの水温差が極めて小さい状況であった。

#### 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・花里孝幸・宮原裕一・山本雅道 (2014) : 2013  
夏季における諏訪湖の水平・垂直水質分布, 信州大学環  
境科学年報, 36, 54-73.  
柳町晴美・花里孝幸・宮原裕一・山本雅道 (2015) : 2014  
年夏季における諏訪湖の水平・垂直水質分布, 信州大学  
環境科学年報, 37, 53-66.  
柳町晴美・花里孝幸・宮原裕一・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.

(原稿受付 2017. 3. 1)

附表1 諏訪湖の水質データ (2016年8月9日)  
Appendix table 1. Observed water quality data in Lake Suwa on August 9, 2016

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	B01	6:43	138	04	52.3	E	36	03	32.2	N	3.55	10.8	38.0	116	5.5
C04	B02	6:57	138	04	36.1	E	36	03	22.7	N	3.30	11.8	43.2	123	6.4
C06	B03	7:08	138	04	22.9	E	36	03	35.6	N	2.37	10.9	31.6	117	5.5
C09	B12	9:05	138	04	17.9	E	36	03	03.6	N	5.24	7.7	26.4	128	4.5
C11	B11	8:53	138	04	45.4	E	36	02	39.8	N	6.00	6.7	22.4	126	4.0
C13	B15	9:42	138	05	16.8	E	36	02	36.0	N	5.52	8.4	28.4	150	5.1
C15	B14	9:30	138	05	02.6	E	36	02	58.2	N	5.69	7.0	24.8	151	4.4
C17	B13	9:18	138	04	34.9	E	36	03	13.1	N	4.91	8.1	27.6	127	4.8
K01	B10	8:38	138	04	38.5	E	36	01	56.7	N	3.01	10.5	36.4	125	5.5
K03	B09	8:26	138	04	11.3	E	36	02	20.9	N	4.53	9.3	31.2	119	5.2
K05	B07	8:00	138	03	44.9	E	36	02	45.5	N	3.76	9.1	30.0	129	5.3
K06	B06	7:45	138	03	30.2	E	36	02	58.2	N	2.80	9.5	30.0	140	5.4
K08	B05	7:34	138	03	32.4	E	36	03	08.7	N	2.60	9.4	30.0	127	5.5
K09	B04	7:23	138	03	49.0	E	36	03	17.7	N	3.01	9.6	32.4	120	5.5
K12	B08	8:11	138	04	15.4	E	36	02	42.3	N	5.47	8.6	28.0	123	5.1
K14	A15	9:13	138	04	41.5	E	36	02	18.9	N	5.44	7.8	28.4	122	4.5
K16	A14	9:05	138	05	12.5	E	36	02	15.0	N	2.98	8.1	28.0	117	4.8
K18	A13	8:55	138	05	46.8	E	36	02	32.4	N	2.00	7.6	29.2	117	4.4
T01	A01	6:38	138	06	36.2	E	36	03	00.3	N	2.02	18.4	50.4	99	8.6
T03	A02	6:50	138	06	33.0	E	36	03	27.6	N	2.18	24.8	69.9	62	17.8
T05	A03	7:06	138	06	04.7	E	36	03	52.5	N	2.27	7.7	27.6	125	5.8
T06	A04	7:19	138	05	42.5	E	36	03	48.3	N	3.57	10.9	33.6	104	5.9
T08	A05	7:30	138	05	09.3	E	36	03	40.9	N	3.79	11.7	38.0	108	6.1
T10	A06	7:41	138	05	55.0	E	36	03	37.3	N	3.20	9.9	34.0	121	5.6
T12	A07	7:54	138	06	22.6	E	36	03	13.1	N	2.21	13.7	49.6	105	7.8
T13	A08	8:03	138	06	18.8	E	36	02	51.4	N	2.54	12.2	32.4	95	5.4
T15	A09	8:15	138	05	52.3	E	36	03	15.7	N	2.14	9.4	29.6	106	5.1
T17	A10	8:22	138	05	21.7	E	36	03	18.7	N	5.58	8.9	30.4	119	5.3
T19	A11	8:36	138	05	50.0	E	36	02	54.6	N	4.61	8.5	30.8	110	5.0
T20	A12	8:43	138	06	02.3	E	36	02	42.2	N	3.19	10.5	31.6	113	5.1

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



附表1 諏訪湖の水質データ (2016年8月9日) 続き  
Appendix table 1. Observed water quality data in Lake Suwa on August 9, 2016  
(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	27.3	27.2	27.0	27.0	<i>27.0</i>				8.32	8.28	8.31	8.11	<i>8.10</i>			
C04	27.1	27.1	27.1	26.7	<i>26.4</i>				8.37	8.37	8.29	8.38	<i>8.29</i>			
C06	26.5	26.5	26.4	<i>26.2</i>					8.32	8.25	8.05	<i>7.59</i>				
C09	27.8	27.4	27.1	26.6	25.9	24.0	<i>23.6</i>		8.61	8.80	7.70	7.05	3.15	0.29	<i>0.12</i>	
C11	27.5	27.2	27.0	26.6	24.5	23.9	<i>23.2</i>		8.45	8.49	7.77	6.53	0.43	0.17	<i>0.13</i>	
C13	27.5	27.3	27.0	26.5	24.8	23.7	<i>23.3</i>		8.75	8.72	8.13	6.09	0.49	0.15	<i>0.12</i>	
C15	28.1	27.5	27.2	25.4	24.1	23.3	<i>22.9</i>		8.38	8.76	8.08	0.57	0.15	0.12	<i>0.10</i>	
C17	28.0	27.6	27.3	26.8	25.4	<i>24.2</i>			8.62	8.79	8.25	6.64	5.14	<i>5.81</i>		
K01	27.8	27.4	26.9	<i>26.4</i>					7.51	8.01	7.44	<i>3.33</i>				
K03	27.1	27.0	26.8	26.6	26.3	<i>25.0</i>			8.40	7.43	7.40	6.81	4.34	<i>0.22</i>		
K05	27.0	27.0	27.0	26.7	<i>26.5</i>				8.43	8.42	8.08	6.19	<i>5.37</i>			
K06	26.9	27.0	26.9	<i>26.6</i>					8.53	8.53	8.27	<i>7.12</i>				
K08	26.9	26.9	26.8	<i>26.6</i>					8.43	8.43	8.12	<i>7.27</i>				
K09	26.7	26.7	26.7	<i>26.7</i>					8.30	8.29	8.24	<i>8.26</i>				
K12	27.1	27.0	26.9	26.7	24.8	24.1	<i>23.5</i>		8.40	8.45	8.03	7.63	1.09	0.19	<i>0.12</i>	
K14	27.9	27.1	26.9	26.6	25.3	24.2	<i>23.5</i>		7.61	7.84	7.23	5.95	2.55	0.13	<i>0.08</i>	
K16	28.1	27.3	27.0	<i>26.8</i>					7.78	7.60	<i>7.59</i>	<i>7.08</i>				
K18	27.5	27.2	<i>24.7</i>						7.46	7.55	<i>7.36</i>					
T01	27.3	27.5	<u>27.5</u>						7.29	7.12	<u>6.97</u>					
T03	26.3	26.5	<u>26.5</u>						2.94	2.77	<u>2.70</u>					
T05	26.2	26.6	26.7	<i>26.8</i>					3.89	3.61	2.63	<i>2.28</i>				
T06	27.3	27.3	27.3	27.0	<i>26.3</i>				7.49	7.44	7.23	7.02	<i>5.06</i>			
T08	26.7	27.1	27.2	26.9	<i>25.9</i>				7.37	7.38	7.28	5.31	<i>6.59</i>			
T10	26.8	27.1	27.2	27.0	<i>26.7</i>				7.87	7.71	7.50	5.99	<i>4.33</i>			
T12	27.1	27.2	27.1	<i>27.1</i>					7.40	6.96	5.30	<i>4.70</i>				
T13	27.2	27.2	27.2	<i>27.2</i>					7.76	7.59	6.37	<i>5.40</i>				
T15	27.0	27.1	<u>27.0</u>						8.08	7.77	<u>7.15</u>					
T17	27.0	27.0	26.9	25.8	24.3	23.4	<i>23.1</i>		7.74	7.81	7.47	1.00	0.16	0.10	<i>0.07</i>	
T19	27.3	27.0	26.8	26.6	23.7	<i>23.4</i>			7.28	7.39	6.98	6.26	0.15	<i>0.10</i>		
T20	27.4	27.1	26.9	25.7	<i>25.7</i>				8.11	7.97	7.18	5.79	<i>5.33</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.