

2019 年夏季における諏訪湖の水平・垂直水質分布

柳町晴美¹, 宮原裕一²

¹信州大学社会科学系, ²信州大学理学部

Horizontal and vertical water quality distribution in Lake Suwa in the summer of 2019

H. Yanagimachi¹, Y. Miyabara²

¹Institute of Social Sciences, Shinshu University,

²Faculty of Science, Shinshu University

2019 年 8 月 8 日の諏訪湖では, SS, Chl-*a*, IL, Trans. は 2003 年以降の同時期の平均的な状況よりも改善されていた。表層から水深 2m までの水温は同時期平均よりも高温であり, 水深 3m 水温は平年並み, 水深 4m・5m 水温は同時期平均より低温であった。表層から水深 4m までの DO は同時期平均よりも高く, 特に DO2m はこれまでの観測日中最も高かった。表層水温が平年より高いにもかかわらず, 諏訪湖の水質は平年よりも良好であった。

2019 年 8 月 8 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 と Trans. の変動を説明するパターンである。

2019 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 8 月 10 日(水深 0.5m 28.3℃, 水深 1.5m 28.1℃) に出現した。水深 3m のピークは 8 月 14 日 (26.5℃), 水深 5m のピークは 8 月 15 日 (25.5℃) 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, 2018 年までの 17 年間に 31 日間の水平分布に関するデータ, 2005 年以降の 23 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, 2019)。

2019 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 8 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。

2019 年夏季も 2018 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, 2019 年夏季の諏訪湖の水質分布パターンと, 2019 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

2019年8月8日の水質観測方法は、2002～2018年に実施した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、2019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2016年以降実施の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2019年の各ルートの観測順を示した）。2019年夏季は、Aルート15測点、Bルート15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8日の観測時間は7:09～10:13、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。

2018年までの解析方法と同様に、2019年8月

8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、2018年までと同様に、2019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（24.1℃（7:00）～30.4℃（10:20））。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、26.8℃（7:00）から27.6℃（10:20）まで上昇した（図3）。観測時間帯を含む3時間20分間には0.8℃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）は0.2℃上昇、水深3m水温（W.T.3m）は上昇、低下、再び上昇したが、

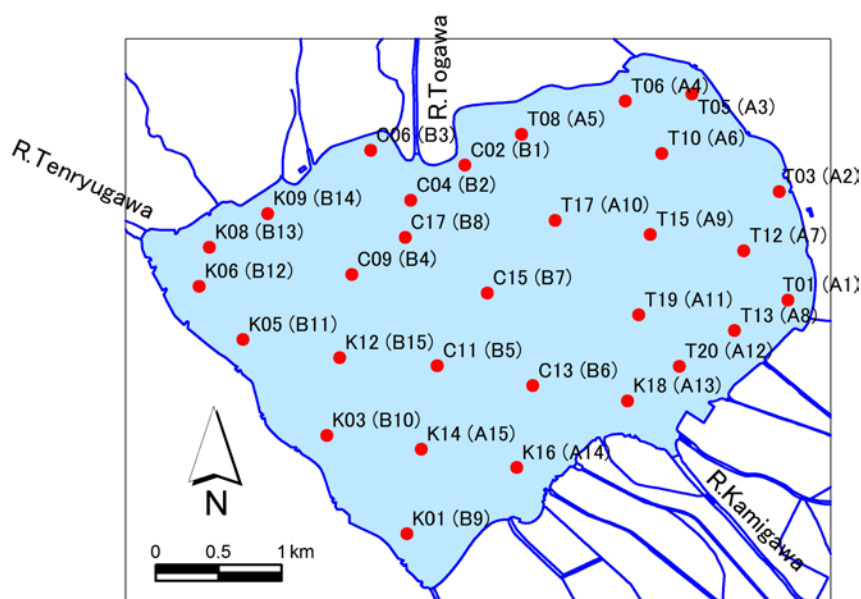


図1 30観測地点（A,Bルートの観測順）と流入・流出河川 2019年8月8日

Fig.1. 30 survey points (observation order of A or B route) in Lake Suwa, inlets and outlet on August 8, 2019

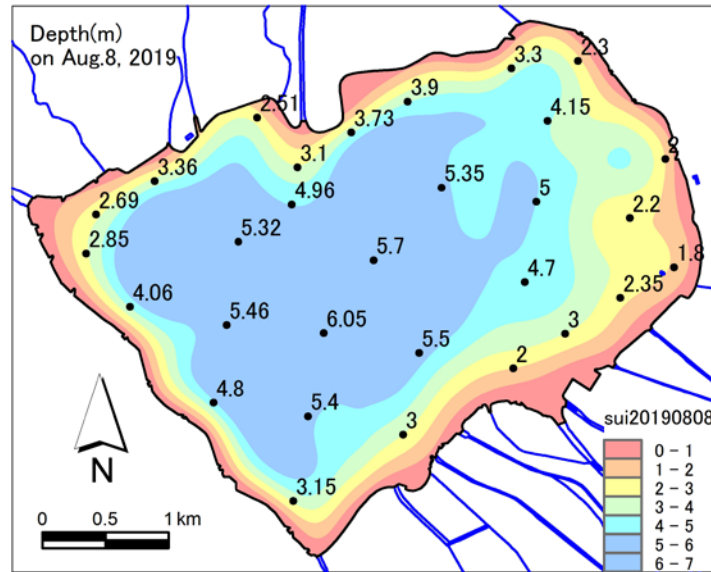


図2 観測日の諏訪湖の水深 2019年8月8日

Fig.2. Depth of Lake Suwa on August 8, 2019

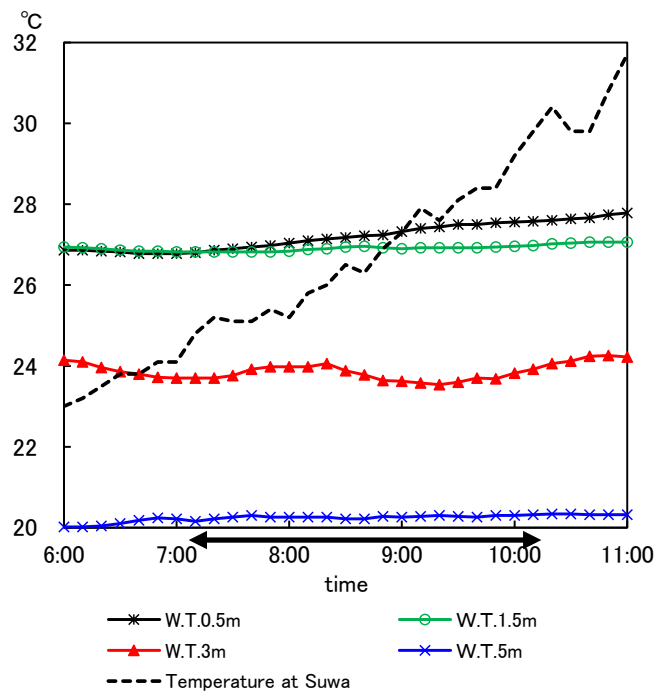


図3 2019年8月8日の湖心(C15)における水温と諏訪の気温
矢印は観測時間帯を示す

Fig.3. Water temperatures at the center of Lake Suwa (C15) and temperature at Suwa observation station on August 8, 2019
Arrow shows the time span of observation

観測時間内の変動幅は 0.6℃である。水深 5m 水温 (W.T.5m) はほぼ一定であった (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。

2019 年 8 月 8 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 0.5943 ($p=0.0005$), スピアマンの順位相関係数は 0.6480 ($p=0.0001$) であり (表 1), 有意水

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

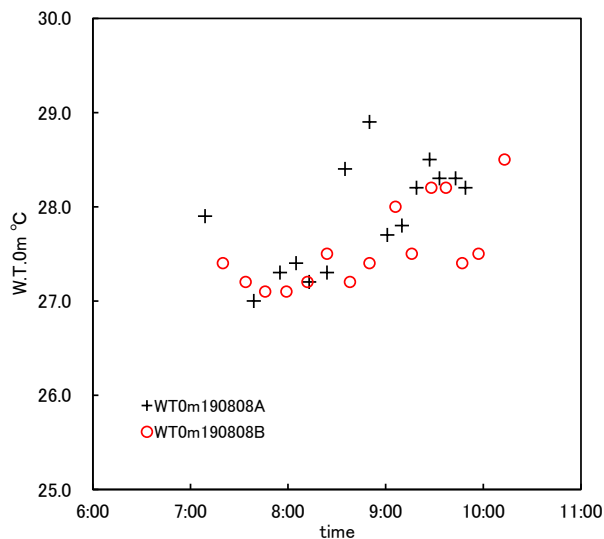
Table 1. Correlation coefficients and Spearman's rank correlation coefficients between the observation time and the water quality elements

	August 8, 2019				
	r	p value	r_s	p value	N
SS	-0.3180	0.0928	-0.2944	0.1210	29
Chl- <i>a</i>	-0.2947	0.1139	-0.2462	0.1898	30
IL	-0.2358	0.2097	-0.2945	0.1141	30
Trans.	-0.1261	0.5067	-0.1891	0.3170	30
DO 0m	0.2524	0.1784	0.3820	0.0373 *	30
DO 1m	0.3862	0.0350 *	0.7266	0.0000 **	30
DO 2m	0.1951	0.3296	0.5122	0.0063 **	27
DO 3m	0.0452	0.8542	0.1922	0.4305	19
DO 4m	0.2633	0.4083	0.1681	0.6015	12
DO 5m	0.4227	0.3447	0.0714	0.8790	7
W.T. 0m	0.5943	0.0005 **	0.6480	0.0001 **	30
W.T. 1m	0.1751	0.3547	0.1907	0.3128	30
W.T. 2m	-0.0640	0.7510	-0.0806	0.6893	27
W.T. 3m	-0.1124	0.6469	-0.1265	0.6059	19
W.T. 4m	0.2359	0.4605	0.0931	0.7734	12
W.T. 5m	0.4248	0.3421	0.2857	0.5345	7

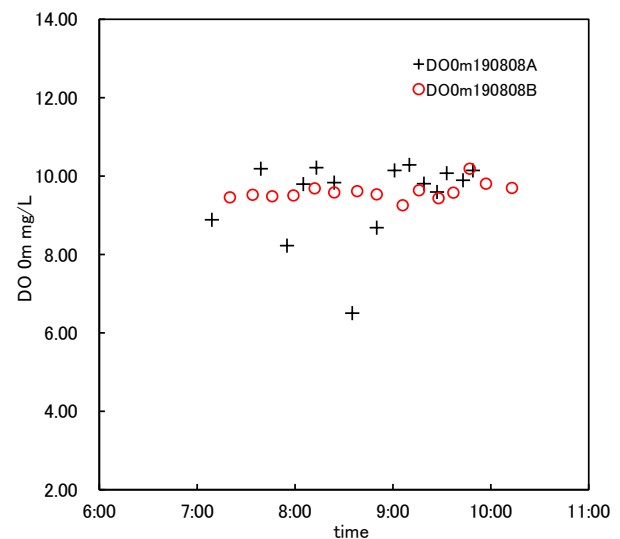
** : significant at 0.01 significant level.

* : significant at 0.05 significant level.

T03(SS) is excluded from the calculations.



(a) W.T. 0m on August 8, 2019



(b) DO 0m on August 8, 2019

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

準 1%でいずれも統計的に有意な相関があると言える。

W.T.0m と観測時刻との散布図（図 4 (a)）をみると、A ルートは 7 時 40 分～8 時 10 分頃水温がやや低下、その後変動しながら上昇、9 時 30 分以降はほぼ一定の水温であった。B ルートも 8 時前後にやや低下した後、徐々に上昇したが、9 時以降は水温が低下・上昇の変動傾向にあった。

観測時間全体では時間経過とともに水温が上昇傾向にあるものの、水温の上下変化が大きく、例えば、T10 (A6) から次の測点 T12 (A7) にかけて 11 分後に 1.1℃上昇し、T13 (A8) から次の測点 T15 (A9) にかけて 11 分後に 1.2℃低下した。

2015 年 8 月 5 日の観測では各測点の W.T.0m を目的変数、観測時刻を説明変数とする回帰式による W.T.0m の補正を行った。この場合の補正值 2 による 1 時間当たりの気温上昇は 0.7524℃であった（柳町ほか、2016）。2019 年 8 月 8 日の W.T.0m にも同様の補正を試みると 1 時間当たりの気温上昇は 0.3697℃となり、2015 年 8 月 5 日の半分以下と小さく、さらに、水温補正を行うと測点毎の水温の違いが不明瞭になる恐れがあるため、時間経過に伴う W.T.0m の補正は実施しないこととした。

DO0m・DO1m と観測時刻との相関係数は、0.2524 ($p=0.1784$)・0.3862 ($p=0.0350$)、スピアマンの順位相関係数は 0.3820 ($p=0.0373$)・0.7266 ($p=0.0000$) である。DO0m の相関係数を除き、有意水準 5%または 1%で有意な正相関である（表 1）。

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)）と附表 1 から、A ルートの T12 (A7) が特に低い値を示す。T12 の SS, IL は全測点中の最大値であり、Trans.は最小値である。T12 の水深は 2.2m と浅く、この付近では特にヒシが密生していた。T12 の DO0m, DO1m 値が低い理由として、ヒシの葉と SS が多いため光が水中に届かず水中で光合成ができないうことと、ヒシが密生することで水がよどみ、沖との水の交換が悪いことの 2 つが考えられる。

(2) 水質データの統計量

2019 年 8 月 8 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。T03

測点の SS は秤量時の計測ミスにより no data とした。

表 2 (b)は、2015 年以前の 60 測点から、2016 年以降の 30 測点と同じ測点のみ抽出し、2019 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 8 日における SS, Chl-*a*, IL, Trans.の平均 (SS 5.7mg/L, Chl-*a* 19.4 μ g/L, IL 3.7mg/L, Trans. 156.0cm)（表 2 (a)）を、2003～2019 年 7・8 月の 20 観測日平均（2005 年以降測定している IL は 2005～2019 年 8 月の 14 観測日平均（2005 年以降の 7・8 月観測日はすべて 8 月）（SS 10.8mg/L, Chl-*a* 48.3 μ g/L, IL 7.6mg/L, Trans. 120.5cm)（表 2 (b)）と比較する。

8 月 8 日の SS, Chl-*a*, IL の平均は、7・8 月の 20 観測日（IL は 14 観測日）平均より低く、20 または 14 観測日中の順位（降順）はそれぞれ 19 位、19 位、14 位であり、SS, Chl-*a* は 2 番目、IL は最も低かった。これら 3 要素から見た諏訪湖の水質は同時期ではこれまでの観測日中、最も改善された状況に近かった。

Trans.の平均は 20 観測日の平均よりも 35.5cm 高く、20 観測日中 4 番目に高かった。Trans.も同時期の平均的な状況よりも改善されていた。

SS, Chl-*a* が最も低い値となった 2006 年 8 月 4 日（IL は欠測）は、同年 7 月の記録的な豪雨の後の観測日であり、諏訪湖は大量に流入した河川水により水質が改善していたと考えられる。同様に、諏訪における 2019 年 7 月の月降水量は 250.0mm（平年比 130.6%）とやや多く、さらに 7 月平均気温は 22.3℃（平年比 -0.4℃）とやや低温であったため、同時期平均よりも水質が改善されていた可能性が考えられる。

次に、8 月 8 日の水深 1m 毎水温（W.T.0m～W.T.5m）平均（W.T.0m 27.7℃, W.T.1m 27.5℃, W.T.2m 27.0℃, W.T.3m 25.1℃, W.T.4m 22.8℃, W.T.5m 21.6℃）（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 15 観測日の水深 1m 毎水温平均（W.T.0m 27.2℃, W.T.1m 26.5℃, W.T.2m 25.9℃, W.T.3m 25.0℃, W.T.4m 23.6℃, W.T.5m 22.1℃）（表 2 (b)）と比較する。

8 月 8 日の W.T.0m は 2005 年以降の 15 観測日平均よりも 0.5℃高く、2003 年以降の 20 観測日平均との比較では 1.2℃高い。15 または 20 観測日中の順位（降順）はいずれも 5 位であり、2005

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

(a) August 8, 2019

	SS(mg/L)	Chl- <i>a</i> (μ g/L)	IL(mg/L)	Trans.(cm)	Depth(m)
Max	8.1	30.4	6.3	189	6.05
Min	3.9	13.2	2.9	106	1.80
Mean	5.7	19.4	3.7	156.0	3.79
S.D.	1.1	3.8	0.7	16.5	1.32
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	10.28	10.49	10.57	9.74	7.50	0.70	
Min	6.50	5.22	0.24	0.47	0.18	0.18	
Mean	9.54	9.61	9.11	6.71	3.26	0.36	
S.D.	0.73	0.98	2.08	2.97	3.13	0.18	
N	30	30	27	19	12	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	28.9	28.5	27.6	26.6	24.4	22.5	
Min	27.0	26.8	26.4	23.0	21.5	20.6	
Mean	27.7	27.5	27.0	25.1	22.8	21.6	
S.D.	0.5	0.4	0.4	1.2	1.1	0.7	
N	30	30	27	19	12	7	0

(b) July and August, 2003~2019 at 30 observation points

	SS(mg/L)	Chl- <i>a</i> (μ g/L)	IL(mg/L)	Trans.(cm)	Depth(m)
Max	51.8	373.6	50.2	235	6.43
Min	1.9	4.5	2.9	32	1.42
Mean	10.8	48.3	7.6	120.5	3.84
Observation period	2003~2019	2003~2019	2005~2019	2003~2019	2003~2019
Observation days	20	20	14	20	14

	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	8.84	8.58	7.41	5.65	2.96	0.71
Observation period	2005~2019	2005~2019	2005~2019	2005~2019	2005~2019	2005~2019
Observation days	14	14	14	14	14	14

	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	26.5	27.2	26.5	25.9	25.0	23.6
Observation period	2003~2019	2005~2019	2005~2019	2005~2019	2005~2019	2005~2019
Observation days	20	15	15	15	15	15

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

年以降の同時期平均よりもやや高温であった。

W.T.1m・W.T.2mの平均は、いずれも15観測日平均よりも高く、15観測日平均との差はW.T.1m 1.0°C、W.T.2m 1.1°Cである。W.T.3mは15観測日平均とほぼ同じである（0.1°C高い）。W.T.4mとW.T.5mは、逆に15観測日平均よりも低く、15観測日平均との差は、W.T.4m -0.8°C、W.T.5m -0.5°Cである。

15観測日中の順位（降順）は、W.T.1m 4位、

W.T.2m 4位、W.T.3m 9位、W.T.4m 12位、W.T.5m 11位であり、順位からも、水深2mまでは同時期平均よりも高温、水深3m水温は平均並み、水深4m、水深5mは平均よりも低温と言える。

8月8日のW.T.0m（30測点）とW.T.5m（7測点）の平均水温の差は6.1°Cである。同時期平均のW.T.0mとW.T.5mとの平均水温差は5.1°C（W.T.0m 20観測日平均）、または4.4°C（W.T.0m 15観測日平均）であるため、同時期平均よりも

表層と低層の水温差は大きかった。水温成層が形成されていたことが示唆される。

水深 1m 毎水温と同様に、8 月 8 日の水深 1m 毎 DO 平均値 (DO0m 9.54mg/L, DO1m 9.61mg/L, DO2m 9.11mg/L, DO3m 6.71mg/L, DO4m 3.26mg/L, DO5m 0.36mg/L) (表 2 (a)) を、2005 年以降の 8 月 14 観測日の DO 平均値 (DO0m 8.84mg/L, DO1m 8.58mg/L, DO2m 7.41mg/L, DO3m 5.65mg/L, DO4m 2.96mg/L, DO5m 0.71mg/L) (表 2 (b)) と比較する。

8 月 8 日の DO は、DO0m～DO4m まで 14 観測日平均より高く、DO5m は 14 観測日平均よりやや低かった。DO0m～DO5m の 14 観測日中の順位 (降順) は、6 位、4 位、1 位、5 位、6 位、8 位であり、表層から中層の DO は同時期平均よりも高く、特に DO2m は 14 観測日中の最高値であった。

(3) 表層水質データの水平分布

8 月 8 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* の分布は類似しており、諏訪湖東端部付近と北部から北西部で高く、南東部でやや低い。SS は北東部もやや低い。

Trans. は諏訪湖北部から北東部で高く、東端部付近で低い。

W.T.0m は、諏訪湖南部から南東部、北西岸で高く、北部から北東部と中央部で低い。

(4) 表層水質データの相関関係

8 月 8 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 T03 の SS は no data であるため、T03 の SS 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 0.6 以上であり、有意水準 1% で相互に有意な正相関である。SS, Chl-*a*, IL は類似した分布傾向であることを示唆する。Trans. と SS, Trans. と IL との相関係数は、それぞれ -0.4678, -0.4947 であり、有意水準 5%, 1% で有意な負相関である。

4 要素間の相関係数は、Trans. と Chl-*a* とは有意な相関ではないものの、他は過去の観測において確認された傾向と同様である。すなわち、SS, Chl-*a*, IL の 3 要素は類似した分布であり、Trans. は SS, IL と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 8 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, 2019) と同様に、主成分分析は水質要素の相関行列を用いて行った。

T03 の SS は no data であるため T03 測点を除外し、29 測点を用いた分析である。

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 2.146, 寄与率は 53.6% である。第 2 主成分の固有値は 1.298, 寄与率は 32.5% である。第 1 主成分と第 2 主成分により全変動の 86.1% 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 0.919, 0.914, -0.631 である。SS, Chl-*a* はいずれも、4 主成分中、第 1 主成分の主成分負荷量の絶対値が最も大きい。SS, Chl-*a* の

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

August 8, 2019

	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	1.0000									
Chl- <i>a</i>	0.7676	0.0000 **	1.0000							
IL	0.8224	0.0000 **	0.6322	0.0002 **	1.0000					
Trans	-0.4678	0.0105 *	-0.2873	0.1237	-0.4947	0.0054 **	1.0000			
DO 0m	-0.2894	0.1279	-0.2020	0.2843	-0.5792	0.0008 **	0.3629	0.0487 *	1.0000	
W.T.0m	-0.2156	0.2613	-0.2256	0.2307	-0.0023	0.9903	-0.2092	0.2673	-0.2631	0.1601

** : significant at 0.01 significant level.

* : significant at 0.05 significant level.

T03(SS) is excluded from the calculations.

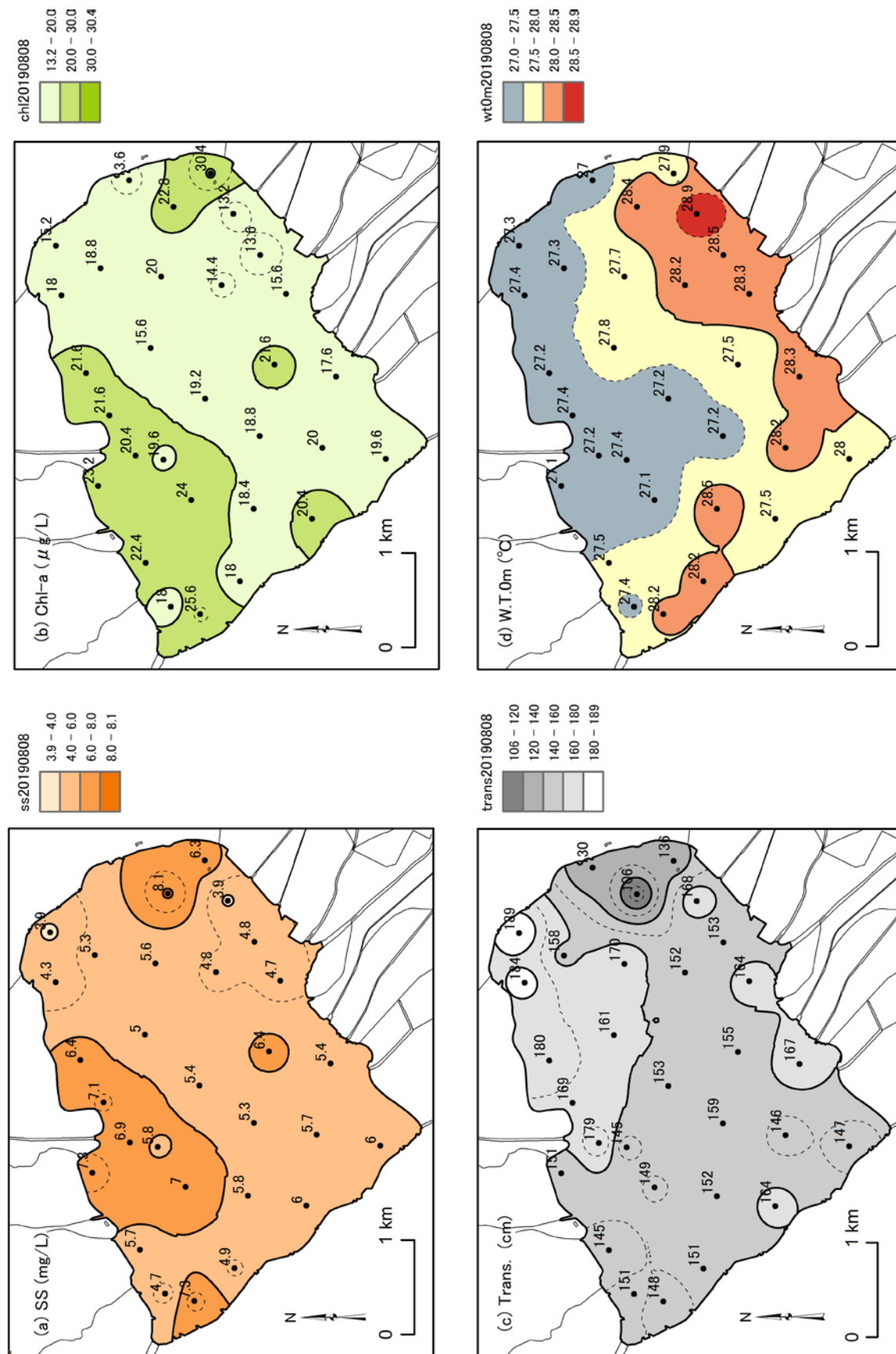


図 5 水質分布図 (2019 年 8 月 8 日) (a) 懸濁物質質量, (b) クロロフィル *a* 濃度, (c) 透明度, (d) 表層水温
 Fig. 5. Water quality maps of Lake Suwa on August 8, 2019. (a)SS, (b) Chl-*a*, (c)Trans., (d)W.T.0m

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 8, 2019 N=29

	Eigenvalue	Proportion	Cumulative proportion
Component 1	2.146	53.6%	53.6%
Component 2	1.298	32.5%	86.1%
Component 3	0.333	8.3%	94.4%

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 8, 2019 N=29

	Component 1	Component 2	Component 3
SS	0.919 **	0.037	0.241
Chl- <i>a</i>	0.914 **	0.166	0.121
Trans	-0.631 **	0.667 **	0.395 *
W.T.0m	-0.259	-0.908 **	0.322

**: significant at 0.01 significant level.

*: significant at 0.05 significant level.

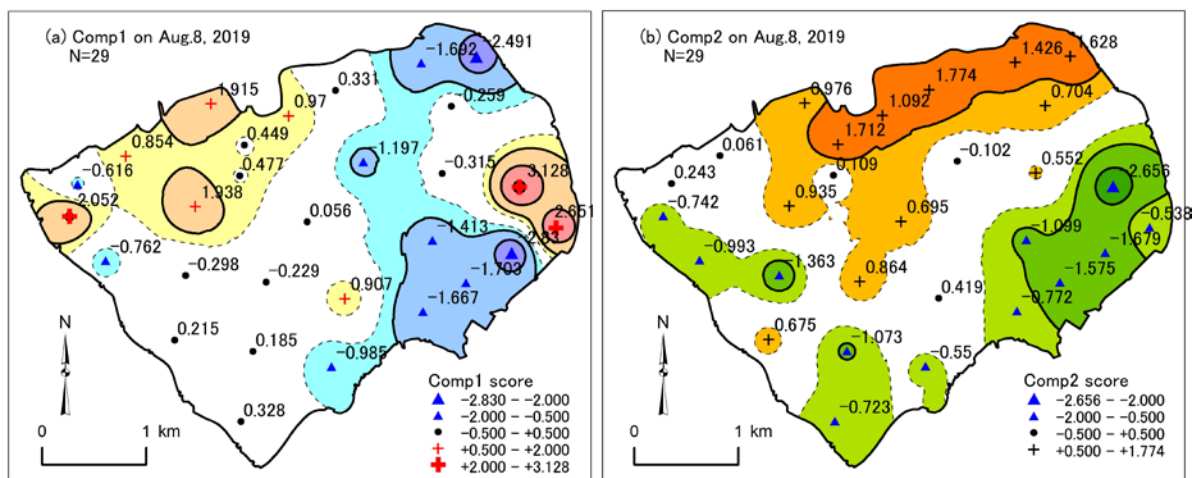


図6 4要素の主成分分析による主成分得点分布図, 2019年8月8日

(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 8, 2019

(a) Component1 (b) Component2

表6 主成分得点に基づく地域区分の特徴, 2019年8月8日

Table 6. Characteristics of the regional divisions based on the component scores on August 8, 2019

(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.

2要素の変動は、主に第1主成分により説明される（SS 84.4%, Chl-*a* 83.6%）。Trans.は、第1主成分により変動の39.8%が説明され、第2主成分により44.5%が説明される。

W.T.0mの第2主成分の主成分負荷量は、-0.908であり、第2主成分により変動の82.4%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.がやや低い」、「SS, Chl-*a*が低い所はTrans.がやや高い」という変動を説明する。

第2主成分は、W.T.0mとTrans.の変動を説明するパターンである。すなわち、「W.T.0mが低い所ではTrans.がやや高い」、「W.T.0mが高い所ではTrans.がやや低い」という変動を説明する。

8月8日の第1主成分は、2018年8月7日、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第1主成分と類似した特徴を示した。

(6) 表層における水質分布の特徴

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、2008～2018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, 2019）。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。

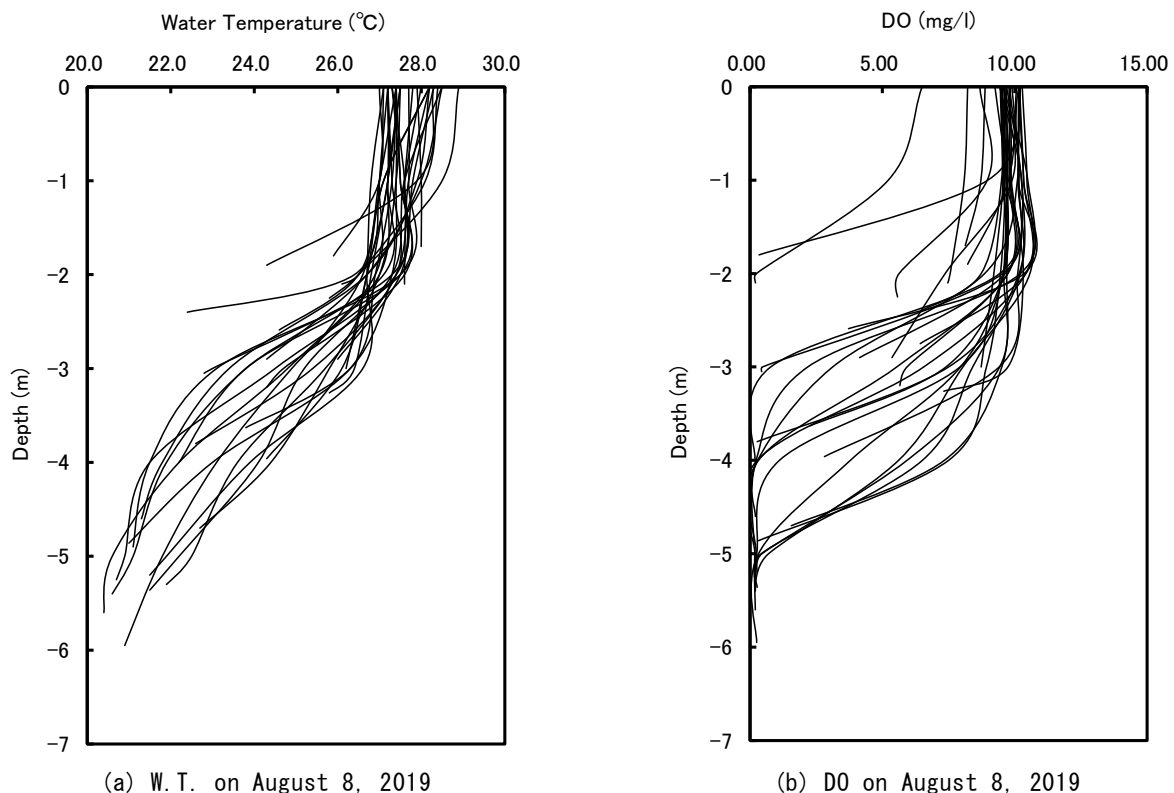


図7 測地点毎の水温とDOの垂直分布

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

8月8日の第1主成分得点分布図(図6(a))において、+は「SS, Chl-a が高く, Trans.がやや低い」地域, ▲は「SS, Chl-a が低く, Trans.がやや高い」地域を示す。+「SS, Chl-a が高く, Trans.がやや低い」地域は、湖の東端部と北部から北西部に分布し, ▲「SS, Chl-a が低く, Trans.がやや高い」地域は、南東部と北東部に分布する。

8月8日の第2主成分得点分布図(図6(b))において、+の地域「W.T.0m が低く, Trans.がやや高い」は、湖の北部から北東部に分布し, ▲の地域「W.T.0m が高く, Trans.がやや低い」は、東部から南東部に分布する。前述のように, Trans.の変動は第1主成分と第2主成分の両方で約40%ずつ説明される。

(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。

8月8日のW.T.の垂直分布は, 水深2mまたは3mまで水温は殆ど低下せず, 水深2mまたは3mで躍層が出現し水温が低下する測点が多い(図7(a))。

前述のように, 2019年8月8日の各水深における水温平均値は, W.T.0mからW.T.2mまでは同時期平均よりも高く, W.T.3mは平均並み, W.T.4m, W.T.5mは平均よりも低温であった。水深1m毎の水温平均, さらに, 各測点の水温垂直分布から見て, 2019年8月8日には水温差が同時期平均よりも大きな躍層が出現していたと考えられる。

8月8日のDOの垂直分布は, 水深2mまでDO値は殆ど変化せず, 水深3m~4m以深で急激に低下する測点が多い(図7(b))。水深5m以深のDOはどの測点も0に近い値である。

(8) 2019年夏季の水温変化

2019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。

2019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月末から8月初めに1.5℃程度の差に拡大したが, 他の期間は極めて近接して推移した。

7月27日に台風6号の影響により湖水が攪拌され一時的に水深0.5m~3m水温差が解消したほかは, 7月下旬から8月上旬は, 表層, 中層, 低層の各層間の水温差が拡大し水温成層が形成されていた。水深0.5mと水深3m・5m, 水深1.5mと水深3m・5mの水温差が最も拡大したのは, いずれも8月3~4日である。

8月12~14日頃, 水深0.5m, 水深1.5m, 水深3m水温がほぼ同じになり, 水深5m水温も8月15日にほぼ同じになった。日本の南を北上し, 15日に広島県に上陸した台風10号による強風の影響と考えられる。

2019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8月10日(水深0.5m 28.3℃, 水深1.5m 28.1℃), 2番目のピークはいずれも8月3日(水深0.5m 28.2℃, 水深1.5m 27.4℃)に出現した。

水深3mのピークは8月14日(26.5℃), 水深5mのピークは8月15日(25.5℃)に出現した。台風10号による強風で湖水が表層から低層まで攪拌されてほぼ同じ水温となったが, 水深0.5m, 1.5m水温は低下し, 水深3m, 5m水温は上昇してピークとなったと考えられる。8月19日には諏訪で日降水量118.5mmを記録し, 激しい雨が降った。これ以降, 水深0.5mから3mまでの水温は大きく乖離せずに推移した。水深5m水温は, 9月上旬まで3m以浅よりも3~4℃低温であった。

10月5日以降, 水深0.5m~5m水温は近接した値となり水温差が小さい状態で推移した。

観測を実施した8月8日頃は, 水深0.5m水温, 水深1.5m水温はほぼ同じであり, 水深0.5mと水深3mの水温差は約3℃, 水深3mと水深5mとは4℃以上の水温差があった。従って観測日には湖心付近において水温成層が形成されていた。

諏訪における7月の平均気温は平年よりも0.4℃低く, 7月の月降水量は250mmであり平年比130.6%と多雨であり, 植物プランクトンの発生には不利な気象条件であったと考えられる。

8月19日に8月の観測史上1位となる日降水量118.5mmを記録したが, 水深0.5m~水深5m

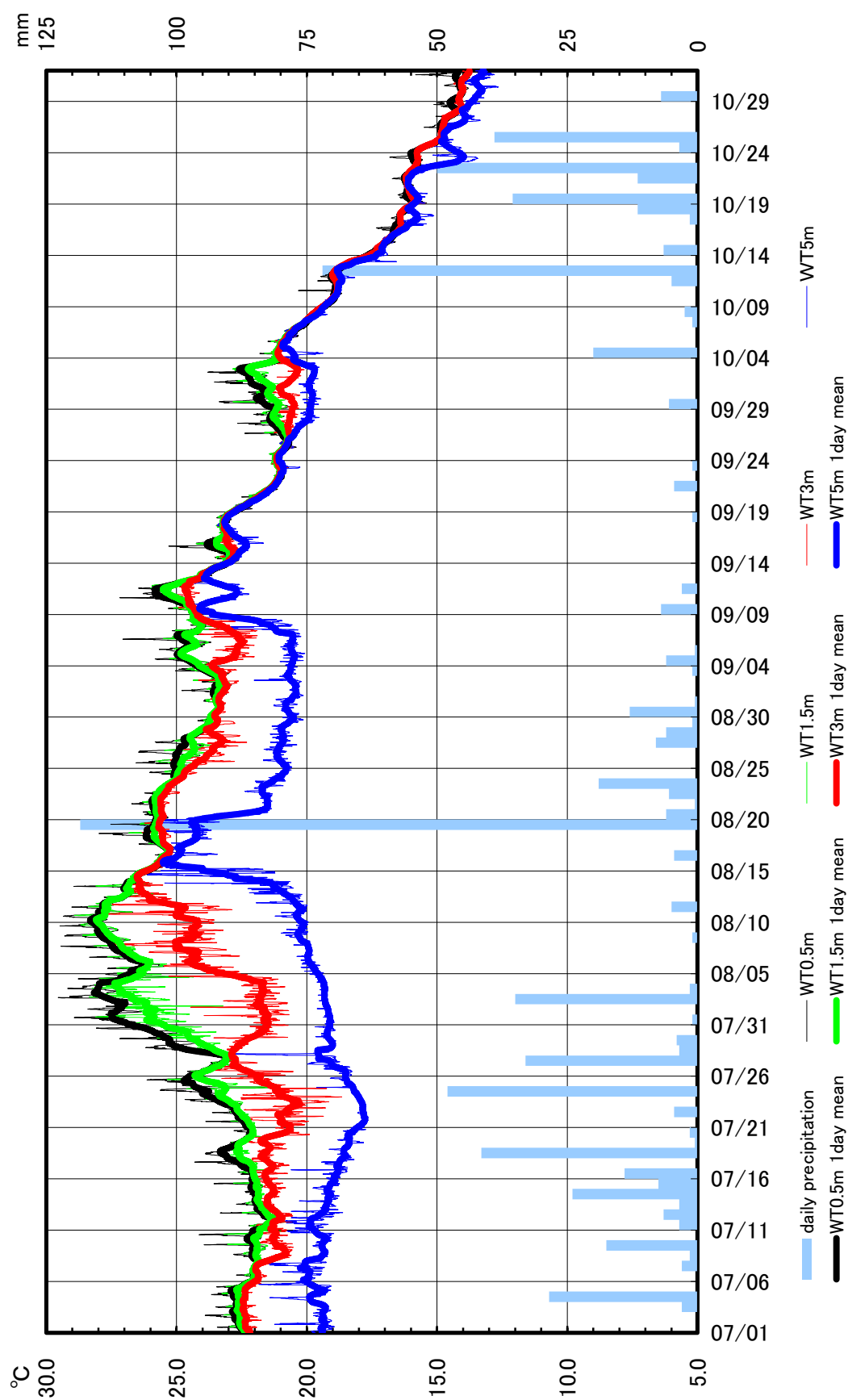


図 8 2019 年夏季の湖心 (C15) における水深 0.5m, 水深 1.5m, 水深 3m, 水深 5m の水温変化と諏訪における日降水量の変化
 Fig.8. Variations in water temperatures at depths of 0.5m, 1.5m, 3m and 5m at the center of Lake Suwa (C15) and variation in daily precipitation at Suwa observation station in the summer of 2019

水温はその前の 8 月 15 日にほぼ同じになった。従って、降水の影響により湖水が攪拌されたのではなく、強風により低層まで攪拌されたことが示唆される。

4. まとめ

2019 年 8 月 8 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。

2019 年 8 月 8 日の諏訪湖の SS, Chl-*a*, IL, Trans. は、いずれも同時期平均よりも改善された状態であった。

W.T.0m から W.T.2m は同時期平均より高く、W.T.3m は同時期平均並み、W.T.4m・W.T.5m は同時期平均よりも低温であった。

8 月 8 日の DO0m から DO4m まで同時期平均よりも高く、特に DO2m はこれまでの観測日中最も高かった。

2019 年 8 月 8 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 と Trans. の変動を説明するパターンである。

2019 年 7 月下旬から 8 月上旬まで、概ね水深 0.5m・1.5m 水温と水深 3m 水温、水深 5m 水温の差が大きく、水温成層が形成されていた。

湖心における水深 0.5m、水深 1.5m の水温ピークは、いずれも 8 月 10 日 (水深 0.5m 28.3℃, 水深 1.5m 28.1℃), 水深 3m のピークは 8 月 14 日 (26.5℃), 水深 5m のピークは 8 月 15 日 (25.5℃) に出現した。

謝辞

本研究の水質調査・分析には、山本雅道氏と信州大学理学部附属諏訪臨湖実験所所属の大学院生・学部生等に協力していただいた。2006 年夏季の観測以降、山本雅道氏は共同研究者として本研究のために多大な貢献をされてきた。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.

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.

柳町晴美・宮原裕一・山本雅道 (2019) : 2018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, 41, 45-59.

(原稿受付 2020. 3. 10)

附表1 諏訪湖の水質データ (2019年8月8日)
Appendix table 1. Observed water quality data in Lake Suwa on August 8, 2019

Station	Route	Time JST	Longitude			Latitude			Depth (m)	SS (mg/L)	Chl- <i>a</i> (μ g/L)	Trans. (cm)	IL (mg/L)
			deg	min	sec	deg	min	sec					
C02	B1	7:20	138	04	52.6 E	36	03	32.1 N	3.73	7.1	21.6	169	4.4
C04	B2	7:34	138	04	35.9 E	36	03	22.7 N	3.10	6.9	20.4	179	4.3
C06	B3	7:46	138	04	22.7 E	36	03	35.2 N	2.51	7.3	23.2	151	4.1
C09	B4	7:59	138	04	17.9 E	36	03	03.1 N	5.32	7.0	24.0	149	4.3
C11	B5	8:12	138	04	45.8 E	36	02	40.3 N	6.05	5.3	18.8	159	3.3
C13	B6	8:24	138	05	16.2 E	36	02	35.9 N	5.50	6.4	21.6	155	3.8
C15	B7	8:38	138	05	00.9 E	36	02	59.4 N	5.70	5.4	19.2	153	3.3
C17	B8	8:50	138	04	34.5 E	36	03	13.1 N	4.96	5.8	19.6	145	3.4
K01	B9	9:06	138	04	37.8 E	36	01	56.8 N	3.15	6.0	19.6	147	4.0
K03	B10	9:16	138	04	11.5 E	36	02	21.5 N	4.80	6.0	20.4	164	4.0
K05	B11	9:28	138	03	44.1 E	36	02	45.5 N	4.06	4.9	18.0	151	3.5
K06	B12	9:37	138	03	29.7 E	36	02	58.9 N	2.85	7.3	25.6	148	4.5
K08	B13	9:47	138	03	32.5 E	36	03	09.0 N	2.69	4.7	18.0	151	3.2
K09	B14	9:57	138	03	50.7 E	36	03	18.1 N	3.36	5.7	22.4	145	3.8
K12	B15	10:13	138	04	14.9 E	36	02	41.6 N	5.46	5.8	18.4	152	3.6
K14	A15	9:49	138	04	41.6 E	36	02	18.7 N	5.40	5.7	20.0	146	3.9
K16	A14	9:43	138	05	11.9 E	36	02	14.7 N	3.00	5.4	17.6	167	3.6
K18	A13	9:33	138	05	46.3 E	36	02	32.7 N	2.00	4.7	15.6	164	3.2
T01	A1	7:09	138	06	36.2 E	36	02	59.9 N	1.80	6.3	30.4	136	4.1
T03	A2	7:39	138	06	32.4 E	36	03	27.7 N	2.00	no data	13.6	130	3.7
T05	A3	7:55	138	06	03.8 E	36	03	52.2 N	2.30		15.2	189	3.0
T06	A4	8:05	138	05	42.8 E	36	03	49.8 N	3.30	4.3	18.0	184	4.0
T08	A5	8:13	138	05	10.2 E	36	03	40.5 N	3.90	6.4	21.6	180	3.8
T10	A6	8:24	138	05	54.8 E	36	03	36.6 N	4.15	5.3	18.8	158	3.1
T12	A7	8:35	138	06	21.7 E	36	03	12.2 N	2.20	8.1	22.8	106	6.3
T13	A8	8:50	138	06	19.5 E	36	02	51.6 N	2.35	3.9	13.2	168	2.9
T15	A9	9:01	138	05	52.0 E	36	03	15.7 N	5.00	5.6	20.0	170	3.2
T17	A10	9:10	138	05	21.7 E	36	03	18.6 N	5.35	5.0	15.6	161	2.9
T19	A11	9:19	138	05	49.1 E	36	02	54.9 N	4.70	4.8	14.4	152	2.9
T20	A12	9:27	138	06	02.4 E	36	02	42.0 N	3.00	4.8	13.6	153	2.9

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

附表1 諏訪湖の水質データ（2019年8月8日）続き
Appendix table 1. Observed water quality data in Lake Suwa on August 8, 2019
(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	27.4	27.4	27.3	26.3	<i>23.8</i>				9.45	9.55	9.58	7.40	<i>2.27</i>			
C04	27.2	27.2	26.7	<u>26.2</u>					9.52	9.56	9.21	<u>8.73</u>				
C06	27.1	27.0	26.4	<i>22.4</i>					9.48	9.50	8.73	<i>6.45</i>				
C09	27.1	26.8	26.7	26.6	23.9	21.9	<i>21.5</i>		9.50	9.70	9.59	9.43	5.93	0.45	<i>0.27</i>	
C11	27.2	27.2	27.0	24.9	23.1	21.8	<i>20.9</i>		9.68	9.73	9.58	7.95	3.79	0.32	<i>0.25</i>	
C13	27.5	27.2	27.1	23.8	21.9	21.1	<i>20.6</i>		9.58	9.83	9.74	5.54	0.32	0.23	<i>0.20</i>	
C15	27.2	27.0	26.9	24.8	22.2	20.6	<i>20.4</i>		9.61	9.60	9.55	7.93	1.11	0.25	<i>0.20</i>	
C17	27.4	27.3	26.9	26.3	23.0	<i>21.0</i>			9.53	9.63	9.46	8.93	7.50	<i>0.32</i>		
K01	28.0	27.6	27.3	23.0	<i>22.8</i>				9.25	9.67	9.54	0.47	<i>0.44</i>			
K03	27.5	27.4	27.0	25.8	24.4	<i>22.7</i>			9.63	9.70	9.70	9.51	7.34	<i>1.56</i>		
K05	28.2	27.1	26.7	26.1	<i>24.3</i>				9.43	10.26	10.11	9.41	<i>2.81</i>			
K06	28.2	27.1	26.6	<i>25.5</i>					9.57	10.49	10.42	<i>6.43</i>				
K08	27.4	27.0	26.5	<i>24.6</i>					10.18	10.33	10.35	<i>3.72</i>				
K09	27.5	27.2	26.8	26.4	<i>25.8</i>				9.80	9.87	10.32	9.74	<i>7.32</i>			
K12	28.5	27.6	27.3	25.2	24.1	22.2	<i>21.5</i>		9.69	10.25	10.21	8.41	6.51	0.42	<i>0.27</i>	
K14	28.2	27.7	27.4	25.7	23.6	22.5	<i>21.9</i>		10.14	10.34	10.57	8.04	5.61	0.70	<i>0.20</i>	
K16	28.3	27.8	27.5	<i>26.0</i>					9.89	10.16	9.64	<i>4.14</i>				
K18	28.3	27.9	<i>24.3</i>						10.07	9.76	<i>8.22</i>					
T01	27.9	28.0	<i>28.0</i>						8.88	8.72	<i>8.13</i>					
T03	27.0	27.0	<i>25.9</i>						10.18	8.98	<i>0.34</i>					
T05	27.3	27.6	27.6	<i>27.6</i>					8.22	8.09	7.56	<i>7.47</i>				
T06	27.4	27.5	27.6	24.7	<i>24.3</i>				9.79	9.79	9.73	5.93	<i>5.66</i>			
T08	27.2	27.3	27.4	25.4	<i>22.6</i>				10.21	10.12	10.16	7.50	<i>0.27</i>			
T10	27.3	27.5	27.5	23.8	<u>22.2</u>				9.83	9.84	9.43	0.78	<u>0.18</u>			
T12	28.4	28.1	26.5	<i>26.1</i>					6.50	5.22	0.24	<i>0.21</i>				
T13	28.9	28.5	26.5	<i>25.8</i>					8.68	8.96	5.63	<i>5.57</i>				
T15	27.7	27.7	27.5	23.1	21.5	<i>21.1</i>			10.14	10.14	10.21	2.18	0.23	<i>0.15</i>		
T17	27.8	27.6	27.4	24.5	21.5	20.9	<i>20.7</i>		10.28	10.46	10.41	6.56	0.27	0.18	<i>0.16</i>	
T19	28.2	27.9	26.7	23.4	21.8	<i>21.3</i>			9.80	10.10	8.86	3.12	0.29	<i>0.20</i>		
T20	28.5	28.0	26.7	<i>24.3</i>					9.59	9.90	7.37	<i>5.36</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.