

2020 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 2020

H. Yanagimachi¹, Y. Miyabara²

¹Institute of Social Sciences, Shinshu University,

²Faculty of Science, Shinshu University

2020 年 8 月 5 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。表層から下層の水温はいずれも同時期平均より低く, 特に W.T.2m~W.T.5m はこれまでの 16 観測日中で最も低温であった。表層から下層の DO は同時期平均よりも高く, 特に DO0m~DO3m は 15 観測日中で最も高かった。下層の貧酸素状態は同時期よりも改善されていた。

2020 年 8 月 5 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* の変動と W.T.0m の変動の一部を説明し, 第 2 主成分は Trans. の変動を説明するパターンである。

2020 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, 8 月 21 日 (水深 0.5m 27.8℃), 8 月 22 日 (水深 1.5m 27.4℃) とほぼ同時期に出現した。水深 3m, 4m, 5m の水温ピークは, 水深 0.5m と水深 1.5m の水温ピークよりも遅れて 9 月 2 日 (水深 3m 25.4℃), 9 月 3 日 (水深 4m 25.0℃), 9 月 7 日 (水深 5m 24.5℃) 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, 2019 年までの 18 年間に 32 日間の水平分布に関するデータ, 2005 年以降の 24 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, 柳町・宮原, 2020)。

2020 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 5 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。

2020 年夏季も 2019 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, 2020 年夏季の諏訪湖の水質分布パターンと, 2020 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

2020 年 8 月 5 日の水質観測方法は、2002～2019 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、2020 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）

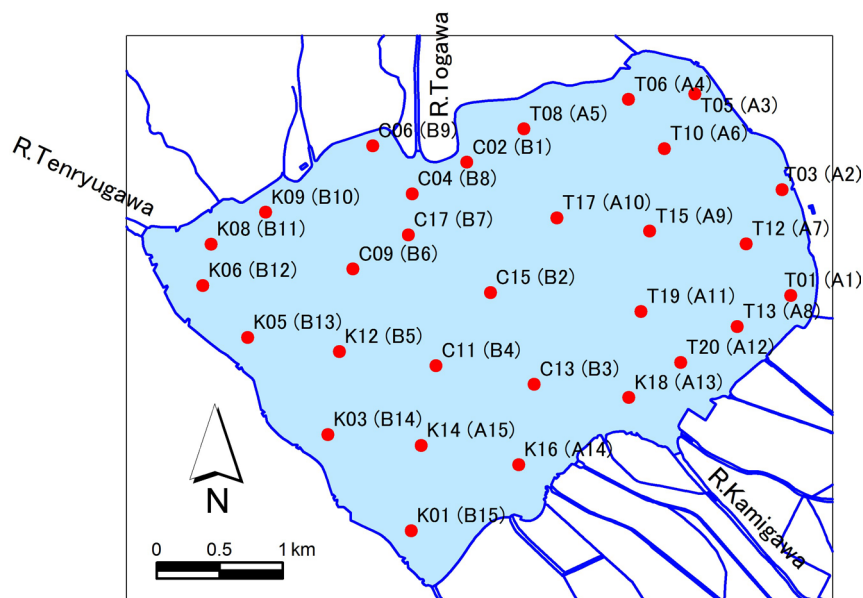


図 1 30 観測地点（A, B ルートの観測順）と流入・流出河川 2020 年 8 月 5 日

Fig.1. 30 survey points (observation order of A or B route) in Lake Suwa, inlets and outlet on August 5, 2020

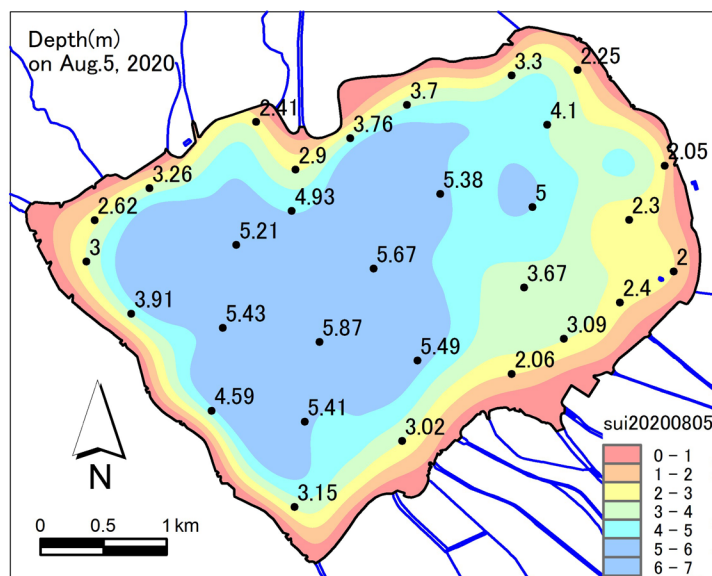


図 2 観測日の諏訪湖の水深 2020 年 8 月 5 日

Fig.2. Depth of Lake Suwa on August 5, 2020

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、毎年異なっている（附表 1 と図 1 に 2020 年の各ルートの観測順を示した）。2020 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 5 日の観測時間は 7:11～10:11、所要時間は 3 時間である。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。

2019 年までの解析方法と同様に、2020 年 8 月 5 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、2019 年までと同様に、2020 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（23.2℃（7:10）～28.2℃（10:10））。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、25.0℃（7:10）

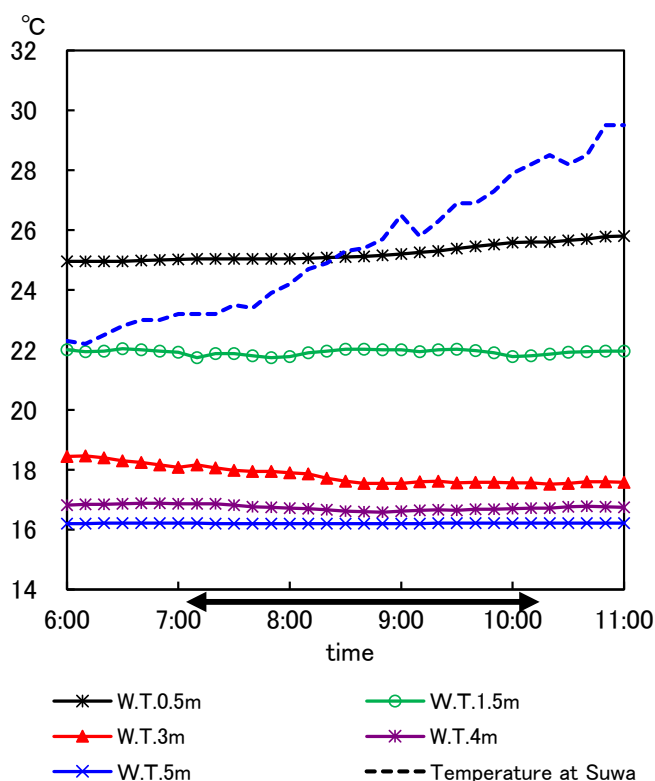


図 3 2020 年 8 月 5 日の湖心 (C15) における水温と諏訪の気温
矢印は観測時間帯を示す

Fig.3. Water temperatures at the center of Lake Suwa (C15) and temperature at Suwa observation station on August 5, 2020
Arrow shows the time span of observation

から 25.6℃ (10:10) まで上昇した (図 3)。観測時間帯にほぼ相当する 3 時間に 0.6℃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 21.7~22.0℃の間で推移, 水深 3m 水温 (W.T.3m) は 18.2~17.6℃へとやや低下し, 観測時間の変動幅は 0.6℃である。水深 5m 水温 (W.T.5m) は 16.2℃で一定であった (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。

2020 年 8 月 5 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 0.4799 ($p=0.0073$), スピアマンの順位相関係数は 0.4439 ($p=0.0140$) であり (表 1), 有意水準 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 ルートの水温は変動しながら推移した。B ルートは 9 時 30 分までは変動しながら推移し, その後上昇した。

相関係数と整合的に, 観測時間全体では水温がやや上昇傾向にあるものの, 水温の上下変化が大きいため, 時間経過による水温上昇の補正を行うと測点毎の水温特性が不明瞭になる恐れがある。従って, 時間経過に伴う W.T.0m の補正は実施しない。

DO0m・DO1m と観測時刻との相関係数は, 0.3167 ($p=0.0882$)・0.2100 ($p=0.2654$), スピアマンの順位相関係数は 0.2395 ($p=0.2023$)・0.1376 ($p=0.4682$) である。いずれも有意水準 5%で有意な正相関とはいえない (表 1)。

観測時刻との散布図 (図 4 (b)) から, DO0m の時間経過に伴う変化は確認し難い。

観測時刻との散布図 (図 4 (b)) と附表 1 から, A ルートの T03 (A2) の DO0m が特に低い値を示す。T03 の SS, Chl-*a*, IL は全測点中の最大値であり, Trans.は最小値である。T03 の水深は 2.05m と浅く, この付近では一面にヒシが密生していた。2019 年 8 月 8 日の T12 と同様に, T03 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

2020 年 8 月 5 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。

表 2 (b)は, 2015 年以前に観測を実施した 60 測点から, 2016 年以降の 30 測点と同じ測点のみ抽出し, 2020 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 5 日における SS, Chl-*a*, IL, Trans.の平均 (SS 5.0mg/L, Chl-*a* 18.0 μ g/L, IL 2.9mg/L, Trans. 157.4cm) (表 2 (a)) を, 2003~2020 年 7・8 月の 21 観測日平均 (2005 年以降測定している IL は 2005~2020 年 8 月の 15 観測日平均 (2005 年以降の 7・8 月観測日はすべて 8 月) (SS 10.5mg/L, Chl-*a* 46.9 μ g/L, IL 7.3mg/L, Trans. 122.3cm) (表 2 (b)) と比較する。

8 月 5 日の SS, Chl-*a*, IL の平均は, 7・8 月の 21 観測日 (IL は 15 観測日) 平均より低く, 21 または 15 観測日中の順位 (降順) はそれぞれ 20 位, 20 位, 15 位であり, SS, Chl-*a* は 2006 年 8 月 4 日に次いで 2 番目, IL は最も低かった (2006 年 8 月 4 日の IL は欠測)。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 21 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。

上記の 2020 年 8 月 5 日の SS, Chl-*a*, IL, Trans.の平均値からみた状況は, 2019 年 8 月 8 日の平均値からみた状況 (柳町・宮原, 2020) と類似している。

SS, Chl-*a* の平均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, 諏訪における 2019 年 7 月の月降水量がやや多く, さらに 7 月平均気温は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た (柳町・宮原, 2020)。

2020 年 7 月の降水量も 484.5mm (平年比 253.1%) と非常に多く, 7 月平均気温は 21.5℃ (平年比-1.2℃) と低温であり, 2019 年 7 月よりも多雨, 低温の気候条件が水質改善に寄与した可能性

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 5, 2020				
	r	p value	r_s	p value	N
SS	-0.3178	0.0930	-0.3018	0.1116	29
Chl- <i>a</i>	-0.2151	0.2626	-0.2414	0.2072	29
IL	-0.1516	0.4324	-0.1952	0.3101	29
Trans.	0.0265	0.8894	-0.0739	0.6978	30
DO 0m	0.3167	0.0882	0.2395	0.2023	30
DO 1m	0.2100	0.2654	0.1376	0.4682	30
DO 2m	0.1872	0.3402	0.1596	0.4172	28
DO 3m	0.2939	0.2219	0.3582	0.1321	19
DO 4m	0.1883	0.5792	0.1822	0.5918	11
DO 5m	-0.4819	0.2735	-0.1786	0.7017	7
W.T. 0m	0.4799	0.0073 **	0.4439	0.0140 *	30
W.T. 1m	0.2846	0.1274	0.3412	0.0650	30
W.T. 2m	0.1408	0.4747	0.2297	0.2397	28
W.T. 3m	0.6337	0.0036 **	0.6062	0.0059 **	19
W.T. 4m	0.6745	0.0228 *	0.6305	0.0375 *	11
W.T. 5m	0.6911	0.0855	0.6558	0.1097	7

** : significant at 0.01 significant level.

* : significant at 0.05 significant level.

T03(SS, Chl-*a* and IL) is excluded from the calculations.

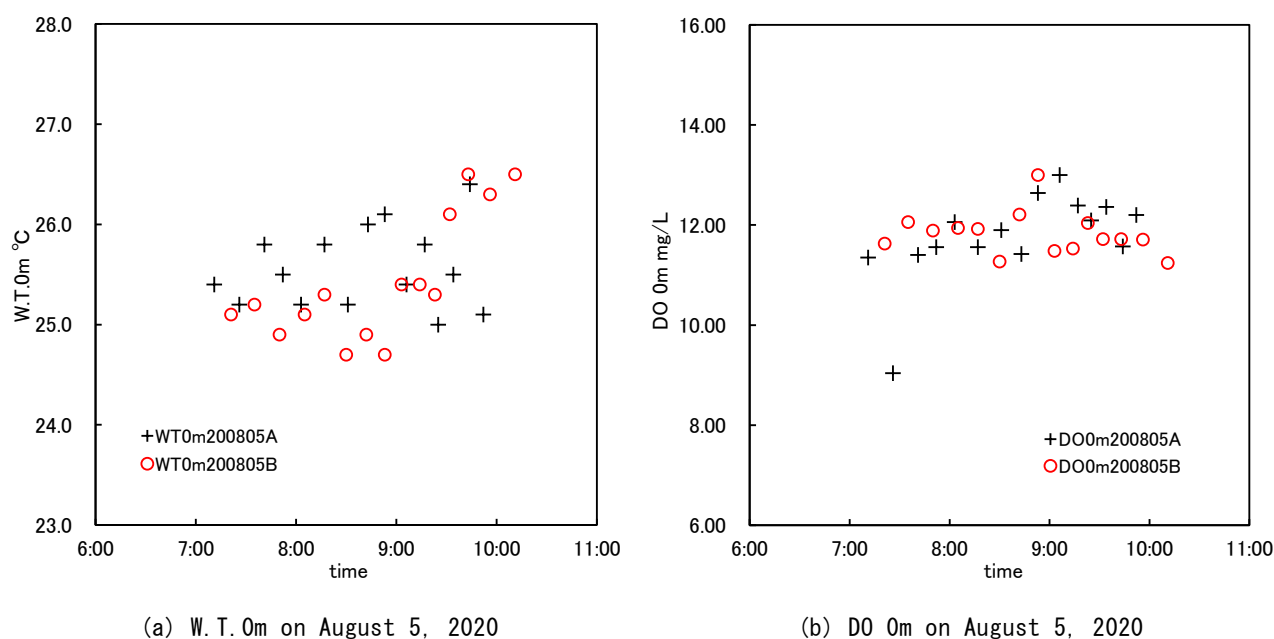


図4 表層水温, DO と観測時刻との散布図

Fig.4. Scattergrams of W.T.0m and DO 0m versus observed time

+: A route, ○ : B route

がある。

次に, 8 月 5 日の水深 1m 毎水温 (W.T.0m~W.T.5m) 平均 (W.T.0m 25.5°C, W.T.1m 24.8°C, W.T.2m 21.6°C, W.T.3m 19.1°C, W.T.4m 17.5°C,

W.T.5m 16.9°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 16 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 25.6°C, W.T.3m 24.6°C, W.T.4m

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

(a) August 5, 2020

	SS(mg/L)	Chl- <i>a</i> (μ g/L)	IL(mg/L)	Trans.(cm)	Depth(m)	
Max	10.8	54.0	8.8	180	5.87	
Min	3.5	12.0	2.0	121	2.00	
Mean	5.0	18.0	2.9	157.4	3.73	
S.D.	1.3	7.4	1.2	12.5	1.27	
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	13.00	19.15	14.62	11.22	5.86	3.43	
Min	9.04	8.51	1.13	4.45	2.83	0.41	
Mean	11.80	12.62	10.97	8.15	4.67	1.90	
S.D.	0.70	1.76	2.79	1.94	1.08	0.91	
N	30	30	28	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	26.5	26.0	24.4	19.9	18.0	17.0	
Min	24.7	23.5	19.5	18.3	17.1	16.7	
Mean	25.5	24.8	21.6	19.1	17.5	16.9	
S.D.	0.5	0.7	1.0	0.5	0.3	0.1	
N	30	30	28	19	11	7	0

(b) July and August, 2003~2020 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	2.0	32	1.42
Mean	10.5	46.9	7.3	122.3	3.83
Observation period	2003~2020	2003~2020	2005~2020	2003~2020	2003~2020
Observation days	21	21	15	21	15

	DO0m(mg/L)	DO1m(mg/L)	DO2m(mg/L)	DO3m(mg/L)	DO4m(mg/L)	DO5m(mg/L)
Max	19.06	19.15	14.62	11.22	7.98	5.89
Min	0.71	0.38	0.12	0.17	0.01	0.00
Mean	9.03	8.85	7.65	5.82	3.07	0.79
Observation period	2005~2020	2005~2020	2005~2020	2005~2020	2005~2020	2005~2020
Observation days	15	15	15	15	15	15

	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	23.5	19.5	18.3	17.1
Mean	26.4	27.1	26.4	25.6	24.6	23.2
Observation period	2003~2020	2005~2020	2005~2020	2005~2020	2005~2020	2005~2020
Observation days	21	16	16	16	16	16

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

23.2°C, W.T.5m 21.7°C) (表 2 (b)) と比較する。

8 月 5 日の W.T.0m は 2005 年以降の 16 観測日平均よりも 1.6°C 低く, 2003 年以降の 21 観測日平均との比較では 0.9°C 低い。16 または 21 観測日中の順位 (降順) は, 14 位, 15 位であり, 同時期平均よりも低温であった。

W.T.1m, W.T.2m, W.T.3m, W.T.4m, W.T.5m の

平均は, いずれも 16 観測日平均よりも低く, 16 観測日平均との差は W.T.1m 1.6°C, W.T.2m 4.0°C, W.T.3m 5.5°C, W.T.4m 5.7°C, W.T.5m 4.9°C である。

16 観測日中の順位 (降順) は, W.T.1m 15 位, W.T.2m 16 位, W.T.3m 16 位, W.T.4m 16 位, W.T.5m 16 位であり, 表層から下層まで同時期平均よりも低温であり, 特に W.T.2m~W.T.5m は最も低温

であった。

8月5日のW.T.0m(30測点)とW.T.5m(7測点)の平均水温の差は8.6℃である。同時期平均のW.T.0mとW.T.5mとの平均水温差は4.7℃(W.T.0m 21観測日平均26.4℃を使用),または5.4℃(W.T.0m 16観測日平均27.1℃を使用)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。W.T.0mとW.T.5mの平均水温差8.6℃は,16観測日中では,2006年8月4日9.3℃,2010年8月5日8.8℃に次いで3番目に大きく,水温成層が明瞭に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5日の水深1m毎DO平均値(DO0m 11.80mg/L, DO1m 12.62mg/L, DO2m 10.97mg/L, DO3m 8.15mg/L, DO4m 4.67mg/L, DO5m 1.90mg/L)(表2(a))を,2005年以降の8月15観測日のDO平均値(DO0m 9.03mg/L, DO1m 8.85mg/L, DO2m 7.65mg/L, DO3m 5.82mg/L, DO4m 3.07mg/L, DO5m 0.79mg/L)(表2(b))と比較する。

8月5日のDO0m~DO3mは15観測日中で最も高く,DO4mは15観測日中3番目,DO5mは15観測日中2番目に高かった。表層から下層のDOは同時期平均よりも高く,下層の貧酸素状態は同時期よりも改善されていた。

(3) 表層水質データの水平分布

8月5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T03付近で高く,T03の西側にT03を半円で囲むようにやや低い部分が見られる。

Trans.は東端部T03付近で低く,中央から南西部,東北端部,南東端部で高い

W.T.0mは,諏訪湖南部から西部・北西部にかけて高温,砥川河口で低い。

(4) 表層水質データの相関関係

8月5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+4 σ を超える異常値であるため,T03のSS, Chl-*a*, IL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0.8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。SSとW.T.0m, Chl-*a*と

W.T.0mとの相関係数は,それぞれ-0.4009, -0.3956であり,いずれも有意水準5%で有意な負相関である。

SS, Chl-*a*, ILの3要素が類似した分布を示す点は,過去の観測においてもしばしば確認された傾向である。しかし,過去の傾向としては,SS, Chl-*a*, ILの3要素がTrans.とは逆の分布傾向である場合が多かったが,2020年8月5日のこれら3要素はTrans.とは無相関であった。

(5) 表層水質データの主成分分析

8月5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),柳町・宮原(2020)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, Chl-*a*, ILは,異常値であるため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2.198,寄与率は55.0%である。第2主成分の固有値は1.035,寄与率は25.9%である。第1主成分と第2主成分により全変動の80.8%が説明される。

SS, Chl-*a*, W.T.0mの第1主成分の主成分負荷量は,それぞれ0.949, 0.949, -0.628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2要素の変動は,主に第1主成分により説明される(SS 90.1%, Chl-*a* 90.1%)。W.T.0mは,第1主成分により変動の39.5%が説明され,第3主成分により51.4%が説明される。

Trans.の第2主成分の主成分負荷量は,0.964であり,第2主成分により変動の92.9%が説明される。

第1主成分は,SSとChl-*a*の変動とW.T.0mの一部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W.T.0mがやや低い」,「SS, Chl-*a*が低い所はW.T.0mがやや高い」という変動を説明する。

第2主成分は,Trans.の変動を説明するパターンである。すなわち,「Trans.が高い」,「Trans.が

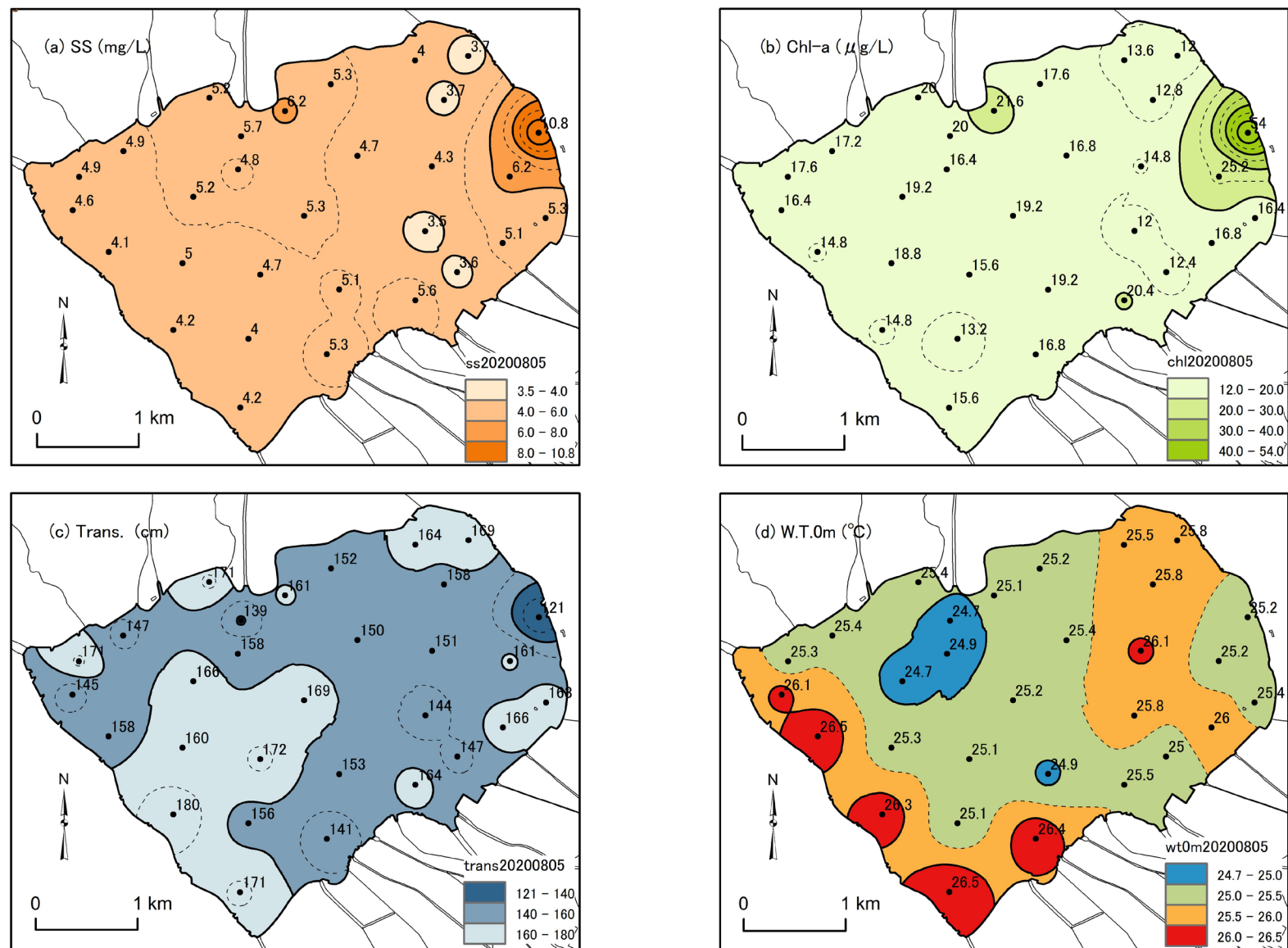


図5 水質分布図（2020年8月5日）(a)懸濁物質，(b)クロロフィル *a* 濃度，(c)透明度，(d)表層水温

Fig. 5. Water quality maps of Lake Suwa on August 5, 2020. (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 5, 2020

	SS	ρ	Chl- <i>a</i>	ρ	IL	ρ	Trans	ρ	DO 0m	ρ
SS	1.0000									
Chl- <i>a</i>	0.9323	0.0000 **	1.0000							
IL	0.8592	0.0000 **	0.9182	0.0000 **	1.0000					
Trans	0.0121	0.9504	0.0909	0.6389	0.2368	0.2162	1.0000			
DO 0m	0.0439	0.8212	0.0557	0.7743	-0.1227	0.5262	0.1640	0.3865	1.0000	
W.T.0m	-0.4009	0.0312 *	-0.3956	0.0336 *	-0.1593	0.4090	0.1219	0.5209	-0.1182	0.5339

**: significant at 0.01 significant level.

*: significant at 0.05 significant level.

T03(SS, Chl-*a* and IL) is excluded from the calculations.

低い」という変動を説明する。

(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、2008～2019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), 柳町・宮原(2020)。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5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、W.T.0mがやや低い」地域、▲は「SS, Chl-*a*が低く、W.T.0mがやや高い」地域を示す。+「SS, Chl-*a*が高く、W.T.0mがやや低い」地域は、湖の東端部と北部に分布し、▲「SS, Chl-*a*が低く、W.T.0mがやや高い」地域は、北東部から南東部、西部に分布する。

8月5日の第2主成分得点分布図(図6(b))に

において、+の地域「Trans.がやや高い」は、湖の南西部に分布し、▲の地域「Trans.が低い」は、南東部に分布する。

(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。

8月5日のW.T.の垂直分布は、水深1mから3mまたは4mに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、2020年8月5日の各水深における水温(W.T.0mからW.T.5m)平均は、同時期平均よりも低温であり、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、2020年8月5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5日のDOの垂直分布は、水深1mまたは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) 2020年夏季の水温変化

2020年夏季の諏訪湖湖心(C15)における水深0.5m, 1.5m, 3m, 4m, 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。

2020年夏季の諏訪湖の水深0.5m水温(24時間

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 5, 2020 N=29

	Eigenvalue	Proportion	Cumulative proportion
Component 1	2.198	55.0%	55.0%
Component 2	1.035	25.9%	80.8%
Component 3	0.702	17.6%	98.4%

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 5, 2020 N=29

	Component 1	Component 2	Component 3
SS	0.949 **	0.039	0.257
Chl- <i>a</i>	0.949 **	0.119	0.230
Trans	0.042	0.964 **	-0.263
W.T.0m	-0.628 **	0.302	0.717 **

** : significant at 0.01 significant level.

* : significant at 0.05 significant level.

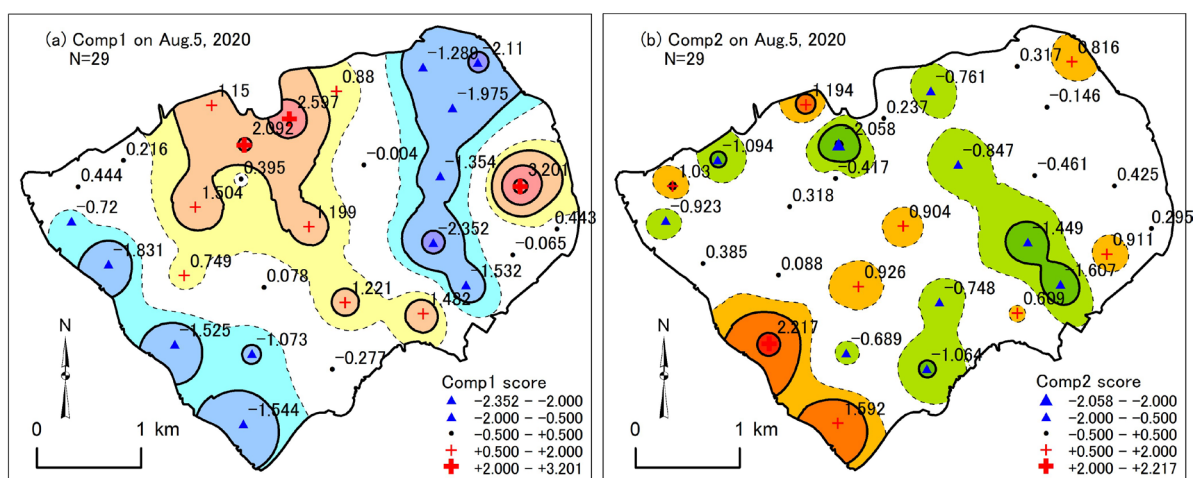


図6 4要素の主成分分析による主成分得点分布図, 2020年8月5日

(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 5, 2020

(a) Component1 (b) Component2

表6 主成分得点に基づく地域区分の特徴, 2020年8月5日

Table 6. Characteristics of the regional divisions

based on the component scores on August 5, 2020

(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.

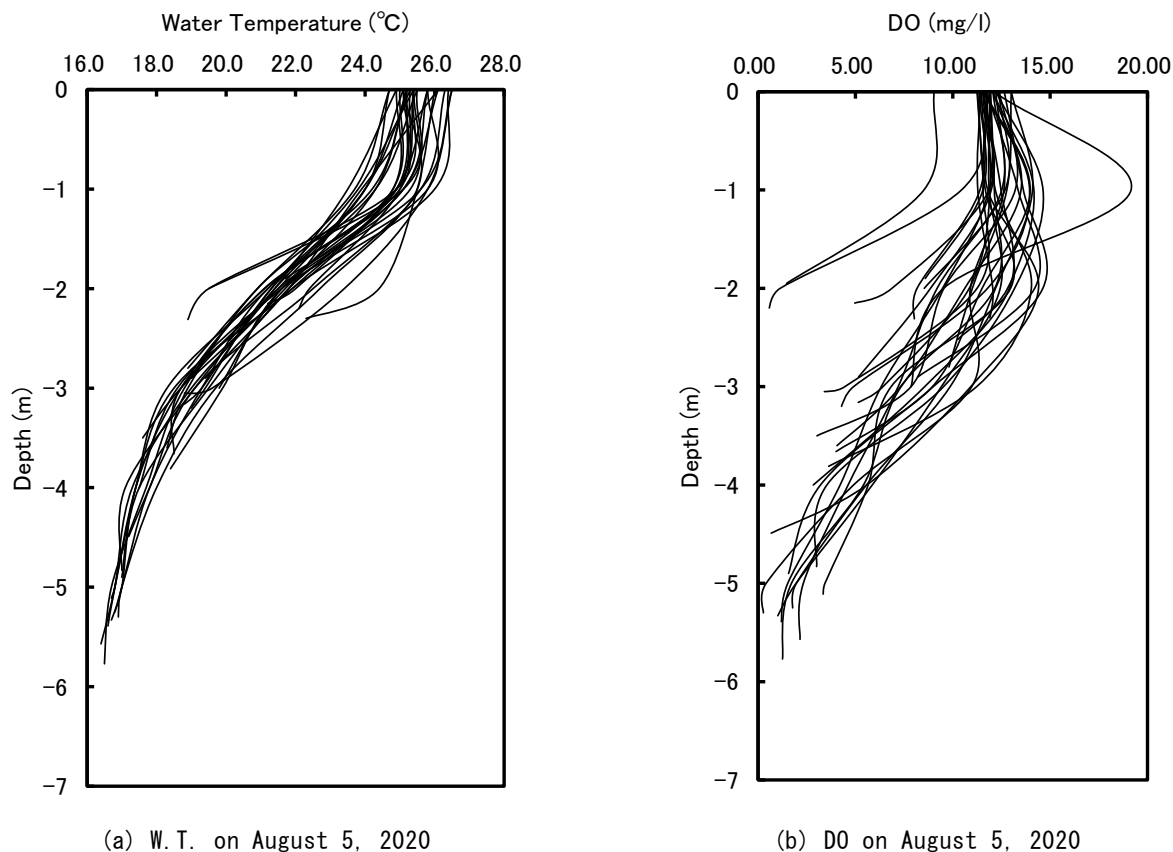


図7 測地点毎の水温と DO の垂直分布

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

移動平均, 以下同様) は, 7 月 21 日頃, 8 月 5 日・6 日頃, 8 月 16 日・17 日頃, 8 月 21 日・22 日頃 (最大のピーク), 8 月 25 日頃, 8 月 30 日・31 日頃, 9 月 6 日頃にピークを示しながら推移し, その後 10 月末まで次第に下降した。

水深 1.5m 水温は水深 0.5m 水温とほぼ連動しており, 8 月 5 日に 4℃近い差が見られたが, 他の期間は極めて近接して推移した。

水深 3m 水温と水深 4m 水温は, ほぼ同様な傾向で推移した。7 月上旬から中旬まで下降, 7 月 23 日頃小ピークを示し, 8 月中はほぼ上昇, 8 月末から 9 月初めに最も高温な時期となり, その後は下降した。

水深 5m 水温は 7 月中旬まで下降傾向, その後 8 月 26 日頃まで若干上昇, 9 月 3 日まで急激に上昇, 9 月・10 月は変動しながら次第に下降した。

7 月下旬から 8 月末まで, 表層と中層・低層の水温差が拡大し, 明瞭な水温成層が形成されていた。水深 0.5m と水深 5m, 水深 1.5m と水深 5m

の水温差が最も拡大したのは, いずれも 8 月 15 ~25 日頃である。

2020 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, 8 月 21 日 (水深 0.5m 27.8℃), 8 月 22 日 (水深 1.5m 27.4℃) とほぼ同時期に出現し, 2 番目のピークも, 8 月 17 日 (水深 0.5m 27.6℃), 8 月 16 日 (水深 1.5m 27.3℃) とほぼ同時期に出現した。

水深 3m, 4m, 5m の水温ピークは, 9 月 2 日 (水深 3m 25.4℃), 9 月 3 日 (水深 4m 25.0℃), 9 月 7 日 (水深 5m 24.5℃) に出現した。水深 0.5m と水深 1.5m の水温ピークよりも遅れて出現しており, ピークの出現時期からも表層 (水深 0.5m, 水深 1.5m) と中層・下層 (水深 3m, 水深 4m, 水深 5m) の水温推移は異なることが確認された。湖水は上から下へ順に混合していると考えられる。

9 月 20 日頃から秋の循環期となり, 水深 0.5m

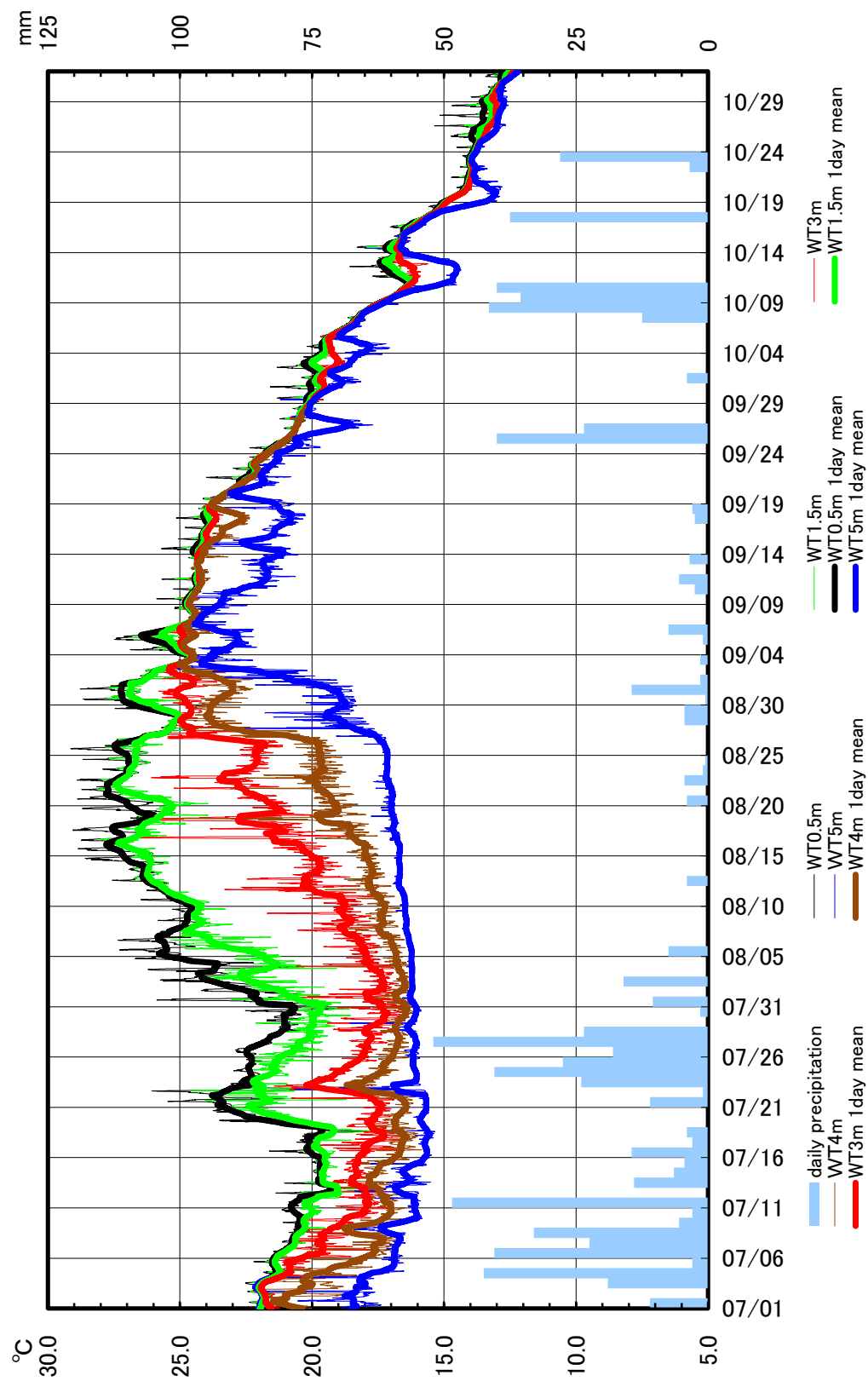


図 8 2020 年夏季の湖心 (C15) における水深 0.5m、水深 1.5m、水深 3m、水深 4m、水深 5m の水温変化と諏訪における日降水量の変化

Fig. 8. Variations in water temperatures at depths of 0.5m, 1.5m, 3m, 4m and 5m at the center of Lake Suwa (C15) and variations in daily precipitation at Suwa observation station in the summer of 2020

～5m 水温はほぼ近接し、水温差が小さい状態で推移した。

観測を実施した 8 月 5 日頃は、水深 0.5m 水温と水深 1.5m 水温の差は 4℃近くありやや拡大しているが、これらと水深 3m～水深 5m との水温差はさらに大きく、水深 0.5m と水深 5m とは約 10℃であった。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。

前述のように、諏訪における 7 月の平均気温は平年よりも 1.2℃低く、7 月の月降水量は平年比 253.1%と多雨であり、7 月中の水温は全層で下降傾向の期間が観測された。8 月は逆に平年よりも高温、少雨であり、水温成層形成には好条件であったと考えられる。

4. まとめ

2020 年 8 月 5 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。

2020 年 8 月 5 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.5m は同時期平均より低く、特に W.T.2m～W.T.5m はこれまでの 16 観測日中で最も低温であった。

8 月 5 日の DO0m から DO5m は同時期平均よりも高く、特に DO0m～DO3m は 15 観測日中で最も高かった。下層の貧酸素状態は同時期よりも改善されていた。

2020 年 8 月 5 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* の変動と W.T.0m の変動の一部を説明するパターンである。第 2 主成分は、Trans. の変動を説明するパターンである。

2020 年 7 月下旬から 8 月末まで、表層と中層・低層の水温差が拡大し、明瞭な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、8 月 21 日 (水深 0.5m 27.8℃)、8 月 22 日 (水深 1.5m 27.4℃) とほぼ同時期に出現した。水深 3m、4m、5m の水温ピークは、9 月 2 日 (水深 3m 25.4℃)、9 月 3 日 (水深 4m 25.0℃)、9 月 7 日 (水深 5m 24.5℃) に出現した。

水温ピークの出現時期は表層 (水深 0.5m、水

深 1.5m) と中層・下層 (水深 3m、水深 4m、水深 5m) では異なっていた。

謝辞

本研究の水質調査・分析には、信州大学理学部附属諏訪臨湖実験所所属の大学院生・学部生に協力していただいた。また、共同研究者の山本雅道氏にはこれまでの観測時と同様に 2020 年の諏訪湖の観測にもご協力いただいた。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.
- 柳町晴美・宮原裕一 (2020) : 2019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, 42, 8-23.
- (原稿受付 2021. 3. 25)

附表1 諏訪湖の水質データ（2020年8月5日）
Appendix table 1. Observed water quality data in Lake Suwa on August 5, 2020

Station	Route	Time JST	Longitude			Latitude			Depth (m)	SS	Chl- <i>a</i>	Trans.	IL
			deg	min	sec	deg	min	sec		(mg/L)	(μ g/L)	(cm)	(mg/L)
C02	B1	7:21	138	04	52.8 E	36	03	32.1 N	3.76	6.2	21.6	161	3.3
C04	B8	8:53	138	04	35.8 E	36	03	23.6 N	2.90	5.7	20.0	139	2.9
C06	B9	9:03	138	04	22.9 E	36	03	35.6 N	2.41	5.2	20.0	171	2.9
C09	B6	8:30	138	04	17.8 E	36	03	03.8 N	5.21	5.2	19.2	166	2.8
C11	B4	8:05	138	04	45.0 E	36	02	39.6 N	5.87	4.7	15.6	172	2.6
C13	B3	7:50	138	05	16.2 E	36	02	35.6 N	5.49	5.1	19.2	153	2.8
C15	B2	7:35	138	05	01.5 E	36	02	58.8 N	5.67	5.3	19.2	169	3.1
C17	B7	8:42	138	04	35.0 E	36	03	13.0 N	4.93	4.8	16.4	158	2.6
K01	B15	10:11	138	04	38.7 E	36	01	57.0 N	3.15	4.2	15.6	171	2.8
K03	B14	9:56	138	04	11.5 E	36	02	21.1 N	4.59	4.2	14.8	180	2.7
K05	B13	9:43	138	03	45.2 E	36	02	45.4 N	3.91	4.1	14.8	158	2.6
K06	B12	9:32	138	03	30.5 E	36	02	58.4 N	3.00	4.6	16.4	145	2.7
K08	B11	9:23	138	03	32.7 E	36	03	09.1 N	2.62	4.9	17.6	171	3.0
K09	B10	9:14	138	03	49.7 E	36	03	17.7 N	3.26	4.9	17.2	147	2.8
K12	B5	8:17	138	04	14.3 E	36	02	42.5 N	5.43	5.0	18.8	160	3.0
K14	A15	9:52	138	04	41.1 E	36	02	19.0 N	5.41	4.0	13.2	156	2.0
K16	A14	9:44	138	05	12.1 E	36	02	14.8 N	3.02	5.3	16.8	141	2.9
K18	A13	9:34	138	05	46.2 E	36	02	32.9 N	2.06	5.6	20.4	164	3.5
T01	A1	7:11	138	06	36.5 E	36	03	00.4 N	2.00	5.3	16.4	163	2.9
T03	A2	7:26	138	06	32.7 E	36	03	27.5 N	2.05	10.8	54.0	121	8.8
T05	A3	7:41	138	06	04.2 E	36	03	51.4 N	2.25	3.7	12.0	169	2.1
T06	A4	7:52	138	05	43.3 E	36	03	49.5 N	3.30	4.0	13.6	164	2.4
T08	A5	8:03	138	05	10.5 E	36	03	41.1 N	3.70	5.3	17.6	152	2.7
T10	A6	8:17	138	05	55.1 E	36	03	37.1 N	4.10	3.7	12.8	158	2.1
T12	A7	8:31	138	06	21.9 E	36	03	13.3 N	2.30	6.2	25.2	161	4.2
T13	A8	8:43	138	06	19.8 E	36	02	52.0 N	2.40	5.1	16.8	166	2.9
T15	A9	8:53	138	05	51.2 E	36	03	15.8 N	5.00	4.3	14.8	151	2.2
T17	A10	9:06	138	05	21.8 E	36	03	18.5 N	5.38	4.7	16.8	150	2.4
T19	A11	9:17	138	05	49.3 E	36	02	55.1 N	3.67	3.5	12.0	144	2.0
T20	A12	9:25	138	06	02.3 E	36	02	42.3 N	3.09	3.6	12.4	147	2.0

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

附表1 諏訪湖の水質データ（2020年8月5日）続き
Appendix table 1. Observed water quality data in Lake Suwa on August 5, 2020
(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	25.1	24.0	21.5	18.7	<i>18.5</i>				11.63	13.97	11.50	8.95	<i>4.00</i>			
C04	24.7	23.7	20.9	<i>18.9</i>					13.00	12.77	11.00	<i>9.80</i>				
C06	25.4	24.9	19.5	<i>18.9</i>					11.48	11.39	8.16	<i>8.02</i>				
C09	24.7	24.0	21.2	18.3	17.4	16.8	<i>16.7</i>		11.27	11.67	12.96	6.83	5.65	3.43	<i>3.34</i>	
C11	25.1	25.0	21.1	18.8	17.7	16.7	<i>16.5</i>		11.94	12.13	12.15	7.34	5.41	1.71	<i>1.25</i>	
C13	24.9	24.8	21.9	18.5	17.4	16.8	<i>16.6</i>		11.89	11.85	9.47	6.32	4.21	1.52	<i>1.19</i>	
C15	25.2	24.3	21.7	19.0	17.3	16.8	<i>16.4</i>		12.06	12.51	9.19	7.19	4.62	2.32	<i>2.15</i>	
C17	24.9	23.5	21.4	19.1	17.1	<i>17.0</i>			12.21	14.63	13.17	9.52	3.53	<i>3.00</i>		
K01	26.5	25.8	23.4	19.6	<i>18.8</i>				11.24	11.55	11.24	4.45	<i>3.40</i>			
K03	26.3	25.6	22.5	19.1	17.8	<i>17.2</i>			11.71	11.79	14.40	10.92	5.58	<i>0.67</i>		
K05	26.5	25.6	21.6	19.9	<i>18.4</i>				11.72	12.18	14.03	11.22	<i>3.62</i>			
K06	26.1	23.9	21.8	<i>19.4</i>					11.72	13.35	14.20	<i>8.21</i>				
K08	25.3	24.0	21.4	<i>20.1</i>					12.04	14.16	12.81	<i>10.25</i>				
K09	25.4	23.8	21.3	19.3	<i>18.8</i>				11.53	11.91	10.84	6.41	<i>5.14</i>			
K12	25.3	24.9	21.1	18.7	17.4	17.0	<i>16.7</i>		11.92	11.86	12.43	9.41	5.86	1.95	<i>1.01</i>	
K14	25.1	25.5	22.7	19.7	18.0	17.0	<i>16.9</i>		12.20	12.62	10.90	10.97	4.90	0.41	<i>0.27</i>	
K16	26.4	26.0	21.9	<i>19.0</i>					11.57	11.97	8.85	<i>5.16</i>				
K18	25.5	25.1	<u>19.5</u>						12.36	12.68	<u>8.53</u>					
T01	25.4	25.3	<i>21.7</i>						11.35	11.54	<i>8.58</i>					
T03	25.2	24.9	<i>21.9</i>						9.04	8.51	<i>1.46</i>					
T05	25.8	24.9	22.0	<i>21.2</i>					11.40	11.86	6.87	<i>4.96</i>				
T06	25.5	24.3	21.3	19.4	<i>19.0</i>				11.56	13.94	11.78	4.90	<i>4.28</i>			
T08	25.2	24.2	20.9	18.9	<i>18.3</i>				12.06	13.50	10.61	7.31	<i>4.05</i>			
T10	25.8	25.8	21.6	18.6	<u>17.5</u>				11.56	12.47	12.90	8.55	<u>2.83</u>			
T12	25.2	25.0	22.4	<i>22.1</i>					11.90	10.44	1.13	<i>0.57</i>				
T13	26.0	25.5	24.4	<i>22.3</i>					11.42	11.28	12.05	<i>11.90</i>				
T15	26.1	25.1	21.8	19.5	17.5	<i>17.0</i>			12.64	13.62	14.62	8.99	3.20	<i>1.56</i>		
T17	25.4	24.9	21.2	19.3	17.8	17.0	<i>16.8</i>		13.00	14.09	12.19	9.86	5.56	1.96	<i>1.77</i>	
T19	25.8	25.1	21.5	18.7	<i>17.6</i>				12.39	13.20	9.54	7.85	<i>3.02</i>			
T20	25.0	24.8	21.6	<u>19.8</u>					12.09	19.15	9.52	<u>7.85</u>				

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.