

諏訪湖水質分布の季節変動とその要因

宮原 裕一・小松 正知

信州大学 山岳科学総合研究所

Distribution and seasonal changes of major ions in Lake Suwa

Yuichi MIYABARA, Masashi KOMATSU

Institute of Mountain Science, Shinshu University

キーワード: 諏訪湖、主要イオン、降水

Keywords: Lake Suwa, major ions, precipitation

1. はじめに

諏訪湖は長野県で最も標高の高い諏訪盆地の北側に位置し、今から約 100 万年前に、静岡一糸魚川構造線上にできた断層湖と言われている。湖面積 13.3 km²に対し、現在は最大水深が 6.9m(平均水深約 4m)と、平坦で底の浅い皿のような形状をしている。また、諏訪湖の集水域面積は、湖面積の約 40 倍の 531 km²であり、湖面積に対して比較的集水域面積が広く、湖水の平均滞留時間は約 40 日と短い[1]。したがって、諏訪湖の水質は流入河川の影響を強く受け変動しやすい。

集水域から諏訪湖に流入する河川は大小合わせて 31 河川あり、代表的な流入河川である横河川、砥川、上川、宮川の 4 河川の集水域が全集水域の 85%を占めている[1]。このうち、横河川と砥川が湖の北側から、上川と宮川は湖の南側から諏訪湖へと流入している。諏訪湖集水域の土地利用の割合は、森林が 58%、草地や耕地が 31%、市街地が 6.2%となっている[2]。特に、諏訪湖の北側には工場を含む住宅地が、南側には水田等の農地が大きく広がっている。このように諏訪湖周辺の土地利用は場所により大きく異なり、流入河川の水質も変化に富んだものとなって

いる。前述の通り、諏訪湖水質が流入河川の影響を強く受けることから、水質の異なる河川水の流入状況を把握することは、諏訪湖内での生物活動の地理的な相違を推察することにつながる。

我々は、2002 年より、諏訪湖全域(湖内 60 地点)の水質分布の調査を行っており、柳町は表層の透明度、懸濁物質、クロロフィルの分布[3-10]を、宮原は、表層の主要イオンの分布を解析した。その結果、諏訪湖表層の水質はほぼ均一であり、東部沿岸域のみ若干水質が異なることが明らかとなった。この要因として、水草(ヒシ)の繁茂による湖水の混合抑制、懸濁物質の捕捉や栄養塩の吸収が考えられた[11, 12]。また、石母田ら(2010)は、諏訪湖内3ヶ所で農薬の季節変動を観察し、場所によりその濃度が大きく異なることを明らかにした。これは、沿岸からの河川水の流入が原因であると考えられた[13]。

先の諏訪湖における全域調査では、水温や溶存酸素の鉛直分布の観測も合わせて行われたが、主要イオンの鉛直分布は測定されず、その諏訪湖深層での分布は不明であった。そこで本研究では、諏訪湖全域において主要イオンの鉛直分布を調査するとともに、湖心と主要な流入河川の水質変動の対比も行い、湖の水質分布や水質

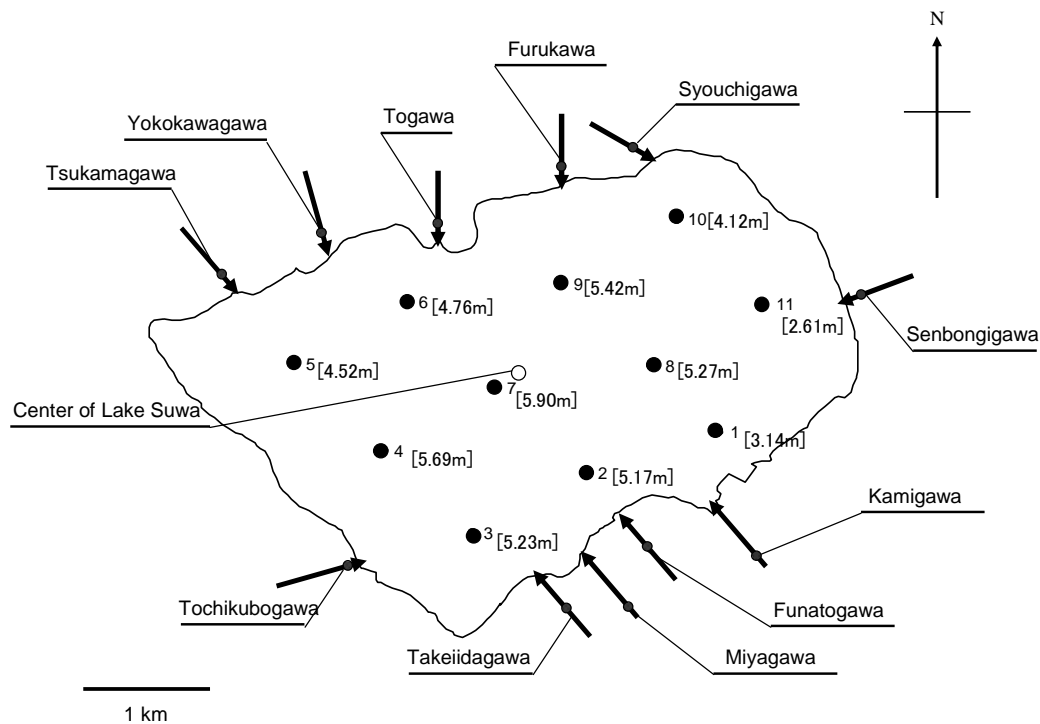


Fig. 1 諏訪湖および諏訪湖流入河川(調査地点)

変動を引き起こす要因を明らかにすることを試みた。

2. 方法

2-1 調査地点

水質調査は、訪湖湖心とその他湖内 11 地点、および流入河川河口 11 地点で行った(Fig.1)。諏訪湖内の 11 地点は、諏訪湖を 11 のブロックに分割した各々の中心点である。これら 11 地点の水深は図中に示した通りである。また、11 河川は、流量の大きい上川、宮川、砥川、横河川といった主要 4 河川と、湖北側の市街地を通る塚間川、古川、承知川、湖南側の市街地を源流とする舟渡川、農業排水の流入する武井田川、さらに湖東西からの流入河川として千本木川、栃久保川といった 7 河川である。

2-2 試料採集

諏訪湖ではバンドーン採水器を用い、表層(水深 0m)、中層(水深 3m)、深層(水深 5m)の湖水を採取した。水深が 5m に満たない場所では、湖底

から 50cm 程度の深さの湖水を採取した。河川では紐をつけたバケツで河川水を採取した。諏訪湖全域での調査は 5 月から 9 月まで毎月、季節変動の調査は隔週で行った。採取試料は、持ち帰ってから直ちにガラス繊維ろ紙(GF/C ワットマン)を用いてろ過し、ろ液を冷蔵庫に保存した。

2-3 現場での観測

諏訪湖では湖内水質分布の把握のため、表層から 1m 毎に、HACH 社製 HQ30D と東亜ディーケーケー社製 HM20P を用い、溶存酸素、水温および電気伝導度の測定を行った。

また、湖水の混合状態を見るため、温度データロガー(Onset 社製 HOBO U22 Water Temp Pro v2)を、湖心の水深 1m、3m、5m および上川に設置し、1 時間ごとの水温を連続観測した。

2-4 分析方法

GF/C でろ過した試料は、さらにメンブレンフィルター(孔径 $0.2 \mu\text{m}$)でろ過し、イオンクロマトグラフ(DIONEX 社製 ICS-1500)によって主要イオ

ンの分析を行った。

陽イオン分析には、ガードカラムに DIONEX 社製 CG12A、分析カラムに同社 CS12A、溶離液に 20mmol/l メタンスルホン酸溶液（流速 1ml/min）、サプレッサーに CSRS-300（電流 60mA）を用いた。陰イオン分析には、ガードカラムに DIONEX 社製 AG12A、分析カラムに同社 AS12A、溶離液に 2.7mmol/l 炭酸ナトリウム溶液と 0.3mmol/l 炭酸水素ナトリウム溶液の混合溶液（流速 1.3ml/min）、サプレッサーに DIONEX 社 ASRS-200 を用いた。検量線は関東化学社製のイオンクロマトグラフ用混合標準液を用い作成した。

2-5 作図・統計処理

イオン分析により得られたデータに基づき Gsharp ver 3.0（日本電子計算株式会社）を用いて水深別のコンター図を作成した。なお、ここで作成したコンター図では、深層（水深 5m）の図でも岸まで塗り分けられているが、これは外挿した結果である。

また、Excel 統計 2008 を用いて項目間の相関を評価した。

2-6 降水量および河川流量

降水と湖内の水質変化との関係解析するため、気象庁ホームページの諏訪特別地域気象観測所の日降水量データを参照した[14]。

上川、宮川、砥川、横河川の 4 河川の流量は、長野県諏訪建設事務所から提供していただいた観測データを参照した[15]。

3. 結果

3-1. 水質の季節変化

2010 年1月から12月まで、諏訪湖湖心および流入河川水質について主要イオンの測定を行った。イオンごとに季節変動のグラフを作成し、Fig. 2 (a)から Fig. 2 (g)に示した。

諏訪湖のナトリウムイオン濃度は、3 月上旬に最も高く、7 月中旬に最も低く、約 2 倍の濃度変動が見られた。河川水と湖水のナトリウムイオン濃

度を比較すると、ほぼ一年間を通じ、上川では湖水の濃度を上回り、他の 3 河川、特に横河川と砥川では湖水よりもその濃度が低く推移していた。(Fig. 2 (a))

諏訪湖のカリウムイオン濃度は、季節変動が小さく、約 2 から 2.5mg/L の範囲で推移していた。河川水と湖水のカリウムイオン濃度を比較すると、ナトリウムイオン同様、上川では一年間を通じ湖水の濃度を上回り、他の 3 河川、特に横河川と砥川では湖水よりも低い濃度で推移していた。(Fig. 2 (b))

諏訪湖のマグネシウムイオン濃度は、2 月上旬に最も高く、7 月中旬に最も低く、約 2 倍の濃度変動が見られた。河川水と湖水のマグネシウムイオン濃度を比較すると、ほぼ一年間を通じ、宮川では湖水の濃度を上回り、上川では湖水とほぼ同程度、横河川と砥川では湖水よりも低い濃度で推移していた。(Fig. 2 (c))

諏訪湖のカルシウムイオン濃度は季節変動が小さく、約 11 から 15mg/L の範囲で推移していた。河川水と湖水のカルシウムイオン濃度を比較すると、ほぼ一年間を通じ、宮川では湖水の濃度を上回り、上川では湖水とほぼ同程度、横河川と砥川では湖水よりも低い濃度で推移していた。(Fig. 2 (d))

諏訪湖の塩化物イオン濃度は、3 月上旬に最も高く、7 月中旬に最も低く、約 2.5 倍の濃度変動が見られた。河川水と湖水の塩化物イオン濃度を比較すると、ほぼ一年間を通じ、上川では湖水の濃度を上回り、他の 3 河川、特に横河川と砥川では湖水よりも低い濃度で推移していた。(Fig. 2 (e))

諏訪湖の硝酸イオン濃度は、4 月上旬に最も高く、8 月から 9 月にかけてほぼ検出されなくなった。河川水と湖水の硝酸イオン濃度を比較すると、ほぼ一年間を通じ、宮川と上川では湖水の濃度を上回り、横河川と砥川では湖水と同程度で推移していた。(Fig. 2 (f))

諏訪湖の硫酸イオン濃度は、3 月上旬に最も高く（約 24mg/L）、下層では 9 月上旬に最も低くなった（約 10mg/L）。表層でも 7 月上旬から 9 月

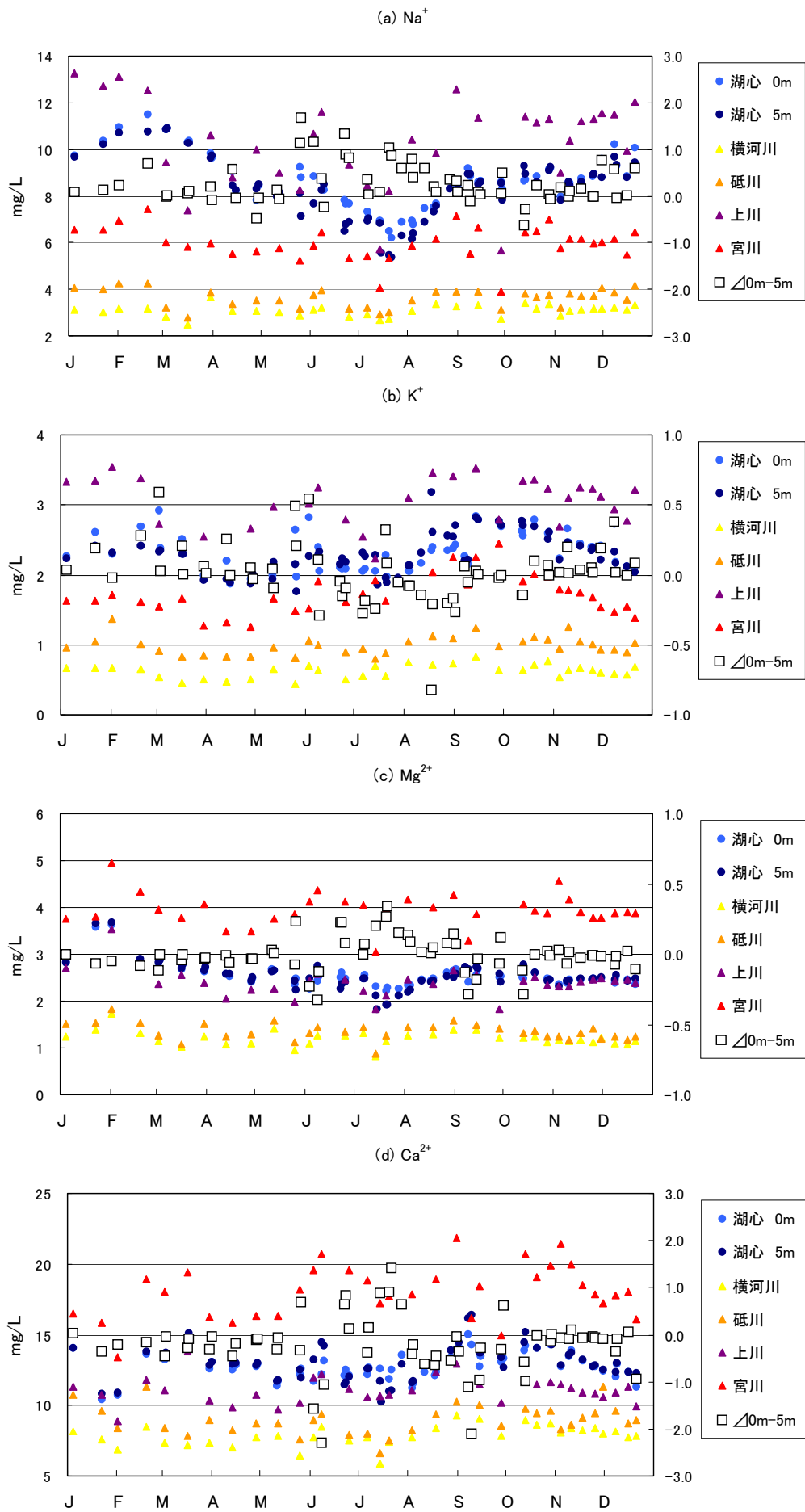


Fig. 2 諏訪湖および諏訪湖流入河川の水質変動と、湖水の表層と深層の水質差(2010年)
左軸は各地点の濃度、右軸は湖心0mと5mの濃度差

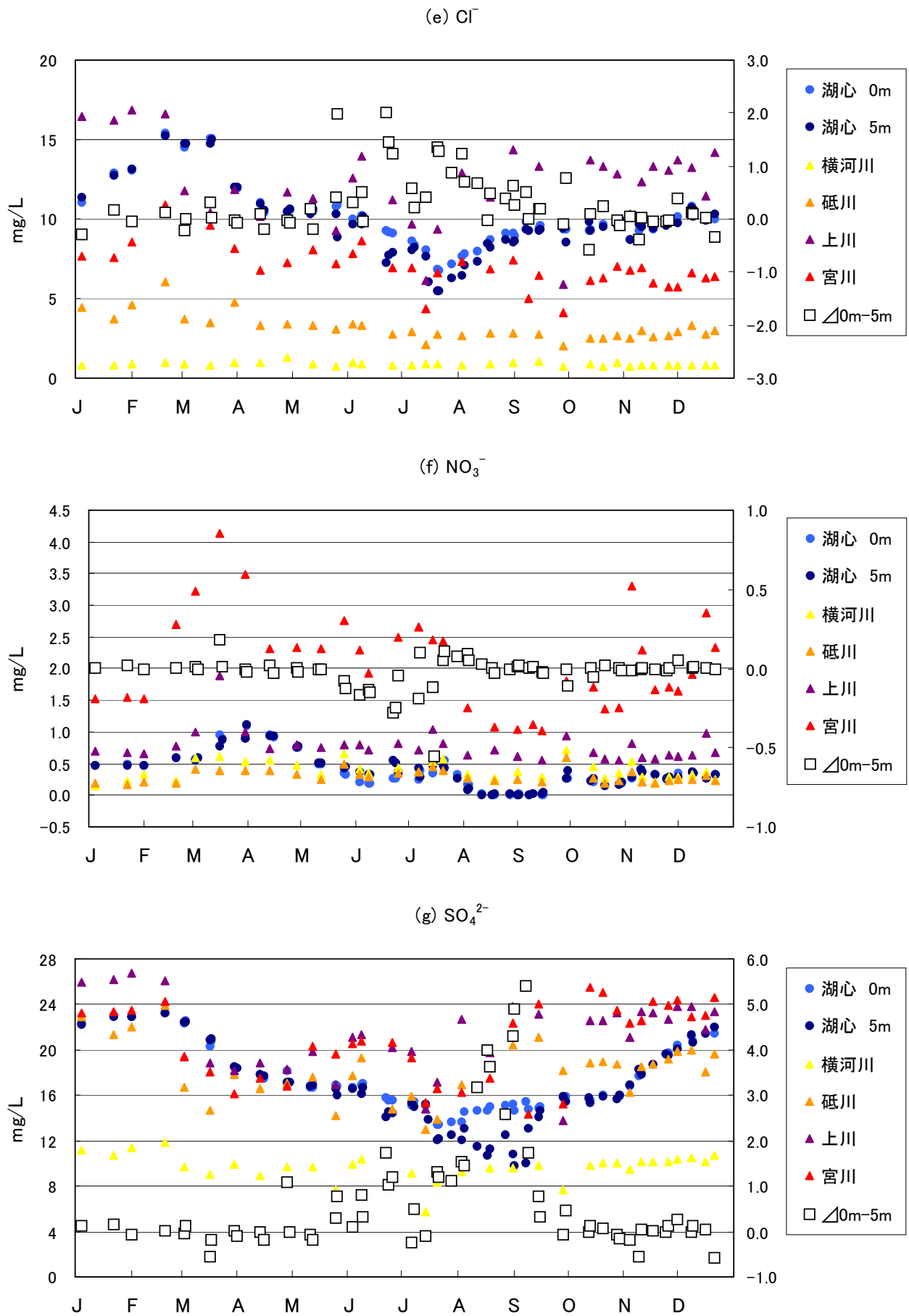


Fig. 2 諏訪湖および諏訪湖流入河川の水質変動と、湖水の表層と深層の水質差(2010年)
左軸は各地点の濃度、右軸は湖心0mと5mの濃度差

Table 1 諏訪湖(湖心)および主要流入河川の水質変動の相関

	Na ⁺		K ⁺		Mg ²⁺		Ca ²⁺		Cl ⁻		NO ₃ ⁻		SO ₄ ²⁻	
	0m	5m	0m	5m	0m	5m	0m	5m	0m	5m	0m	5m	0m	5m
横河川	0.249	0.316	0.224	0.532	0.534	0.458	0.432	0.569	0.128	0.102	0.219	0.289	0.695	0.675
砥川	0.472	0.476	0.379	0.659	0.551	0.552	0.277	0.417	0.827	0.799	0.226	0.318	0.438	0.384
上川	0.495	0.518	0.370	0.628	0.500	0.579	0.482	0.636	0.348	0.324	0.488	0.573	0.440	0.416
宮川	0.466	0.528	0.198	0.693	-0.019	-0.019	0.355	0.456	0.574	0.531	0.621	0.676	0.426	0.404

上旬にかけ 15mg/L 程度で推移していた。河川水と湖水の硫酸イオン濃度を比較すると、上川、宮川と砥川では、湖水と同程度か上回る濃度で推移し、横河川では湖水を下回っていた。(Fig. 2 (g))

これら諏訪湖湖水と流入河川水の季節変動について両者の相関を Table 1 にまとめて示した。表中の太字は、 $0.01 > P$ である。横河川は、湖心のカリウム、マグネシウム、カルシウムと硫酸イオンの変動と有意な正の相関が見られた。砥川は、湖心のナトリウム、カリウム、マグネシウムと塩化物イオンの変動と有意な正の相関が見られた。上川は、湖心のナトリウム、カリウム、マグネシウム、カルシウムと硝酸イオンの変動と有意な正の相関が見られた。宮川は、湖心のナトリウム、カリウム、カルシウム、塩化物イオンと硝酸イオンの変動と有意な正の相関が見られた。

諏訪湖の表層と深層の水質差に着目すると (Fig. 2 右軸)、5月下旬、6月中旬と7月中旬に、諏訪湖では表層と深層での水質差が生じていたが、それが再び均一になるまでの期間と過程は、イオンによって異なっていた。ナトリウムと塩化物イオンは、5月下旬、6月中旬と7月中旬の3回、深層の濃度が表層よりも1から2mg/l程度低くなったが、8月中旬以降、大きな差は見られなかった。カルシウムイオンはナトリウムイオンと同様、5月下旬、6月中旬と7月中旬の3回、深層の濃度が1から2mg/l程度低くなったが、その前後は表層よりも深層の濃度が高くなっていた。また、硫酸イオンは7月中旬に深層の濃度が低下したが、その後も9月上旬まで低下が続き最大で5mg/l程度まで濃度差が拡大した。一方、カリウム、マグネシウムおよび硝酸イオンは、他のイオンほど表層と深層で濃度差は生じなかったが、カリウムとマグネシウムイオンはナトリウムイオンと同様な変動

が見られた。硝酸イオンのみ、5月下旬、6月中旬と7月中旬に、表層よりも深層の濃度が高くなっていた。

3-2. 湖全域調査

湖内全域での7月の調査に基づき、主要イオンの湖内分布を水深別に Fig. 3 (a)から Fig. 4 (g) に示した。

ナトリウムイオンは、湖の表層と深層の間に濃度差があり、また深層で濃度のばらつきが確認された。湖南部と北部に高濃度かつ表層と濃度差の少ない地域が確認され、深層の北部西寄りに低濃度の地域が確認された。(Fig. 3 (a))

カリウムイオンは、湖の表層と深層の間に著しい濃度差は見られなかった。しかし、ナトリウムイオン同様、湖南部と北部に高濃度で表層と濃度差の少ない地域が確認され、深層の北部西寄りに低濃度の地域が確認された。(Fig. 3 (b))

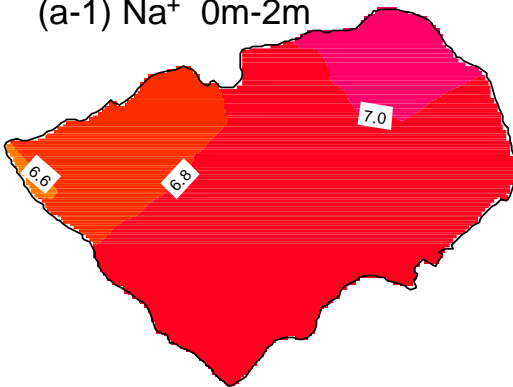
マグネシウムイオンは、湖の表層と深層の間に濃度差があり、また深層で濃度のばらつきが確認された。深層の南部で表層よりも高濃度の地域、北部西寄りに表層よりも低濃度の地域が見られた。(Fig. 3 (c))

カルシウムイオンは、湖の表層と深層の間に濃度差があり、また深層で濃度のばらつきが確認された。マグネシウムイオン同様、深層の南部で表層よりも高濃度の地域、北部西寄りに表層よりも低濃度の地域が見られた。(Fig. 3 (d))

塩化物イオンは、湖の表層と深層の間に濃度差があり、また深層で濃度のばらつきが確認された。湖北部に高濃度かつ表層と濃度差の少ない地域が確認され、深層の北部西寄りに低濃度の地域が確認された。(Fig. 3 (e))

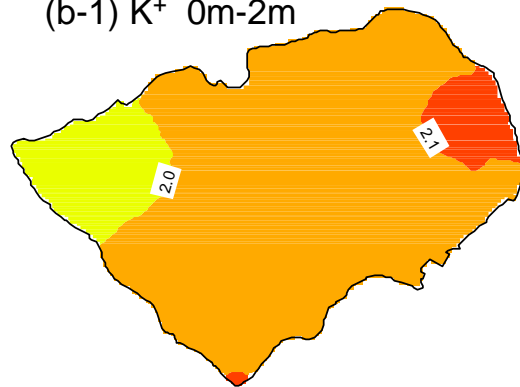
硝酸イオンは、湖の表層と深層の間に濃度差があり、また深層で濃度のばらつきが確認された。

(a-1) Na⁺ 0m-2m



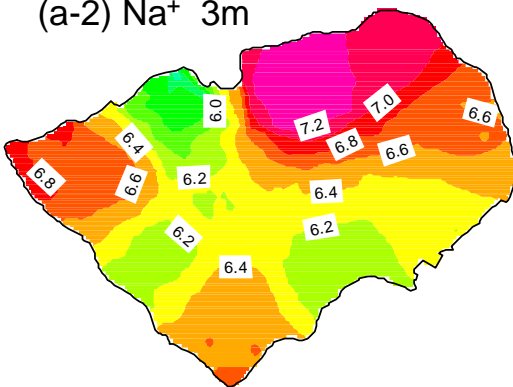
6.90 ± 0.12 mg/L

(b-1) K⁺ 0m-2m



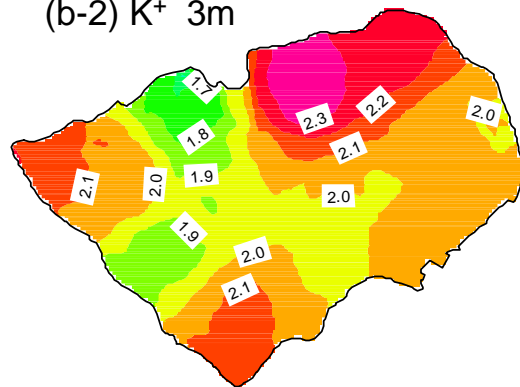
2.04 ± 0.04 mg/l

(a-2) Na⁺ 3m



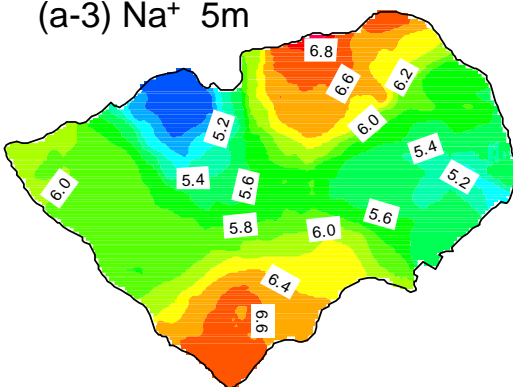
6.48 ± 0.49 mg/l

(b-2) K⁺ 3m



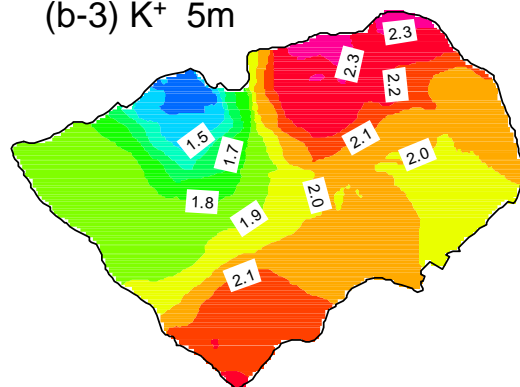
2.03 ± 0.15 mg/l

(a-3) Na⁺ 5m



5.88 ± 0.61 mg/l

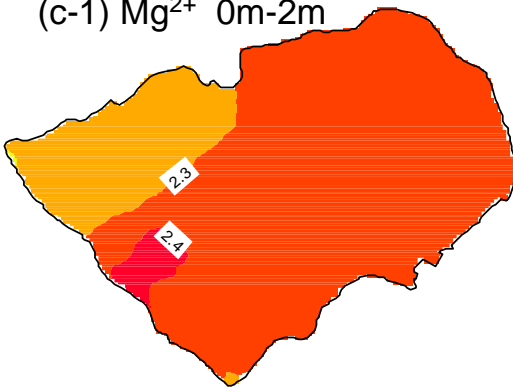
(b-3) K⁺ 5m



1.93 ± 0.25 mg/l

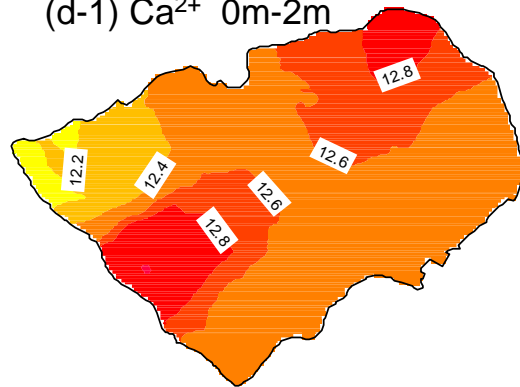
Fig. 3 諏訪湖における水深別水質分布(2010年7月14日-15日)
(a)ナトリウムイオン, (b)カリウムイオン 図中の数値は平均±SD

(c-1) Mg²⁺ 0m-2m



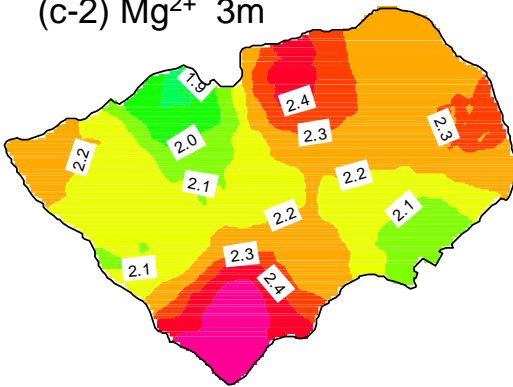
2.33 ± 0.04 mg/l

(d-1) Ca²⁺ 0m-2m



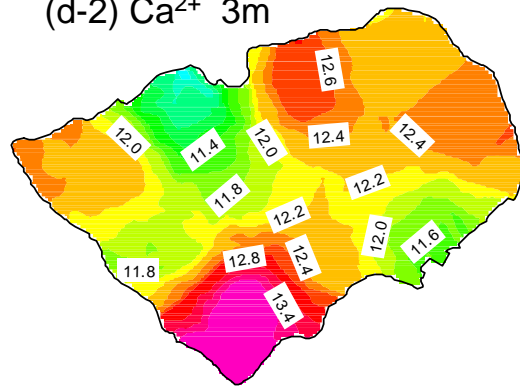
12.60 ± 0.20 mg/l

(c-2) Mg²⁺ 3m



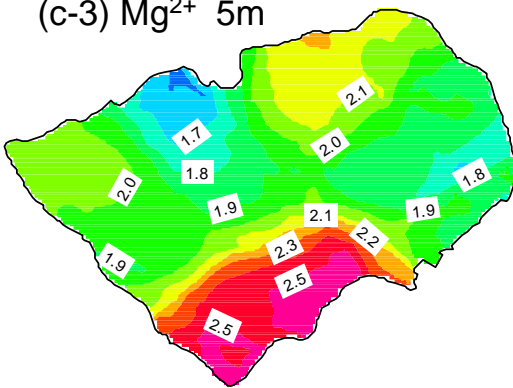
2.21 ± 0.16 mg/l

(d-2) Ca²⁺ 3m



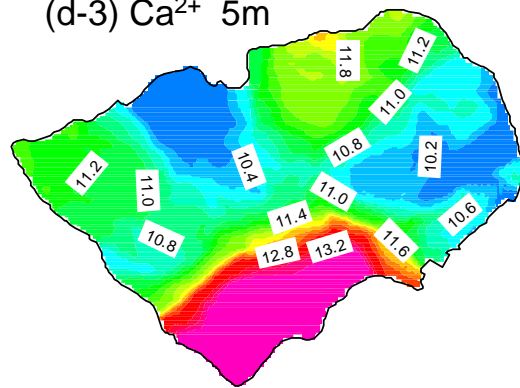
12.21 ± 0.67 mg/l

(c-3) Mg²⁺ 5m



2.05 ± 0.30 mg/l

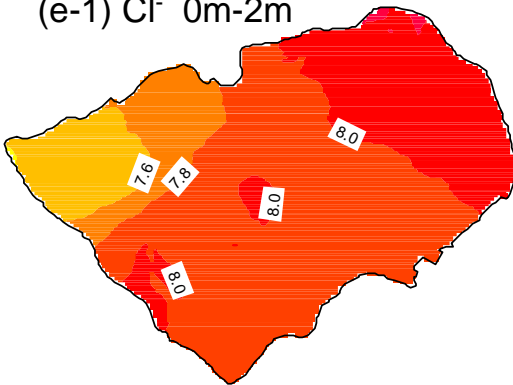
(d-3) Ca²⁺ 5m



11.46 ± 1.55 mg/l

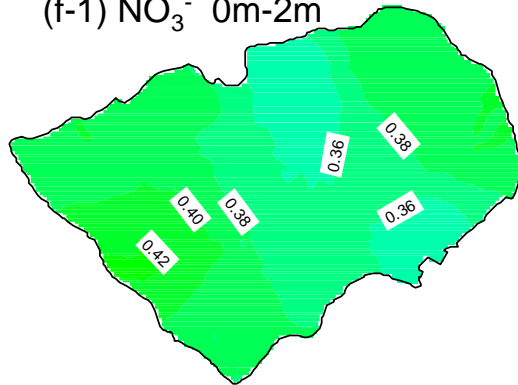
Fig. 3 諏訪湖における水深別水質分布(2010年7月14日-15日)
(c)マグネシウムイオン, (d)カルシウムイオン 図中の数値は平均±SD

(e-1) Cl⁻ 0m-2m



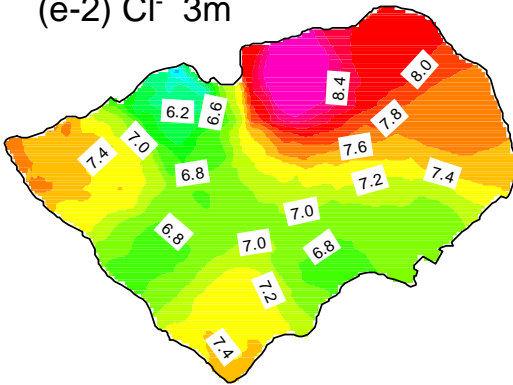
7.94 ± 0.17 mg/l

(f-1) NO₃⁻ 0m-2m



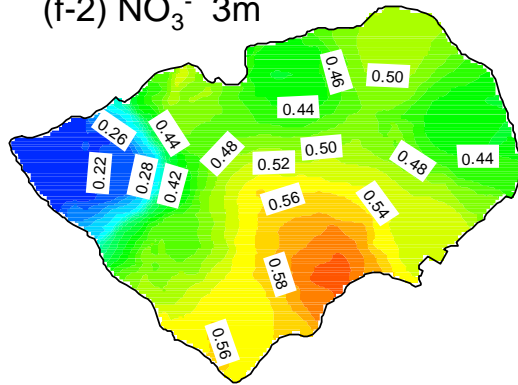
0.38 ± 0.02 mg-N/l

(e-2) Cl⁻ 3m



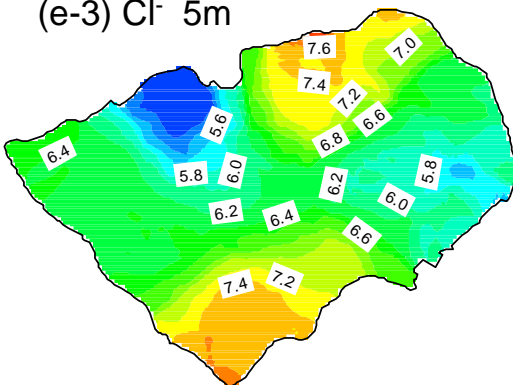
7.27 ± 0.68 mg/l

(f-2) NO₃⁻ 3m



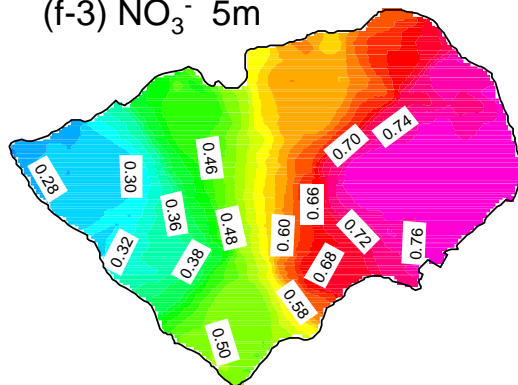
0.49 ± 0.10 mg-N/l

(e-3) Cl⁻ 5m



6.47 ± 0.77 mg/l

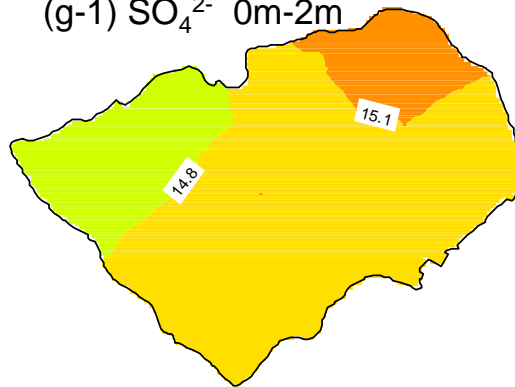
(f-3) NO₃⁻ 5m



0.52 ± 0.16 mg-N/l

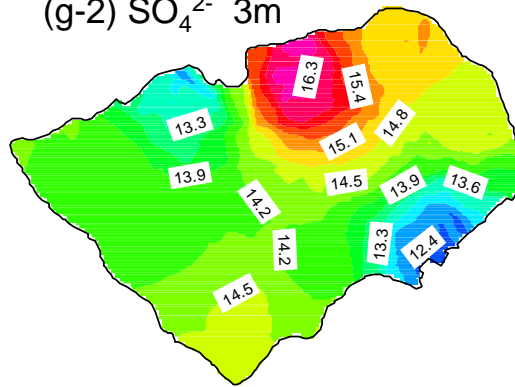
Fig. 3 諏訪湖における水深別水質分布(2010年7月14日-15日)
(e)塩化物イオン, (f)硝酸イオン 図中の数値は平均±SD

(g-1) SO_4^{2-} 0m-2m



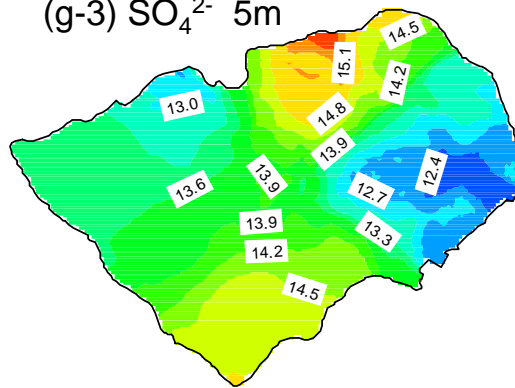
14.94 ± 0.18 mg/l

(g-2) SO_4^{2-} 3m



14.28 ± 0.95 mg/l

(g-3) SO_4^{2-} 5m



13.84 ± 0.76 mg/l

Fig. 3 諏訪湖における水深別水質分布(2010年7月14日-15日)
(g)硫酸イオン 図中の数値は平均±SD

深層の湖南部中央に表層よりも高濃度の地域が確認された。(Fig. 3 (f))

硫酸イオンは、湖の表層と深層の間に濃度差があり、また深層で濃度のばらつきが確認された。ナトリウムイオン同様、湖南部と北部に高濃度かつ表層と濃度差の少ない地域が確認され、深層の北部西寄りに表層よりも低濃度の地域が見られた。(Fig. 3 (g))

次に、ここで作成した水質分布図と、同時期の流入河川水質との対応を見た。横河川と砥川では、硝酸イオンを除き、その他のイオン濃度はいずれも諏訪湖湖水よりも低かったが、これらイオンはその河口付近(北部西寄り)の中・深層で濃度が低くなっていた。上川では、硝酸イオンと硫酸イオンを除き、その他のイオン濃度はいずれも諏訪湖湖水より低かったが、これらイオンはその河口付近(南部東寄り)の中層でも濃度が低くなる傾向が見られた。宮川では、ナトリウム、カリウム、塩化物イオンと硫酸イオン濃度はいずれも諏訪湖湖水より低かったが、これらイオンはいずれも宮川河口付近(南部中央)の中・深層で濃度が低くなっていた。また、宮川では、マグネシウム、カルシウムと硝酸イオンはいずれも諏訪湖湖水よりも濃度が高く、その河口付近(南部中央)の中・深層でも同様にイオン濃度が高くなっていた。その他、7河川の影響は、その判定が困難であったが、古川(北部東寄り)の影響と思われる水質が不均一な部分がコンター図で認められた。

このように、先の季節変動の結果とあわせ、主要4河川は、諏訪湖の水質変動だけでなく、水質分布にも大きな影響を及ぼしていることが明らかとなった。

4. 考察

先に報告された2006年から2008年の湖内全域での表層の水質分布調査と同様[11]、表層では主要イオンはほぼ均一に分布していた。今回は調査地点数を60から11地点に変更したため、過去見られた沿岸部での不均一な分布は確認されなかった。しかし、深層では表層に比べばらつきが大きく、不均質な水塊となっている様子が初

めて確認された。特に、Fig. 3に示した通り、7月には、その傾向が顕著であり、8月、9月と時間を経ることで、表層と深層の差が縮小しただけでなく(Fig.2)、深層におけるイオンの水平分布もすでに均一となった(付表1参照)。また、循環期の5月と6月は、表層のみの調査であったが、その水質分布はほぼ均一であった。(付表1参照)

7月に生じた深層の水質の不均一化の要因の一つとして、河川水の流入を考えた。先に、我々は、諏訪湖流入河川の一斉調査を行い、河川と湖水の水質の相違と河川流量から、主要4河川とあわせ、今回調査対象とした古川や舟渡川も諏訪湖水質に比較的大きな影響を及ぼす可能性があることを指摘している[16]。横河川と砥川河口沖では、硝酸イオン以外のイオン全ての濃度が低くなる可能性が指摘されていたが、今回の分布調査でも、その影響が確認された。上川沖では、カルシウムイオン以外全てのイオンで濃度が高くなると予想されていたが、今回の調査でもカルシウムと硫酸イオン以外でその傾向が見られた。7月の上川沖のカルシウムと硫酸イオンの分布が先の予想と異なったのは、河川水中のそれらイオン濃度が、予想に用いた平水時と比べ増水により著しく低下したためである。また、宮川沖では、ナトリウムイオンと塩化物イオンが低く、マグネシウムとカルシウムイオンが高くなると予想されていたが、今回の調査でもその影響が確認された。また、古川沖で硫酸イオン濃度が高く、舟渡川沖でマグネシウムとカルシウムイオンが高くなるなど、今回の調査で先の予想と一致する分布も見られた。

また、河川水の流量は降水後に増大し、河川水の湖水質への影響が増大すると考え、流入河川のうち、長野県諏訪建設事務所より提供していただいた主要4河川の流量をFig. 4に示した。あわせて、アメダスによる諏訪地域の日降水量をFig. 5に示した。7月の観測は、中旬の降水量が多かった時期に行われた。この時期に河川流量は急激に増大しており、この増水にともない、河川水中のイオン濃度が低下していた(Fig. 2)。また、7月の全域調査でも主要河川の河口付近

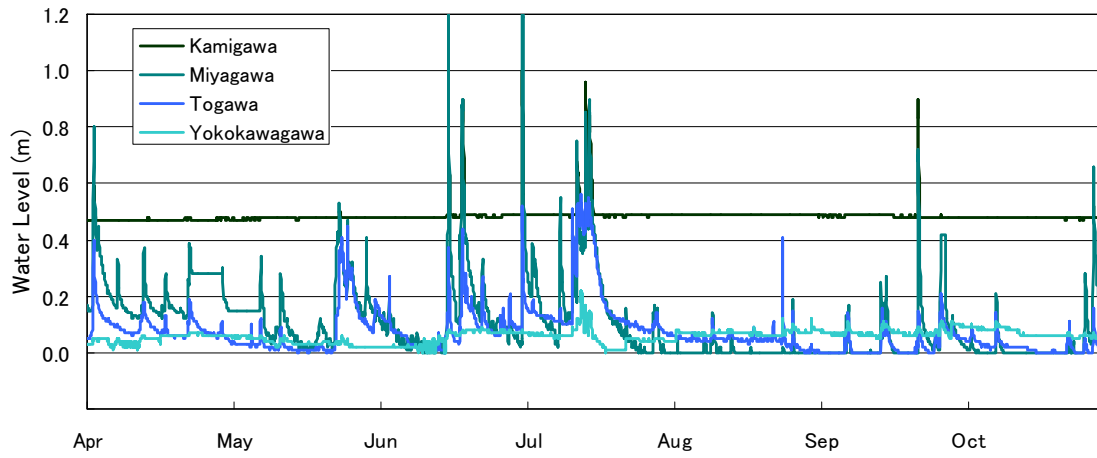


Fig. 4 諏訪湖の主要流入河川の水位変動(2010年)

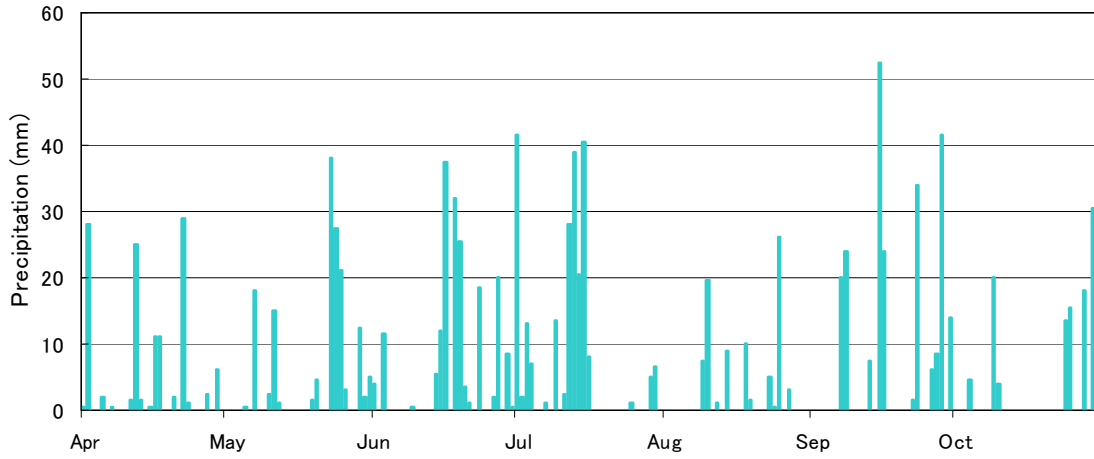


Fig. 5 諏訪地域特別気象観測所における降水量の変化(2010年)

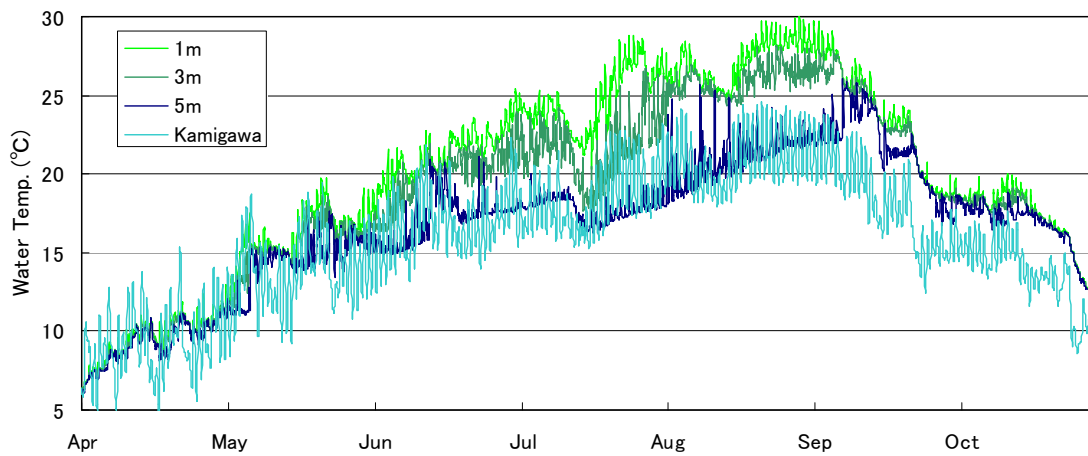


Fig. 6 諏訪湖および上川の水温変動(2010年)

の深層で大きくイオン濃度が低下しており (Fig. 3)、降雨により河川流量が増大するだけでなく、その水質も平水時と大きく変化するため、河川の湖水質へ及ぼす影響が強まると言える。このように、降雨により水温が低く、濁度が高い、つまり密度の高い河川水が湖下層へ大量に潜り込むことが [17, 18]、夏期に湖上下の水質差が生じる大きな要因と考えた。このことは、付図 a-c に示した、水温分布、溶存酸素および電気伝導度の深層での分布からも支持される。

河川の増水後に、諏訪湖では表層と深層での水質差が生じたが、それが再び均一になるまでの期間と過程は、イオンによって異なっていた。これには、諏訪湖での生物活動が大きく関与していたものと考えられた。ナトリウムや塩化物イオンは生物利用が乏しいため、風による鉛直混合や、水中での拡散作用によって、比較的短期間で均一化しやすい。一方、硫酸イオンは7月中旬に深層の濃度が低下したが、上記イオンと異なり、その後も9月上旬まで深層の濃度低下が続き、最大で 5mg/l 程度まで、その濃度差が拡大していた。これは水温成層により、湖水の鉛直混合が抑制されていただけでなく、湖底付近での酸素消費にともない、還元的環境下で硫酸イオンの還元が生じたためと考えられた。実際に8月下旬には、深層水に硫化水素臭が確認された。2010年の夏期はいわゆる「猛暑」であり、表層と深層での水温差(密度差)が大きくなり、鉛直混合が抑制されやすく、深層への酸素供給が乏しかったといえる。さらに、カルシウムイオンは、8月以降、表層と深層で濃度が逆転(深層の濃度が増大)していたが、硫酸イオン同様、これにも、深層での微生物活動が関与していると考えた。すなわち、湖深層や底泥表層で有機物が分解されると、水中の二酸化炭素濃度は増加し、底泥中の炭酸カルシウムの溶解を促進する。そのため、カルシウムイオン濃度が深層で増加したものと考えた。一方、カリウム、マグネシウムおよび硝酸イオンは、表層と深層でほとんど濃度差が生じなかった。これらの湖水や河川水中濃度は、他のイオンと比べ低いことがその主な要因であるが、カリウムとマグネシ

ウムイオンもナトリウムイオンと同様の変動を示していた。また、硝酸イオンは、河川水中濃度が湖水よりも高く、他のイオンと異なり増水時に深層でその濃度が高くなっていたが、8月から9月にかけて、湖水からほとんど消失しており、その変動に湖での生物利用と還元的雰囲気での脱窒の影響が強く見られた。このように、湖表層と深層の濃度差が生じるのは、河川水の流入だけでなく、夏期特有の水温成層や、それにとまなう深層での生物活動による影響も大きいと言える。

河川水の湖への流入において、その水温から流入深度を予測することができる。上川と湖心の水温変化を Fig. 6 に示した。上川の水温は常に諏訪湖湖心水深 5m の水温よりも低いわけではなく、時期や日によってその水温差が異なる。河川水の流入が示唆された、5月下旬、6月中旬と7月中旬には、その水温が湖心 5m よりも低く、密度が大きい河川水が湖深層へ流入していたことを支持する。また、8月中旬にも水温が低下し、深層へ河川水が流入したと考えられた。これらは、いずれも降雨 (Fig. 5) に対応したが、7月下旬以降の平水時には、深層よりも水温が高く、流量の少ない河川水は表層や中層の湖水と混合していたものと考えられた。しかし、湖水と河川水の水温差は河川によって異なると考えられ、その影響の仕方は異なる。

9月中旬に、それまで形成されていた、表層と深層でのイオン濃度の差が解消されたが、これには、台風が大きく関わっている。台風9号が本州に接近、通過した際、諏訪地域では9月8日午後4時から7時にかけて、平均風速 8m (最大瞬間風速 10m 程度) の西北西の風が連続して吹いた。このため、9月になっても比較的強固に存在していた水温成層が崩壊し、水質が急激に均一化したものと考えられた。このように、諏訪湖水質分布の変動には、気象が大きく関与している。

5. まとめ

諏訪湖と流入河川水中のイオン濃度の季節変動と分布から、横河川、砥川、上川および宮川と

いった比較的流量の大きな河川の河口近くで、河川水の潜り込みが示唆された。同時に観測していた溶存酸素や水温の分布からも、これら河川水の深層への潜り込みが支持された。また、降水時には河川流量が増大するだけでなく、河川水温も低く、河川水の潜り込みが強く表れやすい事も明らかとなった。

増水後、湖表層と深層ではイオン濃度に差が生じたが、その後、湖全体が次第に均一な濃度となっていた。増水による水質不均一化は、半月から1ヶ月半程度継続していたが、単に水温成層によって混合が妨げられただけではなく、湖水中での生物活動が大きく関与していた。また、水質均一化にも台風9号が関与するなど、諏訪湖の水質分布には気象が大きくかかわっていた。

引用文献

- [1] 沖野外輝夫、花里孝幸編(2005):アオコが消えた諏訪湖. p44-48. 信濃毎日新聞社.
- [2] 門司正三、高井康雄(1984):陸水と人間活動. p9-10. p137-138. 東京大学出版.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.

- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 宮原裕一、今井晶子、柳町晴美(2009):諏訪湖における主要イオンの分布に関する研究. 信州大学環境科学年報, 31, 30-47.
- [12] 豊田政史、加藤宏章、今井晶子、宮原裕一(2010):諏訪湖におけるヒシの試験刈り取りが水塊構造に及ぼす影響. 水工学論文集, 55, 1465-1470.
- [13] 石母田誠、田中薫、山下智代、角田紗代子(2010):諏訪地域水質中における除草剤の長期的な変遷とその分布. 環境化学, 20, 241-248.
- [14] 気象庁:電子閲覧室(諏訪特別地域気象観測所のデータ) <http://www.data.jma.go.jp/>
- [15] 長野県諏訪建設事務所維持管理課釜口水門管理係から提供
- [16] 宮原裕一、石母田誠、今井晶子(2008):諏訪湖流入河川の一斉調査. 信州大学環境科学年報, 30, 15-20.
- [17] 宮原裕一(2005):諏訪湖における水中懸濁物質の変動に関する研究. 信州大学環境科学年報, 27, 31-38.
- [18] 宮原裕一(2010):諏訪湖における懸濁物質の挙動に関する研究. 信州大学環境科学年報, 32, 9-16.

※付表1について

諏訪湖表層の水質の平均値±2SD を超えるセルに着色した。オレンジ色の部分は湖でイオン濃度が高い場所であること、流入河川では、湖内のイオン濃度を上昇させる可能性が強いこと、水色の部分は、濃度が低い場所で、湖内の濃度を低下させる可能性を示している。

(原稿受付 2011. 3. 11)

付表 1 諏訪湖および諏訪湖流入河川水の主要イオン濃度の変動と流入河川の影響

Na ⁺	湖南東部		湖南部		湖南西部		湖心西側	湖西部	湖北西部		湖心付近	湖心東側	湖北部	湖北東部	湖東部	平均	SD
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11						
5月	0m-2m	9.09	8.82	8.61	8.59	8.66	8.54	8.70	8.87	8.68	8.65	8.77	8.73	0.16			
	流入河川	9.01	8.63	5.78	11.05	6.05	13.14	3.03	3.52	13.83	6.46	6.94					
6月	0m-2m	8.39	8.19	8.26	8.59	7.99	8.95	8.35	9.36	8.52	9.17	7.99	8.52	0.46			
	流入河川	10.68	8.51	5.85	11.61	5.66	8.53	3.12	3.75	14.25	5.40	6.82					
7月	0m-2m	6.92	6.90	6.95	6.93	6.65	6.77	6.94	6.84	6.91	7.13	6.97	6.90	0.12			
	3m	6.23	6.05	6.52	6.13	6.66	5.79	6.32	6.33	7.51	7.09	6.61	6.48	0.49			
	5m		6.29	6.60	5.86	5.92	4.77	5.56	5.49	6.55			5.88	0.61			
	流入河川	5.75	11.91	4.03	14.86	4.73	10.54	2.68	2.91	11.13	4.32	5.16					
8月	0m	7.70	7.25	7.31	7.29	7.41	7.29	7.28	7.45	7.37	7.33	7.33	7.37	0.13			
	3m	7.88	7.50	7.41	7.36	7.25	7.19	7.47	8.91	7.24	7.15	7.41	7.52	0.50			
	5m		6.82	7.38	6.97	7.22	6.55	6.72	8.53	7.51	8.03		7.30	0.65			
	流入河川	10.40	10.57	5.88	10.45	4.89	9.21	3.07	3.50	13.09	5.60	8.60					
9月	0m	9.15	8.87	9.18	9.09	8.93	9.10	9.19	8.97	8.96	8.95	9.13	9.05	0.11			
	3m	9.30	9.12	8.99	8.94	8.98	8.95	9.01	8.96	8.80	9.01	8.91	9.00	0.13			
	5m		9.19	8.87	9.06	9.52	8.89	8.97	10.52	9.48			9.31	0.55			
	流入河川	12.56	3.79	7.13	4.36	5.13	10.07	3.26	3.92	9.02	4.45	5.27					
	上川	舟渡川	宮川	武井田川	栃久保川	塚間川	横河川	砥川	古川	承知川	千本木川						
K ⁺	湖南東部		湖南部		湖南西部		湖心西側	湖西部	湖北西部		湖心付近	湖心東側	湖北部	湖北東部	湖東部	平均	SD
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11						
5月	0m-2m	2.06	2.10	1.98	1.91	2.00	1.97	2.03	2.07	1.99	1.95	2.01	2.01	0.06			
	流入河川	2.65	2.79	2.97	2.65	3.00	2.47	1.07	0.96	3.17	1.45	1.79					
6月	0m-2m	2.10	2.03	2.03	2.02	2.00	2.02	2.00	2.07	2.01	2.06	2.00	2.03	0.03			
	流入河川	3.03	2.24	1.53	3.03	2.20	2.06	0.70	1.06	2.48	1.97	2.01					
7月	0m-2m	2.01	2.02	2.09	2.05	1.96	2.02	2.06	2.01	2.03	2.06	2.12	2.04	0.04			
	3m	2.06	1.97	2.10	1.86	2.09	1.76	1.97	1.95	2.35	2.22	2.01	2.03	0.16			
	5m		2.07	2.16	1.88	1.82	1.43	1.87	2.00	2.25			1.93	0.25			
	流入河川	2.88	3.65	3.65	2.88	2.04	1.84	0.70	0.81	1.97	1.30	1.68					
8月	0m	2.29	2.19	2.22	2.19	2.22	2.20	2.17	2.23	2.18	2.21	2.22	2.21	0.03			
	3m	2.30	2.22	2.26	2.25	2.23	2.16	2.22	3.33	2.18	2.15	2.28	2.33	0.34			
	5m		2.17	2.34	2.41	2.22	2.06	2.33	2.63	2.38	2.46		2.33	0.17			
	流入河川	2.57	3.37	3.37	2.57	2.32	1.78	0.76	1.05	2.76	1.56	2.03					
9月	0m	2.25	2.20	2.24	2.22	2.18	2.22	2.27	2.18	2.16	2.16	2.22	2.21	0.04			
	3m	2.66	2.41	2.27	2.25	2.22	2.21	2.24	2.21	2.17	2.18	2.20	2.28	0.14			
	5m		2.25	2.21	2.22	2.36	2.15	2.21	2.55	2.30			2.28	0.13			
	流入河川	3.41	3.36	2.25	5.29	2.42	2.31	0.74	1.10	1.85	1.74	2.09					
	上川	舟渡川	宮川	武井田川	栃久保川	塚間川	横河川	砥川	古川	承知川	千本木川						

付表 1 諏訪湖および諏訪湖流入河川水の主要イオン濃度の変動と流入河川の影響

Mg ²⁺	湖南東部		湖南部		湖南西部		湖心西側	湖西部	湖北西部		湖心付近	湖心東側	湖北部	湖北東部	湖東部	平均	SD
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11						
5月	0m-2m	2.63	2.58	2.57	2.54	2.54	2.53	2.55	2.64	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.56	0.04	
流入河川		2.26	3.43	3.75	3.44	3.33	4.28	1.42	1.60	4.48	1.65	1.54					
6月	0m-2m	2.39	2.56	2.50	2.47	2.52	2.52	2.49	2.44	2.49	2.48	2.49	2.49	2.49	2.49	0.04	
流入河川		2.43	2.95	4.13	4.34	2.44	2.42	1.11	1.31	4.56	1.31	1.27					
7月	0m-2m	2.33	2.32	2.32	2.41	2.25	2.28	2.33	2.33	2.33	2.38	2.32	2.33	2.32	2.33	0.04	
3m		2.05	2.23	2.51	2.12	2.19	1.93	2.14	2.18	2.40	2.27	2.30	2.21	2.16	0.16		
5m		2.49	2.48	1.94	2.00	1.67	1.82	1.86	2.11			2.05	0.30				
流入河川		1.82	5.14	3.04	5.53	2.10	4.39	0.84	0.89	3.58	1.37	1.39					
8月	0m	2.40	2.49	2.46	2.46	2.48	2.47	2.48	2.51	2.45	2.44	2.46	2.46	2.48	0.03		
3m		2.47	2.55	2.52	2.48	2.46	2.45	2.48	2.53	2.46	2.44	2.46	2.48	0.04			
5m		2.71	2.52	2.44	2.52	2.34	2.45	2.78	2.54	2.86		2.57	0.17				
流入河川		2.46	4.49	4.16	4.58	2.35	3.98	1.26	1.44	4.50	1.51	1.46					
9月	0m	2.54	2.57	2.63	2.68	2.64	2.61	2.61	2.60	2.60	2.60	2.61	2.61	2.61	0.04		
3m		2.56	2.62	2.71	2.70	2.66	2.62	2.63	2.63	2.63	2.65	2.61	2.64	0.04			
5m		2.70	2.62	2.65	2.85	2.65	2.74	2.68	2.74		2.70	0.07					
流入河川		2.65	1.52	4.27	1.69	2.02	3.94	1.39	1.58	3.08	1.65	1.61					
		上川	舟渡川	宮川	武井田川	栃久保川	塚間川	横河川	砥川	古川	承知川	千本木川					
Ca ²⁺	湖南東部		湖南部		湖南西部		湖心西側	湖西部	湖北西部		湖心付近	湖心東側	湖北部	湖北東部	湖東部	平均	SD
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11						
5月	0m-2m	12.87	12.83	12.79	12.71	12.73	12.64	12.78	13.09	12.66	12.68	12.65	12.77	0.13			
流入河川		9.72	19.81	16.34	18.13	14.26	22.25	7.86	8.69	20.92	8.39	7.50					
6月	0m-2m	12.30	13.90	13.43	13.13	13.72	13.58	13.38	13.00	13.56	13.31	13.46	13.34	0.43			
流入河川		11.98	15.23	19.56	23.20	10.79	12.88	7.77	8.97	21.10	7.35	6.99					
7月	0m-2m	12.54	12.54	12.54	13.08	12.26	12.45	12.59	12.60	12.60	12.80	12.57	12.60	0.20			
3m		11.63	12.34	13.67	11.87	12.26	11.00	11.90	12.21	12.68	12.25	12.53	12.21	0.67			
5m		13.71	13.89	10.80	11.17	9.78	10.30	10.38	11.63			11.46	1.55				
流入河川		10.70	28.90	17.20	29.74	9.84	22.01	5.87	6.65	16.91	7.80	7.10					
8月	0m	11.81	12.32	12.22	12.30	12.40	12.34	12.35	12.41	12.59	12.24	12.18	12.29	0.19			
3m		12.48	12.77	12.66	12.41	12.10	12.26	12.45	12.77	12.38	12.24	12.37	12.45	0.22			
5m		14.43	12.82	12.90	12.78	12.09	12.96	13.68	12.84	14.26		13.20	0.77				
流入河川		11.09	21.71	17.87	22.52	9.73	18.44	7.75	8.26	19.90	8.53	7.23					
9月	0m	14.58	14.80	15.11	15.34	15.30	15.13	15.03	15.01	15.04	15.07	15.04	15.04	0.21			
3m		14.43	14.86	15.75	15.28	15.56	15.07	14.99	14.98	15.04	15.26	14.94	15.10	0.35			
5m		15.80	15.14	15.30	16.20	15.22	16.14	15.13	15.63			15.57	0.44				
流入河川		12.93	13.45	21.84	13.20	10.09	22.80	9.32	10.25	14.62	9.58	8.16					
		上川	舟渡川	宮川	武井田川	栃久保川	塚間川	横河川	砥川	古川	承知川	千本木川					

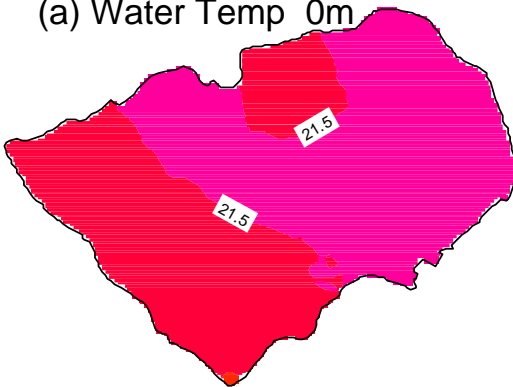
付表 1 諏訪湖および諏訪湖流入河川水の主要イオン濃度の変動と流入河川の影響

Cl ⁻	湖南東部		湖南部		湖南西部		湖心西側	湖西部	湖北西部	湖心付近	湖心東側	湖北部	湖北東部	湖東部	平均	SD
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11					
5月	0m-2m	11.56	11.22	10.92	10.84	10.84	10.76	10.91	11.27	10.85	10.86	11.06	11.01	0.25		
	流入河川	11.28	12.71	8.10	17.17	14.12	34.93	0.90	3.29	18.59	4.86	6.08				
6月	0m-2m	10.42	10.32	10.38	10.27	10.27	10.39	10.40	10.60	10.46	10.49	10.44	10.40	0.10		
	流入河川	12.62	11.27	7.80	16.96	9.15	10.70	0.98	3.39	18.72	4.55	6.39				
7月	0m-2m	7.97	7.90	7.98	7.99	7.54	7.75	8.05	7.94	7.97	8.19	8.05	7.94	0.17		
	3m	6.92	6.77	7.32	6.75	7.39	6.24	7.01	7.12	8.68	8.09	7.66	7.27	0.68		
	5m		7.10	7.46	6.40	6.33	5.15	6.04	6.00	7.27			6.47	0.77		
	流入河川	6.15	17.33	4.39	16.95	6.30	26.11	0.86	2.06	13.83	3.06	4.28				
8月	0m	8.57	8.13	8.11	8.05	8.17	8.03	8.00	8.21	8.31	8.11	8.02	8.16	0.17		
	3m	8.68	8.24	8.13	8.14	8.03	8.01	8.38	10.58	8.15	8.03	8.41	8.43	0.74		
	5m		7.68	8.27	7.59	7.94	6.99	7.32	9.97	8.37	9.24		8.15	0.95		
	流入河川	12.86	14.61	7.33	13.22	7.87	20.94	0.81	2.67	18.09	4.44	8.06				
9月	0m	9.83	9.44	9.85	9.67	9.33	9.66	9.85	9.53	9.52	9.47	9.72	9.62	0.18		
	3m	10.09	9.74	9.47	9.53	9.42	9.55	9.70	9.60	9.29	9.54	9.56	9.59	0.21		
	5m		9.51	9.07	9.35	9.64	9.21	9.35	11.56	10.04			9.72	0.80		
	流入河川	14.36	3.76	7.44	5.35	6.22	19.04	0.95	2.79	9.89	2.97	4.01				
	上川	舟渡川	宮川	武井田川	栃久保川	塚間川	横河川	砥川	古川	承知川	千本木川					
NO ₃ ⁻	湖南東部		湖南部		湖南西部		湖心西側	湖西部	湖北西部	湖心付近	湖心東側	湖北部	湖北東部	湖東部	平均	SD
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11					
5月	0m-2m	0.48	0.43	0.42	0.39	0.37	0.39	0.38	0.46	0.41	0.36	0.37	0.41	0.04		
	流入河川	0.75	1.49	2.31	0.79	1.57	0.92	0.33	0.25	2.14	0.44	0.62				
6月	0m-2m	0.24	0.27	0.26	0.25	0.25	0.29	0.25	0.25	0.24	0.26	0.26	0.26	0.01		
	流入河川	0.79	0.54	2.30	0.99	1.22	0.20	0.41	0.32	2.28	0.46	0.64				
7月	0m-2m	0.35	0.37	0.38	0.42	0.40	0.38	0.36	0.36	0.35	0.39	0.40	0.38	0.02		
	3m	0.53	0.62	0.56	0.48	0.22	0.49	0.57	0.54	0.43	0.51	0.43	0.49	0.10		
	5m		0.68	0.49	0.35	0.30	0.45	0.56	0.77	0.60			0.52	0.16		
	流入河川	1.03	1.65	2.46	0.74	1.12	1.12	0.53	0.44	1.76	0.57	0.79				
8月	0m	0.00	0.06	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03	0.00	0.03	0.03	0.00	0.03	0.02		
	3m	0.12	0.11	0.10	0.08	0.07	0.05	0.08	0.21	0.05	0.03	0.03	0.08	0.05		
	5m		0.42	0.09	0.04	0.18	0.07	0.00	0.32	0.11	0.28		0.17	0.14		
	流入河川	0.63	1.06	1.37	0.42	1.12	0.91	0.34	0.27	2.41	0.43	0.63				
9月	0m	0.00	0.00	0.01	0.03	0.03	0.01	0.01	0.00	0.02	0.02	0.00	0.01	0.01		
	3m	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.02	0.01	0.00	0.02	0.02	0.00	0.02	0.01		
	5m		0.02	0.00	0.00	0.02	0.03	0.01	0.06	0.03			0.02	0.02		
	流入河川	0.62	0.87	1.03	0.73	1.40	1.78	0.37	0.24	1.69	0.87	1.30				
	上川	舟渡川	宮川	武井田川	栃久保川	塚間川	横河川	砥川	古川	承知川	千本木川					

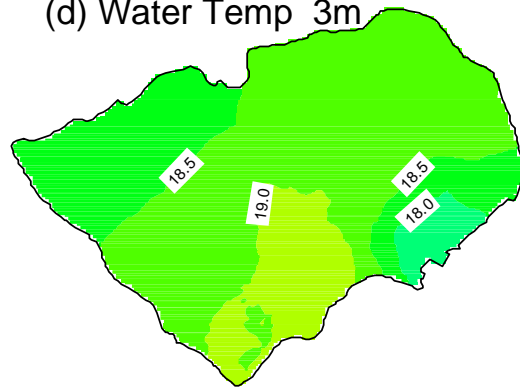
付表 1 諏訪湖および諏訪湖流入河川水の主要イオン濃度の変動と流入河川の影響

SO ₄ ²⁻	湖南東部		湖南部		湖南西部		湖心西側	湖西部	湖北西部	湖心付近	湖心東側	湖北部	湖北東部	湖東部	平均	SD
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11					
5月	0m-2m	17.56	17.28	17.30	17.35	17.30	17.47	17.35	17.44	17.42	17.32	17.36	17.36	17.38	0.09	
	流入河川	19.91	15.81	20.35	10.79	1.88	11.00	9.69	17.60		32.22	6.24	4.92			
6月	0m-2m	17.31	17.21	17.19	17.24	17.25	17.37	17.44	17.53	17.41	17.62	17.47	17.36	0.14		
	流入河川	21.07	17.91	20.52	12.04	1.31	17.10	9.91	17.77		34.17	5.33	5.19			
7月	0m-2m	14.86	14.91	14.88	14.89	14.63	14.73	15.12	14.92	15.01	15.30	15.05	14.94	0.18		
	3m	12.50	14.04	14.51	14.15	14.09	13.24	14.20	14.50	16.22	15.08	14.54	14.28	0.95		
	5m		14.36	14.64	13.78	13.43	13.07	13.87	12.70	14.87			13.84	0.76		
	流入河川	14.74	18.54	15.34	9.80	1.35	12.15	5.79	12.98		27.83	4.86	4.52			
8月	0m	13.89	14.63	14.62	14.80	14.70	14.50	14.64	14.09	14.75	14.58	14.21	14.49	0.30		
	3m	14.28	14.29	14.27	14.28	14.45	14.49	14.38	15.08	14.53	14.47	14.46	14.45	0.23		
	5m		13.54	14.01	11.92	13.87	13.96	11.47	16.51	14.28	15.29		13.87	1.54		
	流入河川	22.70	18.87	16.30	8.42	1.22	10.53	9.27	16.90		34.07	5.65	6.16			
9月	0m	14.95	15.05	15.52	15.22	15.10	14.99	15.42	15.15	15.10	15.31	15.00	15.16	0.18		
	3m	15.41	15.45	14.86	15.22	14.82	15.07	15.30	15.15	15.26	15.40	14.93	15.17	0.22		
	5m		13.01	12.07	11.86	14.98	15.12	10.01	14.56	13.48			13.13	1.77		
	流入河川	23.85	7.55	22.33	10.71	2.57	11.59	9.55	20.43		22.11	6.21	5.26			
	上川	舟渡川	宮川	武井田川	栃久保川	塚間川	横河川	砥川		古川	承知川	千本木川				

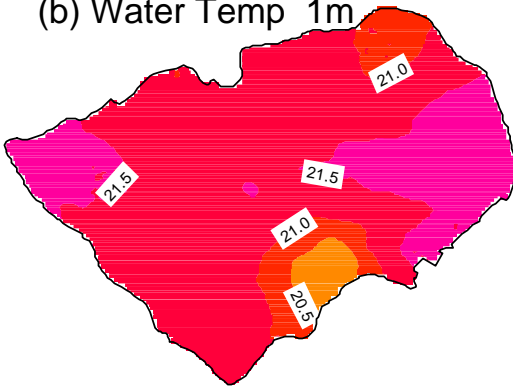
(a) Water Temp 0m



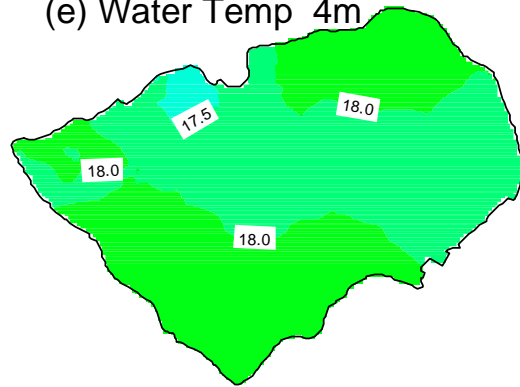
(d) Water Temp 3m



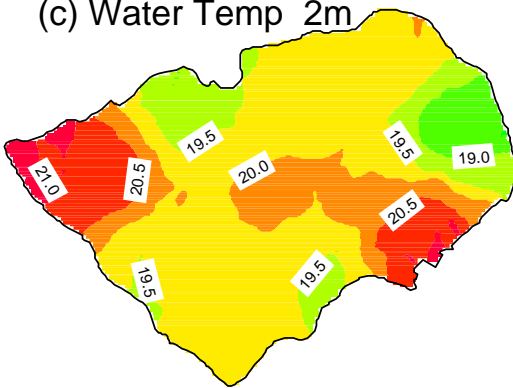
(b) Water Temp 1m



(e) Water Temp 4m



(c) Water Temp 2m



(f) Water Temp 5m

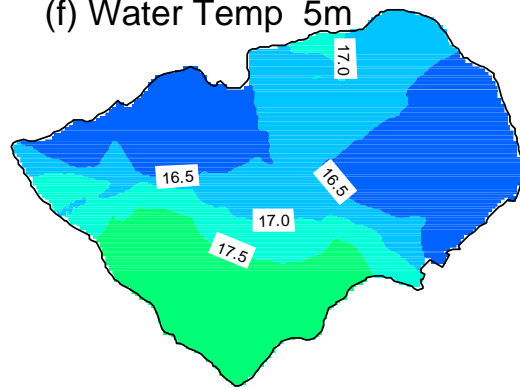
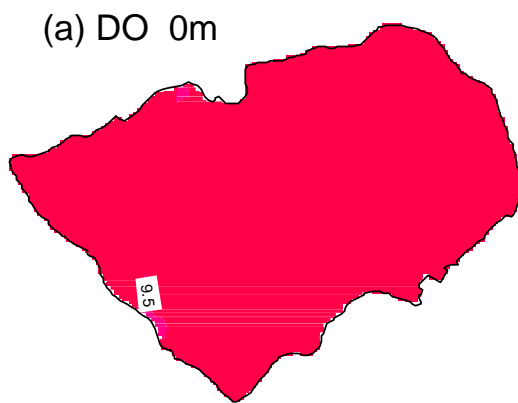
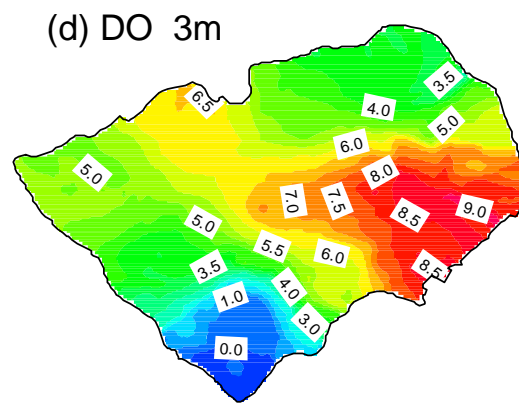


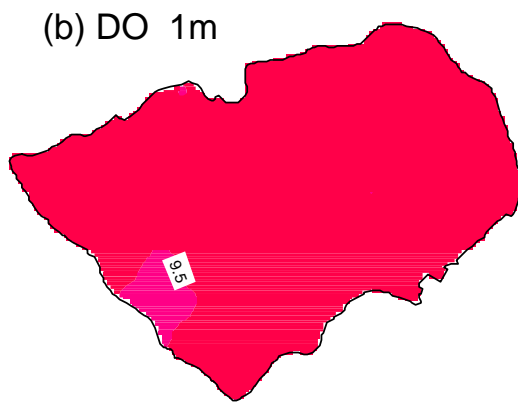
Fig. a 諏訪湖における水深別の水温分布(2010年7月14日-15日)



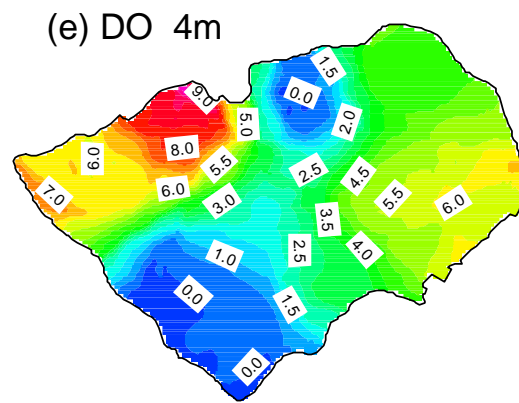
9.27 ± 0.22 mg-O₂/l



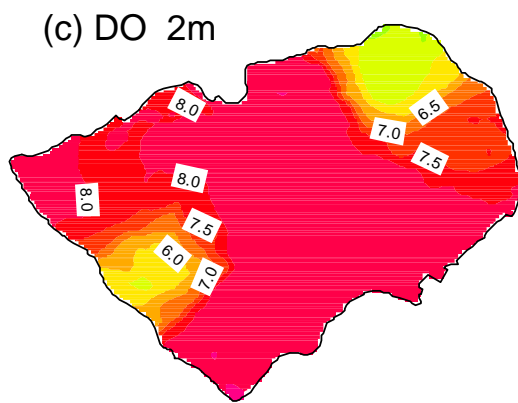
5.37 ± 2.46 mg-O₂/l



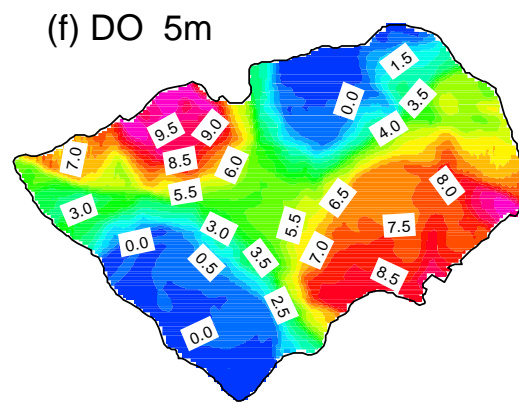
9.29 ± 0.20 mg-O₂/l



3.25 ± 2.78 mg-O₂/l



8.1 ± 1.31 mg-O₂/l



4.26 ± 3.78 mg-O₂/l

Fig. b 諏訪湖における水深別の溶存酸素分布(2010年7月14日-15日)
図中の数値は平均±SD

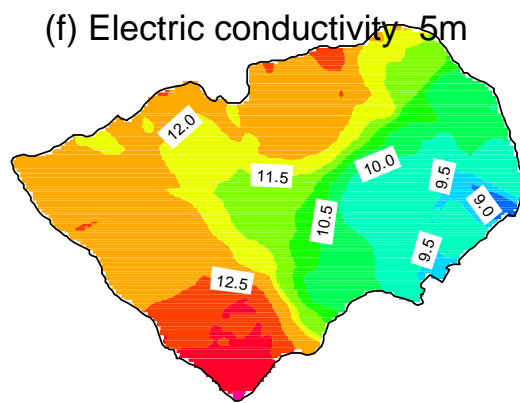
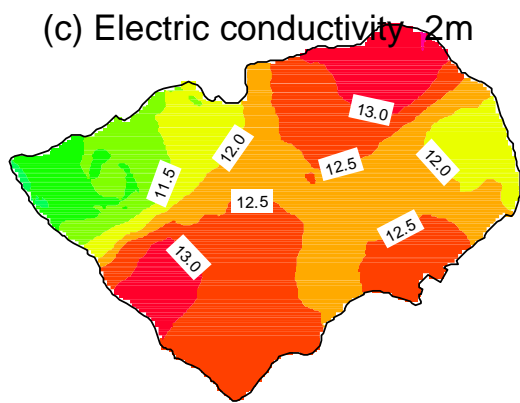
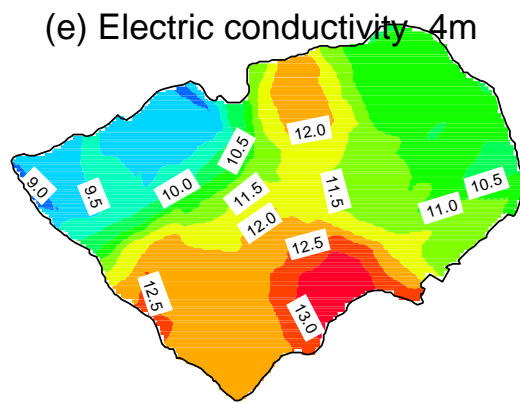
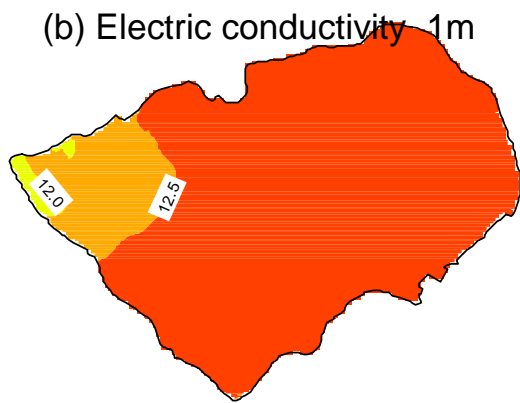
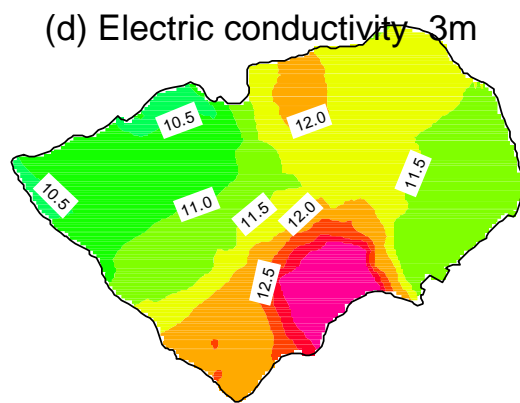
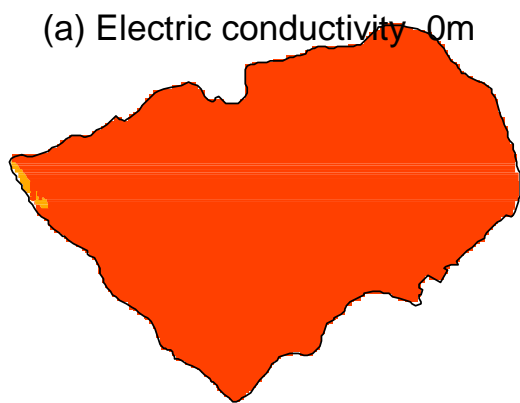


Fig. c 諏訪湖における水深別の電気伝導度分布(2010年7月14日-15日)