

## 諏訪湖における主要イオンの分布に関する研究

宮原 裕一 · 今井 晶子 · 柳町 晴美

信州大学 山岳科学総合研究所

山地水域環境保全学部門

Horizontal distribution of major ions in Lake Suwa

Yuichi MIYABARA, Akiko IMAI, Harumi YANAGIMACHI

*Institute of Mountain Science, Shinshu University**Division of Science for Inland Water Environment*

キーワード: 諏訪湖、均一性、陽イオン、陰イオン

Keywords: Lake Suwa, uniformity, cation, anion

## 1. はじめに

諏訪湖は、その湖岸線に出入りが少なく、また平均水深 4m と、比較的浅い湖であるため、風などにより湖水の混合が起こりやすく、その水質は比較的均一と考えられている。現在、長野県では塚間川沖 200m、湖心および初島西の三地点において、毎月試料を採取し、その年平均値から、環境基準の達成状況を評価している。また、我々も湖心において、隔週で調査を行い、諏訪湖水質や生態系の変遷をモニタリングしてきている。

水質汚濁が最も進んだ 1970 年代には、浚渫により沿岸部が掘り下げられ、水草帯が消失し、湖内の水質分布が単純化したと考えられるが、現在のように湖面積の 20% 近くを水草が覆うようになると、沿岸部の水質と沖の水質とが異なった変動を示す可能性がある。先に、我々は諏訪湖の沿岸部で水質調査を行い、湖心と比べ、沿岸部ではその水質変動が激しく、水草が繁茂する地点では、沿岸から流入した溶存化学物質の移動や拡散が抑制されていることを明らかにした<sup>1)</sup>。さらに、流入河川によって、その水質は大きく異なり、その影響が及ぶ範囲の水質が他の場所とは異なることも推察される<sup>2)</sup>。今後、諏訪湖の水質変化を把握し、そのメカニズムの理解を深めるためには、沿岸と沖の水質変化と、その相互の関係を明らかにする必要があると言える。

先に、柳町は、諏訪湖全域 60 地点で、表層水の懸

濁物質とクロロフィルの分布を調査し、湖の場所による水質の相違を明らかにしてきた<sup>3-8)</sup>。しかし、これら指標の主要な構成成分である植物プランクトンは、夏期に表層に集積する性質があり、風により風下へと移動しやすい。したがって、懸濁物質やクロロフィルの分布は、風の影響を受けている可能性がある。諏訪湖水質の均一性や場所による特異性を知るためには、風の影響が少ないと思われる水中溶存物質の分布も調べる必要がある。

そこで、本研究では、柳町の全域調査で採取した湖水(ろ液)をイオンクロマトグラフにかけ、主要イオンの湖内分布から水質の均一性と場所による違いを明らかにすることを試みた。

## 2. 方法

## 2-1. 試料採取

2006 年から 2008 年に行われた諏訪湖全域調査の際、図 1 に示す 60 地点で、表層水を 500ml ポリビンに採取した<sup>6,7)</sup>。この調査は、毎年、湖水の成層期と循環期に行い、試料採取日の概要は、表 1 に示すとおりである。調査は、3 艘の船に分乗し、3 コースに分かれ行い、概ね午前 9 時から 12 時の間に、試料水の採取のほか、地点ごとに水温と溶存酸素の鉛直分布の観測もあわせて行った。これら湖上での観測結果や採取地点の位置や水深などの詳細は、柳町の報告<sup>7,8)</sup>を参照されたい。

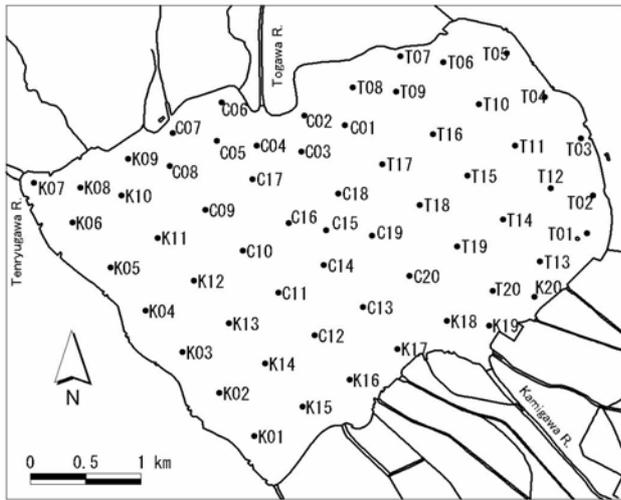


図1. 試料採取地点(柳町(2007)より引用)

表1. 調査日の概要 (天候と風速は9時から12時の間)

2006年 8月4日	晴	風速 1.2 - 3.4 m/s
2006年 9月20日	晴	風速 6.0 - 7.5 m/s
2007年 8月8日	晴	風速 2.0 - 2.8 m/s
2007年 10月4日	曇/晴	風速 0.3 - 2.5 m/s
2008年 8月7日	晴	風速 0.7 - 2.2 m/s
2008年 9月18日	雨/曇	風速 2.3 - 3.6 m/s

## 2-2. イオン分析

実験室に持ち帰った試料は、GF/Cフィルターでろ過し、そのろ液について、陽イオン(ナトリウムイオン( $\text{Na}^+$ )、カリウムイオン( $\text{K}^+$ )、マグネシウムイオン( $\text{Mg}^{2+}$ )、カルシウムイオン( $\text{Ca}^{2+}$ ))および陰イオン(塩化物イオン( $\text{Cl}^-$ )、硝酸イオン( $\text{NO}_3^-$ )、硫酸イオン( $\text{SO}_4^{2-}$ ))の分析を行った。陽、陰イオンとも、DIONEX社製のイオンクロマトグラフICS-1500に、分析カラムとして同社のCS12A、またはAS12Aを接続し、溶離液にメタンスルホン酸、または炭酸水素ナトリウム溶液を用い、サプレッサ法で測定した。

## 3. 結果

### 3-1. 水質の均一性

イオン種ごとに、湖心濃度、平均濃度、標準偏差、変動係数を表2にまとめて示した(単位は mg/L、個々の観測値は付表1から6に示した)。カリウムイオンと硝酸イオンを除き、各イオンの変動係数は5%以内であり、その濃度分布が比較的均一であることが示された。特に、マグネシウムと硫酸イオンの均一性は高いことが明らかとなった。また、60地点の平均値と湖心の観測値を比較すると、赤字や青字で示した2007年8月8日のカリウム、マグネシウムおよびカルシウムイオンを除き、湖心の観測値は、平

均値とほぼ一致しており、湖心の値が湖全体をほぼ反映したものとなっていることが確認された。

また、観測日ごとの比較から、2006年8月の観測値は、他の観測日に比べ、硝酸イオンの濃度が高く、他のイオン濃度は低いことが示された。また、硝酸イオンは成層期の8月よりも循環期の9月または10月の変動係数が大きく、循環期の濃度分布にばらつきがあり、不均一性が高いことが示された。

表2. 主要イオンの湖心濃度、平均濃度、標準偏差および変動係数(2007年8月8日を除き、60地点での観測)

	2006/8/4	2006/9/20	2007/8/8	2007/10/4	2008/8/7	2008/9/18
$\text{Na}^+$	湖心	<b>6.25</b>	<b>8.81</b>	<b>7.47</b>	<b>9.46</b>	<b>8.51</b>
	平均	6.32	8.97	7.68	9.61	8.47
	標準偏差	0.21	0.41	0.24	0.25	0.21
	変動係数	3.27	4.61	3.10	2.56	2.53
$\text{K}^+$	湖心	<b>2.20</b>	<b>2.86</b>	<b>3.43</b>	<b>2.85</b>	<b>2.41</b>
	平均	2.28	2.96	2.46	2.97	2.38
	標準偏差	0.18	0.21	0.25	0.20	0.09
	変動係数	7.94	7.12	9.98	6.63	3.64
$\text{Mg}^{2+}$	湖心	<b>2.34</b>	<b>2.93</b>	<b>2.57</b>	<b>2.96</b>	<b>2.66</b>
	平均	2.33	2.94	2.69	2.98	2.64
	標準偏差	0.06	0.03	0.07	0.05	0.03
	変動係数	2.70	0.90	2.78	1.71	1.13
$\text{Ca}^{2+}$	湖心	<b>13.18</b>	<b>16.31</b>	<b>13.27</b>	<b>14.81</b>	<b>14.24</b>
	平均	13.17	16.38	14.01	14.87	14.15
	標準偏差	0.30	0.44	0.39	0.23	0.13
	変動係数	2.29	2.67	2.81	1.55	0.95
$\text{Cl}^-$	湖心	<b>7.61</b>	<b>9.92</b>	<b>9.35</b>	<b>10.66</b>	<b>9.98</b>
	平均	7.66	10.14	9.37	10.86	9.98
	標準偏差	0.25	0.48	0.24	0.27	0.26
	変動係数	3.31	4.72	2.56	2.48	2.63
$\text{NO}_3^-$	湖心	<b>0.913</b>	<b>0.258</b>	<b>0.247</b>	<b>0.079</b>	<b>0.147</b>
	平均	0.909	0.254	0.239	0.087	0.149
	標準偏差	0.05	0.06	0.04	0.05	0.03
	変動係数	5.96	23.55	17.57	52.54	20.38
$\text{SO}_4^{2-}$	湖心	<b>15.00</b>	<b>17.33</b>	<b>17.19</b>	<b>19.15</b>	<b>17.05</b>
	平均	15.07	17.39	16.94	19.18	16.88
	標準偏差	0.20	0.40	0.31	0.21	0.30
	変動係数	1.31	2.30	1.83	1.10	1.79

単位は mg/L

### 3-2. 水質の場所による相違

場所特有の水質特性を見るため、陽イオンの当量濃度を合計し、表3にまとめて示した。いずれの観測日も変動係数は2%以下と、諏訪湖水質の均一性が高いことがここからも示されたが、比較的濃度が高い地点(平均+標準偏差以上)をピンク色に、比較的濃度が低い地点(平均-標準偏差以下)を薄い水色に塗り分けた。2006年8月4日は、北西岸と南岸のイオン濃度が高く、北東部で濃度が低いことが示された。また、2007年8月8日は、湖西岸で濃度が高く、同年10月4日には、南東部で濃度が高く、北岸で濃度が低い傾向が見られた。さらに、2008年8月7日は、東岸と南岸で濃度が高く、北岸で濃度が低くなっており、同年9月18日には、東岸で濃度が高く、北西岸で濃度が低い傾向が見られた。

このように、陽イオンの当量濃度の分布から、沿岸部で他地点と異なる傾向が見られたが、観測日によって、その分布は異なっていた。

次いで、観測日ごとに、各種イオンの水平分布と、直近の砥川、上川、宮川の河川水中イオン濃度(mg/L)を、図2-1から図2-6に示した。等値線の間隔は、イオン種ごと統一した。図には、イオン種間の相関も合わせて示した。

2006年8月には、ナトリウムイオンは南東部の上川河口付近で高く、カリウムイオンは沿岸近くで局所的に高い地点があり、マグネシウムとカルシウムイオンは南部沿岸で高く、東部沿岸で低い。また、塩化物イオンは南東部の上川河口付近で高く、硝酸イオンは南西部で高く、東部で低い、硫酸イオンは東部沿岸で低いといった傾向が見られた(図2-1)。

2006年9月には、ナトリウムイオンは東部沿岸で高く、カリウムイオンは沿岸近くで局所的に高い地点があり、マグネシウムイオンはほぼ均一であり、カルシウムイオンは北部沿岸で局所的に高く、上川河口付近で低い。また、塩化物イオンは東部沿岸で高く、硝酸と硫酸イオンは、北東部沿岸で低いほか、上川河口付近で高い、といった傾向が見られた(図2-2)。

2007年の8月には、ナトリウムイオンはほぼ均一であるが南東部沿岸で高く、カリウムイオンは局所的に高い地点が点在し、マグネシウムとカルシウムイオンは南部の水草帯(K15)で局所的に低い。また、塩化物イオンは南東部の上川河口付近で高く、硝酸イオンは北西部で高く、東部沿岸で低い、硫酸イオンは南部と東部沿岸で低いといった傾向が見られた(図2-3)。

2007年の10月には、ナトリウムイオンは東部で高く、カリウムイオンは東部と北西部沿岸で局所的に高い地点が点在し、マグネシウムとカルシウムイオンは南部で高く、東部沿岸で低い。また、塩化物イオンは東部沿岸で高く、硝酸イオンは南部で高く、東部沿岸で低い、硫酸イオンは南部で高いといった傾向が見られた(図2-4)。

2008年の8月には、ナトリウムとカリウムイオンは東部で高く、マグネシウムとカルシウムイオンはほぼ均一であり、塩化物イオンは東部沿岸で高く、硝酸および硫酸イオンは東部沿岸で低いといった傾向が見られた(図2-5)。

2008年の9月には、ナトリウムイオンは東部沿岸で高く、カリウムイオンはほぼ均一であり、マグネシウムとカルシウムイオンは南部の水草帯(K15)で局所的に高い。また、塩化物イオンは東部沿岸で高く、硝酸イオンは南東部の上川河口付近で高く、硫酸イオンも南東部の上川河口付近で高く、東部沿岸と南部の水草帯(K15)で低いといった傾向が見られた(図2-6)。

さらに、イオン種ごとの場所特有の分布傾向を把握するため、観測日ごとに、比較的濃度が高い地点(平均+標準偏差以上)と、比較的濃度が低い地点(平均-標準偏差以下)を抽出し、6回の観測のうち、3回以上同様な傾向が見られた地点を、そのイオンの濃度が高い場所、または濃度が低い場所と定義した。

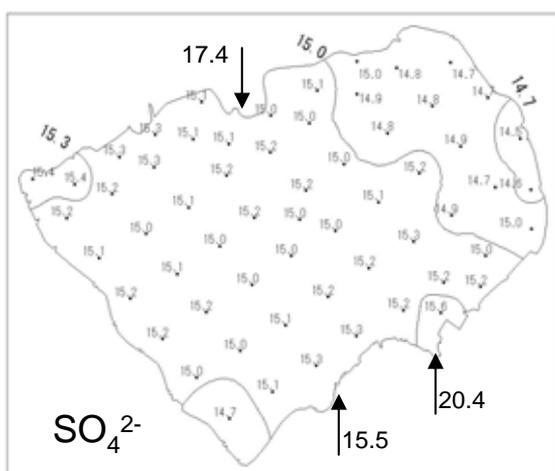
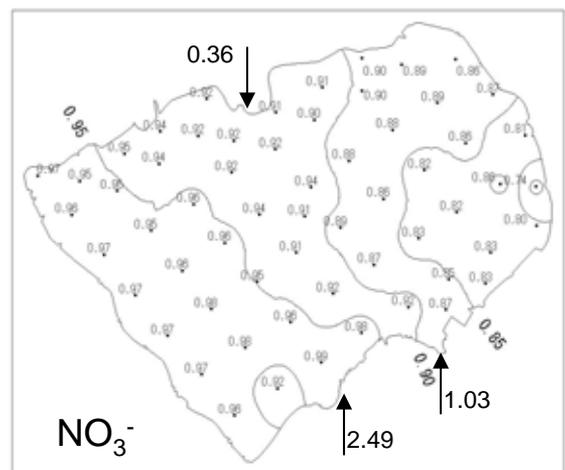
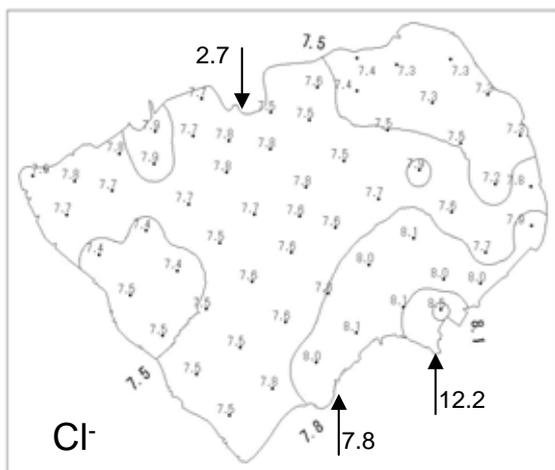
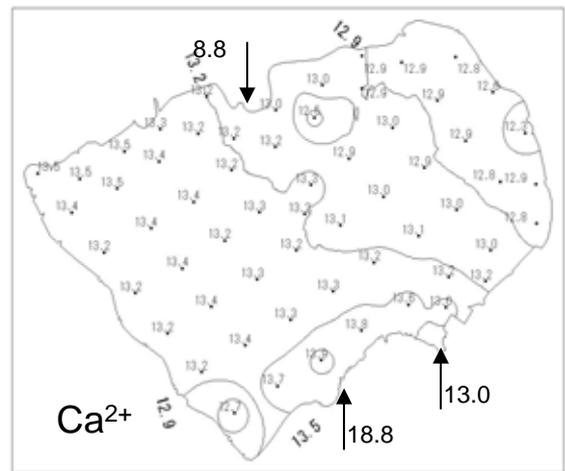
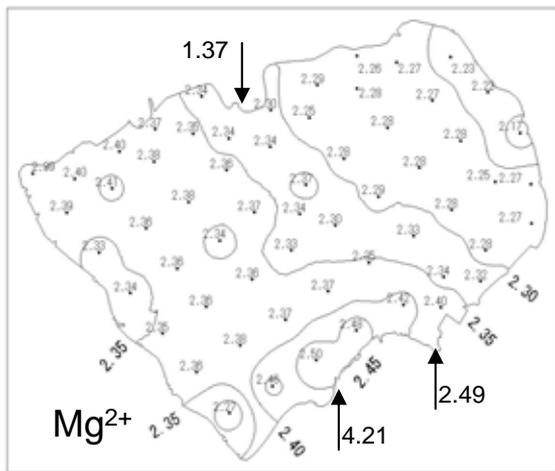
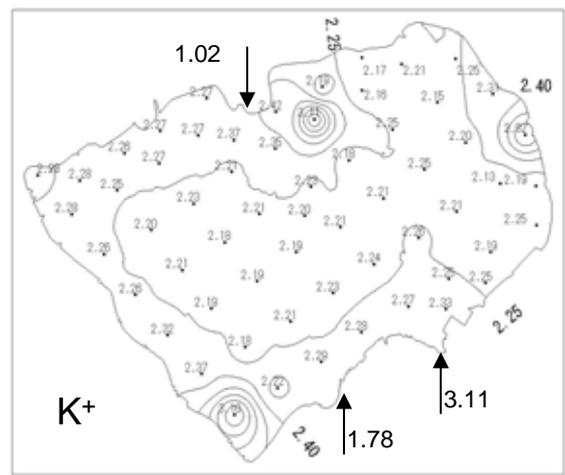
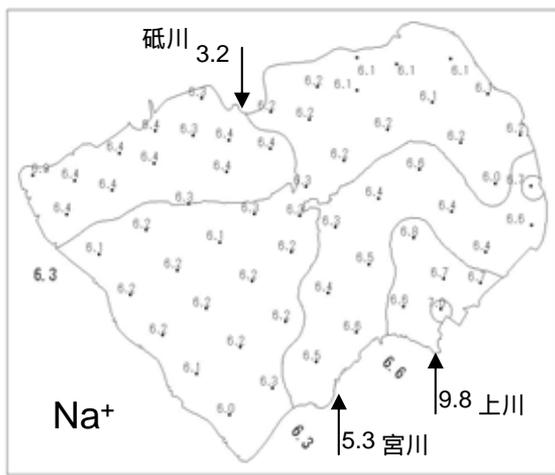
ナトリウムイオンは、調査地 T01, T02, T03, T04, T05,

K19, K20 で濃度が高く、カリウムイオンは、T01, T02, C01 で濃度が高かった。マグネシウムイオンは、K15, K16, K17, K18 の濃度が高く、T01, T02, T03, T04, T05, T06, C01 で濃度が低かった。カルシウムイオンは、K15 で濃度が高く、T01, C01 で濃度が低かった。塩化物イオンは、T01, T02, T03, T04, T05, K19, K20 で濃度が高く、T09 で濃度が低かった。硝酸イオンは、K13, K14 で濃度が高く、T01, T02, T03, T04, T05 で濃度が低かった。硫酸イオンは、K19 で濃度が高く、T02, T03, T04, T05 で濃度が低かった。これらは、図2-7に示した、6回の観測の平均値の分布ともよく対応していた。

これらをまとめると、湖東岸では、ナトリウムおよび塩化物イオン濃度が高く、硝酸および硫酸イオン濃度が低くなる傾向が強いことが明らかとなった。

表3. 陽イオン4種合計濃度の諏訪湖における分布(単位は当量濃度: meq/L)

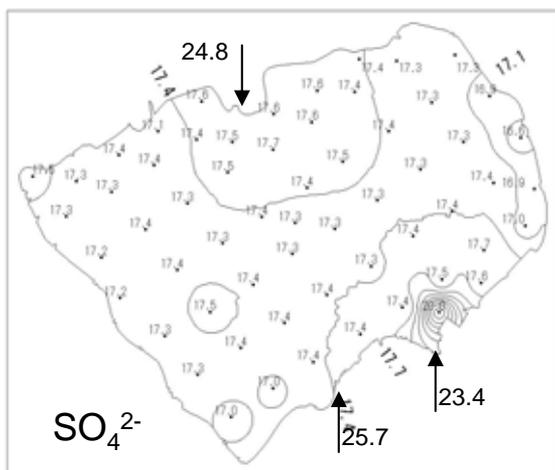
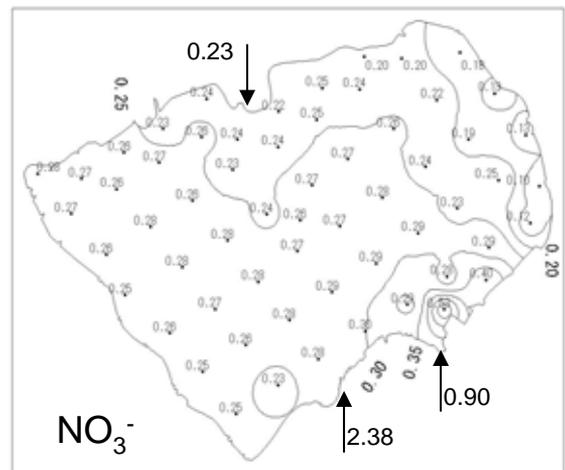
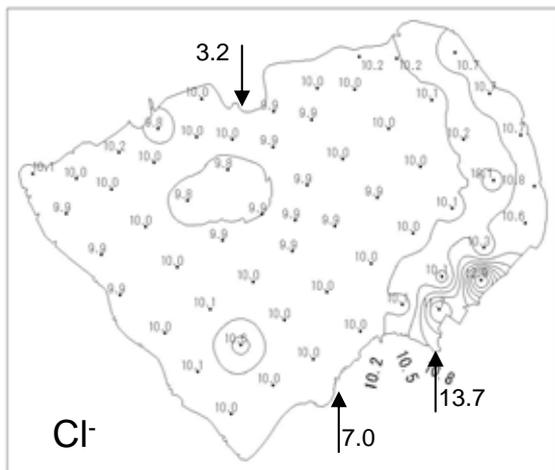
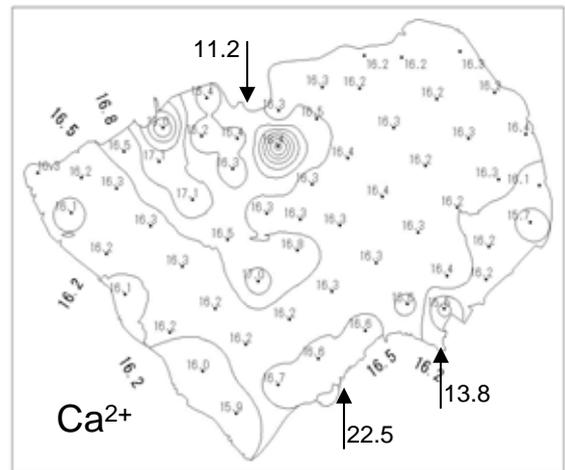
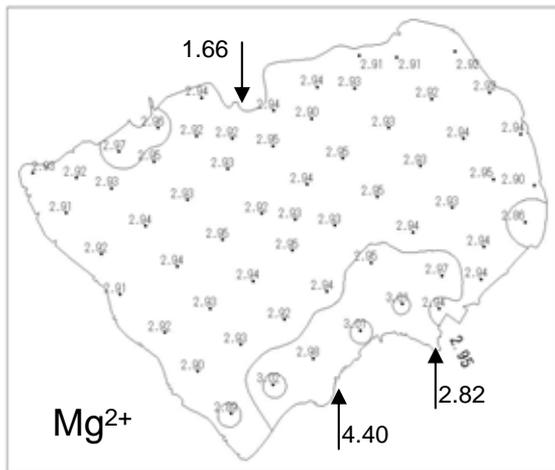
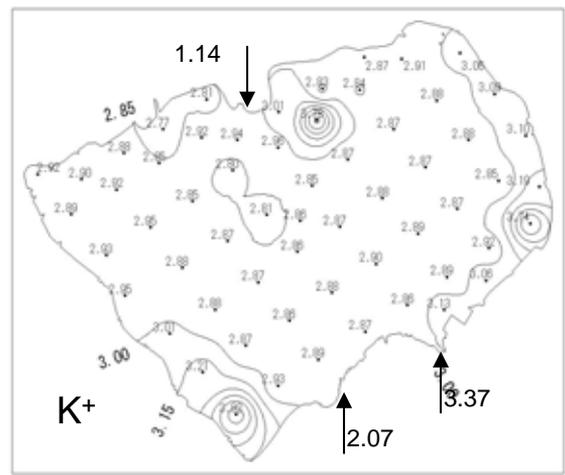
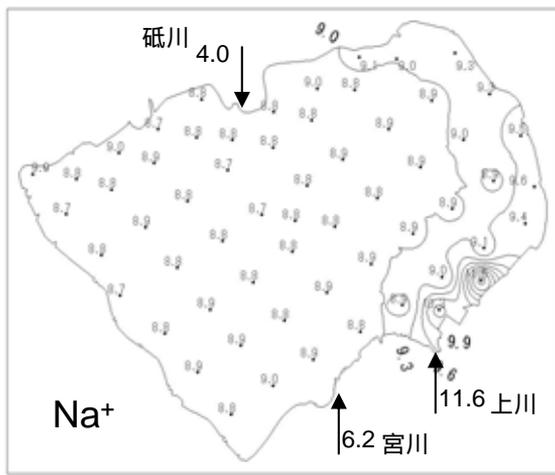
No.	地点	2006/8/4	2006/9/20	2007/8/8	2007/10/4	2008/8/7	2008/9/18
1	T1	1.178	1.527	1.352	1.517	1.397	1.511
2	T2	1.181	1.544	1.318	1.491	1.404	1.537
3	T3	1.136	1.559	1.316	1.497	1.364	1.522
4	T4	1.140	1.537	1.323	1.478	1.393	1.518
5	T5	1.146	1.541	1.322	1.508	1.367	1.529
6	T6	1.153	1.515	1.311	1.482	1.328	1.499
7	T7	1.152	1.520	1.339	1.479	1.350	1.502
8	T8	1.166	1.522	1.350	1.495	1.331	1.491
9	T9	1.157	1.514	1.316	1.481	1.340	1.511
10	T10	1.153	1.514	1.321	1.478	1.353	1.495
11	T11	1.163	1.521	1.285	1.476	1.365	1.497
12	T12	1.147	1.521	1.330	1.481	1.353	1.517
13	T13	1.172	1.522	1.319	1.503	1.352	1.527
14	T14	1.175	1.517	1.315	1.481	1.351	1.497
15	T15	1.182	1.516	1.322	1.477	1.348	1.504
16	T16	1.166	1.516	1.278	1.492	1.359	1.499
17	T17	1.162	1.525	1.346	1.483	1.358	1.509
18	T18	1.176	1.519	1.320	1.460	1.360	1.499
19	T19	1.203	1.522	1.266	1.494	1.345	1.492
20	T20	1.202	1.530	1.303	1.487	1.355	1.502
21	C1	1.165	1.547	1.299	1.473	1.340	1.503
22	C2	1.171	1.520	1.302	1.460	1.354	1.505
23	C3	1.191	1.629	1.297	1.471	1.340	1.508
24	C4	1.194	1.524	1.248	1.466	1.352	1.495
25	C5	1.190	1.513	1.312	1.467	1.343	1.472
26	C6	1.188	1.520	1.304	1.474	1.330	1.486
27	C7	1.201	1.600	1.346	1.470	1.340	1.473
28	C8	1.205	1.559	1.321	1.458	1.348	1.482
29	C9	1.200	1.550	1.334	1.485	1.365	1.500
30	C10	1.178	1.528	1.341	1.477	1.351	1.492
31	C11	1.186	1.550	1.323	1.479	1.366	1.506
32	C12	1.193	1.512	1.317	1.509	1.366	1.495
33	C13	1.198	1.519	1.279	1.484	1.362	1.493
34	C14	1.180	1.539	1.332	1.485	1.368	1.491
35	C15	1.182	1.516	1.290	1.471	1.365	1.489
36	C16	1.196	1.511		1.471	1.370	1.499
37	C17	1.192	1.513	1.320	1.478	1.363	1.519
38	C18	1.197	1.518	1.297	1.479	1.352	1.489
39	C19	1.174	1.515	1.319	1.483	1.356	1.487
40	C20	1.199	1.522	1.322	1.497	1.361	1.493
41	K1	1.163	1.517	1.359	1.498	1.354	1.489
42	K2	1.183	1.514	1.302	1.494	1.352	1.489
43	K3	1.182	1.513	1.323	1.490	1.345	1.487
44	K4	1.179	1.505	1.349	1.487	1.346	1.491
45	K5	1.178	1.509	1.364	1.492	1.328	1.480
46	K6	1.203	1.502	1.305	1.491	1.350	1.485
47	K7	1.205	1.524	1.348	1.483	1.343	1.485
48	K8	1.213	1.511	1.370	1.490	1.349	1.482
49	K9	1.211	1.533	1.346	1.486	1.352	1.485
50	K10	1.215	1.517	1.339	1.495	1.344	1.502
51	K11	1.189	1.523	1.393	1.486	1.373	1.496
52	K12	1.192	1.518	1.338	1.496	1.362	1.494
53	K13	1.191	1.516	1.332	1.499	1.366	1.494
54	K14	1.193	1.513	1.326	1.508	1.367	1.494
55	K15	1.222	1.553	1.252	1.500	1.368	1.555
56	K16	1.246	1.536	1.333	1.518	1.377	1.512
57	K17	1.243	1.541	1.335	1.507	1.380	1.506
58	K18	1.224	1.541	1.328	1.490	1.355	1.501
59	K19	1.242	1.548	1.346	1.499	1.389	1.525
60	K20	1.201	1.634	1.310	1.456	1.355	1.585



	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
K <sup>+</sup>	-0.113					
Mg <sup>2+</sup>	0.376	-0.243				
Ca <sup>2+</sup>	0.394	-0.408	<b>0.978</b>			
Cl <sup>-</sup>	<b>0.939</b>	-0.074	0.579	0.562		
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0.361	0.017	0.664	0.607	-0.092	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.575	-0.220	<b>0.779</b>	<b>0.781</b>	0.738	0.430

図2-1. 諏訪湖における主要イオンの水平分布(2006年8月4日)

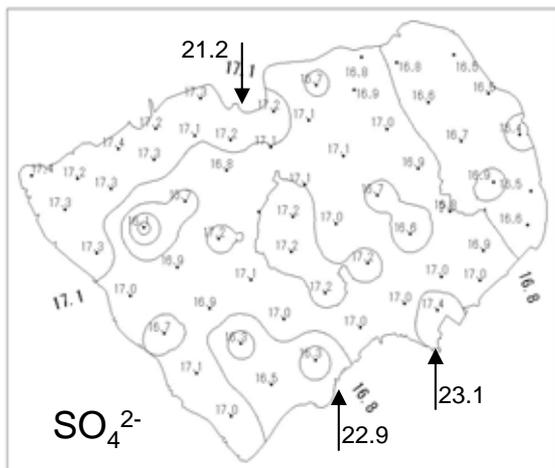
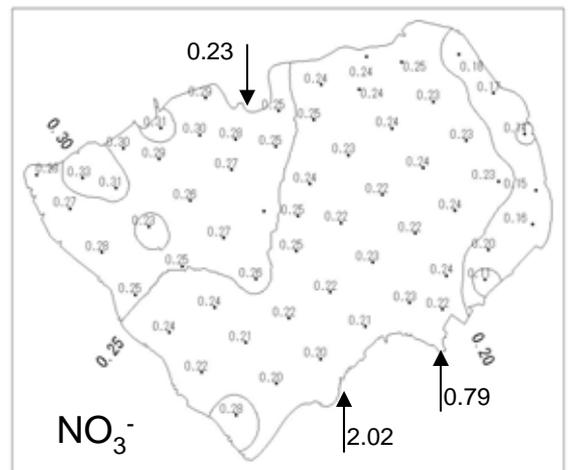
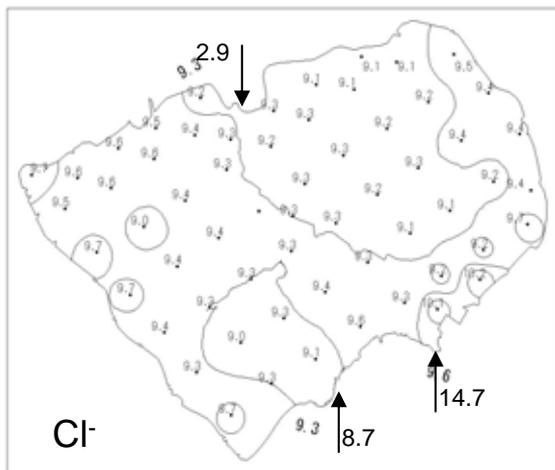
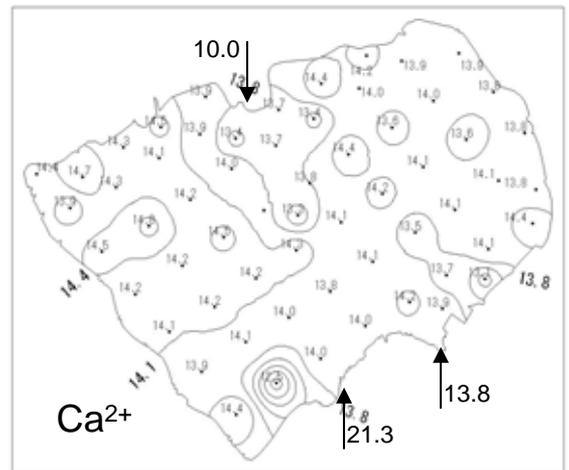
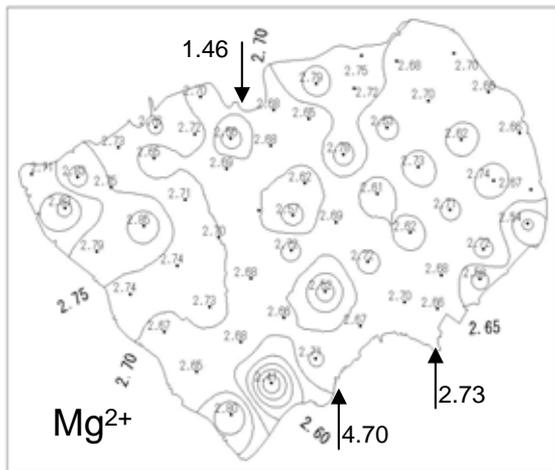
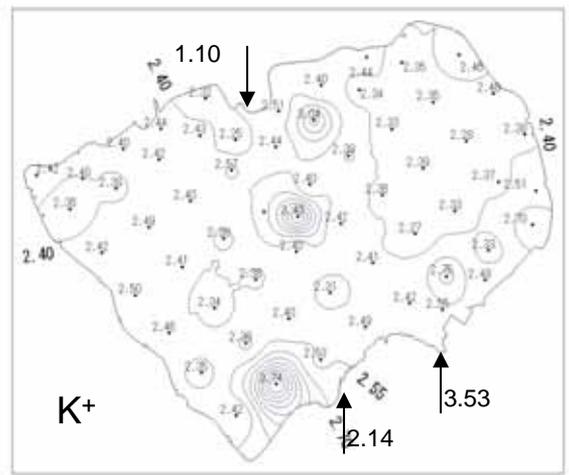
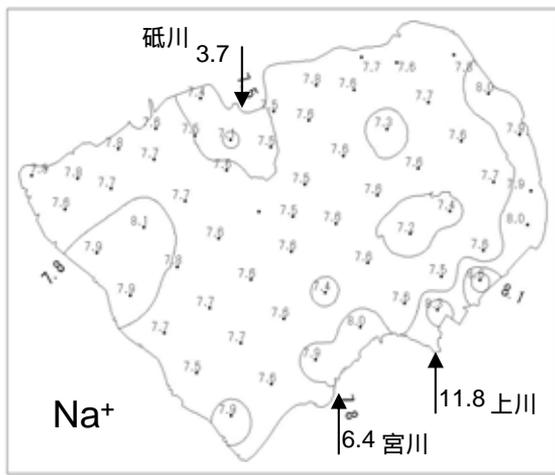
図中単位はmg/L、硝酸イオンのみmg-N/L



	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
K <sup>+</sup>	0.256					
Mg <sup>2+</sup>	-0.073	-0.515				
Ca <sup>2+</sup>	-0.253	-0.295	0.445			
Cl <sup>-</sup>	<b>0.982</b>	0.250	-0.098	-0.296		
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.276	-0.198	0.339	-0.052	0.279	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.311	-0.054	0.091	-0.163	0.331	<b>0.767</b>

図2-2. 諏訪湖における主要イオンの水平分布(2006年9月20日)

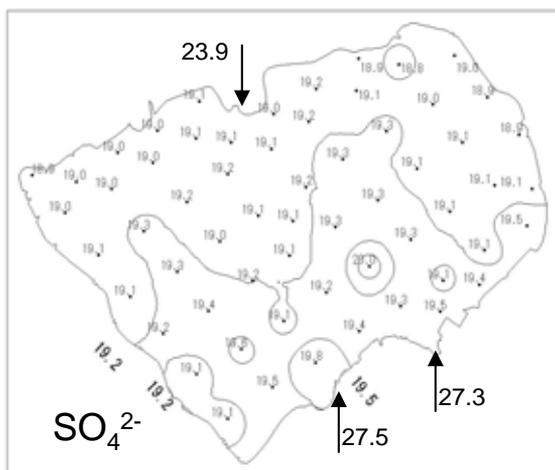
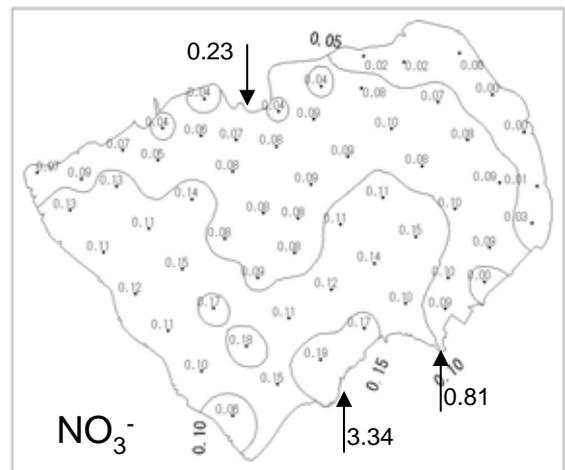
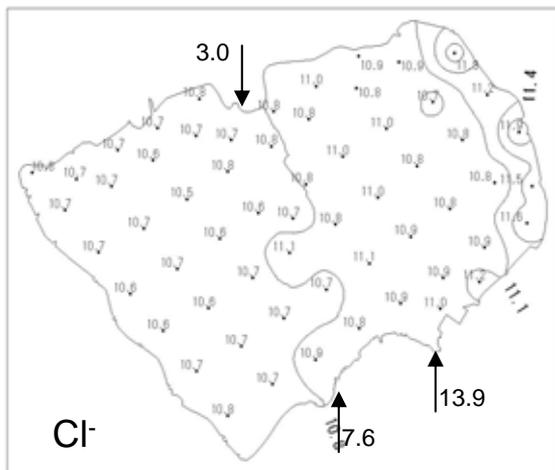
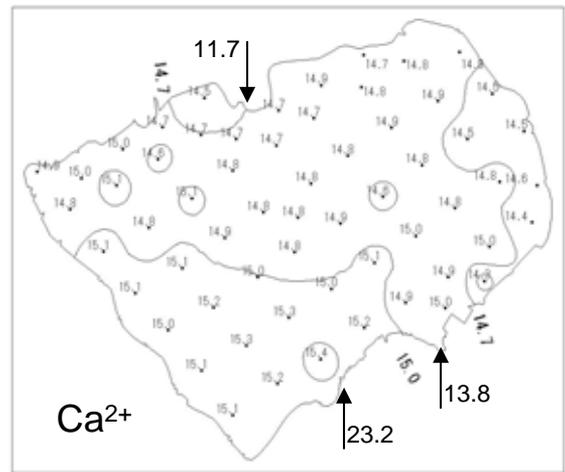
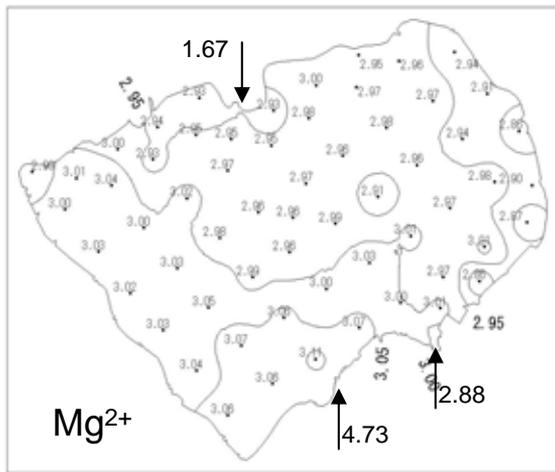
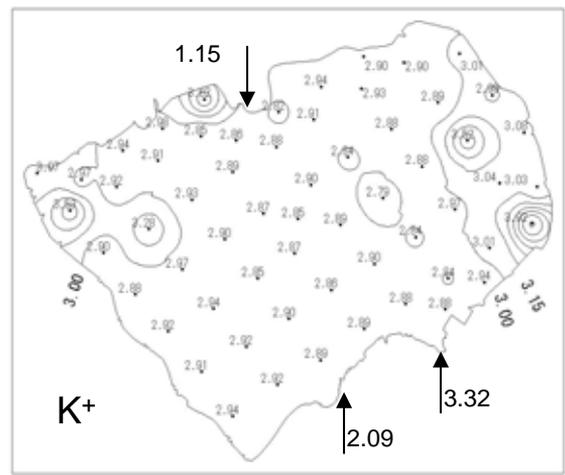
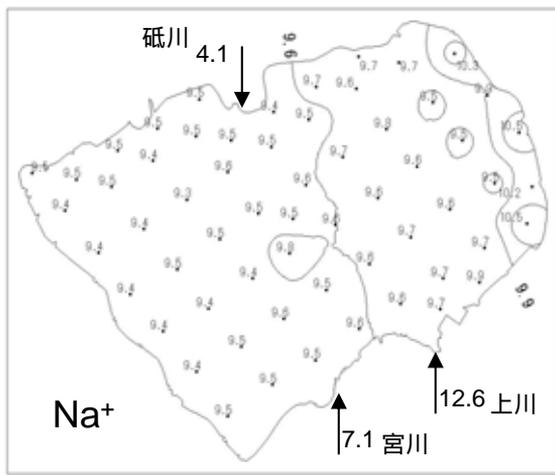
-34- 図中単位はmg/L、硝酸イオンのみmg-N/L



	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
K <sup>+</sup>	0.068					
Mg <sup>2+</sup>	0.183	-0.463				
Ca <sup>2+</sup>	0.208	-0.533	<b>0.797</b>			
Cl <sup>-</sup>	0.621	0.053	-0.082	0.012		
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0.429	-0.136	0.413	0.389	-0.027	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-0.202	-0.090	0.063	0.092	0.460	0.596

図2-3. 諏訪湖における主要イオンの水平分布(2007年8月8日)

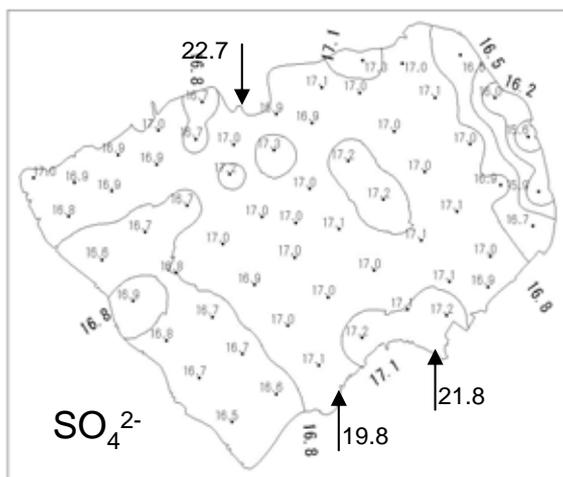
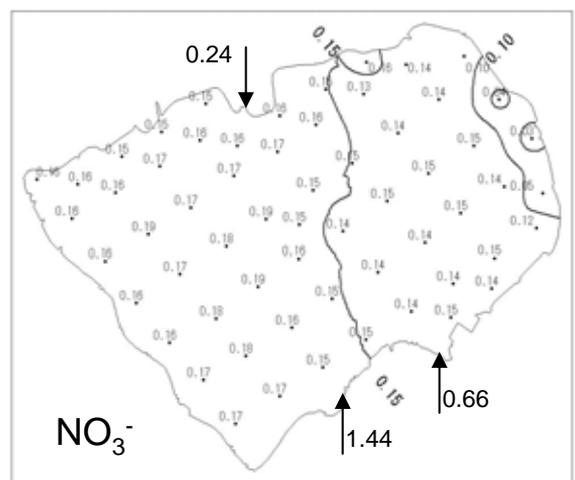
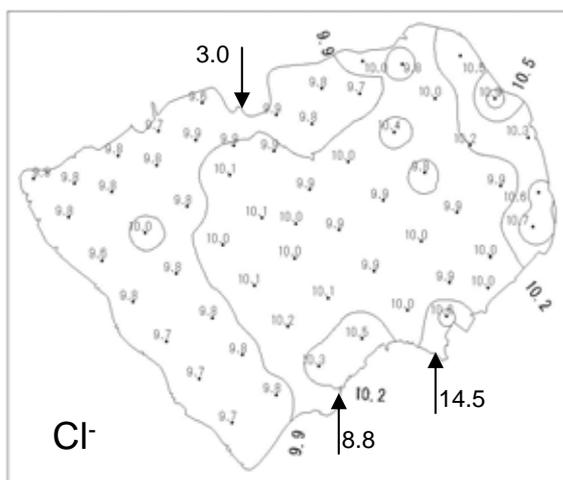
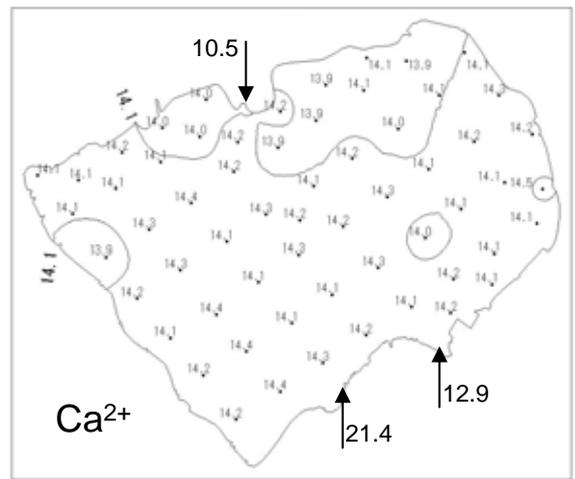
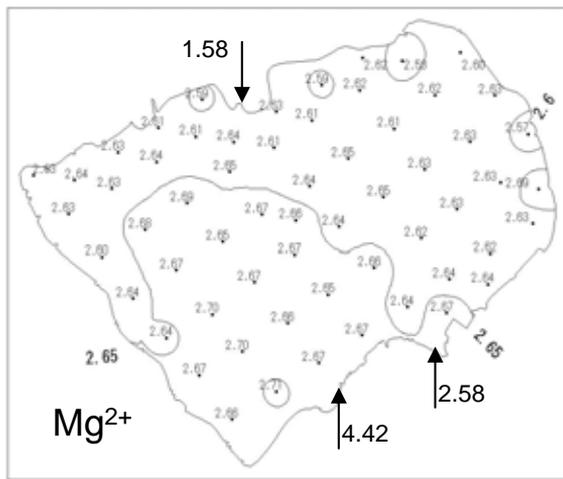
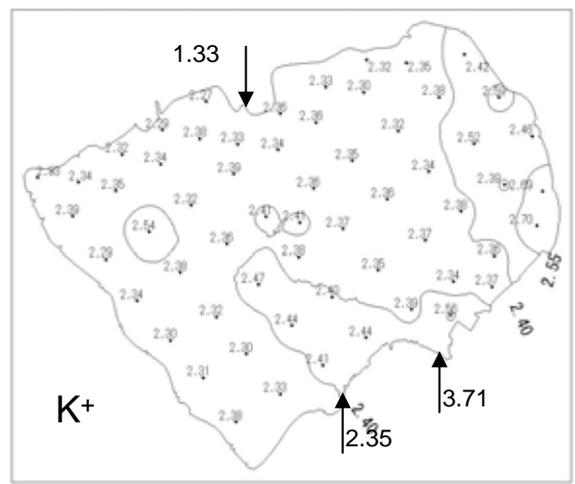
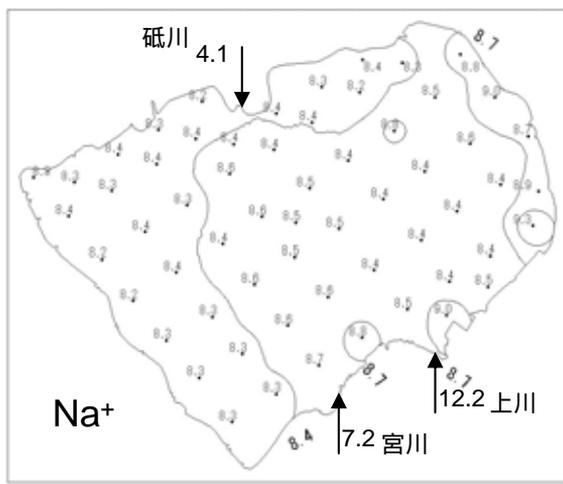
-35- 図中単位はmg/L、硝酸イオンのみmg-N/L



	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
K <sup>+</sup>	0.336					
Mg <sup>2+</sup>	-0.572	-0.283				
Ca <sup>2+</sup>	-0.488	-0.382	<b>0.970</b>			
Cl <sup>-</sup>	<b>0.953</b>	0.262	-0.534	-0.455		
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0.551	-0.182	<b>0.806</b>	<b>0.794</b>	-0.530	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-0.034	-0.026	0.393	0.379	0.041	0.583

図2-4. 諏訪湖における主要イオンの水平分布(2007年10月4日)

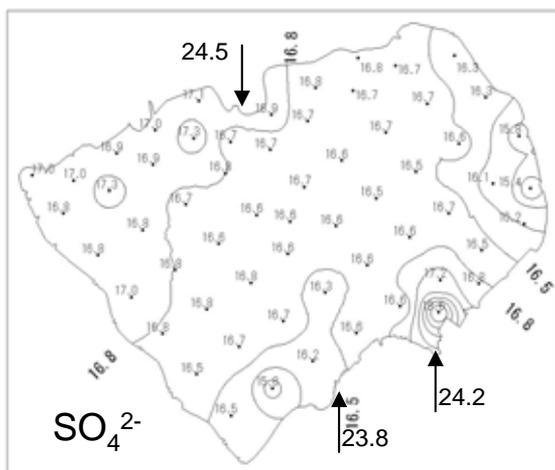
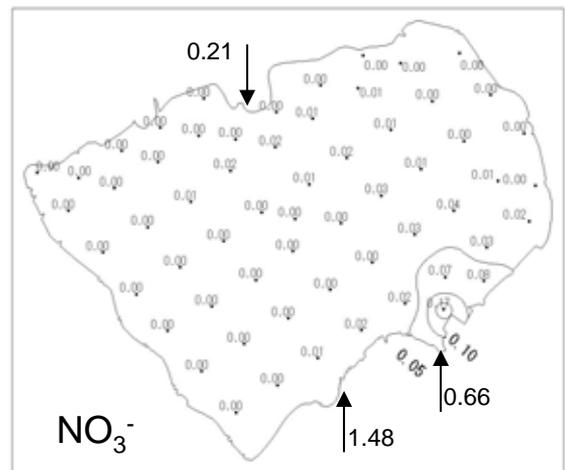
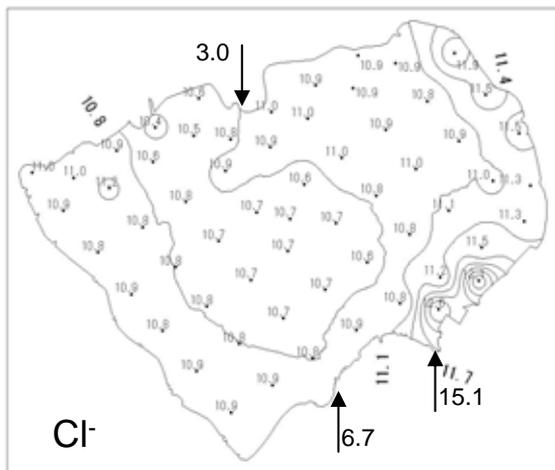
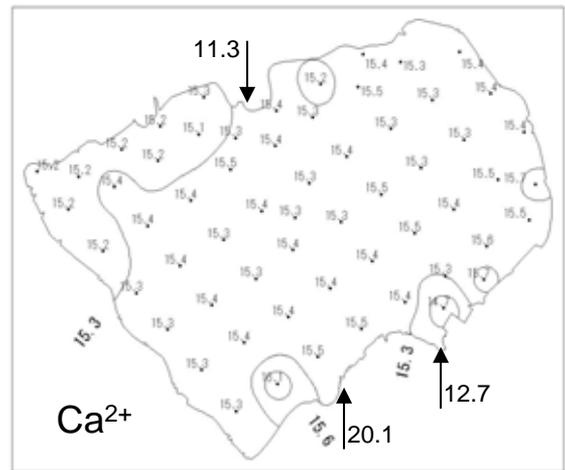
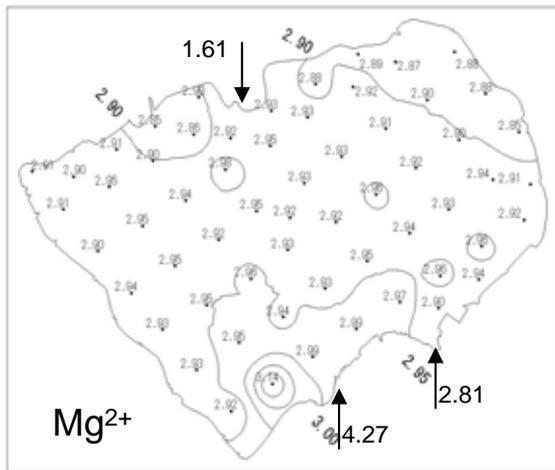
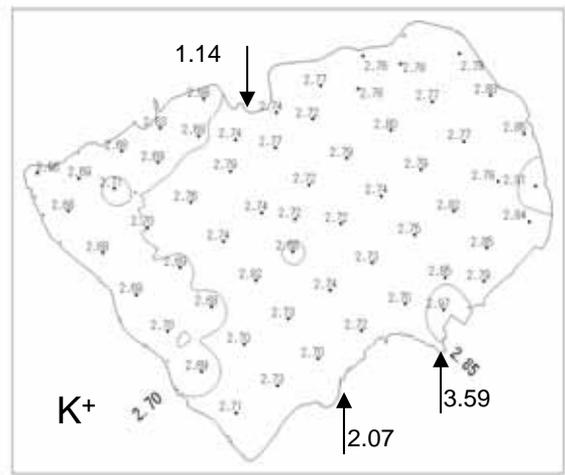
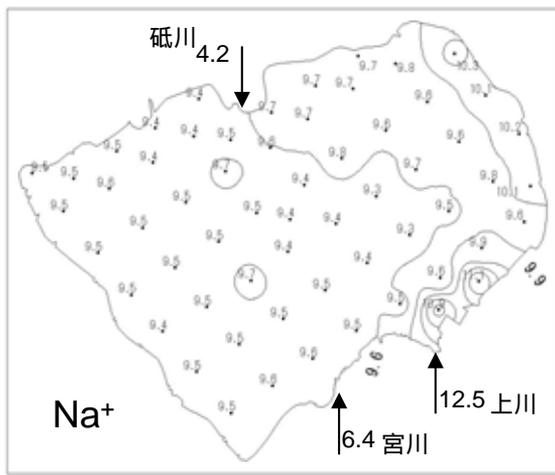
図中単位はmg/L、硝酸イオンのみmg-N/L



	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
K <sup>+</sup>	<b>0.831</b>					
Mg <sup>2+</sup>	0.077	0.185				
Ca <sup>2+</sup>	0.185	0.300	<b>0.840</b>			
Cl <sup>-</sup>	<b>0.964</b>	<b>0.815</b>	0.087	0.258		
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0.504	-0.492	0.348	-0.073	-0.580	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-0.243	-0.390	0.007	-0.306	-0.278	0.644

図2-5. 諏訪湖における主要イオンの水平分布(2008年8月7日)

-37- 図中単位はmg/L、硝酸イオンのみmg-N/L



	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
K <sup>+</sup>	0.655					
Mg <sup>2+</sup>	-0.153	-0.056				
Ca <sup>2+</sup>	0.007	0.074	0.683			
Cl <sup>-</sup>	<b>0.940</b>	0.613	-0.068	0.038		
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.622	0.585	0.064	-0.248	0.693	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.087	-0.089	-0.211	-0.702	0.135	0.532

図2-6. 諏訪湖における主要イオンの水平分布(2008年9月18日)

図中単位はmg/L、硝酸イオンのみmg-N/L

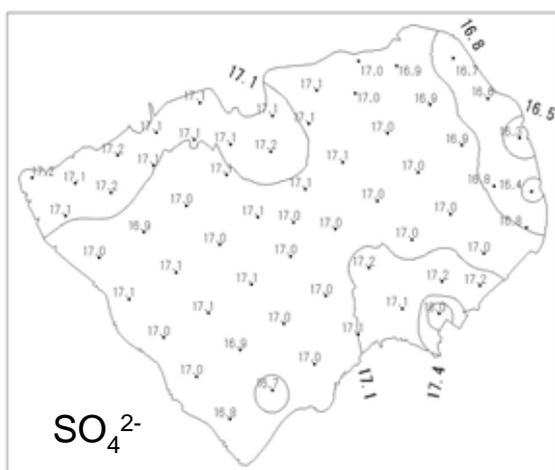
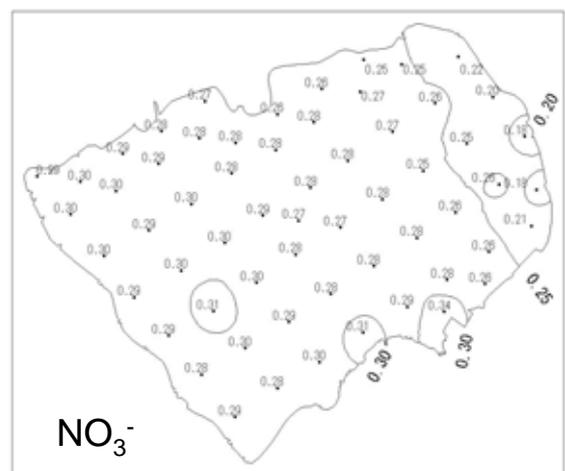
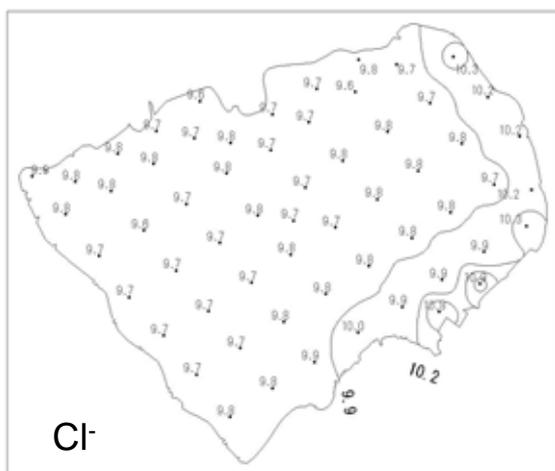
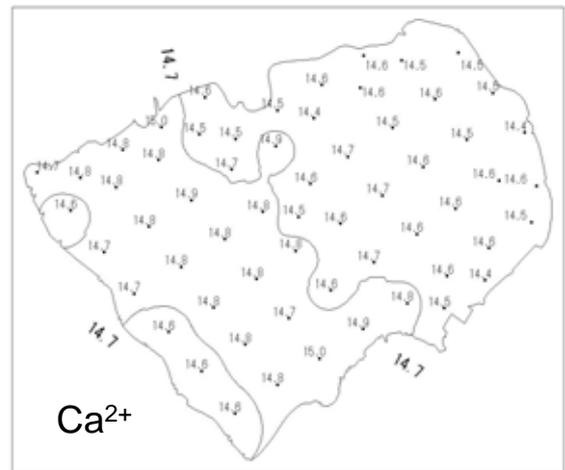
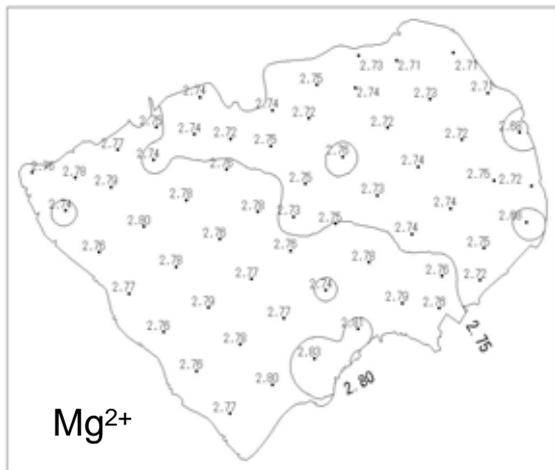


図2-7. 諏訪湖における主要イオンの水平分布（6回の平均値）

#### 4. 考察

本研究では、諏訪湖内の主要イオン濃度の水平分布を初めて明らかにした。今回のイオン濃度の調査から、その変動係数は比較的小さく諏訪湖水質が均一であることが示された。また、湖心での観測値が湖の代表値として問題のないことも確認された。唯一、硝酸イオンは、濃度が低いものの、変動係数が大きく、その分布が不均一になりやすいことが示された。

また、観測日による水質の相違であるが、2006年8月4日に、硝酸イオンの濃度が高く、他のイオン濃度が低くなっているのは、流入河川水中のイオン濃度の変動と対応しており、先の集中豪雨による影響と考えられた<sup>9)</sup>。また、2007年と2008年も同様に8月のイオン濃度が低い、これも降水量の増大に伴う河川流入量の増大を反映したものと考えられる。また、2006年9月には観測時に比較的強い風が吹いていたが、その影響はイオン分布からは認められなかった。

先の報告<sup>9)</sup>で、我々は、各イオンについて、各流入河川と湖水の濃度比較から、各流入河川の諏訪湖のイオン濃度を上昇または低下させる傾向を求めているが、主要流入河川のうち上川は湖のナトリウムイオンと塩化物イオン濃度を上昇させ、他の3河川(宮川、砥川、横河川)は濃度を低下させていること、船渡川、衣之渡川、古川、柳並川、千貫溝川といった中小河川の影響も決して無視できず、これら河川からの流入により、湖東部沿岸でナトリウムおよび塩化物イオン濃度が高くなる可能性を指摘している。また、硝酸イオンは、いずれの河川も湖水より濃度が高く、湖で硝酸イオンが植物に吸収・同化されていることや、硫酸イオンでは、上川に続き、小河川ながら古川(下諏訪町)が、湖水の濃度を上昇させる効果が強いこと、カリウムイオンでは、上川の上昇効果と砥川の低下効果が、マグネシウムイオンでは、砥川の低下効果が目立っていること、カルシウムイオンでは、宮川と船渡川に上昇効果があり、上川と砥川に低下効果があることを指摘している。

今回の調査から、先に推測したとおり、東側の沿岸近くで湖水中のナトリウムと塩化物イオン濃度が比較的高く、上川や中小河川の影響が沿岸湖水に及んでいることが強く示唆された。また、マグネシウムとカルシウムイオンについても、宮川や船渡川沖で高く、これらの影響が及んでいる可能性が示唆された。特に、2006年8月、2006年9月、2008年8月、2008年9月に、上川河口付近(K19)のイオン濃度が他地点とは異なり、上川の影響を強く受けていると考えられた

(図2-1、2-2、2-5、2-6)。しかし、その影響が及ぶ範囲が限られていることも同時に明らかとなった。

また、湖東部沿岸で硝酸および硫酸イオンの濃度が低いことが示されたが(図2-1、2-2、2-3、2-5、2-6)これは、ヒシを主とする水草帯が連続している地域とも対応していた。水草帯では、これらイオンが植物体内に吸収、同化されていることと、湖水の混合が抑制されているため、湖下層は嫌気的環境になりやすく、また水草由来の有機物も底泥に多く存在するため、微生物活動にともなう脱窒や硫酸還元が生じ、これらイオンの濃度が低くなった可能性がある。

さらに、柳町<sup>7,8)</sup>のクロロフィル濃度分布と硝酸イオン濃度分布は、必ずしも対応しておらず、湖水中の植物プランクトンだけでは、その濃度低下を説明できないことから、上記の水草帯特有の環境が硝酸イオンの分布に関与している可能性が高い。

一方、湖南部のK15は、砂地で、沈水植物を主体とする水草帯のなかにある。ここでは、2007年8月に、マグネシウムおよびカルシウムイオン濃度が他地点よりも低いことが示された。これは、沈水植物により光合成が活発に行われ、水中の炭酸水素イオンが減少したため、イオンバランスを補う形で、マグネシウムやカルシウムイオンが減少したものである。

そのほか、カリウムイオンの濃度が局所的に高くなることがしばしば見られたが、その原因は定かではない。藻類等が分解し、水中に溶け出したのかもしれない。

このように、諏訪湖の水質は比較的均一であるが、東部沿岸では流入河川の影響を受け、また水草による混合抑制を受けたため、ナトリウムと塩化物イオンの濃度が高くなる、また、水草帯では、窒素同化や光合成などの生物活動の影響を強く受けていることも示唆された。このように、諏訪湖では、沖と異なる水草帯特有の環境が形成されつつあるいが、今後、水草帯が拡大すると、その湖水の均一性に及ぼす影響も無視できなくなる可能性があり、沖だけでなく沿岸の水質も把握する必要が出てくるであろう。

#### 5. まとめ

諏訪湖全域において主要イオンの水平分布を調査したところ、ほとんどのイオンは湖内で均一に分布することが確認された。また、湖東部沿岸の水質が他とは若干異なる傾向が見られ、流入河川や水草の繁茂の影響が示唆された。

### 謝辞

研究を行うにあたり、信州大学山岳科学総合研究所の大学院生や学部生には、試料採取や試料の前処理に協力していただきました。関係各位に厚くお礼申し上げます。

### 参考文献

- 1)宮原裕一、犬塚良平、池中良徳(2007): 諏訪湖水草帯における水質の不均一性. 信州大学環境科学年報, **29**, 24-28.
- 2)宮原裕一、石母田誠、今井晶子(2008): 諏訪湖流入河川の水質一斉調査. 信州大学環境科学年報, **30**, 15-20.
- 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年夏期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年夏期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年夏期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年夏期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年夏期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)宮原裕一・池中良徳・犬塚良平・館野覚俊・内山隆文(2006): 7月豪雨の諏訪湖水質への影響. 日本陸水学会甲信越支部会報, **32**, 72.

(原稿受付 2009.2.27)

付表1. 諏訪湖における2006年8月4日の主要イオンの分布

	Cation					Anion		
	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cation meq/L	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
C1	6.23	3.11	2.25	12.54	1.17	7.54	0.90	14.96
C2	6.19	2.42	2.30	12.96	1.17	7.52	0.91	15.00
C3	6.38	2.35	2.34	13.17	1.19	7.78	0.92	15.20
C4	6.43	2.37	2.34	13.16	1.19	7.80	0.92	15.09
C5	6.34	2.27	2.35	13.20	1.19	7.71	0.92	15.13
C6	6.33	2.27	2.34	13.19	1.19	7.67	0.92	15.09
C7	6.41	2.27	2.37	13.33	1.20	7.87	0.94	15.34
C8	6.44	2.27	2.38	13.37	1.20	7.89	0.94	15.33
C9	6.31	2.23	2.38	13.40	1.20	7.70	0.96	15.14
C10	6.10	2.18	2.34	13.23	1.18	7.45	0.96	15.00
C11	6.19	2.19	2.36	13.29	1.19	7.56	0.95	15.02
C12	6.24	2.21	2.37	13.34	1.19	7.64	0.96	15.06
C13	6.37	2.23	2.37	13.34	1.20	7.84	0.92	15.18
C14	6.23	2.19	2.33	13.16	1.18	7.57	0.91	14.97
C15	6.25	2.20	2.34	13.18	1.18	7.61	0.91	15.00
C16	6.32	2.21	2.37	13.34	1.20	7.74	0.94	15.18
C17	6.36	2.21	2.36	13.24	1.19	7.79	0.92	15.24
C18	6.34	2.23	2.37	13.34	1.20	7.79	0.94	15.17
C19	6.26	2.21	2.30	13.06	1.17	7.61	0.89	15.02
C20	6.53	2.24	2.35	13.24	1.20	7.97	0.87	15.22
K1	6.00	3.10	2.27	12.65	1.16	7.45	0.96	14.73
K2	6.10	2.37	2.36	13.22	1.18	7.49	0.97	15.04
K3	6.18	2.32	2.35	13.17	1.18	7.53	0.97	15.16
K4	6.16	2.26	2.34	13.17	1.18	7.51	0.97	15.16
K5	6.11	2.26	2.33	13.20	1.18	7.40	0.97	15.09
K6	6.35	2.28	2.39	13.38	1.20	7.70	0.96	15.22
K7	6.30	2.23	2.39	13.50	1.21	7.64	0.97	15.41
K8	6.42	2.28	2.40	13.49	1.21	7.79	0.95	15.36
K9	6.42	2.26	2.40	13.48	1.21	7.78	0.95	15.28
K10	6.40	2.25	2.41	13.55	1.21	7.75	0.95	15.24
K11	6.16	2.20	2.36	13.37	1.19	7.36	0.95	15.03
K12	6.21	2.21	2.36	13.37	1.19	7.45	0.96	15.12
K13	6.16	2.19	2.36	13.40	1.19	7.48	0.98	15.17
K14	6.15	2.18	2.38	13.43	1.19	7.47	0.98	14.97
K15	6.34	2.22	2.46	13.69	1.22	7.76	0.92	15.09
K16	6.52	2.29	2.50	13.89	1.25	8.02	0.99	15.28
K17	6.58	2.28	2.48	13.84	1.24	8.13	0.98	15.32
K18	6.60	2.27	2.42	13.55	1.22	8.06	0.92	15.24
K19	7.00	2.33	2.40	13.57	1.24	8.46	0.87	15.55
K20	6.71	2.25	2.32	13.17	1.20	8.02	0.83	15.21
T1	6.65	2.25	2.27	12.85	1.18	7.90	0.80	14.99
T2	6.65	2.19	2.27	12.93	1.18	7.75	0.74	14.61
T3	6.15	2.82	2.17	12.32	1.14	7.27	0.81	14.54
T4	6.07	2.31	2.22	12.62	1.14	7.29	0.87	14.74
T5	6.08	2.25	2.23	12.75	1.15	7.25	0.86	14.71
T6	6.09	2.21	2.27	12.85	1.15	7.30	0.89	14.85
T7	6.09	2.17	2.26	12.86	1.15	7.38	0.90	14.95
T8	6.18	2.19	2.29	13.01	1.17	7.57	0.91	15.09
T9	6.10	2.16	2.28	12.92	1.16	7.37	0.90	14.86
T10	6.06	2.15	2.27	12.91	1.15	7.31	0.89	14.85
T11	6.21	2.20	2.28	12.94	1.16	7.48	0.86	14.90
T12	6.05	2.13	2.25	12.84	1.15	7.24	0.86	14.74
T13	6.38	2.19	2.28	12.97	1.17	7.65	0.83	15.02
T14	6.44	2.21	2.28	12.97	1.18	7.65	0.82	14.95
T15	6.60	2.25	2.28	12.94	1.18	7.95	0.82	15.18
T16	6.23	2.25	2.28	12.95	1.17	7.47	0.88	14.83
T17	6.20	2.18	2.28	12.94	1.16	7.52	0.88	14.98
T18	6.42	2.21	2.29	13.00	1.18	7.73	0.86	15.11
T19	6.77	2.26	2.33	13.14	1.20	8.13	0.83	15.25
T20	6.69	2.25	2.34	13.18	1.20	8.04	0.85	15.17

付表2. 諏訪湖における2006年9月20日の主要イオンの分布

	Cation					Anion		
	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cation meq/L	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
C1	8.84	3.78	2.90	16.47	1.55	9.91	0.25	17.57
C2	8.76	3.01	2.94	16.34	1.52	9.87	0.22	17.63
C3	8.85	2.96	2.95	18.44	1.63	9.94	0.24	17.66
C4	8.81	2.94	2.92	16.44	1.52	10.00	0.24	17.45
C5	8.82	2.92	2.92	16.23	1.51	9.99	0.26	17.42
C6	8.83	2.81	2.94	16.38	1.52	9.99	0.24	17.56
C7	8.74	2.77	2.96	18.05	1.60	9.77	0.23	17.11
C8	8.86	2.85	2.95	17.11	1.56	10.02	0.27	17.35
C9	8.75	2.85	2.93	17.05	1.55	9.85	0.26	17.28
C10	8.78	2.87	2.95	16.54	1.53	9.93	0.28	17.31
C11	8.82	2.87	2.94	16.96	1.55	9.95	0.28	17.39
C12	8.82	2.86	2.92	16.23	1.51	9.95	0.28	17.40
C13	8.85	2.88	2.94	16.30	1.52	10.00	0.29	17.39
C14	8.79	2.86	2.95	16.76	1.54	9.91	0.27	17.28
C15	8.81	2.86	2.93	16.31	1.52	9.92	0.26	17.33
C16	8.75	2.81	2.92	16.30	1.51	9.85	0.24	17.37
C17	8.74	2.80	2.93	16.34	1.51	9.78	0.23	17.54
C18	8.80	2.85	2.94	16.35	1.52	9.89	0.27	17.37
C19	8.79	2.87	2.93	16.30	1.52	9.93	0.27	17.34
C20	8.86	2.90	2.95	16.34	1.52	10.02	0.29	17.31
K1	8.82	3.82	2.89	15.90	1.52	9.99	0.25	17.04
K2	8.92	3.21	2.90	16.04	1.51	10.12	0.25	17.27
K3	8.84	3.01	2.92	16.16	1.51	9.96	0.26	17.29
K4	8.74	2.95	2.91	16.13	1.50	9.88	0.25	17.20
K5	8.78	2.93	2.92	16.18	1.51	9.94	0.26	17.21
K6	8.75	2.89	2.91	16.11	1.50	9.91	0.27	17.27
K7	8.98	2.92	2.93	16.28	1.52	10.09	0.28	17.52
K8	8.83	2.90	2.92	16.20	1.51	9.98	0.27	17.34
K9	8.95	2.88	2.97	16.46	1.53	10.18	0.26	17.41
K10	8.84	2.92	2.93	16.27	1.52	9.97	0.26	17.28
K11	8.87	2.95	2.94	16.33	1.52	10.02	0.28	17.40
K12	8.80	2.88	2.94	16.31	1.52	9.98	0.28	17.38
K13	8.90	2.88	2.93	16.21	1.52	10.07	0.27	17.46
K14	8.86	2.87	2.93	16.22	1.51	10.55	0.26	17.39
K15	8.97	2.93	3.02	16.72	1.55	9.99	0.23	16.96
K16	8.86	2.89	2.98	16.58	1.54	10.01	0.28	17.39
K17	8.84	2.87	3.01	16.65	1.54	9.97	0.30	17.42
K18	8.90	2.86	3.01	16.60	1.54	10.06	0.29	17.43
K19	10.29	3.13	2.94	15.52	1.55	11.74	0.53	20.04
K20	11.46	3.06	2.94	16.24	1.63	12.89	0.40	17.58
T1	9.41	3.74	2.86	15.68	1.53	10.63	0.12	17.02
T2	9.60	3.19	2.90	16.07	1.54	10.80	0.10	16.87
T3	9.54	3.10	2.94	16.40	1.56	10.69	0.13	16.56
T4	9.26	3.09	2.92	16.23	1.54	10.65	0.13	16.91
T5	9.34	3.06	2.92	16.27	1.54	10.74	0.18	17.29
T6	8.98	2.91	2.91	16.15	1.52	10.19	0.20	17.28
T7	9.05	2.87	2.91	16.20	1.52	10.20	0.20	17.42
T8	8.96	2.83	2.94	16.30	1.52	10.05	0.25	17.56
T9	8.84	2.84	2.93	16.25	1.51	9.96	0.24	17.41
T10	8.90	2.88	2.92	16.20	1.51	10.05	0.22	17.27
T11	8.96	2.88	2.94	16.25	1.52	10.16	0.19	17.33
T12	8.89	2.85	2.95	16.31	1.52	10.07	0.25	17.45
T13	9.07	2.92	2.94	16.15	1.52	10.26	0.29	17.66
T14	8.95	2.87	2.93	16.20	1.52	10.12	0.23	17.36
T15	8.88	2.87	2.93	16.24	1.52	10.04	0.24	17.30
T16	8.87	2.87	2.93	16.25	1.52	10.03	0.26	17.44
T17	8.86	2.87	2.95	16.41	1.52	9.98	0.27	17.55
T18	8.79	2.88	2.95	16.36	1.52	9.92	0.28	17.31
T19	8.89	2.89	2.94	16.31	1.52	10.01	0.29	17.38
T20	8.97	2.89	2.97	16.38	1.53	10.11	0.28	17.54

付表3. 諏訪湖における2007年8月8日の主要イオンの分布

	Cation					Anion		
	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cation meq/L	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
C1	7.59	3.04	2.65	13.39	1.30	9.27	0.25	17.15
C2	7.52	2.51	2.68	13.75	1.30	9.26	0.25	17.17
C3	7.46	2.44	2.68	13.75	1.30	9.23	0.25	17.11
C4	7.10	2.25	2.56	13.37	1.25	9.34	0.28	17.22
C5	7.54	2.43	2.72	13.90	1.31	9.45	0.30	17.13
C6	7.42	2.32	2.70	13.92	1.30	9.23	0.29	17.25
C7	7.55	2.44	2.76	14.51	1.35	9.51	0.31	17.25
C8	7.65	2.42	2.65	14.10	1.32	9.57	0.29	17.34
C9	7.68	2.40	2.71	14.25	1.33	9.37	0.26	16.73
C10	7.57	2.38	2.70	14.51	1.34	9.38	0.27	17.23
C11	7.60	2.38	2.68	14.17	1.32	9.31	0.26	17.08
C12	7.63	2.40	2.66	14.04	1.32	9.34	0.22	17.04
C13	7.39	2.31	2.52	13.76	1.28	9.35	0.22	17.18
C14	7.58	2.40	2.72	14.30	1.33	9.28	0.25	17.17
C15	7.47	3.43	2.57	13.27	1.29	9.35	0.25	17.19
C16								
C17	7.61	2.57	2.69	13.98	1.32	9.29	0.27	16.82
C18	7.49	2.40	2.62	13.81	1.30	9.28	0.24	17.11
C19	7.58	2.42	2.69	14.08	1.32	9.30	0.22	17.03
C20	7.55	2.41	2.72	14.10	1.32	9.33	0.23	17.22
K1	7.86	2.42	2.80	14.44	1.36	9.72	0.28	17.04
K2	7.52	2.35	2.65	13.87	1.30	9.33	0.22	17.08
K3	7.66	2.46	2.67	14.09	1.32	9.36	0.24	16.66
K4	7.92	2.50	2.74	14.24	1.35	9.74	0.25	17.05
K5	7.91	2.42	2.79	14.52	1.36	9.71	0.28	17.33
K6	7.63	2.36	2.63	13.88	1.31	9.55	0.27	17.29
K7	7.83	2.42	2.71	14.38	1.35	9.71	0.28	17.42
K8	7.81	2.40	2.83	14.66	1.37	9.64	0.33	17.23
K9	7.84	2.40	2.73	14.33	1.35	9.64	0.30	17.36
K10	7.69	2.39	2.75	14.29	1.34	9.57	0.31	17.26
K11	8.07	2.49	2.85	14.82	1.39	8.97	0.23	16.10
K12	7.81	2.41	2.74	14.16	1.34	9.43	0.25	16.89
K13	7.69	2.34	2.73	14.21	1.33	9.26	0.24	16.86
K14	7.73	2.38	2.68	14.12	1.33	9.03	0.21	16.28
K15	7.64	3.74	2.41	12.45	1.25	9.32	0.20	16.47
K16	7.86	2.53	2.71	14.01	1.33	9.12	0.20	16.28
K17	7.97	2.49	2.67	14.04	1.34	9.58	0.21	16.97
K18	7.64	2.42	2.70	14.17	1.33	9.27	0.23	17.02
K19	8.32	2.55	2.66	13.93	1.35	10.14	0.22	17.37
K20	8.60	2.48	2.58	13.15	1.31	10.21	0.11	17.04
T1	8.04	2.70	2.54	14.42	1.35	9.68	0.16	16.64
T2	7.86	2.51	2.67	13.80	1.32	9.42	0.15	16.47
T3	7.93	2.38	2.66	13.77	1.32	9.39	0.14	16.38
T4	7.99	2.40	2.66	13.84	1.32	9.43	0.17	16.50
T5	7.78	2.46	2.70	13.91	1.32	9.46	0.18	16.52
T6	7.59	2.35	2.68	13.93	1.31	9.08	0.25	16.76
T7	7.72	2.44	2.75	14.24	1.34	9.12	0.24	16.82
T8	7.78	2.40	2.79	14.37	1.35	9.07	0.24	16.71
T9	7.60	2.34	2.72	13.98	1.32	9.09	0.24	16.89
T10	7.74	2.35	2.70	13.99	1.32	9.23	0.23	16.62
T11	7.60	2.28	2.62	13.57	1.29	9.38	0.23	16.74
T12	7.69	2.37	2.74	14.15	1.33	9.21	0.23	16.87
T13	7.60	2.33	2.72	14.05	1.32	9.22	0.20	16.89
T14	7.45	2.33	2.71	14.10	1.31	9.10	0.24	16.81
T15	7.58	2.39	2.73	14.07	1.32	9.26	0.24	16.95
T16	7.34	2.33	2.63	13.61	1.28	9.20	0.24	16.98
T17	7.64	2.39	2.78	14.42	1.35	9.26	0.23	17.13
T18	7.64	2.36	2.61	14.19	1.32	9.15	0.22	16.65
T19	7.25	2.27	2.62	13.50	1.27	9.12	0.22	16.61
T20	7.49	2.75	2.68	13.68	1.30	9.21	0.24	17.04

付表4. 諏訪湖における2007年10月4日の主要イオンの分布

	Cation					Anion		
	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cation meq/L	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
C1	9.54	2.91	2.98	14.70	1.47	10.79	0.09	19.20
C2	9.44	2.82	2.93	14.66	1.46	10.84	0.04	19.04
C3	9.52	2.88	2.95	14.75	1.47	10.76	0.08	19.12
C4	9.46	2.86	2.95	14.71	1.47	10.70	0.07	19.13
C5	9.48	2.85	2.95	14.71	1.47	10.74	0.06	19.11
C6	9.53	3.52	2.93	14.51	1.47	10.78	0.04	19.10
C7	9.49	2.98	2.94	14.71	1.47	10.71	0.04	19.04
C8	9.39	2.91	2.93	14.62	1.46	10.62	0.05	19.00
C9	9.31	2.93	3.02	15.07	1.49	10.51	0.14	19.19
C10	9.45	2.90	2.98	14.86	1.48	10.63	0.08	19.01
C11	9.42	2.85	2.99	14.95	1.48	10.67	0.09	19.16
C12	9.56	2.90	3.06	15.27	1.51	10.72	0.11	19.11
C13	9.45	2.86	3.00	14.99	1.48	10.69	0.12	19.23
C14	9.77	2.87	2.96	14.81	1.49	11.08	0.08	19.09
C15	9.46	2.85	2.96	14.81	1.47	10.66	0.08	19.15
C16	9.45	2.87	2.96	14.80	1.47	10.64	0.08	19.14
C17	9.57	2.89	2.97	14.79	1.48	10.82	0.08	19.20
C18	9.55	2.90	2.97	14.83	1.48	10.79	0.09	19.17
C19	9.56	2.89	2.99	14.88	1.48	10.80	0.11	19.26
C20	9.58	2.90	3.03	15.08	1.50	11.13	0.14	20.04
K1	9.49	2.94	3.06	15.09	1.50	10.80	0.06	19.10
K2	9.42	2.91	3.04	15.14	1.49	10.69	0.10	19.12
K3	9.44	2.92	3.03	15.05	1.49	10.63	0.11	19.19
K4	9.35	2.88	3.02	15.09	1.49	10.58	0.12	19.14
K5	9.41	2.90	3.03	15.12	1.49	10.67	0.11	19.13
K6	9.40	3.53	3.00	14.84	1.49	10.68	0.13	19.00
K7	9.49	3.07	2.99	14.86	1.48	10.79	0.07	18.94
K8	9.52	2.97	3.01	14.99	1.49	10.74	0.09	19.00
K9	9.49	2.94	3.00	14.96	1.49	10.73	0.07	19.02
K10	9.46	2.92	3.04	15.12	1.50	10.74	0.13	18.97
K11	9.41	3.28	3.00	14.85	1.49	10.70	0.11	19.26
K12	9.51	2.97	3.03	15.08	1.50	10.69	0.15	19.33
K13	9.43	2.94	3.05	15.19	1.50	10.61	0.17	19.38
K14	9.50	2.92	3.07	15.28	1.51	10.69	0.18	19.61
K15	9.47	2.92	3.06	15.17	1.50	10.74	0.15	19.53
K16	9.49	2.89	3.11	15.44	1.52	10.93	0.19	19.77
K17	9.55	2.89	3.07	15.25	1.51	10.80	0.17	19.42
K18	9.63	2.88	3.00	14.95	1.49	10.93	0.10	19.31
K19	9.74	2.88	3.01	15.01	1.50	11.05	0.09	19.48
K20	9.88	2.94	2.86	14.25	1.46	11.17	0.00	19.40
T1	10.54	3.92	2.87	14.38	1.52	11.61	0.03	19.48
T2	10.20	3.03	2.90	14.56	1.49	11.46	0.01	19.07
T3	10.46	3.08	2.86	14.51	1.50	11.85	0.00	18.90
T4	9.93	2.99	2.91	14.54	1.48	11.24	0.00	18.91
T5	10.30	3.01	2.94	14.75	1.51	11.80	0.00	19.00
T6	9.70	2.90	2.96	14.79	1.48	10.88	0.02	18.83
T7	9.70	2.90	2.95	14.74	1.48	10.95	0.02	18.92
T8	9.75	2.94	3.00	14.93	1.50	11.00	0.04	19.15
T9	9.63	2.93	2.97	14.81	1.48	10.83	0.08	19.09
T10	9.52	2.89	2.97	14.86	1.48	10.73	0.07	18.99
T11	9.53	3.52	2.94	14.54	1.48	10.80	0.08	19.09
T12	9.50	3.04	2.98	14.84	1.48	10.76	0.09	19.08
T13	9.75	3.01	3.01	15.01	1.50	10.89	0.09	19.11
T14	9.59	2.97	2.97	14.81	1.48	10.77	0.10	19.09
T15	9.61	2.88	2.96	14.77	1.48	10.81	0.08	19.12
T16	9.79	2.88	2.98	14.89	1.49	11.01	0.10	19.26
T17	9.75	2.84	2.96	14.79	1.48	10.97	0.09	19.27
T18	9.56	2.79	2.91	14.60	1.46	10.99	0.11	19.29
T19	9.69	2.84	3.01	14.99	1.49	10.89	0.15	19.30
T20	9.72	2.84	2.97	14.87	1.49	10.93	0.10	19.13

付表5. 諏訪湖における2008年8月7日の主要イオンの分布

	Cation					Anion		
	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cation meq/L	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
C1	8.38	2.36	2.61	13.95	1.34	9.85	0.16	16.89
C2	8.41	2.36	2.63	14.16	1.35	9.86	0.16	16.85
C3	8.42	2.34	2.61	13.94	1.34	9.87	0.17	17.27
C4	8.37	2.33	2.64	14.17	1.35	9.88	0.16	16.96
C5	8.42	2.38	2.61	13.97	1.34	9.91	0.16	16.72
C6	8.21	2.27	2.59	13.97	1.33	9.59	0.15	16.71
C7	8.35	2.29	2.61	14.02	1.34	9.75	0.15	16.96
C8	8.37	2.34	2.64	14.10	1.35	9.83	0.17	16.86
C9	8.33	2.32	2.69	14.38	1.37	9.84	0.17	16.74
C10	8.43	2.36	2.65	14.07	1.35	9.97	0.18	16.97
C11	8.62	2.47	2.67	14.10	1.37	10.06	0.19	16.95
C12	8.65	2.44	2.66	14.12	1.37	10.20	0.16	16.99
C13	8.58	2.40	2.65	14.12	1.36	10.10	0.15	16.99
C14	8.52	2.38	2.67	14.29	1.37	10.04	0.16	16.98
C15	8.51	2.41	2.66	14.24	1.37	9.98	0.15	17.05
C16	8.59	2.41	2.67	14.25	1.37	10.10	0.19	17.03
C17	8.56	2.39	2.65	14.18	1.36	10.13	0.17	17.16
C18	8.46	2.36	2.64	14.09	1.35	9.95	0.15	17.01
C19	8.45	2.37	2.64	14.15	1.36	9.94	0.14	17.07
C20	8.41	2.35	2.66	14.28	1.36	9.88	0.14	16.98
K1	8.29	2.38	2.66	14.22	1.35	9.74	0.17	16.53
K2	8.26	2.31	2.67	14.22	1.35	9.72	0.17	16.68
K3	8.27	2.30	2.64	14.14	1.35	9.73	0.16	16.83
K4	8.24	2.34	2.64	14.15	1.35	9.77	0.16	16.87
K5	8.21	2.29	2.60	13.92	1.33	9.60	0.16	16.64
K6	8.43	2.39	2.63	14.07	1.35	9.81	0.16	16.83
K7	8.29	2.33	2.63	14.08	1.34	9.75	0.16	17.01
K8	8.32	2.34	2.64	14.15	1.35	9.79	0.16	16.91
K9	8.38	2.32	2.63	14.17	1.35	9.83	0.15	16.91
K10	8.30	2.35	2.63	14.07	1.34	9.77	0.16	16.93
K11	8.45	2.54	2.68	14.33	1.37	9.96	0.19	16.71
K12	8.36	2.38	2.67	14.29	1.36	9.85	0.17	16.80
K13	8.28	2.32	2.70	14.43	1.37	9.82	0.18	16.72
K14	8.29	2.30	2.70	14.45	1.37	9.78	0.18	16.74
K15	8.31	2.33	2.71	14.43	1.37	9.80	0.17	16.60
K16	8.71	2.41	2.67	14.28	1.38	10.27	0.15	17.12
K17	8.85	2.44	2.67	14.21	1.38	10.46	0.15	17.15
K18	8.51	2.39	2.64	14.08	1.36	10.01	0.14	17.08
K19	8.96	2.56	2.67	14.23	1.39	10.57	0.15	17.21
K20	8.50	2.37	2.64	14.08	1.35	10.00	0.14	16.90
T1	9.26	2.70	2.63	14.12	1.40	10.66	0.12	16.70
T2	8.92	2.69	2.69	14.47	1.40	10.56	0.05	15.88
T3	8.71	2.46	2.57	14.15	1.36	10.27	0.03	15.64
T4	8.98	2.59	2.63	14.34	1.39	10.86	0.04	15.95
T5	8.78	2.42	2.60	14.14	1.37	10.51	0.10	16.51
T6	8.28	2.35	2.58	13.86	1.33	9.77	0.14	16.97
T7	8.42	2.32	2.62	14.11	1.35	9.98	0.16	17.26
T8	8.26	2.33	2.59	13.92	1.33	9.80	0.15	17.05
T9	8.20	2.30	2.62	14.12	1.34	9.72	0.13	16.99
T10	8.45	2.38	2.62	14.12	1.35	9.96	0.14	17.07
T11	8.58	2.52	2.63	14.17	1.37	10.19	0.15	17.00
T12	8.43	2.39	2.63	14.12	1.35	9.95	0.14	16.86
T13	8.41	2.36	2.62	14.14	1.35	9.97	0.15	17.02
T14	8.38	2.38	2.63	14.12	1.35	9.94	0.15	17.08
T15	8.35	2.34	2.63	14.11	1.35	9.81	0.15	17.02
T16	8.84	2.32	2.61	13.96	1.36	10.35	0.14	17.00
T17	8.44	2.35	2.65	14.20	1.36	10.02	0.15	17.22
T18	8.38	2.36	2.65	14.30	1.36	9.94	0.15	17.19
T19	8.37	2.37	2.62	14.03	1.34	9.95	0.14	17.11
T20	8.45	2.34	2.64	14.17	1.36	9.95	0.14	17.08

付表6. 諏訪湖における2008年9月20日の主要イオンの分布

	Cation					Anion		
	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cation meq/L	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
C1	9.72	2.72	2.93	15.33	1.50	10.96	0.01	16.70
C2	9.68	2.74	2.93	15.39	1.50	10.95	0.00	16.94
C3	9.62	2.77	2.95	15.45	1.51	10.88	0.02	16.71
C4	9.53	2.74	2.92	15.33	1.49	10.80	0.00	16.66
C5	9.40	2.69	2.86	15.11	1.47	10.49	0.00	17.32
C6	9.42	2.68	2.90	15.33	1.49	10.58	0.00	17.09
C7	9.43	2.63	2.85	15.15	1.47	10.42	0.00	17.03
C8	9.44	2.69	2.90	15.22	1.48	10.65	0.00	16.91
C9	9.54	2.76	2.94	15.38	1.50	10.81	0.01	16.69
C10	9.50	2.74	2.92	15.31	1.49	10.70	0.00	16.63
C11	9.66	2.82	2.96	15.33	1.51	10.73	0.00	16.76
C12	9.46	2.73	2.94	15.37	1.49	10.68	0.00	16.67
C13	9.45	2.74	2.93	15.35	1.49	10.68	0.00	16.31
C14	9.44	2.68	2.93	15.36	1.49	10.66	0.00	16.65
C15	9.45	2.72	2.92	15.30	1.49	10.71	0.00	16.58
C16	9.48	2.74	2.95	15.42	1.50	10.69	0.00	16.59
C17	9.73	2.79	2.98	15.51	1.52	10.91	0.02	16.81
C18	9.38	2.72	2.93	15.33	1.49	10.57	0.01	16.70
C19	9.42	2.72	2.92	15.29	1.49	10.67	0.00	16.59
C20	9.38	2.73	2.95	15.39	1.49	10.58	0.00	16.55
K1	9.47	2.71	2.92	15.28	1.49	10.87	0.00	16.45
K2	9.46	2.69	2.93	15.28	1.49	10.86	0.00	16.52
K3	9.42	2.70	2.93	15.29	1.49	10.76	0.00	16.75
K4	9.45	2.69	2.94	15.32	1.49	10.86	0.00	17.00
K5	9.46	2.68	2.90	15.16	1.48	10.82	0.00	16.84
K6	9.53	2.68	2.91	15.19	1.48	10.88	0.00	16.82
K7	9.52	2.66	2.91	15.22	1.49	10.97	0.00	16.96
K8	9.51	2.69	2.90	15.15	1.48	10.98	0.00	16.99
K9	9.51	2.68	2.91	15.21	1.48	10.91	0.00	16.94
K10	9.59	2.71	2.95	15.40	1.50	11.16	0.00	17.28
K11	9.48	2.70	2.95	15.38	1.50	10.80	0.00	16.78
K12	9.47	2.69	2.95	15.35	1.49	10.80	0.00	16.81
K13	9.46	2.68	2.95	15.37	1.49	10.80	0.00	16.83
K14	9.47	2.70	2.95	15.35	1.49	10.84	0.00	16.68
K15	9.59	2.73	3.14	16.12	1.55	10.93	0.00	15.83
K16	9.58	2.70	2.99	15.53	1.51	10.82	0.01	16.23
K17	9.54	2.72	2.99	15.47	1.51	10.88	0.02	16.58
K18	9.50	2.70	2.97	15.41	1.50	10.84	0.02	16.63
K19	10.90	2.97	2.90	14.66	1.52	12.60	0.17	18.57
K20	11.12	2.79	2.94	15.70	1.59	13.07	0.08	16.81
T1	9.64	2.84	2.92	15.52	1.51	11.29	0.02	16.18
T2	10.05	2.91	2.91	15.66	1.54	11.27	0.00	15.41
T3	10.20	2.85	2.85	15.36	1.52	11.51	0.00	15.75
T4	10.07	2.80	2.88	15.37	1.52	11.48	0.00	16.34
T5	10.29	2.79	2.88	15.39	1.53	11.90	0.00	16.27
T6	9.77	2.78	2.87	15.27	1.50	10.94	0.00	16.72
T7	9.72	2.76	2.89	15.36	1.50	10.93	0.00	16.77
T8	9.66	2.77	2.88	15.20	1.49	10.90	0.00	16.75
T9	9.69	2.78	2.92	15.49	1.51	10.87	0.01	16.73
T10	9.59	2.77	2.90	15.31	1.50	10.83	0.00	16.65
T11	9.61	2.77	2.90	15.33	1.50	10.86	0.00	16.58
T12	9.80	2.79	2.94	15.49	1.52	11.04	0.01	16.05
T13	9.86	2.85	2.96	15.57	1.53	11.46	0.03	16.53
T14	9.49	2.82	2.93	15.36	1.50	11.07	0.04	16.72
T15	9.70	2.79	2.92	15.35	1.50	10.97	0.01	16.53
T16	9.64	2.80	2.91	15.32	1.50	10.88	0.01	16.66
T17	9.76	2.79	2.93	15.38	1.51	10.96	0.02	16.63
T18	9.32	2.74	2.96	15.53	1.50	10.80	0.03	16.52
T19	9.27	2.75	2.94	15.47	1.49	10.81	0.03	16.56
T20	9.57	2.85	2.96	15.34	1.50	11.24	0.07	17.18