

全国溪流水質調査

木平英一・板谷明美 名古屋大学
若松孝志 電力中央研究所
新藤純子 農業環境技術研究所
吉岡崇仁 総合地球環境学研究所

1. 調査の概要

全国 1278 地点の溪流水を採取し、その水質について分析した日本全国溪流調査 (Japan-Wide Stream Monitoring (JWSM) 2003) の結果を報告する。溪流水とは、流域が森林のみに覆われて、人家、田畑など人為的な影響の無い河川水のことである。溪流水質は、これまで限られた地域を対象に調査は行われていたものの、全国を網羅し、系統的に観測を行ったのは、本調査が初めてである。なお、沖縄県は、当初から本調査の対象とせず、また千葉県には適当な採取地点が見つからなかったため、この 2 県を除いた 45 都道府県が本調査の対象である。

溪流水の採取は、2003 年の夏季 (7 月 1 日 - 10 月 11 日) に行った。採取は全地点、期間内に 1 回だけの採水である。採取した溪流の流域規模は地点によって大きく異なっており、流域面積が 1km^2 以下のものから 100km^2 を越えるものが含まれている。また、溪流水質は、降雨によって大きな変動が起きるので、降雨中や降雨直後の出水時は避けて溪流水を採取することとし、できるだけ限り採取条件を統一した。試料はポリカーボネイト製のボトルに採取し、即日名古屋大学に宅急便 (冷蔵) で送付し、pH、電気伝導度 (EC) を測定後、ろ過処理を行い分析に供した。主要イオンについてはイオンクロマトグラフ、溶存態オルトリン酸態リンはモリブデン青吸光光度法により測定した。その他、ICP 発光分光装置での分析も行った。一部の分析値で極めて高い濃度を示したため、スミルノフの検定によって異常値を除外した。この異常値と判定された試料には、鉱泉や温泉など、地表水ではない水が混入していると考えられる。

本稿では、主要な栄養塩である窒素 (NO_3^-) およびリン (DIP: Dissolved Inorganic Phosphate) 濃度の結果を中心に報告する。溪流水の NO_3^- および DIP 濃度の全国平均値は、それぞれ、 $26.1 \mu\text{M}$ (NO_3^-)、 $0.29 \mu\text{M}$ (DIP) であった。人為的な影響の無い溪流水にも、 NO_3^- が多く含まれていること、その結果 N/P 比 (モル比) は 90 という極めて高い値であり、相対的に窒素が多く、リンが少ないことなどが明らかになった。他の主要な溶存成分についても全国平均値を算出しており、水環境のバックグラウンドである自然溪流の値について、その分布範囲と平均などを得たことは、本調査の大きな成果と考えている (表-1、表-2)。

2. NO₃⁻濃度

NO₃⁻濃度の分布を図-1 に示す。関東地方を中心に 100 μM を超える濃度が高い溪流が多いなど、地理的な変動が大きい。北海道、東北など北日本で濃度が低い一方、東京周辺、大阪周辺、瀬戸内、北九州と東京と福岡を結んだラインに沿って濃度が高い。この NO₃⁻濃度分布の要因を特定するため、採取した溪流の流域を抽出し、地理情報システム (GIS) を用いて様々なデータを重ね合わせて、各流域環境情報を求めた。抽出したデータは、流域面積、流域の傾斜、流域の方位、流域平均標高、年降水量、年平均気温、地形分類、表層地質、土壌分類、主要な植生、大気からの窒素負荷量である。

単相関でみると、NO₃⁻濃度は、大気からの窒素負荷量と有意な正の相関があった (図-2)。これは、東京と福岡を結んだラインには大都市が多く、そこで放出される NO_x が周辺の森林に沈着しており、その影響が溪流の NO₃⁻濃度に大きく影響していることを示唆している。すべての要因を用いて NO₃⁻濃度について重回帰分析を行った結果、流域の傾斜、流域の方位、年降水量、年平均気温、大気からの窒素負荷量の 5 つが有意な要因として抽出された。標準化係数によってその寄与の大きさを評価すると、大気からの窒素負荷量 (標準化係数: 0.501)、年降水量 (-0.275)、年平均気温 (0.250)、流域の傾斜 (0.142)、流域の方位 (-0.081) の順で寄与が大きかった。溪流の NO₃⁻濃度には、窒素負荷量という大気環境が支配的な要因であり、次に降水量、降水量という気候的な要因、その次に傾斜や方位という地形的な要因が寄与している。

3. DIP 濃度

DIP 濃度は対数正規分布にほぼ従っていて、濃度の中央値は 6.6 μg/L、4.0 μg/L 以下の溪流が全体の 28% を占めた。一方、20 μg/L を超える溪流は 89 地点あり、全体の 7% を占めた。濃度が高い溪流が集中する地域としては、茨城県北部、埼玉県と東京都の西部、石川県から鳥取県にかけての北陸地方と中国地方東部、四国山地と九州山地の一带、佐賀県北部が挙げられる (図 3)。一方、濃度の低い溪流は、北海道中央部、中部・東海地方 (群馬県、長野県、岐阜県、愛知県、三重県)、中国地方西部 (広島県、山口県) に分布していた。

地質の違いにより、DIP 濃度に有意な差がみられ、火成岩、変成岩、堆積岩の順に濃度が高くなる傾向が認められた。堆積岩では、新生代や中性代に比べて、古生代の分布域で DIP 濃度が高い地点が多く、火成岩では、安山岩などの中塩基性岩で流紋岩、花崗岩といった酸性岩に比べて、濃度が高い傾向を示した。これらの地質による DIP 濃度の違いは、既に報告されている岩石種ごとのリン含有量の大小の傾向とほぼ一致していた。他の溶存成分との関係を見ると、中古生代堆積岩以外の地質では、ケイ酸 (SiO₂) 濃度との間に正の相関関係が認められた。以上のことから、渓流水の DIP 濃度の形成には、母岩に含まれるリン量の大きさや母岩の風化反応による溶出の影響を受けていると考えられる。

4. 戦後 50 年間の渓流水質の変化

本調査は全国規模で渓流水質の分布を明らかにしたが、約 50 年前（1943 年～1958 年）にも岡山大学の小林によって、全国の河川水質の調査が行われている（小林、1971）。小林による調査は、今回の 2003 年の調査と比較して流域面積の大きい大規模な河川を対象としており、採取地点も河口に近い場合、流域規模が異なっている。また、小林の調査は、人間活動による直接的な影響を含むが、基本的には自然のバックグラウンドとしての河川水質を知ることが目的としており、今回の 2003 年の調査の目的に近い。さらに、小林の調査が行われた 1943 年から 1958 年は、戦中から戦後にかけての時期であり、日本の経済高度成長前の期間である。したがって、人間活動による汚染源がまだ少ない時期であり、当時の自然渓流の値であると考えられる。ここでは、本調査と小林の調査の結果を比較することによって、戦後 50 年間の渓流水質の変化について考察する。両調査は採水地点が異なるため、各都道府県単位で平均値を求め比較することとした。

図-4 は、水質項目ごとに小林の調査と本調査の結果を比較したものである。図中の線は 1 : 1 のラインであり、この線上にある場合、両調査で濃度の変化が無いことを意味する。多くの水質項目でプロットの下側にプロットされていて、この 50 年間に濃度低下を示した水質項目が多いことを示唆している。顕著な上昇傾向を示しているのは、 NO_3^- と NH_4^+ の窒素成分だけである。多くの水質項目で濃度低下が起きている中で、上記で議論した NO_3^- は、濃度上昇が起きていると推察される。現在の渓流水の濃度分布から、 NO_3^- については（現在の）大気からの窒素負荷の影響が大きいと考察された。この 50 年間の NO_3^- 濃度の上昇も、50 年間に大気からの窒素負荷が増大したためと考えることができ、現在の解析結果と一致する。

引用文献

新藤純子・木平英一・吉岡崇仁・岡本勝男・川島博之：我が国の窒素負荷量分布と全国渓流水水質の推定．環境科学会誌 18（4）：455-464、2005

小林純（1971）：水の健康診断、岩波新書 777、207pp、岩波書店、東京

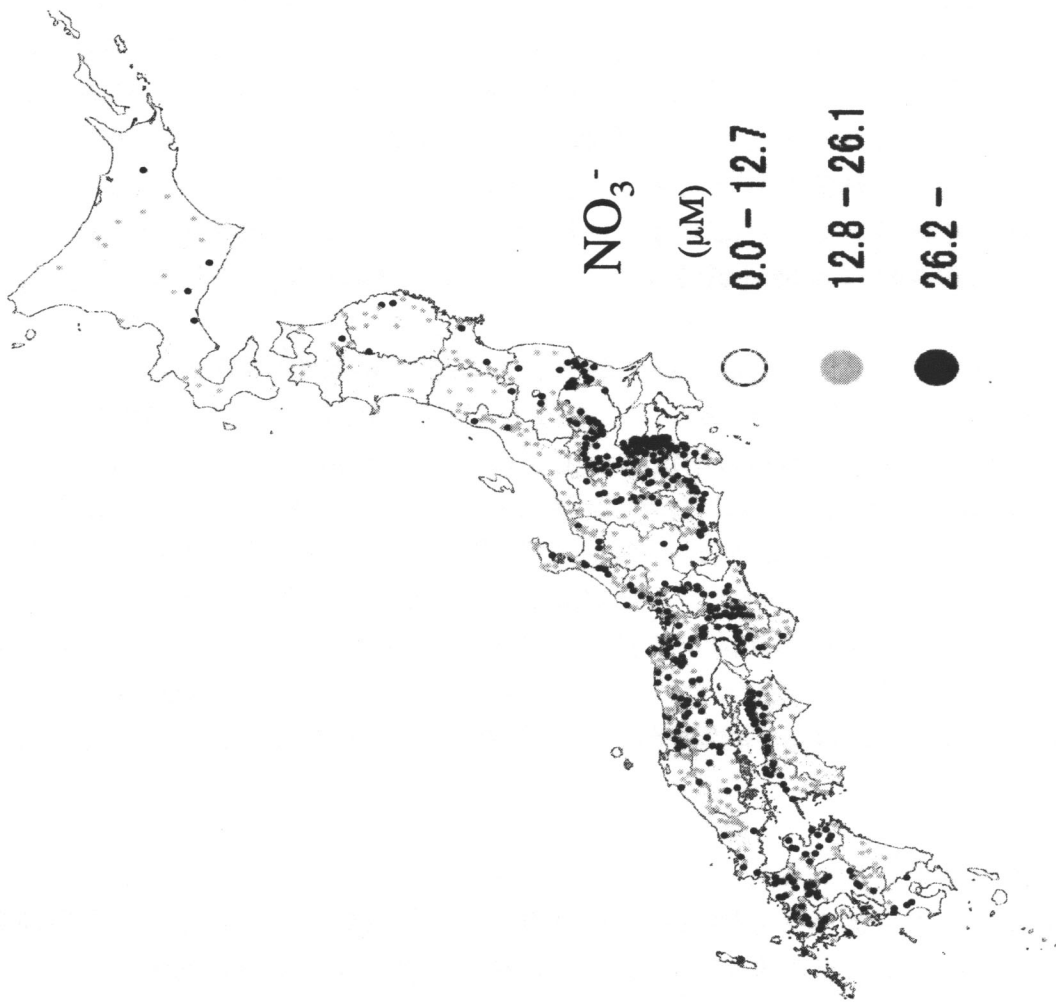


Fig.1 Distribution of NO_3^- concentrations in natural streams

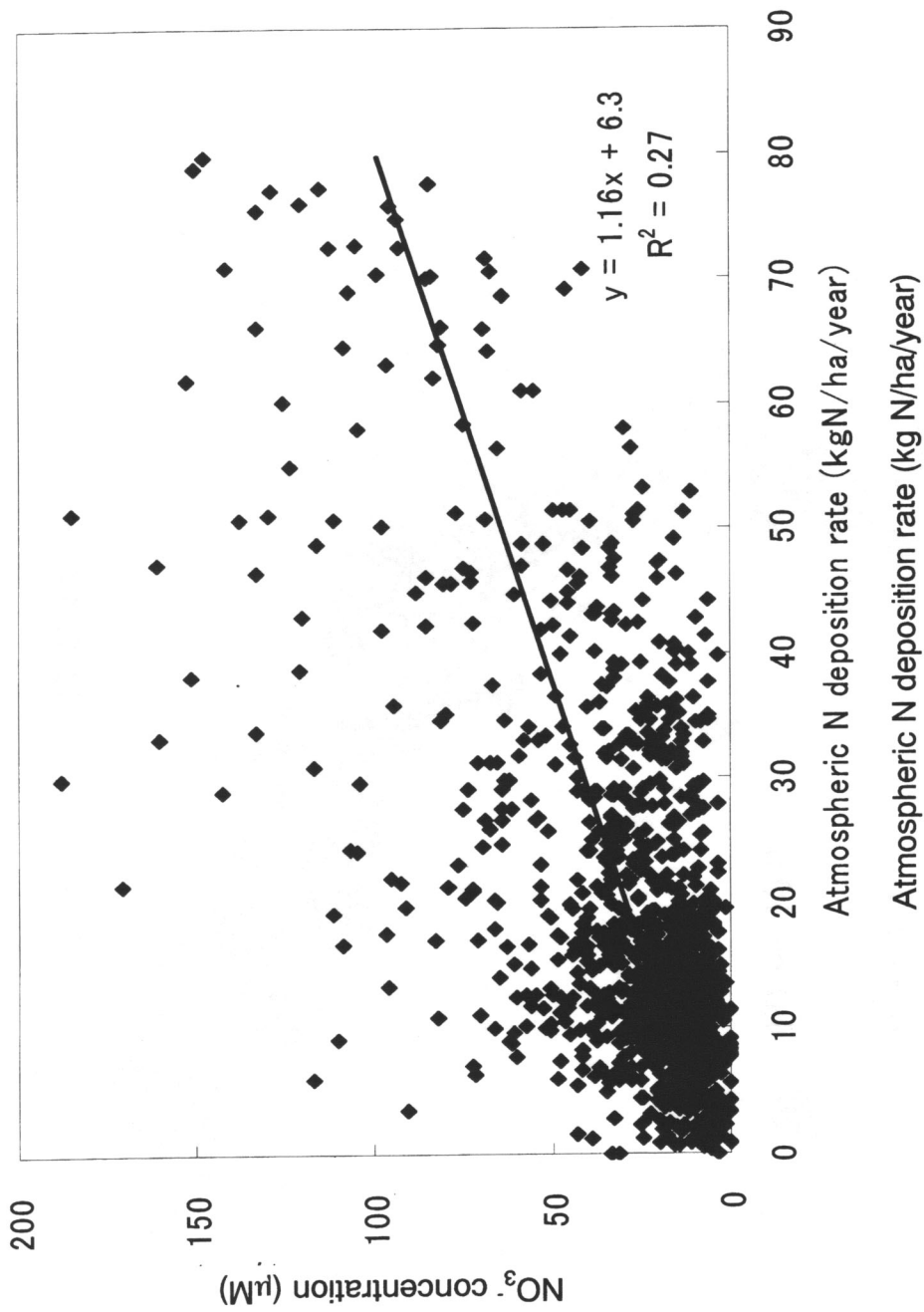


Fig.2 Relationship between atmospheric N deposition rates (Shindo et al, 2005) and stream NO₃⁻ concentrations.

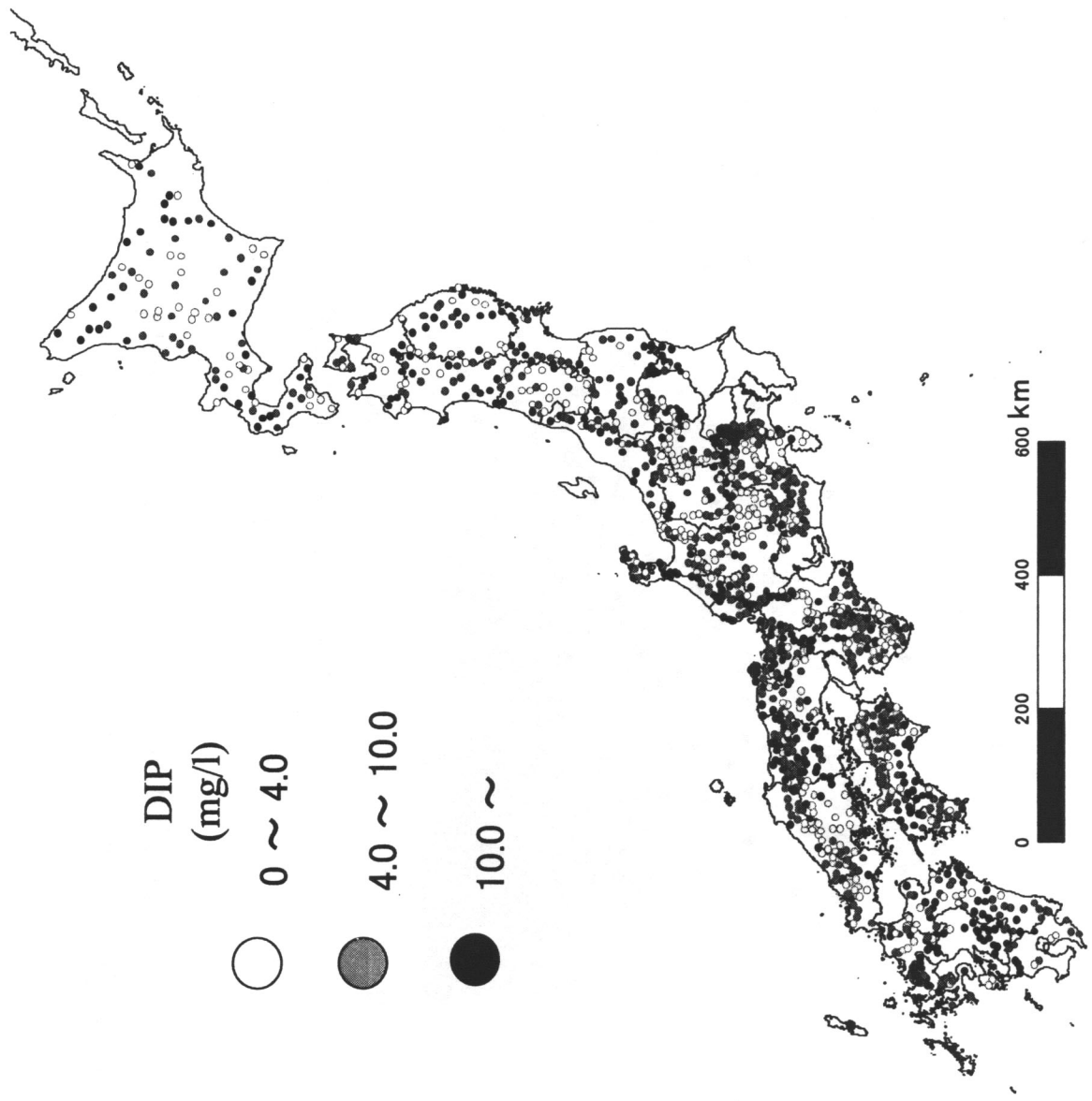


Fig.3 Distribution of DIP concentrations in natural streams

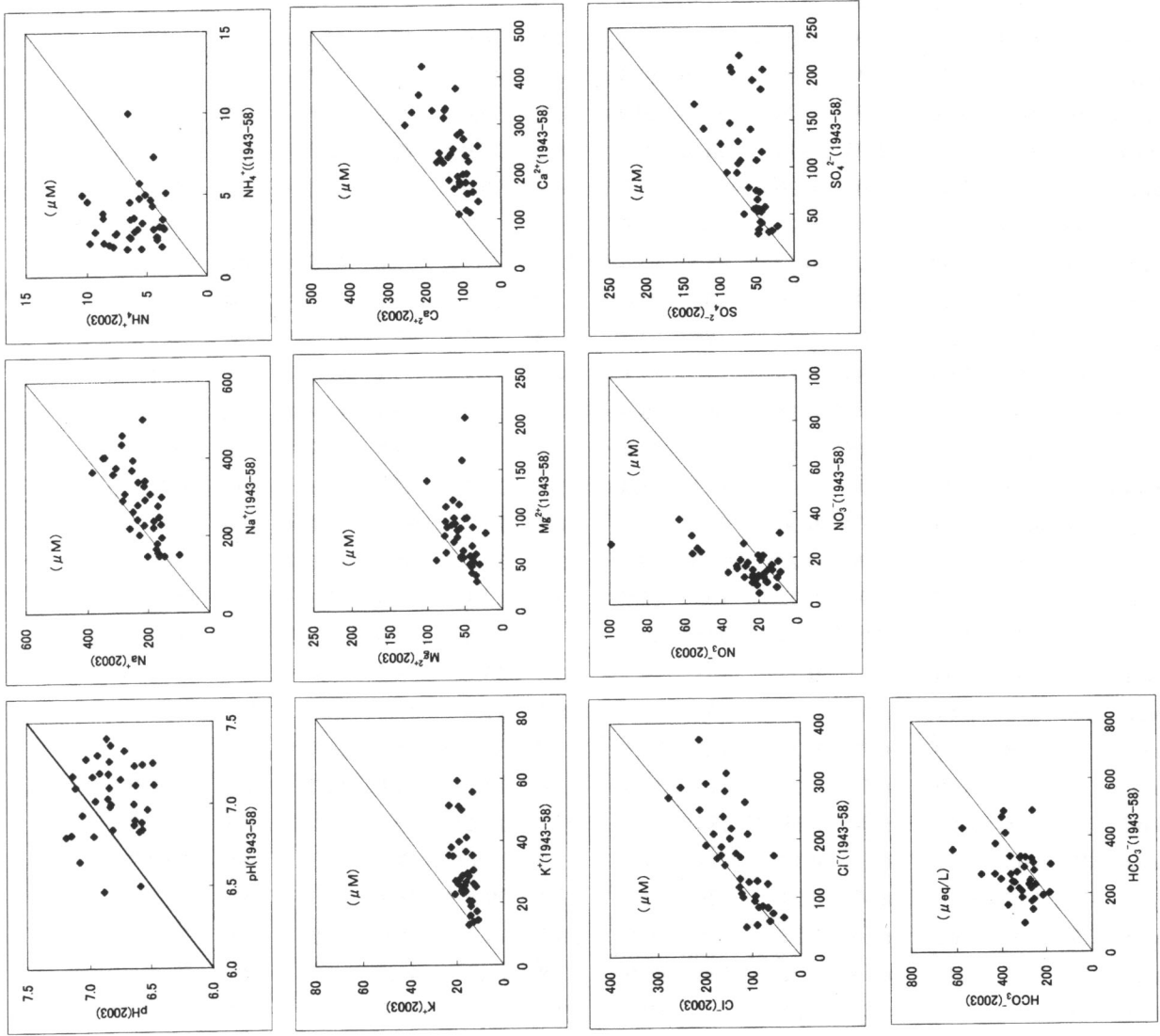


Fig.4 Relationships of Japanese stream water compositions between 1943-58 and 2003.

Table 1. EC, pH and anion concentrations averaged in each prefecture and those of all samples.

Prefectures	n	EC (mS m ⁻¹)		pH		Cl ⁻ (μM)		NO ₃ ⁻ (μM)		SO ₄ ²⁻ (μM)		anion deficit (μe)	
		average	SD	average	SD	average	SD	average	SD	average	SD	average	SD
Hokkaido	91	8.49	3.99	6.97	0.27	159	108	9.1	8.4	85.7	83.9	433	257
Aomori	28	8.50	3.05	6.59	0.36	278	122	9.9	8.6	82.7	53.3	310	189
Iwate	30	5.18	2.06	6.93	0.18	86.0	31.4	13.4	8.6	47.3	57.1	269	129
Miyagi	22	5.34	1.30	6.64	0.15	125	53.1	17.3	11.7	41.3	17.0	266	94.4
Akita	26	7.46	2.39	6.89	0.19	200	106	8.8	3.9	84.8	59.5	298	117
Yamagata	28	5.88	1.94	6.63	1.31	115	61.7	10.5	5.0	70.8	61.4	257	138
Fukushima	28	5.01	2.06	6.86	0.17	67.3	27.1	19.2	11.4	45.0	64.3	268	162
Ibaraki	11	7.48	2.55	6.85	0.12	109	37.1	51.4	35.0	57.5	35.1	393	162
Tochigi	29	5.80	2.23	6.68	0.31	44.5	21.1	29.3	14.9	75.2	66.1	285	212
Gunma	27	6.77	3.27	6.61	0.24	46.0	11.3	62.3	40.3	75.5	79.7	283	202
Saitama	19	10.54	3.79	7.24	0.20	52.0	20.9	102	35.4	97.5	66.0	609	221
Tokyo	13	7.85	1.89	6.83	0.17	55.8	19.5	99.1	37.0	72.8	22.3	401	171
Kanagawa	22	9.47	3.46	7.03	0.30	68.3	23.3	63.1	28.0	76.2	86.3	576	211
Niigata	39	6.70	4.12	7.15	0.26	145	87.1	16.3	6.2	74.5	122	279	198
Toyama	28	7.44	2.99	7.14	0.22	94.5	93.6	21.1	8.0	52.6	42.5	405	247
Ishikawa	25	8.10	2.39	6.84	0.20	253	120	15.4	10.6	54.7	53.7	344	134
Fukui	28	7.22	2.70	6.63	1.32	176	94.3	23.3	12.2	46.5	61.1	363	199
Yamanashi	30	7.95	3.99	6.84	0.24	32.5	14.1	34.1	22.7	79.1	84.8	431	191
Nagano	63	5.61	3.62	6.72	0.31	24.5	18.0	16.8	13.9	60.9	74.4	328	247
Gifu	30	3.97	2.76	6.75	0.30	35.2	22.4	13.0	8.6	21.7	15.8	255	235
Shizuoka	30	8.98	2.72	6.94	0.34	57.1	35.8	32.0	22.5	135	91.7	430	172
Aichi	19	4.35	2.14	7.19	0.30	63.3	24.1	20.2	12.7	29.1	15.1	260	174
Mie	22	6.38	3.03	7.06	0.22	92.4	30.4	23.1	16.8	51.2	27.1	332	245
Shiga	32	7.30	4.95	6.98	0.33	106	23.9	28.4	17.2	50.9	18.8	422	414
Kyoto	36	7.88	3.13	7.08	0.19	213	117	27.7	20.6	43.0	19.9	374	187
Osaka	20	11.06	5.98	7.12	0.22	163	59.2	53.4	33.5	98.9	68.8	619	424
Hyogo	28	7.13	2.81	6.82	0.28	155	72.1	28.2	11.8	49.3	23.7	353	250
Nara	25	6.88	3.70	6.70	0.25	81.9	36.1	41.7	36.7	54.5	38.9	392	281
Wakayama	31	7.32	3.40	6.57	0.23	119	51.3	21.0	12.2	90.1	46.2	312	219
Tottori	27	6.45	2.06	6.96	0.18	183	58.2	23.5	10.2	32.8	16.1	324	151
Shimane	26	6.03	1.81	6.53	0.18	214	64.2	15.6	6.6	43.1	22.3	185	80.7
Okayama	35	7.86	4.94	6.98	0.24	128	37.0	27.0	19.8	48.3	36.6	492	416
Hiroshima	28	5.20	3.68	6.64	0.33	125	36.9	20.3	15.3	45.9	46.0	216	245
Yamaguchi	21	5.34	1.80	6.48	0.21	166	65.6	17.8	11.0	47.2	13.8	181	95.5
Tokushima	29	7.02	2.20	6.64	0.14	112	80.9	19.9	15.6	66.8	44.7	361	164
Kagawa	16	8.82	1.83	6.87	0.23	167	41.9	56.1	23.6	122	28.8	321	173
Ehime	32	7.02	3.84	6.83	0.22	122	79.7	36.7	24.6	74.5	88.2	318	200
Kochi	34	5.55	1.89	6.72	0.18	89.3	41.8	10.7	5.0	44.5	16.2	296	176
Fukuoka	24	7.04	2.76	6.85	0.15	148	58.2	56.4	30.5	58.6	25.9	265	159
Saga	20	5.77	2.16	6.85	0.25	135	29.2	29.8	15.2	38.2	12.5	274	206
Nagasaki	6	6.52	2.57	6.49	0.27	200	112	25.8	23.5	42.2	18.4	260	116
Kumamoto	21	6.39	1.64	6.57	0.26	89.4	53.4	23.2	10.6	43.5	16.1	387	145
Oita	23	6.95	2.74	6.84	0.28	107	57.1	31.7	23.7	60.1	33.6	365	177
Miyazaki	27	5.40	1.72	6.60	0.22	78.0	31.4	10.6	4.9	49.6	24.6	249	159
Kagoshima	13	6.71	2.29	6.58	0.27	159	58.9	17.5	13.3	49.7	18.6	300	239
Japan	##	6.94	3.42	6.84	0.31	119	88.2	26.1	25.4	62.8	61.1	344	235

Table 2. Cation concentrations averaged in each prefecture and those of all samples.

Prefectures	n	Na ⁺ (μM)		NH ₄ ⁺ (μM)		K ⁺ (μM)		Mg ²⁺ (μM)		Ca ²⁺ (μM)	
		average	SD	average	SD	average	SD	average	SD	average	SD
Hokkaido	91	289	157	3.6	2.4	22.3	12.0	76.0	52.4	153	101
Aomori	28	386	147	4.1	3.0	19.1	9.8	76.8	51.7	100	57.0
Iwate	30	168	55.6	4.4	2.9	11.3	5.5	40.1	19.5	99.4	63.3
Miyagi	22	210	55.3	3.4	0.9	15.9	11.2	39.9	20.4	90.4	57.2
Akita	26	317	128	6.4	2.1	16.5	8.9	59.7	23.5	108	67.5
Yamagata	28	214	82.9	5.6	1.5	12.7	6.1	59.7	47.7	86.6	52.2
Fukushima	28	158	49.2	5.6	1.5	16.2	7.6	42.8	35.6	89.6	60.3
Ibaraki	11	219	61.9	6.5	1.7	18.0	6.0	65.8	34.4	147	71.3
Tochigi	29	148	55.8	5.5	1.7	14.9	11.4	44.4	26.0	126	70.1
Gunma	27	115	30.1	9.1	3.6	13.9	6.2	49.6	28.3	153	112
Saitama	19	143	67.5	6.8	4.0	13.1	3.4	80.0	42.0	317	150
Tokyo	13	156	42.5	5.1	1.9	13.2	2.3	53.5	17.4	210	78.2
Kanagawa	22	164	50.1	4.4	2.4	12.9	10.9	101	56.8	239	98.8
Niigata	39	211	86.9	5.4	1.5	18.9	10.8	62.9	42.2	114	121
Toyama	28	174	127	6.4	2.4	14.1	7.5	51.7	37.7	164	99.9
Ishikawa	25	350	147	6.4	2.1	20.5	9.8	64.4	29.6	108	75.0
Fukui	28	236	94.3	3.7	1.7	12.7	5.8	64.4	48.1	137	74.7
Yamanashi	30	129	49.1	6.7	4.5	17.2	15.7	68.2	41.8	183	101
Nagano	63	103	82.9	5.1	3.4	17.1	10.5	45.3	42.5	138	112
Gifu	30	97	22.4	6.1	3.1	13.4	6.0	22.1	21.3	93.2	114
Shizuoka	30	181	63.4	3.6	1.0	15.4	7.0	75.3	41.0	219	87.5
Aichi	19	146	63.5	4.7	1.7	17.6	10.2	35.0	34.5	81.8	57.4
Mie	22	170	48.4	5.4	2.3	17.9	14.0	38.6	22.0	140	122
Shiga	32	171	36.9	12.6	6.5	13.3	4.3	52.8	34.2	178	204
Kyoto	36	285	127	3.7	1.3	14.6	7.8	88.1	59.3	110	65.5
Osaka	20	345	166	4.5	1.3	23.4	12.6	73.5	48.6	257	188
Hyogo	28	251	84.0	4.2	2.0	16.1	8.4	55.3	47.4	126	90.7
Nara	25	167	66.8	8.4	3.5	14.1	10.6	49.2	47.0	169	119
Wakayama	31	262	117	3.9	1.6	17.2	7.4	52.1	25.0	123	89.7
Tottori	27	278	76.6	9.3	7.3	17.4	8.0	54.6	28.1	91.1	55.6
Shimane	26	287	75.9	9.8	4.0	15.2	4.2	34.8	18.9	59.7	35.8
Okayama	35	229	75.3	4.1	1.6	20.8	12.9	75.0	70.6	170	168
Hiroshima	28	213	57.1	6.0	4.4	19.4	10.3	34.0	48.9	73.4	108
Yamaguchi	21	250	89.3	8.6	3.6	16.6	5.2	30.4	15.8	61.8	38.1
Tokushima	29	202	128	8.1	4.5	14.8	8.3	40.2	21.0	161	89.3
Kagawa	16	307	51.5	7.5	1.6	23.4	7.6	43.0	23.1	183	84.0
Ehime	32	182	147	5.8	2.3	13.9	11.6	60.2	47.1	152	96.8
Kochi	34	163	65.6	7.8	3.0	10.8	3.7	37.2	21.2	115	85.8
Fukuoka	24	221	56.9	10.0	4.4	15.9	5.2	50.2	19.0	120	75.3
Saga	20	234	51.7	10.4	4.0	14.8	5.2	55.6	74.6	72.5	48.1
Nagasaki	6	254	80.9	8.7	3.2	21.7	11.9	57.5	26.4	85.4	69.8
Kumamoto	21	168	61.4	7.6	3.3	13.2	8.9	49.6	21.8	149	67.8
Oita	23	194	62.9	8.7	3.6	19.2	10.5	67.9	47.0	133	76.0
Miyazaki	27	155	46.5	6.6	3.3	11.8	7.0	39.2	27.0	92.6	63.9
Kagoshima	13	235	53.3	6.4	4.2	19.8	5.8	47.5	28.5	110	89.5
Japan	##	211	115	6.1	3.8	16.4	9.6	55.8	43.0	135	108