

相模川上流域の水質と自然負荷量

小林 規矩夫 飛田 修作 清水源 治 高橋 照美 堤 充紀

Water Quality and Natural Load in the Upper Reaches of Sagami River

Kikuo KOBAYASHI, Shusaku TOBITA, Genji SHIMIZU, Terumi TAKAHASHI
and Mitsutoshi TSUTSUMI

環境庁による「名水百選」の選定を契機においしい水、きれいな水に対して関心が高まっている。山梨県でも公共用水域の水質測定結果の公表のさい、汚濁河川ワースト10とともに清流河川ベスト10も発表し具体的に清澄な河川を示すことにより、汚濁河川の水質改善目標としている。

本県ではこれまで清澄な水質について、多摩川上流域の渓流の水質調査¹⁾、県内の「名水」の水質調査²⁾等が行われている。

今回は相模川の上流域を対象に、人為的汚染のない地域での自然の水質を知ることを目的にして水質調査を行った。

また一方、山梨県の河川流域はその多くの面積が山林で占められており、この山林から水によって流出してくる成分が下流域の水質汚濁源としての大きな要因の1つとなっていると考えられている。このことから相模川上流域の水質成分の流出特性を検討するとともに、この流域の自然系からの水質成分の負荷量を算出した。

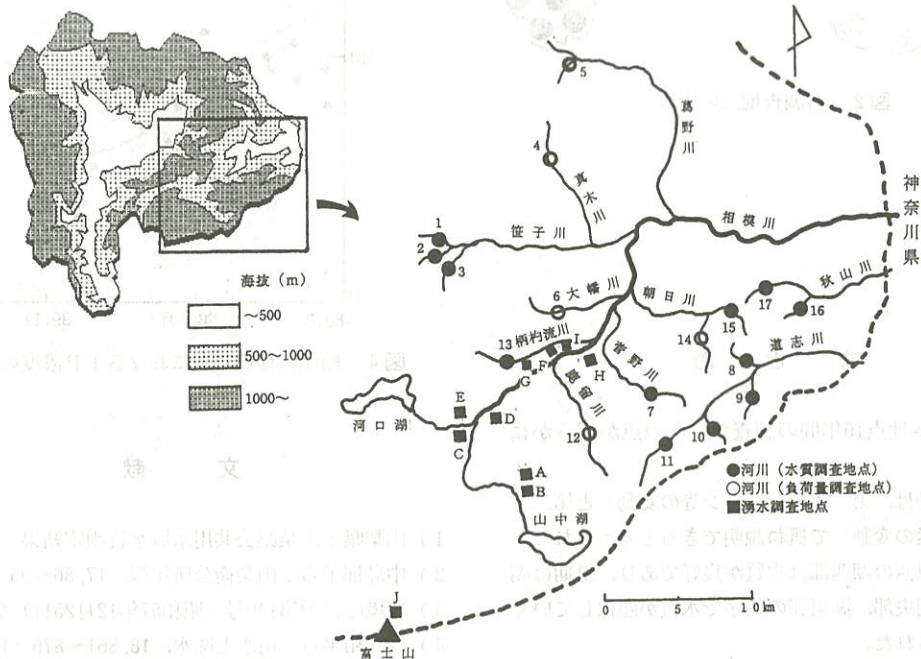


図1 調査地点

調査対象のうち相模川上流域の富士山麓の火山岩堆積地帯では、降水は地下浸透しやすいため通常の河川水としての表面流出はあまりみられず、一旦地下水となったのち湧水として再び流出してくる特異な流出方式をもっている。このためこの調査では流域を流出方式により、通常の表面流出（河川水）によるものと、湧水によるものとの2つに分けて検討した。

また流域の自然環境の特性を知る目的で水質汚濁成分のCOD、T-N、T-P以外に水質の主要な無機イオンであるNa、Ca、Cl等についても調査した。

調査方法

1. 調査地点と調査時期

相模川は山中湖を源として、山梨県東部から神奈川県を経て相模湾に注ぐ1級河川で、山梨県側は桂川と呼びならわされている。県内の相模川流域にはこの桂川の他に山梨県に源を発し神奈川県内で相模川に合流する秋山川、道志川の2支流があり、今回はこの流域も含めて調査した。

調査は1987年5月から12月にかけて行った。図1に河川の水質、負荷量調査地点と湧水の調査地点を示した。河川の水質調査は上流に人家、田畑等がなく恒常的な生活、生産による人為的汚染が考えられない17の地点で行った。またその集水域は大部分が急勾配の山林で、上流には砂防堰堤が多く設けられており、表層土壌は5～

10%の腐植を含む褐色森林土壌、または湿性褐色森林土壌となっている³⁾。この地点での水質調査は春期と秋期の晴天時に行った。

この17地点のうち図1の白ヌキの丸印で示した5地点では季節をずらして3回水質と同時に流量も測定し、水質成分の流出負荷量を算出した。この5地点の流域の概要は表1に示した。

表1 負荷量調査地点の流域の概要

調査地点	流域面積(km ²)	表層地質	植生
大幡川	5.8	泥岩 砂岩 玄武岩	イヌブナ群集 スギ、ヒノキ植林 アカマツ植林 クリ、ミズナラ群落
		砂岩	カラマツ植林 ウラジロモミ、 コメツガ群落
葛野川	22.8	粘板岩	イヌブナ群落 クリ、ミズナラ群落
		花崗閃緑岩 珪質粘板岩	カラマツ植林 クリ、ミズナラ群落 スギ、ヒノキ植林 アカマツ植林
真木川	16.3	砂岩	カワラマツバ、ススキ群落 アカマツ植林
		石英安山岩	クリ、ミズナラ群落 抜跡群落
朝日川	6.0	石英閃緑岩 半固結堆積物	クリ、ミズナラ群落 抜跡群落 アカマツ植林
		石英閃緑岩 半固結堆積物	カラマツ植林 アカマツ植林

表2 相模川上流域の河川水、湧水の水質

項目	単位	河川水			湧水		
		平均値	中央値	変動係数	平均値	中央値	変動係数
pH		7.5	7.4	2.7	7.7	7.6	3.4
EC	μS/cm	69.5	72.8	22.6	128	127	27.3
SS	mg/ℓ	1.0	1.1	55.9			
COD	"	0.7	0.5	71.4	0.2	<0.1	110
NH ₄ -N	"	0.003	0.002	53.3	0.001	<0.001	105
NO ₂ -N	"	0.001	0.001	7.0	0.001	<0.001	31.6
NO ₃ -N	"	0.36	0.32	40.3	0.92	0.89	46.9
T-N	"	0.48	0.47	31.3	0.96	0.91	46.0
PO ₄ -P	"	0.007	0.006	35.7	0.102	0.115	37.3
T-P	"	0.007	0.006	57.1	0.115	0.118	38.4
Na	"	2.15	2.15	16.3	5.86	5.42	26.4
K	"	0.55	0.45	89.1	1.30	1.40	27.2
Ca	"	8.14	8.37	26.7	10.6	10.7	25.3
Mg	"	1.52	1.64	34.2	4.15	4.02	29.4
Cl	"	1.1	1.2	18.2	3.2	2.8	59.4
SO ₄	"	5.8	4.8	43.1	7.0	5.8	66.1
HCO ₃	"	30.0	33.4	14.7	51.8	51.1	18.2
SiO ₂	"	16.2	16.2	18.5	30.9	31.9	15.2

<0.01, <0.001は0.01, 0.001として平均値を求めた。

一方、湧水については古くから知られている湧水で湧水量が比較的多く、さらに湧水を直接採水できる10地点で調査した。なお忍野八海付近は多くの湧水があるがいずれも水質が似かよっている²⁾ことから今回は湧水が直接採水できた八海はんの木(A)で調査した。

図1のA~Dの湧水は季節別に3回調査し、その他の湧水は1~2回調査した。

2. 水質測定項目

水質汚濁成分のSS, COD, NH₄-N, NO₂-N, NO₃-N, T-N, PO₄-P, T-Pと水質の主要成分であるNa, K, Ca, Mg, SO₂, HCO₃, SiO₂とpH, ECについて測定した。

3. 測定方法

河川流量と湧水の湧出量はJIS K 0094 (1985)「工業用水・工場排水の試料採取方法」8.3により測定した。負荷量調査地点の流域面積はプランメーターにより求めた。水質の分析方法はNa, K, Ca, Mgは原子吸光度法で、NO₃-N, Cl, SO₄はイオンクロマト法で、その他の項目は従来法⁴⁾により測定した。

結果及び考察

1. 河川、湧水の水質

河川水の水質測定結果を付表1に、湧水の結果を付表2に示した。また、水質の平均値、中央値、変動係数について表2に示した。

河川水の水質は調査地点によりばらつきがみられたが平均値でみるとpH 7.5, EC 69.5 μS/cm, SS 1.0, COD 0.7, T-N 0.48, T-P 0.007(mg/ℓ)と非常に清

澄な水質であった。汚濁成分濃度は本県の多摩川上流域の源流の測定値¹⁾ COD 1.4, T-N 0.25, T-P 0.025 (mg/ℓ) また他県の河川上流での調査結果^{5), 6)} COD 0.7~3.1, T-N 0.18~0.92, T-P 0.005~0.074(mg/ℓ) の範囲内の低値側に属していた。

主要成分はKの変動係数が89.1%と大きなばらつきを示したが、他の成分の変動はより小さい値であった。

一方、湧水の各成分も河川水と同様に地点間で差異がみられたが平均値でみると河川水に比べ、CODは低値を示したが他の成分はいずれも高濃度で、特にT-Pは約16倍高くなっていた。

汚濁成分のT-N, T-PはA~EとF~Iと2つの地域で明かに異なった値を示した。T-NはA~Eの地域では1 mg/ℓ未満であったが、F~Iでは1mg/ℓ以上と高く、一方T-PはA~Eで低く、F~Iで高い値を示しT-Nとは逆の傾向であった。

また、主要成分はJ(泉瑞)を除いた湧水間では最小値と最大値でほぼ2倍以内の比較的狭い範囲内にあった。泉瑞は他の湧水と異なり標高1,030mの高所に位置するため、降水が地下浸透してから表面流出するまでの時間が他の湧水より短期間であると考えられることや、付近の地質等の影響から各成分が低濃度になっていた。しかし、T-Pは0.089mg/ℓと全湧水の平均値に近い濃度で、他の成分とは異なった傾向を示していた。

今回の湧水水質と高橋ら⁷⁾の八ヶ岳南麓の湧水群の水質調査結果を比較すると、Kを除き富士北麓の値のほうがいずれも高濃度であり特にT-N, T-P, SO₄で大きな差がみられた。

また、T-N, T-Pの形態についてはT-NはNO₃-Nが、T-PはPO₄-Pがその大部分を占めていた。

表3 相模川上流域の比負荷と比流量

調査地点 項目	大幡川		葛野川		真木川		朝日川		鹿留川		全地点 平均値
	平均値	範囲	平均値	範囲	平均値	範囲	平均値	範囲	平均値	範囲	
COD	1.35	0.60~2.78	0.96	0.60~1.40	1.47	0.93~2.07	2.02	0.69~3.57	2.54	1.60~3.15	1.67
T-N	0.52	0.35~0.76	0.39	0.30~0.55	0.48	0.36~0.66	1.00	0.58~1.78	0.90	0.61~1.12	0.66
T-P	0.004	0.003~0.004	0.003	0.002~0.005	0.006	0.002~0.013	0.007	0.004~0.012	0.019	0.008~0.034	0.008
Na	3.32	2.08~4.05	3.01	2.89~3.17	3.19	2.62~4.12	5.98	4.28~8.92	6.29	4.03~7.66	4.36
K	0.24	0.18~0.29	0.86	0.66~1.00	3.20	2.45~4.33	0.56	0.32~0.89	1.87	1.52~2.23	1.35
Ca	13.2	7.62~16.7	4.92	4.62~5.13	8.70	7.02~11.7	28.6	19.6~44.6	19.3	13.2~23.9	14.9
Mg	2.46	1.25~3.29	0.96	0.75~1.06	1.46	1.14~2.06	5.22	4.24~7.14	5.20	3.74~6.06	3.06
Cl	1.86	1.07~2.28	0.88	0.75~0.98	1.36	0.89~1.86	2.99	2.22~4.46	2.51	1.76~3.17	1.92
SO ₄	6.61	4.17~7.84	8.25	7.85~8.50	5.53	3.85~7.42	9.16	6.26~13.4	11.3	8.30~16.3	8.17
HCO ₃	43.5	24.8~56.6	16.1	15.2~17.6	39.9	29.8~47.4	71.9	46.0~99.0	75.7	49.0~95.0	49.4
SiO ₂	25.3	14.9~30.6	17.0	15.4~18.4	24.6	19.0~34.2	44.4	31.7~68.2	50.7	36.2~63.2	23.4
比流量	23.0	13.8~29.3	16.1	14.5~17.5	18.0	14.7~23.9	33.9	23.4~51.6	31.2	18.5~37.0	24.1

単位 比流量: ℓ/km²・sec 比負荷: kg/km²・day

一方、主要イオンについて当量濃度（平均値）をみると河川水、湧水ともカチオンでは $Ca \gg Mg > Na \gg K$ 、アニオンでは $HCO_3 \gg SO_4 > Cl$ と順序は同じであったが、それぞれの成分の占める割合はやや異なっていた。各調査地点毎にみるとカチオンでは河川水のNo 4, 5と湧水のJで $Mg < Na$ と逆になっていたが、他の地点はすべて同じ順序であった。アニオンは全地点とも同じ順序であった。

主要イオンの総当量濃度は河川水で平均1.28meq/ℓに対し湧水では2.20meq/ℓと約2倍の濃度で、ECの値も同様な傾向であった。

次に測定項目間の相関を求めた。一般に清浄な河川では水質項目間に相関はあまりみられない³⁾とされており、今回の結果もECとCa, HCO_3 が高い相関を示したが、他の成分間には相関がみられなかった。

一方、湧水ではCOD, T-P, SiO_2 以外の各成分間に高い相関があった。湧水の場合、地下水として各成分の供給源である岩石、土壌等と長時間接触して十分にかん養され両者の間には平衡状態が保たれていると考えられた。このことは付表2の湧水量が変動しても水質はほとんど変化がないことから推測された。

2. 河川水による流出負荷量

5地点で行った負荷量調査の結果を表3に示した。各調査地点の水質と流量から負荷量を算出しその流域面積で除し、単位面積当りの負荷量（比負荷）を示した。単位面積当りの流量（比流量）をはじめ各成分とも流域内、流域間でばらつきのある値を示した。

本調査の比負荷（平均値）と文献値を表4に示した。今回のT-Pはかなり低いレベルにあったが、他の成分は文献値とほぼ同様な値であった。比流量は日本全国の平水量時で $41.5 \ell / km^2 \cdot sec$ 、低水量時で $25.4 \ell / km^2$

表4 山林における水質成分の比負荷

項目	($kg / km^2 \cdot day$)		
	本調査	渡部 ⁹⁾	川村 ¹⁰⁾ 渡辺 ¹¹⁾
COD	1.67	8.2	1.53
T-N	0.66	0.9	0.59
T-P	0.008	0.052	0.022
Ca	14.9		13.7~37.7
Mg	3.06		2.94~11.9
Cl	1.92		2.16~20.5
SiO_2	32.4		33.0~91.6

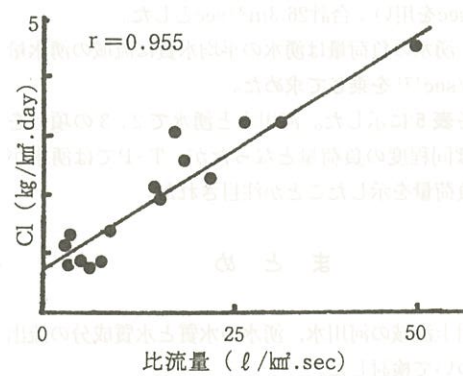
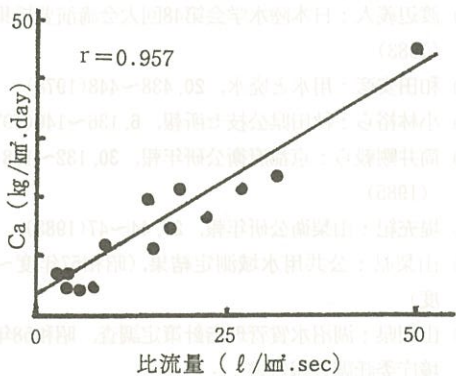
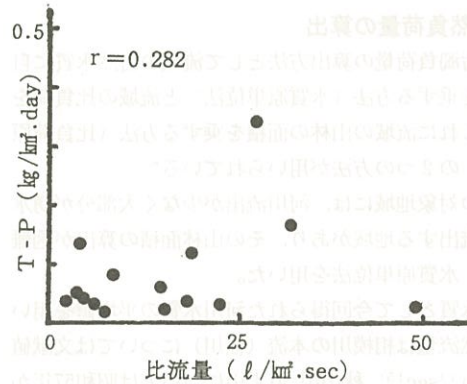
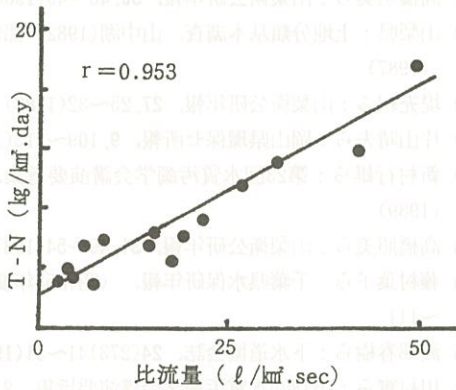


図2 河川水の比負荷と比流量の相関

表5 相模川上流域の自然負荷量
(ton/day)

項目	河川水	湧水	合計
COD	1.59	0.28	1.87
T-N	1.09	1.33	2.42
T-P	0.016	0.16	0.18
Na	4.89	8.10	13.0
K	1.25	1.80	3.05
Ca	18.5	14.7	33.2
Mg	3.45	5.74	9.19
Cl	2.50	4.42	6.92
SO ₄	13.2	9.68	22.9
HCO ₃	68.2	71.6	140
SiO ₂	36.8	42.7	79.5

・secと報告¹²⁾されており本調査の平均値 24.1ℓ/km²・secは低水量時に近い値であった。

比負荷と比流量は良好な相関関係にあり一次関数として表わせる^{13, 14)}ことから両者の相関を求め、図2に4例の相関図を示した。T-P, Kを除き高い相関があり、各成分の比負荷はT-N=0.035×比流量-0.19のように比流量の一次関数として表すことができた。

3. 自然負荷量の算出

自然汚濁負荷量の算出方法として流域の自然水質に自然流量を乗ずる方法(水質原単位法)と流域の比負荷を求め、これに流域の山林の面積を乗ずる方法(比負荷原単位法)の2つの方法が用いられている⁸⁾。

今回の対象地域には、河川流出が少なく大部分が湧水として流出する地域があり、その山林面積の算出が困難なため、水質原単位法を用いた。

自然水質として今回得られた河川水質の平均値を用いた。自然流量は相模川の本流(桂川)については文献値の21.0m³/sec¹⁵⁾、秋山川、道志川については昭和57年から5年間の流末での測定値¹⁶⁾を平均した1.2m³/sec、4.1m³/secを用い、合計26.3m³/secとした。

一方、湧水の負荷量は湧水の平均水質に流域の湧水量16.0m³/sec¹⁷⁾を乗じて求めた。

結果を表5に示した。河川水と湧水で2, 3の項目を除きほぼ同程度の負荷量となったが、T-Pでは湧水が10倍の負荷量を示したことが注目された。

まとめ

相模川上流域の河川水、湧水の水質と水質成分の流出特性について検討した。

1. 相模川上流域の河川水質は調査地点間で差はみられたが平均値はpH 7.5, EC 69.5 (μS/cm), SS 1.0, COD 0.7, T-N 0.48, T-P 0.007, Na 2.15, K 0.55, Ca 8.14, Mg 1.52, Cl 1.1, SO₄ 5.8, HCO₃ 30.0, SiO₂ 16.2 (mg/ℓ)で、非常に清澄な水質であった。一方、湧水の水質はCODが河川水より低い濃度であったが、他の成分はいずれも高い値を示し、特にT-Pは約16倍の値であった。
2. 水質項目間の相関は河川水ではあまりみられなかったが、湧水ではT-P, K, SiO₂を除く多くの項目間に高い相関があった。
3. 河川水の比流量と比負荷はほぼ文献値の範囲内であったがT-Pはかなり低いレベルにあった。
4. 相模川上流域の自然系からの水質成分の負荷量を算出したところ、河川水と湧水による負荷量がほぼ同程度であったが、T-Pは湧水のほうが10倍多くなっていた。

文 献

- 1) 鷹野茂夫ら：山梨衛公研年報, 28, 40~46(1984)
- 2) 高橋照美ら：山梨衛公研年報, 30, 46~49(1986)
- 3) 山梨県：土地分類基本調査, 山中湖(1982) 都留(1987)
- 4) 堤充紀ら：山梨衛公研年報, 27, 25~32(1983)
- 5) 片山晴夫ら：岡山県環境セソ報, 9, 109~113(1985)
- 6) 新村行雄ら：第23回水質汚濁学会講演要旨集, 233(1989)
- 7) 高橋照美ら：山梨衛公研年報, 31, 49~54(1987)
- 8) 藤村葉子ら：千葉県水保研年報, (昭和58年度)101~111
- 9) 渡部春樹ら：下水道協会誌, 24(273)41~51(1987)
- 10) 川村實ら：第18回水質汚濁学会講演要旨集, 210(1984)
- 11) 渡辺義人：日本陸水学会第48回大会講演要旨集, 26(1983)
- 12) 和田安彦：用水と廃水, 20, 438~448(1978)
- 13) 小林裕ら：秋田県公技セソ報, 6, 136~146(1979)
- 14) 筒井剛毅ら：京都府衛公研年報, 30, 132~138(1985)
- 15) 堤充紀：山梨衛公研年報, 27, 44~47(1983)
- 16) 山梨県：公共用水域測定結果, (昭和57年度~61年度)
- 17) 山梨県：湖沼水質管理指針策定調査, 昭和58年度環境庁委託調査報告書

付表1 相模川上流域の河川水質（2例の平均値）

地点No. 河川名	1 新田沢	2 狩屋野	3 奥野沢	4 真木	5 葛野	6 大幡野	7 菅野	8 櫛沢	9 室久保	10 三ヶ瀬	11 道志	12 留鹿	13 柄杓流	14 朝日	15 大旅	16 大の入	17 秋山
pH	7.5	7.5	7.4	7.5	7.3	7.4	7.6	7.7	7.5	7.4	7.4	7.6	7.6	7.6	7.7	7.7	7.7
EC	94.5	61.4	62.5	54.3	40.4	52.1	78.5	76.5	54.4	70.3	57.1	70.2	74.9	76.6	76.2	77.4	104
SS	1.4	0.6	0.7	1.5	0.3	1.1	1.1	1.1	1.6	0.9	0.5	1.9	0.9	0.2	0.5	2.2	1.3
COD	0.6	0.5	0.4	0.9	0.6	0.4	0.5	0.6	0.6	0.6	1.8	1.4	0.4	0.6	0.4	0.8	0.9
T-N	0.77	0.53	0.55	0.53	0.34	0.36	0.33	0.44	0.44	0.65	0.31	0.50	0.48	0.34	0.38	0.52	0.57
T-P	0.005	0.005	0.004	0.007	0.006	0.006	0.005	0.015	0.007	0.006	0.010	0.014	0.005	0.005	0.005	0.006	0.007
Na	2.37	1.86	1.98	1.91	2.03	1.52	2.28	2.43	2.05	1.78	2.05	2.19	2.33	1.93	2.46	2.48	2.90
K	0.68	0.46	0.30	2.05	0.70	0.18	0.63	0.23	1.32	0.57	0.67	0.77	0.20	0.18	0.15	0.20	0.17
Ca	11.0	7.92	7.68	5.38	3.87	6.39	8.80	9.59	5.36	8.22	6.47	7.51	9.18	9.43	9.78	9.18	12.7
Mg	2.14	1.16	1.31	0.80	0.60	1.07	2.09	2.23	1.33	1.48	1.57	1.88	1.78	1.75	1.70	1.72	2.11
Cl	1.6	0.9	0.9	0.9	0.7	1.1	1.2	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.3	1.0	1.1	1.3	1.4
SO ₄	10.3	4.8	8.6	4.4	5.7	3.5	6.6	3.9	4.0	10.6	4.5	7.0	4.8	3.7	4.1	4.0	8.8
HCO ₃	27.4	24.4	20.8	21.4	11.2	21.6	33.2	38.2	24.6	27.8	32.2	35.4	34.2	36.2	16.6	39.2	44.6
SiO ₂	14.1	14.9	12.0	14.2	12.1	12.5	20.2	16.7	16.3	15.7	19.5	18.8	15.7	14.9	15.7	18.3	14.9

単位 EC: $\mu\text{S}/\text{cm}$ COD等: mg/ℓ

<0.01, <0.001はそれぞれ0.1, 0.001として平均値を求めた。

付表2 相模川上流域の湧水の水質（1987年）

地点記号(図1)	A 八海はんの木	B 泉魚苗センター	C 明	D 富士の泉	E 下の水	F 永寿院	G 重沢	H 田原滝	I 熊太郎	J 泉端
採水日	7.30	10.7	7.30	7.29	7.29	11.9	10.6	10.6	10.6	10.6
気温(°C)	29.0	21.6	28.6	30.4	30.4	10.5	18.0	17.0	16.5	14.5
水温(°C)	13.0	11.2	11.5	12.4	11.4	13.1	13.6	12.8	13.2	9.4
pH	7.5	7.9	7.6	7.2	7.7	7.3	7.7	7.6	7.6	8.2
EC($\mu\text{S}/\text{cm}$)	133	103	114	122	128	132	198	127	158	65.0
COD(mg/ℓ)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.8	0.2	0.6	<0.1	<0.1
T-N	0.93	0.68	0.91	0.83	0.67	1.31	1.66	1.13	1.39	0.10
T-P	0.144	0.153	0.156	0.160	0.167	0.068	0.082	0.048	0.089	0.089
Na	5.04	4.83	6.00	6.61	5.44	5.14	9.32	5.00	7.30	4.02
K	1.32	1.08	1.41	1.32	1.44	1.22	1.71	1.13	1.42	0.42
Ca	12.3	13.4	9.46	10.1	10.8	13.2	14.6	10.9	12.1	5.54
Mg	4.86	4.80	4.12	4.32	3.92	3.84	6.51	3.94	4.92	1.62
Cl	2.3	2.0	2.2	2.3	2.7	4.6	7.4	2.9	4.7	0.5
SO ₄	4.6	4.5	4.3	6.0	5.3	9.8	17.1	7.9	10.7	1.4
HCO ₃	65.2	65.0	51.8	54.0	47.4	52.0	65.0	47.6	56.6	32.0
SiO ₂	38.5	38.8	36.4	33.0	34.2	27.4	28.5	25.7	32.2	23.0
湧水量(m^3/sec)	0.48	0.67	1.85	—	—	—	—	—	—	—