相模川水系水質の地域変動 — 主要及び微量成分から見た水域分類 —

天谷 仁一, 岩下 正人*, 島村 匡*

北里大学 衛生学部

*北里大学 医療衛生学部

(〒228-8555 神奈川県相模原市北里1-15-1)

[平成 9 年10月15日受理]

Regional Variation of Water Quality in Water System of Sagami River — Classification of Water Areas by Major and Minor Components —

Jin-ichi AMAGAI, Masato IWASHITA and Tadashi SHIMAMURA

School of Hygienic Sciences, Kitasato University

*School of Allied Health Sciences, Kitasato University

(1-15-1 Kitasato, Sagamihara, Kanagawa 228-8555)

[Received October 15, 1997]

Summary

Survey studies on the concentrations of major to trace components (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , NO_3^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , As, Cd, Pb, Ni, Mo, Sb, Al, V, Zn and Rb) were carried out in Sagami river and its tributaries for four months at 43 points. Water system of Sagami river was classified by hexa-diagram and radar-graph that represented the concentration of dissolved components in river water of each area. We made flow charts in which hexa-diagrams and radar-graphs were arranged along the water flow so that the changes of water quality can be visually recognized.

Water system of Sagami river was classified into 16 areas. The influences of tributaries onto Sagami river main stream can more clearly be seen by the trace elements better than major components. This is because concentration differences of the trace elements between main stream and tributaries are, in many cases, considerably large.

Key words: River water, classification of water, trace element, inductively coupled plasma mass spectrometry, hexa-diagram

1. はじめに

環境庁は、環告第59号「水質汚濁に係る環境基準について」の中で、河川の水域をその利用目的の適応性に応じて分類しており、pH, BOD, SS, DO, 大腸菌群数の5項目を基準に行っている¹⁾。これらの分類は1つの河

川水系のなかのいわゆる本流と呼ばれている水域でのみ行っており、支流については評価はされていない。また、その本流についても、上流から下流までを4区間程度にしか分割せずに分類しており、局所的な水域の分類が行われていない¹⁾。他に栄養塩類によっても分類を行っているが²⁾、これは主に湖沼や海域についてであり、しか

本研究では、山梨県と神奈川県を流れる一級河川の相模川（山梨県側では桂川と称する）とその水系において調査する水域を大幅に増やし、支流を含めた水域の分類を行った。更に河川の流れに沿って水質を調べ、河川水質の流下による変動、支流が本流に及ぼす影響についても調査を行った。本報では、水質の指標として、主要イオン及び河川水中で濃度変動の幅が大きい微量金属元素に注目し、これらの存在パターンの相違からより詳細な分類とその検討を行ったので報告する。

2. 1 測定イオン及び微量金属元素

2. 2 採水地点と採水方法

Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻測定用試料は、採取した河川水をポリプロピレンボトルに一度共洗いしてから入れ、4℃で冷蔵保存した。

また、Ca, Mg, Na, K, As, Cd, Pb, Ni, Mo, Sb, Al, V, Zn, Rb 測定用試料は、採取した河川水を0.45 μ mのメンブランフィルター（アドバンテック東洋株式会社製）に通してポリプロピレンボトルに入れ、その場でpH1となるように超高純度硝酸（Tamapure-AA-100）を加えてよく振とうし、4℃で冷蔵保存した。

採水は1996年8月から11月までの4カ月間、相模川上流域、中・下流域及びその支流の鳩川流域における計43地点（8月については40地点）で、毎月1回行った。

2.3 分析方法

Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻の測定はイオンクロマトグラフィー (YOKOGAWA IC7000) を使い、カラムには Excecpak

ICS-23 (YOKOGAWA) を使用して検量線法により行った。イオンクロマトグラフィーの分析条件を Table 1 に示す。溶離液は3.0mM 炭酸ナトリウム溶液を、除去液には15.0mM 硫酸溶液を用いた。測定試料はオートサンプラー (YOKOGAWA PS7000) を用いて連続測定を行った。

Na^+ , K^+ の測定は原子吸光分析装置 (HITACHI 170-10 形) で行った。

HCO_3^- の測定は硫酸との中和滴定により行った。河川水の pH が中性付近のため、総アルカリ度を炭酸水素アルカリ度とした⁵⁾。

Ca, Mg, As, Cd, Pb, Ni, Mo, Sb, Al, V, Zn, Rb の測定は誘導結合プラズマ質量分析計 (ICP-MS YOKOGAWA PMS2000) を用いて内標準法により行った。ICP-MS の分析条件を Table 2 に示す。またこの条件での測定感度, 正確さを確認するために, 河川水標準試料 SLRS-3 (NRC, Canada) の測定を行った。Table 3 に SLRS-3 の測定値を認証値とともに示す。ほとんどの元素で測定値は保証値とよく一致するが, Co, Zn, Sb などでは一致が悪い。Co には CaO が干渉するが, Sb については妨害イオンはよく分かっていない。Zn は実験環境中のバックグラウンドが高いことによる汚染が考えられる。

内標準元素には Sc, Ga, In, Lu (原子吸光分析用標準液 和光純薬工業株式会社製) を用い, Ca, Mg, Al, V, Ni には Sc, Zn, As, Rb, Mo には Ga, Cd, Sb には In, Pb には Lu を内標準元素として使用した。

Table 1 Running conditions of ion chromatography (IC 7000 Yokogawa analytical systems)

Column:	Excelpak ICS-A23
Detector:	Conductivity Detector
Eluent:	3.0mM Na_2CO_3
Flow rate:	1.0ml/min
Injection volume:	50 μl

2. 4 主要イオン・微量金属元素濃度の表記法

2. 4. 1 ヘキサダイアグラム

Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , NO_3^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} 濃度は, それぞれミリ当量値に換算し, Fig. 2 の A に示すようなヘキサダイアグラムを作成した。右側に陽イオン, 左側に陰イオンを配し, ミリ当量値は中線からの距離で表し

Table 3 Analytical results of standard substance (SLRS-3: NRC, Canada)

Element	Certified	Found
Aluminium ($\mu\text{g}/\ell$)	31 $\pm$ 3	33 $\pm$ 3
Antimony ($\mu\text{g}/\ell$)	0.12 $\pm$ 0.01	0.16 $\pm$ 0.01
Arsenic ($\mu\text{g}/\ell$)	0.72 $\pm$ 0.05	0.8 $\pm$ 0.02
Barium ($\mu\text{g}/\ell$)	13.4 $\pm$ 0.6	13.8 $\pm$ 0.5
Cadmium ($\mu\text{g}/\ell$)	0.013 $\pm$ 0.002	0.014 $\pm$ 0.001
Cobalt ($\mu\text{g}/\ell$)	0.027 $\pm$ 0.003	0.033 $\pm$ 0.002
Copper ($\mu\text{g}/\ell$)	1.35 $\pm$ 0.07	1.38 $\pm$ 0.27
Iron ($\mu\text{g}/\ell$)	100 $\pm$ 2	108 $\pm$ 22
Lead ($\mu\text{g}/\ell$)	0.068 $\pm$ 0.007	0.08 $\pm$ 0.015
Manganese ($\mu\text{g}/\ell$)	3.9 $\pm$ 0.3	4.1 $\pm$ 0.2
Molybdenum ($\mu\text{g}/\ell$)	0.19 $\pm$ 0.01	0.2 $\pm$ 0.01
Nickel ($\mu\text{g}/\ell$)	0.83 $\pm$ 0.08	0.85 $\pm$ 0.04
Strontium ($\mu\text{g}/\ell$)	28.1	32 $\pm$ 0.8
Uranium ($\mu\text{g}/\ell$)	0.045	0.045 $\pm$ 0.002
Vanadium ($\mu\text{g}/\ell$)	0.3 $\pm$ 0.02	0.3 $\pm$ 0.05
Zinc ($\mu\text{g}/\ell$)	1.04 $\pm$ 0.09	1.37 $\pm$ 0.16
Calcium (mg/ ℓ)	6 $\pm$ 0.4	5.8 $\pm$ 0.3
Magnesium (mg/ ℓ)	1.6 $\pm$ 0.2	1.6 $\pm$ 0.1

Errors shown in column 3 are standard deviations of 10 independent measurements. Errors shown in column 2 are 95% confidence limits.

Table 2 Running conditions of ICP-MS (PMS 2000 Yokogawa analytical systems)

R.F. power:	1300 w
Carrier gas flow rate:	0.82 ℓ /min
Aux. gas flow rate:	1.1 ℓ /min
Plasma gas flow rate:	15.0 ℓ /min
Sampling depth:	4.8 min
Sampling uptake rate:	0.2 ml/min
Number of measuring points:	3 points/peak
Integration time:	Mg, Al, Ca, V, Ni, Zn, As, 10 ms/point
	Rb, Mo, Sb, Pb
	Cd 100 ms/point

Fig. 2 Flow charts of basin of upper stream

た。NO₃⁻については黒く塗りつぶした部分で表した。

ヘキサダイアグラムは主に地下水系の水質の解明に使用されているが⁶⁾、本研究では河川水に応用した。

2. 4. 2 レーダーグラフ

As, Cd, Pb, Ni, Mo, Sbについては、Fig. 2のBに示すようなレーダーグラフを作成した。上半分に環境基準項目であるAs, Cd, Pb, 下半分に要監視項目であるNi, Mo, Sbを配し、それぞれの環境基準値・指針値を点線で表した。これら微量金属元素は濃度変動が大きいため軸には原点が1 ng/lの対数目盛を用いた。従って、場合によりグラフ上負の値をとる場合もある。

また、Al, V, Ni, Zn, Rb, Moのレーダーグラフは、Fig. 2のCに示すような、原点が0.1 μg/lの対数目盛表示とした。

2. 4. 3 フローチャート

以上のように作成したヘキサダイアグラム及びレーダーグラフを、実際の河川の流れと同様に並べたフローチャートを上流域、鳩川流域、中・下流域に分けて作成した。これをFig. 2～Fig. 4に示す。本流を中央に配し、上流に向かって右岸から流入してくる河川を右側に、左岸から流入してくる河川を左側に配置し、地理的な要素も読みとれる様にした。発電用水路へ取水される場所には二重丸(◎)を付け、本流から左に向かって矢印を引いた。ヘキサダイアグラムにはpH値と電気伝導度(EC)を付記した。

また、水の流れを矢印の方向であらわし、矢印は流量の違いによって種類を変え、支流が本流に与える影響について見やすいように示した。流量は5段階に分類し、その段階ごとに矢印の太さ及び種類を変えた。また、地形上の関係で流量測定が行えない上流域の忍草(S-7-2)、発電用水、中・下流域の小倉橋(S-1)、寒川取水堰(S-7-2)、津久井湖については、それぞれの採水点の上、下流の流量及び取水の状況などにより流量を推定した。フローチャートは各月ごとに作成した。

3. 結果

4ヶ月のデータのうち、今回は1996年11月のフローチャートをもとに考察を行った。

まず全水域における測定成分の濃度レンジをTable 4に示す。⁷⁵Asについては、試料中にCl⁻が高濃度で存在すると、キャリアガスであるArとCl⁻が反応して⁴⁰Ar³⁵Cl⁺が生成し、干渉が大きくなるため、濃度補正⁷⁾を行いその結果を記した。

3. 1 上流域

上流域におけるヘキサダイアグラム(以下グラフA)、環境基準・要監視項目のレーダーグラフ(以下グラフB)、相模川水系で特異的な濃度変動を示す元素のレーダーグラフ(以下グラフC)のフローチャートをFig. 2に示す。新名庄川、忍野八海、及び本流のK-7-2、

〈Hato river〉

Ⓒ

〈Uba river〉

〈Douho river〉

Sagami river

Table 4 Concentration ranges and isotopes used for measurements

Component	measured isotope	concentration range
Al (ng/ℓ)	27	460~35000
V (ng/ℓ)	51	560~49000
As (ng/ℓ)	75	120~720
Ni (ng/ℓ)	62	14~183000
Zn (ng/ℓ)	66	410~330000
Rb (ng/ℓ)	85	100~6200
Mo (ng/ℓ)	95	30~210000
Cd (ng/ℓ)	111	0.2~330
Sb (ng/ℓ)	121	10~2400
Pb (ng/ℓ)	208	0.4~1040
Ca ²⁺ (mg/ℓ)	43	9.6~230
Mg ²⁺ (mg/ℓ)	26	2.2~11.1
Na ⁺ (mg/ℓ)	—	3.3~260
K ⁺ (mg/ℓ)	—	0.5~8.2
SO ₄ ²⁻ (mg/ℓ)	—	2.8~790
NO ₃ ⁻ (mg/ℓ)	—	1.1~630
HCO ₃ ⁻ (mg/ℓ)	—	37~160
Cl ⁻ (mg/ℓ)	—	1.8~390

K-7-3はどのグラフも相違は見られず、本流においても忍野八海をはじめとする富士周辺の湧水起源の水が主要であることを示しているが、K-6-2で Na, K, Pb, Sb, Al, Zn が増加していた。K-6-2の30m ほど上流には両岸から農業用水及び生活雑排水と思われる水が流入しており、その影響と思われる。ところがその下流であるK-6-4においてはSb, Pbなどの増加は見られず、グラフA, B, Cともに最上流部のK-8-1, K-8-2のものとはほとんど同じ形態を示した。これは、支流のK-6-3の水と本流が合流した後、本流の水は発電用水として全て取水されており、空になった本流の水路にK-6-4の周辺から湧出している湧水が集まって流れているためと思われる。この湧水はK-8-1と同様、富士山起源の湧水である事が分かっており、その水質が類似しているのは当然と言える。この様に河川の水質は、その周辺の水利用の状況を正確に反映していることがわかる。

K-6-4の下流でも発電用水として本流の水が全て取水されており、その後の本流の水路には支流の水が集まって流れているという状況になっている。これらの支流(K-6-5, K-6-6, K-6-7等)の水質は月によりかなり変動しており、取水により流量の少なくなった、もしくは無くなった本流の水路にこれら支流の河川水が流入して

Fig. 4 Flow charts of basin of midstream and downstream

いる。このため毎月の本流のグラフの形、大きさの変動が著しかった。本流の右側（地理的には北側）から流入する K-6-6, K-9-2, K-9-3, K-9-4 はグラフ A, グラフ C のどちらも他の水域とは異なる特徴的な形を示している。これは地質的な影響によるものと思われる。

計 4 カ所で取水される河川水は、20km 程下流の K-9-5 と K-9-4 の合流後の地点に放流されており、本流の流量が $100\text{m}^3/\text{min}$ 前後から約 $3000\text{m}^3/\text{min}$ に急激に増加している。K-9-7 はグラフ A で見ると K-6-4 のものに類似しており、水質が上流部の水質に戻っているように見える。しかしながら、K-9-7 のグラフ B, C は K-9-1 のものと類似しており、特に Ni, Pb, Sb の濃度に同一の特徴が見られる。また、河川水の流下に伴い V が減少する傾向が見られるが、これは V 濃度の低い支流による希釈効果と思われる。

3. 2 鳩川流域

鳩川流域における 3 つのフローチャートを Fig. 3 に示す。

3. 2. 1 鳩川

鳩川は相模原市の生活雑排水の約 3 分の 1 と工場排水が流れ込んでいるため⁸⁾、水質の変動が激しく、採水地点ごとにおける毎月のグラフパターンに規則性は見られなかった。また、グラフ A, B, C はともに上流域とは形、大きさが異なり、特に $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Cl^- , Ca^{2+} が $1\text{meq}/\ell$ と高濃度を示す傾向があった。これらのことから鳩川の河川水中には天然水があまり含まれていないことが分かる。さらに、H-2 の 3 つのグラフはいずれも生活雑排水系の生下水のグラフと類似しており（天谷ら、未発表データ）、生活雑排水は未処理のまま放流されている可能性が高い。

3. 2. 2 姥川

同様に、姥川においても毎月のグラフパターンが形、大きさともに変動が著しく、またグラフ A, B, C ともに他のどの水域とも類似しない形態を示した。ヘキサダイアグラムは、グラフの濃度スケールを他の河川の 5 分の 1 にしてあるのにも関わらず形が大きく、 Mg^{2+} , HCO_3^- を除いた主要イオンはかなり高濃度であった。特に U-4-2 においては $\text{Na}^+ 11.3\text{meq}/\ell$, $\text{Ca}^{2+} 11.4\text{meq}/\ell$, $\text{SO}_4^{2-} 16.4\text{meq}/\ell$, $\text{Cl}^- 1.9\text{meq}/\ell$, $\text{NO}_3^- 10.2\text{meq}/\ell$ であった。微量元素も Ni が $0.18\text{mg}/\ell$, Mo が $0.21\text{mg}/\ell$ とそれぞれの環境指針値である $0.01\text{mg}/\ell$, $0.07\text{mg}/\ell$ を大きく超えており、EC も $1000\mu\text{S}/\text{cm}$ 以上と非常に高く、鳩川よりも劣悪な水質であった。このように姥川は他の水域とは異なる水質を示し、また生下水が主の水とも考えられない。姥川のヘキサダイアグラムの形は、酸性の温泉

Fig. 5 Result of classification of water areas

水⁹⁾や浄化槽の処理水（天谷ら，未発表データ）のものと類似しているが，温泉水はpHが低く全体の濃度が2倍以上高いこと，浄化槽処理水は全体の濃度が5分の1以下と低いことからこれらの水であるとも考えられな

い。以上のことから姥川の水は工場排水が主である可能性が高い。事実姥川には工業団地からの雨水管から水が流入している¹⁰⁾。しかし工場排水であったとしても，どの工場から排出されている排水であるかは確認できない

ため、どのような業種の排水に特徴的な濃度パターンなのかまでは今のところ言及できない。

姥川が鳩川に流入した後の水域である H-1, H-0 は、A, B, C のどのグラフで見ても姥川の水質に類似した濃度パターンを示しており、姥川の水がこの水域の水質を支配していることは明らかであった。

3. 2. 3 道保川

道保川は地下水起源の流量の少ない河川であり、ホタルなどの清流を好む生物が生息しており汚濁は少ないと思われたが、地質由来とは考えにくい NO_3^- 濃度が 1.0 meq/l 前後であった。硝酸性窒素としては 7 mg/l であり、飲料水基準の 10 mg/l ¹¹⁾ を下回っているとはいえ高濃度であった。地下水の硝酸性窒素の汚染源は主に農業で使用される窒素肥料であり、地表面全体から広域的に進行する¹²⁾。道保川周辺地域には畑地や果樹園が多く、ここで使用される窒素肥料が原因と思われる。道保川ではないが、 1 mg/l であった地下水中の硝酸性窒素濃度が12年間で基準値の 10 mg/l を超え、そののち加速度的に上昇したという報告もあり¹³⁾、引き続き監視を行う必要があろう。

鳩川に流入後は鳩川の水質に影響を与えるほどではなかった。

3. 3 中・下流域

中・下流域における3つのフローチャートを Fig. 4 に示す。津久井湖には相模川の他に道志川が流入している。この河川は降水起源の水が支配的であるため、湧水の割合が多い K-8-1 や K-7-2 とは異なった濃度パターンを示した。

鳩川が流入する S-3-1 と S-3-4 の間では主要イオン濃度の変化は見られないが、Pb, Ni, Mo の濃度が3倍近く増加している。流量の少ない一支流が10倍以上流量の多い本流にこれほどの影響を及ぼしている水域は他にはなく、汚濁の進行した河川の影響の大きさをうかがわせる。鳩川の流入に対して、または鳩川の水質に対して何らかの対策が必要であると思われる。

本流の左側（西側）から流入する N-1, KA-1, ST-1 は、グラフ A, B, C とともに鳩川流入後の本流のものと相違があまり見られなかったものの、Ni 濃度が比較的低い傾向を示した。ST-1 だけは HCO_3^- が毎月 1.7 meq/l 前後と本流よりやや高い濃度を示した。

右側（東側）から流入する NI-1, M-1 は本流に対して Pb, Ni, Rb が2倍から10倍程度高濃度であった。NI-1, M-1 には工場排水が流入しており、その影響と思われる。

3. 4 水域分類

以上の結果より、Fig. 5 に各水域の水域分類を示した。

上流域は (1) 忍野八海、新名庄川、本流の K-7-2, K-7-3, K-6-4, (2) K-6-2, (3) K-6-3, (4) K-6-5, (5) K-6-6, (6) K-6-7, K-9-1, K-9-7, (7) K-9-5, (8) K-9-2, K-9-3, K-9-4 の8つに分類された。

鳩川流域は (9) H-2 から H-5, (10) U-4 から U-1 と、H-1, H-0, (11) DH-3 と DH-1 の3つの水域に分類された。

中・下流域は、本流は (12) 鳩川流入前の津久井湖, S-1, S-3-1, (13) 鳩川流入後の S-3-4, S-6, S-7-2 の2つの水域に分類され、支流は (14) 西側から流入する N-1, KA-1, ST-1, (15) 東側から流入する NI-1, M-1, (16) 津久井湖に流入する D-1 の3つに分類された。

4. 考察

相模川水系は全部で16の水域に分類された。相模川本流だけでも6つの分類があり、河川水の流下及び支流の流入により水質が様々に変化している様子がうかがえた。従来より汚濁の指標とされている BOD や SS といったものより濃度変動の幅が大きい微量金属元素、主要イオンを用いることによって、河川水質の変動や水域分類がより詳細に把握することが出来た。

今回は河川水中の成分濃度パターンから各水域の分類を行ったが、流量から各々の成分の負荷量を求めることにより、より詳細な物質収支の様子が把握できるとと思われる。また、今回の調査は8月から11月までの4カ月間しか行っていないが、河川水質には季節変動が見られることが分かっており¹⁴⁾、1年を通した調査を行えば季節による水域分類が行えるであろう。

姥川については工場排水が流入していると考えられ、また相模川本流の水質に影響を与えているため、経時的な水質変動を監視する必要がある。

謝 辞

水質分析にあたり、数々の助力をいただいた蓮沼彰君、伊東英毅君に感謝いたします。

要 約

相模川の水域分類について従来の BOD や SS ではなく、河川水中の微量金属元素、主要イオンを指標としたヘキサダイアグラム、レーダーグラフからその溶存パターンにより分類を試みた。またこれらのグラフを河川の流れに沿って並べたフローチャートを作成し、河川水質の流下による変化、支流の流入の影響等を調べた。

本流から発電用水が取水され流量が減少する水域では、支流の流入の影響が明瞭に表れていた。上流域で取水された河川水が20km 程下流に放流されており、河川水質が上流のものに戻るといふ現象が起きている。

鳩川、姥川は生活雑排水及び工場排水による汚濁が進んでおり、本流に比べ流量が10分の1以下と少ないにも

関わらず、本流流入後 Pb, Ni, Mo の濃度を上昇させていた。

調査を行った43地点は16の水域に分類され、それぞれの水域に特徴が見られた。フローチャートを用いることで河川水の流下による溶存物質の変動の様子を視覚的に把握することが出来た。

文 献

- 1) 環境庁環境法令研究会：「環境六法 平成 6 年版」中央法規出版 pp.550, 554, 605 (1994)
- 2) 茅陽一：「'96/'97 環境年表」オーム社 pp.133, 135 (1995)
- 3) 水収支研究グループ：「地下水資源・環境論—その理論と実践—」共立出版 pp.146, 154, 155, 173 (1995)
- 4) 岩下正人, 安藤寛, 影山英紀, 島村匡：誘導結合プラズマ質量分析法による相模川水系の水質評価. 分析化学, **43**, 927-930 (1994)
- 5) 厚生省環境衛生局水道環境部：「上水試験方法 1978年版」日本水道協会 pp.206 (1978)
- 6) 横山尚秀, 荻野喜作, 平野富雄, 小沢清：足柄平野下流部の地下水について. 神奈川県温泉地学研究所報告. **12**, No.2, 95-106 (1980)
- 7) Shimamura, T. and Iwashita, M. : Determination of Major and Trace Elements for Certified Reference Material of Riverine Water JAC 0031 and Jac 0032 by ICP-MS. *Analytical Science*, **13**, 177-182 (1997)
- 8) 相模川懇話会：「よみがえれ相模川 私たちのリバー・ウォッチング」合同出版 pp.24 (1989)
- 9) 吉岡いずみ, 島村匡, 石坂信之, 平野富雄：火山地帯の温泉等による河川水質の変化 (箱根大涌谷周辺). 温泉科学, **46**, No3, 142 (1996)
- 10) 相模原市：相模原市河川図 平成 6 年 4 月現在 (1994)
- 11) 日本化学会：「環境の基準」丸善 (1979)
- 12) 寺尾宏, 梶川正勝, 森下有輝, 加藤喜久雄：畑作地帯の地下水に対する農薬, 肥料の影響. 地球化学, **19**, 31-38 (1985)
- 13) 永井茂：地下水の無機汚染の実態と問題点. 月刊水, **32**, No9, 18-25 (1990)
- 14) 島村匡, 岩下正人, 松宏典：相模川水系の微量元素濃度の経時変化. 第56回分析化学討論会講演要旨集, pp.23-24 (1995)