農・生物試料の実用放射化分析技術(Ⅶ)[†]

(5) 河川水中の微量金属元素の放射化分析

永塚 澄子

東京都立アイソトープ総合研究所

158 東京都世田谷区深沢2-11-1

1. はじめに

動・植物試料中の微量元素の挙動を取り扱う場合、その環境としての河川水は重要な要素の一つである。前号までの土壌、植物試料などの放射化分析に比べると水試料の放射化分析には、まだ解決しなければならないいくつかの問題点がある。そのため水の放射化分析法についても一定の方法が定められているわけではない。その困難な問題の第一は、原研炉の JRR-2,3 および京大炉の KUR などでは水試料を直接原子炉で照射できないことである。また立教炉の TRIGA-II 型のような小型の原子炉でも大容量の水試料は照射できない。一方環境試料の分析では 1 元素の定量に止ることなく他元素との相関が非常に重要になる場合が多いので、感度が高く、非破壊法で多元素の同時定量の可能な放射化分析法は、非常に有用な分析法の一つとして考えられる。そこで「前処理による汚染がない」という放射化分析法の最大の利点を捨てても現在では水の前濃縮法が種々検討されている。前濃縮法としては凍結乾燥、蒸発乾燥、共同沈殿、イオン交換、溶媒抽出、電解析出、それに最近では活性炭による吸着などが研究されているが、しかしいずれの方法でも単独の手法では全元素の定量は不可能である。たとえば凍結乾燥法でも Hg, As, Cu などの定量は困難であると報告されている。そこで筆者らはいくつかの方法を組み合わせた前濃縮法を利用し、放射化後は非破壊法で定量する方法を実施した結果、バックグラウンドレベル

に近い河川水中の 20 数種の微量元素を定量してきたので、それらの方法について述べる。

2. 河川水の採取

放射化分析に限らず、一般の分析法においても、環境試料の分析ではサンプリングが正しく行われているか否かということは重要な問題である。河川水の場合はまず目的に適した採水点を決定することが第一であるが、大体の目安として、採水が容易であることと水質が均一であることに注意する必要がある。河川での採水部位は一般に流心とし表層水を採取する。採水は晴天が数日つづいたのちに実施し、採水直前に河川水の色、濁度、水温、導電率、pH などを測定して記録する。このためには携帯用の水質チェッカーなどが市販されている。容器としては硬質ガラス製の細口びんがしばしば用いられるが、この場合はアルカリが溶出するからアルカリ金属を定量する場合には注意を要する。一般にはポリエチレン製のびん (5~10 l) が軽くて衝撃に対しても強いので、よく利用されるが、水試料中の微量元素の容器への吸着は一般にガラスびんより大きい。容器はあらかじめ酸、純水で十分洗浄したものを採水直前に試水で 2~3 回洗浄して用いる。採水法は目的に応じて種々の試みが行われているが、徒渉できるような河川では川の中にはいって直接採水びんを沈めて採取する。直接採水できないような場合にはロープをつけたポリエチレン製のバケツを用いて、流心の水を汲み揚げ、直接容器に流し込む、またハロゲン元素の定量のためには別の小びん (1 l) に同時に採取する。

3. 保 存

採取した試水をろ過するか否かは分析目的によって異なるが、河川水の場合は採水時に浮遊していた物質は

[†] Practical Techniques of Activation Analysis to Agricultural and Biological Samples (Ⅶ). (5) Activation Analysis of Metal Trace Elements in River Water. Sumiko NAGATSUKA: Tokyo Metropolitan Isotope Research Center, 2-11-1 Fukazawa Setagaya-ku, Tokyo 158.

懸濁物として別に取り扱う。このため採水した試水は採取直後にすみやかにろ過しなければならない。ろ紙としては孔径 $0.45\mu\text{m}$ のミリポアフィルター(HAWP 14200white, plain, 142mm)あるいはマイクロフィルター(TYPE FM-45, DIA. 142mm)を利用する。ガラスろ過器のガラスフィルターの部分にろ紙を密着させ、これを耐圧びんに連結し、試水の一部であらかじめろ過系全体を洗浄したのち吸引ろ過する。ろ液はあらかじめ洗浄してあるポリエチレンびんに移し、微量元素の容器への吸着を防止するため、精製硝酸を添加してpHを1に調整して保存する。ハロゲン元素定量用の試水には酸は添加しない。採水直後にろ過が困難な場合、酸を添加してから実験室に持ち帰ってろ過した場合は、その分析結果は異なる。その一例をつぎに示す。同一場所で同時に採取した試水について、採取直後に懸濁物をろ過し、酸を添加してpHを1に調整したもの(A)と、採取後酸を添加して1日放置後ろ過した試水(B)について各元素を定量した結果を表1および2に示す。表1示したNa, Ca, Mgなどの主要元素については(A)および(B)の両者において大きな変動は観察されなかったのに対し、表2に示したFe, Al, Cu, Co, Zn, 希土類元素などでは、いずれも(B)において大きな値を示している。このことはこれらの微量元素がFeやAlの水酸化物とともに懸濁物中に浮遊していたものが酸の添加によって一部溶出したものと考えられる。このことから試水採取後はできるだけ速やかにろ過するよう配慮することが必要である。

4. 前濃縮

前濃縮法については前述のとおり種々の方法が検討されているが、筆者らは最も簡単な蒸発濃縮法と共同

沈殿法の利用により河川水中の20数元素の定量が可能であったので、これらの方法について述べる。

前濃縮法と照射、冷却、定量元素の概略図を図1に示したが、保存試水をあらかじめエバポレーターで約1/50程度(蒸発残さの出ないように注意する)に濃縮し、これを共栓の三角フラスコにとり、その濃縮率を求めておく。この濃縮液から1 l 相当分を分取し、以下それぞれの前濃縮を行う。

表1 サンプルングからろ過の過程で酸添加時期の違いによっても変化の見られなかった元素

元素 試料	Na (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	As (ppb)	Sb (ppb)	Se (ppb)
W-1A	2.4	12	1.1	2.0	0.2	0.03
B	2.5	13	1.3	2.1	0.2	0.03
W-2A	7.2	64	2.0	2.0	1.3	0.07
B	6.5	58	2.1	5.4	1.3	0.08
W-3A	6.0	56	1.6	2.5	1.1	0.08
B	6.3	51	3.1	4.8	1.1	0.05
W-4A	5.8	27	2.2	3.0	0.5	0.04
B	5.2	25	2.4	3.2	0.5	0.04

A サンプルングろ過一酸添加

B サンプルング一酸添加ろ過

4.1 蒸発濃縮法

あらかじめ恒量にした石英または硬質ガラス製の小型の蒸発皿に原水約1 l 相当分の濃縮水を取り、赤外線ランプで恒量になるまで蒸発乾固する。この間外部からの汚染を防ぐための注意をする。恒量になったらその蒸発残量を計り、この中から100mg前後を計りとり、小型のポリエチレン袋に封入しする。これを

表2 サンプルングからろ過の過程で酸添加時期の違いによって変化の観察された元素

元素 (ppb) 試料	Fe	Co	Mn	Cu	Zn	Al	Sc	La	Sm	Eu	Dy
W-1A	16	0.3	ND	0.6	11	29	0.002	0.02	0.006	0.001	ND
B	20	0.2	ND	1.3	—	30	0.002	0.06	0.009	0.001	0.006
W-2A	20	11	68	34	140	46	0.003	0.13	0.017	0.002	0.006
B	170	20	74	57	160	370	0.011	0.80	0.13	0.02	0.08
W-3A	27	7	38	15	120	51	0.007	0.11	0.01	0.001	0.002
B	280	12	54	40	140	500	0.046	0.65	0.14	0.02	0.08
W-4A	10	4	23	5	42	60	0.004	0.02	0.014	0.002	0.001
B	140	6	31	11	79	290	0.03	0.05	0.025	0.002	0.015

A サンプルングろ過一酸添加

B サンプルング一酸添加ろ過

図1 河川水の前濃縮処理から定量までの概略図

さらに厚手のポリエチレン袋に封入して照射試料とする。この試料は短時間照射用、長時間照射用の2個調製する。

4.2 水酸化鉄共沈法

この方法は蒸発残さ試料から定量できない As, W, 希土類元素の定量のために調製する。濃縮試水（原水約1l 相当分）を200ml ビーカーにとり、純水を加えて100ml とし、FeCl₃ 溶液1 ml (Fe として約5 mg) を加えたのちアンモニア水で中和する（セレンの定量のためには pH を5～6にする）。Fe(OH)₃ 沈殿を熱成させたのち、これを小型のろ紙（東洋ろ紙 No. 5A ϕ 5.5cm）でろ過、洗浄、乾燥する。乾燥試料はろ紙とともに小型のポリエチレン袋に封入し、さらに厚手のポリエチレン袋に封入する。この試料については試料調製ごとに複数のブランク試料を作成し、そのブランク値をチェックする。またこれらの目的元素の収率については、放射性トレーサーを用いて検討されている。

4.3 硫化鉛共沈法

鉛は放射化されないのでPbS共沈法により Cu, Hg, As, Sb, Cd などを定量することができる。この場合も

濃縮試水（原水1l 相当分）を分取し、塩酸酸性溶液からチオアセトアミドにより PbS を沈殿させ、これを小型のろ紙（東洋ろ紙 No. 5B, ϕ 5.5cm）でろ過、洗浄、乾燥する。乾燥試料はろ紙とともにポリエチレン袋に封入し、さらに厚手のポリエチレン袋に封入する。この試料についても試料調製ごとにブランク試料を調製する。しかし硫化鉛共沈法は完全な Na の除去は困難で、⁶⁴Cu の測定の場合は、やはり ²⁴Na からの寄与分を差し引かねばならない。また Hg については、そのブランク値の変動が大きく、さらに Cd についてはその存在量が少ないので、バックグラウンド・レベルの河川水についてはこれらの定量は困難である。

以上述べた3つの前濃縮法を利用し、同一試水について定量したいいくつかの元素の分析結果の比較を表3に示した。これらの結果はいずれも比較的よい一致を示しているの、Cu, Hg, Cd を除いては蒸発濃縮法と水酸化鉄共沈法で20数元素の定量が可能である。

4.4 ハロゲン定量用試料

ハロゲン定量用に採取した試水5 ml (50～100ml をロータリーエバポレーターで濃縮して約5 ml とする) をポリエチレンアンプルにとり入口を溶封する。標準試

表3 同一試水の各濃縮法による分析結果の一例とそのブランク値

試料	前濃縮法 (ppb)		As		Sb		Al	
	Fe(OH) ₃ PbS		蒸発残さ PbS		蒸発残さ Fe(OH) ₃			
W-1	2.3	1.8	0.20	0.10	28	31		
W-2	2.2	1.9	1.10	1.50	47	46		
W-3	3.0	2.0	1.10	1.20	44	59		
W-4	2.7	3.3	0.60	0.50	65	56		
ブランク	0.2	0.4		0.01		6		

料はCl, Brの標準溶液の一定量をポリエチレンアンブルにとり、再蒸留水で試水と同容積にして入口を溶封する。水試料の照射は現在では小型の(たとえば TRI-GA-II 型原子炉) 原子炉に限られているので、他の原子炉ではハロゲン元素の定量は困難である。

5. 試薬

本法で使用する試薬はできるだけ高純度のものを使用する。

純水：イオン交換水を石英再蒸留器で蒸留し、ポリエチレンびんに保存する。

硝酸：市販の HNO₃ を石英蒸留器で再蒸留するか、精密分析用試薬を用いる。

塩酸：HCl ガスを水洗後純水中に飽和させる。

アンモニア水：NH₃ ガスを水洗後純水中に飽和させる。

塩化第二鉄：高純度鉄（ジョンソン・マーシ社製 99.999%）を上記の塩酸、硝酸の混酸に溶解し 5 mg Fe/ml とする。

硝酸鉛：高純度鉛（ジョンソン・マーシ社製 99.999%）を硝酸に溶解し 5 mg Pb/ml とする。

比較標準溶液の調製に用いる試薬は他の場合と同様である。

6. 比較標準試料

蒸発濃縮試料に対する標準試料の作り方は他の場合と同様で、ろ紙上に各元素の既知量を添加して調製するが、目的元素から生成される核種のγ線エネルギーの重複しないような元素を組み合わせで作成すると、試料の数が少なく済むので便利である。

共沈試料に対する標準試料は、共沈剤に既知量の目的元素を添加し、河川水試料とまったく同じ操作により調製する。もちろんこれらの標準試料は濃度の異な

るものを数個調製し検量線を作成し、その信頼性を確認する。

7. 中性子照射

試料および比較標準試料には、それぞれフラックスモニター（短時間照射の場合は Cu 線）（長時間照射の場合は Al-Au 線）を貼布し、照射用カプセルに挿入して照射する。筆者らの場合は立教大学原子力研究所の TRI-GA-II 型原子炉の F リング（ $1 \sim 10^{12} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1}$ ）を利用する機会が多いので、短時間照射の場合は 5 分（この場合は試料は多くて 2 個挿入する）、（長時間照射の場合はカプセルにできるだけ多く挿入するのが経済的である）長時間照射の場合は 1 日 6 時間で 2 日間照射する。

8. 冷却時間と計測時間

放射化した試料は図 1 に示すとおり、貼布したモニターと表側のポリエチレン袋をとり除き、新しいポリエチレン袋に挿入して、短時間照射の場合は 3 分後 100 秒の計測を行い、さらにこれを 30 分以上冷却して 200～500 秒計測する。長時間照射試料のうち共沈試料については 1 日冷却ののち 1000 秒の計測を行い、蒸発濃縮試料については 3～4 週間冷却して ²⁴Na や ⁸²Br の減衰を待ってから 50000 秒計測する。

これまでに述べてきた河川水試料の採取から計測までについては、日本アイソトープ協会から出版される「環境試料の放射化分析法のマニュアル」の水試料の項にさらに詳細に述べられているのでこれを参照されたい。

9. 分析例

つぎにいくつかの河川水試料の分析例について挙げよう。東京都は多摩川、荒川、利根川その他の河川の一部を水道水源としているので、われわれはこれらの河川の上流の水源地帯の河川水中の微量元素の分析を前述の方法で実施してきた。多摩川については 1973 年に^{11,2)}、利根川については 1974 年^{3),4)}にまた荒川については 1976 年にそれぞれ本流に流入する 10～20 数箇所の大小河川から採取し分析した。その一例として荒川の分析結果を表 4 に示す。これは蒸発濃縮法と水酸化鉄共沈法により得られた値である。硫化鉛共沈法は Na, Br の除去が十分でなく、また Hg のブランク値の変動も大きいことからここでは実施していない。表中の Hg 濃度はつぎのような前濃縮法⁶⁾により単独に

表4 荒川河川水中の微量元素の濃度 (単位 ppb)

元 素 採水場所	Al	As	Br	Ca (ppm)	Cl (ppm)	Co	Cr	Cs	Dy	Fe	Ir	K (ppm)
1 入 川	19	1.2	2.1	7.1	1.2	0.018	ND	0.008	0.054	2.7	0.0006	1.0
2 滝 川	29	0.96	3.2	5.4	0.8	0.025	0.08	0.006	0.015	6.7	ND	0.46
3 中津川1	22	2.3	3.4	12	1.2	0.044	0.21	0.000	ND	25	ND	0.86
4 // 2	25	12	10	20	2.5	0.008	0.31	0.002	0.086	11	ND	0.74
5 河原沢川	16	0.55	2.6	13	2.2	0.053	ND	0.002	0.050	5.8	0.0004	1.40
6 薄 川	23	0.34	—	12	1.8	0.032	0.18	0.007	ND	11	ND	0.84
7 小森川	22	0.61	4.5	12	1.3	0.026	0.06	0.001	ND	5.9	ND	0.56
8 大血川	21	0.78	—	7.6	0.9	0.009	0.29	0.000	ND	3.2	0.0001	0.43
9 安谷川	27	0.50	4.1	5.6	0.8	0.016	0.25	0.007	ND	3.9	ND	0.93
10 浦山川	—	—	1.7	7.6	1.0	—	—	—	—	—	—	0.77
11 横瀬川	23	0.28	3.7	6.1	1.9	0.026	0.29	0.003	ND	3.4	ND	0.73
12 高麗川	47	0.27	4.6	9.1	2.4	0.017	0.18	0.004	ND	3.4	ND	0.47
13 名栗川	48	0.35	6.3	9.3	2.2	0.020	0.26	0.007	ND	3.4	ND	0.90

元 素 採水場所	La	Mg (ppm)	Mn	Na (ppm)	Rb	Sb	Sc	Sm	Sr	V	W	Zn	Hg*
1 入 川	ND	0.84	0.14	2.5	0.47	0.13	0.0018	0.003	79	0.22	0.067	20	0.062
2 滝 川	0.14	ND	0.11	1.8	0.44	0.09	0.0028	0.003	53	0.18	0.030	11	0.012
3 中津川1	ND	4.4	4.5	2.5	0.52	0.38	0.0020	0.004	82	0.11	0.025	22	0.083
4 // 2	0.27	1.7	1.2	4.3	0.50	1.1	0.0040	0.009	120	0.19	0.028	3	0.010
5 河原沢川	ND	4.0	0.63	4.8	0.34	0.09	0.0026	0.001	190	0.40	0.045	26	ND
6 薄 川	0.14	2.2	5.2	3.4	0.22	0.06	0.0036	0.003	110	0.21	0.033	21	ND
7 小森川	0.12	3.2	1.1	2.5	0.37	0.11	0.0012	0.002	110	0.42	0.049	30	ND
8 大血川	0.22	ND	1.0	2.3	0.44	0.25	0.0022	0.000	110	0.24	0.25	14	ND
9 安谷川	ND	1.6	1.6	2.5	0.35	0.08	0.0020	0.002	84	0.12	0.041	20	ND
10 浦山川	—	1.6	4.7	2.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11 横瀬川	0.27	3.6	1.5	3.0	0.22	0.05	0.0035	0.001	68	0.30	0.015	12	ND
12 高麗川	0.06	ND	1.3	4.2	0.27	0.06	0.0028	0.002	81	0.74	0.066	18	0.023
13 名栗川	0.13	ND	0.92	3.7	0.26	0.07	0.0041	0.007	94	0.40	0.040	28	ND

* 炭素粉末吸着法により得られた値

求めたものである。河川水中の Hg を APDC 塩* により錯塩とし、発光分光分析用炭素粉末に吸着させて、これを石英管に封入して照射し、 ^{203}Hg により定量したものである。表に示されているように、約半数の河川から Hg が定量されているが、もちろんこれらの濃度は天然のレベルと推察されるものである。つぎに多摩川、利根川、荒川から得られた主要元素と微量元素の平均値を図2と3に示した。主要元素である Na, Cl, Ca, Mg, K および微量元素では Al, As, Sb ではほぼ同じレベルを示したのに対し、他の微量元素では1桁以上の差があることが示されている。

* ビロリジンジチオカルバミン酸アンモニウム

また利根川の支流の一つである渡良瀬川でつぎに示すような実験を行った。渡良瀬川には足尾鉾山（現在では精錬のみを実施している）からの排水が流入している地点があるので、この排水の流入点（W-2）を中心に、その上流（W-1）と下流（W-3, W-4）について1974年に採水を行い分析した。その分析結果を表5に示す。この分析結果から排水流入地点の上流では微量元素の濃度は他の河川と同程度のレベルなのに対し、排水流入地点では Zn, Mn, Cu, Co, Sb については最も高く、下流にいくに従ってその濃度が順次低くなっていくのが図4によって明らかである。もちろんこれらの濃度は排水基準以下の濃度であるが、放射化分

図2 多摩川, 荒川, 利根川の水源地帯の主要元素の平均濃度

図3 同地帯の微量元素の平均濃度

析法によってこれらの微量の濃度変化を把握することが可能であることを示したものである。

これら水源地の河川水の分析を行う一方、東京都に所属する小笠原群島における河川水についても分析を

表5 渡良瀬川の分析結果

試料 元 素	W-1	W-2	W-3	W-4
Al (ppb)	29	46	51	60
Ca (ppm)	12	64	56	27
Dy (ppb)	ND	0.006	0.002	0.001
Mg (ppm)	1.1	2.0	1.6	2.2
Mn (ppb)	ND	68	38	23
Ti //	ND	2.8	ND	ND
V //	0.14	0.24	0.25	0.80
Cl (ppm)	0.97	3.7	4.2	6.0
Ag (ppb)	0.03	ND	ND	0.06
As //	2.0	2.0	2.5	3.0
Co //	0.3	11	6.8	4.0
Cr //	0.1	0.2	0.1	0.3
Cs //	0.03	0.16	0.16	0.11
Cu //	0.6	34	15	5.0
Eu //	0.001	0.002	0.001	0.002
Fe //	16	20	27	7
La //	0.02	0.13	0.11	0.02
Na (ppm)	2.4	7.2	6.0	5.8
Rb (ppb)	1.1	5.1	4.4	4.6
Sb //	0.2	1.3	1.1	0.5
Sc //	0.002	0.003	0.007	0.004
Se //	0.03	0.07	0.08	0.04
Sm //	0.01	0.02	0.01	0.01
W //	0.02	0.05	0.08	0.05
Zn //	11	144	124	42
蒸発残さ (mg/l)	73	330	248	174

行った⁵⁾。小笠原群島においては父島では1975年と1976年に採水を行ったが、その分析結果を表6に示した。小笠原群島における沢水は、さきに示した本土の河川水に比べて Co, Cr, Sc, V, W, Al, Fe などの含有量が約1桁程度高く、また As と Sb についてはいずれも低い値を示していることが明らかになった。以上は分析例の一つであるが、これらの地域における河川水中の微量元素濃度の一端を伺い知ることができよう。

上述の蒸発濃縮法以外の方法は必ずしもこの方法に限られたものでなく、Cu, Hg, Cd についてはさらに検討を進める必要があると考えられる。

10. 結 び

ここではバックグラウンドレベルに近い河川水の分

図4 渡良瀬川河川水中の Cu, Zn, Mn, Co, Sb などの濃度分布

析法について述べてきたが、わが国の水道水源の大半は河川、または河川をせきとめてつくったダムからの

水であるから、飲料水の面から河川水の安全性が重要視されなければならないことは事実である。河川水を媒介にして食物の汚染されるケースも多く、カドミウム汚染によるイタイイタイ病、メチル水銀による水俣病などはまだ耳新しい事例である。農・生物関係では人間活動をはじめとし、工業、農耕活動などの影響を受けた河川水を取り扱う場合が多いと考えられるが、上記の方法は十分利用できるものと思われる。

文 献

- 1) 永塚澄子, 谷崎良之, 岡野安宏: *Radioisotopes*, **23**, 693 (1974)
- 2) 谷崎良之, 永塚澄子: 日化誌, **11**, 2094(1974)
- 3) S. Nagatsuka and Y. Tanizaki: *Radioisotopes*, **25**, 3 (1976)
- 4) 永塚澄子, 谷崎良之: 分析機器, **14**, 583(1976)
- 5) 谷崎良之, 永塚澄子: 日化誌, 667 (1977)
- 6) 永塚澄子, 谷崎良之: *Radioisotopes*, **27**, 379 (1978)

表6-1 小笠原群島における河川水の分析結果 (ppb)

採取場所 No.	Al	As	Co	Cr	Cs	Eu	Fe	La	Rb	Sb	Sc	Sm	V	W	Zn
1	660	0.37	0.22	0.82	ND	0.010	260	0.08	1.1	0.020	0.22	0.031	9.8	0.73	10
2	1200	0.30	0.27	0.70	ND	0.022	280	0.09	ND	ND	0.46	0.071	4.5	0.47	26
3	940	0.25	0.47	1.5	ND	0.020	510	0.11	1.3	0.023	0.44	0.066	3.3	0.40	31
4	900	0.69	0.32	3.4	ND	0.005	340	0.04	ND	ND	0.27	0.019	22	1.7	8
5	780	0.22	0.29	1.1	0.009	0.014	440	0.10	1.1	0.012	0.26	0.045	3.9	0.66	19
6	450	0.36	0.17	1.0	0.016	0.006	240	0.04	1.9	0.010	0.12	0.021	2.3	0.49	14
7	500	0.31	0.20	0.73	0.017	0.005	250	0.01	1.8	0.011	0.12	0.020	4.3	1.1	13
8	1300	0.80	0.99	2.7	0.013	0.016	900	0.07	1.4	0.027	0.47	0.050	13	4.8	18
9	720	0.13	0.26	0.06	0.016	0.015	400	0.12	1.4	0.016	0.17	0.058	1.9	0.48	12
10	570	1.0	0.44	5.7	0.049	0.003	440	0.04	31	0.094	0.12	0.022	7.1	0.87	26
11	1100	0.35	0.44	0.39	0.013	0.001	770	0.04	1.2	0.043	0.46	0.035	6.7	2.2	27
12	460	0.20	0.21	ND	0.013	0.014	240	0.10	1.5	0.029	0.10	0.062	1.1	0.31	12
13	170	0.43	0.07	0.53	0.009	0.001	30	0.08	1.4	0.038	0.01	0.004	31	0.15	10
14	330	0.23	0.31	1.8	0.014	0.001	250	0.01	3.9	0.049	0.06	0.006	79	0.56	8
15	10	2.0	0.21	ND	0.009	0.001	80	0.01	14	0.16	0.01	0.004	0.7	0.01	7
16	670	3.4	1.6	0.87	ND	0.011	2300	0.27	1.9	0.072	0.23	0.040	3.6	ND	11
17	100	0.40	0.18	ND	ND	0.003	150	0.04	1.1	0.020	0.01	0.014	3.6	0.32	5
18	160	0.52	0.17	0.18	0.004	0.004	50	0.06	2.2	0.027	0.01	0.017	5.4	1.3	7
19	80	0.55	0.05	0.11	0.004	0.002	20	0.01	1.7	0.028	0.01	0.011	5.0	1.1	14

No. 1~12: Chichijima (May 1975), No. 13: Anijima (30 July 1975), No. 14: Otōtojima (31 July 1975), No. 15: Minamijima (6 Aug. 1975), No. 16: Nakōdojima (11 Aug. 1975), No. 17~19: Hahajima (Sept. 1975).

表6-2 小笠原群島における河川水の分析結果 (ppb)

採取場 所 No.	Al	As	Ca (ppm)	Co	Cr	Cs	Fe	La	Na (ppm)	Rb	Sb	Sc	Sm	V	W	Zn
1	340	0.28	38	0.31	3.0	ND	210	0.03	76	1.9	0.18	0.04	0.06	7.6	0.43	21
2	320	0.08	12	0.11	0.22	0.01	120	ND	52	1.2	0.04	0.06	0.01	2.4	0.66	8
4	330	0.41	24	0.29	3.8	ND	140	0.04	51	1.9	0.31	0.07	0.01	11	0.61	16
5	550	0.32	13	0.12	8.1	0.01	240	0.02	42	2.0	0.06	0.13	0.01	2.4	1.8	8
8	290	0.48	19	0.22	1.2	0.01	170	0.02	56	2.0	0.14	0.02	0.02	5.9	1.1	19
9	220	0.29	12	0.14	3.5	0.01	100	0.06	51	2.8	0.16	0.03	0.02	0.6	1.1	14

No. 2 and 8: Sampling in Mar. 25, 1976, No. 1, 4, 5 and 9: Sampling in Mar. 29, 1976.