

陸水の化学的研究

森井ふじ・小林 純・三宅幸子

地表での岩石土壌の風化侵蝕の大部分は水によって行われ、溶解した化学物質のほとんどは河川により湖や海に運ばれる。従って河川水質についての知識は単に岩石風化の過程を知るだけでなく、農業、工業にとっても重要であり、また人が多年の間飲水や料理を通じて摂取する水量は思いの外多量であるから、その中に含まれる化学成分の相違が健康に与える影響も無視できない。

著者の一人小林はこれらの点に早くから着目し、1942年より約15年間に日本全国を網羅する約500の河川を選び、毎月1回1年間に12回ずつの水質分析を行い、各地の河川水質だけでなく日本の河川の平均水質とその特徴(Caとアルカリ度が少なく、SiO₂が多い)を明らかにした^{2,3)}。さらにまた、日本の死亡率中第1位を占める脳卒中死亡率の地域差が水質と高い相関(河川水中のSO₄量と正の関係、アルカリ度(CaCO₃)とは負の関係)を示すことを統計的に発見し、飲料水の水質が人間の保健に関連していることを報告¹⁾した。この報告は海外で注目され、アメリカ、イギリス、オランダ、カナダ、スウェーデンなどで多くの追試が行われ、“飲水の硬度やアルカリ度が高ければ人の動脈が軟くなる”ことが立証⁴⁾された。さらにWHO(世界保健機構)はアメリカとヨーロッパ各国の学者と共同して数年にわたる大がかりな調査研究を行い、心筋梗塞による死亡率だけに限定しても水質との間に有意の相関があることを認め、小林の研究がその端緒となったことを巻頭で報告⁵⁾している。

現在我々が直接口にするものは主として水道水であるが、その水源の多くは河川水や地下水であり、流域や周辺の岩石に由来する種々の化学成分を溶解している。

この報文では健康との関係を考慮しながら、水質の基礎資料を得るため、世界の多くの地方より水道水のほか、河川水、湖水、地下水などを採取し、主として岩石に由来する無機化学成分の分析を行い種々の検討を行ったので、その結果を述べる。

この研究を行うにあたり試料採取にご協力下さった沖陽子助手(岡山大学農業生物研究所 雑草学部門)および水質分析にご協力下さった岡山大学農業生物研究所水質学部門の方々に厚くお礼申し上げます。

試料および分析方法

試料は主として水道水であるが、その種類、採取地点、採取年月日などは第1表に示すように日本では水道水9試料、河川水(ダム湖水を含む)3試料、鐘乳洞内水3試料で合計15試料、中華人民共和国では水道水2試料、湖水、河川水各1試料で合計4試料、イ

昭和57年1月14日受理

ンドは水道水 1 試料, クエートでは水道水 1 試料, オーストラリアでは水道水 3 試料, アメリカ合衆国では水道水 18 試料, 河川水 1 試料, カナダは水道水 1 試料, メキシコは河川水 1 試料, ヨーロッパでは水道水 19 試料, 河川水 2 試料, 湖水 2 試料の合計 68 試料で, これらは 1977 年から 1981 年の間に採取された。日本, アメリカ合衆国, カナダ, メキシコは小林と森井により, オーストラリアは沖陽子氏(岡山大学農業生物研究所雑草学部門助手)により, 中華人民共和国は森井により, ヨーロッパ, インドおよびクエートは三宅により採水された。

分析項目は pH, COD, 混濁度, 導電率, Ca, Mg, Na, K, アルカリ度, SO_4 , Cl, SiO_2 , $\text{PO}_4\text{-P}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, 溶解性蒸発残留物などであり, その分析方法の概要は次のようである。pH: 鈴研株式会社の SZK 水素イオン濃度 (pH) 比色測定器を使用し, 色素の溶液を混和して標準緩衝液の色調と比較した。COD: 酸性過マンガン酸カリウム法により測定した。混濁度: カオリンの 1~50 mg/l の懸濁液と試水の混濁とを 570 nm での散乱光を比較測定した。導電率: 試水を正確に 25°C に保ち, 電導度計(東亜電波 KK 製, 数字式電導度計 CM-1DB 型)により測定した。Ca と Mg: 試水を適当に希釈しカリウムが 1000mg/l 共存するよう塩化カリウム溶液を加え, 1N 塩酸酸性となし原子吸光分光光度法により, 高温バーナーを用い亜酸化窒素とアセチレンを燃料とし, Ca は 422.7 nm の, Mg は 285.2nm の吸光度を測定し定量した。Na と K: 試水を適当に希釈し, 1N 塩酸酸性で原子吸光分光光度法により, 空気-アセチレン炎で Na は 589.0 nm の, K は 766.5 nm の吸光度を測定し定量した。アルカリ度 (CaCO_3): 試水 20 ml をマイクロビーカーにとり, ブロムクレゾールグリーンを指示薬とし, pH 4.2 および 4.4 の緩衝液が呈する色調と比較しながら, その中間色の pH 4.3 に達するまでマイクロピペットから酸を滴加し, 得られた値から算出した。 SO_4 : 試水に塩化ナトリウムの塩酸溶液と 100 メッシュ位にまで粉碎した塩化バリウムの一定量とを加え, 直ちにマグネチックスターラーを使用して, 正確に一定時間攪拌した後, 一定時間後に濁度計により散乱光を測定した。Cl: 試水にクロム酸カリウム溶液 (Cl 不含) の一定量を指示薬として加え, 暗室内の黄色光線のもとで硝酸銀溶液を用いて滴定した。 SiO_2 : Strickland らの方法⁶⁾ による発色の 430 nm における吸光度を測定した。4 mg/l 以下の時はモリブデンブルーに還元して 700~810 nm の間の吸光度を測定した。 $\text{PO}_4\text{-P}$: モリブデン酸アンモニウム溶液と塩化第一スズ溶液による発色を 660 nm で比色定量した。 $\text{NO}_3\text{-N}$: 富山⁷⁾ の方法に従い, 試水に塩化ナトリウム溶液と Tillmann 試薬を加え生ずる呈色を 610 nm で比色定量した。 $\text{NO}_2\text{-N}$: スルファニールアミン溶液とナフチールエチレンジアミン溶液を加え生ずる呈色を 520 nm で比色定量した。 $\text{NH}_4\text{-N}$: インドフェノール法による 630 nm の吸光度を測定した。溶解性蒸発残留物: 吸湿を防ぐため, すり合わせのふたのついた秤量ビンに試水 100 ml を入れ, ホットプレートで蒸発してほとんど乾固後, 105°C で 1 時間乾燥しふたをして秤量した。

結 果

水道水 54 試料, 河川水と湖水 11 試料 および 鐘乳洞内水 3 試料, 合計 68 試料に対する分析結果は第 2 表のようである。

pH: 6.3~9.3の間にあり, 7.0~8.0の間を示す試料は全体の84%を占めていた。最高値は St. Louis 市の水道水(試料番号36, 以下同様)の9.3で, 最低値は Hawaii 島の Thurston Lava Tube 地帯の水道水(30)と連合王国の Loch Ness(63)であった。

Ca: 1.2~128 mg/l の範囲にあり, 最高値は沖縄の玉泉洞(鐘乳洞内水, 15)であるが, つづいて London 市(47), スペインの Majorca 市(58), ポルトガルのベルデ岬諸島の首都 Praia 市(61), デンマークの Copenhagen 市(53), The Thames(65, 66), Paris 市(52), 北京市(16)などは 100 mg/l 以上の値を示した。また 10~99 mg/l の範囲にある試料は全体の62%を占めていた。なお 5.0 mg/l 以下の値を示したのは Thurston Lava Tube(30)の 1.2 mg/l, Loch Ness(67)の 2.1 mg/l, 芦山市(17)の 2.7 mg/l, Honolulu 市水道水水源水(28)の 3.1 mg/l などであった。

Mg: 0.3~62 mg/l の範囲にあり, 最高値は The Thames の Greenwich 地点の河川水試料(65)であり, ついで Majorca 市(58), スペインの Almunecar 市(59), 北京市(16), Praia 市(61), アメリカ合衆国のミズリー州の Columbia 市(34, 35)などの水道水は 25 mg/l 以上の値を示した。なお 1.9~20 mg/l の範囲にある試料は全体の71%を占めていた。また 1.0 mg/l 以下の値を示したのは芦山市(17), Thurston Lava Tube(30), ノルウェーの Anuvann 市(51), Loch Ness(67), New York 市(41, 42), 仙台市(3), スペインの Madrid 市(60)などであった。

Na: 1.1~462 mg/l の範囲にあり, 最高値は Mg の場合と同様 The Thames(65), ついで Majorca 市(58)であった。6~60 mg/l の範囲にある試料は全体の59%を占めていた。3.0 mg/l 以下の値を示したのは芦山市(17), Thurston Lava Tube(30), Anuvann 市(51), フランスの Lake of Annecy(68), 満奇洞内水(14)などであった。

K: 0.37~24 mg/l の範囲にあり, 最高値は Mg, Na の場合と同様 The Thames(65)で, ついでメキシコの Guadalajara 川試料(45), Majorca 市(58)であった。1.0~5.0 mg/l の範囲にある試料は全体の59%を占めていた。0.50 mg/l 以下の値を示したのは Loch Ness(67), 連合王国の Polpeath 市(48), 芦山市(17), Anuvann 市(51), Honolulu 市水道水水源水(28), 満奇洞内水(14)などであった。

アルカリ度(CaCO₃): 5.3~336 mg/l の範囲にあり, 最高値は Ca 量も高かった Praia 市(61)で, ついで北京市(16)であり, Almunecar 市(59), 玉泉洞内水(8), Majorca 市(57), Columbia 市(34, 35), Copenhagen 市(53), London 市(46, 47), Paris 市(55)などは 230~281 mg/l の値であった。25~200 mg/l の範囲にある試料は全体の63%を占めていた。12 mg/l 以下の値を示したのは Thurston Lava Tube(30), Loch Ness(67), 芦山市(17), Polpeath 市(48), New York 市(41, 42)などであった。

SO₄: 0.5~187 mg/l の範囲にあり, 最高値は St. Louis 市(36), つづいて Mississippi 川の St. Louis 地点の試料(44)であり, The Thames(65), Majorca 市(58), クエートの Kuwait 市(21), アメリカ合衆国のカリフォルニア州の Torrance 市(33), 北京市(16)などは 100~165 mg/l の値であった。10~99 mg/l の範囲にある試料は全体の56%を占めていた。5 mg/l 以下の値を示したのは Thurston Lava Tube(30), ハワイ島の Hilo 市(29), 芦山市(17), ポルトガルの Funchal 市(62), Loch Ness(67), Honolulu 市水道水水源水(28), 満奇洞(14), 玉泉洞(15)などであった。

第1表 試料の種類、採取場所および採水年月日

試料 地域 番号	試料の種類	試料採取所			年月日
		国	場	所	
1	水道水	日本	東京都品川駅前		1979. 5. 19
2	"	"	東京都狛江市		1979. 5. 20
3	"	"	仙台市		1979. 5. 24
4	"	"	奈良市		1979. 6. 12
5	"	"	岡山市		1979. 12. 10
6	"	"	倉敷市		1979. 9. 1
7	"	"	那覇市		1980. 11. 11
8	"	"	名護市		1980. 11. 13
9	"	"	石垣市		"
10	河川水	"	石垣島官良川		1980. 11. 14
11	"	"	石垣島官良川平置屋ダム		"
12	"	"	岡山県小坂部ダム		1980. 5. 23
13	鍾乳洞内水	"	岡山県井倉洞		1980. 9. 30
14	"	"	岡山県備前香洞		1979. 10. 17
15	"	"	沖縄県玉泉洞		"
16	水道水	中華人民共和国	北京市		1980. 11. 11
17	"	"	声山市		1981. 8. 3
18	湖川水	"	武漢市の東湖表面水		1981. 8. 11
19	河川水	"	長江、武漢粵漢碼頭		1981. 8. 7
20	水道水	"	New Delhi		1980. 8. 8
21	"	インド クアエート	Kuwait		1980. 1. 30
22	"	オーストラリア	Sydney		1979. 11. 29
23	"	"	Melbourne		1979. 12. 2
24	"	"	Brisbane		1979. 12. 4
25	"	アメリカ合衆国	Honolulu		1977. 3. 7
26	"	"	Honolulu		1978. 1. 7
27	"	"	Honolulu		1978. 6. 18
28	水道水	"	Honolulu		1980. 6. 18
29	水道水	"	Hilo		1979. 4. 4
30	"	"	Thurston Lava Tube		1979. 4. 4
31	"	"	San Francisco		1980. 6. 14
32	"	"	Los Angeles		1980. 6. 2

33	水道水	アメリカ合衆国	Torrance	1978. 6. 14
34	"	"	Columbia, Missouri	1978. 6. 7
35	"	"	Columbia, Missouri	1980. 6. 3
36	"	"	St. Louis, Missouri	1980. 6. 2
37	"	"	Chicago	1978. 6. 10
38	"	"	Chicago	1980. 6. 6
39	"	"	Washington, D.C.	1980. 6. 6
40	"	"	Washington, D.C.	1980. 6. 7
41	"	"	New York	1978. 6. 15
42	"	"	New York	1980. 6. 9
43	"	カナダ	Toronto	1978. 6. 13
44	河川水	アメリカ合衆国	Mississippi at St. Louis	1980. 6. 2
45	"	メキシコ	Guadalaajara	1978. 8. 24
46	水道水	連合王国	London	1978. 4. 22
47	"	"	London	1979. 9. 20
48	"	"	Polpeath	1979. 9. 7
49	"	"	Edinburgh	1979. 8. 15
50	"	フィンランド	Helsinki	1979. 7. 3
51	"	ノルウェー	Anuvann	1980. 1. 15
52	"	スウェーデン	Stockholm	1980. 1. 2
53	"	デンマーク	Copenhagen	1979. 8. 27
54	"	オランダ	Amsterdam	1979. 9. 17
55	"	フランス	Paris	1979. 12. 27
56	"	"	Barbanz	1979. 12. 26
57	"	ルーマニア	Bucharest	1979. 9. 13
58	"	スペイン	Majorca	1979. 8. 4
59	"	"	Almunecar	1979. 9. 10
60	"	"	Madrid	1979. 12. 27
61	"	ポルトガル	Praia	1979. 9. 5
62	"	"	Funchal	1979. 9. 11
63	"	イタリア	Milan	1979. 9. 3
64	"	"	Sorrento	1979. 8. 25
65	河川水	連合王国	The Thames at Greenwich	1979. 8. 22
66	"	"	The Thames at Westminster	1979. 8. 22
67	湖	"	Loch Ness	1979. 8. 14
68	"	フランス	Lake of Anecy	1980. 1. 4

第2表 水質分析値

試料 地域 番号	導電率 μS/cm (25℃)	定 量 値 (mg/l)														pH	
		Ca	Mg	Na	K	7カ力度 (CaCO ₃)	SO ₄	Cl	SiO ₂	PO ₄ -P	NO ₃ -N	NO ₂ -N	NH ₃ -N	COD	溶解性 懸留物		混濁度
1	205	17.0	3.7	11.1	1.5	25.0	33.5	15.0	12.8	0.008	0.21	0.000	0.01	0.96	126	0.0	6.9
2	21.0	4.4	6.3	1.4	40.2	30.1	8.7	24.2	0.019	1.09	0.000	0.00	0.13	132	0.0	6.9	
3	72	6.5	1.0	4.0	0.70	13.0	8.4	5.7	12.2	0.003	0.13	0.000	0.00	0.27	50	0.0	7.0
4	155	11.9	2.0	10.9	2.9	25.6	13.1	15.0	7.9	0.003	0.97	0.000	0.00	0.03	87	0.8	7.3
5	142	12.6	2.7	7.7	1.4	27.8	15.0	9.2	12.3	0.014	1.73	0.000	0.01	0.00	88	0.0	6.9
6	170	20.5	2.9	6.6	1.7	53.4	11.4	8.5	11.6	0.013	0.80	0.003	0.02	0.70	101	4.1	7.0
7	605	69.0	7.7	31.2	3.2	148	57.9	41.3	9.0	0.040	2.07	0.000	0.08	1.6	326	1.5	7.7
8	285	18.6	3.5	27.0	2.6	50.7	25.9	32.2	9.4	0.008	0.78	0.000	0.06	0.18	160	0.0	7.4
9	165	8.0	2.4	17.7	1.5	28.7	6.6	24.8	21.5	0.016	0.32	0.000	0.06	0.44	105	0.0	7.4
10	215	13.0	3.9	19.7	1.8	47.7	7.8	26.3	24.1	0.020	0.69	0.000	0.06	0.60	135	1.5	7.5
11	390	46.5	4.6	19.8	1.4	126	8.4	28.0	12.5	0.020	2.78	0.000	0.06	1.7	214	39.0	7.3
12	66	5.3	1.7	4.1	0.86	19.6	4.6	4.2	7.5	0.004	0.13	0.000	0.11	1.6	46	7.9	7.4
13	460	83.5	1.9	4.3	0.85	188	9.7	6.8	7.2	0.015	1.50	0.000	0.03	0.06	245	46	8.0
14	345	63.4	1.9	2.9	0.50	155	4.5	3.8	6.2	0.012	1.31	0.000	0.12	0.04	188	3.7	7.6
15	970	128	12.7	30.5	6.2	279	81.6	44.0	8.7	0.219	8.02	0.000	0.00	1.1	532	0.0	8.1
16	1,030	100	38.2	33.5	2.3	323	112	30.2	16.1	0.000	3.66	0.002	0.00	0.57	552	0.5	8.0
17	30	2.7	0.3	1.1	0.39	9.8	1.2	0.33	2.7	0.000	0.14	0.000	0.00	n.d.	18	6.5	7.3
18	330	18.3	8.9	26.0	6.0	76.9	25.6	34.8	2.7	0.061	0.04	0.000	0.53	5.4	186	11.1	7.1
19	278	35.2	7.0	7.3	2.1	120	10.9	4.0	4.5	0.033	0.82	0.000	0.00	10.5	162	39.4	7.7
20	375	40.0	10.8	12.2	3.3	116	43.7	6.7	8.1	0.004	0.16	0.000	0.02	0.20	220	0.0	7.6
21	690	39.2	14.4	55.3	1.7	34.8	130	72.0	2.1	0.003	0.34	0.010	0.04	0.00	350	2.0	7.9
オセ	170	9.0	4.9	12.5	1.4	34.0	8.4	21.0	4.0	0.000	0.22	0.000	0.01	1.8	91	5.5	7.1
セ	95	6.6	1.7	7.2	0.90	19.5	8.8	8.5	4.0	0.000	0.17	0.000	0.02	1.1	54	2.9	6.9
テ	22.2	20.5	20.5	59.6	2.4	74.0	17.1	130	6.8	0.000	0.13	0.000	0.38	2.2	337	0.0	7.1
ニ	360	10.8	8.0	43.0	2.8	60.7	9.3	62.0	39.8	0.019	0.34	0.000	0.01	0.42	230	0.0	7.3
テ	360	13.1	10.6	36.4	2.2	54.9	11.0	62.5	42.8	0.061	0.43	0.000	0.00	0.21	230	0.0	7.3
北	376	12.0	10.4	39.2	2.8	61.2	10.0	63.3	34.0	0.008	0.54	0.001	0.13	2.2	228	0.0	7.7
ア	125	3.1	3.7	13.0	0.50	24.1	4.5	15.3	10.5	0.003	0.07	0.001	0.01	0.00	73	0.0	6.4
ミ	100	7.8	3.5	5.0	1.6	39.3	1.2	4.5	32.1	0.025	0.30	0.000	0.00	0.00	89	1.0	7.2
ナ	29	1.2	0.4	1.5	0.20	5.3	0.5	1.7	1.0	0.000	0.00	0.000	0.00	0.06	13	1.3	6.3
メ	22	1.2	0.4	7.1	0.80	40.7	10.3	10.7	5.4	0.003	0.06	0.000	0.01	0.88	88	6.3	7.1
リ	150	13.4	4.6	31.0	3.9	103	37.0	16.8	22.0	0.056	0.18	0.000	0.01	1.7	227	3.6	7.5

オセ	33	884	52.4	17.6	82.8	4.7	145	124	77.5	13.4	0.008	0.14	0.000	0.02	1.3	470	0.0	7.9
セ	34	744	53.2	25.8	50.0	6.0	262	31.7	45.7	6.6	0.000	0.08	0.006	0.10	0.54	396	4.7	7.6
テ	35	730	53.8	28.5	42.3	5.6	260	31.8	33.8	7.5	0.004	0.08	0.009	0.13	0.00	392	0.0	7.6
ニ	36	705	24.0	18.5	62.7	7.6	41.0	187	29.8	7.3	0.004	0.22	0.005	0.63	1.8	383	2.2	9.3
フ	37	322	33.3	12.2	5.5	1.3	109	24.0	10.7	0.5	0.000	0.16	0.000	0.00	2.1	165	0.0	7.7
及	38	330	36.8	11.8	5.1	1.3	111	24.2	10.3	0.5	0.003	0.20	0.000	0.02	1.1	169	1.3	8.0
び	39	294	35.6	6.6	8.3	2.0	70.9	33.7	15.0	4.2	0.008	1.62	0.001	0.00	0.75	172	0.0	7.8
北	40	294	35.5	6.5	8.2	2.1	69.4	34.0	15.5	4.7	0.006	1.68	0.000	0.03	0.60	170	0.0	7.5
ア	41	77	6.6	0.8	4.0	0.66	11.5	8.1	5.5	4.4	0.000	0.29	0.000	0.02	2.1	45	2.9	6.7
メ	42	70	5.2	1.0	4.5	0.80	10.9	8.3	5.0	4.4	0.020	0.34	0.010	0.03	1.4	42	2.2	6.7
リ	43	360	40.6	4.6	18.8	1.4	92.1	29.0	30.6	0.1	0.000	0.28	0.002	0.00	2.4	195	0.0	7.4
カ	44	907	62.0	22.6	61.0	6.9	153	174	26.2	6.0	0.129	0.64	0.104	0.02	6.2	484	243	7.1
	45	530	13.2	6.1	67.6	14.0	118	75.3	22.0	26.8	0.007	0.27	0.005	0.12	4.9	316	3.4	7.5
	46	900	116	6.9	37.5	4.9	219	100	40.3	11.0	0.014	7.38	0.001	0.01	1.8	506	0.0	7.1
	47	845	122	4.4	30.0	5.0	242	56.9	43.0	8.5	0.460	6.06	0.008	0.02	1.6	450	0.0	8.1
	48	135	11.4	1.4	6.7	0.38	7.1	17.5	17.0	1.0	0.860	0.18	0.000	0.00	1.2	68	0.0	6.6
	49	112	9.1	2.8	5.4	0.58	13.4	5.4	7.3	1.6	0.003	0.42	0.000	0.04	2.1	66	0.9	6.7
	50	182	18.2	5.1	4.9	1.9	26.9	30.1	12.0	1.4	0.003	0.10	0.000	0.03	2.5	103	0.6	7.3
	51	54	7.4	0.5	1.4	0.40	13.0	7.0	2.2	3.3	0.003	0.21	0.005	0.10	4.6	38	0.0	7.3
ヨ	52	350	38.3	6.7	12.5	4.3	62.4	62.3	15.7	2.1	0.003	0.41	0.003	0.04	2.5	195	0.0	7.8
イ	53	970	114	18.6	38.5	4.4	262	83.8	68.0	18.6	0.003	0.70	0.005	0.03	1.9	532	0.9	7.5
ロ	54	995	84.5	9.8	83.0	5.4	162	66.2	140	7.8	0.006	0.45	0.000	0.00	n.d.	526	0.0	7.7
ハ	55	634	108	3.4	7.9	2.3	231	15.8	19.5	9.3	0.014	9.36	0.000	0.02	n.d.	362	6.8	7.5
ニ	56	493	90.0	3.4	5.0	1.4	220	9.6	7.8	3.3	0.004	0.74	0.000	0.02	0.00	260	0.0	7.3
フ	57	543	65.2	6.8	22.2	3.3	125	45.1	51.0	5.5	0.003	0.67	0.000	0.00	1.2	294	0.0	7.7
及	58	2,750	121	57.1	264	10.9	266	148	490	9.4	0.010	8.78	0.000	0.01	0.10	1,364	0.0	7.7
び	59	835	81.5	38.7	18.1	2.8	281	66.6	18.0	8.8	0.021	3.76	0.000	0.00	0.20	420	0.0	7.7
北	60	80	8.3	1.0	4.4	0.79	15.3	10.7	5.0	3.3	0.007	0.18	0.000	0.12	0.60	46	0.0	7.0
ア	61	1,080	118	28.8	40.3	1.6	336	18.0	83.0	11.7	0.012	3.89	0.003	0.05	0.20	535	3.8	7.3
メ	62	173	5.4	3.6	24.2	1.1	68.3	2.3	7.0	15.9	0.117	0.36	0.000	0.00	0.00	110	0.0	8.5
リ	63	680	85.5	16.2	13.9	1.2	181	66.0	22.0	16.2	0.038	6.54	0.001	0.01	0.00	376	0.6	7.5
カ	64	560	71.1	15.1	11.6	0.55	184	34.0	19.0	18.4	0.014	3.37	0.000	0.03	0.00	310	0.0	8.0
	65	3,780	113	62	462	24	191	165	820	12.0	1.96	7.62	0.000	0.04	10.0	1,900	367	7.5
	66	908	105	7.0	52.7	8.1	198	69.0	73	14.5	2.06	8.06	0.000	0.02	7.7	502	147	7.5
	67	50	2.1	0.8	3.5	0.37	6.6	3.6	6.7	1.6	0.003	0.15	0.000	0.02	4.8	24	3.8	6.3
	68	285	49.5	4.0	2.2	1.1	127	9.6	3.3	1.3	0.003	0.22	0.000	0.04	0.90	170	6.3	7.7

(注) n.d. 定量せず

Cl: 0.33~820 mg/l の範囲にあり、最高値は The Thames (65) であった。Mg, Na, SO₄ などの含有量からみるとこの Greenwich 地点の試料は海水の影響を受けていると考えられる。ついで値は Majorca 市 (58) であるが、ここも海洋の影響を思わせる。オーストラリアの Brisbane 市 (24), オランダの Amsterdam 市 (54) などは 130~140 mg/l の値であった。5~50 mg/l の範囲にある試料は全体の 69% であった。2.5 mg/l 以下の値を示したのは芦山市 (17), Anuvann 市 (51), Thurston Lava Tube (30) などであった。

SiO₂: 0.1~42.8 mg/l の範囲にあり、Honolulu 市 (25, 26, 27) が高い値であり、ついで値は Hilo 市 (29) であった。活火山があるハワイ州の試料は SiO₂ の含有量が高い傾向にあった。4.0~25 mg/l の範囲にある試料は全体の 69% であり、2.0 mg/l 以下の値を示したのはカナダの Toronto 市 (43) 0.1 mg/l, Chicago 市 (37, 38) 0.5 mg/l, Thurston Lava Tube (30) 1.0 mg/l, Polpeath 市 (48) 1.0 mg/l, Lake of Annecy (68) 1.3 mg/l, Helsinki 市 (50) 1.4 mg/l, Loch Ness (67) 1.6 mg/l, Edimburgh 市 (49) 1.6 mg/l などであった。

PO₄-P: 0.000~2.06 mg/l の範囲にあり、The Thames (65, 66) は著しく高い値であった。ついで Funchal 市 (62) の 117 μg/l, Mississippi 川試料 (44) の 129 μg/l, 玉泉洞内水 (15) の 219 μg/l, London 市の 1979 年の試料 (47) の 460 μg/l, Polpeath 市 (48) の 860 μg/l などでは 100 μg/l 以上の値であった。ほとんど検出されないのは北京市 (16), 芦山市 (17), オーストラリアの試料 (22, 23, 24), Thurston Lava Tube (30), Columbia 市の 1978 年の試料 (34), Chicago 市の 1978 年の試料 (37), New York 市の 1978 年の試料 (41), Toronto 市 (43) などであった。

NO₃-N: 0.00~9.36 mg/l の範囲にあった。最高値は Paris 市 (55) であり、Majorca 市 (58) の 8.78 mg/l, The Thames (65, 66) は 7.62~8.06 mg/l, 玉泉洞 (15) の 8.02 mg/l, London 市 (46, 47) の 6.06~7.38 mg/l, Milan 市 (63) の 6.54 mg/l などは高い値であった。0.10~1.50 mg/l の範囲にある試料は全体の 66% であった。なお検出されなかったのは Thurston Lava Tube (30) であり、武漢市の東湖 (18) は 0.04 mg/l, San Francisco 市 (31) の 0.06 mg/l, Honolulu 市水道水水源水 (28) の 0.07 mg/l, Columbia 市 (34, 35) の 0.08 mg/l などは低い値であった。

NO₂-N: 0.000~0.104 mg/l の範囲にあり、検出されない試料は全体の 71% を占めていた。検出された値はほとんど 10 μg/l 以下であったが、Mississippi 川の St. Louis 地点の河川水 (44) は最高値であり、水質汚染を受けていると思われる。

NH₄-N: 0.00~0.63 mg/l の範囲にあり、St. Louis 市 (36) が最高値であり、ついで値は武漢市の東湖 (18) の 0.53 mg/l, Brisbane 市 (24) の 0.38 mg/l であった。0.02~0.12 mg/l の範囲にある試料は全体の 56% であり、検出されない試料は全体の 25% であった。

COD: 0.0~10.5 mg/l の範囲にあり、長江 (19) 10.5 mg/l, The Thames (65, 66) は 7.7~10 mg/l, Mississippi 川 (44) 6.2 mg/l, 武漢の東湖 (18) 5.4 mg/l, Guadalajara 川 (45) 4.9 mg/l, Loch Ness (67) 4.8 mg/l で河川水、湖水が高い値を示す傾向が認められた。水道水では Anuvann 市 (51) のみが 4.6 mg/l の値で 0.50~2.5 mg/l の範

囲にある試料は全体の49%であった。

溶解性蒸発残留物：13~1900 mg/l の範囲にあった。The Thames の Greenwich 地点(65)は最高値であり、ついで Majorca 市(58)であった。最低値は Thurston Lava Tube(30)であり、芦山市(17)は18 mg/l、Loch Ness(67)は24 mg/l、Anuvann 市(51)は38 mg/l、New York 市(41, 42)は42~45 mg/l であった。70~500 mg/l の範囲にある試料は全体の69%であった。

混濁度：0.00~367 mg/l の範囲にあった。The Thames の Greenwich 地点試料(65)は367 mg/l、Westminster 地点試料(66)は147 mg/l、Mississippi 川(44)は243 mg/l で非常に高い値であった。また石垣島の宮良川平喜屋ダム湖水(11)は39.0 mg/l、長江(19)は39.4 mg/l で、1.0~5.0 mg/l の範囲にある試料は全体の26%、ほとんど混濁のない試料数は全体の47%におよんでいた。

導電率：22~3780 $\mu\text{V}/\text{cm}$ (25°C) の範囲にあり、The Thames(65)、Majorca 市(58)、Praia 市(61)、北京市(16)などは高い値であり、100~650 $\mu\text{V}/\text{cm}$ (25°C) の範囲にある試料は全体の57%であった。なお Thurston Lava Tube(30)は22 $\mu\text{V}/\text{cm}$ (25°C)、芦山市(17)は30 $\mu\text{V}/\text{cm}$ (25°C)、Loch Ness(67)は50 $\mu\text{V}/\text{cm}$ (25°C) でいずれも低い値であった。

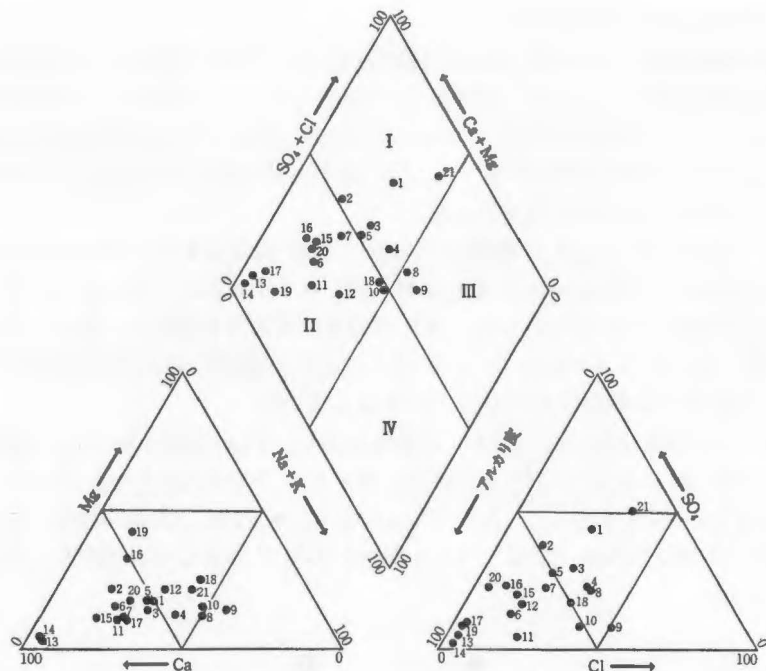
考 察

陸水のうち水道水を主として採取された68の試料の定量値は第2表のようであるが、これらのうち小坂部ダム(試料番号12)のみは第1表に示した2回採水の平均値で、その他は一回の値である。同一都市たとえば London 市では1978年と1979年に、Honolulu 市では1977年と1978年に、Columbia 市では1978年と1980年に、Chicago 市では1978年と1980年に、New York 市では1978年と1980年に、Washington D. C. では1980年に採水地点を変えて2試料というように試料を採り、水質分析を行ったが、同一都市での採取時期による定量値の変動はあまり大きくない結果を得ているので、一回だけの場合の分析値でもその地方を代表していると考えて考察する。

1. 主要カチオンとアニオンの関係

試水をアジア地域、オセアニアおよび北アメリカ地域、ヨーロッパ地域にわけ、これらのカチオンとアニオンの量的関係を検討し、水質の特性を明らかにする目的で各イオンの濃度を当量濃度に換算し、Ca-Mg-(Na+K)、およびアルカリ度-SO₄-Cl の各三者間の当量百分率の三角座標をカチオンとアニオンの関係を1つにまとめた菱形座標と共に第1図~第3図に示した。

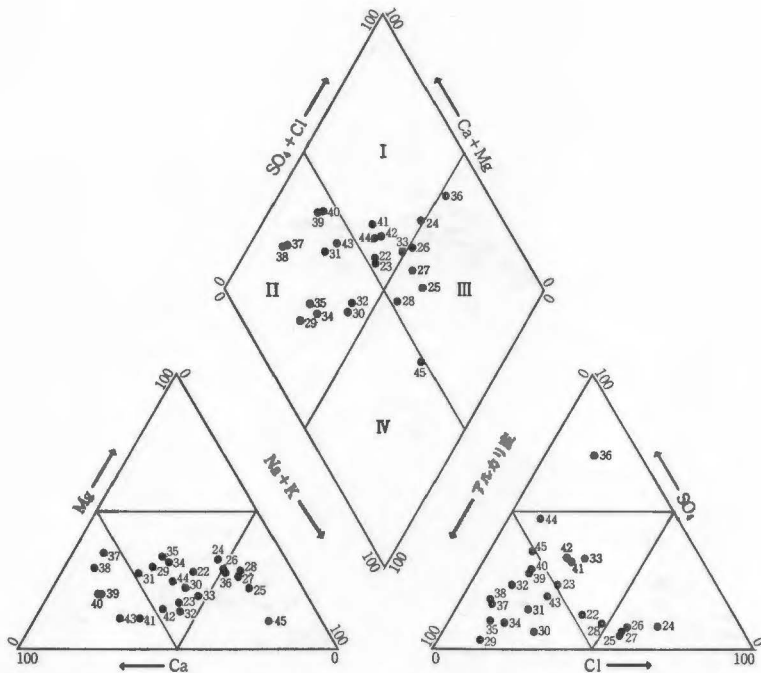
第1図はアジア地域の試料番号1~21までのものである。まずアニオンについてみるとアルカリ度(CaCO₃)が50.4~93.9%、SO₄が2.9~26.6%、Clが3.2~32.1%を示す倉敷市、那覇市、北京市、芦山市、New Delhi 市などの水道水、石垣島の宮良川平喜屋ダム、岡山県の小坂部ダムなどのダム湖水、長江(揚子江)の武漢市地点および石垣島の宮良川などの河川水、岡山県の井倉洞、満奇洞、沖縄県の玉泉洞などの鐘乳洞内水および武漢市の東湖の湖心表層水などは第1図の菱形座標において第II象限に位置しており、アル



第1図 アジア地域の陸水中の Ca-Mg-(Na+K), アルカリ度-SO₄-Cl 各三者間の当量百分率の三角座標およびカチオン, アニオン間の菱形座標

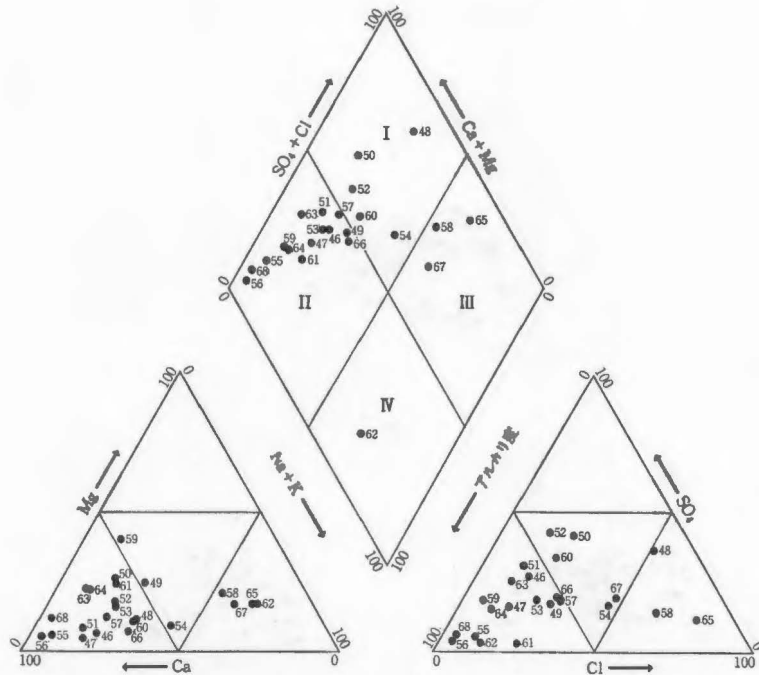
カリ土類重炭酸塩型の水質を示した。東京都品川駅前, 東京都狛江市, 仙台市, 奈良市, 岡山市, Kuwait 市などは同図の第 I 象限に位置しており, アルカリ土類非重炭酸塩型の水質であってアニオン間の当量百分率は SO₄ が Cl より高い値の傾向にあった。これは日本では土壌がほとんど酸性である場合が多いこと, Kuwait の場合は半乾燥地帯にあるためと考えられる。名護市, 石垣市の水道水は同図の第 III 象限に位置しており, アルカリ非重炭酸塩型の水質でアニオンは Cl > アルカリ度 > SO₄ で Cl が SO₄ より著しく高かった。これは沖縄本島の北部と南部の地質の相違, 石灰岩地質である石垣島が海洋の影響を強く受けていることを示しているものと考えられる。このようにアジア地域の13の水道水試料中アルカリ土類重炭酸塩型の水質を示したものは39%, アルカリ土類非重炭酸塩型46%, アルカリ非重炭酸塩型 15%で, 日本の試料は倉敷市以外はアルカリ土類非重炭酸塩型であった。

第2図はオセアニアおよび北アメリカ地域の試料番号22~45までのものである。カチオンについては Mg 11.2~34.2%, Ca 14.8~65.0%, (Na+K) 8.3~74.0%の範囲にあり, アニオンはアルカリ度 14.7~83.7%, SO₄ は 2.7~70.2%, Cl は 9.7~66.6%の広い範囲にあった。菱形座標より, Chicago 市, Washington, D. C., Columbia 市, Hilo 市, Thurston Lava Tube, San Francisco 市, Los Angeles 市, Toronto 市などは座標中の第 II 象限に位置しておりアルカリ土類重炭酸塩型の水質である。それらのアニオンについてアルカリ度 > SO₄ > Cl を示したのは Chicago 市, Washington, D. C., Los Angeles 市であり, Columbia 市, Hilo 市, San Francisco 市, Toronto 市, Thurston Lava



第2図 オセアニアおよび北アメリカ地域の陸水中の Ca-Mg-(Na+K), アルカリ度-SO₄-Cl 各三者間の当量百分率の三角座標およびカチオン, アニオン間の菱形座標

Tube などはアルカリ度 $> Cl > SO_4$ であった。New York 市, Sydney 市, Melbourne 市, Brisbane 市, Torrance 市などの水道水, Mississippi 川の St. Louis 市地点の河川水は共に第 I 象限に位置しアルカリ土類非重炭酸塩型の水質で, アニオンの百分率は New York 市, Torrance 市, はアルカリ度 $> SO_4 > Cl$ であり, Sydney 市と Melbourne 市とはアルカリ度 $> Cl > SO_4$ であり, Brisbane 市は $Cl > \text{アルカリ度} > SO_4$ で SO_4 は 6.5% の値である。Mississippi 川では $SO_4 \approx \text{アルカリ度} > Cl$ である。 SO_4 がアルカリ度よりやや高く Cl は 9.7% であり流域地質の影響が考えられる。また Honolulu 市, St. Louis 市の水道水は第 III 象限に位置しアルカリ非重炭酸塩型の水質で, アニオンについてみると Honolulu 市では SO_4 の占める割合は 6~7% で低い値であり, 水道水水源水はアルカリ度 $> Cl > SO_4$ であるが, 水道水になると $Cl > \text{アルカリ度} > SO_4$ となり, アルカリ度が減少して Cl が増加し, 海洋の影響を示唆している。St. Louis 市の水道水のカチオンは $(Na+K) > Mg > Ca$, アニオンは $SO_4 \approx Cl \approx \text{アルカリ度}$ で, 同市を流れる Mississippi 川に比し Ca とアルカリ度が著しく減少している。St. Louis 市では原水が濁っているので 2 段階凝集沈殿処理をし, さらに軟水化しているとされているが, それによる成分の減少量は Mississippi 川の混濁度より推定される硫酸アルミニウム注入量より計算した減少量よりも大きいので軟水化処理によるものと思われる。メキシコの Guadalajara 川は第 IV 象限に位置しアルカリ重炭酸塩型の水質で, カチオンは $(Na+K) > Ca > Mg$, アニオンはアルカリ度 $> SO_4 > Cl$ であった。このようにオセアニア, 北アメリカ地域の水道水 22 試料中



第3図 ヨーロッパ地域の陸水中の Ca-Mg-(Na+K), アルカリ度-SO₄-Cl各三者間の当量百分率の三角座標およびカチオン, アニオン間の菱形座標

アルカリ土類重炭酸塩型は50%, アルカリ土類非重炭酸塩型は27%, アルカリ非重炭酸塩型は23%であった。

第3図はヨーロッパ地域の試料番号46~68までのものである。各イオンの当量百分率はカチオンについてはCaは16.4~89.4%, Mgは4.6~39.3%, (Na+K)は4.2~65.9%であり、アニオンについてはアルカリ度は12.6~91.3%, SO₄は3.0~43.4%, Clは3.4~76.1%であった。菱形座標よりLondon市, Edimburgh市, Anuvann市, Copenhagen市, Paris市, Barbanz市, Bucharest市, Almunecar市, Praia市, Milan市, Sorrento市などの水道水, The ThamesのWestminster地点の河川水, Lake of Annecyなどは第II象限に位置しアルカリ土類重炭酸塩型の水質であって, Paris市, Copenhagen市, Edimburgh市, Bucharest市などの水道水, The ThamesのWestminster地点の河川水などはCa>(Na+k)>Mg, アルカリ度>Cl>SO₄で, ことにParis市はCaは88.8%, アルカリ度は84%でその他はすべて10%以下であった。Milan市, Sorrento市, Almunecar市などの水道水, Lake of AnnecyなどはCa>Mg>(Na+K), アルカリ度>SO₄>Clであり, ことにLake of AnnecyはParis市同様Ca84.5%, アルカリ度90%でClや(Na+K)は5%以下であった。Barbarz市やPraia市の水道水はCa>Mg>(Na+K), アルカリ度>Cl>SO₄で, Barbanz市はCaが89.4%, アルカリ度91.3%で, Paris市やLake of Annecyと同様フランスの3試料は共に高いCaとアルカリ度を示した。これは石灰石地質によるものと思われる。London市やAnuvann市などの水道水はCa>(Na+K)>Mg, アルカリ度>SO₄>Clで, Caは約77%であり

Mg は6~9%であった。つぎに第I象限のアルカリ土類非重炭酸塩型を示すのは Polpeath 市 (Ca>(Na+K)>Mg, Cl>SO₄>アルカリ度), Helsinki 市 (Ca>Mg>(Na+K), SO₄>アルカリ度>Cl), Stockholm 市 (Ca>(Na+K)>Mg, SO₄>アルカリ度>Cl), Amsterdam 市 (Ca>(Na+K)>Mg, Cl>アルカリ度>SO₄), Madrid 市 (Ca>(N+K)>Mg, アルカリ度>SO₄>Cl) の5都市の水道水であり, Madrid 市をのぞけば比較的高緯度に位置する都市である。それぞれの地点の SO₄ と Cl の当量百分率の和は55~85%であった。また Funchal 市は第IV象限に位置しアルカリ重炭酸塩型の水質で当量百分率は (Na+K)>Mg>Ca, アルカリ度>Cl>SO₄ であった。なお Majorca 市, The Thames の Greenwich 地点の河川水, それに Loch Ness は第III象限に位置しアルカリ非重炭酸塩型の水質でその当量百分率は (Na+K)>Ca>Mg, Cl>アルカリ度>SO₄ であった。The Thames の Greenwich 地点の Cl は Westminster 地点に比し著しく高く, 試水採取時に海水の湧上が, その他の成分より考慮しても考えられる。ヨーロッパ地域の水道水19試料中アルカリ土類重炭酸塩型の水質を示したのは63%におよび, アルカリ土類非重炭酸塩型は27%, アルカリ重炭酸塩型5%, アルカリ非重炭酸塩型5%であった。

2. 主要成分濃度間の相関

水道水に限定して主要成分間の相関について検討するため, 試料をアジア地域, オセアニアおよび北アメリカ地域, ヨーロッパ地域に分け, Ca, Mg, Na, K, アルカリ度, SO₄, Cl, SiO₂, 硬度 (Ca量とMg量より算出) 相互間の相関係数を求めそれぞれ第3表, 第4表, 第5表に示した。アジア地域では Ca-Mg, Ca-アルカリ度, Ca-SO₄, Ca-硬度, Mg-アルカリ度, Mg-SO₄, Mg-硬度, Na-SO₄, Na-Cl, Na-SiO₂, SO₄-Cl, アルカリ度-硬度, SO₄-硬度 (以上1%水準で有意), Ca-Na, Na-硬度, アルカリ度-SO₄ (5%水準で有意) のそれぞれ間に正相関が認められた。オセアニアおよび北アメリカ地域では Ca-Mg, Ca-K, Ca-アルカリ度, Ca-硬度, Mg-Na, Mg-K, Mg-アルカリ度, Mg-Cl, Mg-硬度, Na-K, Na-SO₄, Na-Cl, Na-硬度, K-アルカリ度, K-SO₄, K-硬度, アルカリ度-硬度 (1%水準で有意) Ca-Na, Na-アルカリ度, SO₄-硬度, Cl-硬度 (5%水準で有意) のそれぞれ間に正の相関が認められた。ヨーロッパ地域では Ca-K, Ca-アルカリ度, Ca-SO₄,

第3表 アジア地域の水道水中の主要成分濃度間および硬度の相関係数 (n=13)

	Ca	Mg	Na	K	アルカリ度 (CaCO ₃)	SO ₄	Cl	SiO ₂	硬度
Ca	—	0.97**	0.60*	0.53	0.95**	0.78**	0.46	0.02	0.99**
Mg		—	0.50	0.31	0.91**	0.81**	0.41	0.07	0.96**
Na			—	0.39	0.36	0.88**	0.97**	0.75**	0.61*
K				—	0.48	0.31	0.31	-0.11	0.45
アルカリ度 (CaCO ₃)					—	0.60*	0.24	0.14	0.96**
SO ₄						—	0.79**	0.52	0.81**
Cl							—	0.27	0.46
SiO ₂								—	0.04
硬度									—

** 1%水準で有意 * 5%水準で有意

第4表 オセアニアおよび北アメリカ地域の水道水の主要成分濃度間および硬度の相関係数 (n=22)

	Ca	Mg	Na	K	アルカリ度 (CaCO ₃)	SO ₄	Cl	SiO ₂	硬度
Ca	—	0.73**	0.46*	0.61**	0.87**	0.43*	0.20	-0.26	0.95**
Mg		—	0.74**	0.80**	0.83**	0.45*	0.58**	-0.00	0.91**
Na			—	0.80**	0.48*	0.64**	0.80**	0.31	0.63**
K				—	0.64**	0.75**	0.38	0.15	0.74**
アルカリ度 (CaCO ₃)					—	0.20	0.27	-0.07	0.92**
SO ₄						—	0.18	-0.12	0.48*
Cl							—	0.36	0.42*
SiO ₂								—	-0.15
硬度									—

** 1%水準で有意 * 5%水準で有意

第5表 ヨーロッパ地域の水道水中の主要成分濃度間および硬度の相関係数 (n=19)

	Ca	Mg	Na	K	アルカリ度 (CaCO ₃)	SO ₄	Cl	SiO ₂	硬度
Ca	—	0.52*	0.43	0.59**	0.94**	0.62**	0.43	0.31	0.94**
Mg		—	0.76**	0.62**	0.64**	0.68**	0.76**	0.36	0.78**
Na			—	0.86**	0.38	0.75**	0.99**	0.15	0.62**
K				—	0.47*	0.89**	0.84**	0.13	0.68**
アルカリ度 (CaCO ₃)					—	0.50*	0.39	0.58**	0.94**
SO ₄						—	0.72**	0.31	0.72**
Cl							—	0.13	0.62**
SiO ₂								—	0.51*
硬度									—

** 1%水準で有意 * 5%水準で有意

Ca-硬度, Mg-Na, Mg-K, Mg-アルカリ度, Mg-SO₄, Mg-Cl, Mg-硬度, Na-K, Na-SO₄, Na-Cl, Na-硬度, K-SO₄, K-Cl, K-硬度, アルカリ度-SiO₂, アルカリ度-硬度, SO₄-Cl, SO₄-硬度, Cl-硬度 (1%水準で有意), Ca-Mg, アルカリ度-SO₄, SiO₂-硬度, K-アルカリ度 (5%水準で有意) のそれぞれの間に正の相関が認められた。

SiO₂ は各成分濃度間の相関はアジア地域での Na-SiO₂ (1%水準で有意), ヨーロッパ地域でのアルカリ度-SiO₂ (1%水準で有意) についてのみ正相関があり, その他については低い負あるいは正の相関を示すか, あるいは全く示さないという傾向があり, 他の成分とは異なっていた。Ca-Cl, Ca-SiO₂, Mg-SiO₂, K-SiO₂, SO₄-SiO₂, Cl-SiO₂ などは試料数にもよるが3地域ともわずかに相関 (正または負) があるが有意でなかった。3地域ともに1%水準で有意の正相関のあるのは Ca-アルカリ度, Mg-アルカリ度, Na-SO₄, Na-Cl, Ca-硬度, Mg-硬度, アルカリ度-硬度であった。3地域で5%の正相関のあるのは Ca-Mg, Ca-SO₄, Mg-SO₄, Na-硬度, SO₄-硬度であり, アジア地域では相関 (5%水準までの有意) の認められないのは Na-Mg, Ca-K, Mg-K, Na-K, K-アルカリ度, K-SO₄,

Mg-Cl, K-硬度 Cl-硬度などであるが、それは試料数かあるいは地質的なものかは今後の研究課題であろう。

3. SO₄量とアルカリ度の比について

SO₄とアルカリ度の重量比を算出すると第6表のようである。日本の15試料のうち東京都品川駅前は1.34であり、東京都狛江市、仙台市、奈良市、岡山市、沖縄県の名護市などは0.51~0.75の間にあり、倉敷市、那覇市、石垣市、石垣島の宮良川および平喜屋ダム、小坂部ダムや鐘乳洞内水などは0.03~0.39であり、沖縄県はその比が小さかった。

第6表 SO₄/CaCO₃重量比

試料番号	SO ₄ /CaCO ₃	試料番号	SO ₄ /CaCO ₃
1	1.34	35	0.12
2	0.75	36	4.56
3	0.65	37	0.22
4	0.51	38	0.22
5	0.54	39	0.48
6	0.21	40	0.49
7	0.39	41	0.70
8	0.51	42	0.76
9	0.23	43	0.31
10	0.16	44	1.07
11	0.07	45	0.64
12	0.23	46	0.46
13	0.05	47	0.24
14	0.03	48	2.46
15	0.29	49	0.40
16	0.35	50	1.12
17	0.12	51	0.54
18	0.33	52	1.00
19	0.09	53	0.32
20	0.38	54	0.41
21	3.74	55	0.07
22	0.25	56	0.04
23	0.45	57	0.36
24	0.23	58	0.59
25	0.15	59	0.24
26	0.20	60	0.70
27	0.16	61	0.05
28	0.19	62	0.03
29	0.03	63	0.36
30	0.09	64	0.18
31	0.25	65	0.86
32	0.36	66	0.35
33	0.86	67	0.55
34	0.12	68	0.07

なお脳卒中による死亡率は沖縄県が最低であることはよく知られた事実である。中華人民共和国は長江が0.09、その他は0.12~0.35であり、オーストラリアの3地点は0.25~0.45、New Delhi市は0.38であった、Kuwait市は3.74の高い値であるが、これは半乾燥地帯でSO₄が多いためと考えられる。Honolulu市では水源の水は0.19、水道水も0.15~0.20の間にあり、ハワイ島の試料は0.03~0.09の低い値であった。アメリカ合衆国ではSt. Louis市の水道水が4.56と非常に高い値であるが、Mississippi川は1.07である。この大きな差の原因としては、St. Louis市水道水が前述したように硫酸アルミニウム処理によるSO₄イオンの増加、軟水化処理によるCaイオンの減少によるものと思われる。Torrance市は0.86と高いがこれは地下水のためと思われる、しかしColumbia市0.12、Michigan湖を水源とするChicago市0.22、San Francisco市0.25、Los Angeles市0.36、Washington, D. C. 0.48~0.49、New York市0.70~0.76で低い値の地点が多かった。五大湖のうちErie湖を水源とするカナダのToronto市は0.31であり、メキシコのGuadalajara川は0.64であった。ヨーロッパではPolpeath市2.46、Helsinki市1.12、Stockholm市は1.00で高く、0.50以上であるのはAnuvann市、Majorca市、Madrid市、The Thames

の Greenwich 地点, Loch Ness であり, フランスの3地点とポルトガルの2地点は 0.03~0.07 の低い値であった。

つぎに Ca 量と Mg 量より硬度を算出し, SO₄ 量との比を求めると第7表のようになる。SO₄/CaCO₃ において 1.00 以上を示した地点のうち 1.34 を示した品川駅前は 0.58 となり, 3.74 を示した Kuwait 市は 0.83 に, 4.56 を示した St. Louis 市は 1.38 となり, 1.07 であった Mississippi 川は 0.70 に, Polpeath 市は 2.46 が 0.51 に, 1.12 の Helsinki 市は 0.45 になり, 1.00 の Stockholm 市は 0.51 となり, その他はほぼ等しいか, やや低い値であって, アルカリ度と硬度の相関の高いことを物語っている。

4. N, P および Si 量について

河川, 湖沼水の富栄養化の目安とされている数値 P 0.02 mg/l, N 0.15 mg/l より, まず N 量について無機態窒素の含量よりみると, 規定値以下であったのは仙台市, 芦山市, ハワイ水道水水源水, Thurston Lava Tube の水, Helsinki 市, San Francisco 市の6試料のみで 0.16~0.50 mg/l を示す試料は全体の 42%, 0.51~0.99 mg/l のそれは 13%, 1.00 mg 以上は 20% に達していた。これらのうち NO₃-N について高い値を示したのは Paris 市 9.36 mg/l, Majorca 市 8.78 mg/l, 玉泉洞内水 8.02 mg/l, The Thames 7.62~8.06 mg/l, London 市 6.06~7.38 mg/l, Milan 市 6.54 mg/l, Praia 市 3.89

mg/l など大都市における水質汚染を示唆していた。なお NO₂-N について高い値であるのは Mississippi 川のみである。P 量について規定値以下の試料は全体の約 70% であり, 規定値以上であったのは東京都狛江市, 那覇市, 玉泉洞, 石垣島の 3 試料, 中華人民共和国武漢市の東湖, 長江の武漢市地点の河川水, Honolulu 市の 1977 年と 1978 年の試水, Hilo 市, Los Angeles 市, New York 市の 1980 年の試水, Mississippi 川, London 市の 1979 年の試水, Polpeath 市, Almunecar 市, Funchal 市, The Thames の 2 地点, Milan 市であり, The Thames 2.06~1.96 mg/l, Polpeath 市 0.860 mg/l, London 市の 1979 年の試水は 0.460 mg/l, 玉泉洞内水 0.219 mg/l であった。N, P 量について規定

第7表 SO₄/硬度の比

試料番号	SO ₄ /硬度	試料番号	SO ₄ /硬度
1	0.58	35	0.13
2	0.43	36	1.38
3	0.41	37	0.18
4	0.35	38	0.17
5	0.35	39	0.29
6	0.18	40	0.30
7	0.28	41	0.41
8	0.43	42	0.49
9	0.22	43	0.24
10	0.16	44	0.70
11	0.06	45	1.30
12	0.23	46	0.31
13	0.04	47	0.18
14	0.03	48	0.51
15	0.22	49	0.16
16	0.28	50	0.45
17	0.15	51	0.34
18	0.31	52	0.51
19	0.09	53	0.23
20	0.30	54	0.26
21	0.83	55	0.06
22	0.20	56	0.04
23	0.37	57	0.24
24	0.12	58	0.28
25	0.16	59	0.18
26	0.14	60	0.43
27	0.14	61	0.04
28	0.20	62	0.08
29	0.04	63	0.23
30	0.11	64	0.14
31	0.20	65	0.31
32	0.40	66	0.24
33	0.61	67	0.42
34	0.13	68	0.06

値以上であったのは沖縄県的那覇市、石垣島の3試料、玉泉洞内水、武漢市での長江および東湖、Honolulu市の1978年の2試料、Los Angeles市、New York市の1980年の試料、Mississippi川、London市、Almunecar市、Funchal市、Milan市、The Thamesであり、London市の水道水、The Thamesは水質汚染が著しいことを示唆していた。

活火山地帯を流下する河川水には SiO_2 量が高く、大きな湖水は SiO_2 量が少ない。後者の場合、流入した河川水中の SiO_2 が湖内で物理化学的に沈殿除去されるためであろうと小林はすでにIBPの研究集会で発表⁴⁾しているが、今回の研究においてErie湖水を飲料水として利用しているカナダのToronto市は SiO_2 量0.1 mg/l、Michigan湖水を用いているChicago市は0.5 mg/lで日本の平均値19 mg/lに比し著しく低い値であること、活火山の多いハワイ諸島で高い値(32~43 mg/l)であることなどは小林の説をさらに確認した結果となる。なおハワイ島のThurston Lava Tube(SiO_2 1.0 mg/l)や芦山市(2.7 mg/l)の水道水は雨水を貯水したもの(溶解性蒸発残留物量13~18 mg/l)と考えられる。

摘 要

1) 1977年~1981年の間に日本および諸外国より陸水68試料(水道水を主として)を採取して、無機化学主成分の分析を行った。

2) Caの定量値が100 mg/l以上を示したのは、Praia市(118 mg, アルカリ度336 mg/l)、Majorca市(121 mg/l, アルカリ度266 mg/l) Paris市(108 mg/l, アルカリ度231 mg/l)、Copenhagen市(114 mg/l, アルカリ度262 mg/l)、The Thames(105~113 mg/l, アルカリ度191~198 mg/l)、北京市(100 mg/l, アルカリ度323 mg/l)、沖縄県の玉泉洞(128 mg/l, アルカリ度279 mg/l)、London市(116~122 mg/l, アルカリ度219~242 mg/l)であった。これらのアルカリ度は191~336 mg/lの範囲にあった。またCaが5 mg/l以下の非常に低い値を示したのはハワイ水道水水源水(3.1 mg/l, アルカリ度24.1 mg/l)、Thurston Lava Tube(1.2 mg/l, アルカリ度5.3 mg/l)、芦山市(2.7 mg/l, アルカリ度9.8 mg/l)、Loch Ness(2.1 mg/l, アルカリ度6.6 mg/l)であり、Ca量の多い試料はアルカリ度も高く、Ca量が低い試料はアルカリ度も低かった。 SiO_2 量が日本の河川水の平均値19 mg/lより高い値であったのは東京都狛江市、石垣島、Honolulu市、Hilo市、Guadalajara川、Los Angeles市であり、1 mg/l以下の値を示したのはThurston Lava Tube、Chicago市、Toronto市、Polpeath市であり、Loch Ness、Lake of Annecyなどは1.3~1.7 mg/lの値であった。

3) 各成分の当量を求め、アニオンとカチオンの間の当量百分率を算出した。日本はアルカリ土類非重炭酸塩型の水質で SO_4 量はCl量より高かったが、北アメリカやヨーロッパではCaもアルカリ度も高いアルカリ土類重炭酸塩型の水質を示すものが多く、流域の土壌地質の相違を示唆していた。

4) 試料を3地域にわけ各成分間の相関を求めたが3地域共に高い有意の正相関(1%水準で有意)のある成分はCa-アルカリ度、Mg-アルカリ度、Na- SO_4 、Na-Cl、Ca-硬度、Mg-硬度、アルカリ度-硬度であり、 SiO_2 は各成分との間に有意の相関はほとんど認められなかった。

5) SO_4 量とアルカリ度との比を求めた。日本の試料ではその比の高いものが多く、諸外国ではほとんどが低い値であり、高い値は流域地質や軟水化処理による著しい高い値であった。なお SO_4 /硬度についても同様な傾向が得られた。

6) N, P 量について富栄養化の目安値をもとにして検討した。無機態窒素中 NO_3 -N 量の高い地点が多く、London 市, Paris 市, The Thames, 南欧の都市, 玉泉洞内水などは 3.4mg/l 以上の値であった。 PO_4 -P 量は規定値以下が約70%であったが、N量の多い地点はやはり高いが、Paris 市では PO_4 -P 0.014mg/l , NO_3 -N 9.36mg/l であった。なお仙台市, 芦山市, Thurston Lava Tube, San Francisco 市, Helsinki 市, Loch Ness などは N, P とも規定値以下であった。

文 献

1. Kobayashi, J. 1957. On geographical relationship between the chemical nature of river water and death-rate from apoplexy. Ber. Ohara Inst. landw. Biol., Okayama Univ. 9: 12-21.
2. Kobayashi, J. 1960. A chemical study of the average quality and characteristics of river waters of Japan. Ber. Ohara Inst. landw. Biol., Okayama Univ. 11: 313-358.
3. 小林 純. 1960. 日本の河川の平均水質とその特徴に関する研究. 農学研究 48: 63-106.
4. Kobayashi, J. 1967. Silica in fresh water and estuaries. In Chemical environment in the aquatic habitat (ed. by H. L. Golterman and R. S. Clymo): 41-55. N. V. Noord-Hollandsche Uitgevers Maatschappij. Amsterdam.
5. Masironi, R., Pisa, Z. and Clayton, D. 1979. Myocardial infarction and water hardness in the WHO myocardial infarction registry network. Bull. Wld. Hlth. Org. 57: 291-299.
6. Strickland, J. D. H. and Parsons, T. R. 1968. A practical handbook of seawater analysis. p. 65. Bulletin 167. Fisheries Research Board of Canada. Ottawa.
7. 富山哲夫. 1941. 水の微量分析法並びに装置. 33-35頁. 鈴木惣八商店. 東京.
8. Winton, E. F. and Mc Cabe, L. J. 1970. Studies relating to water mineralization and health. J. Am. Water Works Assoc. (Jour. AWWA) 62: 26-30.