

自然水の水質

小林 純

1 はじめに

かつて、アメリカ合衆国の地質調査所長をつとめた F. W. クラーク氏 (1847~1931) は、卓見のある地球化学者であった。今から半世紀の昔、1924年に出版した "Data of Geochemistry" という著書は、大気、湖水、河川、海洋、地下水、岩石やその風化物など17章にわたって、地球化学的なデータを世界的な規模で集大成した貴重な書物であった。彼の計算によると、地球の陸地部分に対する年間の降水量は122兆3000億トンと推定され、その2%余にあたる27兆2000億トンが河川により海に排出される。この川水は27億3500万トンもの溶解した物質を含んで海に運搬するが、そのうち雨に由来する塩類が、2億4400万トンであるから、それを差引くと、水が化学的な浸食作用を営む結果として陸地を溶かして運ぶ正味の量は24億9100万トンであり、もしもこの割合で溶解作用が続くならば3万年後には世界の陸地が平均1フィート低くなると述べている。この計算は増水時などに混濁物質として、物理的に運ばれる土砂や粘土などを除外したものである。また彼は、世界各大陸の川水が含有する化学成分の組成から、世界河川の平均組成を算出するなどして、当時の地球化学界に画期的な発展をもたらした人である。その後、ノースカロライナ州、デューク大学の D. A. リビングストン博士が、世界の新しいデータを加えて、クラーク氏の世界平均水質の値を修正した。しかし、河川水は風化作用によって地表から溶解する物質のほかに、降雨、温泉、海洋に由来する物質や、鉱山、工場、都市などによる人為的な汚染物質をも含有する。したがって河川中の溶解物質の量と質は、時と場所によって大いに異なるのが常である。

2 日本の河川水の特徴

筆者は日本の河川水の特徴を明らかにする目的で、河川の汚濁が顕著でなかった昭和25年を中心に、前後18年にわたり、全国のほとんどの河川(225水系、約500河川)について水質分析を行なった。調査した河川の集水地域は、日本を縦走する背梁山脈に水源を発する河川が全部含まれていて、わずかに沿岸地域と佐渡、奄美大島以下の小島の河川が、この対象から漏れているにすぎないし、その集水面積は26万8490km²に達し、日本全土36万9883km²(理科年表、昭和45年)の73%弱を占める。採水は原則として毎月あるいは隔月の15日を期して、満1年間に12回あるいは6回の一斉採水を行なって、それぞれの河川水質の年間平均値を明らかにしたのであるが、その結果から各成分の濃度の出現頻度を見ると、Caは5.0~10.0ppm、Mgは1.0~3.0ppm、Naは3.0~8.0ppm、Kは0.50~1.50ppm、アルカリ度(CaCO₃)は12.0~33.0ppm、SO₄は3.0~10.0ppm、Clは2.0~6.0ppm、SiO₂は10.0~20.0ppm、溶解性蒸発残留物は45.0~85.0ppm、またP^Hは6.9~7.2の範囲内のものが、調査河川のうち半数以上を占めた。

また個々の河川の各成分の年平均値と、年間流出水量とから年間平均水質を算出し、日本の総平均水質を求め、筆者が分析した東南アジア諸国の平均水質、前記リビングストン博士の計算したヨーロッパ、北アメリカ、南アメリカ、アフリカ、世界などの平均水質との比較を行ってみると表1のようである。この表によって諸外国と比べた場合の、日本の河川水質の特徴は次のようである。

表1 日本の平均水質と諸外国の水質との比較 (ppm)

	調査 河川数	Ca	Mg	Na	K	アルカ リ度 (CO ₃)	SO ₄	Cl	NO ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	計
日本	225	8.8	1.9	6.7	1.2	15.2	10.6	5.8	1.15	19.0	0.34	71
台湾	6	44.4	12.4	14.0	1.8	72.7	59.5	6.4	0.11	10.0	0.01	221
フィリッピン	8	30.9	6.6	10.4	1.7	64.4	13.6	3.9	0.02	30.4	0.00	162
カンボジア	5	10.1	2.3	3.8	1.4	23.5	2.7	1.7	0.03	15.1	0.03	61
タイ	30	19.8	3.7	10.7	2.5	40.7	3.3	12.7	0.35	16.0	0.06	110
マラヤ	7	4.3	1.5	3.8	2.0	7.9	16.1	3.2	0.06	13.0	0.21	52
ビルマ	17	23.6	9.5	13.4	3.0	66.3	7.2	7.9	0.12	15.3	0.02	146
インド	15	28.7	10.1	23.5	2.9	80.8	12.7	13.9	0.53	17.6	0.06	191
西パキスタン	7	33.8	5.1	5.8	3.0	57.8	17.2	2.9	0.18	8.1	0.01	134
セイロン	7	6.9	2.1	3.7	1.4	18.6	0.8	2.9	0.07	13.1	0.01	50
ヨーロッパ		31.1	5.6	5.4	1.7	47	24	6.9	3.7	7.5	1.14	134
北アメリカ		21	5	9	1.4	33	20	8	1	9	0.23	108
南アメリカ		7.2	1.5	4	2	15	4.8	4.9	0.7	11.9	2.00	54
アフリカ		12.5	3.8	11	...	21	13.5	12.1	0.8	23.2	1.86	100
世界平均		15	4.1	6.3	2.3	28.3	11.2	7.8	1	13.1	0.96	90

註) 成分の表示法は F, W, クラークに従う。

- (1) 川水に溶けている総塩分量(溶解無機成分の合計)は、日本の平均が71 ppm であるのに対して、赤道直下にあつて降雨量の多いセイロンやマラヤあるいは南アメリカなどを除けば、台湾、インド、ビルマ、タイはもちろんのこと、ヨーロッパや北アメリカなどが著しく高い値である。このことからわかるように、日本の水には、溶解している無機塩類が稀薄であり、諸外国の水にはそれが濃厚である。この相違は、わが国の大きな降水量や高い湿度と、土地が急峻で水の流れが早く、したがって蒸発による濃縮が妨げられるなどの結果からくるのであろう。このようにわが国の水は稀薄であるけれども、日本の陸地から流出する年間の総水量を5600億トン(建設省河川局、流量年表、昭和36年序文による)と仮定すれば、その中に溶液となって含まれ、海に運ばれる塩分の総量は約4000万トンになり、陸地1平方キロから年間に平均107トンほどの無機塩類が運ばれることになる。
- (2) つぎに各成分について比較してみると、日本の河川にはSiO₂が多く含まれる傾向がある。表1のように世界平均の13.1 ppm, ヨーロッパの7.5 ppm, 北アメリカの9 ppm に対して日本の平均は19.0 ppm であり、また総塩分のうち、SiO₂が占める%を算出してみると世界平均の14.6%に対し、日本平均は26.8%である。しかしSiO₂の豊富な反面に、日本の河川にはCaとアルカリ度、すなわち炭酸カルシウムの溶存量が乏しい。Caは世界平均の15 ppm, 台湾の44.4 ppm, 西パキスタンの33.8 ppm, インドの28.7 ppm, ヨーロッパの31.1 ppm などに対して、日本の平均は8.8 ppm に過ぎない。またアルカリ度(表1ではCO₃として示してある。CaCO₃に換算するには係数1.668をかけ合わせる。)も世界平均の28.3 ppm, インドの80.8 ppm, ヨーロッパの47 ppm に対し日本の平均は僅かに15.2 ppm である。またMgについては世界平均の4.1 ppm, 台湾の12.4 ppm, インドの10.1 ppm, ヨーロッパの5.6 ppm などに対して、日本の平均は1.9 ppm で、Caと同様な傾向があるから、日本の水は諸外国の水に比べて、非常に軟水である。このことは水を吟味しなければならない工業用水にとっては、好都合であるけれども、日本の岩石や土壌中に石灰分が少ないことを示しており、

表2 水成岩と火山噴出物を水源とする水質の相違比較

水系名	河川名	採水場所	水源の地質	Ca %	Mg %	Na %	K %	NH ₄ %	CO ₃ %	SO ₄ %	Cl %	NO ₃ %	PO ₄ %	SiO ₂ %	Fe ₂ O ₃ %	合計 %	総塩分量 ppm
利根川	神流川	群馬県鬼石町	古生層	25.00	1.95	8.18	1.26	0.06	40.08	6.12	3.26	1.75	0.06	12.20	0.08	100.00	86.1
荒川	荒川	埼玉県長静	古生層・石炭紀以前	22.99	2.13	4.82	0.89	0.02	33.77	19.88	2.33	1.06	0.03	12.05	0.03	100.00	91.5
多摩川	多摩川	東京都拜島	古生層	21.66	2.35	5.00	1.20	0.05	34.93	12.58	3.04	2.16	0.01	17.02	0.00	100.00	82.8
大井川	大井川	静岡県島田市	〃	22.31	3.74	4.94	1.27	0.08	27.55	23.96	2.39	0.77	0.00	13.69	0.30	100.00	72.0
揖斐川	揖斐川	岐阜県久瀬村	〃	19.16	4.24	7.35	1.41	0.21	34.08	7.80	6.02	1.30	0.07	18.27	0.09	100.00	44.9
町屋川	町屋川	三重県東員町	〃	24.80	2.40	4.84	1.16	0.02	39.08	9.84	4.43	1.27	0.02	12.07	0.07	100.00	88.2
紀ノ川	紀ノ川	和歌山県和歌山市	古生層・石炭紀以前	17.21	2.73	7.38	1.48	0.08	29.02	14.29	6.33	1.90	0.00	19.53	0.05	100.00	68.5
淀川	天ノ川	滋賀県近江町	古生層	28.97	2.82	4.16	0.85	0.08	43.81	5.49	4.67	1.36	0.04	7.57	0.18	100.00	107.0
厚東川	厚東川	山口県宇部市	〃	23.99	1.60	6.48	1.07	0.05	38.05	5.52	7.90	1.47	0.00	13.84	0.03	100.00	88.0
仁淀川	仁淀川	高知県伊野町	古生層・石炭紀以前	21.65	2.77	5.86	1.03	0.07	37.48	8.59	3.92	0.91	0.01	17.69	0.02	100.00	47.5
吉野川	吉野川	徳島県川島町	中生層	20.03	3.07	6.19	1.29	0.07	33.22	13.77	3.74	1.43	0.00	17.17	0.02	100.00	48.3
一ツ瀬川	一ツ瀬川	宮崎県西都市	〃	15.03	6.02	6.81	1.05	0.07	31.98	13.95	3.54	0.68	0.00	20.87	0.00	100.00	52.0
平均				22.67	2.70	5.83	1.14	0.06	35.91	11.62	4.27	1.37	0.02	14.33	0.08	100.00	73.0
網走川	網走川	北海道美幌町	千島火山帯阿寒岳	7.06	1.56	6.93	1.85	0.03	17.77	5.44	3.67	1.06	0.00	54.22	0.41	100.00	85.7
岩木川	浅瀬石川	青森県黒石市	那須火山帯十和田付近	5.19	1.22	10.47	1.33	0.06	13.60	6.53	10.62	0.63	0.02	50.22	0.11	100.00	74.5
五戸川	五戸川	青森県五戸町	〃	7.22	1.38	6.73	1.29	0.03	16.20	8.37	4.87	1.41	0.04	51.95	0.51	100.00	75.4
利根川	烏川	群馬県榛名町	那須火山帯榛名山	10.03	1.99	4.87	1.20	0.11	17.45	10.90	2.48	1.03	0.02	49.83	0.09	100.00	91.8
利根川	粕川	群馬県粕川村	那須火山帯赤城山	10.30	1.55	5.35	1.81	0.13	20.72	6.60	2.84	0.77	0.02	49.81	0.10	100.00	102.0
相模川	桂川	山梨県富士吉田市	富士火山帯富士山	10.71	3.22	5.16	1.60	0.13	29.11	1.73	1.21	1.51	0.26	45.14	0.22	100.00	100.0
富士川	荒川	山梨県敷島町	富士火山帯草ヶ岳	8.47	2.14	6.11	1.45	0.06	18.57	6.98	3.16	0.82	0.04	52.13	0.07	100.00	70.5
大野川	大野川	大分県大野町	阿蘇火山帯阿蘇山	8.02	1.99	6.16	2.91	0.06	20.45	5.15	2.82	1.17	0.06	50.80	0.41	100.00	107.4
筑後川	筑後川	福岡県大刀洗町	〃	8.93	2.22	7.57	2.48	0.07	16.25	11.66	6.83	0.83	0.06	42.62	0.48	100.00	102.8
白川	白川	熊本県白水村	〃	10.99	4.58	4.51	2.68	0.02	18.71	19.30	4.14	1.31	0.16	33.50	0.10	100.00	150.5
川内川	川内川	鹿児島県川内市	霧島火山帯霧島山	8.78	2.60	6.62	2.18	0.05	17.89	11.00	5.22	0.64	0.02	44.85	0.15	100.00	84.9
大淀川	大淀川	宮崎県高城町	〃	7.64	2.40	6.09	2.41	0.03	18.85	6.34	4.26	1.40	0.02	50.43	0.13	100.00	94.4
平均				8.83	2.37	6.23	2.00	0.06	18.99	8.88	4.23	1.08	0.07	47.03	0.23	100.00	96.5

農業的には、酸性土壌の分布がひろく、また、動植物や人体は、Ca の少ない水を摂取していることがわかる。更に日本とタイについてCa とKの含有量と河川数との関係を比較してみると図1、図2のようで、その相違が明瞭にわかる。

3 水質に及ぼす地質の影響

日本は全面積の60%が傾斜15°以上の山地からなっており、しかもその山地の地質系統は、第三紀以後に噴出した新期の火山岩類が最も広い面積を占め(24.9%)、次いで深成岩類(21.2%)、古生層(19.6%)、第三紀層(17.5%)、中生層(10.3%)の順である。したがってわが国の水質に及ぼす火山噴出物の影響はきわめて大きいと考えられる。そこで

地質年代の若い火山噴出物と、中生層以前の古い水成岩を水源とする二群の河川について、溶解する化学成分の組成(総塩分中の各成分の%)を比較してみると表2のようになる。水成岩を水源とする12河川のCa量は15.03~28.98%で平均値は22.67%、SiO₂量は7.57~20.87%で平均値は14.33%である。この値はF、W、クラーク氏の計算した世界河川平均組成(Caが20.39%、Mgが3.41%、Naが5.79%、Kが2.12%、CO₃が3.515%、SO₄が12.14%、Clが5.68%、NO₃が0.90%、SiO₂が11.67%、(Fe, Al)₂O₃が2.75%で合計100.00%、無機塩類の合計9.9ppm)に近い値を示しているけれども、火山噴出物を水源とする河川では、SiO₂量は33.50~54.22%で平均値は47.03%に達する反面に、Ca量は5.19~10.99%で平均値は8.83%に過ぎない。またアルカリ度はCaと同様な傾向があり、水成岩を水源とする12河川の平均値は35.91%で世界河川平均の35.15%とほぼ同一値を示すのに対し、火山噴出物を水源とする12河川の平均値は18.99%であるに過ぎない。したがって、日本の陸塊の風化浸食に際し、新期の火山噴出物からは、多量のSiO₂が水の溶脱作用によって持ちさらることが認められる。それらの関係を現実を示す実例として、水源が比較的接近して流れる荒川(埼玉県長静)と烏川(利根川の支流、群馬県榛名町)とを選んで、流域の陸地1km²あたりから、1年間に両川が溶液として運搬する諸成分の量(トン)を比較してみると表3のようになる。秩父山地の水成岩を主水源とする荒川の場合、1km²からの流出水量は91万トンあまりであって、運搬される総塩分量は83.5トンであり、その中に含まれるCa量は19.2トン、アルカリ度は炭酸イオ

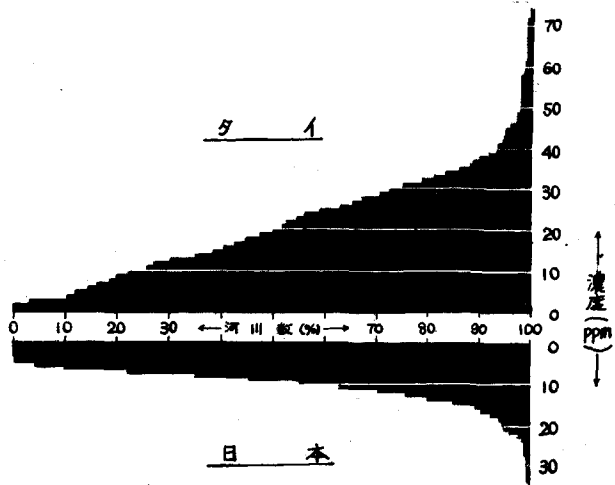


図1 タイ、日本両国のCa濃度と河川数との関係比較

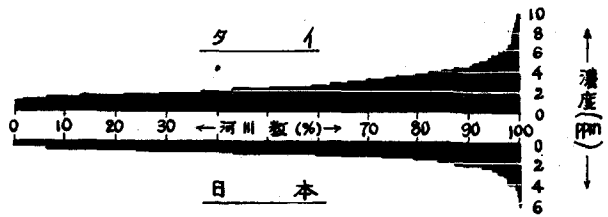


図2 タイ、日本両国のK濃度と河川数との関係比較

ンに換算して28.2トンに達するけれども、 SiO_2 量はわずかに10.1トンにすぎない。これに対し、榛名山附近の火山岩地帯を流域とする烏川の場合は流出水量は100万トンほどであり、運搬される総塩分量は92.1トンであって、荒川とは大差ないが、その中に溶解しているCa量はわずかに9.2トン、アルカリ度は16.1トンにすぎないが、 SiO_2 の量は45.9トンに達する。このように新生の火山岩土壌の風化に際しては、土壌から溶解して失われる SiO_2 の量が、水成岩土壌に比べ非常に多い。この事実は火山岩土壌の風化に際しておきる脱珪酸作用を証明するだけでなく、日本の平均水質に SiO_2 が著しく多い原因を物語る と解釈される。なおフィリッピンやアフ

表3 川水が陸地1Km²から溶液として運搬する諸成分量(トン)の地質による相違比較

河川名	荒川	烏川
水源の主な地質	水成岩	火山岩
流域1Km ² からの流出水量	913,500m ³	1,003,600m ³
Ca	19.2トン	9.2トン
Mg	1.8 //	1.8 //
Na	4.0 //	4.5 //
K	0.7 //	1.1 //
NH ₄	0.0 //	0.1 //
CO ₃	28.2 //	16.1 //
SO ₄	16.6 //	10.0 //
Cl	2.0 //	2.3 //
NO ₃	0.9 //	1.0 //
PO ₄	0.0 //	0.0 //
SiO ₂	10.1 //	45.9 //
Fe ₂ O ₃	0.0 //	0.1 //
計	83.5 //	92.1 //

リカの河川の平均水質中の SiO_2 量が日本よりも高いことも同様の理由によるものである。

Ca量の日本国内での分布は関東地方(石灰岩の多い秩父の山地から流れる荒川、神流川など)や四国地方(物部川)、九州の一部(熊本白川)などは、日本国内としては多い方であり、中国、近畿、東北地方(日本海側)は、Ca量が特に少ない傾向がある。また SiO_2 量については、九州地方、関東地方、北海道東部などに多く、近畿、北陸、東海、四国南部に少ない傾向がある。これをさらにくわしく示すと、九州では阿蘇山や霧島火山系を水源とする川、関東地方では那須火山系や富士火山系、東北地方では八甲田山、北海道では阿寒岳などのような新生の火山系の地質を貫流する川に非常に多い。逆に福井県、岐阜県、高知県、滋賀県などのような水成岩を水源とした川には非常に少ない。

4 海洋塩の影響

Clについての日本の平均水質値は、世界の平均値7.8ppmに対し5.8ppmである。また総塩分中のClの濃度は、世界の平均値8.67%に対し、日本の平均値は8.17%である。Cl量について日本国内の分布状態をみると、裏日本に多く表日本に少ない。この原因の一つは、冬季にシベリヤ大陸内に発生する高気圧によって生ずる季節風が、日本海を吹き渡って裏日本に多量の雨と雪を降らせるからである。河川水中に含有される平均Cl濃度は、表日本の4.8ppmに対して裏日本は7.8ppmであり、また陸地1Km²あたりから、1年間に運び出されるClの量は表日本の6.1トンに対し、裏日本は12.8トンである。さらによくみると、北海道および東北地方の日本海側の河川にCl量が最も多く、中国、四国の両山脈によって北西風を遮られる四国地方の大平洋側の河川に最も少ない。また河川水中のCl量(海水中の主成分)とアルカリ度(陸水中の主成分)の比率の季節的变化をみると、日本海側の河川には、冬季間にその値が著しく増加する傾向がある。しかも、その値が極大を示す時期は、季節風の最盛期よりもむしろ末期にあたる2、3、4月の融雪時であり、大平洋側の河川ではその傾向がみとめられなかった。このことは北西から吹きつける冬の季節風により、日本海の塩分が、吹雪とともに陸上はるか遠くまで運ばれ、雪に混じって閉じ

こめられるが、春の雪どけを待って溶けだして、河川によって再び日本海に押し流されて行く循環の過程を物語っていると思われる。

5 日本国内における河川水質の地域差

さきに行なった日本全国の225河川の平均水質について、北海道、東北、関東、中部、近畿、中国、四国、九州と行政地区別に平均値を求めると表4のようになる。

表4 日本の河川の平均水質（地方別の比較を含む）

	Ca	Mg	Na	K	アルカリ度 (CaCO ₃)	SO ₄	Cl	SiO ₂	Fe	PO ₄	NO ₃ -N	NH ₄ -N	溶解性蒸発残留物	懸濁物
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
北海道地方 22河川平均	8.3	2.3	9.2	1.45	27.8	10.7	9.0	23.6	0.50	0.01	0.54	0.06	87.9	76.9
東北地方 35河川平均	7.7	1.9	7.3	1.06	16.3	17.6	7.9	21.5	0.49	0.01	0.26	0.06	79.1	18.6
関東地方 11河川平均	12.7	2.9	7.3	1.43	34.8	15.9	6.1	23.1	0.23	0.03	0.29	0.08	93.5	22.1
中部地方 42河川平均	8.9	1.7	4.8	1.05	24.7	7.7	3.9	13.7	0.14	0.02	0.18	0.05	62.0	26.9
近畿地方 28河川平均	7.6	1.3	5.5	1.04	22.5	7.4	5.3	12.1	0.11	0.01	0.21	0.04	56.8	20.0
中国地方 25河川平均	6.7	1.1	6.5	0.94	22.3	4.4	6.6	14.1	0.05	0.00	0.20	0.03	56.7	7.4
四国地方 19河川平均	10.6	1.5	3.8	0.66	30.5	5.7	2.4	9.8	0.01	0.00	0.12	0.02	57.0	6.1
九州地方 43河川平均	10.0	2.7	8.6	1.84	33.5	13.1	4.6	32.2	0.13	0.04	0.20	0.04	106.0	29.8
全国 225河川平均	8.8	1.9	6.7	1.19	25.4	10.6	5.8	19.0	0.24	0.02	0.26	0.05	74.8	29.2

これより北海道地方はNaとClがそれぞれ9.2 ppmと9.0 ppmであって、他の地方にくらべると濃度が著しく高い。また懸濁物も多い。これは泥炭層の分布が広く、その破片が機械的に河川に運ばれることがその一因であると推定される。東北地方の河川はアルカリ度が著しく低く(16.3 ppm) 反対にSO₄の濃度が高い(17.6 ppm) 特質がある。しかし同じ東北地方でも、岩手県東海岸の河川にはSO₄濃度が低く、1.7~3.4 ppmの範囲にあつて、全国的にみても愛知県、福井県などと共にSO₄濃度の特に低い地域に属する。にもかかわらず、東北地方の平均SO₄濃度が高くなる原因は、青森県の荒川、大坪川、秋田県の米代川、宮城県の前川のように温泉や鉱山の影響によってSO₄を高濃度に含む河川の影響が大きいからである。関東地方はCa, Mgおよびアルカリ度に富む特質があり、その値の平均値は12.7 ppm, 2.9 ppmおよび34.8 ppmで8地方中最大値を示している。中部地方ではCaが日本の総平均値よりわずかに高い値を示すのみで、その他の無機化学成分はいずれも低い値を示している。Clについてみると太平洋側は低く、日本海側が高い。この原因の一部はやはり冬の北西風によって運ばれる日本海の塩分にもとづくと考えられる。しかし同じ日本海側でも日本アルプス連峯を水源とする川(姫川, 黒部川, 片貝川, 早月川, 常願寺川, 神通川, 庄川)にはClは少ない。これは水源の山岳が高く海洋塩の影響を受けにくいと解釈すべきであろう。近畿地方では日本の総平均水質に比べMg(1.3 ppm), SiO₂(12.1 ppm), 溶解性蒸発残留物(56.8 ppm)が明らかに稀薄であり、またCa, Na, K, アルカリ度, Clも少ない傾向がある。近畿地方でもっとも稀薄な河川は紀伊半島の南部にある銚子川と古座川であつて、その溶解性蒸発残留物量は銚子川は28 ppm, 古座川は33.3 ppmであつた。中国地方の平均水質も、日本の総平均水質値にくらべるとCl(6.6 ppm)以外は全部の無機成分が稀薄な傾向を示している。中でもMgとSO₄についてその傾向が著しい。Cl量について日本海側と瀬戸内海側にわけてみると、島根県下の河川は8.5~29.3 ppmを示すのに対し、岡山、広島両県の河川は2.5~7.4 ppm

にすぎない。四国地方の河川の特徴は Ca 量 (10.6 ppm) とアルカリ度 (30.5 ppm) が高いことである。また P^H 値の大きい河川が多く、調査した19河川のうち14河川が P^H 7.3 以上を示した。しかし反面において Na , K , Fe , Cl , SiO_2 , NO_3-N , NH_4-N などが非常に少なく8地方中最低値を示している。なお Cl 量は四国山脈の両側に相違し、南側を流れる高知、徳島両県下の河川に著しく少ない (1.1~2.6 ppm) ことは、冬季の北西風によって運ばれる海洋塩の影響が急峻な四国山脈により遮断される結果と考えられる。九州地方の最も大きい特徴は SiO_2 量の高い河川が多数に存在することである。 SiO_2 量が40 ppm 以上の河川は調査した43河川のうち11河川であり、 Ca , Mg , Na , K , アルカリ度, SO_4 , PO_4 なども全国平均値よりも高い値を示している。また溶解性蒸発残留物が濃厚であることも特徴の一つであり、近畿、中国、四国地方などの56.7~57.0 ppm に比べるとほとんど2倍に達しており、また日本の総平均(74.8 ppm) に比べ著しく濃厚である。この原因は高珪酸の他に前述した成分が日本平均よりも高いことも一因とみるべきであろう。

6 瀬戸内海流入河川による物質運搬量

筆者がさきに日本の河川の平均水質を求めるため調査した河川のうち、香川、愛媛、山口、広島、岡山の5県より瀬戸内海に流入する24河川について、昭和43~44年に、前回とほぼ同一地点で採水を行ない水質分析を行なった。その定量値及び前回の平均水質値を用いて、それらの河川が1年間に瀬戸内海に運搬する量を算出し、県別の合計量及びそれらの総量を表5に、河川別の数量を表6に示した。

まず表5より5県の河川による瀬戸内海への総運搬量についてみると、 Ca 量が18万6700トンから24万5000トンに、 Mg 量は2万7600トンから3万5600トンに、 Na 量は10万5400トンから約13万トンに、 K 量は1万8700トンから2万6700トンに、 SO_4 量は12万6700トンから19万5000トンに、 Cl 量は9万7700トンから13万9000トンに、 SiO_2 量は27万8200トンから28万8800トンに、 NO_3-N 量は5000トンから6900トンに、 NH_4-N 量は700トンから840トンに、 NO_2-N 量は前回の調査の際にはほとんど検出されなかったが、43~44年の調査の際の量は65.7トンに、 PO_4-P 量は19トンから210トンに、溶解性蒸発残留物量は123万1000トンから129万5100トンに、43~44年の方が日本平均水質調査時(17年~34年の間)よりも増加していることが判明したが、反面においてアルカリ度が55万5700トンから43万9000トンに、懸濁物量が16万7600トンから14万4000トンに減少していた。つぎに増加の度合をみると NO_2-N と PO_4-P は著しく高く、 SO_4 , K , Cl , NO_3-N などがこれに次ぐ。昭和43~44年における県別の運搬量をみると Ca , Mg , Na , K , アルカリ度, SO_4 , NO_2-N , PO_4-P , 溶解性蒸発残留物, 懸濁物などの量は岡山県が第1位であり、最下位は香川県である。なお、 Cl 量の第1位は山口県であり、広島県では NH_4-N 量と SiO_2 量が第1位を占め、3者の最下位はやはり香川県である。この傾向は日本の平均水質値を求めた際にも N , P 以外については同様であった。

次に表6より、43年~44年の運搬量について県毎に河川別にみると、香川県では運搬量の最も多い川は土器川であるが、 Cl 量, NO_3-N 量と懸濁物量については年流量が土器川より約30%少ない財田川が最大運搬量を示しており、 NO_2-N 量と PO_4-P 量については綾川が最大量を示している。また前回の平均水質値より算出した値と比較して、 N 量や P 量の増加の最も著しいのは綾川であり、その他の無機成分では香東川である。殊に香東川は溶解性蒸発残留物量が著しく増加したのに対し、懸濁物量は約10%に減少している。愛媛県では運搬量が最大量を示すのは肱川であ

り、最少量を示すものは Ca , Mg , K , アルカリ度, SO_4 , 懸濁物などについては蒼社川であり, Na , Cl , SiO_2 , NO_3-N , NH_4-N , 溶解性蒸発残留物などについては石手川, PO_4-P については中山川である。前回の平均水質値より算出した値に比し増加の傾向の著しい成分は PO_4-P と NO_3-N である。ことに NO_3-N 量は国領川は約 5 倍, 肱川では約 3 倍に達し, 最も増加率の少ない中山川でも約 50% 増となっている。 NH_4-N 量については減少の傾向を示し, 増加しているのは蒼社川 (約 50% 増) のみであり, 加茂川は変動がなく, その他の河川は 2.9 ~ 7.5% の低い値になっている。重信川は一般的に各成分は減少の傾向にあるが, NO_3-N 量は約 2.2 倍, Cl 量は約 1.4 倍, 懸濁物量は約 1.2 倍で, NO_3-N や Cl が著増しつつあることを示している。山口県では運搬量の最も大きい川は錦川であるが, NO_3-N 量と PO_4-P 量は樺野川が最大値を示している。そして最少量を示す川は吉田川であるが, NH_4-N , PO_4-P , Mg などについては佐波川が年流量が吉田川の約 2 倍であるにもかかわらず最少値を示している。前回の平均水質値より算出した数量と比較すると, NO_3-N 量は吉田川, 厚東川では減少 (約 80% に) し, 樺野川は 2 倍となっており, その他の河川も増加の傾向を示している。 NH_4-N 量については佐波川が減少 (約 33% に) しているのみで, NO_3-N 量が減少した吉田川, 厚東川では 2.5 ~ 2.0 倍の高い値を示し, また NO_3-N 量の著増した樺野川は NH_4-N 量も増加している。 PO_4-P 量は前回の平均水質調査時には吉田川と樺野川にのみ検出されたのであるが, 43 ~ 44 年の調査の際はすべての河川に検出され, その増加の度合の最も大きい川は樺野川で約 1.9 倍となっている。このほかに K , Mg , Na , SO_4 , Cl 溶解性蒸発残留物などはいづれの河川も増加の傾向にある。これに対し, いづれの河川でも減少しているのは懸濁物量であって, その量は 9 ~ 30% にすぎない。広島県では最大の運搬量を示す河川は太田川であるが, NO_2-N 量と PO_4-P 量については黒瀬川である。黒瀬川の年流量は太田川の 9% 余にすぎないが, NH_4-N 量や NO_3-N 量も前回の平均水質値より算出した数量に比し著増 (NH_4-N 量が約 1.9 倍, NO_3-N 量が約 2.5 倍) していることから黒瀬川は著しく水質汚染を受けているといえよう。また K , SO_4 , Cl , SiO_2 アルカリ度, 溶解性蒸発残留物量などは黒瀬川が最少値を示しているが, Ca , Mg , Na , NO_3-N , NO_2-N , PO_4-P , 懸濁物量などについては小瀬川が最少値を示している。つぎに前回の平均水質値より算出した数量と比較すると, 芦田川では PO_4-P 量が増加し, SiO_2 量と NO_3-N 量には変動がなく, その他の成分は減少 (20~94%) しているが, その減少率の大きい成分は NH_4-N (約 20% に) である。太田川は懸濁物量のみが約 5.5 に減少しただけで, その他の成分はいづれも増加の傾向にあり, NO_2-N 量や PO_4-P 量が著増し, その他の成分も 40 ~ 120% の増加となっている。尚 PO_4-P 量はいづれの河川でも増加の傾向を示している。岡山県では運搬量について最大量を示すのは高梁川であるが, SO_4 , Cl , NO_3-N , NO_2-N , PO_4-P などについては吉井川である。旭川はほとんどの成分が最少値を示している。前回の水質平均値より算出した運搬量と比較すると, 高梁川では SiO_2 量と NO_3-N 量が減少 (80 ~ 86% に) して居るが, その他の成分は増加の傾向にあり, ことに Ca 量は約 5.8%, 懸濁物量は約 9.8% も増加している。旭川はアルカリ度, SiO_2 量, NH_4-N 量, 懸濁物量などが減少 (6.8 ~ 9.5% に) しているが, その他の成分は増加の傾向にあり, その度合の高いものは PO_4-P , NO_2-N , SO_4 , NO_3-N , K などである。吉井川については旭川と同様な傾向がみとめられた。

このように昭和 43 ~ 44 年の間に 1 ~ 2 回の一斉採水を行ない, 得られた分析値を用いて算出した溶解性塩分の運搬量を前回の平均水質値から得られる量と比較すると, 24 河川のほとんどが肥料分や食塩分による人為的な化学成分が著増していることが判明した。けれども, その反面, 人間活動の影響の少ない SiO_2 , Ca , Mg などには, ほとんど大きな変化が起きていなかった。

表5 瀬戸内海流入河川による溶解性塩分の運搬量 (ton/year) の相違比較 (河川別)

A ……昭和43~44年採取試験料分析値より算出 B ……日本の河川の平均水質値より算出

県名	河川名	区分	Ca	Mg	Na	K	アルカリ度 (CaCO ₃)	SO ₄	Cl	SiO ₂	NO ₃ -N	NH ₄ -N	NO ₂ -N	PO ₄ -P	溶解性 炭素 残留物	懸濁物
香川	香東川	A	2760	290	1420	210	6990	2390	1240	2910	48.3	4.5	0.15	0.45	17700	106
		B	1960	210	1180	170	5190	1750	680	2510	34.7	4.5	-	0.45	12500	1680
	A/B	1.41	1.38	1.20	1.23	1.35	1.36	1.82	1.16	1.16	1.39	1.00	1.00	1.42	0.10	
	土器川	A	3160	290	1800	330	7020	4390	1190	4030	56.3	4.2	0.00	0.63	21500	420
		B	2590	250	1800	290	6520	2930	1070	3700	58.5	8.4	-	0.00	18000	2470
	A/B	1.22	1.16	1.00	1.14	1.08	1.50	1.43	1.11	1.09	0.96	0.50	-	0.00	1.39	0.17
綾川	A	2040	370	1120	240	5110	2470	1150	2660	49.2	4.8	0.72	2.88	13900	620	
	B	1790	320	1160	190	5210	1730	1150	2290	30.0	2.4	-	0.24	12000	1850	
A/B	1.14	1.16	0.97	1.26	0.98	1.43	1.00	1.00	1.16	1.64	2.00	-	12.0	1.16	0.34	
香川	財田川	A	2480	260	1500	330	5620	2830	1340	2830	61.3	4.4	0.15	2.34	16800	890
		B	2090	230	1390	240	4730	2230	1300	2580	59.9	5.8	-	0.00	14300	1230
	A/B	1.19	1.13	1.08	1.40	1.19	1.27	1.03	1.03	1.10	1.02	0.76	-	1.17	0.72	
	A	3710	720	1680	300	7760	4920	1870	1700	1700	121	2.1	0.21	1.06	23100	640
愛媛	国領川	B	2370	400	870	130	5170	2370	740	1420	23.3	4.2	-	0.64	13300	320
		A/B	1.56	1.80	1.93	2.30	1.50	2.08	2.52	1.20	5.19	0.50	-	1.66	1.74	2.00
	A	4250	540	950	220	9700	3010	1590	1970	1970	155	9.5	0.00	0.95	22800	1490
	B	3870	510	790	140	9450	2470	860	1970	1970	79.2	9.5	-	0.00	17800	760
A/B	1.09	1.06	1.20	1.57	1.03	1.22	1.85	1.00	1.00	1.96	1.00	-	0.00	1.28	1.96	
愛媛	中山川	A	2570	510	1330	300	6660	3710	1810	2850	98.3	9.5	0.00	0.00	17800	1490
		B	3900	630	1650	210	9070	3770	1170	3420	66.6	12.7	-	0.63	23600	1270
	A/B	0.66	0.81	0.81	1.43	0.74	0.98	1.55	1.55	0.83	1.48	0.75	-	0.75	0.75	1.17
愛媛	蒼社川	A	1000	120	440	80	2760	430	460	1510	32.7	2.73	0.09	0.46	7640	440
		B	1020	120	460	60	3050	480	240	1350	17.3	1.82	-	0.00	6030	430
A/B	0.98	1.00	0.96	1.33	0.90	0.90	1.92	1.92	1.12	1.89	1.50	-	0.00	1.27	1.02	
愛媛	石手川	A	1350	150	400	100	3640	700	440	960	32.4	0.6	0.00	0.36	6360	1140
		B	850	110	380	60	2780	250	220	980	18.0	1.2	-	0.30	4800	220
	A/B	1.59	1.36	1.05	1.67	1.31	2.80	2.00	0.98	1.80	0.50	-	1.20	1.33	5.18	
	A	1050	240	840	130	3150	1170	760	2330	58.5	2.66	0.00	0.40	9040	1040	
愛媛	重信川	B	1730	290	1120	150	5330	1600	550	2310	26.6	9.30	-	0.40	12100	860
		A/B	0.61	0.83	0.75	0.87	0.59	0.73	1.38	1.01	2.20	0.29	-	1.00	0.75	1.21
愛媛	肱川	A	28700	5330	9750	2230	80200	16000	13100	21000	990	55.1	3.68	11.03	154000	31400
		B	26100	4970	9380	1660	77100	13400	9380	21900	330	73.6	-	5.52	142000	15800
A/B	1.10	1.07	1.04	1.34	1.04	1.19	1.40	1.40	0.96	3.00	0.75	-	2.00	1.08	1.99	

吉田川	A	5980 トン	1080 トン	5190 トン	740 トン	18500 トン	4560 トン	6080 トン	8580 トン	103 トン	24.5 トン	0.49 トン	13.7 トン	41600 トン	540 トン
	B	4460 "	780 "	3870 "	450 "	14700 "	3480 "	4020 "	6370 "	132 "	9.8 "	-	4.4 "	32700 "	5880 "
	A/B	1.34	1.38	1.34	1.64	1.26	1.31	1.51	1.34	0.78	2.50	-	3.11	1.27	0.09
厚東川	A	11900 トン	1040 トン	4670 トン	910 トン	30600 トン	4210 トン	6870 トン	8620 トン	149 トン	38.8 トン	2.59 トン	11.7 トン	59600 トン	1560 トン
	B	13600 "	910 "	3690 "	610 "	36200 "	3180 "	4540 "	7910 "	188 "	19.4 "	-	0.00	57800 "	5960 "
	A/B	0.88	1.14	1.27	1.49	0.85	1.32	1.51	1.09	0.79	2.00	-	0.00	1.03	0.26
権野川	A	11600 トン	1450 トン	8830 トン	1330 トン	26300 トン	9070 トン	10500 トン	10800 トン	964 トン	40.1 トン	13.65 トン	29.7 トン	74700 トン	2000 トン
	B	7870 "	1120 "	5780 "	920 "	22500 "	4740 "	6670 "	11300 "	466 "	32.1 "	-	1.6 "	52600 "	6580 トン
	A/B	1.47	1.29	1.53	1.45	1.17	1.91	1.57	0.96	2.07	1.25	-	18.56	1.42	0.30
佐波川	A	8480 トン	1020 トン	6440 トン	1020 トン	23800 トン	6330 トン	7230 トン	17100 トン	237 トン	11.3 トン	0.00	3.39 トン	56500 トン	570 トン
	B	7120 "	790 "	5990 "	970 "	22900 "	3730 "	5990 "	14800 "	237 "	33.9 "	-	0.00	56500 "	4970 トン
	A/B	1.19	1.29	1.08	1.05	1.04	1.70	1.21	1.16	1.00	0.33	-	0.00	1.00	0.11
錦川	A	20300 トン	2490 トン	10400 トン	2060 トン	53300 トン	16500 トン	14500 トン	27100 トン	452 トン	45.2 トン	0.00	13.6 トン	126000 トン	5650 トン
	B	16000 "	2260 "	8810 "	1650 "	49200 "	11700 "	7230 "	26400 "	339 "	45.2 "	-	0.00	109000 "	18900 "
	A/B	1.27	1.10	1.18	1.25	1.08	1.41	2.00	1.03	1.33	1.00	-	0.00	1.16	0.30
小瀬川	A	3070 トン	430 トン	3410 トン	780 トン	10500 トン	2470 トン	3670 トン	12600 トン	162 トン	25.6 トン	0.00	2.56 トン	32400 トン	1110 トン
	B	3070 "	340 "	3070 "	510 "	11100 "	2900 "	2130 "	12000 "	196 "	34.1 "	-	0.00	33100 "	3750 "
	A/B	1.00	1.26	1.11	1.53	0.95	0.85	1.72	1.05	0.83	0.75	-	0.00	0.98	0.30
太田川	A	19900 トン	2660 トン	15700 トン	3590 トン	56100 トン	13300 トン	18600 トン	45400 トン	558 トン	159 トン	2.66 トン	7.97 トン	146000 トン	9570 トン
	B	9030 "	1330 "	10600 "	1780 "	33700 "	6910 "	10100 "	30800 "	398 "	80 "	-	0.00	97500 "	17500 "
	A/B	2.20	2.00	1.48	2.02	1.66	1.92	1.84	1.47	1.40	1.99	-	0.00	1.50	0.55
黒瀬川	A	3300 トン	450 トン	1910 トン	560 トン	9200 トン	1980 トン	2380 トン	4020 トン	250 トン	141 トン	9.92 トン	8.43 トン	19300 トン	2430 トン
	B	2360 "	200 "	1390 "	320 "	6570 "	1460 "	1270 "	4190 "	99 "	7.4 "	-	0.00	15600 "	2210 "
	A/B	1.40	2.25	1.37	1.75	1.40	1.36	1.87	0.96	2.53	19.05	-	0.00	1.24	1.10
沼田川	A	8520 トン	940 トン	6550 トン	1870 トン	27900 トン	5430 トン	7300 トン	17500 トン	215 トン	65.5 トン	0.94 トン	2.81 トン	70200 トン	5050 トン
	B	6180 "	750 "	5150 "	1110 "	19400 "	7020 "	4490 "	17400 "	308 "	37.4 "	-	1.87 "	53800 "	8050 "
	A/B	1.38	1.25	1.27	1.68	1.44	0.77	1.63	1.01	0.70	1.75	-	1.50	1.30	0.63
芦田川	A	4240 トン	880 トン	4080 トン	890 トン	16600 トン	4480 トン	3680 トン	14500 トン	288 トン	8.0 トン	4.0 トン	4.0 トン	52000 トン	8240 トン
	B	6800 "	960 "	6000 "	1090 "	19900 "	5920 "	5920 "	14100 "	288 "	40.0 "	-	0.00	55100 "	9600 "
	A/B	0.62	0.92	0.68	0.82	0.83	0.76	0.62	1.03	1.00	0.20	-	0.00	0.94	0.86
高梁川	A	54700 トン	6570 トン	15800 トン	3600 トン	102000 トン	20200 トン	11600 トン	27900 トン	631 トン	78.9 トン	7.89 トン	65.7 トン	223000 トン	47300 トン
	B	34700 "	4470 "	11800 "	2500 "	102000 "	13700 "	10500 "	35000 "	736 "	78.9 "	-	0.00	177000 "	23900 "
	A/B	1.58	1.47	1.34	1.44	1.00	1.47	1.10	0.80	0.86	1.00	-	0.00	1.26	1.98
吉井川	A	21900 トン	4700 トン	14800 トン	2770 トン	35600 トン	46300 トン	12100 トン	26400 トン	683 トン	67.0 トン	13.4 トン	17.89 トン	192000 トン	12100 トン
	B	15000 "	3130 "	10500 "	1920 "	41800 "	20800 "	9600 "	28200 "	492 "	89.4 "	-	6.70 "	119000 "	23000 "
	A/B	1.46	1.50	1.41	1.44	0.85	2.23	1.26	0.94	1.41	0.75	-	2.67	1.61	0.53
旭川	A	13500 トン	3100 トン	10900 トン	2100 トン	28800 トン	18200 トン	9660 トン	23500 トン	474 トン	36.5 トン	9.11 トン	9.12 トン	91200 トン	8200 トン
	B	12200 "	2550 "	8570 "	1590 "	42100 "	8200 "	7840 "	25300 "	346 "	54.7 "	-	0.00	94800 "	10400 "
	A/B	1.11	1.22	1.27	1.32	0.68	2.22	1.23	0.93	1.37	0.67	-	0.00	0.96	0.79

表6 瀬戸内海流入河川による溶解性塩分の運搬量 (ton/year) の相違比較 (県別)

A ……昭和43~44年採取試料分析値より算出 B ……日本の河川の平均水質値より算出

	区分	C _a	M _g	N _a	K	アルカリ度 (CaCO ₃)	SO ₄	Cl	SiO ₂	NO ₃ -N	NH ₄ -N	NO ₂ -N	PO ₄ -P	溶解性 炭素 残留物	懸濁物
		トン	トン	トン	トン	トン	トン	トン	トン	トン	トン	トン	トン	トン	トン
香川	県	10440	1210	5840	1110	24740	12080	4920	12430	215	17.1	1.02	6.3	69900	2100
	川	8430	1010	5530	890	21650	8640	4200	11080	183	21.1	-	0.69	56800	7200
愛媛	県	42630	7610	16390	3360	113870	29940	20030	32320	1488	82.2	3.98	14.26	240740	37640
	川	39840	7030	14650	2410	111950	24340	13160	33350	561	112.3	-	7.49	219630	19660
山口	県	58260	7080	35530	6060	152500	40670	45180	72200	1905	159.9	16.73	72.09	358400	10320
	川	49050	5860	28140	4600	145500	26830	28450	66780	1362	140.4	-	6.0	308600	42290
広島	県	39030	5360	31650	7690	120300	27660	35630	94020	1473	399.1	13.52	25.77	319900	26400
	川	27440	3580	26210	4810	90670	24210	23910	78490	1289	198.9	-	1.87	255100	41110
岡山	県	90100	14370	41500	8470	166400	84700	33360	77800	1798	182.4	30.41	92.71	506200	67600
	川	61900	10150	30870	6010	185900	42700	27940	88500	1574	223	-	2.67	390800	57300
5 県	2 4 河川	240460	35630	129910	26690	439200	195050	139120	288770	6879	841.5	65.66	211.13	1295140	144060
	合計	186660	27630	105400	18720	555670	126720	97660	278200	4969	695.7	-	18.72	1230930	167590