

徳之島の河川水質組成と海塩の影響について

後藤隼次* 野間泰二**

GOTO, H. and NOMA, Y. (1989) Stream water geochemistry and estimation of the effect of sea salt in Tokunoshima. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 40(11), p.625-633.

Abstract : Stream waters from Tokunoshima, an island of the Amami island arc, south-westren Japan, were studied to clarify their chemical characteristics affected by both geology of the catchment-basin and sea salt.

The stream waters are divided into two types ; one is carbonate hardness type and the other is non carbonate alkali type. The waters of the former type flow through the area of diabase or limestone, while the waters of the latter type flow through the area of granitic rocks or old sedimentary rocks.

In order to estimate the effect of sea salt on the chemical composition of the waters, the background level of chlorine in stream water is supposed to be 5.11 mg/l that has been reported as average concentration of the major rivers of Japan. The proportion of sea salt in the chemical constituents dissolved in the stream waters from the areas of granite, old sedimentary rock, diabase and limestone are estimated to be 69 %, 50 %, 31 % and 18 %, respectively.

1. はじめに

徳之島は鹿児島県奄美諸島の一島であり、面積は約 263 km² の島である。また、島には地質と地形の状態が異なる多くの河川が存在している。

一般に河川水の水質組成は流域の地質環境と密接な関係を持つことが予想されるが、徳之島ではその他に地理的理由からかなり海水の飛沫が風に乗って運ばれる海塩の影響をうけている可能性が考えられる。

本研究では琉球石灰岩の水文地質的対比の研究の一環として、徳之島調査を行った際に採取された試料を用いて河川水の水質組成と地質環境との関係を明らかにすると共に、海塩の影響を地域的に検討し、海塩量を見積った。

河川水試料の分析データの各種統計解析には地質調査所鉱物資源部にて開発された地球化学データ解析プログラム (Geocaps-W) (吉井・佐藤, 1983) を使用した。

2. 地形と地質

奄美諸島は南西諸島のほぼ中央部に位置し、北東から南西に連なる列島で、奄美大島、喜界島、徳之島、沖永良部島及び与論島の5つの島々からなっている。その中

で徳之島は奄美大島のつぎに広い面積 (263 km²) を有しており、南北に細長いほぼ長方形の形態で南北約 26 km, 東西 8-14 km で南半分が広く、周囲 84 km の島である。

島の最高峰は中央部東寄りの井之川岳 (644 m) で、北部から南部にかけての中央部に天城岳 (533 m), 三方通岳 (496 m), 大城山 (331 m), 美名田山 (437 m), 丹発山 (447 m) 及び犬田布岳 (417 m) などの山々が連なって山岳地帯を形成しており、他の4島に見られない景観を呈している。

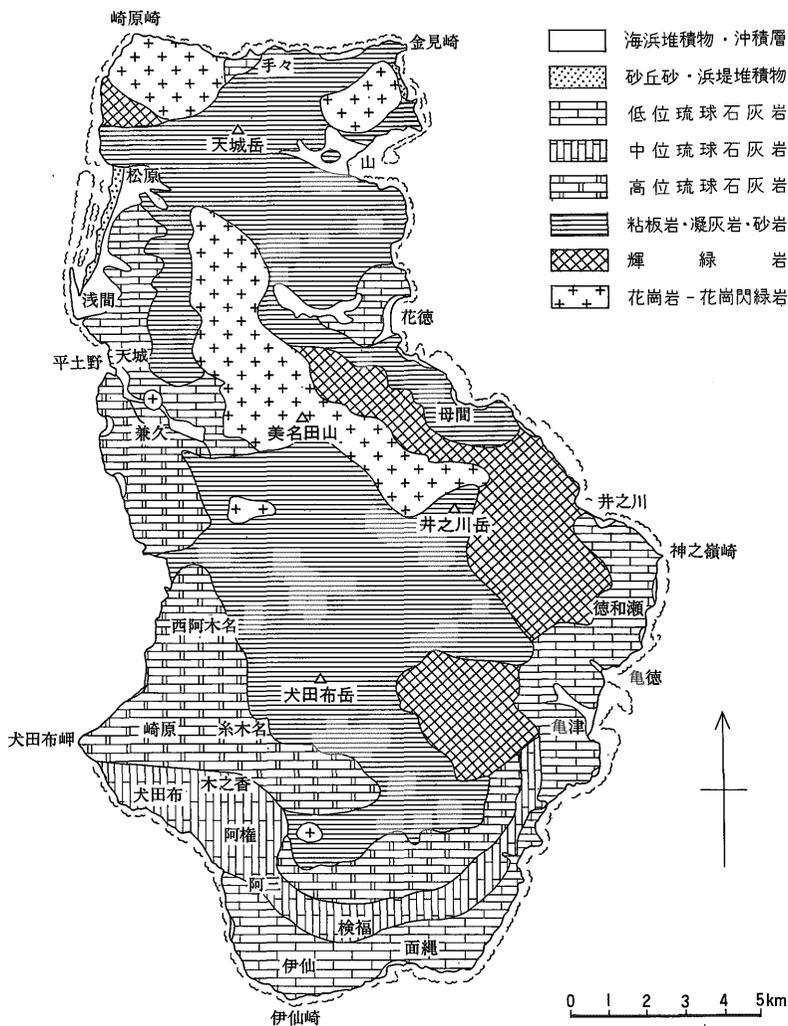
徳之島の地質に関しては鹿児島地質調査研究会 (1958) の報告があり、これをもとにして作成した地質概略図を第1図に示した。

この図に見られるように、島の中央部は古期堆積岩類とこれを貫く花崗岩類及び輝緑岩類からなり、南部海岸沿いを中心に標高約 200 m 以下の地帯には琉球石灰岩が分布している。

古期堆積岩類としては、黒色を呈する粘板岩と灰色がかった砂岩が主なものであり、弱い変成作用をうけて千枚岩質になっている箇所が多い。

火成岩類は島の北部海岸及び中央部に分布する花崗岩ないし、花崗閃緑岩と北西部から南東部の山岳地帯を中心に分布する輝緑岩であり、花崗岩類の一部は風化が著しく、マサ化している。琉球石灰岩はこれらの基盤を不

* 地殻化学部 ** 元環境地質部



第1図 概略地質図

整合に覆う新期の石灰岩で上部鮮新統ないし、下部更新統に属し、主として珊瑚類、石灰藻、有孔虫殻などが固結した多孔質の石灰岩である。また一部は固結後に再結晶して非常に堅固な部分もある。

3. 試料採取

河川水の水質組成は流域の地質環境によって変化することが知られている。ここでの流域の地質区分は石灰岩流域、古期堆積岩流域、輝緑岩流域及び花崗岩流域の4つに区分できる。試料の採取地点は上流地域の地質条件を考えて、それぞれの地質区分流域から合計23点の試料の採取を行った。採取試料の地質区分(記号)と試料番号は次の通りであり、採取地点は第2図に示す。

- | | |
|---------|--|
| 石灰岩流域 | (L): No. 9, No. 19 |
| 古期堆積岩流域 | (P): No. 1, No. 3, No. 4, No. 7, No. 8, No. 15, No. 17, No. 18 |
| 輝緑岩流域 | (D): No. 5, No. 6, No. 11, No. 12, No. 13 |
| 花崗岩流域 | (G): No. 2, No. 10, No. 14, No. 16 |

4. 水質分析結果と溶存成分相互の関係

水質分析結果を第1表(コード記号は、T, T2=採取時期, L, P, D, G=地質区分)に示し、地質区分



第2図 試料採取地点

別主要成分量(当量)の平均値を第2表に示した。第2表に見られるように石灰岩流域は溶存量(M. アルカリ度+Cl⁻+SO₄²⁻+Na⁺+K⁺+Ca²⁺+Mg²⁺との当量合計)が最も多い流域の試料であり、M. アルカリ度、SO₄²⁻、Ca²⁺及びMg²⁺などの含有量が他の地質区分流域の試料に比べて、2-4倍程多い。これは水中の炭酸イオンが石灰岩に作用し、含有量を増加させているためと考えられる。また古期堆積岩流域の試料は溶存量が最も少ない。輝緑岩流域及び花崗岩流域の試料は溶存量がほぼ同じ程度である。しかし、輝緑岩流域ではM. アルカリ度、Ca²⁺及びMg²⁺の含有量に富み、花崗岩流域ではCl⁻とNa⁺の含有量が特に多い特徴があり、輝緑岩流域と花崗岩流域とはほぼ同じ溶存量でありながらその化

学組成は違っている。

一般に河川水中の溶存成分量と水質組成は流域の地質環境によって異なる。ここでは河川水中の各種主要溶存成分量の相互の関係が、流域の地質環境によってどのような影響を受けているかを検討するため、代表的陰イオンである、M. アルカリ度、Cl⁻及びSO₄²⁻と対応する陽イオンのNa⁺、Ca²⁺及びMg²⁺の溶存当量関係を地質区分別にそれぞれ記号を与えて第3図に示した。

これらの図に見られるように、M. アルカリ度とCa²⁺、Cl⁻とNa⁺はいずれの地質区分においても良好な正の相関関係が認められ、相関係数はそれぞれ0.973, 0.991であった。また、M. アルカリ度とMg²⁺も石灰岩流域の試料を除外すれば、正の相関関係があり、相関係数は

第1表 水質分析結果

No.	Code	Tw. °C	ρ_w . Ohm.cm	PH	M. AL. me/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	CaCO ₃ mg/l	SiO ₂ mg/l
1	T. P.	21.2	9090	7.7	0.37	23.3	4	15.9	0.8	3.3	2.1	16.89	17.2
2	T. G.	21.3	6250	7.7	0.30	42.5	6	26.6	0.9	2.0	2.7	15.29	20.0
2	T2G.	14.6	4350	7.3	0.44	56.8	8	35.4	1.0	4.6	3.7	26.72	22.3
3	T. P.	20.4	7690	7.4	0.43	29.0	5	18.0	1.0	3.8	2.5	19.78	20.7
3	T2P.	15.3	7690	7.1	0.36	26.2	8	17.7	0.9	3.9	2.5	20.03	19.2
4	T. P.	23.5	8330	7.5	0.47	22.6	4	16.4	1.2	3.9	2.4	19.62	18.7
5	T. D.	21.3	7690	7.6	0.81	17.7	3	12.8	0.7	7.4	3.9	34.54	12.7
5	T2D.	17.5	5880	7.4	0.92	24.1	7	15.1	0.7	10.6	5.1	47.47	21.2
6	T. D.	19.7	10000	7.2	0.64	14.6	2	11.0	0.6	5.3	3.1	26.00	19.5
7	T. P.	19.9	10000	7.1	0.57	17.0	3	12.2	0.9	4.5	3.0	23.59	22.0
8	T2P.	16.8	7140	7.4	0.72	24.1	4	16.0	0.7	5.8	4.3	32.19	23.8
9	T. L.	21.4	3700	7.1	2.08	20.8	16	14.3	0.8	27.3	7.8	100.29	18.7
10	T2G.	15.9	6250	7.1	0.32	39.0	9	25.0	0.8	3.0	2.6	18.20	23.6
11	T2D.	15.0	7690	7.3	0.78	18.4	3	12.7	0.5	7.3	4.0	34.70	21.8
12	T2D.	15.9	8330	7.4	0.64	17.0	8	12.7	1.0	6.6	3.3	30.07	22.8
13	T2D.	11.2	5000	8.3	1.22	26.9	7	18.9	0.6	12.1	7.3	60.28	29.0
14	T. G.	19.6	8000	6.8	0.25	34.0	5	20.8	0.9	1.9	2.1	13.39	19.5
14	T2G.	16.0	6250	7.1	0.44	33.3	4	19.7	0.9	4.4	3.7	26.23	19.2
15	T. P.	19.3	9520	6.8	0.28	23.3	5	14.7	1.1	2.3	2.0	13.98	15.5
16	T. G.	18.8	9090	7.4	0.36	24.8	3	16.7	0.9	2.8	1.8	14.41	20.0
17	T. P.	18.7	10000	7.5	0.38	19.8	3	13.6	1.0	3.0	1.8	14.90	16.0
18	T. P.	18.5	8330	7.3	0.44	24.8	3	16.9	0.9	3.5	2.7	19.86	21.5
19	T. L.	19.8	3130	8.0	2.86	25.5	5	16.6	0.8	41.9	5.0	125.22	22.7
Number of Samples		23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
Mean Value		18.3	7365	7.4	0.70	26.3	5	17.4	0.9	7.4	3.5	32.77	20.3
Standard Deviation		2.9	1990	0.3	0.62	9.6	3	5.5	0.2	9.2	1.6	27.90	3.3

M. AL.=M. alkalinity (M. アルカリ度) T, T2: 試料採取時期, L: 石灰岩流域, P: 古期堆積岩流域, D: 輝緑岩流域, G: 花崗岩流域

第2表 地質区分別主要成分の平均値(me/l)

No.	地質区分	記号	M. AL.	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	溶存量
1	石灰岩流域	L	2.470	0.653	0.219	0.672	0.020	1.727	0.527	6.288
2	古期堆積岩流域	P	0.447	0.659	0.090	0.683	0.024	0.189	0.213	2.305
3	輝緑岩流域	D	0.835	0.558	0.104	0.603	0.017	0.410	0.366	2.893
4	花崗岩流域	G	0.352	1.083	0.121	1.045	0.023	0.156	0.228	3.008
5	全体	T	0.699	0.743	0.113	0.756	0.022	0.371	0.284	2.988

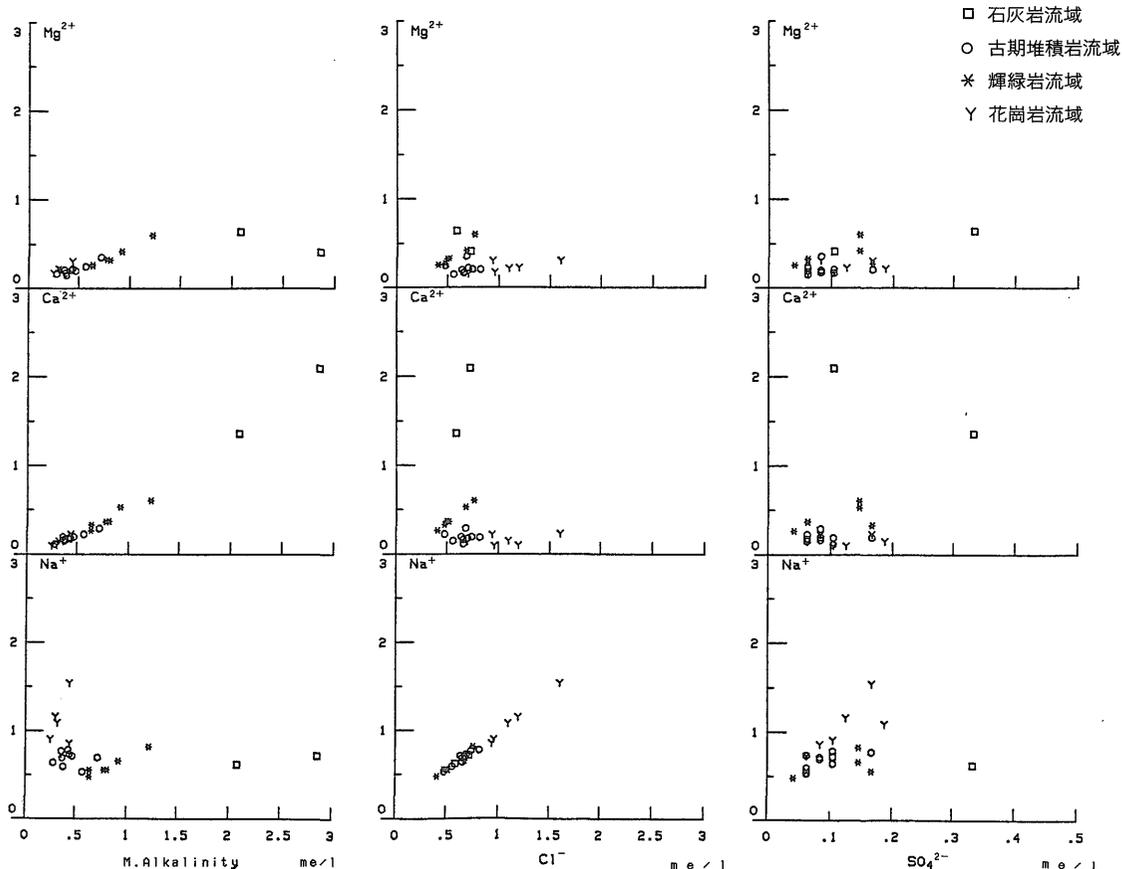
0.918である。そして輝緑岩流域から得られた試料のみはM. アルカリ度と Na⁺, Cl⁻ と Ca²⁺, Mg²⁺ に相関がみられ、相関係数は0.965, 0.998, 0.957であった。一方、SO₄²⁻ と各陽イオンの間にはいずれの地質区分試料にも明らかな相関関係は存在しなかった。

5. 水質の特徴と組成変化

本地域の水質組成及び溶存量の特徴を明らかにするた

めに、キーダイヤグラム及びヘキサダイヤグラムを用いて検討を行った(第4図, 第5図)。

キーダイヤグラム(第4図)に見られるように、石灰岩流域と輝緑岩流域から得られた試料は、M. アルカリ度、Ca²⁺+Mg²⁺に富む傾向があり、carbonate hardness typeの領域にプロットされ、古期堆積岩流域と花崗岩流域から得られた試料は、M. アルカリ度が少なく、Cl⁻とNa⁺が多いことから、non carbonate alkali typeの領



第3図 陰イオンと陽イオンとの関係

域にプロットされた。

各地質区分別に分類した試料がほぼ同じ位置にプロットされていることは、同じ地質区分内での水質組成変化が小さいことを意味する。

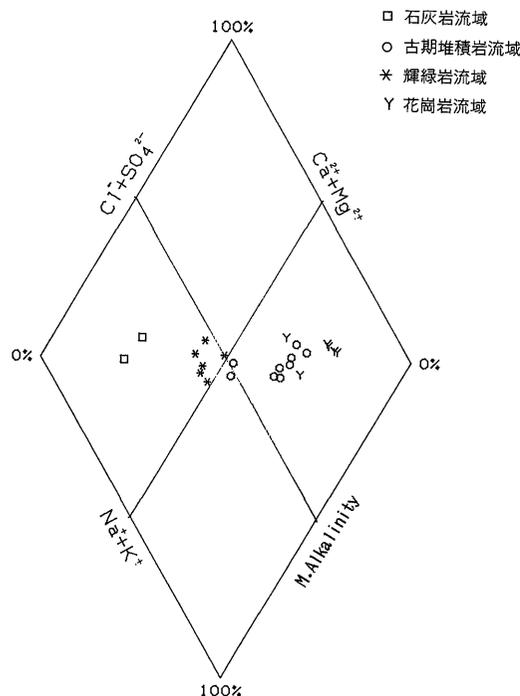
ヘキサダイアグラム (第5図) は、各種溶存量とその各成分関係を図形で示したものである。溶存量の多い石灰岩流域の試料は大きな図形で示され、特に、M.アルカリ度と Ca^{2+} に富む特徴が明らかである。輝緑岩流域の試料は石灰岩流域と同じ carbonate hardness type に属するため似た図形を示しているが、溶存量が少ないために小さい図形となる。古期堆積岩流域の試料は輝緑岩流域と花崗岩流域との中間的な組成を示し、溶存量が最も少なく小さい図形で、また花崗岩流域の試料は図形が少し異なり、他の成分含有量に比較して Cl^- と Na^+ が特に多いことがわかる。

6. 海塩の影響

河川水中の溶存成分に関して、海水の飛沫が風に乗っ

て運ばれる海塩がどの程度影響しているかを厳密に評価する手法を提案している報告はまだ見当たらない。しかし、日本全体の海塩粒子の降下量を見積った値があり、海岸からの距離により異なる様子が示されている。これによると日本全体では年間 250 万トン ($7 g/m^2/yr$) の海塩が降り注がれているが、とくに日本海側に降下する海塩量が多く、太平洋側でも台風時に多量の海塩が運ばれると言われている (TSUNOGAI, 1975)。徳之島は地理的に周りを海にかこまれ、しかも面積の小さい島なので、その河川水の溶存成分には海塩の影響を無視することは出来ない。そこで、徳之島の河川のデータを海水や日本を代表する河川水中の主要成分含有量 (半谷 (1960) の中の小林による 37 資料) と比較検討し、海塩の影響を見積ることにした。

海塩の化学組成に関しては、海水の飛沫が海水組成とは異なるという実験の結果があり、また飛沫粒子が大きい場合は海水組成に近く、 25μ 以下の微細なものでは少し異なる組成になるとされていることなどが考慮され



第4図 キーダイアグラム

なければならない(阿部, 1975; 角皆・乗木, 1986)。しかし、ここでは河川水中の海塩を単純化して検討するため、海水組成の各成分の分別作用を無視して、すべて海塩は海水組成比と同じと仮定して考えることにした(野間・後藤, 1986)。

海水(化学大辞典編集委員会, 1963), 世界(LIVINGSTONE, 1963), 日本, 東北地方, 関東地方, 九州地方, 及び日本主要河川水の溶存成分の平均値(半谷, 1960)及び主要成分の当量比を徳之島の場合と比較して第3表に示した。

この表から見られるように、徳之島の河川水中の Cl^- と Na^+ 含有量は他のいずれの河川水平均値と比べても異常に高く、逆に SO_4^{2-} , K^+ 及び Ca^{2+} は最も低い。このように低い値となる成分がいくつかあることは、もし海塩の影響が全くない場合を想定すると、試料採取地点より上流域の面積が比較的小さいことも原因として考えられる。

海塩の影響を検討する場合は海水と河川水中の成分のうち、溶存当量比が大きく異なる成分を取り扱うことが有利と思われる。そこでつぎの4つの特徴ある成分と1つの当量比を選び、それぞれの関係を検討した。

Cl^- と Na^+ の関係

徳之島の試料(L, P, D, G)及び日本主要河川水試料(その内太平洋側試料と思われる物の記号+, 日本海側試料と思われる物の記号×とした)の Cl^- と Na^+ 関係を第6図に示した。第3表からも明らかなように海水比(Cl^-/Na^+) 1.16より小さい。徳之島の Cl^-/Na^+ 平均値は0.98である。しかし花崗岩流域試料(G)では Cl^- が多くなるにしたがってこの比は大きくなる傾向が見られる。一方日本の代表的河川水の Cl^- 平均値は0.144 me/l (5.11 mg/l) で Cl^-/Na^+ 比は0.53である。その中で Cl^- の高い方に属する試料を調べると、その殆どは日本海側に属す試料であり、それらのデータを除いて Cl^- 平均値を計算してみると0.11 me/l (3.84 mg/l) で、 Cl^-/Na^+ 比は0.45となり徳之島の約半分以下の値を示した。即ち海塩の影響が大きくなるに従って Cl^-/Na^+ 比が増大し、海水比に近づく傾向を示す。しかしこの結果から海塩の影響を定量的に見積ることは困難である。

Cl^- と SO_4^{2-} の関係

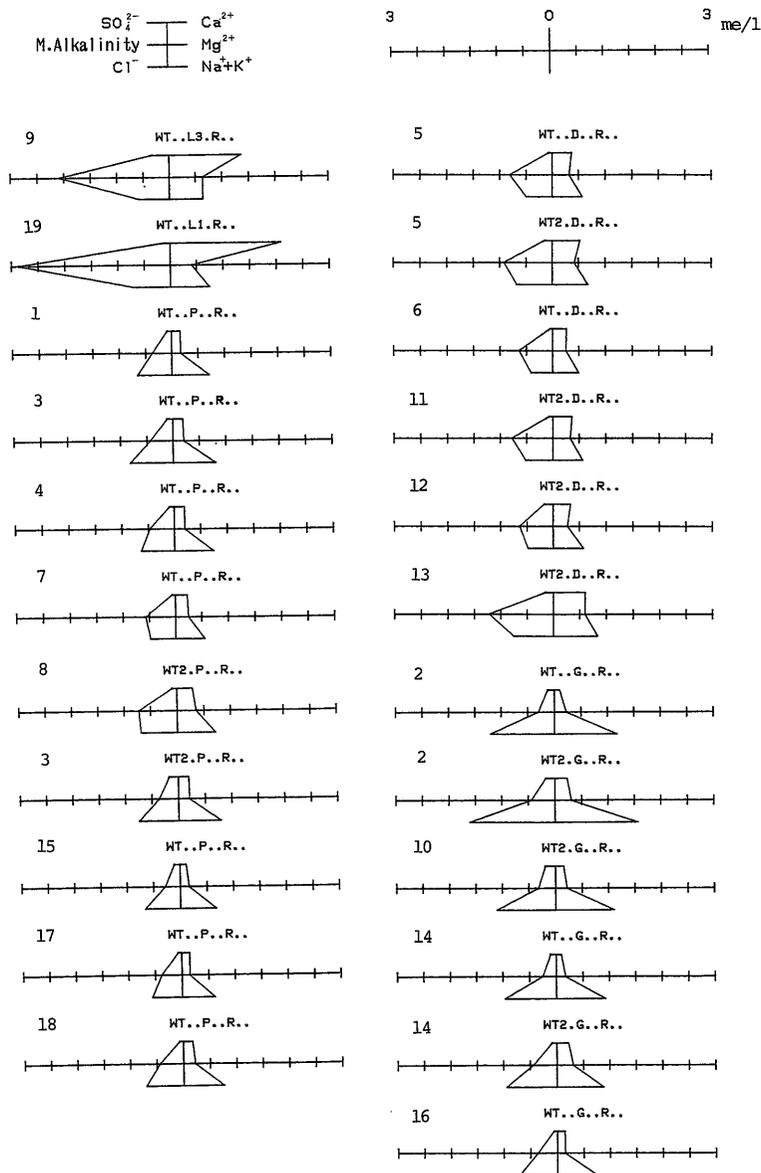
Cl^- と SO_4^{2-} の溶存当量関係を第7図に示した。日本主要河川水の Cl^- はほとんどが0.40 me/l以下で、 SO_4^{2-} は0.00-0.94 me/lの値を示す。これに対して日本海側の試料は他の河川水に比較して Cl^- に富む傾向を示していることは海塩の影響ではないかと考えられる。徳之島の試料はさらに高い Cl^- 溶存量で特徴づけられる。日本主要河川水を水質基準とすれば、海塩の影響がない場合として考えられる Cl^- 溶存量は0.14 me/l (5.11 mg/l) と見積ることができよう。しかし Cl^- と Na^+ 関係で述べたごとく、もし日本海側試料を海塩の影響として除外すると Cl^- 溶存量は低い値となり0.11 me/l (3.84 mg/l) となる。

Na^+ と K^+ の関係

Na^+ と K^+ の関係を第8図に示した。日本主要河川水の Na^+/K^+ 当量比は平均8.65の値となる。この図においても日本海側試料は他に比べて海塩の影響で Na^+ に富む傾向を示す。そして徳之島の河川水の Na^+/K^+ 比は平均34.36で大きく、中には海水の47.25を越える試料もある。

徳之島の K^+ 溶存量の平均値は0.02 me/lで、この値からも海塩の影響がない場合の Na^+ 溶存量を日本主要河川水(日本海側試料を除く)を基に見積ると、0.17 me/l (3.90 mg/l) 程度となる。もしこの値を Na^+ の平均溶存量と考えた場合、この値を越す部分は海塩に由来することになる。徳之島の河川水の全溶存量からこの値を差引くと、残りの Na^+ の値は Cl^- から海水比率で求めた Na^+ とほぼ同じ値となった。

徳之島の河川水質組成と海塩の影響について (後藤準次・野間泰二)

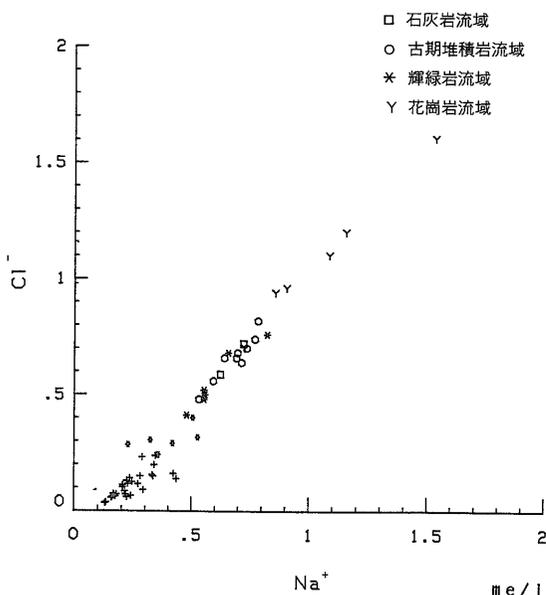


第5図 ヘキサダイアグラム

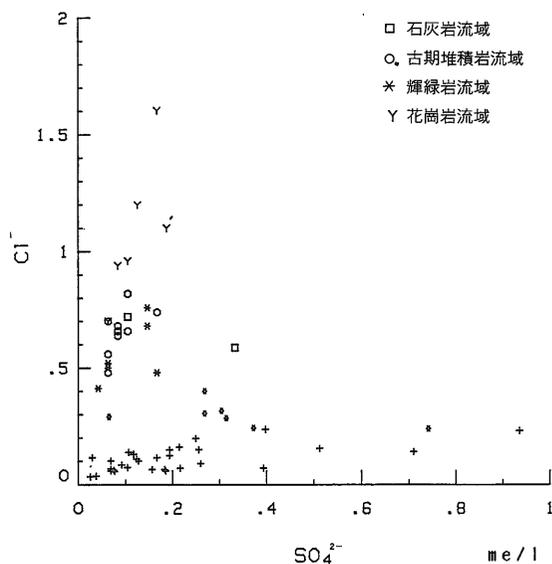
第3表 海水及び河川水の主要成分含有量の平均値(mg/l)と当量比

No.	試料名	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺ / Mg ²⁺	Cl ⁻ / Na ⁺
1	海水	140.	18980.	2649.	10556.	380.	401.	1272.	0.19	1.16
2	世界の河川	58.4	7.8	11.2	6.3	2.3	15.	4.1	2.21	0.80
3	東北地方河川	22.6	6.6	18.7	6.5	0.9	7.8	1.6	2.95	0.65
4	関東地方河川	40.9	7.8	20.0	6.2	1.4	13.1	2.9	2.73	0.18
5	九州地方河川	40.9	5.6	13.2	8.5	1.9	10.0	3.0	2.02	0.42
6	日本主要河川	34.8	5.1	11.3	6.2	1.2	10.0	2.2	2.73	0.53
7	徳之島河川	42.6	26.3	5.4	17.4	0.9	7.4	3.5	1.28	0.97

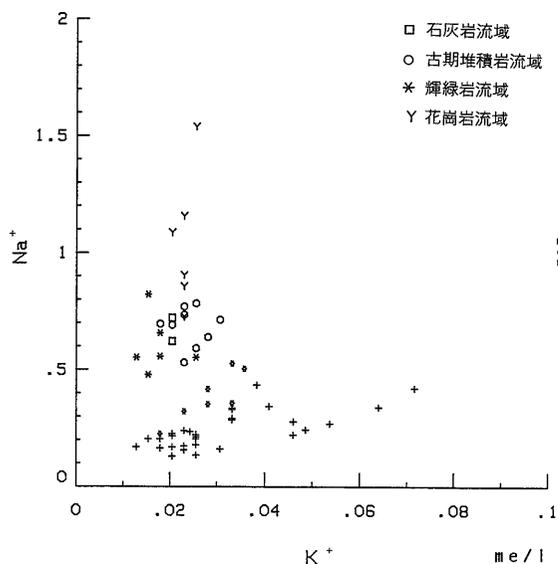
1 ; 化学大辞典編集委員会(1963) 2 ; LIVINGSTONE (1960) 3-6 ; 半谷(1960)



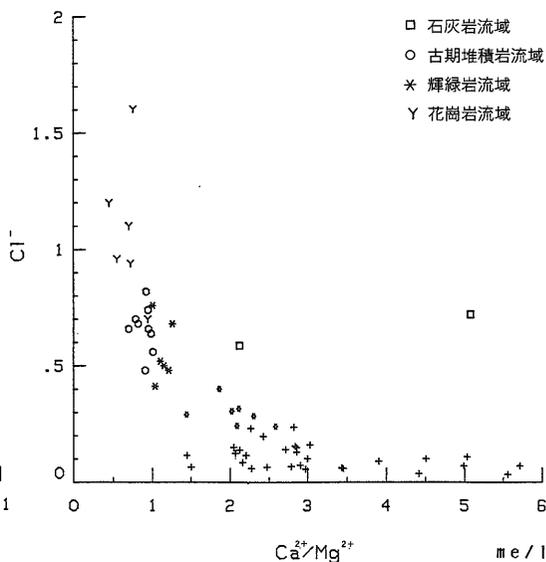
第6図 Cl⁻とNa⁺ 相関図



第7図 Cl⁻とSO₄²⁻ 相関図



第8図 Na⁺とK⁺ 相関図



第9図 Cl⁻とCa²⁺/Mg²⁺ 相関図

Cl⁻とCa²⁺/Mg²⁺の関係

徳之島の河川水及び日本主要河川水の Ca²⁺/Mg²⁺ 当量比を求め、この比と Cl⁻ 溶存量との関係を第9図に示した。日本主要河川水のCa²⁺/Mg²⁺ 比の平均値は2.73であるが、徳之島の河川水では石灰岩流域を除いて平均すると1.12以下の値を示す。またこの比が小さくなるに従ってCl⁻の含有量が増加する傾向が明らかである。こ

の図においても日本主要河川水の日本海側試料はその他の主な河川水に比べてCl⁻に富み、かつCa²⁺/Mg²⁺比が小さい位置にプロットされており、第6図から第9図までの結果を総合的に考慮すると、これら日本海側7河川水は他の主な河川水に比べて若干の海塩の影響を受けていると推察できる。

以上の結果から徳之島の河川水試料は海塩の強い影響

第4表 地質区分別の推定海塩量

地質区分	溶存量 (me/l)	推定海塩量 (me/l)	推定海塩量 (%)
石灰岩流域	6.288	1.133	18.02
古期堆積岩流域	2.305	1.145	49.67
輝緑岩流域	2.893	0.923	31.90
花崗岩流域	3.008	2.086	69.34
全 体	2.988	1.331	44.54

を受けている事は明らかである。この影響を補正する際の指示成分としては海水中の溶存量が最も多い Cl^- が適当と思われる。そして海塩の影響が無視できる河川水の Cl^- 量としては日本主要河川水の平均値である 0.14 me/l (5.11 mg/l) を採用することができる。本研究では海塩の影響を見積るため、この0.14 me/l (5.11 mg/l) の値を自然水のバックグラウンドと仮定し、測定値からこの値を差引いた残りの Cl^- 量をもとにして、海水の比率を用いて海塩として供給された各成分量を算出した。

推定海塩量を当量に換算し、各地質区分別の違いを第4表に示した。推定海塩量は花崗岩流域の試料が最も多く約69%となり、古期堆積岩流域は約50%、輝緑岩流域は約31%及び石灰岩流域は約18%程度となった。海塩は樹木の多いところでは降水量が大きく、裸地では小さいと言われ、花崗岩流域で推定海塩量が多い原因は当地の花崗岩流域の特性により供給された海塩が河川水中に移行しやすいためと考えられる。また石灰岩流域は石灰岩の主要成分の溶出量が多いために海塩量として少ない結果となったと考えられる。

7. ま と め

海塩の影響が大きい徳之島の河川水の水質と地質環境の関係を研究し、次の結果を得た。

1. 河川水中の溶存成分量は全体として石灰岩流域で最も多く、輝緑岩流域、花崗岩流域は中間的で、古期堆積岩流域で最も少ない傾向がみられた。個々の溶存成分の特徴として、M. アルカリ度、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 及び Mg^{2+} は石灰岩流域で高く、 Cl^- 及び Na^+ は花崗岩流域で特に高かった。

2. キーダイアグラムを用いて水質の分類を行った結果、石灰岩流域と輝緑岩流域から得られた水質組成は

carbonate hardness type に属し、古期堆積岩流域と花崗岩流域から得られた水質組成は non carbonate alkali type に分類された。

3. 河川水の水質組成と海塩の影響に関しては海塩の影響が強くなるに従って、 Cl^-/Na^+ 比、 $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$ 比、 Na^+/K^+ 比が増大するなどの特徴があり、推定海塩量を見積るための指示成分としては Cl^- が適当であった。

4. 日本の主要河川水中の溶存成分のうち Cl^- の含有量を比較検討して、海塩の影響がない場合の河川水中の Cl^- 量は 5.11 mg/l 程度と推定し、この値をもとに推定海塩量を算出したところ、花崗岩流域では約69%、古期堆積岩流域では約50%、輝緑岩流域では約31%及び石灰岩流域では約18%程度の溶存成分が海塩として供給されている結果となった。

文 献

- 阿部友三郎 (1975) 海水の科学. 日本放送出版協会, 205 p.
- 半谷高久 (1960) 水質調査法. 丸善, 東京, 380 p.
- 化学大辞典編集委員会 (1963) 化学大辞典 2. 共立, 東京, 929 p.
- 鹿児島地質調査研究会 (1958) 20 万分の 1 奄美群島地質図及び説明書, 20 p.
- LIVINGSTONE, D. A. (1963) Chemical composition of rivers and lakes. U. S. Geol. Survey Prof. Paper no. 440-G, 52 p.
- 野間泰二・後藤隼次 (1986) 離島における風送塩の影響について. 日本地下水学会 61 年秋季講演要旨, p.62-65.
- TSUNOGAI, S. (1975) Sea salt particles transported to the land. *Tellus*, vol. 27, p. 51-58.
- 角皆静男・乗木新一朗 (1986) 海洋化学. 産業図書, 東京, 278 p.
- 吉井守正・佐藤岱生 (1983) Basic による地球化学データ解析システム Geocaps のあらし. 情報地質, no. 8, p. 21-40.

(受付: 1989年6月22日; 受理: 1989年7月6日)