

岡山県の主要3河川の水質と地質の関係

Relationship between the water quality of three main rivers and geology of Okayama Prefecture

木下 卓也 (Takuya KINOSHITA) *

松田 敏彦 (Toshihiko MATSUDA) **

Concentrations of inorganic major components (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , ΣFe , Al^{3+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , F^- and SiO_2) were measured in 57 water samples from three main rivers, the Yoshii, Asahi, and Takahashi Rivers and their tributaries. The water quality is discussed in relation to the geological environment in the drainage basin of three rivers. The following results were obtained from the investigation. The degree of influence of rocks on the water quality was limestone \gg basic rocks $>$ clastic rocks $>$ andesite $>$ rhyolite $>$ granite. The influence of geology is clear in the riverhead but it is obscure in the downstream. The concentration of each component increases generally from the upper stream to the lower stream but that of SiO_2 only decreases in the lower stream. Kaolinite is a stable mineral as a weathering product from the ion compositions of three rivers. In a rough estimation, Yoshii, Asahi and Takahashi Rivers weather 303,000t, 433,000t and 1,033,000t of the rocks respectively from their basins in a year. The surfaces of their basins are scraped off 0.06mm, 0.11mm and 0.15mm respectively in a year.

Key words: Water quality, River water, Geology of basin, Yoshii River, Asahi River, Takahashi River, Okayama Prefecture.

I. はじめに

岡山県には吉井川、旭川、高梁川の3つの主要河川があり、比較的豊かな水量は農工業及び生活になくなくてはならない存在となっている。吉井川は岡山県東部に、旭川は岡山県中央部に、高梁川は岡山県西部および広島県の一部に、それぞれの流域は広がっている。これらの河川は各々中国脊陵山地に源を発し、変化に富んだ地質の流域を通過して瀬戸内海に注いでいる。平川(1995)は高梁川の水質を検討し流域にある石灰岩の影響が非常に大きいことを指摘した。筆者らは岡山県下を流れる旭川、吉井川、高梁川の3つの河川の水質に対して周辺の地質がどのように影響を与えるかについて検討を行なったのでここに報告する。河川水と周囲の地質環境との関連を研究したものととして森井他(1993)の琵琶湖流入河

川の水質と水源地質、渡久山(1981)、渡久山・下地(1978)の沖縄本島・諸島の陸水、中村(1988)の水質と岩石の風化変質及び Stallard and Edmond(1983)のアマゾン川の風化環境に関する研究など多数の報告がある。

II. 3河川とその周辺の地質

吉井川には加茂川、梶並川、吉野川、倭文川、八塔寺川の6つの支流がある。旭川には新庄川、目木川、備中川、通谷川、宇甘川、誕生寺川の6つの支流がある。高梁川には神代川、東条川、帝釈川、成羽川、小坂部川、佐伏川、有漢川、槇谷川の8つの支流があり、一部に広島県の東北部を流域に持つ。表1に各河川の全長、流域面積、年総流量を示した。流域面積の最大のは高梁川、最小は旭川である。

*法務省, 〒703-8232 岡山市関 176-21 *Ministry of Justice, 176-21 Seki, Okayama 703-8232, Japan

**岡山大学理学部地球科学科, 〒700-8530 岡山市津島中3丁目1-1

**Department of Earth Sciences, Faculty of Science, Okayama University, Okayama 700-8530, Japan

表1. 3 河川の特徴

	吉井川	旭川	高梁川
全長 (km)	約138	約150	約111
流域面積 (km ²)	2,031	1,600	2,740
年総流量 (×10 ⁶ m ³)	2,272.87	2,110.30	2,230.69

建設省岡山河川工事事務所調査

岡山県の地質は光野・杉田 (1979) によると古生代から新生代まで変化に富んでおり、主に分布する岩石地層は泥質岩及び泥質片岩、塩基性片岩、花崗岩、閃緑岩、斑糲岩 (夜久野侵入岩)、流紋岩、安山岩、凝灰岩、石灰岩及び沖積層等である。各河川流域の地質を図1に示した。吉井川では源流部に広く花崗岩が分布し、吉野川流域では主に泥質片岩から成る堆積岩や変斑糲岩などが複雑に分布している。南東部の金剛川流域では流紋岩が広く分布している。旭川は大山の火山灰層や火山岩地域に始まりその他上流域には安山岩、花崗岩も分布しているが、中・

下流域はほとんどが泥質岩や塩基性片岩から成る堆積岩となっている。高梁川は多様な地質が分布しているが、特に阿哲台や帝釈峡、そして地盤陥没が問題となっている備中町平川地区に分布している石灰岩地域は、その大きな流域面積に比し狭い分布であるが高梁川の水質全体に大きな影響をもたらしている (平川, 1994)。

III. 実 験

III-1. 試 料

吉井川、旭川、高梁川の各本流および各々の支流において、1998年4月から1999年3月まで4回 (第1回6~7月, 第2回9~10月, 第3回12~1月, 第4回3~4月) 採水した。図1中で番号を付した点は各採水地点で、本流の4~5ヶ所、および各支流の上流と下流の2ヶ所または3ヶ所の合計57ヶ所である。上流での採水地点は人間活動による環境汚染のできる限り少ない場所を選定した。

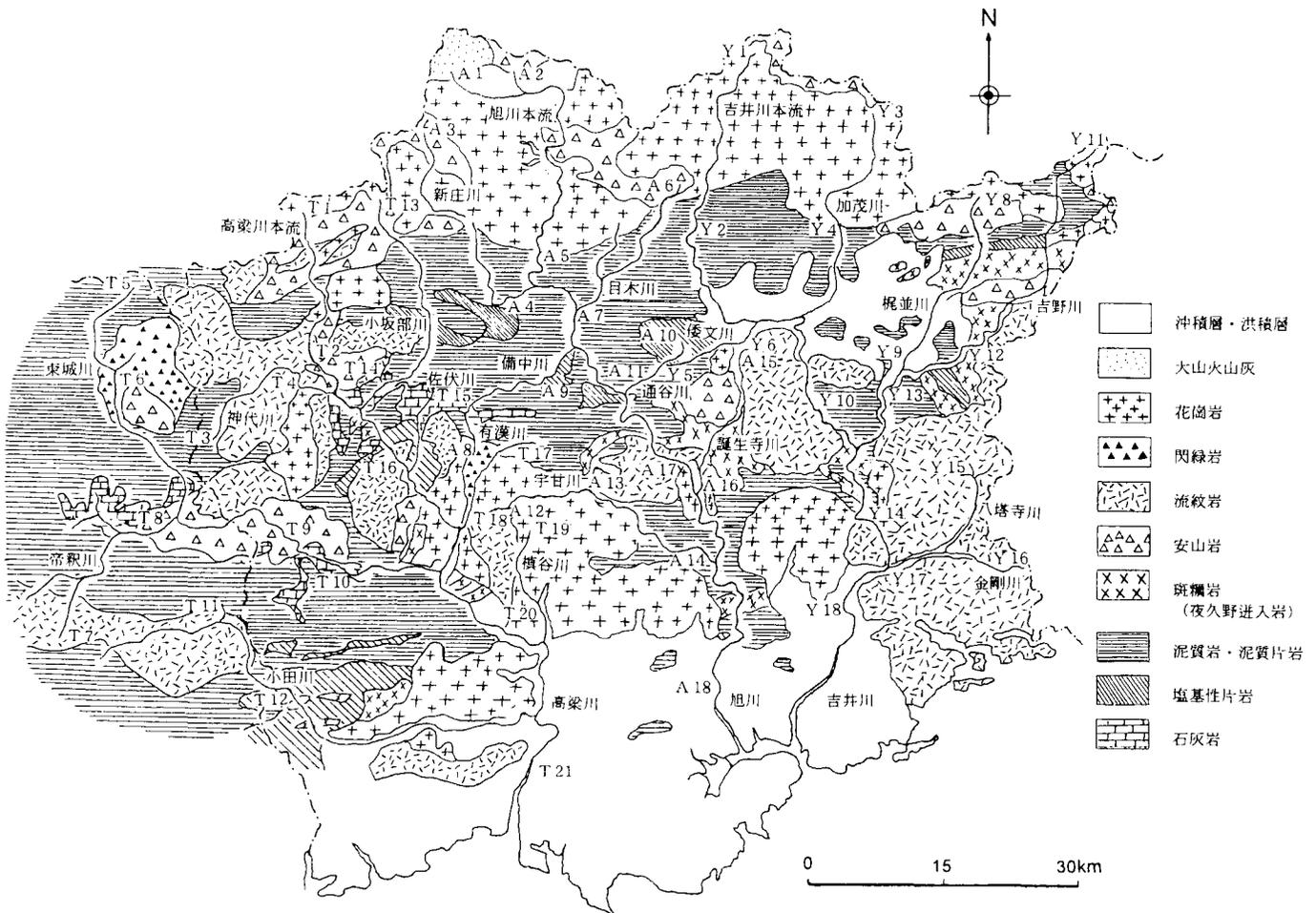


図1. 岡山県地質図および採水地点 光野他 (1983) を一部簡略

III-2. 分析方法

採水した試料は 500ml のポリエチレン容器に密封し研究室に持ち帰った。気温、水温、pH は現地で測定した。500 ml の試料はろ過 (No. 5A) を行った後、以下の方法で分析した。Na⁺、K⁺ は炎光分析法、Ca²⁺、Mg²⁺、ΣFe、Al³⁺、SiO₂ はプラズマ発光分析法 (Ca²⁺、Mg²⁺の一部は EDTA 滴定法も併用した)、SO₄²⁻、Cl⁻、NO₃⁻、F は陰イオンクロマトグラフィー、HCO₃⁻ は pH4.8 アルカリ度の換算から求めた。

IV. 結果および考察

IV-1. 分析結果

1998 年 4 月から 1999 年 3 月まで 4 回に分けて採水した 57 試料の平均無機主要成分の分析結果を表 2 に示す。各成分の特徴は以下のように概観することが出来る。()内の番号は図 1 中に示した採水地点である。

pH 3 河川の pH は 6.4~8.3 の範囲にあり、最低値は吉井川本流の林田 (Y7)、最高値は旭川支流通谷川の西川 (A11) である。石灰岩及び泥質岩地域で高い pH を示す傾向がある。

[Ca²⁺] Ca²⁺濃度は 1.16~45.60mg/l の範囲にあり採水地点により大きく変化する。最低値は吉井川支流加茂川の阿波村お夏の墓 (Y3)、最高値は高梁川支流佐伏川の湯川 (T15) である。石灰岩及び泥質岩地域が高い値を示し、pH と同様の傾向を持つ。

[Mg²⁺] Mg²⁺濃度は 0.51~3.86mg/l の範囲にあり河川による差違が小さい。最低値は吉井川支流加茂川のお夏の墓 (Y3)、最高値は旭川支流備中川の鹿田 (A9) である。

[Na⁺] Na⁺濃度は 3.90~8.76mg/l の範囲にあり、最低は吉井川支流吉野川の新田 (Y11)、最高は高梁川支流神代川の大竹 (T3) である。

[K⁺] K⁺濃度は 0.51~2.49mg/l の範囲にあり、最低は吉井川支流加茂川のお夏の墓 (Y3)、最高は旭川支流宇甘川の下加茂 (A13) である。

[ΣFe] ΣFe 濃度は多くの場所で測定されなかったが、いくつかの場所では 0.01~0.08mg/l の範囲であった。最低値 0.01mg/l は数カ所で測定された。最高は高梁川支流小田川の天神峡 (T12) である。

[Al³⁺] Al³⁺濃度はほとんどの場所で 0.1mg/l 以下であるが、旭川支流備中川の高岡神社 (A8) で 0.19mg/l、吉井川支流吉野川松脇 (Y12) で 0.13mg/l など高い値も測定された。

[HCO₃⁻] HCO₃⁻濃度は 8.67~127.6mg/l の範囲にあり、最低は吉井川支流加茂川のお夏の墓 (Y3)、最高は高梁川支流佐伏川の湯川 (T15) である。Ca²⁺と同様の傾向を示す。

[SO₄²⁻] SO₄²⁻濃度は 1.05~26.70mg/l の範囲にあり、最低は旭川本流の上徳山 (A1)、最高は吉井川支流金剛川の大田原 (Y17) である。これは周辺のろう石鉱山や工場からの排水のため高い値となったものと思われる。

[Cl⁻] Cl⁻濃度は 3.23~6.88mg/l の範囲にあり、最低は吉井川支流八塔寺川の都留岐 (A15)、最高は高梁川支流神代川の大竹 (T3) である。

[NO₃⁻] NO₃⁻濃度は 0.17~3.95mg/l の範囲で測定された。最低は吉井川支流加茂川のお夏の墓 (Y3)、最高は旭川支流備中川の鹿田 (A9) である。

[F] フッ化物イオンは採水地点の 1/3 では測定されなかったが、その他の場所では 0.01~0.9mg/l の範囲で測定された。最低の値は数カ所で測定された。最高は高梁川支流小田川の天神峡 (T12) である。

[SiO₂] 溶存 SiO₂濃度は 8.55~19.98mg/l の範囲にあり、最低は吉井川本流の天瀬 (Y14)、最高は旭川本流の塩釜 (A12) である。

[TDS] 全溶存固体は 30.83~198.96mg/l の範囲にあり、採水地点によりかなり差違がある。最低は吉井川支流加茂川のお夏の墓 (Y3)、最高は高梁川支流佐伏川の湯川 (T15) である。花崗岩地域で低く、石灰岩及び泥質岩地域が高い値を示し、pH、Ca²⁺、HCO₃⁻と同様の傾向を持つ。

IV-2. 3 河川の水質の特徴

(A) ヘキサダイアグラム

Ca²⁺、Mg²⁺、Na⁺+K⁺、HCO₃⁻、SO₄²⁻+Cl⁻、SiO₂の主要6成分 (mmol/l) としたヘキサダイアグラムを図 2 に示し、各々の岩石から流出する河川水の特徴を示した。各河川の上流部のできるだけ人間活動の影響がない所のものを選び、岩石からの影響がよく現れて

表2 吉井川、旭川、高梁川水系の各地点における無機可溶性成分の分析結果 (mg/l)

試料番号	河川名	採水場所	岩石地質	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	ΣFe	Al ³⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	F ⁻	SiO ₂	TDS*
吉井川水系(Y)																	
1	吉井川	上斎原村赤和瀬	花崗岩	7.1	2.51	0.60	4.75	0.72	0.00	0.08	12.02	3.20	4.88	0.64	0.05	9.42	38.87
2	吉井川	奥津町女原	花崗岩	6.6	3.15	0.62	5.02	0.96	0.00	0.01	15.59	3.16	4.24	0.55	0.04	11.49	44.83
3	加茂川	阿波村お夏の墓	花崗岩	7.1	1.16	0.51	3.90	0.51	0.00	0.02	8.67	2.20	3.67	0.17	0.07	9.95	30.83
4	加茂川	加茂町中津川	花崗岩	6.8	3.80	0.82	5.32	0.76	0.01	0.09	19.35	3.61	3.92	0.55	0.03	12.10	50.36
5	倭文川	久米町油木上	塩基性片岩	6.8	6.98	1.97	7.03	1.36	0.00	0.00	32.02	5.31	4.96	2.24	0.00	12.60	74.47
6	倭文川	中央町錦織	塩基性片岩	6.5	11.70	2.56	7.14	1.67	0.00	0.04	47.82	9.18	6.60	1.12	0.03	10.64	98.50
7	吉井川	津山市林田	第四紀堆積層	6.4	7.60	1.52	6.50	1.44	0.00	0.00	30.22	7.85	5.37	1.59	0.00	13.18	75.27
8	梶並川	勝田町右手	花崗岩	7.6	2.89	0.62	5.82	0.78	0.00	0.05	16.49	2.91	4.11	0.31	0.05	11.68	45.71
9	梶並川	美作町橋原	斑輝岩	8.2	9.98	2.42	5.71	1.60	0.01	0.02	38.85	7.58	5.26	1.86	0.02	9.14	82.45
10	吉井川	柳原町周佐	泥質岩	7.2	7.85	1.24	6.53	1.60	0.00	0.05	28.98	8.02	5.46	1.91	0.01	10.88	72.53
11	吉野川	西栗倉村新田	花崗岩	7.3	2.87	0.96	3.69	0.56	0.00	0.06	14.42	3.69	3.73	1.09	0.01	12.42	43.50
12	吉野川	作東町松郷	斑輝岩	6.8	8.85	1.90	5.32	0.98	0.00	0.13	32.21	4.08	4.29	0.74	0.00	9.34	67.84
13	吉野川	美作町湯郷	流紋岩	6.8	11.20	2.81	6.82	1.55	0.00	0.02	44.62	8.76	6.02	1.84	0.04	9.44	93.12
14	吉井川	佐伯町天瀬	斑輝岩	7.0	8.30	1.71	6.08	1.42	0.00	0.09	26.42	15.68	5.65	0.52	0.01	8.55	74.43
15	八塔寺川	吉永町都留岐	流紋岩	7.3	2.65	0.93	5.44	1.17	0.00	0.00	12.62	7.00	3.23	2.59	0.00	12.21	47.84
16	金剛川	備前市五石	流紋岩	7.7	2.23	0.67	4.88	1.25	0.00	0.01	10.83	7.98	4.13	0.72	0.00	12.20	44.90
17	金剛川	和気町大田原	流紋岩	6.9	10.80	1.36	7.29	2.03	0.00	0.01	23.71	26.70	5.85	2.76	0.03	11.85	92.39
18	吉井川	瀬戸町二日市	流紋岩	7.1	7.56	1.52	6.90	1.58	0.00	0.01	26.13	13.82	6.01	2.30	0.01	8.91	74.75
旭川水系(A)																	
1	旭川	川上村上徳山	大山火山砕屑物	7.3	3.31	1.11	5.12	0.99	0.00	0.12	22.37	1.05	4.37	0.48	0.00	18.32	57.24
2	旭川	八束村塩釜	安山岩	7.9	5.26	1.31	4.93	1.01	0.00	0.05	29.94	1.02	4.01	0.24	0.00	19.98	67.75
3	新庄川	新庄村野土路	安山岩	7.1	2.54	0.75	5.06	0.84	0.00	0.03	15.48	1.82	4.45	0.31	0.00	12.85	44.13
4	新庄川	勝山町荒田	花崗岩	7.8	9.04	2.15	5.65	1.03	0.01	0.08	38.71	7.91	4.19	0.96	0.00	12.72	82.45
5	旭川	勝山町山久世	泥質岩	7.0	5.35	1.31	6.35	1.20	0.00	0.04	25.13	3.70	5.05	2.52	0.00	14.48	65.13
6	目木川	富村出合	安山岩	7.4	2.33	0.55	5.73	0.89	0.01	0.06	15.25	2.88	3.36	0.63	0.02	13.01	44.72
7	目木川	久世町目木	砂質岩	7.6	6.63	1.22	5.88	1.04	0.00	0.03	26.06	6.57	4.15	1.37	0.03	11.57	64.55
8	備中川	北房町高岡神社	花崗岩	7.1	11.90	2.28	6.36	1.94	0.02	0.19	44.15	11.11	4.35	3.83	0.02	12.64	98.79
9	備中川	落合町鹿田	泥質岩	7.5	21.10	3.86	6.34	1.99	0.02	0.06	71.35	16.61	5.01	3.95	0.00	11.09	141.38
10	通谷川	旭町友重	塩基性片岩	7.2	8.11	2.06	5.92	1.31	0.00	0.02	35.14	5.81	3.43	3.20	0.00	13.71	78.71
11	通谷川	旭町西川	泥質岩	8.3	10.10	2.36	6.51	1.69	0.03	0.04	42.97	8.30	4.89	1.81	0.02	16.34	95.06
12	宇甘川	賀陽町上竹	流紋岩	7.9	14.00	2.87	7.87	1.89	0.00	0.02	53.28	7.10	6.54	3.74	0.02	17.14	114.47
13	宇甘川	鴨川町下加茂	花崗岩	7.8	10.20	2.05	7.56	2.25	0.01	0.04	42.25	9.13	5.50	2.05	0.10	14.79	95.93
14	宇甘川	御津町高津	泥質岩	7.5	12.00	2.36	8.10	2.49	0.00	0.08	48.18	10.91	5.82	1.74	0.10	14.95	106.73
15	誕生寺川	久米南町山ノ城	流紋岩	7.0	6.41	1.25	6.35	1.55	0.00	0.06	28.47	6.78	4.18	1.44	0.01	13.66	70.16
16	誕生寺川	建部町下神目	斑輝岩	7.2	16.40	4.23	8.76	2.35	0.01	0.04	58.77	21.64	6.09	2.69	0.02	11.69	132.69
17	旭川	建部町曲り	泥質岩	7.6	7.81	1.61	6.19	1.51	0.02	0.06	31.63	7.34	4.64	2.88	0.00	12.04	75.73
18	旭川	岡山市玉柏	砂質岩	7.4	9.06	1.94	6.42	1.56	0.00	0.03	36.50	8.28	5.13	2.07	0.00	13.00	83.99
高梁川水系(T)																	
1	高梁川	新見市千屋	泥質岩	7.9	3.93	0.56	4.65	0.59	0.03	0.03	17.56	2.98	4.21	0.60	0.00	13.31	48.45
2	高梁川	新見市坂本	花崗岩	7.9	5.76	1.08	4.94	0.83	0.02	0.03	26.38	2.76	4.28	1.87	0.05	14.14	62.14
3	神代川	哲西町大竹	泥質岩	7.4	17.70	3.00	7.21	1.98	0.02	0.05	56.26	9.44	6.88	1.17	0.03	14.66	118.40
4	神代川	新見市阿哲峽	流紋岩	8.2	13.20	2.05	5.02	1.33	0.04	0.07	51.90	4.93	4.27	0.98	0.02	13.74	97.55
5	東城川	下菅	泥質岩	7.7	4.12	1.64	3.95	0.69	0.04	0.03	22.75	2.32	3.40	0.84	0.00	12.74	52.52
6	東城川	道後山	石英閃緑岩	7.3	5.18	1.54	4.74	0.61	0.04	0.02	28.11	3.38	3.29	1.43	0.00	14.73	63.07
7	帝釈川	田頭	泥質岩	8.0	8.04	1.01	5.48	0.97	0.02	0.01	30.86	5.13	4.56	1.18	0.01	16.82	74.09
8	帝釈川	野田の丸	石灰岩	7.3	10.20	1.11	5.57	0.98	0.05	0.03	42.86	4.63	4.43	1.72	0.07	14.34	85.99
9	成羽川	備中町田原	安山岩	7.2	18.20	2.38	5.86	1.46	0.02	0.01	48.96	14.11	4.22	2.82	0.02	15.87	113.93
10	成羽川	川上町吉木	泥質岩	7.9	15.30	1.33	4.60	1.06	0.04	0.02	49.58	5.73	3.71	2.33	0.01	11.45	95.16
11	小田川	下井関	流紋岩	7.9	29.30	2.30	5.48	1.01	0.02	0.02	85.57	17.52	4.53	2.07	0.01	11.53	159.36
12	小田川	天神峽	塩基性火成岩	7.9	16.50	2.57	6.53	1.41	0.08	0.02	58.34	8.90	5.06	2.63	0.09	13.49	115.62
13	小坂部川	大佐町伏谷	花崗岩	7.3	6.94	1.56	5.19	1.02	0.01	0.02	29.19	4.92	4.24	0.99	0.01	12.50	66.59
14	小坂部川	新見市唐松	流紋岩	7.3	10.30	1.81	4.84	1.46	0.02	0.01	38.52	6.58	4.31	1.53	0.01	11.60	80.99
15	佐伏川	新見市湯川	石灰岩	8.2	45.60	1.61	4.26	1.54	0.01	0.01	127.60	3.51	3.72	2.13	0.00	8.97	198.96
16	高梁川	新見市広石	石灰岩	8.0	18.80	2.51	5.64	1.30	0.02	0.10	69.35	5.46	4.67	2.03	0.00	11.39	121.27
17	有漢川	有漢町下金倉	泥質岩	7.2	13.70	2.59	6.60	1.58	0.05	0.03	49.86	9.16	4.59	1.82	0.05	17.67	107.70
18	有漢川	高梁市津川	花崗岩	7.6	14.60	2.27	7.36	1.33	0.02	0.06	58.27	7.57	5.72	1.53	0.07	17.57	116.37
19	楨谷川	賀陽町室納	花崗岩	7.0	8.22	2.03	6.90	1.24	0.01	0.03	35.70	4.80	5.40	2.06	0.03	15.75	82.17
20	楨谷川	総社市市場	花崗岩	7.1	9.03	1.81	7.38	1.78	0.00	0.02	37.14	6.28	6.10	1.95	0.06	14.18	85.73
21	高梁川	倉敷市西阿知	沖積層	7.6	16.90	2.47	6.60	1.45	0.04	0.04	62.39	7.63	5.31	1.80	0.00	12.24	116.87

*全溶存固体

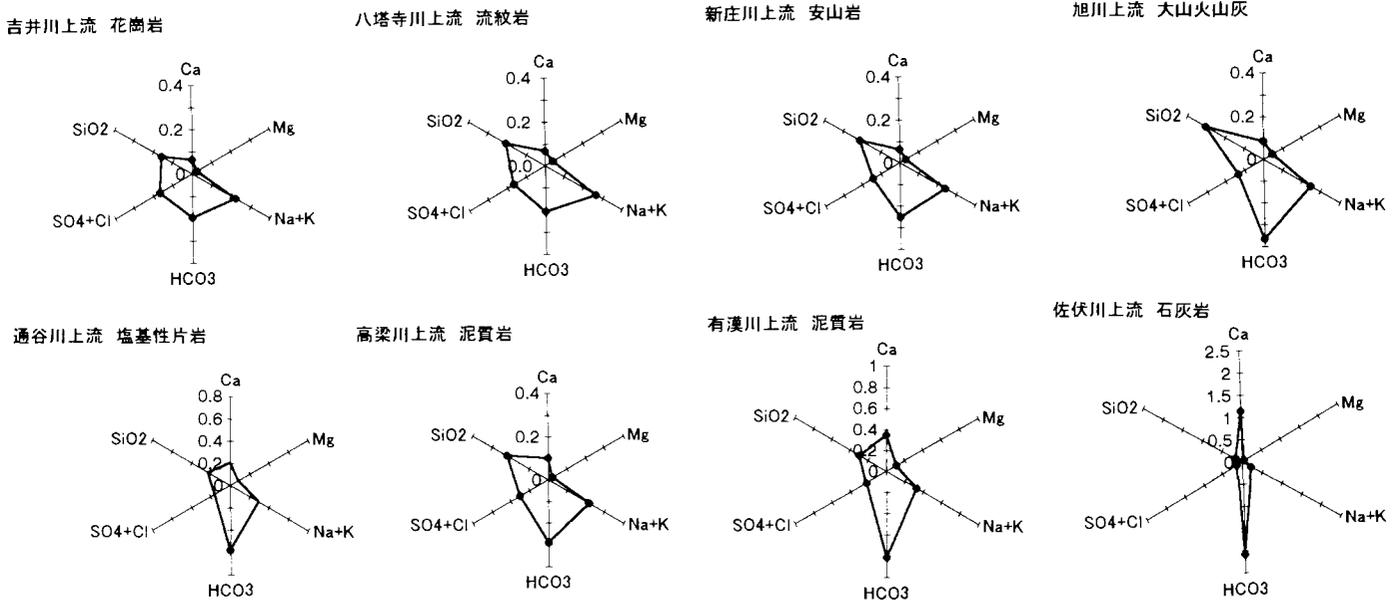


図2. 上流部の各地質におけるパターン (mmol/l)

いるものを示している。花崗岩のものは吉井川最上流部のもので、図1の地質図に示されるように広い花崗岩地域から流出しており、どの成分もあまり溶出していない。安山岩、流紋岩地域のものも SiO_2 や $\text{Na}^+\text{+K}^+$ の方にわずかに伸びてはいるが、やはり溶出が少ない点があげられる。大山火山灰層のものは旭川源流部の火山灰層や火山岩地域からのもので、比較的 SiO_2 の方に伸びた形をしている。これは未固結の火山岩の影響を現していると考えられる。塩基性片岩のものは石灰岩ほどではないが Ca^{2+} と HCO_3^- の方に伸びた形をしている。泥質岩からのものはそれぞれが様々な化学組成を持つため、多様な形をとるものと思われる。有漢川上流の泥質岩では、その中にある程度の石灰質が含まれていることを示唆している。最も顕著な特徴を持つのが、石灰岩地域のもので大きく Ca^{2+} 、 HCO_3^- の方に伸びた形をとっており、岩石からの成分溶出量が著しく多いことを明瞭に示している。

次に、同様の図を用いた上流から下流の濃度変化を図3に示した。吉井川上流部や加茂川ではあまり濃度変化は見られない。これらの地域は図1の地質図のように採水地点の上流から下流までは花崗岩地域で、その間、岩石からの成分寄与をほとんど受けていない。その他の梶並川(吉野川)、目木川、新庄川(旭川)といった泥質岩や塩基性片岩地域を流れ

る河川は、上流の採水地点と下流の採水地点との間の距離は前者とあまり変わらないにも拘わらず濃度増加は前者と比べて大きく Ca^{2+} 、 HCO_3^- の方へ伸びた形に変化している。

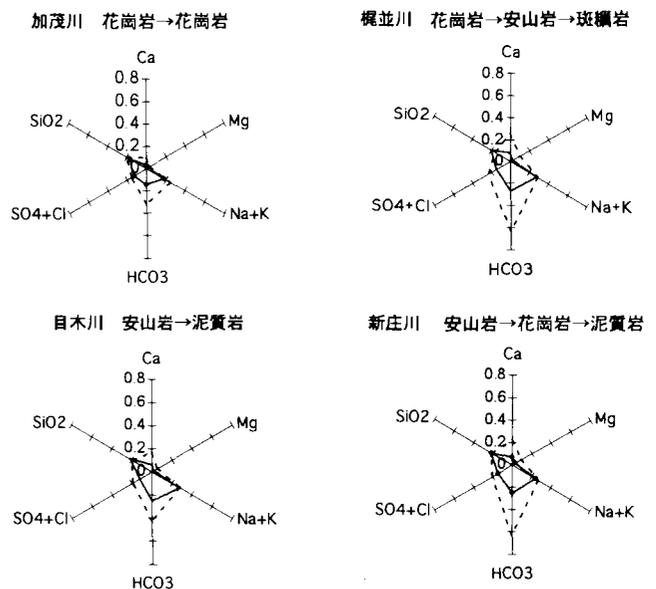


図3. 上流から下流へのパターンの変化 (mmol/l)
実線は上流、破線は下流

(B) 各成分濃度間の相関

河川水中の無機成分の濃度 (mmol/l) について2成分間の相関について調べた。相関の高かったものを図に示す。

図4は主な成分である Ca^{2+} と HCO_3^- の間の関係で、相関係数は0.97で、勾配は1.80で2に近い。このこ

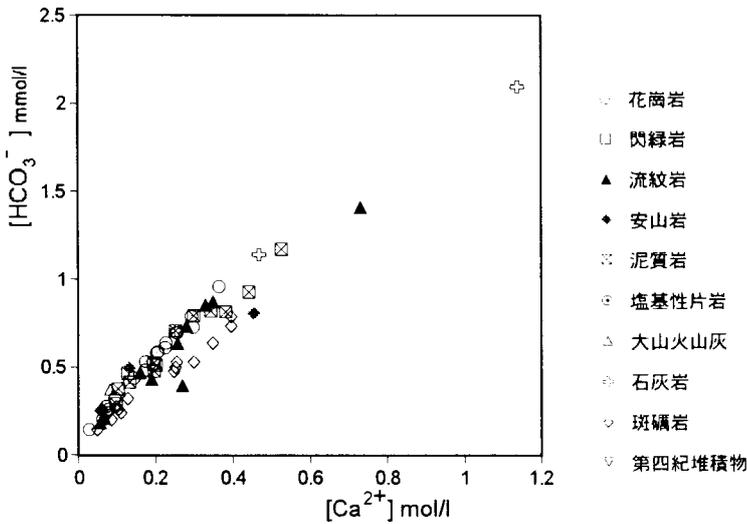


図4. HCO_3^- と Ca^{2+} の間の関係
 $[\text{HCO}_3^-]/[\text{Ca}^{2+}]$; 勾配=1.80, 相関係数=0.97

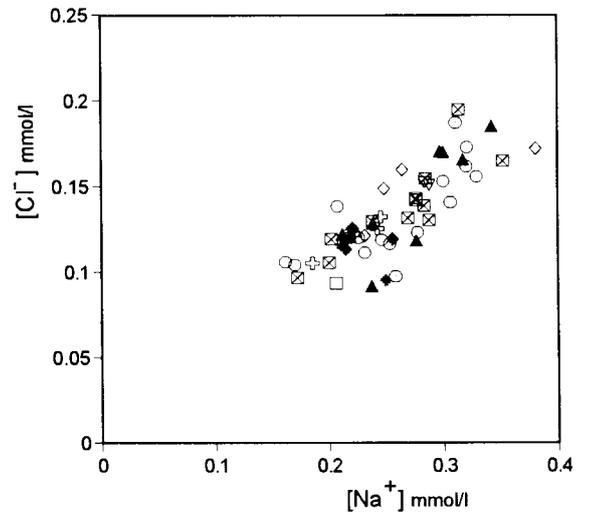


図5. Na^+ と Cl^- の間の関係
 $[\text{Cl}^-]/[\text{Na}^+]$; 勾配=0.66, 相関係数=0.81

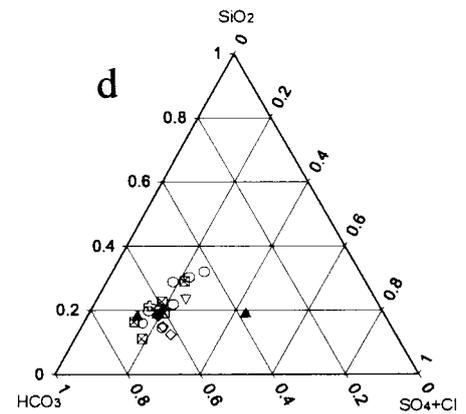
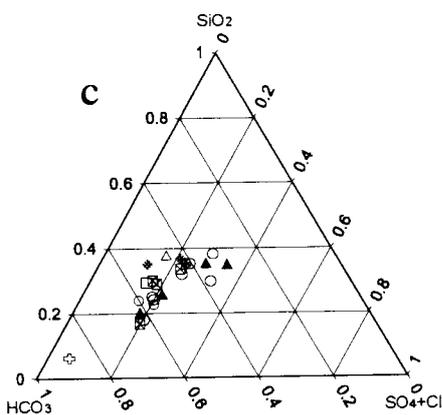
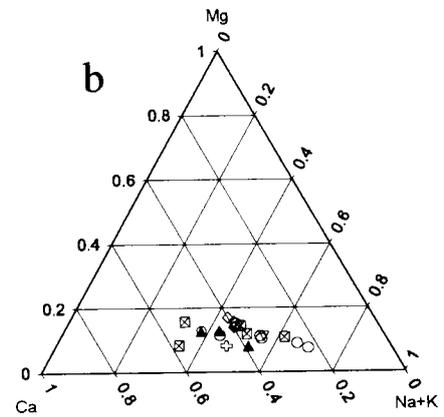
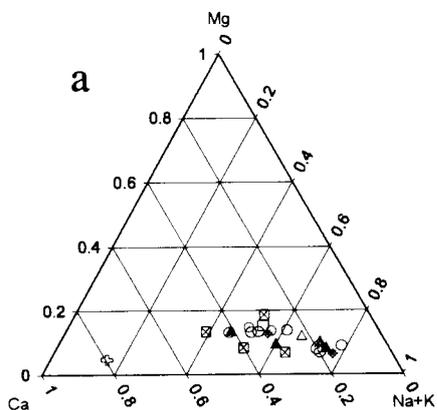
とから HCO_3^- と Ca^{2+} はほぼ当量関係にあることが分
 かり, Ca^{2+} は CO_2 を含む水によって風化された鉱物
 が起源であるということが分かる。

図5はもう一つの主な成分である Na^+ と Cl^- の間の
 関係を同様にしてプロットしたもので, 相関係数が
 0.81で, 勾配は0.66である。やや相関が見られる

ことから海水起源の NaCl が含まれていることが考
 えられるとともに勾配が1より低いことから鉱物起
 源の Na^+ も相当量含まれていることが考えられる。

(C) 三角ダイアグラム

図6 a, b に主要な陽イオン (Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{Na}^+ + \text{K}^+$) の



- 花崗岩
- 閃緑岩
- ▲ 流紋岩
- ◆ 安山岩
- ⊠ 泥質岩
- ⊙ 塩基性片岩
- △ 大山火山灰
- ⊕ 石灰岩

図6. 上流部 (a, c) および下流部 (b, d) におけるイオン組成

三角ダイヤグラムを示す (a 上流部, b 下流部). 上流部における分布では Ca^{2+} についていえば 10%~80%の範囲で分布しており, また, 石灰岩地域のものは Ca^{2+} 80%のところに, 花崗岩地域のものは $Na^{+}+K^{+}$ 80%の所に分布するというように各地質の影響が現れているが, 下流部のものになるとその分布範囲は Ca^{2+} について言えば 25%~55%の範囲にまでまとまっており, 上流部のものに比べて地質によるはっきりとした特徴が見られなくなっている.

図 6-c, d の主要な陰イオン(HCO_3^{-} , $SO_4^{2-}+Cl^{-}$)と SiO_2 の図 (c 上流部, d 下流部) では, これがより明瞭となっている. 上流部の図では花崗岩地域のものは HCO_3^{-} 40%, $SO_4^{2-}+Cl^{-}$ 35%, SiO_2 30%付近に分布し, 石灰岩地域のものは HCO_3^{-} 90%, $SO_4^{2-}+Cl^{-}$ 10%, SiO_2 5%付近に分布している. ところが, 下流部のものになると, どの地質も HCO_3^{-} 60%, $SO_4^{2-}+Cl^{-}$ 40%, SiO_2 20%付近にまとまっている.

(D) 3河川本流での各成分の変化

3河川本流での各成分の変化を図7に示す. 横軸に本流の4~5ヶ所の採水地点を, 縦軸に主要な無機成分(Ca^{2+} , Mg^{2+} , $Na^{+}+K^{+}$, HCO_3^{-} , SO_4^{2-} , Cl^{-} , SiO_2)の濃度をとった. 高梁川の Ca^{2+} , HCO_3^{-} の濃度は3河川の中で明らかに高くなっている. 採水地点 T2 から T16 の間で大きく上昇しているが, これは図1の地質図で分かるように T2 と T16 の間に阿哲台などの石灰岩地域が広がっているためで, これらの石灰岩地域が高梁川全体の水質に大きく影響していることが分かる. また, 3河川とも多少の増減はあるが下流に進むにつれ各成分とも濃度が大きくなっていくが, SiO_2 のみが最下流で最上流の濃度よりも小さくなっている. これは粘土鉱物の生成や珪藻などの生物によって摂取消費されるためと考えられている (小林, 1971; 北野, 1995).

IV-3. 中国地方・日本・世界の平均との比較

3河川の無機可溶性成分の平均を中国地方・日本・世界の平均と比較したものを表3に示した. 吉井川, 旭川は日本の河川の中で平均的であることが分かるが, 高梁川は石灰岩地域の影響のため日本の平均を上回り, 世界の平均に近い値になっている.

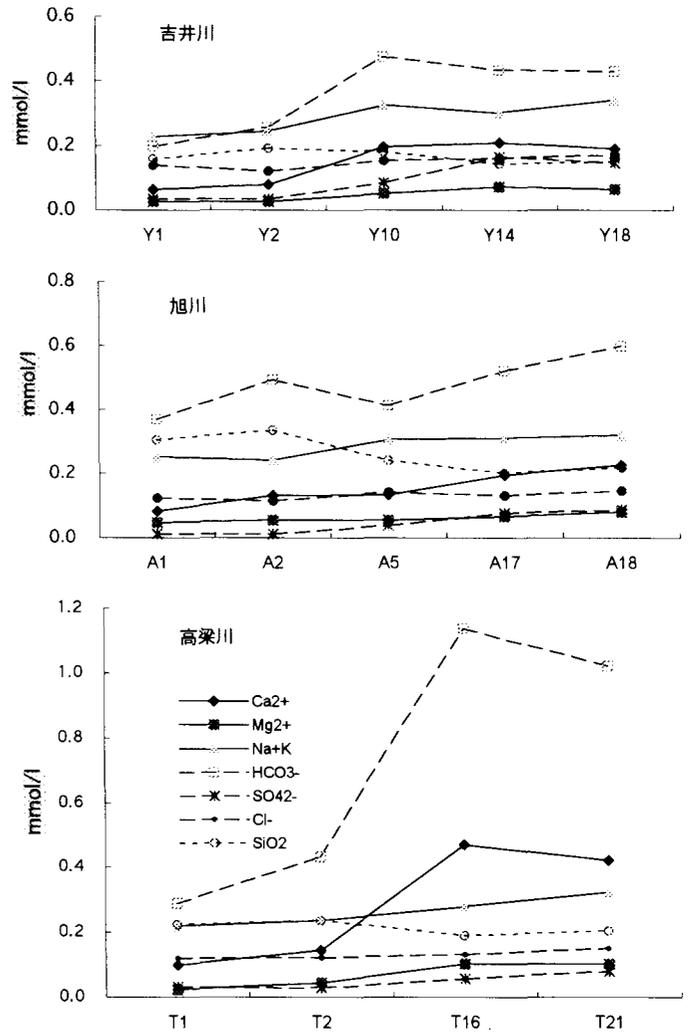


図7. 3河川本流での成分変化

また, 旭川の Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^{-} 濃度は中国地方・日本のいずれの平均よりもやや高い値となっているが, これは支流の備中川が上流部に石灰岩地域を有しているためそれが本流の水質に影響したと考えられる. 各河川の下のは小林 (1960) の同河川の分析結果である. 約 40 年前に比べて3河川とも溶存 SiO_2 を除く各成分とも 10~50%濃度が高くなっている. 産業の発展に伴う工場や自動車からの排煙排ガス, また化学肥料の使用増加による影響が考えられ環境汚染が進んでいることを示している.

IV-4. 風化生成鉱物の安定領域

岩石の風化作用による粘土鉱物の生成について Drever (1988)により陽イオン組成から安定生成鉱物について考察した.

図8にカリウムに関係する風化生成鉱物の安定領

表3. 3河川の平均水質と中国地方，日本，世界の平均水質

河川	場所	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	ΣFe	Al ³⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	F ⁻	SiO ₂	TDS
吉井川	瀬戸町廿日市	7.1	7.6	1.5	6.9	1.58	0.00	0.01	26.1	13.8	6.0	2.30	0.01	8.9	74.8
同	*	7.0	6.7	1.4	4.7	0.86	0.2		22.8	9.3	4.3	0.97		12.6	63.8
旭川	岡山市玉柏	7.4	9.1	1.9	6.4	1.56	0.00	0.03	36.5	8.3	5.1	2.07	0.00	13.0	84.0
同	*	7.1	6.7	1.4	4.7	0.87	0.0		28.2	4.5	4.3	0.84		13.9	65.4
高梁川	倉敷市西阿知	7.6	16.9	2.5	6.6	1.45	0.04	0.04	62.4	7.6	5.3	1.80	0.00	12.2	116.9
同	*	7.4	13.2	1.7	4.5	0.95	0.0		47.3	5.2	4.0	1.24		13.3	91.4
中国地方の平均*			6.7	1.1	6.5	0.94	0.1		27.2	4.4	6.6	0.89		14.1	68.5
日本の平均*			8.8	1.9	6.7	1.11	0.2		31.0	10.6	5.8	1.15		19.0	86.3
世界の平均**			15.0	4.1	6.3	2.30	0.7		58.4	11.2	7.9	1.00		13.1	120.0

*小林 (1960) **Livingstone (1963)

表4. 河川水中の成分含有量の収支 (mg/l)

成分	降水*	工業及 温鉱泉**	河川水中 の含有量	岩石由来 溶出量	岩石由来 比率(%)
吉井川					
Ca ²⁺	3.11	0.46	7.56	3.99	52.8
Mg ²⁺	0.62	0	1.52	0.9	59.2
Na ⁺	2.24	1.26	6.90	3.4	49.3
K ⁺	1.25	0.42	1.58	-0.09	
HCO ₃ ⁻			26.13		
SO ₄ ²⁻			13.82		
Cl ⁻	4.05	1.96	6.01	0	0
SiO ₂	0	0	8.91	8.91	100
旭川					
Ca ²⁺	2.43	0.46	9.06	6.17	68.1
Mg ²⁺	0.48	0	1.94	1.46	75.3
Na ⁺	1.75	1.26	6.42	3.41	53.1
K ⁺	0.99	0.42	1.56	0.15	9.6
HCO ₃ ⁻			36.50		
SO ₄ ²⁻	6.04	1.53	8.28	0.71	8.6
Cl ⁻	3.17	1.96	5.13	0	0
SiO ₂	0	0	13.00	13.00	100
高梁川					
Ca ²⁺	2.57	0.46	16.90	13.87	82.1
Mg ²⁺	0.51	0	2.47	1.96	79.4
Na ⁺	1.85	1.26	6.60	3.49	52.9
K ⁺	1.05	0.42	1.38	-0.09	
HCO ₃ ⁻			62.39		
SO ₄ ²⁻	6.38	1.53	7.64	-0.27	
Cl ⁻	3.35	1.96	5.31	0	0
SiO ₂	0	0	12.20	12.2	100

吉井川のSO₄²⁻ は人間活動の影響が大きいと除く
*蒸発濃縮 (北村, 1991) , **菅原 (1964)

域について示した。横軸に log[H₄SiO₄]をとり、縦軸に log[K⁺]/[H]をとった。いずれの河川水もカオリナイトの安定領域内にプロットされる。ナトリウム、カルシウムについても同様にカオリナイトの安定領域内にプロットされる。このことから、3 河川の水質はいずれも風化生成鉱物としてカオリナイトが安定であるイオン組成を持っていることが分かる。

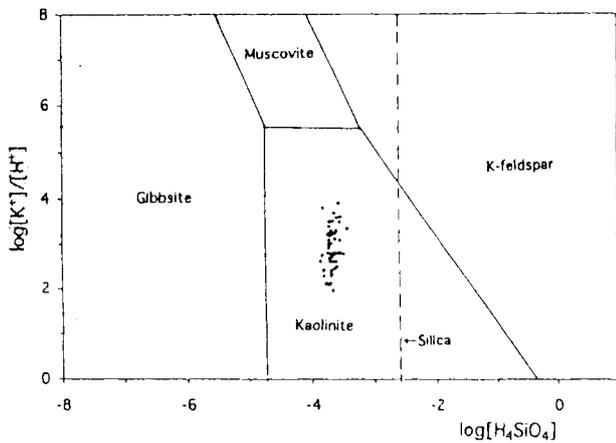


図8. 風化生成物の安定領域

IV-5. 河川水中の可溶性成分含有量の収支

表4 に各成分がどの程度岩石に由来しているかの見積りを示した。降水の組成は北村 (1991) による岡山県南部の雨水の平均組成，工業製品の消費および温鉱泉水は菅原 (1964) による値を用い，これらから，3 河川水中の各成分濃度を差引いて算出した値を岩石由来の成分濃度とし，その全濃度に対する岩石由来濃度の割合も示した。マイナスの値をとる

K⁺ は粘土などに吸着されやすいためと考えられる。同じくマイナスの値をとる SO₄²⁻ は還元されて硫化水素になり，それが岩石や土壌の鉄，マンガンと化

合して硫化物となり水中から除かれるためであろう。

これらの見積もりは比較に用いたデータが古く、また日本全国の平均であるため、ある程度の誤差は避けがたい。概観すると河川水中の可溶性成分総量は 高梁川>旭川>吉井川 の順で岩石由来の割合が高くなっている。これは高梁川流域では河川水への溶出が多い石灰岩地域がかなりの範囲で分布し、旭川でも支流の備中川上流域に石灰岩地域が分布していることが影響していると考えられる。また、吉井川流域には花崗岩や流紋岩地域が広く分布し、無機成分をあまり溶出しないことによるものであろう。

IV-6. 各河川の1年間の風化量

各河川水の年総流量と最下流の濃度から各河川が1年間に運搬している物質の量を算出し表5に示した。ここでも 高梁川>旭川>吉井川 という順になっている。

また各欄の下に示した値は先の考察(IV-5)から見積もった鉱物起源の物質の運搬量である。Ca²⁺については吉井川で9,100t、旭川で13,000t、高梁川で31,000tとなっており、吉井川ではほぼ半減している

表5. 3河川の1年間当りの物質運搬量 (トン/年)

成分	吉井川	旭川	高梁川
SiO ₂	15,300	25,800	26,000
Ca ²⁺	15,300	25,800	26,000
	17,300	19,100	37,700
Mg ²⁺	9,100	13,000	31,000
	3,800	4,000	5,500
	2,250	3,010	4,370
Na ⁺	15,700	13,500	14,700
	7,740	7,170	7,780
K ⁺	3,100	3,300	3,100
	0	0	0
HCO ₃ ⁻	59,400	74,300	136,000
	0	0	0
SO ₄ ²⁻	35,500	17,500	17,000
	0	0	0
Cl ⁻	13,200	11,700	11,900
	0	0	0

各成分の上欄は河川による総運搬量
下欄は岩石起源の量

いない。

この結果から検討を進めると、高梁川の Ca²⁺ 運搬量から、吉井川の流域にほとんど石灰岩地域を持たず、かつ年総流量が同程度の河川の Ca²⁺ 運搬量を差引くと高梁川がその石灰岩地域のみから運搬する Ca²⁺ 量を概数で見積もることができ、それはおよそ 22,000t となる。すなわち、高梁川流域の石灰岩地域(泥質岩中の石灰質も含む)だけで吉井川流域周辺の岩石から溶出する Ca²⁺ 量の2倍を超えることになる。

河川が1年間に風化させた全岩石量を Ca²⁺は全て風化した岩石から溶出していると仮定して、降水および温鉱泉水起源の成分量を差し引いた概数の見積もりを表6に示した。全岩石量の見積もりには Mason and Moore (1982) の火成岩および堆積岩の平均組成(火成岩:頁岩比=1, CaO=4.2%)を用いた。風化した全岩石量は吉井川で303,000t、旭川で433,000t、高梁川で1,033,000tとなる。

この結果をもとに、各河川流域における侵食量を見積もった。岩石の平均比重は2.5を用いた。吉井川で0.06mm、旭川で0.11mm、高梁川で0.15mmずつ毎年地表を削っているという見積もりになる。ただし、高梁川は石灰岩地域のような浸食されやすい地域を無視して平均化した厚さである。

表6. 3河川流域の年間の風化量と地表削剥率

	吉井川	旭川	高梁川
岩石風化量 (10 ³ t/y)	303	433	1,033
地表削剥率 (mm/y)	0.06	0.11	0.15

V. 結 語

本研究から、岡山県の主要3河川である吉井川、旭川、高梁川の水質の特徴と周辺地質との関係は以下のようにまとめることができる。

- 1 岩石地質の与える水質への影響の大きさは、石灰岩>>塩基性岩>泥質岩>安山岩>流紋岩>花崗岩 の順である。
- 2 石灰岩地域を流れる河川の水質はカルシウム、重炭酸の濃度が高く、花崗岩や流紋岩地域を流れる河川では岩石からの無機成分溶出量が少な

が、石灰岩地域を有する高梁川ではあまり減少して

れる河川では岩石からの無機成分溶出量が少ない。

- 3 上流部では周辺の地質の影響が現れやすいが、下流部になるとその影響は不明瞭となる。
- 4 河川中に溶存している成分のうちカルシウム、重炭酸の濃度は他の成分と比べ最も変化が大きい。
- 5 一般に各成分の濃度は上流より下流のほうが大きくなるが、溶存シリカのみ小さくなる。
- 6 風化生成鉱物としてはいずれの河川もカオリナイトが安定であるイオン組成をもつ。
- 7 吉井川・旭川・高梁川の各河川流域では1年間に各々30.3万トン、43.3万トン、103.3万トンの岩石を風化させ、1年間に各々0.06mm、0.11mm、0.15mm ずつ地表を削っていると大ざっぱに見積もられる。

引用文献

- Drever, I. S. (1988) *The geochemistry of natural waters*. 2nd. ed. 437p. Prentice Hall.
- 平川武 (1994) 高梁川の水質について. 岡山大学理学部地学科卒業論文.
- 建設省岡山河川工事事務所資料 (1999) 建設省岡山河川工事事務所.
- 北村俊博 (1992) 岡山大学で採取した降水の地球化学的研究. 岡山大学理学部地学科卒業論文.
- 北野康 (1995) 新版 水の科学. NHK ブックス.
- 小林純 (1960) 日本の平均水質とその特徴に関する研究. 農学研究, **48**, 63-106.
- 小林純 (1971) 水の健康診断, 岩波書店.
- Livingstone, D. A. (1963) *Chemical composition of rivers and lakes*. 6th. ed. U.S. Geol. Survey Prof. Paper 440-G.
- 光野千春・杉田宗満 (1979) 岡山県地質図. 内外地図.
- 光野千春・沼野 忠・高橋達郎 (1983) 岡山の地学. 山陽新聞社.
- Mason, B. and Moore, C. B. (1982) *Principles of Geochemistry*. John & Wiley.
- 森井ふじ・松村竹子・田中好 (1993) 琵琶湖流入河川の水質と水源地地質との関連. 陸水学雑誌, **54**, 3-10.
- 中村誠佑 (1988) 水質と岩石風化. 宮崎大学工学部紀要, **18**, 95-150.
- Stallard, R. F. and Edmond, J. M. (1983) *Geochemistry of the Amazon*. 2. The Influence of geology and weathering environment on the dissolved load. *J. G. R.* **88**, C14, 9671-9688.
- 菅原健 (1964) 陸水の新しい化学的考察について. 排水と用水, **6**, 227-230, 317-321, 359-364.
- 渡久山章 (1981) 沖縄における陸水の化学的特性と物質循環Ⅱ. 工業用水, **275**, 1-12.
- 渡久山章・下地寛 (1978) 沖縄本島北部河川水の水質の化学的研究及び流出量. 琉球大学理工学部紀要理学篇, **26**, 31-51.