

天然水の化学組成による大戸川流域 の岩石の風化，崩壊の研究（その1）

北野 康・奥田節夫・奥西一夫・吉岡龍馬

DEVELOPMENT OF ZONES OF WEAKNESS AND RESULTANT ROCKSLIDES CAUSED BY GEOCHEMICAL WEATHERING IN DAIDO-GAWA AREA

By Yasushi KITANO, Setsuo OKUDA, Kazuo OKUNISHI
and Ryuma YOSHIOKA

Synopsis

For the investigation of hydrochemical features of the Daido and other rivers, the authors determined the chemical compositions of natural waters collected under both fine weather and rainy weather conditions. They showed the difference in chemical composition between the both water samples, and studied the mechanism of the difference. They discussed the chemical interaction between precipitation and rock or soil, to clarify rockslides attributed to geochemical weathering in the Daido-Gawa area.

緒 言

筆者らのうちの、北野はいくつかの地域で、天然水の水質を通して、岩石の風化、崩壊機構を明らかにし、岩石から天然水中に溶けていた元素量を知ることにより、岩石の風化の程度、および崩壊の規模を予知することができることを示した^{1), 2)}。

筆者らは瀬田川に注ぐ大戸川を中心とする周辺について“天然水中の化学元素の含有量を規定する因子を明らかにする”という態度を基本にもち、次のことを知る目的で、ここで報告する調査研究を行なった。

すなわち、(a) 降水が河川水として流れるまでに接触した岩石から元素をどのようにしてどの位の量だけ溶かし出すか？それに応じて岩石の状態はどのように変化するか？

(b) 天然水中の化学元素の含量から、その天然水の接触してきた岩石の風化の程度は、どれほどか？

1. 調査方法およびその結果

今まで、北野が用いてきた方法にもとづき、天然水を採水し、その主要化学成分を分析した。今回は 100 mm に近い降雨のあったとき、および晴天の続いたときに試水を採水した。採水点は **Fig. 1** に、その水質の分析結果は **Table 1** に示した。

2. 結果に対する考察

天然水中の元素含量は、次の因子によって決まると考えられる。

(天然水中の元素含量) = (降水に由来する元素) + (降水物に由来する元素) + (岩石・土壌に由来する元素) + (温鉱泉等の地下水に由来する元素) + (人間活動に由来する元素)。

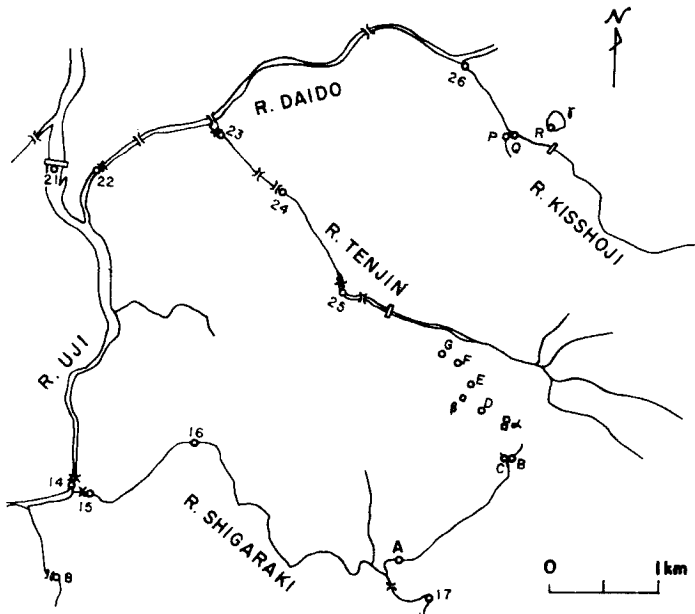
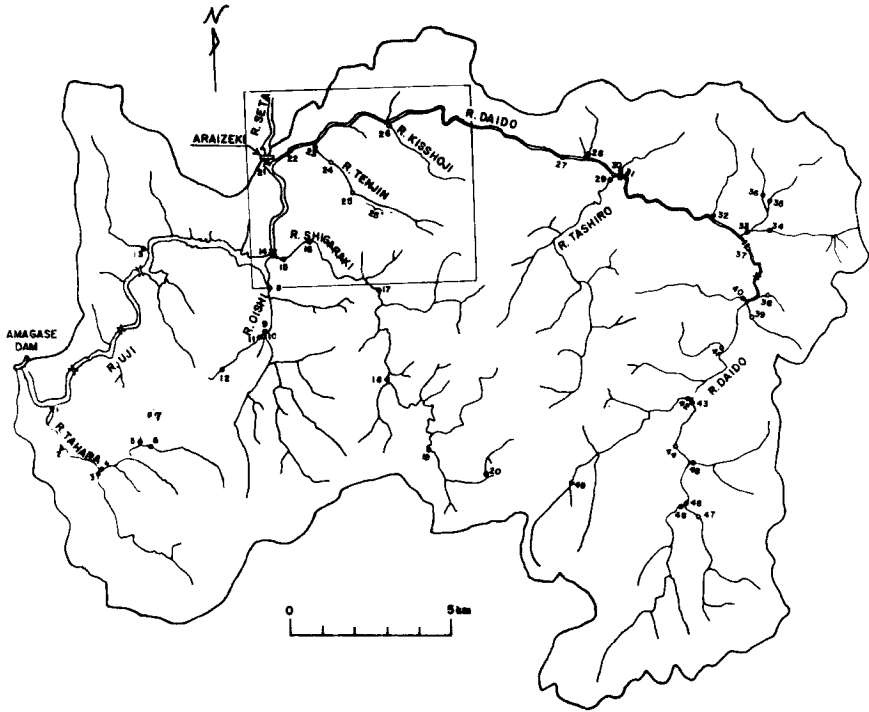


Fig. 1 The location of the water sampling stations.

Table 1 The chemical compositions of the stream waters sampled on July 8, 1966 in the Daido-Gawa area.

place	No. of stations	time	water temp. (°C)	pH	specific conduct. (μ S/cm)	Na ⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ +Mg ²⁺ as Ca ²⁺ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	soluble silica (mg/l)	suspended solids (mg/l)
R. Tahara	1	11:05	23.5	7.2	97	3.5	9.8	29.3	6.0	7.8	1.5	50
	2	11:12	21.0	7.0		3.4	9.3	20.1	3.9	5.8	7.6	64
	3	11:30	21.0	7.0		2.2	5.6	12.7	3.1	3.2	5.4	81
	4	11:30		7.1		3.2	9.3	20.4	3.9	6.4	5.7	181
	5	11:43	21.5	6.8		2.2	5.2	9.4	2.4	5.0	5.3	465
	6	11:50	20.5	6.8		2.6	5.2	13.4	2.8	6.0	5.3	136
	7	11:55	20.5	6.8		2.0	4.0	10.1	2.3	3.6	5.3	251
	8	12:49	20.5	6.9		1.7	3.4	5.6	1.8	6.5	6.2	
R. Oishi	9	12:30	20.6	7.0		1.9	3.2	6.5	1.8	7.1	6.6	285
	10	12:20	20.6	7.0		2.2	3.7	9.4	2.3	5.8	7.9	231
	11	12:20	20.7	6.8		1.4	1.6	2.7	2.0	6.8	5.5	519
	12	12:12	20.4	6.8		1.1	2.2	3.0	1.3	9.5	4.5	212
R. Uji	14	12:57	22.3	7.2		3.6	7.6	20.8	5.1	9.2	2.8	259
	21	17:57	23.0	7.3		4.1	9.4	29.0	5.7	7.2	1.6	
R. Shigaraki	15	12:42	20.5	6.9		2.1	2.7	6.1	1.8	5.5	6.4	144
	25'	16:40	19.5	7.1		2.6	1.7	1.9	1.3	8.1	9.0	
R. Tenjin	25'	16:35	20.1	7.0		2.4	0.0	1.1	1.0	6.0	8.8	
	25'	14:20	19.7	7.0		2.2	0.7	0.6	1.1	6.2	7.8	
	25'	14:50	19.5	7.0		2.2	1.2	0.6	1.1	6.0	7.1	
	25'	16:25	18.5	7.1		2.8	1.1	2.9	1.3	6.9	9.4	
	25	16:43	20.1	7.0		2.6	0.4	1.5	1.4	7.3	9.2	
	F	15:00	19.7	7.0		2.6	0.8	1.9	1.2	7.5	9.0	
	E	15:35	17.5	6.4		2.7	0.5	2.2	1.1	6.6	9.0	
	D	15:40	19.6	6.1		2.2	0.0	1.7	1.1	6.4	8.2	
	P	17:00	20.8	7.1	37	2.5	0.4	2.0	1.1	6.0	8.0	
	Q	17:00	20.0	7.0	33	2.8	0.0	1.7	1.6	6.5	10.1	
R. Kisshoji	R	17:12	20.2	7.0	40	2.8	0.6	4.0	1.5	8.2	9.8	
	R'	17:19	19.5	7.0		3.2	0.0	3.7	1.4	8.8	10.4	
	R''	17:17	20.5	6.5		3.2	0.6	3.1	1.1	5.7	9.2	
	22	17:48	20.6	7.0		2.6	0.4	1.5	3.1	9.4	8.5	

Table 2 The chemical compositions of the stream water sampled on July 9, 1966 in the Daido-Gawa area.

place	No. of stations	time	water temp. (°C)	pH	specific conduct. ($\mu\text{T/cm}$)	Na ⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ +Mg ²⁺ as Ca ²⁺ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	soluble silica (mg/l)	suspended solids (mg/l)
R. Tenjin	23	9:16	18.7	7.1		2.9	1.4	2.9	2.1	8.9	9.6	
R. Kisshoji	26	9:25	18.9	6.7		2.8	0.8	2.9	1.9	7.9	8.8	
R. Uji	21	9:00	22.0	7.3		3.5	11.1	28.5	6.0	8.6	1.9	
R. Daido	22	9:08	18.5	7.1		2.5	2.4	8.9	3.6	8.0	9.2	44
	27	9:45	17.9	7.1		2.6	2.4	7.8	3.0	7.4	9.4	
	28	9:48	17.7	7.2		2.6	1.0	2.7	2.0	7.9	8.6	
	29	10:05	17.2	7.2		2.1	2.0	4.1	2.2	9.0	8.1	
	30	9:52	17.7	7.3		3.0	2.5	7.7	2.5	8.1	11.6	
	31	9:59	18.1	7.2		2.8	2.3	9.6	2.9	7.6	9.4	21
	32	10:17	16.8	7.2		2.8	0.8	3.5	1.7	7.7	9.5	
	34	10:29	17.6	6.8		3.1	1.3	5.7	2.3	9.0	10.5	
	35	10:37	17.3	6.8		3.0	1.5	6.0	2.5	8.5	10.4	
	36	10:45	16.7	6.8		2.9	1.1	8.1	2.9	8.7	12.2	
	37	11:00	18.5	6.8		3.4	2.7	11.2	2.9	2.8	10.4	36
	38	11:03	17.1	6.2		2.7	0.0	4.2	2.3	8.3	11.1	
	39	11:10	16.8	6.4		3.0	0.6	4.3	2.2	9.0	11.5	
	40	11:05	18.5	6.9		3.0	0.8	6.3	1.7	6.8	11.2	
	41	11:16	17.3	7.0		2.6	0.0	3.7	1.8	7.4	10.0	
	42	11:25	18.0	6.9		2.6	3.0	8.8	4.5	7.5	9.0	
	44	11:35	17.7	6.9		3.1	3.9	12.4	2.9	7.3	11.1	
	45	11:43	17.5	6.6		3.0	1.6	8.4	2.9	8.5	11.3	
	47	11:55	16.3	7.2		2.3	1.5	8.7	2.2	7.2	9.4	9
48	11:55	17.6	7.4		3.7	3.6	16.1	3.1	9.4	12.8		
49	12:32	17.5	6.5		2.2	6.6	9.1	3.0	7.7	2.5		
R. Shigaraki	16	13:23	17.7	7.2		2.3	4.0	5.3	3.0	8.5	9.4	
	17	13:14	16.5	7.0		2.2	3.7	5.2	3.3	8.8	9.2	
	18	13:00	17.3	7.0		2.6	4.8	3.0	3.3	9.4	9.0	
	20	12:46	17.8	5.8		2.0	5.0	0.0	3.6	10.0	7.5	

Table 3 The chemical compositions of the stream waters sampled on August 8, 1966 in the Daido-Gawa area.

place	No. of stations	time	water temp. (°C)	pH	specific conduct ($\mu\text{V}/\text{cm}$)	Na ⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ +Mg ²⁺ as Ca ²⁺ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	soluble silica (mg/l)	suspended solids (mg/l)
R. Tahara	3	11:00	22.5	6.0		4.4	15.8	26.6	6.1	9.8	12.4	
	4	10:47	29.1	7.5		5.8	18.1	50.0	6.8	12.1	13.4	
R. Oishi	8	11:30	28.8	7.1		4.1	13.1	35.6	4.3	9.3	12.3	
R. Shigaraki	15	11:37	27.2	6.7		4.2	7.6	23.1	3.8	7.3	12.8	
R. Uji	21	10:50	30.5	7.2		3.9	11.0	29.9	6.3	6.9	1.0	
R. Daido	22	11:13	30.5	6.9		5.7	8.4	23.2	7.5	6.1	14.7	
R. Tenjin	B	14:00				3.4	0.4	5.3	2.2	4.5	16.3	
	C	14:00				2.5	2.2	0.0	2.0	4.7	13.8	
	E	14:08	24.1	5.8		3.5	0.2	4.1	3.1	4.7	12.7	
	G	14:40	25.0	6.6		3.5	0.0	4.7	1.6	5.5	15.6	
	25	14:52	30.1	6.6		3.4	0.8	5.8	2.0	4.8	14.6	
R. Kisshoji	P	15:30		6.2		3.6	0.5	3.7	1.9	6.4	12.8	
	Q	15:30		6.6		3.2	0.5	4.8	1.9	5.4	14.7	
	R	15:40		6.8		4.2	0.2	7.7	1.6	5.5	16.6	
	R'	15:58		6.4		4.7	0.0	8.1	1.6	5.3	16.6	
	R''	15:50		6.3		3.9	0.2	6.7	1.7	5.9	14.9	
R. Kasatori	13	16:40	27.5	7.0		3.8	8.7	27.8	4.7	6.1	12.6	

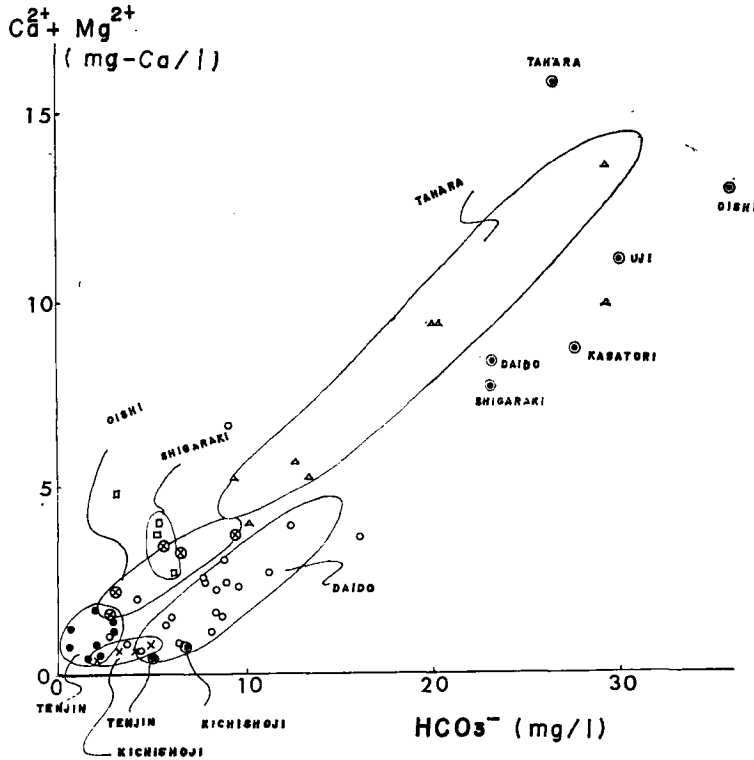


Fig. 2 Relationship between concentrations of HCO_3^- and $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ in natural waters.

● : water samples in fine weather environment.

other marks : water samples in rainy weather environment.

緒言で述べた目的のためには、左辺と右辺の第3項とを結びつけたいのである。それが出来るかどうかを検討するために、第1表にもとづき、天然水中の元素含量間の相関々係を Fig. 2~8 に示した。これらの図から、豪雨時の水質と晴れているときの水質とを比較することも出来るし、また豪雨時の天然水中の化学元素含量の変動を知ることができる。

Fig. 2~8 からつぎのことが分る。

降雨時の水質をも含めて Cl^- と HCO_3^- 含量とは、特にそれぞれの水系ごとに両者間との関係をみると、良好な正相関をもつ。これらの元素と溶存ケイ酸含量を除く他の主要元素含量との間にも、正相関がみられる。しかし、豪雨時における化学元素の含量は、一様に淡くなっているわけではない。それを説明するためには、降水の化学組成上の特性か、それとも、降水が土壌・岩石と接する間に起った二次的な反応を考える必要がある。

溶解ケイ酸含量は、降水中には全く含まれていないといって差支えない。従って豪雨時に採水した河川水中の溶存ケイ酸含量は、岩石・土壌から溶かし出されたものであることはたしかなことであり、少なくともその降水は岩石・土壌からそれだけの量のケイ酸を溶かしだすに必要な充分の時間だけ岩石・土壌と接したか、またはそのときの降水そのものが河川水として出てきたものではなく、地下に溜っていた水が、河川水として出てきたものかの何れかであると考えざるを得ない。このように考えると Fig. 2~8 はつぎのことを指示する：

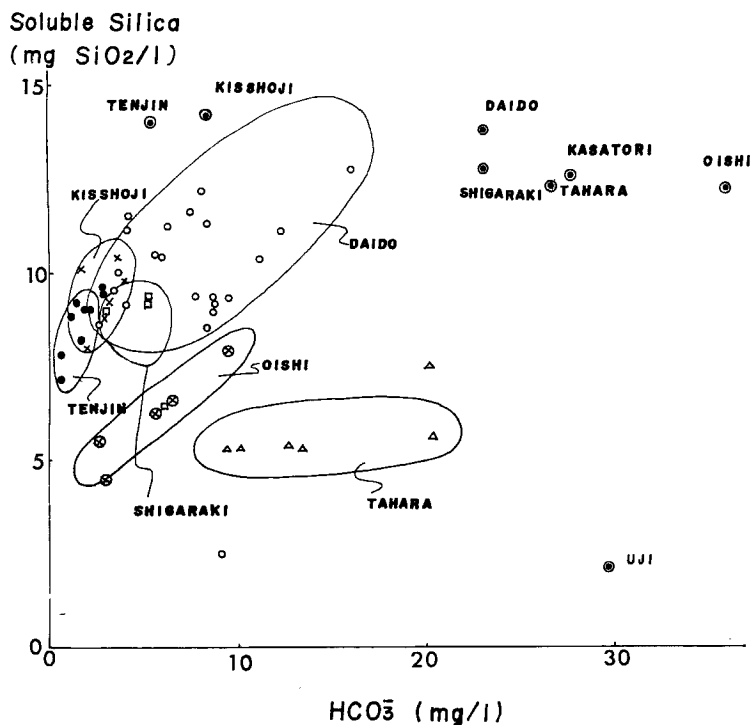


Fig. 3 Relationship between concentrations of HCO₃⁻ and soluble silica in natural waters.
 ● : water samples in fine weather environment.
 other marks : water samples in rainy weather environment.

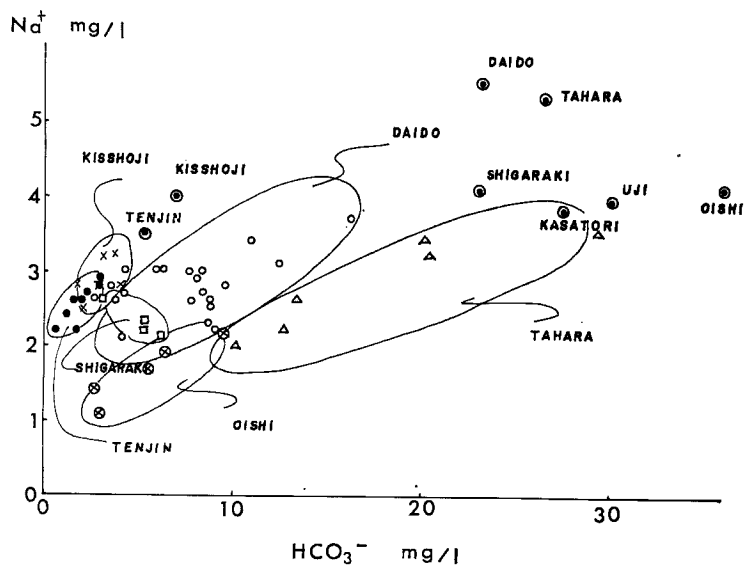


Fig. 4 Relationship between concentrations of HCO₃⁻ and Na⁺ in natural waters.
 ● : water samples in fine weather environment.
 other marks : water samples in rainy weather environment.

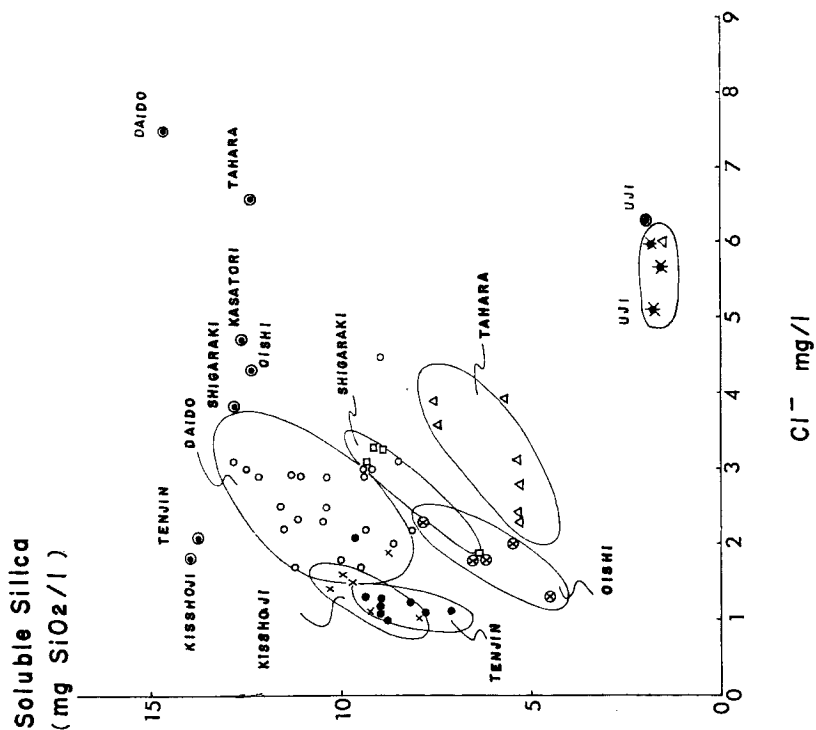


Fig. 7 Relationship between concentrations of Cl^- and soluble silica in natural waters.
 ● : water samples in fine weather environment.
 ○ : other marks: water samples in rainy weather environment.

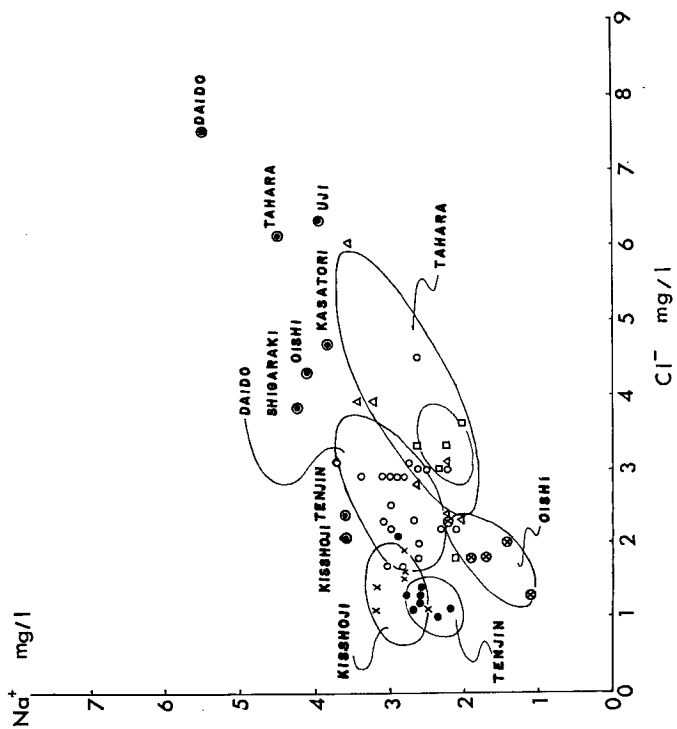


Fig. 8 Relationship between concentrations of Cl^- and Na^+ in natural waters.
 ● : water samples in fine weather environment.
 ○ : other marks: water samples in rainy weather environment.

- (1) 吉祥寺川および天神川流域の河川水中の $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ および HCO_3^- は晴天のときも、豪雨時も、ともに非常に小さい。しかし、溶存ケイ酸含量は小さくはなく、普通の値に近い。北野の研究結果^{1), 2)}によれば、このことは、この地帯の岩石は水に対して非常に抵抗力が強く、風化されにくく、崩壊はおこりにくいと予想される。
- (2) 豪雨時の田原川の水質をみると、 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 、 HCO_3^- 、 Cl^- 等の主要成分の量が非常に大きく、晴れた時のそれと変わらないものがある。このような水の採水時には、降水が直接、河川水にはほとんど入っていないと考えられる。すなわち、降水が直接には河川水に関係していないと考えられるのである。田原川の水に含まれる化学元素、とくに $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ および HCO_3^- の含有量は非常に大きい。驚くべきことには、豪雨時の溶存ケイ酸含量が他の普通の河川水のそれに比べて非常に小さい。但し、晴れたときの採水した水では溶存ケイ酸含量が普通の河川にみられるほどであった。この現象は非常に不思議であるといわねばならないが、1つの考え方としては、田原川流域の岩石には、石灰岩がまざっているとすものである。この点については将来多くの実測による検討にまたねばならない。
- (3) 大戸川はおそらく水質からみると、極く普通にみられる河川水であり、大戸川流域の岩石はケイ酸塩岩石で、その風化の程度はあまり進んでいるものとは考えられず、崩壊の心配も今のところ特にない地域であるように思われる。この研究はまだ始めたばかりであり、降水がどのような岩石・土壌との交渉をもつかという問題を解くためには、さらに調査研究を続けてゆかねばならない。

参 考 文 献

- 1) 北野康：岩石崩壊の地球化学的機構，災害の地域的特異性に関する基礎的総合研究，研究報告，昭41年，14—16。
- 2) 北野康，加藤喜久男，金森悟，金森暢子，吉岡龍馬：天然水の化学組成による岩石の風化，崩壊の研究，京大防災研究所年報，第10号A，昭42，557—587。