

蒲田川流域における陸水の分布 (2)

——陸水の特性と岩石の風化——

矢野 勝正・沢田 豊明

DISTRIBUTION OF GROUND WATERS IN THE GAMATA RIVER BASIN (2)

——Characters of Ground Waters and Weathering of Rocks——

By *Katsumasa YANO* and *Toyoaki SAWADA*

Synopsis

We extend our investigations of relationship between the composition of water and the order of weathered rocks which we have mentioned in our previous paper.

In this paper, we describe a relation between characters of ground waters and weathering of rocks.

Our investigation is from August 1969 to January 1970, ground water samples were taken at intervals of two weeks. On the other hand, we tried a few experiments on the effect of the consistency of water composition on the weathered rocks.

Temperature, pH and conductivity values were measured in the field. Chemical constituents such as Na^+ , K^+ , $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ and soluble SiO_2 were determined in the laboratory.

The main results are the following two:

- (1) The concentrations of $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ increased in the landslid areas after small rainfall.
- (2) The grade of weathered rock is roughly proportional to ionic concentration in ground waters within the limits of this soluble experiment for rocks.

1. ま え が き

岩石の崩壊に関連して、岩石の風化に関する研究を進めてきた結果、岩石の風化は過去に受けた地質現象の影響を強く受けていることが明らかとなった。したがって、岩石の一般的な強度は風化以外の要素によって決定づけられている場合が多い。

以上のことから、純粋に岩石の風化のみで岩石の強度に関する問題を解決することは困難である。

前回¹⁾の報告では、岩石の崩壊の原因として、岩石中のひび割れの密度と岩石の圧縮強度の2つ因子を採用することを提案した。

しかし、その方法では岩石の露出がないと調査が困難であるという欠点がある。本研究は、岩石の露出していない地域の岩石の強度を推定しようとする場合、その地域を通過する天然水の化学組成から判断することが可能ではないかという観点にたっている。

今回は、第1報²⁾に引きつづいて、天然水の地球化学的性質を知ることが岩石のひび割れの密度および圧縮強度を推定する目安として有効な手段であるかどうか検討した。

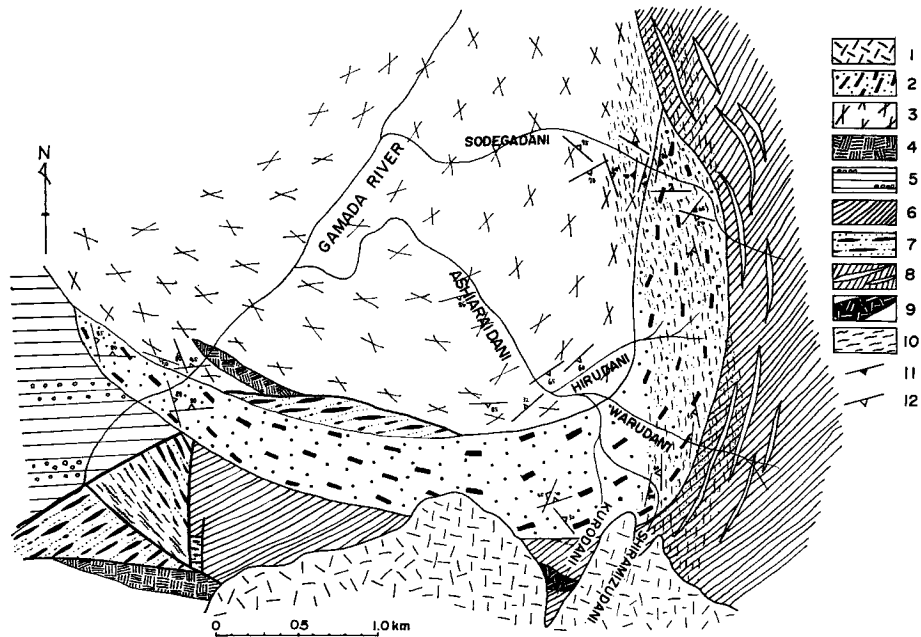


Fig. 1 Geological map of the Ashiarai-dani basin.

1. Andesite 2. Granite porphyry 3. Quartz porphyry 4. Basic rock
5. Cretaceous formation 6. Permian formation 7. Crystalline schist
8. Dyke rocks 9. Ultra basic rock 10. Shear zone 11. Shear 12. Joint

2. 地質と岩石

2.1 調査地域の地質構造について

調査地域を含む周辺の地質を構成する岩石は、古生層、結晶片岩、流紋岩類、花崗斑岩および安山岩類である。これらの分布は Fig. 1 のとおりである。

足洗谷流域を中心に地質および地質構造について述べる。足洗谷下流部から中流部にかけては石英斑岩が広く分布している。足洗谷中流部の割合、白水谷および黒谷の合流付近では花崗斑岩が帯状に谷を横切って分布する。上流部は古生層とそれを貫ぬいて噴出した安山岩類が古生層の上に分布している。

足洗谷における一般的な地質構造は、石英斑岩によって貫入され、石英斑岩の接触部付近は弱い変質と貫入時の圧力による破碎あるいは破断によって特徴づけられている。さらに、そのような部分には優白色の石英斑岩の小岩脈群が境界に平行して貫入している。

その他、この足洗谷だけに、石英斑岩と古生層の間に花崗斑岩の帯状の岩体が貫入している。この岩体の貫入によって接触部付近の石英斑岩および古生層は破碎され、一部は地下水の影響を受けて粘土化している。また、黒谷において、古生層と接触している部分では滑石をともなった蛇紋岩が間に入っていることが特徴的である。花崗斑岩および石英斑岩にみられる節理系は、南北方向と東西方向のものが著しく、同じ方向を示す傾向があることから同一の系統に属する貫入形態をとったものと考えられる。

岩体の破碎構造は花崗斑岩の南北方向ののびている部分に著しく、その方向は南北方向である。

以上のように、足洗谷および蒲田川本流を横切って帯状の花崗斑岩の岩体が分布しているが、この岩体の周辺は2回の大きな構造運動の影響を強く受けた結果、岩石の破碎および変質が他の部分に比較して非常に著しいものとなっている。そのため、この岩体とその周辺には崩壊が集中している。

2.2 岩石の変質

調査地域に分布する岩石で変質を受けているものは泥岩および凝灰岩を主とした古生層、石英斑岩および花崗斑岩である。これらの変質はいづれも、花崗斑岩の侵入時期に関連するものと考えられる。石英斑岩の変質部は花崗斑岩との接触部付近および南北方向の破砕帯に一致している。古生層の変質部は緑泥石、カオリナイトおよび加水ハロイサイトの成生物がみとめられる。その他、部分的に蛇紋石の成生物もみとめられる。

このことは、この地域の複雑な地質現象によって何回かの異なった粘土化作用を受けていることを示しているものと考えられる。

花崗斑岩および石英斑岩の変質部において、同一の母岩から生成条件の異なるカオリナイトおよびモンモリロナイトを生じていることから、やはりこの地域においても、地質現象の大きな変化が考えられる。

2.3 岩石の水溶性について

天然水の特性は降水が地中に浸透し、岩石と接することによって、岩石の一部を溶かして、その性質を変

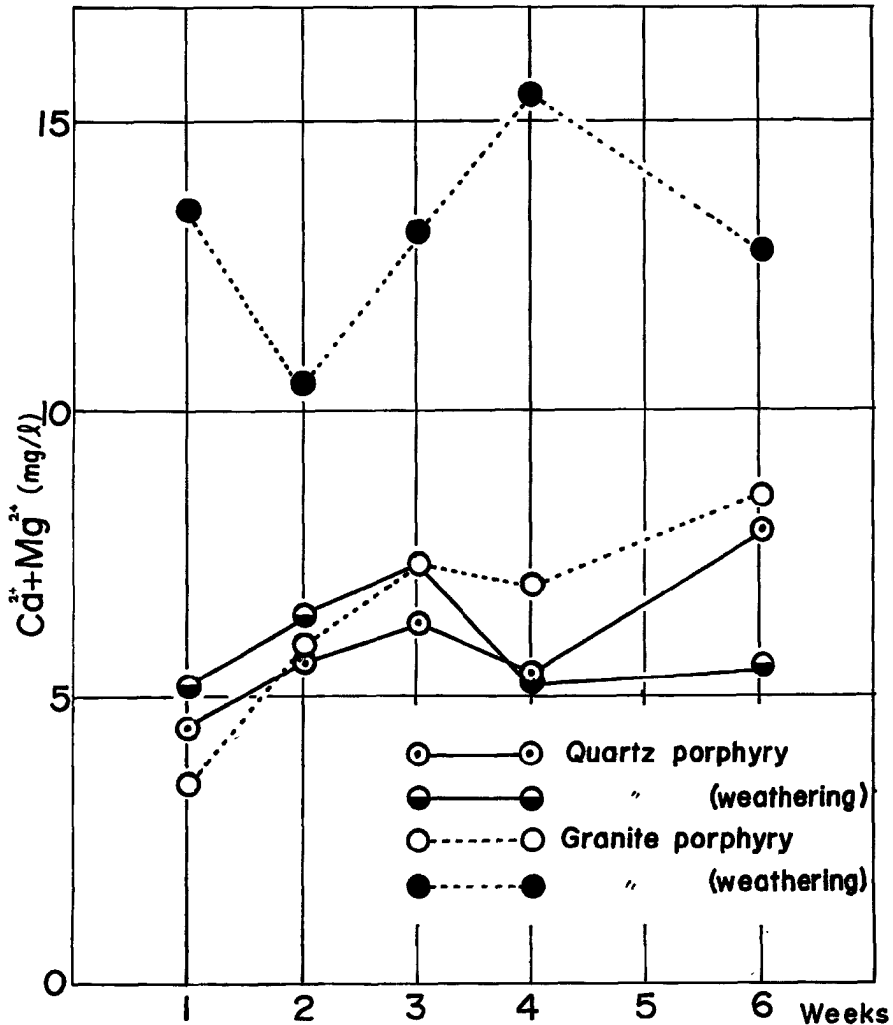


Fig. 2 Relationship between Ca²⁺+Mg²⁺ and time in the soluble experiment of rocks.

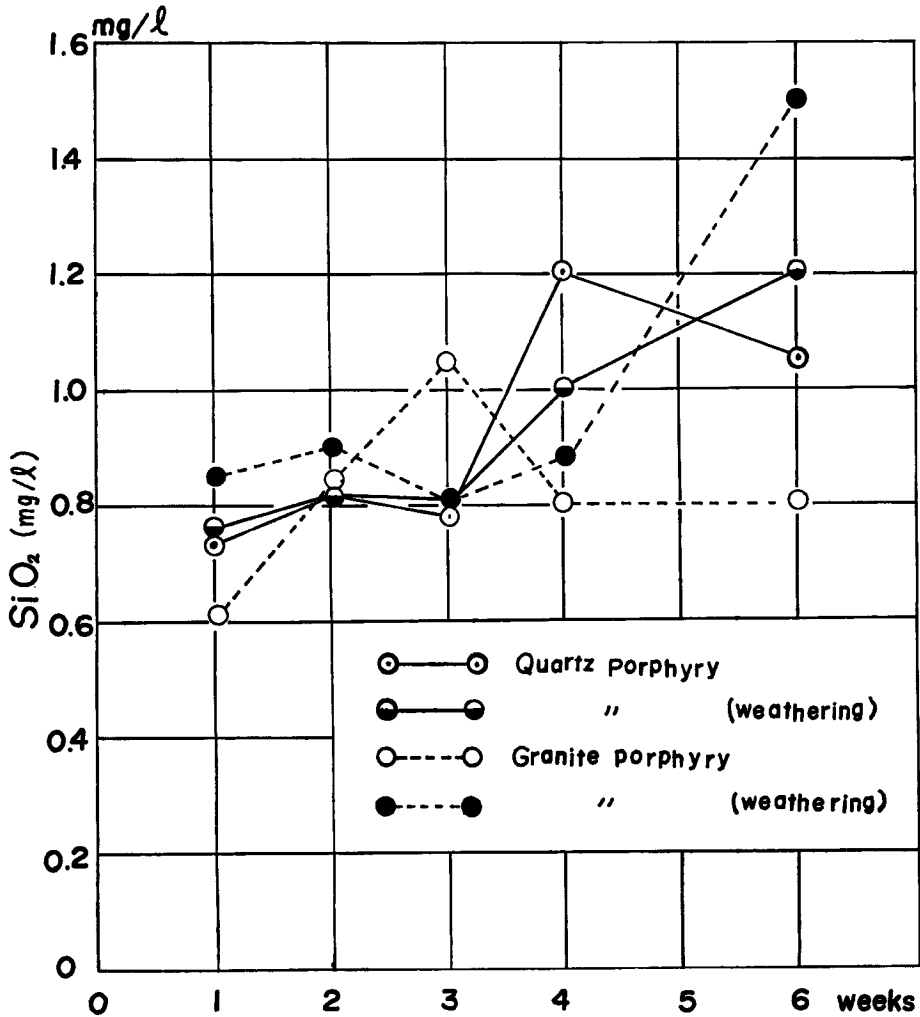


Fig. 3 Relationship between soluble SiO₂ and time in the soluble experiment of rocks.

えてゆく。このような天然水の性質はとくに造岩鉱物の種類とその安定性に関連している。造岩鉱物の安定性は岩石の風化と関連していることから、水中における造岩鉱物の安定性が岩石の風化の程度を示すかどうかを岩石の溶解実験によって検討した。

溶解実験は石英斑岩と花崗斑岩の2種の岩石について、新鮮なもので圧縮強度約 250 kg/cm² のものと風化が進んでいるもので圧縮強度が 100 kg/cm² 以下のものについて実験を行なった。

実験の内容は次のとおりである。まず、蒸留水 1000 ml の入ったポリエチレン製の広口ビンに 20 個用意し、2つの状態の石英斑岩と花崗斑岩の計4つの試料を 150 メッシュ以下の粉末にする。各試料の粉末を 10 g ずつ蒸留水の入った5個のポリエチレン製のビンに入れ、1日1回、ビンの中を攪拌する。その後、1週間目、2週間目、3週間目、4週間目および6週間目ごとにビンの中の水をろ過し、その水の化学分析を行なう。

以上のような実験の結果、岩石の粉末から蒸留水に溶けた Ca²⁺+Mg²⁺、溶存 SiO₂ および Na⁺ の量と時間の関係は Figs. 2, 3 および 4 のとおりである。

Fig. 2 は $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ の溶解量と時間の関係について、4つの試料を比較したものである。この図から花崗斑岩の風化したものからは他のものに比較して多量の $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ が溶けだしていることがわかる。 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ の溶けだす量と時間の関係は、石英斑岩の2試料と花崗斑岩の新鮮なものについて、1週間から3週間の間で時間とともに一定の割合で溶解量が増えているが、その増加率は3週間以後、一定しない傾向にある。花崗斑岩の風化したものでは、溶解量と時間の関係はみとめられない。

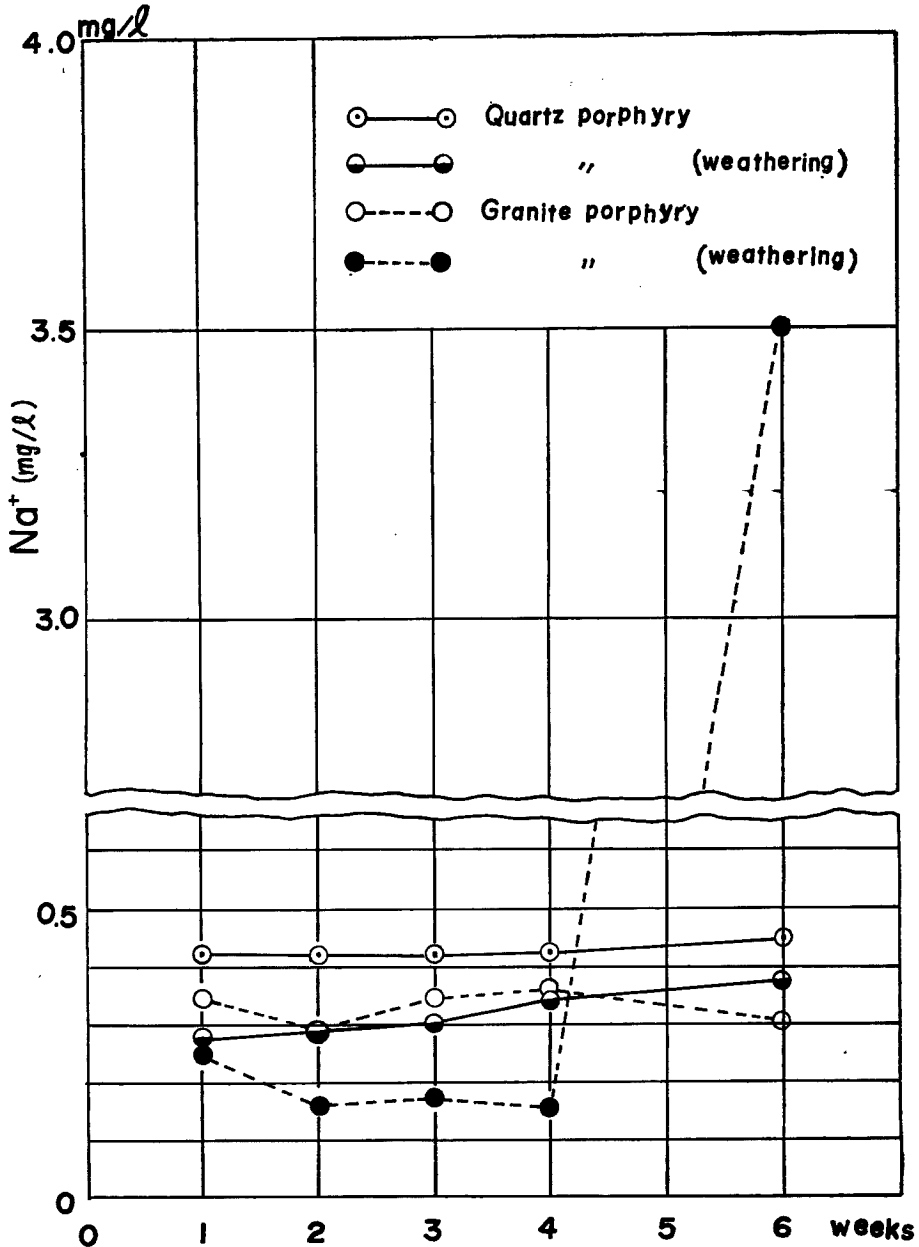


Fig. 4 Relationship between Na^+ and time in the soluble experiment of rocks.

Fig. 3 は溶存 SiO_2 の量と時間の関係について、4つの試料を比較したものである。溶存 SiO_2 の量と時間の関係は明確ではないが、花崗斑岩の新鮮なものをのぞいては、全体的な傾向として時間の経過とともに溶解量が増加しているといえる。

Fig. 4 は Na^+ の溶解量と時間の関係について、4つの試料を比較したものである。花崗斑岩の風化したものをのぞいては、ほとんど溶解量は増加していない。花崗斑岩の風化したものは6週間目で急に溶解量が増加している。

以上の結果をまとめてみると、 $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ 、溶存 SiO_2 および Na^+ の中で最も短時間に溶解し、さらに風化したものと未風化のものにおいて溶解度の差が明確にみとめられるものは、 $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ であることがみとめられた。

しかし、このことは花崗斑岩についてみとめられたことであり、また、風化した花崗斑岩において、 $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ の溶解量は、1週間から6週間の間で、時間との関連性を示しておらず、1週間以内に不安定な鉱物から $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ の溶解がほとんど終わってしまうのではないかと考えられる。

なお、今回の実験は予備的なものであったため、実験の方法に関して種々の欠点があったと考えられる。

とくに、自然状態における岩石の溶解は水と岩石の量比にも関係すると考えられるので、自然に近い状態で実験を行なう場合、蒸留水の量と岩石の量および水の移動についても十分な検討が必要である。

さらに、試料のとりあつかい方、溶解の方法についても考慮する必要がある。

3. 陸水の地球化学的特性

天然水中の元素含量の分布および変動を知るために、Fig. 5 の地点において採水を行なった。採水は1869年8月15日から1970年1月23日の間で、12カ所の地点において10回行なった。

元素の分析は $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ 、溶存 SiO_2 、 Na^+ および K^+ について行なった。水温、pH および電導度は現地測定した。その結果は Tables 1, 2, 3 および 4 のとおりである。

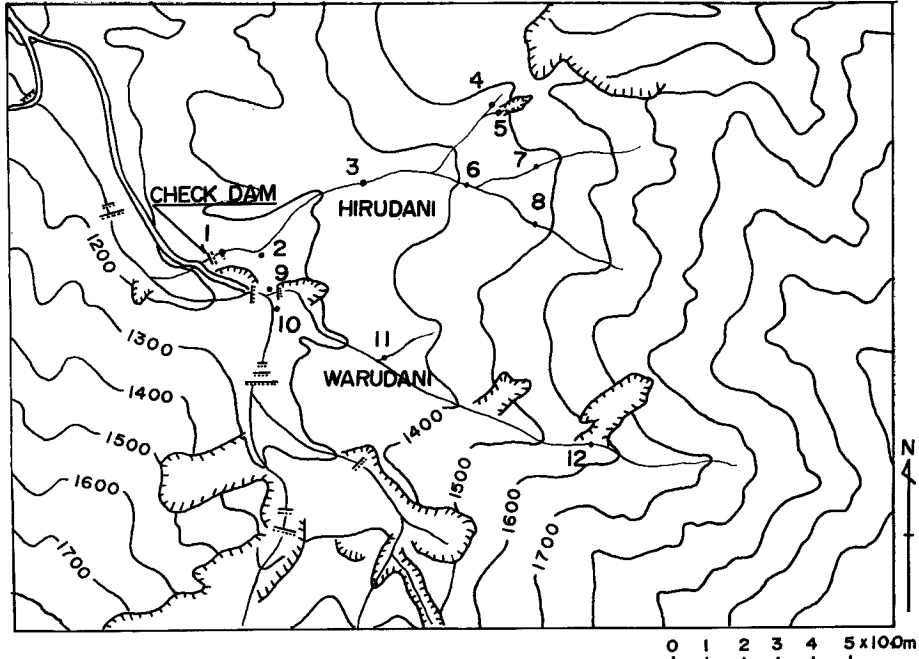


Fig. 5 Sampling point in the Ashiarai-dani basin.

Table 1 Chemical analyses of ground waters in the Hiru-dani and the Waru-dani.

Station No.	Date collected	Water temp. (°C)	pH	Specific conduct. ($\mu\Omega/cm$)	SiO ₂ (mg/l)	Ca ²⁺ +Mg ²⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)
No. 1	8/15	10.0	7.0	37.0	14.0	9.9	1.8	1.0
	8/29	11.5	6.8	49.5	23.0	10.1	2.1	1.6
	9/13	10.4	7.1	36.2	21.5	14.9	2.8	1.5
	9/29	10.2	7.0	33.0	20.5	26.7	2.8	1.8
	10/16	9.2	7.1	31.8	21.0	20.2	2.2	1.8
	10/31	7.8	7.1	30.0	23.5	45.3	2.3	2.2
	11/14	7.0	7.1	29.2	18.0	27.9	0.1	0.6
	11/29	6.5	7.2	—	21.0	23.9	0.6	0.5
	12/20	4.0	7.1	—	17.0	36.3	1.2	0.7
	1/23	5.0	6.9	—	9.0	9.7	1.0	0.6
No. 2	8/15	8.2	7.1	40.0	10.3	11.6	2.0	1.1
	8/29	8.2	6.7	59.0	22.0	11.4	2.2	1.5
	9/13	7.8	6.8	40.8	20.0	18.3	2.9	1.5
	9/29	8.3	6.9	36.0	21.5	23.4	3.0	1.9
	10/16	8.8	6.9	37.2	18.5	26.7	2.0	1.6
	10/31	8.2	6.9	35.9	21.5	40.1	2.4	2.0
	11/14	7.8	6.8	36.7	17.0	31.5	0.1	0.5
	11/29	7.1	6.9	—	20.0	28.5	0.6	0.5
	12/20	7.9	6.8	—	15.0	32.7	1.7	0.8
	1/23	7.5	6.8	—	17.0	14.5	1.0	0.6
No. 3	8/15	11.8	7.1	35.2	10.4	10.5	1.6	1.0
	8/29	10.5	6.8	34.0	28.0	7.2	2.1	1.9
	9/13	8.6	6.9	28.8	25.0	15.9	2.5	1.6
	9/29	9.5	7.0	38.0	21.5	23.2	2.5	1.5
	10/16	9.0	7.1	23.9	23.5	22.6	1.9	1.9
	10/31	3.8	6.9	19.9	29.5	34.7	1.7	2.3
	11/14	4.7	7.0	19.0	26.0	24.7	0.1	0.7
	11/29	4.1	6.9	—	29.0	36.5	0.5	0.5
	12/20	1.0	7.0	—	25.0	30.6	1.3	0.7
	1/23	1.5	6.8	—	27.0	8.9	1.0	0.8
No. 4	8/15	10.4	7.4	98.0	6.7	15.0	1.0	1.4
	8/29	7.2	6.8	92.0	28.0	6.6	2.0	1.8
	9/13	12.0	7.5	175	9.0	38.2	1.9	1.7
	9/29	8.7	7.2	89.0	16.5	23.1	2.2	1.9
	10/16	9.8	7.6	125	8.0	41.1	1.2	1.9
	10/31	—	—	—	9.5	59.4	1.4	2.3
	11/14	6.7	7.6	140	7.0	53.6	0.1	0.6
	11/29	4.0	7.6	—	7.5	52.6	0.5	0.6
	12/20	4.0	7.8	—	8.0	26.3	1.0	1.0
	1/23	3.4	7.5	—	7.5	34.2	0.8	0.8

Table 2 Chemical analyses of ground waters in the Hiru-dani and the Waru-dani.

Station No.	Date collected	Water temp. (°C)	pH	Specific conduct. ($\mu\Omega/cm$)	SiO ₂ (mg/l)	Ca ²⁺ +Mg ²⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)
No. 5	8/15	10.2	6.9	89.4	10.6	14.8	1.5	1.6
	8/29	8.3	6.8	83.0	28.0	6.6	2.2	2.0
	9/13	11.3	7.5	138	7.5	31.2	2.0	1.9
	9/29	8.9	6.8	114	25.0	24.0	2.0	2.1
	10/16	10.2	7.4	100	9.0	—	1.5	2.0
	10/31	—	—	—	8.5	48.7	1.8	2.4
	11/14	6.3	7.7	128	6.0	45.2	0.1	0.8
	11/29	4.1	7.5	—	8.0	43.2	0.5	0.7
	12/20	4.8	7.6	—	9.0	34.6	1.1	1.2
	1/23	3.1	7.4	—	12.0	26.4	0.8	0.8
No. 6	8/15	9.8	7.0	27.4	20.0	5.2	1.6	1.0
	8/29	8.7	6.7	34.9	31.0	6.2	1.9	1.9
	9/13	7.6	7.0	33.2	26.5	12.3	2.4	1.7
	9/29	8.6	6.9	48.1	28.0	26.1	2.4	1.5
	10/16	8.0	6.9	23.2	14.5	22.7	1.7	1.9
	10/31	4.0	7.1	20.5	28.0	24.2	1.8	2.2
	11/14	4.2	6.9	20.0	25.0	28.3	0.1	0.7
	11/29	1.5	7.1	—	27.5	18.1	0.5	0.7
	12/20	2.0	7.1	—	26.0	35.0	1.1	0.6
	1/23	2.6	6.9	—	8.0	10.6	1.0	0.9
No. 7	8/15	10.6	7.1	28.2	20.0	13.0	1.4	1.1
	8/29	7.9	7.2	38.0	31.0	5.7	2.0	1.9
	9/13	7.5	6.8	30.4	28.0	14.2	2.5	1.9
	9/29	8.5	6.9	52.2	24.0	25.6	2.6	2.1
	10/16	8.0	6.8	23.0	25.5	28.0	1.8	1.9
	10/31	4.0	7.0	21.0	29.6	28.7	1.7	2.1
	11/14	4.2	6.9	20.8	25.0	32.2	0.1	0.6
	11/29	1.8	7.1	—	27.0	24.4	0.5	0.7
	12/20	2.0	7.1	—	28.0	23.7	1.1	0.6
	1/23	3.0	6.9	—	30.0	9.1	1.0	0.9
No. 8	8/15	10.4	6.9	48.1	10.2	8.2	1.5	0.4
	8/29	9.3	6.8	82.0	19.0	10.5	2.3	1.1
	9/13	7.9	6.8	68.0	16.0	15.4	2.5	1.0
	9/29	8.2	6.8	60.7	15.5	24.3	2.8	1.5
	10/16	9.4	7.0	49.0	12.5	36.7	2.1	1.2
	10/31	4.3	6.8	44.4	18.5	34.8	1.9	1.7
	11/14	3.8	6.8	47.3	17.0	34.0	0.2	0.3
	11/29	1.2	6.9	—	16.0	23.3	0.7	0.4
	12/20	2.8	6.9	—	19.0	14.9	1.1	0.7
	1/23	4.0	6.9	—	21.5	13.6	1.9	0.5

Table 3 Chemical analyses of ground waters in the Hiru-dani and the Waru-dani.

Station No.	Date collected	Water temp. (°C)	pH	Specific conduct. ($\mu\Omega/cm$)	SiO ₂ (mg/l)	Ca ²⁺ +Mg ²⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)
No. 9	8/15	8.3	6.7	45.2	10.4	7.5	1.6	0.8
	8/29	8.8	6.6	54.0	21.0	9.5	2.4	2.0
	9/13	10.0	6.7	65.0	19.5	17.8	2.7	1.3
	9/29	8.2	6.7	40.5	20.0	27.2	2.6	1.5
	10/16	7.5	6.9	40.2	16.0	38.1	2.0	1.4
	10/31	10.3	7.1	45.9	22.0	39.7	1.8	1.9
	11/14	9.0	7.0	44.0	18.0	28.2	0.1	0.5
	11/29	8.0	7.1	—	18.0	37.2	0.6	0.6
	12/20	8.0	7.0	—	21.0	14.9	1.3	0.7
	1/23	8.5	6.7	—	22.0	10.2	1.9	0.8
No. 10	8/15	10.4	6.4	90.0	10.7	14.8	2.5	1.1
	8/29	11.4	6.5	120	25.0	17.5	3.6	2.4
	9/13	11.0	6.2	135	22.0	25.9	3.5	2.1
	9/29	10.3	6.2	90.0	24.0	26.9	3.5	2.3
	10/16	9.5	7.0	800	18.5	55.7	2.8	1.7
	10/31	9.8	6.6	108	23.5	52.7	2.9	2.3
	11/14	8.4	6.5	112	24.0	42.7	0.8	0.5
	11/29	6.8	6.6	—	27.0	37.2	1.8	0.8
	12/20	5.5	6.6	—	26.0	34.8	2.6	0.8
	1/23	3.8	6.7	—	8.5	25.3	4.9	1.0
No. 11	8/15	8.3	7.1	51.2	10.0	11.5	1.5	0.2
	8/29	10.0	7.0	70.0	15.0	11.7	2.7	1.4
	9/13	10.4	7.0	89.0	14.5	22.7	2.5	0.8
	9/29	8.1	7.0	56.0	14.0	30.4	2.4	0.9
	10/16	6.9	6.9	53.4	11.5	40.0	2.3	1.0
	10/31	8.3	7.1	56.0	11.5	56.5	2.3	1.5
	11/14	6.0	7.0	63.0	12.0	27.7	0.2	0.3
	11/29	2.5	7.1	—	11.0	27.9	0.8	0.4
	12/20	2.5	7.1	—	14.0	42.7	1.2	0.3
	1/23							
No. 12	8/15	8.7	6.8	75.0	10.5	12.5	1.6	0.3
	8/29	9.5	6.6	100	23.0	14.5	3.1	1.4
	9/13	9.9	6.8	120	21.5	21.3	2.7	1.0
	9/29	8.7	6.7	78.0	22.5	26.2	2.4	1.0
	10/16	7.3	7.1	84.0	18.5	54.2	2.3	1.1
	10/31	6.2	6.8	83.0	23.0	62.2	2.7	1.6
	11/14	6.5	6.9	99.0	21.0	30.2	0.3	0.4
	11/29	6.2	6.9	—	22.0	34.7	1.0	0.4
	12/20	5.0	7.1	—	24.0	35.1	1.3	0.3
	1/23	4.8	6.9	—	17.0	15.3	2.7	0.5

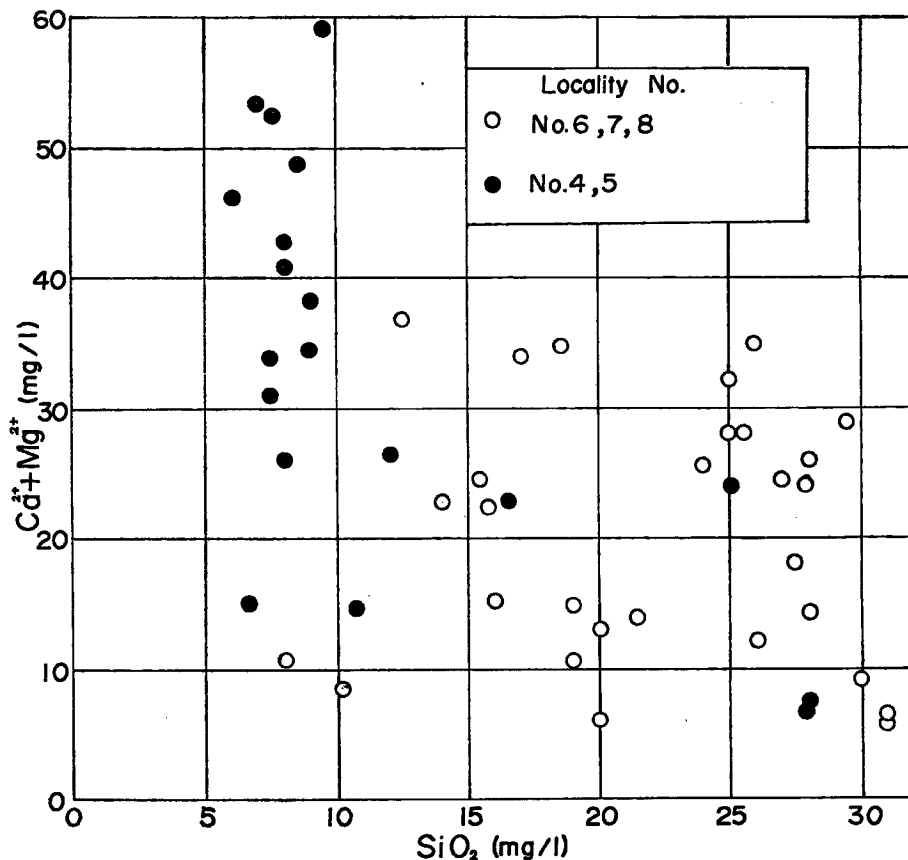


Fig. 6 Relationship between soluble SiO₂ and Ca²⁺+Mg²⁺ in the Hiru-dani basin.

3.1 天然水中の溶存 SiO₂ と Ca²⁺+Mg²⁺ の含量関係

溶存 SiO₂ と Ca²⁺+Mg²⁺ の含量関係はヒル谷流域において、Fig. 6 が示すように、崩壊の拡大地域の No. 4 および No. 5 地点で、溶存 SiO₂ の含量が少なく Ca²⁺+Mg²⁺ の含量が多い。また、その変動も大きい。崩壊の発達していない地域の No. 6, No. 7 および No. 8 地点では Ca²⁺+Mg²⁺ の含量が逆に少なく、溶存 SiO₂ の含量は逆に多くなっている。

ワル谷流域では Fig. 7 が示すように、含量の間には関連性がみとめられない。湧水の No. 9 および No. 10 の地点のものは一般に溶存 SiO₂ の含量が多くなっている。また、Ca²⁺+Mg²⁺ の含量の変動が溶存 SiO₂ に比較して大きいことが特徴である。

3.2 天然水中の元素の含量変動について

No. 1: pH の変動は 6.8~7.2 の間でやや変動が著しい。降雨などの影響はみとめられない。Ca²⁺+Mg²⁺ の含量変動は 9.9~45.3 mg/l の間で著しく変動している。溶存 SiO₂ の含量の変動は 9.0~23.5 mg/l の間で小さい。Na⁺ の含量の変動は 0.1~2.8 mg/l の間で、11 月 14 日を境に大きく変動している。K⁺ の含量の変動は 0.5~2.2 mg/l の間で、11 月 14 日を境に大きく変動している。

No. 2: pH の変動は 6.7~7.1 の間で小さい。Ca²⁺+Mg²⁺ の含量の変動は 11.4~40.2 mg/l の間で著しい。溶存 SiO₂ の含量の変動は 10.3~22.0 mg/l の間で小さい。Na⁺ の含量の変動は 0.1~3.0 mg/l の

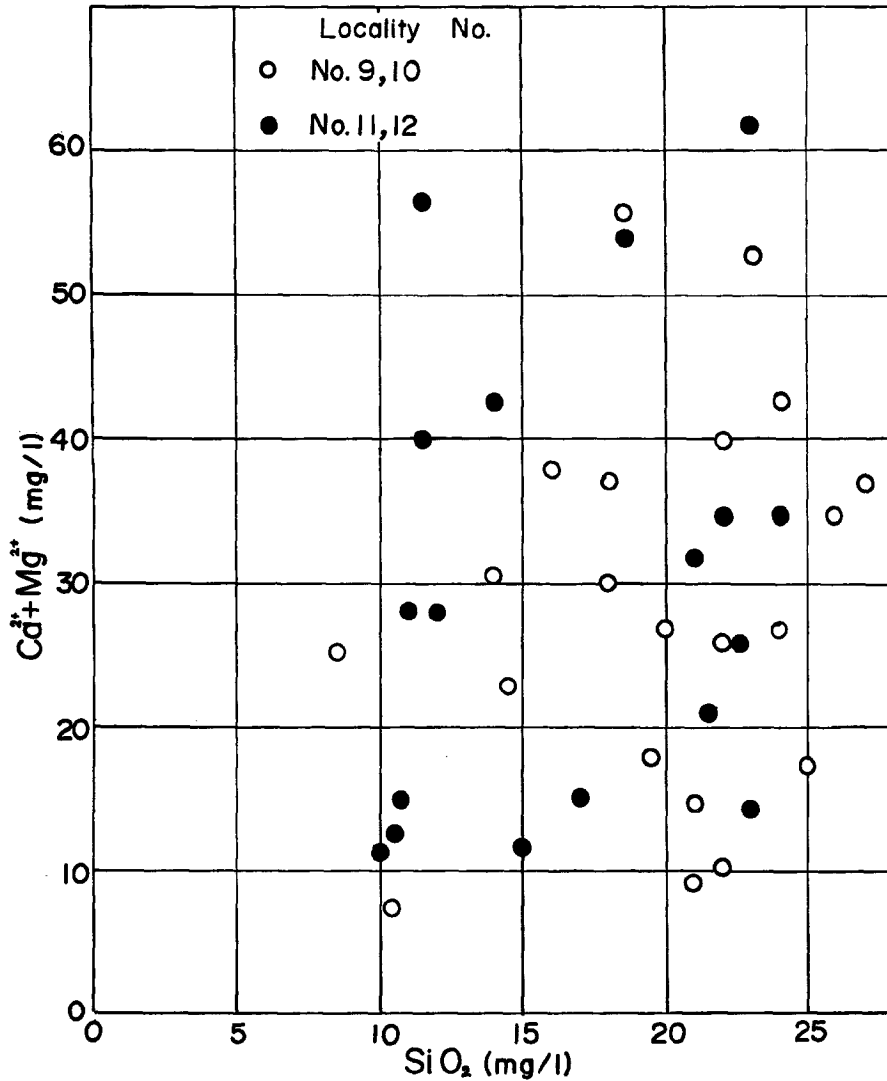


Fig. 7 Relationship between soluble SiO₂ and Ca²⁺+Mg²⁺ in the Waru-dani basin.

間で、11月14日を境に大きく変動している。K⁺の含量の変動は0.5~2.0 mg/lの間で、11月14日を境いに大きく変動している。

No. 3: pHの変動は6.8~7.1の間で小さい。Ca²⁺+Mg²⁺の含量の変動は7.2~36.5 mg/lの間で大きい。溶存SiO₂の含量の変動は10.4~29.5 mg/lの間で小さい。Na⁺の含量の変動は0.1~2.5 mg/lの間で、11月14日を境に大きく変動している。K⁺の含量の変動は0.5~2.3 mg/lの間で大きい。

No. 4: pHの変動は6.9~7.8の間で非常に大きい。Ca²⁺+Mg²⁺の含量の変動は6.6~59.4 mg/lの間で非常に大きい。溶存SiO₂の含量の変動は6.7~28.0 mg/lの間で大きい、8月29日と9月29日以外のものの含量は10mg/l以下である。Na⁺の含量の変動は0.1~2.2 mg/lの間で、11月14日を境に大きく変動している。K⁺の含量の変動は0.6~2.3 mg/lの間で大きい。

No. 5: pH の変動は 6.8~7.7 の間で非常に大きい。Ca²⁺+Mg²⁺ の含量の変動は 6.6~48.7 mg/l の間で非常に大きい。溶存 SiO₂ の含量の変動は 6.0~25.0 の間で大きい。8月15日, 8月29日, 9月29日および1月23日を除いてはその含量が 10 mg/l 以下である。Na⁺ の含量は 0.1~2.2 mg/l, K⁺ の含量は 0.7~2.4 mg/l の間で, とともに 11月14日を境に大きく変動している。

No. 6: pH の変動は 6.7~7.1 の間で小さい。Ca²⁺+Mg²⁺ の含量の変動は 5.2~35.0 mg/l の間で大きい。溶存 SiO₂ の含量は 8.0~31.0 mg/l の間で, 10回の中で, 含量が 25 mg/l 以下のものは3回で, 25~30 mg/l の間で小さく変動している。Na⁺ の含量は 0.1~2.4 mg/l の間で, K⁺ の含量は 0.6~2.2 mg/l の間で, とともに 11月14日以後, その含量が急に少なくなる。

No. 7: pH の変動は 6.8~7.2 の間では小さい。Ca²⁺+Mg²⁺ の含量の変動は 5.7~32.2 mg/l の間でゆるやかである。溶存 SiO₂ の含量の変動は 20.0~31.0 mg/l の間で小さい。Na⁺ の含量は 0.1~2.6 mg/l の間で, K⁺ の含量は 0.6~2.1 mg/l の間で, いずれも 11月14日以後, 急に含量が少なくなっている。

No. 8: pH の変動は 6.8~7.0 の間で小さい。Ca²⁺+Mg²⁺ の含量の変動は 8.2~36.7 mg/l の間でゆるやかである。溶存 SiO₂ の含量の変動は 10.2~21.5 mg/l の間で小さい。Na⁺ の含量は 0.2~2.8 mg/l の間で, K⁺ の含量は 0.3~1.7 mg/l の間で, いずれも 11月14日以後, 含量が少ない傾向にある。

No. 9: pH の変動は 6.6~7.1 の間でやや大きい。Ca²⁺+Mg²⁺ の含量の変動は 7.5~39.7 mg/l の間で大きい。溶存 SiO₂ の含量の変動は 10.4~22.0 mg/l の間で小さい。Na⁺ の含量は 0.1~2.7 の間で, K⁺ の含量は 0.5~2.0 mg/l の間で, いずれも 11月14日以後, 急に含量が少なくなっている。

No. 10: pH の変動は 6.2~7.0 の間で大きい。Ca²⁺+Mg²⁺ の含量の変動は 14.8~55.7 mg/l の間で非常に大きい。溶存 SiO₂ の含量の変動は 8.5~27.0 mg/l の間で, 8月29日から12月20日の間では小さい。Na⁺ の含量の変動は 0.8~4.9 mg/l の間で非常に大きい。K⁺ の含量は 0.8~2.4 mg/l の間で, 11月14日以後, 急に含量が減少している。

No. 11: pH の変動は 6.9~7.1 の間で非常に小さい。Ca²⁺+Mg²⁺ の含量の変動は 11.5~56.5 mg/l の間で非常に大きい。溶存 SiO₂ の含量の変動は 10.0~15.0 mg/l の間で非常に小さい。Na⁺ の含量は 0.2~2.7 mg/l の間で, K⁺ の含量は 0.2~1.5 mg/l の間で, いずれも 11月14日以後, 含量が減少している。

No. 12: pH の変動は 6.6~7.1 の間で大きい。Ca²⁺+Mg²⁺ の含量の変動は 12.5~62.2 mg/l で非常に大きい。溶存 SiO₂ の含量の変動は 10.5~23.0 mg/l の間で小さい。Na⁺ の含量は 0.3~3.1 mg/l の間で,

Table 4 The classification of consistency and change in chemical composition.

Form of change: A~L

Grade of consistency: v-very, l-large, m-medium and s-small.

	pH	Ca ²⁺ +Mg ²⁺	SiO ₂	Na ⁺	K ⁺
No. 1	m-A	l-A	m-A	l-A	m-A
No. 2	s-B	l-A	s-B	l-A	m-A
No. 3	m-C	m-A	m-B	m-A	m-A
No. 4	l-D	v-D	l-D	m-A	m-A
No. 5	v-D	v-D	l-D	m-A	m-A
No. 6	m-F	m-F	m-F	m-A	m-A
No. 7	m-F	m-G	s-B	l-A	m-A
No. 8	s-H	m-H	s-H	l-H	m-A
No. 9	l-I	l-I	s-H	l-H	s-I
No. 10	v-J	l-J	m-J	v-J	m-A
No. 11	s-K	v-K	s-K	l-H	s-I
No. 12	m-L	v-K	m-B	l-H	s-I

K⁺ の含量は 0.3~1.6 mg/l の間で、いずれも 11 月 14 日以後、含量が急に減少している。

以上に述べたように、各地点における天然水中の元素含量の経年的変化には種々の形態がみとめられる。これらの関係をわかりやすくするために、含量の変動の大きさと変動の形式によって整理したのが Table 5 である。変動の形式は No. 1 から No. 12 まで、順に A から L の付号をつけて表わした。

崩壊の拡大地域と未崩壊地域の天然水の特徴の差を Table 5 でみると、pH の変動の大きさおよび変動の形式において差がみとめられる。また、溶存 SiO₂ および Ca²⁺+Mg²⁺ においても同様の差がみとめられる。Na⁺ および K⁺ についてはその差はみとめられない。

3.3 天然水中の元素の含量分布について

8 月 15 日：ヒル谷の未崩壊地域においては、溶存 SiO₂ の含量が多く、崩壊の拡大地域では逆に溶存 SiO₂ の含量が少ない。Ca²⁺+Mg²⁺ の含量は崩壊の拡大地域の方がやや多い傾向にある。pH および電導度は崩壊の拡大地域で大きい値を示す。Na⁺ および K⁺ の含量は下流ほど多く、湧水の方が河川を流れるものより含量が多い。ワル谷においては以上のような関係はみとめられない。

9 月 29 日：ヒル谷において、溶存 SiO₂ の含量は崩壊地域および未崩壊地域に関係なく、上流ほど含量

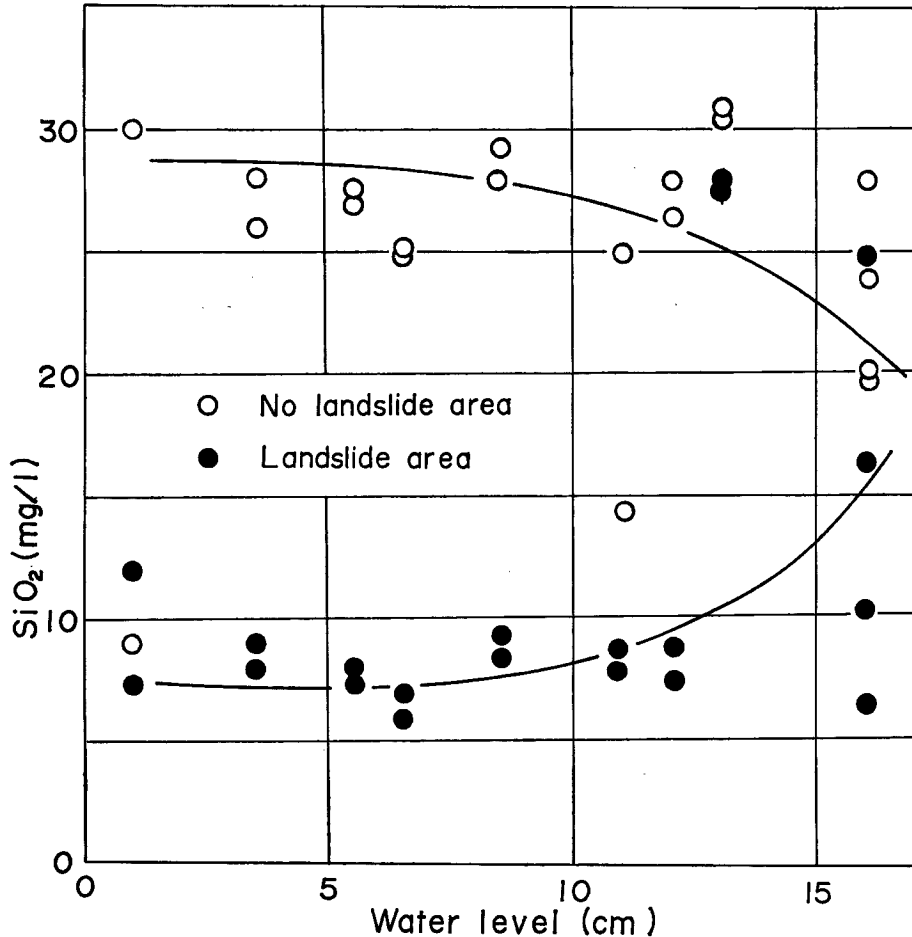


Fig. 8 Relationship between soluble SiO₂ and water level in the Hiru-dani.

が多くなる傾向にある。 $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ の含量は未崩壊地に多い傾向を示す。pH および電導度は崩壊の拡大地域で大きな値を示す。 Na^+ および K^+ の含量は下流ほど多い傾向にある。ワル谷において、元素の含量はヒル谷の下流に類似している。

11月14日：ヒル谷において、溶存 SiO_2 の含量は崩壊の拡大地域では非常に少なく、未崩壊地では非常に多い傾向にある。 $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ の含量は逆に崩壊の拡大地域で非常に多くなって、未崩壊地で少なくなっている。pH および電導度は崩壊の拡大地域で大きくなっている。 Na^+ の含量は下流ほど多く、 K^+ は崩壊の拡大地域で多くなっている。ワル谷において、元素の含量はヒル谷の下流のものに類似している。

3.4 天然水中の元素含量と降雨の関係

岩石の崩壊は一般に降雨によってひき起こされる場合が多いことから、崩壊の前駆現象として天然水中の元素含量に降雨の影響がみとめられるのではないかと考える。

降雨と元素含量の関係を明らかにするにあたって、降雨量は間接的には天然水の流量に関連するので、ここでは天然水の流量を降雨量を代表するものとした。なお、天然水の流量を示す規準として、ヒル谷の試験堰堤における水位を採用した。水位と元素含量の関係は **Fig. 8** および **9** のとおりである。

Fig. 8 は溶存 SiO_2 の含量とヒル谷試験堰堤における水位の関係を示したものである。崩壊の拡大地域では水位が 0~12 cm の間にあるとき、溶存 SiO_2 の含量は 6~9 mg/l の間でほとんど変化しない。水位が 12 cm 以上では溶存 SiO_2 の含量が急に増加する。しかし、その値にはばらつきがある。未崩壊地域では、溶存 SiO_2 の含量は、水位が 3~12 cm の間で 27 mg/l 前後の値を示している。水位が 12 cm 以上ではその値にばらつきがみとめられる。

以上のことから、溶存 SiO_2 の含量から崩壊の拡大地域と未崩壊地域を区別しようとする場合、水位が 3~12 cm の間にあるとき、溶存 SiO_2 の含量の差が明確に現われることを利用すればよいと考える。

Fig. 9 は $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ の含量とヒル谷試験堰堤における水位の関係を示したものである。この図においても、崩壊の拡大地域と未崩壊地域との間における $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ の含量の差は水位が 5~10 cm の間にあるとき明確にみとめられる。また、 $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ の含量は、水位が 0~8 cm の間で増加し、8~16 cm の間で減少する傾向にある。

天然水中の元素の含量から、崩壊の拡大地域と未崩壊地域を区別する場合、以上の結果から、この流域での採水の時期は水位が 5~10 cm の時がよいと考える。

水位が降雨の影響を受けているということは明らかであるが、水位は天然水の流下する地表および地下の状態によって左右され、水位およびその変動の降雨による影響は場所によって異なった現われ方をする。

したがって、直接降雨量の影響を求めため、採水日の前日降雨量と天然水中の元素含量の関係について検討した。**Fig. 10** は溶存 SiO_2 と前日降雨量との関係を示したものである。前日降雨量 $M(\text{mm}/\text{day})$ は採水日の 1 日前の降雨量 m_1 、 n 日前の降雨量 m_n について、(1) 式によって求めたものである。

$$M=4m_1+2m_2+m_3+1/2m_4+1/4m_5+1/8m_6+1/16m_7+1/32m_8 \dots \dots \dots (1)$$

溶存 SiO_2 の含量は崩壊の拡大地域において、前日降雨量が多くなるにしたがって多くなる傾向がみとめられる。未崩壊地域において、前日降雨量が多くなるにしたがって逆に溶存 SiO_2 の含量が小さくなる傾向がある。

しかし、前日降雨量が多くなると溶存 SiO_2 の含量の値は、崩壊の拡大地域のもので未崩壊地域のものとは同じ値を示すようになる。つまり、降雨量が非常に多くなると天然水中の元素含量に地域性がなくなる傾向がみとめられる。

以上のことから、崩壊調査のための天然水の採水も、前日降雨量の少ない日で、しかも水位が安定している時期に行なう方がよいと考えられる。

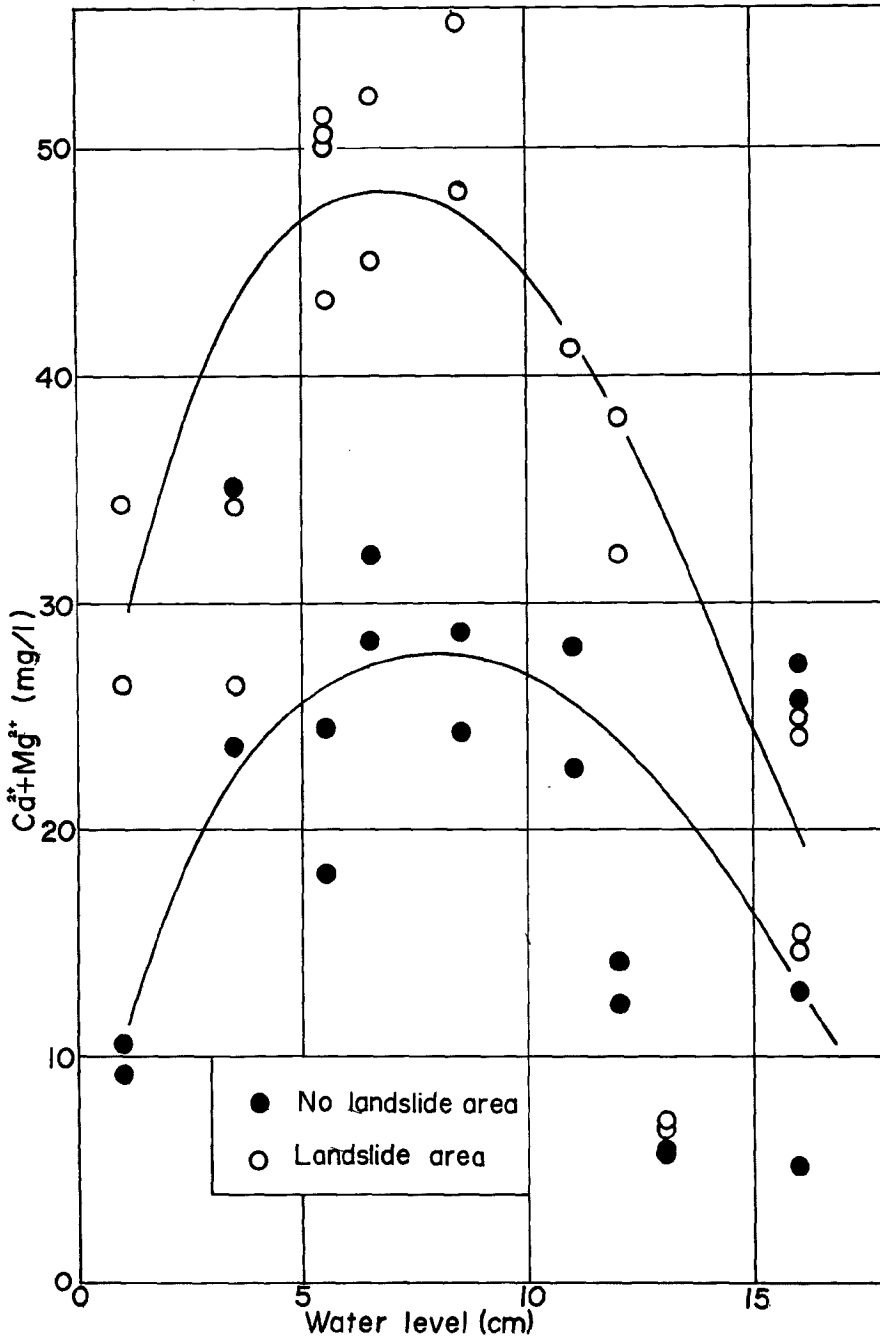


Fig. 9 Relationship between Ca²⁺+Mg²⁺ and water level in the Hiru-dani.

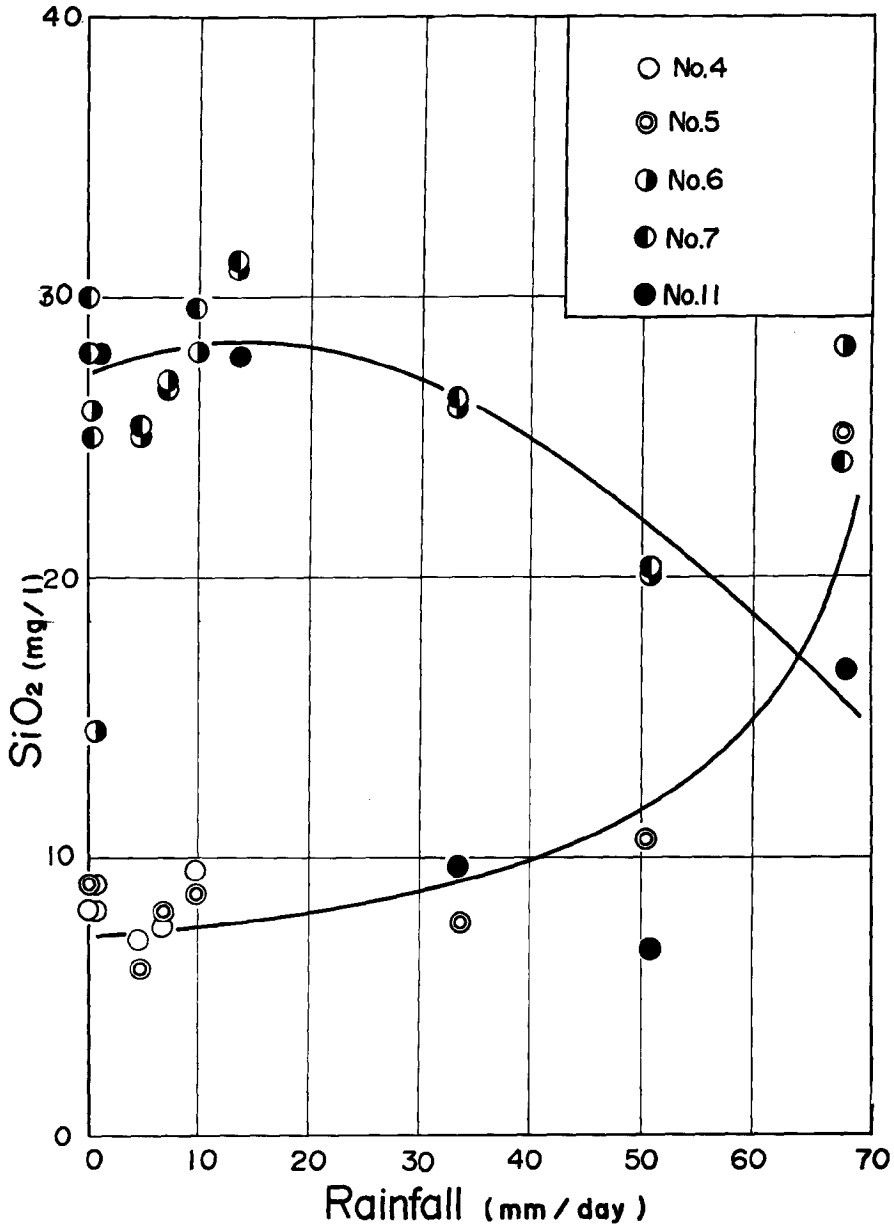


Fig. 10 Relationship between soluble SiO₂ and rainfall in the Hiru-dani.

4. 地質構造および水質からみた岩石の風化

岩石の風化を地質構造および水質調査の結果からみると、岩石の風化について次のようなことが考えられる。地質構造によって、破碎帯およびひび割れ系の分布を推定することが可能である。一般的に、破碎およびひび割れにそって降水、地下水および熱水熱気が浸入し、岩石の風化および変質を促進させている。

この調査地域においても、破碎帯によって降水、地下水および熱水熱気の浸入が推定され、風化および変質が進んでいることが明らかである。

なお、No. 4, 5, 11, および 12 は破碎帯を流下する天然水である。また、No. 4 および 5 は崩壊の拡大地域を流下している。

さらに、水質の調査においても、崩壊の拡大地域を流下する水然水には $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ が多く含まれ、pH も高いことがみとめられた。また、岩石の溶解実験においても、風化した岩石からは $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ が溶け出しやすいことがみとめられた。

以上述べた岩石の風化は、地下水および熱水熱気による変質などを含め、区別せずにとりあつまっている。

5. む す び

ヒル谷、ワル谷流域における崩壊の拡大地域は、地質構造のうえからは破碎帯に位置する。さらに、水質の調査において、破碎帯の特徴が天然水の元素含量に現われている。崩壊の拡大地域と未崩壊地域の天然水の性質はヒル谷試験堰堤の水位が5~10 cm の間にあるとき、あるいは前日降雨量が30 mm 以下のとき、 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ の含量差が大となって現われる。

このことが、この地域における崩壊予知の1つの目安になるのではないかと考える。

しかし、崩壊の予知に関しては、流域の降雨特性および水収支に関する問題、あるいは破碎帯、変質帯および岩盤のひび割れの力学的問題など、数多くの問題点が指摘された。

これらの問題点についても、今後、詳細な検討を加えていきたいと考えている。

最後に、本研究を遂行するにあたり助力を頂いた関係各氏に心から謝意を表する。

なお、本研究に際し文部省科学研究費の一部を使用したことを付記する。

参 考 文 献

- 1) 矢野勝正・沢田豊明：岩石の風化と崩壊(1), 京都大学防災研究所年報, 第13号B, 昭 45. 3, pp. 621-627.
- 2) 矢野勝正・沢田豊明：蒲田川流域における陸水の分布(1), 京都大学防災研究所年報, 第13号B, 昭 45. 3, pp. 629-645.