

地すべり地の地下水水質特に岩石よりの溶出成分との関連性

三好英夫*・栃木省二**

(*農学部水族環境学研究室・**広島大学総合科学部砂防学研究室)

Quality of Groundwater from Landslide Area with Special Reference to Chemical Leaching of Rocks

Hideo MIYOSHI* and Seiji TOCHIGI**

* *Laboratory of Aquatic Environment, Faculty of Agriculture ;*

** *Laboratory of Land Erosion Control, Faculty of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University*

Abstract : Groundwaters and rocks were collected from 3 landslide areas in Kochi Prefecture. The groundwaters were analyzed chemically. The rocks were subjected to contact with water, and their leaching was followed chemically in laboratory conditions. The rate of leaching depended on many factors such as time of contact, temperature of water, concentration of initial solutes, CO₂ pressure, and grain size of rock. The relative composition of extractable minerals from rocks seemed to be in general agreement with that of rock-forming minerals, but differed somewhat from that of solutes in groundwaters. The reason that cause these gaps in composition may be the solution of edaphic minerals.

緒 論

高知県下では古生層の破碎帯において、風化の進んだ岩石粒子間隙に浸入した地下水のため、地すべり現象が多発している¹⁾。このような地域では、地下水水質と岩石とは深いかわり合いを有しているのではないかと考えられるが、先に行った高知県下10ヶ所の地すべり地より採取した陸水の水質化学的特徴についての調査²⁾では、水質とごく大まかにみた地質構造との関係は必ずしも明瞭ではなかった。

岩石の化学的風化崩壊に関する既往の研究は多いが、地すべり・山くずれ現象との関連で、岩石と接触水の水質とのかかわり合いを取扱った研究は少なく、北野³⁾が六甲山系の山くずれに関連して行った研究以外は見当たらないようである。

そこで高知県下3ヶ所の地すべり地から、地下水とその地区の主要基盤岩石を採取し、水試料の化学分析と並行して、採取岩石を用いた実験室条件下での溶出実験を行って、地下水水質と基盤岩石とのかかわり合いを調べ、地すべり地の地下水水質を支配する因子について検討を加え、若干の知見を得たのでその結果を報告する。

実験材料及び方法

試料採取地区 : この実験で使用した水及び岩石は、高知県下の土佐郡土佐町下寺蔵寺地すべり地、高岡郡日高村大花地すべり地、及び土佐郡土佐山村中切地すべり地より採取した。Fig. 1 に示したように地質構造上は下寺蔵寺地区はみかぶ緑色岩類地帯、大花地区と中切地区はともに秩父累帯北帯に位置している。

試料採取法 : 水試料は前報²⁾と全く同様の方法で採取した。

岩石試料は下寺蔵寺地区よりはみかぶ緑色岩、大花地区よりは蛇紋岩、中切地区よりは粘板岩を

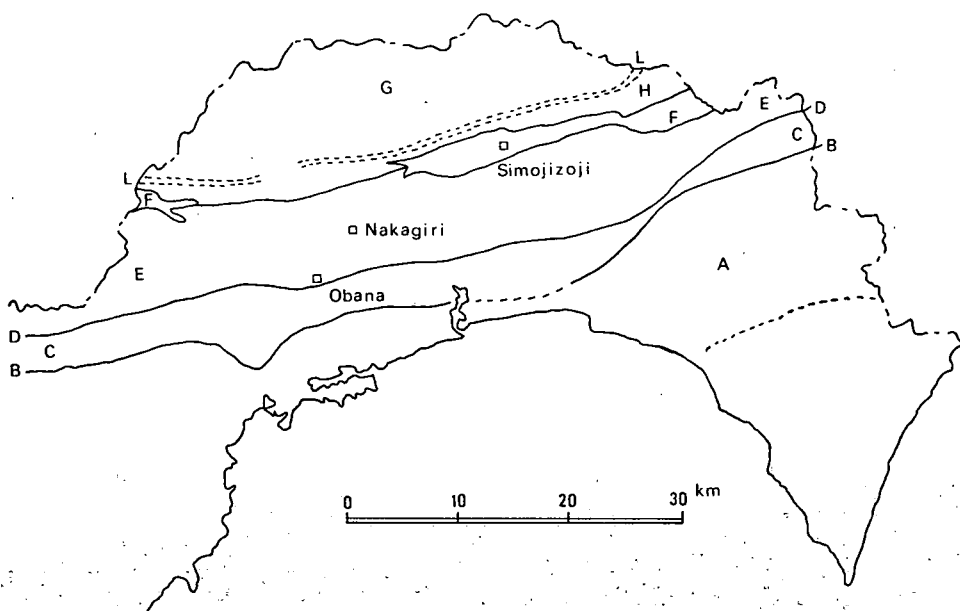


Fig. 1. Outline map of landslide areas from where the water and rock samples were collected. Letters are: A, Shimanto region; B, Butsuzo tectonic line; C, Chichibu middle and southern region; D, Kurosegawa structural zone; E, Chichibu northern region; F, Mikabu structural zone; G, Sanbagawa region; H, Sanbagawa southern region; L, Kiyomizu structural zone.

採取した。これらの岩石はそれぞれの地区の主要基盤岩石であり、採取に当ってはいずれも最近土中より掘り出され、風化の進んでいないものを選ぶように心掛けた。

溶出実験：溶出量の測定は、特に断らない限り次の手順に従って行った。すなわち、採取した岩石を鉄製乳鉢中で粉碎し、60メッシュの篩でふるい、粒径 250nm 以下の区分を集め、これを脱イオン水に4%になるように懸濁、20°C に静置、一定期間経過後に懸濁液の一部を取り出し、東洋ろ紙 No 5C でろ過、得られた清澄なる液を化学分析に供した。なお、上述のろ過処理で完全に透明とならなかった一部の試料は、更に平均孔径 0.22 nm のメンブランフィルターでろ過、ろ液を分析に供した。

気相置換：H₂ による置換は懸濁液を入れた容器を細菌培養用の嫌気ジャーに入れて行った。微量の残存 O₂ は室温触媒（ガスパックカタリスト：Becton, Dickinson & Co. Cockeysville, MD）を加え完全に取り除いた。CO₂ による置換も懸濁液を入れた容器を細菌培養用の嫌気ジャーに入れ、60mm Hg まで脱気後、CO₂ を導入し常圧に復し、置換操作を完了した。

水分析：前報²⁾と同様の方法で分析を行い、結果の表示も前報²⁾に準じた。

結 果

地すべり地区より採取した地下水の化学分析

下寺蔵寺地区からは Fig. 2 に示した地点で地下水11試料を採取、分析を行った。

結果は Table 1 に示した通りであって、主要成分はアルカリ度、Cl⁻、Ca²⁺、Mg²⁺、Na⁺、及び SiO₂ であった。これら主要6成分濃度の試料間での分散は、アルカリ度、Cl⁻、Ca²⁺、及び Na⁺

で大、 Mg^{2+} と SiO_2 で小であった。陰イオン関係 3 成分の濃度の試料ごとの和と、対応する陽イオン 4 成分の濃度の和はほぼ同程度で、その開きは 30% を越えなかった。試料ごとの 8 成分全部の濃度の和は、全体としては数倍近い開きがあったが、他とかなり懸離れていた垂直ボーリング孔よりの 1 試料を別にすれば、その開きは 2 倍程度にとどまった。

大花地区からは、Fig. 3 に示した地点で、地下水 5 試料を採取、分析を行った。

結果は Table 2 に示した通りであって、主要成分は、アルカリ度、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、及び SiO_2 で、これらの濃度の試料間での分散は、アルカリ度、及び Ca^{2+} で大、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、及び SiO_2 で小であった。陰イオン関係 3 成分の濃度の和と、対応する陽イオン 4 成分の濃度の和の間には、やや開きがあったが 30% を越えなかった。また、測定した 8 成分全部の濃度を、試料ごとに加算した値の最大値と最小値の間には 2 倍程度の開きがみられた。

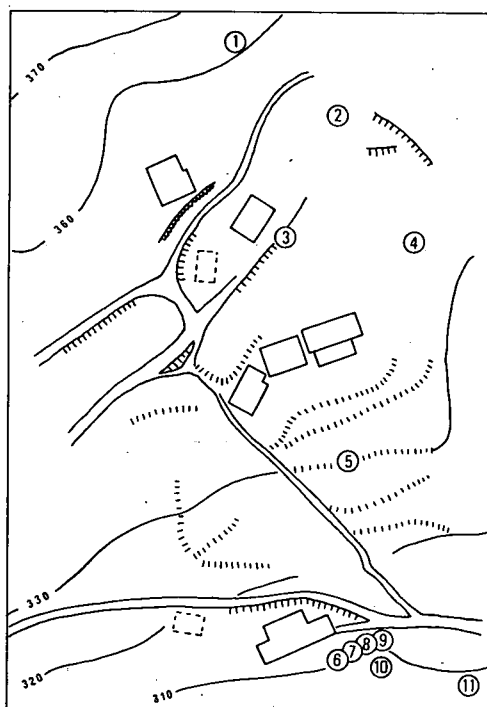


Fig. 2. Map of Shimojizoji area, showing the location of sampling stations. Circled numerals indicate various sampling stations.

Table 1. Chemical analyses of groundwater samples from Shimojizouji area

No.	Water sample Collected from:	Alka- pH linity	Chloride ion		Sulfate ion		Calcium ion		Magnesium ion		Sodium ion		Potassium ion		Silicate	
			(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)				
1	Vertical borehole No. 4	7.3	1.65	4.1	0.18	5.5	0.11	27.2	1.36	1.3	0.11	6.1	0.27	3.6	0.09	18.0
2	Horizontal borehole No. 7	8.3	0.59	1.9	0.08	3.2	0.07	7.7	0.38	1.5	0.12	3.1	0.14	0	0	18.5
3	Vertical borehole No. 3	7.4	0.54	3.2	0.14	4.2	0.09	9.1	0.45	1.3	0.11	2.6	0.12	0	0	16.6
4	Spring	7.5	0.64	5.6	0.24	3.9	0.08	11.3	0.56	1.9	0.16	3.0	0.13	0	0	17.2
5	Vertical borehole No. 2	7.4	0.42	5.9	0.26	3.9	0.08	9.9	0.49	1.3	0.11	2.6	0.11	0.5	0.01	12.1
6	Horizontal borehole No. 5	6.7	0.62	4.0	0.17	5.1	0.11	12.4	0.62	1.7	0.14	2.0	0.09	0.3	0.01	14.4
7	Horizontal borehole No. 4	8.7	0.63	3.9	0.17	4.9	0.10	12.5	0.62	2.1	0.17	2.7	0.12	0	0	17.8
8	Horizontal borehole No. 3'	7.5	0.62	3.5	0.15	4.2	0.09	13.2	0.66	1.7	0.14	2.1	0.09	0	0	17.2
9	Horizontal borehole No. 3	8.4	0.68	3.6	0.16	4.6	0.10	13.2	0.66	1.7	0.14	2.4	0.10	0	0	17.2
10	Spring	8.8	0.66	7.6	0.33	4.8	0.10	14.9	0.74	2.0	0.16	3.2	0.14	0	0	17.7
11	Horizontal borehole No. 1	7.5	0.68	8.3	0.36	4.8	0.10	14.8	0.74	2.2	0.18	2.9	0.13	0	0	17.3

Note: The water samples were collected at November 6, 1977.

Table 2. Chemical analyses of groundwater samples from Obana area

No.	Water sample Collected from:	pH	Alka- linity (epm)	Chloride ion (ppm)	Sulfate ion (ppm)	Calcium ion (ppm)	Magnesium ion (ppm)	Sodium ion (ppm)	Potassium ion (ppm)	Sili- cate (ppm)						
1	Vertical borehole No. 2	7.2	0.67	5.3	0.23	8.3	0.17	8.6	0.43	4.2	0.35	4.9	0.21	0.6	0.02	15.2
2	Vertical borehole No. 3	7.9	0.98	3.0	0.13	5.6	0.12	15.4	0.77	4.9	0.40	3.5	0.15	0	0	13.2
3	Vertical borehole No. 4	7.2	1.22	4.8	0.21	7.5	0.16	18.1	0.90	6.8	0.56	5.1	0.22	1.1	0.03	22.3
4	Horizontal borehole No. 7	7.4	0.50	5.0	0.22	7.9	0.14	11.7	0.59	3.7	0.30	5.0	0.22	0.7	0.02	14.5
5	Vertical borehole No. 5	7.2	0.55	4.4	0.19	7.9	0.14	9.5	0.47	5.4	0.41	5.0	0.22	0.3	0.01	16.9

Note: The water samples were collected at December 2, 1977.

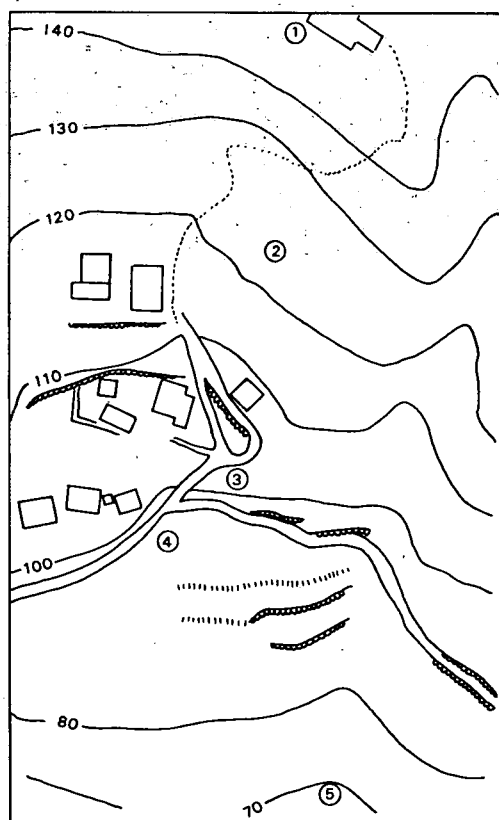


Fig. 3. Map of Obana area, showing the location of sampling stations. Circled numerals indicate various sampling stations.

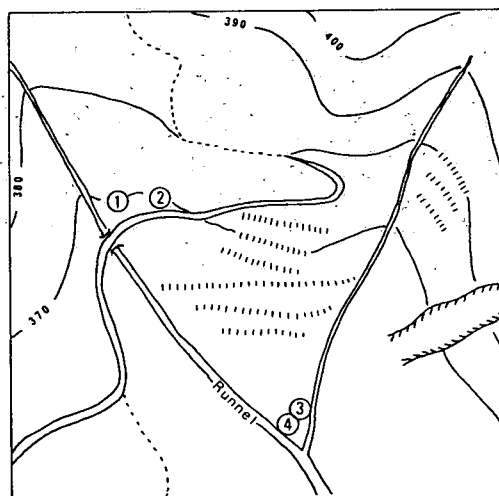


Fig. 4. Map of Nakagiri area, showing the location of sampling stations. Circled numerals indicate various sampling stations.

中切地区からは Fig. 4 に示した地点から、地下水 4 試料を採取し、分析を行った。

結果は Table 3 に示した通りであって、主要成分は、アルカリ度、 Cl^- 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 及び SiO_2 の 6 成分で、これらの主要成分濃度の試料間での分散は、 Ca^{2+} 及び Na^+ で大、アルカリ度、 Cl^- 、 Mg^{2+} 、及び SiO_2 で小であった。陰イオン関係 3 成分の濃度の和と、対応する陽イオン 4 成分の濃度の和との間には殆んど開きがなく、高い一致性が認められた。測定し

た 8 成分全部の濃度を、試料ごとに加算した値の最大値と最小値の間には、この場合にも 2 倍程度の開きが認められた。

Table 3. Chemical analyses of groundwater samples from Nakagiri area

No.	Water sample Collected from :	pH	Alka- linity (epm)	Chloride ion (ppm)	Sulfate ion (ppm)	Calcium ion (ppm)	Magnesium ion (ppm)	Sodium ion (ppm)	Potassium ion (ppm)	Sili- cate (ppm)						
1	Horizontal borehole No. 7	7.8	0.52	2.7	0.12	3.3	0.07	6.2	0.31	3.8	0.31	2.2	0.09	0.1	0.00	8.0
2	Horizontal borehole No. 10	7.6	0.46	3.0	0.13	3.4	0.07	5.5	0.27	3.7	0.30	2.0	0.09	0.1	0.00	8.7
3	Horizontal borehole No. 13	8.0	0.90	2.6	0.11	9.7	0.20	11.9	0.59	4.7	0.39	7.1	0.31	0.1	0.00	11.1
4	Horizontal borehole	7.8	0.49	2.9	0.13	4.1	0.09	4.8	0.24	4.4	0.36	2.7	0.12	0	0	12.7

Note : The water samples were collected at December 2, 1977.

地すべり地区より採取した岩石からの実験室条件下での無機成分の溶出

ふるい分けによって粒度を3段階に調節した岩石粉を用いて、溶出に及ぼす粒度の影響を検討した。

緑色岩で得られた結果を Fig. 5, 粘板岩で得られた結果を Fig. 6, 蛇紋岩で得られた結果を

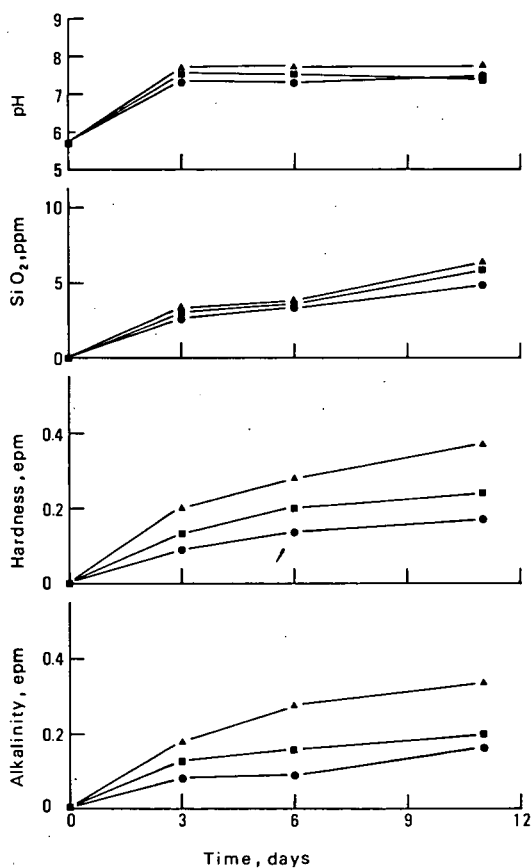


Fig. 5. Effect of grain size on the leaching out of major inorganic components from green rock. The grain size was : ▲, finer than 250 nm ; ■, 250-500 nm ; ●, 500-1000 nm.

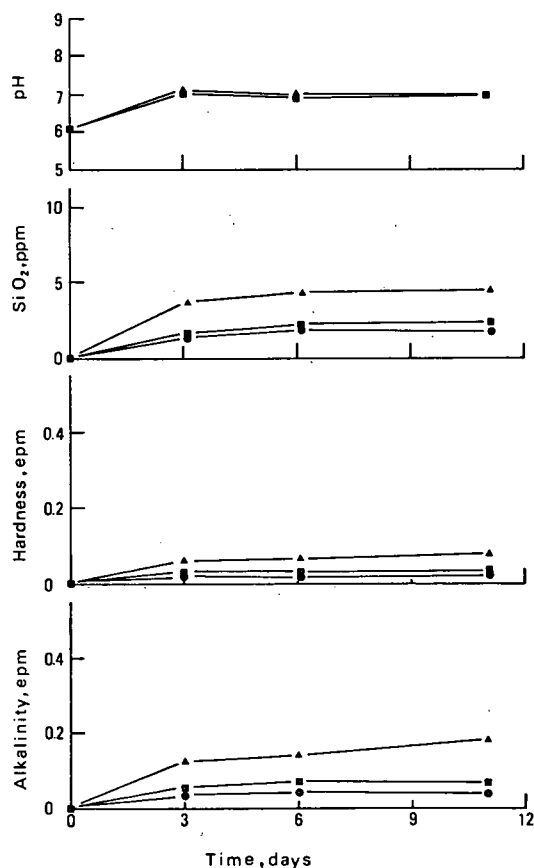


Fig. 6. Effect of grain size on the leaching out of major inorganic components from claystone. The grain size was : ▲, finer than 250 nm ; ■, 250-500 nm ; ●, 500-1000 nm.

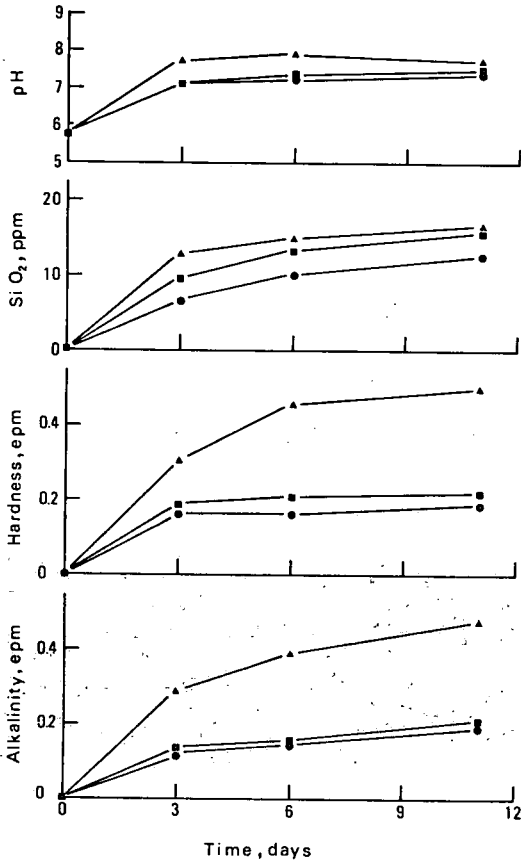


Fig. 7. Effect of grain size on the leaching out of major inorganic components from serpentine. The grain size was : ▲, finer than 250 nm; ■, 250-500 nm; ●, 500-1000nm.

pH のアルカリ側への変移幅は高温ほど大きく、SiO₂、硬度成分、及びアルカリ度成分の溶出量も

Fig. 7 にそれぞれ示した。

まず pH について見ると、共通的な傾向として、水との接触初期に急激にアルカリ側に移行し、その後の顕著な変動は見られなかった。その変動幅を岩石の種類別に見ると、粘板岩、緑色岩、次いで蛇紋岩の順に大きくなった。SiO₂、硬度成分、及びアルカリ度成分の溶出状態を見ると、この場合にも共通的な傾向として、水との接触初期に急速に関係成分の溶出が進行し、その後は緩やかな溶出が続いた。溶出量を岩石の種類別に見ると、粘板岩、緑色岩、次いで蛇紋岩の順に大きくなった。粒度と溶出状況との関係を見ると、粒度の小さいものほど、各種成分の溶出速度が大きく、pH のアルカリ側への変移幅もまた大であった。

なお、11日間の溶出実験を終了した岩石粉懸濁液を 10000 r.p.m., 10分間の遠心処理を行って、固形物のみを集め、これを脱イオン水に再懸濁した場合には、接触再開初期の急激な溶出現象はほとんど認められなかった。

接触水の温度を 10°, 20°, 及び 30°C に調節して溶出に及ぼす温度の影響を検討した。

結果は Fig. 8 に示した通りであって、

Rock	Temp. (°C)	pH				Si O ₂ (ppm)			Hardness (epm)			Alkalinity (epm)		
		6	7	8	9	0	10	20	0	0.5	1.0	0	0.5	1.0
Green rock	10	[Bar chart]				[Bar chart]			[Bar chart]			[Bar chart]		
	20	[Bar chart]				[Bar chart]			[Bar chart]			[Bar chart]		
	30	[Bar chart]				[Bar chart]			[Bar chart]			[Bar chart]		
Clayslate	10	[Bar chart]				[Bar chart]			[Bar chart]			[Bar chart]		
	20	[Bar chart]				[Bar chart]			[Bar chart]			[Bar chart]		
	30	[Bar chart]				[Bar chart]			[Bar chart]			[Bar chart]		
Serpentine	10	[Bar chart]				[Bar chart]			[Bar chart]			[Bar chart]		
	20	[Bar chart]				[Bar chart]			[Bar chart]			[Bar chart]		
	30	[Bar chart]				[Bar chart]			[Bar chart]			[Bar chart]		

Fig. 8. Effect of different temperatures on the leaching out of major inorganic components from rocks. Duration of contact : 11 days.

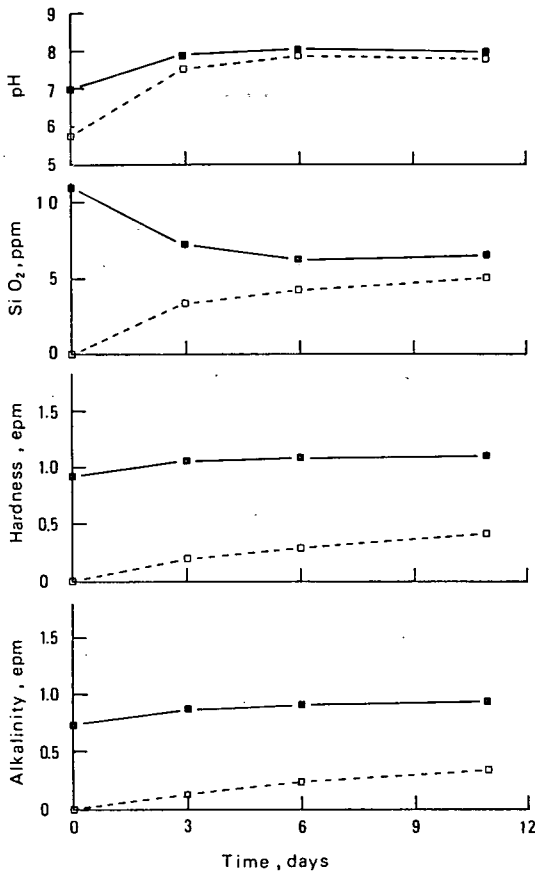


Fig. 9. Effect of initial inorganic solutes on the leaching out of major inorganic components from green rock. The waters employed were : \blacksquare , groundwater ; \square , deionized water.

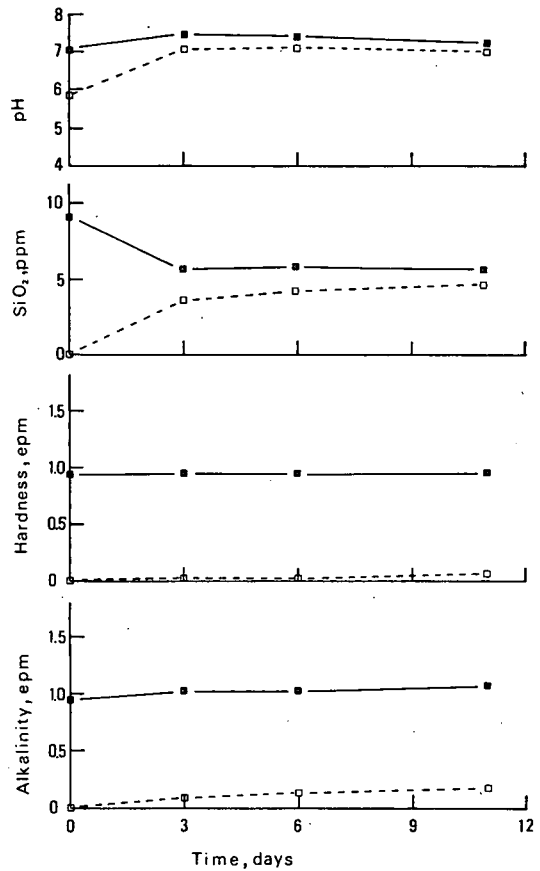


Fig. 10. Effect of initial inorganic solutes on the leaching out of major inorganic components from claystone. The waters employed were : \blacksquare , groundwater ; \square , deionized water.

また高温ほど大となった。ただ細かく見ると、粘板岩や蛇紋岩では温度の違いに基づく溶出量の差が比較的小さく現れたが、緑色岩では温度の違いによって溶出が大きく左右される傾向がみられた。

接触水として比較的硬度の高い地下水を用いて溶出実験を行い、対照として脱イオン水を用いて行った同種の実験結果と比較し、接触開始時の水中の溶存無機成分濃度の大小が、溶出にどのような影響を及ぼすかについて検討を加えた。

緑色岩で得られた結果を Fig. 9, 粘板岩で得られた結果を Fig. 10, 蛇紋岩で得られた結果を Fig. 11 にそれぞれ示した。

当然のことながら対照として行った脱イオン水を用いた実験の溶出は、粒度の影響のところでは述べた同種の実験のそれとほぼ同様の経過をたどって進行した。これに対し地下水を用いて行った実験の溶出は、pH 以外は岩石ごとにかなり傾向が異なっていた。すなわち、pH は3種の岩石とも地下水との接触初期に急速に対照とほぼ同程度の値に変移した。SiO₂ は、緑色岩と粘板岩においては、水との接触初期に地下水では減少が起り、対照の脱イオン水では増加したため、両者の濃度の開きは小さくなった。一方対照実験で SiO₂ 溶出量の大であった蛇紋岩では、地下水中でも対照

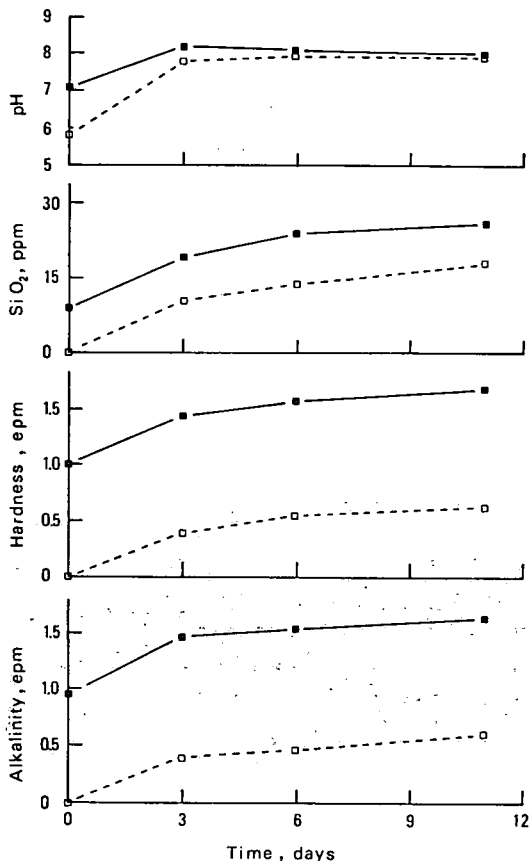


Fig. 11. Effect of initial inorganic solutes on the leaching out of major inorganic components from serpentine. The waters employed were : \blacksquare , groundwater ; \square , deionized water.

向が認められ、CO₂ 気相下では、対照と比べて pH は顕著に低くなり、アルカリ度、硬度、及び

のそれとほぼ並行した SiO₂ 増加が起り、両者の濃度の開きはここで行った実験の期間内には変らなかった。

アルカリ度成分について見ると、対照実験で溶出量の大きい蛇紋岩の場合には、地下水中でも対照とほぼ並行した溶出が起り、対照実験で溶出量の小さい粘板岩の場合には、地下水中での溶出はほとんど認められなかった。対照実験で両者のほぼ中間的な溶出経過をたどった緑色岩では、地下水との接触初期には対照実験のそれとほぼ同程度の溶出が起ったが、その後は著明な溶出はほとんど認められなかった。

硬度成分の溶出についても、アルカリ度で認められたものとはほぼ同様の傾向がみられた。従って地下水を用いた溶出実験では、アルカリ度と対応する硬度成分はほぼ並行して消長した。

岩石懸濁液の上部を覆っている気相を H₂ あるいは CO₂ で置換して溶出実験を行い、対照として行った大気中での同種の実験結果と比較して、気相の違いによって溶出の進行にどのような影響が現れるかを調べた。

結果は Fig. 12 に示した通りであって、H₂ 気相下では 3 種の岩石ともそれぞれの溶出量は、対照と比べてやや小さくなる傾

Rock	Gas phase	pH				Si O ₂ (ppm)			Hardness (epm)			Alkalinity (epm)		
		6	7	8	9	0	10	20	0	0.5	1.0	0	0.5	1.0
Green rock	Air	[Bar chart]				[Bar chart]			[Bar chart]			[Bar chart]		
	H ₂	[Bar chart]				[Bar chart]			[Bar chart]			[Bar chart]		
	CO ₂	[Bar chart]				[Bar chart]			[Bar chart]			[Bar chart]		
Clayslate	Air	[Bar chart]				[Bar chart]			[Bar chart]			[Bar chart]		
	H ₂	[Bar chart]				[Bar chart]			[Bar chart]			[Bar chart]		
	CO ₂	[Bar chart]				[Bar chart]			[Bar chart]			[Bar chart]		
Serpentine	Air	[Bar chart]				[Bar chart]			[Bar chart]			[Bar chart]		
	H ₂	[Bar chart]				[Bar chart]			[Bar chart]			[Bar chart]		
	CO ₂	[Bar chart]				[Bar chart]			[Bar chart]			[Bar chart]		

Fig. 12. Effect of different gases on the leaching out of major inorganic components from rocks. Duration of contact : 11 days.

SiO₂ 関係成分溶出量は 2 倍程度大きな値となった。

最後に、20°C、11日間の静置期間中に接触水中に溶出した主要無機成分、すなわち、アルカリ度、Cl⁻、SO₄²⁻、Ca²⁺、Mg²⁺、Na⁺、K⁺、及び SiO₂ の定量を行った。

Table 4. Chemical composition of the soluble materials released from rocks.

Rock	Alkalinity (epm)	Chloride ion		Sulfate ion		Calcium ion		Magnesium ion		Sodium ion		Potassium ion		Silicate (ppm)
		(ppm)	(epm)	(ppm)	(epm)	(ppm)	(epm)	(ppm)	(epm)	(ppm)	(epm)	(ppm)	(epm)	
Green rock	0.31	1.8	0.05	0	0	3.2	0.16	1.2	0.10	1.2	0.05	0.9	0.02	4.4
Clayslate	0.24	1.5	0.04	0	0	1.3	0.07	1.1	0.09	2.7	0.12	0.3	0.01	3.2
Serpentine	0.47	1.6	0.05	0	0	4.0	0.20	4.2	0.35	1.1	0.05	0	0	13.5

結果は Table 4 に示した通りであって、岩石の種類によって溶出量にかなりの開きが認められた。溶出量の比較的大であったのは、緑色岩でアルカリ度、Ca²⁺、及び Mg²⁺、粘板岩でアルカリ度、Mg²⁺、及び Na⁺、蛇紋岩でアルカリ度、Ca²⁺、Mg²⁺、及び SiO₂ など、一方、SO₄²⁻ とか K⁺ はいずれの岩石からもほとんど溶出が起らなかった。従って、3種の岩石で共通的に主要な溶出成分はアルカリ度、Ca²⁺、及び Mg²⁺ であった。このうち粘板岩のみは Ca²⁺ 溶出量が比較的小さく、このためか粘板岩溶出物のみは硬度がアルカリ度より小となる傾向が認められた。

考 察

下寺蔵寺地区より採取した水試料は、Fig. 13 に示した通り、陽イオンの比率に基づく三角座標図上では点は狭い範囲に集中し、陰イオンの比率に基づく三角座標図上では、アルカリ度と Cl⁻ の

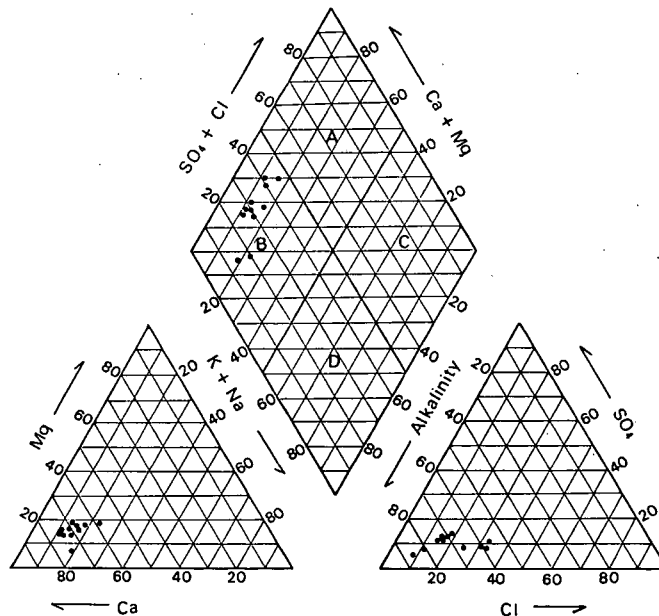


Fig. 13. Diagrammatic representation of water quality for the samples from Shimojozoji area. Letters show: A, noncarbonate hardness type; B, carbonate hardness type; C, noncarbonate alkali type; D, carbonate alkali type.

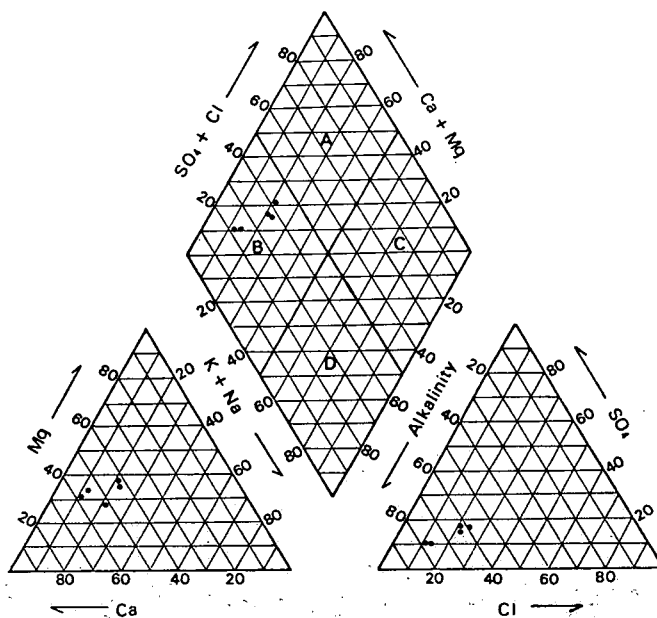


Fig. 14. Diagrammatical representation of water quality for the samples from Obana area. The letters A, B, C, and D are the same as in Fig. 13.

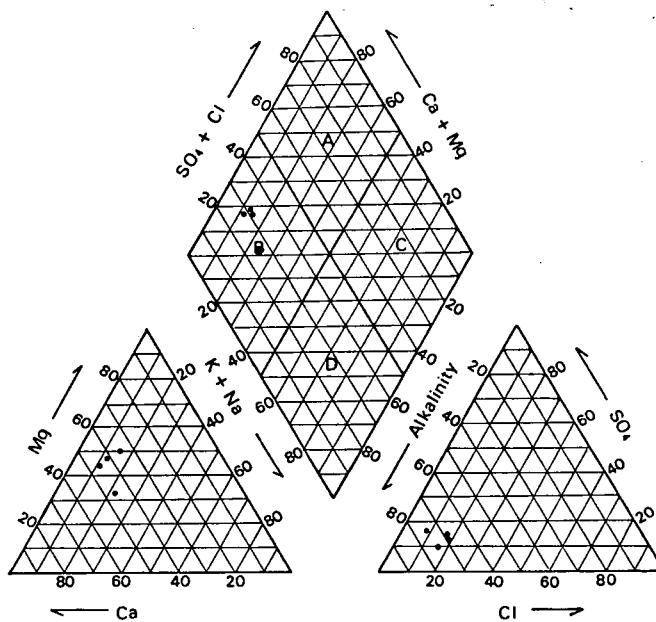


Fig. 15. Diagrammatical representation of water quality for the samples from Nakagiri area. The letters A, B, C, and D are the same as in Fig. 13.

比率にやや開きがあったことを反映して、点が幾分散在する傾向が認められた。従って鍵座標図上でも点がやや分散したが、いずれも炭酸カルシウム区分に含まれていた。

大花地区より採取した水試料は、Fig. 14 に示した通り、陽イオンの三角座標図上でも陰イオンの三角座標図上でも点は狭い範囲に集中した。従って鍵座標図による水質標示においても、点は炭

酸カルシウム区分内の比較的狭い範囲に集中した。

中切地区より採取した水試料は、Fig. 15 に示した通り、陽イオンの三角座標図上でも、陰イオンの三角座標図上でも点は密集する傾向が強く、鍵座標図上でも点は炭酸カルシウム区分内の比較的狭い範囲に集中した。

今回調査を行った地下水中の主要溶存成分は、その成分比率においていずれもそれぞれの地区ごとに高い同質性が認められたが、これはここで調査した地下水が、それぞれの地区ごとに類似した性格の帯水層に包蔵されていたためと考えられる。

しかし主要溶存成分濃度と、その濃度総和には、同一地区の地下水においても試料間でかなりの開きが認められた。そこで実験室条件下で溶出実験を行って、このような開きの生じた機構を調査した。

一連の溶出実験における共通的な傾向として、岩石と水との接触初期に急激な溶出がみられたが、この現象は岩石粉調製に当たって新しい岩石面が表面に現れたことがその大きな原因と考えられる。このことは、接触初期の急激な溶出を終えた後に、接触水を更新しても再び急激な溶出がほとんど認められなかったことから裏付けられた。

岩石粉の粒度が大きいほど溶出速度が小さくなったのは、水と岩石粉との接触面積から考えて当然の傾向と思われる。この意味では、機械的な風化を受け易い岩質、あるいは何らかの原因ですでに破碎を受けている岩石では、溶出が速やかに進行するものと考えられる。

例えば下寺蔵寺地区の垂直ボーリング孔よりの水試料のなかには、総溶存成分濃度が並外れて大きいものが見出されたが、このような試水は、恐らく地すべり粘土化した岩石粒子との接触によって、多量の溶解成分を含むに至ったものと解される。

高温で速やかな溶出が見られたのは、高温ほど一般の塩類の溶解度が增大するためと考えられる。従って地下水温が気温の影響を受けて変動するような浅層地下水においては、夏期に溶出が速やかになるものと推定される。

接触水中の既存の塩類による溶出現象への干渉は、恐らく溶解度積と pH に強く支配されて起るものと考えられるが、成分ごとに多様な傾向がみられた。すなわち pH、アルカリ度、あるいは硬度関係成分は、接触水中の濃度があるレベル以上では溶出が阻害された。一方、SiO₂ は蛇紋岩のように、かなり高い初期濃度にもかかわらず溶出が進行するグループと、緑色岩・粘板岩のように、かなり顕著な濃度低下が進行するグループに 2 分された。このような挙動の違いは、造岩鉱物の組成に関係があると思われるがその詳細は明らかでない。

岩石の溶出実験において、気相を CO₂ で置換した場合には顕著な溶出促進が起ったが、この現象はすでに多くの研究者^{4,7)} によって指摘されているように、岩石からの溶出開始に carbonation が大きく関係しているためと解される。

この点は、Fig. 16 に示したように、地下水中のアルカリ度と硬度成分間に強い正の相関が認められたことによっても裏付けられよう。

一般に地下水中の CO₂ は、大気より溶入する部分と、土壤微生物の呼吸作用によって生産される部分とその主体をなすと考えられており、この点からは岩石の溶解に生物学的因子もかかわり合っていると考えてよからう。

気相を H₂ で置換し、痕跡の O₂ まで完全に除去した場合の溶出が、大気中でのそれと比べて幾分小さくなったのは、O₂ 完全除去の影響より、むしろ混在した CO₂ 除去の影響ではないかと考えられる。

岩石粉試料単位重量当りの溶出速度は、全般的にみて蚊紋岩、緑色岩、次いで粘板岩の順に小さくなった。ただし使用岩石粉の粒形が完全に同一ではないので、この順に単位表面積当りの溶出速度、つまり溶出し易さが小さくなるか否かは明らかでない。

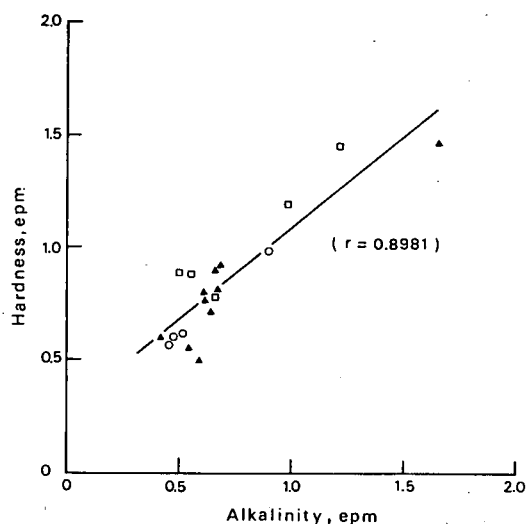


Fig. 16. Correlation between alkalinity and hardness of ground-water samples. The samples were collected from: Shimojizouji area, \blacktriangle ; Obana area, \square ; Nakagiri area, \circ .

それぞれの岩石粉と接触させた水中の、主要溶存成分の相対的な濃度比率は、ごく大まかに見ると、蛇紋岩では Mg^{2+} と SiO_2 で大、 K^+ と Na^+ で小、緑色岩では Ca^{2+} で大、粘板岩では Na^+ で大、 SiO_2 で比較的小となった。ここで用いた岩石と同種、あるいはごく近い種類の岩石で得られた分析値^{5,6)} から推定すると、個々の成分の溶出量は岩石の成分組成に必ずしも比例はしなかったが、岩石間で比較して相対的に量の多い成分の溶出量が総じて大となる傾向が認められた。

地下水中には岩石からの溶出成分のみではなく、既に知られているように⁴⁾ 土壌成分の溶入などもあり、さらに、いったん流入した成分もイオン交換、吸着、酸化、及び還元などの副次的な変化を受けてその濃度が変化する⁴⁾。そのような個々の変化の直接的な測定は極めて困難であるが、溶出実験で得られた成分間の比率と、地下水中の溶存成分の比率から判断して、

下寺蔵寺地区では Cl^- 、 SO_4^{2-} 、及び Ca^{2+} の比率が増大する方向、大花地区では SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 Ca^{2+} 、 Na^+ 及び K^+ の比率が増加する方向、中切地区では Cl^- 、 SO_4^{2-} 、及び Mg^{2+} の比率が増大する方向にそれぞれ進行するものと推定された。このような変化はその多様さから判断して、恐らく主として土壌成分の溶入に基づくものと考えられる。その際地表の条件等により溶入の程度に開きが生じ、水質に多様性が増し、このことが岩石成分と地下水水質との間の一義的な関係を失なわせた原因と考えられた。

要 約

主要基盤岩石を異にする3ヶ所の地すべり地より、地下水と岩石を採取し、水分析と並行して採取岩石を用いた実験室条件下での溶出実験を行い、地下水水質と岩石とのかかわり合いを調べた。

岩石よりの無機成分の接触水中への溶出は、温度とか岩石の粒度などの物理的な因子と、接触水中の溶存無機成分濃度とか、溶存ガス濃度などの化学的因子によってその溶出の進行に差が生じた。しかし実験室条件下での溶出無機成分濃度は、総じて岩石組成を反映したものとなった。

しかし、岩石よりの溶出成分と採取地下水成分との間には、主として土壌成分の溶入のために生じたと考えられる質的な開きが認められた。このため、基盤岩石と地下水水質との間の一義的な関係は必ずしも認められなかった。

謝 辞

本研究を遂行するに当って御援助をいただいた高知大学学生 環 良隆・米良 功の両君に深謝する。

文 献

- 1) 栃木省二, 高知県の地すべり・山くずれ, 第13回地すべり学会特別講演集, p. 1-18 (1974).
- 2) 三好英夫・栃木省二・畑 幸彦, 高知県下の地すべり地の陸水水質について, 高知大学水産実験所報告, No. 3, 53-74 (1978).
- 3) 北野 康, 水の科学, p. 83-90, 日本放送出版協会, 東京 (1969).
- 4) 半谷高久, 水質調査法, p. 1-399, 丸善, 東京 (1960).
- 5) 柴田秀賢 (編), 日本岩石誌II, p. 337-361, 朝倉書店, 東京 (1967).
- 6) 柴田秀賢 (編), 日本岩石誌IV, p. 121-254, 朝倉書店, 東京 (1968).
- 7) Foster, R. J., "General Geology" 2nd ed., p. 87-94, Bell & Howell Co., Columbus (1969).

(昭和53年9月28日受理)

(昭和54年3月16日発行)

