

# 地質的環境のことなる地すべり地の水質特性について

吉岡龍馬・古谷尊彦

## STUDIES ON THE WATER QUALITY OF GEOLOGICALLY DIFFERENT LANDSLIDE

By Ryuma YOSHIOKA and Takahiko FURUYA

### Synopsis

Water samples have been collected from the landslide areas of Tertiary and fractured zones to investigate the water quality of geologically different landslide areas. The authors have examined the relationships among the chemical species contents of the waters and the following have been obtained: In general, the concentrations of calcium and bicarbonate ions show high value among dissolved ions in the natural waters of the two landslide areas, the concentration of soluble silica in the natural waters of landslide areas of fractured zone is low value, calcium to sodium ratio and to magnesium of dissolved elements can draw a fairly clear between two landslide areas, montmorillonites and kaolinite are in equilibrium with the waters of the Kuraishi, Maruyama, Kozuchiyama and Minamikaminaka landslide areas, and equilibrium between kaolinite and montmorillonite is attained at the concentrations of bicarbonate ions over about 80 mg/l in the natural waters of their investigated fields.

### 1. 結 言

地すべり地帯における粘土鉱物の生成と存在は、水中のイオンと粘土鉱物化していく鉱物表面との間での主としてイオン交換にもとづく化学変化の結果であり、それを通してその粘土の内部摩擦角や粘着力が低下し、地盤の脆弱化をひきおこす重要な原因の一つになるものと考えられる。従って地すべり現象の解明にあたり粘土鉱物生産量の確立はきわめて重要な意義をもつものである。

著者の一人、吉岡<sup>1)</sup>はすでに亀の瀬地すべり地を一つのモデルケースとして、水質から地すべり地帯の粘土鉱物生産量の推定の試みを報告している。本報告は亀の瀬地すべり地に適用した方法が、地質的環境のことなる他の地すべり地にどの程度の有効性をもちえるのかを検討したものである。

### 2. 方 法

わが国の地すべりは、種々の批判はあるが<sup>2), 3)</sup>、地質学的には小出<sup>4)</sup>の分類を基礎にして、一般に第三紀層地すべり、破碎帯地すべり、火山性地すべりに分けて考えられている。ここでは第三紀層地すべり地と破碎帯地すべり地を対象に、現在までに著者などが採水分析した結果と若干の文献から引用した値とを使用し、亀の瀬地すべり地と同じ方法で解析を試みた。

### 3. 調査地域の地質概要

#### 3-1) 第三紀層地すべりに分類される地すべり地

i) 小土山地すべり(長野県): 姫川流域に位置し、いわゆるフォッサマグナ地域にある。小土山近辺は第三紀層小川果層からなる。岩層は砂岩、泥岩、熔結凝灰岩の貫入岩体、安山岩、角礫凝灰岩などから構成される。一部、第四紀の段丘堆積物や崖錐堆積物も認められる。

ii) 串林地すべり地(滋賀県):琵琶湖西岸の滋賀丘陵中に位置する。滋賀丘陵は主として鮮新洪積統古琵琶湖層からなり、この丘陵の西部比良山地山脚付近で、古琵琶湖層を被覆して扇状地礫層が認められる。古琵琶湖層はシルト岩、砂岩などから構成され、串林地すべり地ではシルト岩が主となっている。

iii) 亀の瀬地すべり地(大阪府):生駒山地南部を切る大和川の右岸に位置する。この地域の地質は花崗岩類と第三紀層二上層群からなる。地すべり活動は花崗岩類をおおって存在する二上層群の安山岩類、火砕岩類などの分布する部分に認められる。

iv) 南上中地すべり地(富山県):富山湾にそそぐ仏生寺川右岸に位置する。第三紀層八尾累層の泥岩、細粒砂岩の互層からなり、部分的に礫岩、凝灰岩の挟在がみとめられる。

v) 猿供養寺地すべり地(新潟県):中頸城地方の代表的地すべり地で、関川の支流熊川流域に位置する。第三紀層の黒色泥岩地帯の地すべりで、安山岩の貫入岩体の周辺に広がる寺泊層の黒色泥岩に発生している。

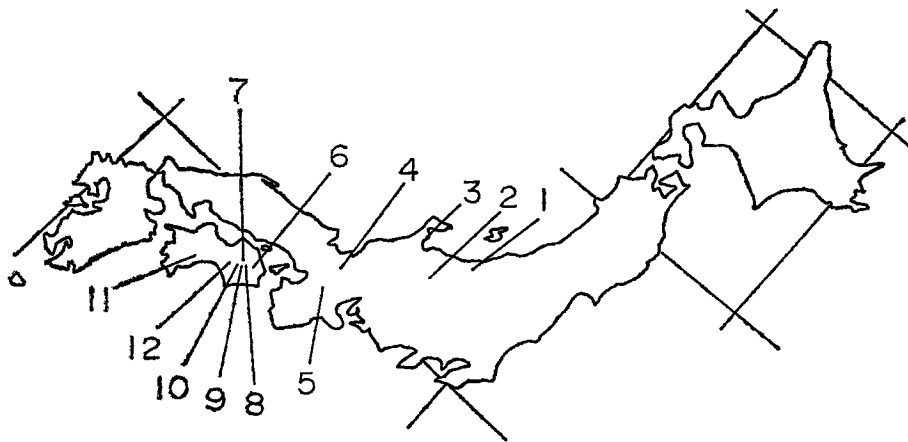
### 3-2 破碎帯地すべりに分類される地すべり地

i) 倉石地すべり地(徳島県):吉野川の支流井ノ内谷川流域に位置する。三波川結晶片岩類地域の地すべり地で、泥質片岩、塩基性片岩、珪質片岩などからなり、活動地は主として泥質片岩を基盤岩とし、これを被覆する第四紀の岩屑性堆積物から構成されている。最近の活動は岩屑性堆積物中に認められる。

ii) 善徳地すべり地(徳島県):吉野川の支流祖谷川流域に位置する。三波川結晶片岩類地域の地すべり地で、主として泥質片岩、砂質片岩からなる。活動地の谷荒地区では、基盤岩は泥質片岩を主とし、昭和29年の地すべり活動は泥質片岩を被覆する第四紀の岩屑性堆積物中に生じている。

iii) 九鬼地すべり地(徳島県):吉野川の支流祖谷川流域に位置する。三波川結晶片岩類地域の地すべり地で、主として泥質片岩からなる基盤岩とこれを被覆する第四紀の岩屑性堆積物からなり、地すべり活動は岩屑性堆積物中に認められる。

iv) 久保地すべり地(徳島県):吉野川の支流祖谷川流域に位置する。三波川結晶片岩類地域の地すべり



1 Sarukuyoji	6 Maruyama	11 Chiyoja
2 Kozuchiyama	7 Kuraishi	12 Shigeto
3 Minamikaminaka	8 Nagoro	
4 Kushibayashi	9 Kuki, Kubo	
5 Kamenose	10 Zentoku	

Fig. 1 Index map.

り地で、泥質片岩、砂質片岩、塩基性片岩などからなる。岩屑性堆積物によって被覆されている。地すべりは現状では安定している。

v) 丸山地すべり地（徳島県）：吉野川本流の右岸に位置する。三波川結晶片岩類地域の地すべり地で、基盤岩は泥質片岩と塩基性片岩の互層からなり、第四紀の岩屑性堆積物に被覆されている。現在活動は認められていない。

vi) 名頃地すべり地（徳島県）：吉野川の支流祖谷川流域に位置する。御荷鉾緑色岩類地域の地すべり地で、地すべり地は、いわゆる御荷鉾緑色岩類の基盤岩と、それから由来した岩屑性堆積物とからなり、地すべりは岩屑性堆積物中に発生している。

vii) 長者地すべり地（高知県）：仁淀川の支流長者川流域に位置する。秩父古生層の地すべり地で、黒瀬川構造帯の中にあつて、地すべり地の基盤岩は粘板岩を主とし、蛇紋岩と三滝火成岩類の一部が認められている。地すべり変動は、基盤岩に由来する主として粘板岩質の岩屑性堆積物と、蛇紋岩質の岩屑性堆積物中に存在する。

viii) 繁藤地すべり地（高知県）：吉野川の支流穴内川の左岸に発生した地すべり性崩壊地である。秩父古生層上八川層に属する粘板岩を主とし、一部砂岩層、珪岩層がはさまれている。山脚部には、基盤岩から由来した岩屑性堆積物も認められる。

各調査位置は Fig. 1 に示される。

## 4. 結果と考察

### 4-1) 水質の概要

Table 1 に分析結果を示す。Fig. 2 は Table 1 に示した各地の地すべり地の溶存化学成分含量の平均値を、ヘキサダイアグラムを用いて表示したものである。従来用いられている三角グラフ、キーダイアグラムでは質的關係はわかるが、量的關係を表現するのに難点があるのに対し、この表現方法を用いることによって、図形の形からは溶存成分の組成が、また図形の大小からは溶存成分の多少がわかり考察を進める上で利点が多い。

この図中の一つのヘキサダイアグラムにおいて、中央の点線から左側に陰イオン含量を  $\text{m}\cdot\text{eq}/\text{l}$  で表わし、下から順に  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  の各含量を右側に陽イオン含量を同じく  $\text{m}\cdot\text{eq}/\text{l}$  で表わし、下から順に  $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  の各含量を表わしている。ただし、善徳、九鬼、久保の各地すべり地でのダイアグラムは、同じ地質的環境（三波川帯の結晶片岩類）を示す倉石地すべり地を代表にできると思われるので、同図からは省略している。

この図から、一般に溶存成分含量は表流水、湧水、ボーリング孔水（ここでは水抜きのための、横穴ボーリング、隧道、集水井も含める）の順に多くなっていること、また三波川帯結晶片岩類からなる倉石、丸山；粘板岩、蛇紋岩からなる長者；安山岩、凝灰岩からなる亀の瀬；黒色頁岩の猿供養寺<sup>3),6)</sup>；泥岩の南上中<sup>7)</sup>などは一般的に溶存成分含量が多いのが特徴的である。その反対に御荷鉾緑色岩類の名頃（平谷）；粘板岩の繁藤；シルト岩の串林などでは、溶存成分含量は比較的少ない。

各成分含量をみると、一般に陰イオンとしては、 $\text{HCO}_3^{2-}$  が卓越しており（猿供養寺ボーリング孔、亀の瀬 T4 ボーリング孔を除いて）、陽イオンとしては一般に  $\text{Ca}^{2+}$  が卓越しているが、第三紀層地すべり地の猿供養寺、南上中両地域では  $\text{Na}^+$  が、また亀の瀬 T1 ボーリング孔では  $\text{Mg}^{2+}$  含量の大きいのが目立つ。 $\text{SiO}_2$  含量は第三紀層地すべり地の亀の瀬、小土山、串林に多く、一般に破碎帯地すべりには少ない傾向がみられる。なかでも長者、名頃は特に少ないのが特徴的であり、明らかに地質環境の差が現れている。ヘキサダイアグラムのパターンを用いて、いままでに著者らが採取してきた水を概括的に区分してみると、 $\text{Ca}^{2+}$  含量が圧倒的に多い倉石型； $\text{Na}^+$  と  $\text{Mg}^{2+}$  含量の和が  $\text{Ca}^{2+}$  含量とほぼ等しくなる名頃、丸山、長者、繁藤、小土山、串林型； $\text{Na}^+$  含量が多く、 $\text{SO}_4^{2-}$  と  $\text{Cl}^-$  含量の和が  $\text{HCO}_3^-$  含量にほぼ等しくなる南上中型； $\text{Na}^+$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  含量が圧倒的に高い猿供養寺型； $\text{Mg}^{2+}$  含量が相対的に高い値を示す亀の瀬型の五つの型に分類

Table 1 Chemical compositions of natural waters

		Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)
Kozuchiyama	1	2.6	1.8	1.3	5.1	1.7	26.4
	2	7.8	5.6	4.6	16.5	6.5	79.6
	3	10.2	6.1	6.9	16.9	12.0	78.7
Kushibayashi	1	7.5		2.5	6.1	2.8	44.2
	2	9.5		3.7	11.7	8.7	60.7
	3	8.6		5.4	16.2	6.2	77.0
Kuraishi	1	6.6	2.0	3.3	28.5	7.3	70.8
	2	7.1	1.9	2.5	51.5	6.5	132.0
	3	6.6	1.6	1.6	46.4	2.9	127.8
	4	7.6	3.3	5.1	25.6	8.9	42.4
	5	5.9	1.9	2.3	52.6	4.9	135.0
Zentoku	1	3.8	2.2	2.0	43.4	2.6	99.3
	2	3.6	1.6	1.3	27.0	2.7	61.8
Kuki	1	2.1	1.3	1.6	16.3	1.2	53.3
	2	49.8	3.8	2.1	22.8	3.5	167.1
Kubo	1	3.8	1.3	1.4	9.4	2.8	24.0
	2	5.0	1.6	2.6	26.8	4.1	65.7
Maruyama	1	4.0		4.8	8.8	4.5	41.4
	2	4.5		5.8	14.0	3.9	62.8
	3	3.4		4.7	12.8	3.5	45.0
	4	5.5		7.6	32.3	4.6	148.8
	5	4.7		12.9	27.4	4.6	122.3
Nagoro	1	1.2	0.6	1.9	7.8	0.7	32.7
	2	0.8	0.3	1.4	3.3	0.3	19.3
	3	1.0	0.5	2.3	7.0	0.6	33.0
	4	1.1	0.6	1.9	7.0	0.7	30.4
	5	1.4	0.8	3.2	14.6	1.1	58.9
	6	1.1	0.6	2.1	8.9	1.0	37.4
	7	1.1	0.6	3.7	9.4	0.5	49.1
	8	1.3	0.6	2.0	7.0	0.7	31.9
	9	1.0	1.0	3.1	23.0	0.7	83.8
	10	1.8	3.0	6.0	26.7	0.9	114.7
	11	1.0	1.0	3.5	23.5	0.7	87.1
Chiyoja	1	1.6		1.0	17.7	1.9	53.3
	2	9.4		4.9	24.4	1.8	101.1
	3	5.1		7.7	21.9	3.3	89.1
	4	18.4		0.7	2.1	3.9	153.5
	5	2.3		15.3	46.6	3.4	191.1
	6	4.0		8.2	37.1	1.5	116.0
Shigeto	1	4.1	0.9	1.3	10.2	4.0	37.9
	2	3.3	0.6	0.7	6.6	2.7	23.2
	3	2.8	0.3	0.3	3.6	2.3	17.2
	4	5.7	1.3	1.6	12.1	3.4	50.7
	5	3.9	0.6	0.7	8.9	2.7	33.8

in geologically different landslide areas.

SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	Soluble SiO <sub>2</sub> (mg/l)	pH	Water temp. °C	Dis- charge (ml/sec.)	Date of sampling	Remarks
1.4	25.2	7.7	12.2		1971, 9.28	Tertiary zone, Stream
6.2	48.4	6.5	14.8		"	" Spring
17.2	32.5	8.0	15.1		"	" "
2.2	32.0	5.8	15.2		1972, 10.12	" "
8.0	36.5	6.2	16.0		"	" "
9.1	29.6	7.4	18.0		"	" "
30.0	14.8	7.7	17.2		1972, 8.7	Fractured zone, Stream
38.0	19.8	7.3	21.0	24	"	" , Spring
29.2	20.7	7.9	17.0	7	"	" Bore hole
38.2	13.6	7.4	20.8	6	"	" "
35.8	16.5	7.8	14.0		"	" "
40.0	11.9	7.9	15.0		1972, 8.8	" Stream
26.7	11.4	7.3	14.5		"	" Bore hole
7.2	8.5	7.9	14.4		"	" Stream
33.2	13.3	8.8	14.8	35	"	" Bore hole
9.4	10.3	7.7	16.8		"	Stream
28.3	12.0	7.9	20.0		"	Bore hole
7.0	13.2	7.8	24.7		1966, 8.18	" Stream
5.0	15.3	7.5	24.5		"	" "
13.8	10.3	7.7	25.5		"	" Spring
6.4	22.3	8.0	17.6		"	" Bore hole
7.8	20.5	7.9	16.5		"	" "
2.5	9.7	7.1	9.2			" Spring
0	9.8	6.8	13.0	35	1972, 8.8	" "
2.0	13.1	7.1	9.0	400	"	" "
2.2	10.8	7.4	9.7		"	" Bore hole
2.8	9.8	7.7	10.0	120	"	" "
2.0	9.4	7.5	10.0		"	" "
1.3	13.8	7.0	9.5	86	"	" "
1.7	11.2	7.0	9.0	900	"	" "
3.7	5.9	7.7	8.0	1200	"	" "
4.0	8.6	8.0	13.1	10	"	" "
4.0	5.0	7.7	8.3		"	" "
7.8	5.5	7.9			1967, 1.31	" Stream
16.0	9.5	8.0	3.0		"	" Spring
20.0	7.0	7.7	12.0		"	" Bore hole
5.2	11.6	<8.4	15.5		"	" "
21.6	9.2	8.0	17.0		"	" "
37.2	10.5	7.9	16.0		"	" "
4.0	11.9	7.2	18.2		1972, 8.7	" Stream
3.0	12.8	6.9	17.0		"	" "
0.7	14.2	6.7	15.6		"	" Spring
4.7	17.8	9.0	19.0		"	" "
3.6	14.4	6.6	15.5		"	" "

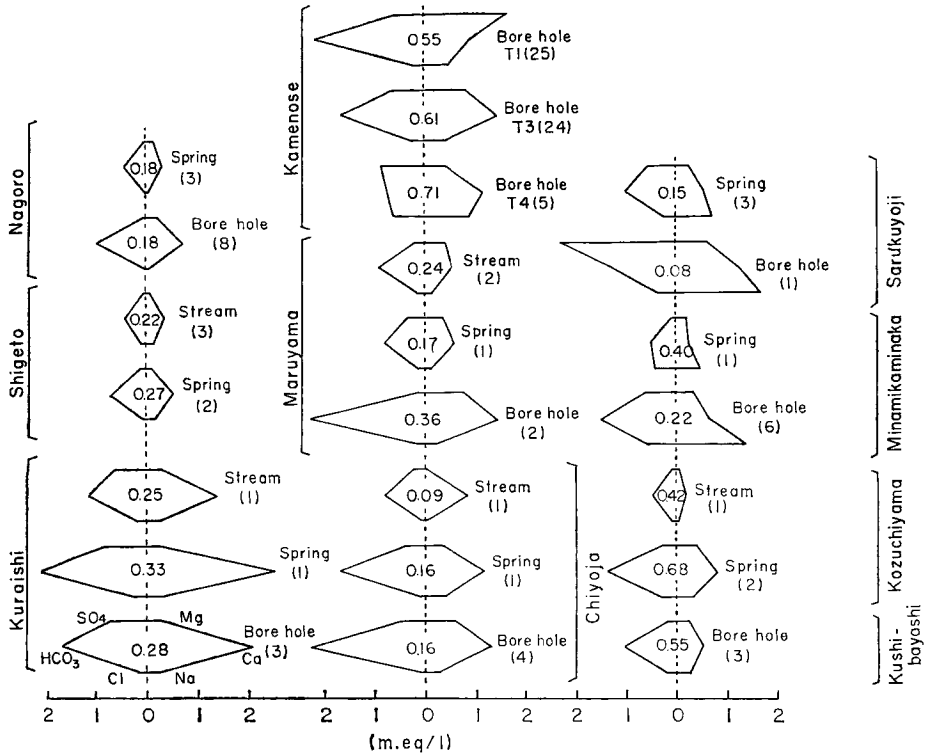


Fig. 2 Hexadiagrams of milligram equivalents of major ionic constituents of natural waters in geologically different landslide areas. ( ) shows number of analyses and number in each hexadiagram indicates  $\text{SiO}_2$  content, m. mol/l.

Table 2 Average equivalent ratios of dissolved

	Ca/Na			Ca/Mg		
	Stream	Spring	Bore hole	Stream	Spring	Bore hole
Minamikaminaka		0.55(1)	0.80(6)		1.14	1.83
Sarukuyoji		0.81(3)	0.74(1)		1.84	1.99
Kamenose			1.90(54)			1.18
Kozuchiyama	2.26(1)	2.17(2)		2.38	1.84	
Kushibayashi			1.53(3)			1.75
Kuraishi	4.96(1)	8.31(1)	7.38(3)	5.23	12.5	11.5
Zentoku	13.1(1)		8.57(1)			12.7
Kuki	8.92(1)		0.53(1)	6.15		6.62
Kubo	2.84(1)		6.16(1)	4.03		6.24
Maruyama	3.05(2)	4.32(1)	6.73(2)	1.29	1.65	1.93
Nagoro		6.78(3)	14.4 (8)		1.92	2.81
Chiyoja	12.6(1)	2.98(1)	9.27(4)	10.6	3.01	2.03
Shigeto	1.73(3)	2.53(2)		5.99	6.12	

( ): Number of analyses

することができる。

#### 4-2) 溶存成分の平均当量比

Table 2 は Table 1 の各地すべり地の表流水、湧水、ボーリング孔水の溶存成分の平均当量比を示したものである。第三紀層地すべり地の表流水についての分析値は、小土山のものしかないので、ここでは、地すべり地内から採取したボーリング孔水と湧水に重点をおき、以下簡単に当量比の計算結果やその変化を述べる。

まず、 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$  をみると、第三紀層地すべり地では南上中の0.6～小土山の1.9と変動範囲は小さいが、破碎帯地すべり地では、九鬼の0.5～名頃の14.5と変動範囲は非常に大きくなる。しかし、九鬼；名頃で見いだされる  $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$  の最小値、最大値は異常な値と考えると、繁藤の2.5～長者の9.3となつて、その変動範囲はかなり小さくなるが、それでも第三紀層地すべり地と比較して、破碎帯地すべり地の  $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$  の変動巾が大きな値を示しているという結果は特徴的である。

$\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$  についてみると、第三紀層地すべり地では、南上中の1.1～猿供養寺の2.0と変動範囲は小さいが、破碎帯地すべり地では丸山の1.7～善徳の12.7とこれも変動範囲は非常に大きくなっている。 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$  の最小値、最大値を示す丸山、善徳を除いても、名頃の1.9～倉石の12.5となり、その巾はほとんどかわらない。 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$  と同様に、 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$  の場合にも第三紀層地すべり地と破碎帯地すべり地とは顕著な差がうかがえる。

陰イオンの当量比をみると  $\text{HCO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$  は、第三紀層では猿供養寺の0.5～串林の7.5となり、 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$  に比較して、大きな変動を示すと同時に、破碎帯地すべり地でも、善徳；久保の1.8～名頃の17.8と同じく大きな変動巾を示し、この場合には、第三紀層地すべり地と破碎帯地すべり地との差は明確ではない。

$\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$  は第三紀層地すべり地帯では南上中の0.2～猿供養寺の6.8と非常に大きな変動範囲を示すが、南上中、猿供養寺の最小値、最大値を除くと串林の0.8～猿供養寺の2.5とかなり変動範囲は小さくなる。一方破碎帯地すべり地では繁藤の1.0～善徳の7.3となり、 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^{+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{HCO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$  にくらべて、変動巾が少ないのが目立つが、 $\text{HCO}_3^-/\text{SO}_4^{2-}$  と同様に、 $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$  の場合にも、この当量比で第三紀層地すべり地と破碎帯地すべり地とを区別することはむづかしいように思われる。

第三紀層地すべり地とか破碎帯地すべり地とかいっても、地すべり地を構成している岩質は種々雑多であ

elements of natural waters in geologically different landslide areas.

$\text{HCO}_3/\text{SO}_4$			$\text{SO}_4/\text{Cl}$			Remarks ( ): Number of analyses
Stream	Spring	Bore hole	Stream	Spring	Bore hole	
	7.03	4.86		0.17	1.65	Tertiary zone
	2.53	0.51		2.51	6.82	"
		2.14			1.92	"
14.9	6.86		0.60	0.89		"
		7.47			0.80	"
1.86	2.73	2.43	3.04	4.33	5.33	Fractured zone
1.95		1.82	11.4		7.32	"
5.83		3.96	4.41		6.99	"
4.01		1.83	2.48		5.13	"
7.28	2.56	15.3	1.05	2.91	1.14	"
	7.73	17.8		1.69	2.62	"
5.36	4.98	9.05	3.02	6.53	7.15	"
11.2	7.89		0.59	1.01		"

るので、一概にはいえないが、以上の考察から、当量比を指標にして両地すべり地の区分をすれば、 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$  を用いるのが有効のように思われる。

#### 4-3) 地すべり地の水と鉱物種との平衡

一般にケイ酸塩鉱物が  $\text{CO}_2$  を含む水と接触すると水溶液中に  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SiO}_2$  などを供給しながら、一方で種々な粘土鉱物を生成する。著者などが採取してきた地すべり地内の水がどんな鉱物種と平衡になっているかをみたのが、Fig. 3A, 3B である<sup>8)</sup>。この図からわかるように、考察対象とした鉱物種は灰長石、Ca-モンモリロナイト、カオリナイト、ギブサイトなどであり、鉱物の安定領域を  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  の濃度関数として表示してある。また同図から三波川帯結晶片岩類から構成されている倉石、丸山両地すべり地；砂岩、泥岩、細粒砂岩からなる南上中地すべり地などの水は、Ca-モンモリロナイトとカオ

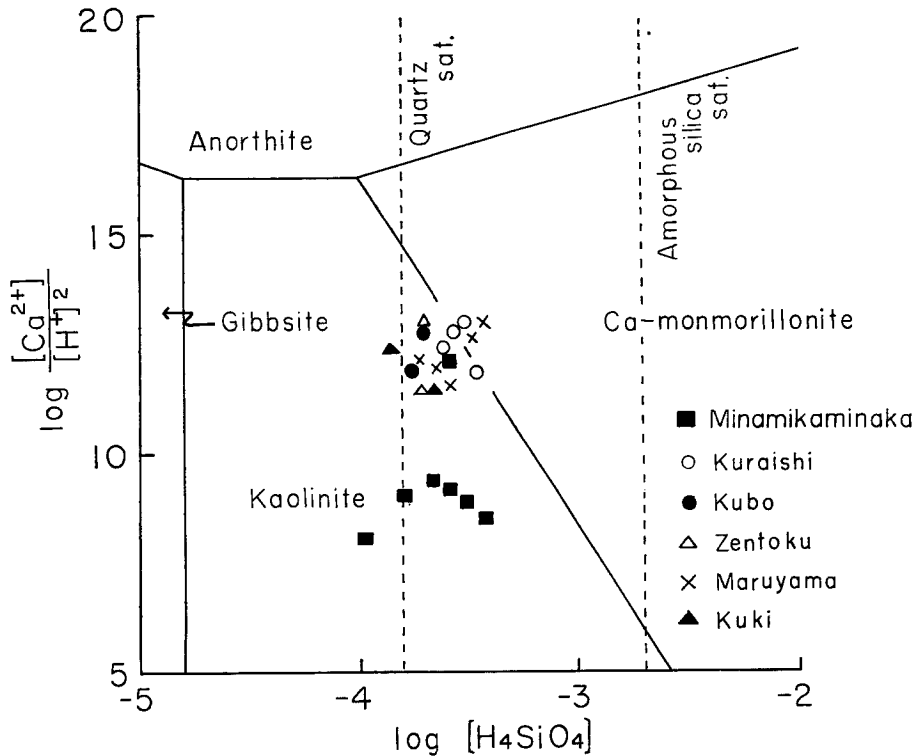


Fig. 3A Stability relations of anorthite, Ca-montmorillonite, kaolinite and gibbsite at 25°C and 1 atm, as function of  $[\text{Ca}^{2+}]$ ,  $[\text{H}^+]$  and  $[\text{H}_4\text{SiO}_4]$



リナイトとの両安定領域にまたがり分布しているが、その他の地すべり地の水はカオリナイトの安定領域内に分布していることがわかる。ただし亀の瀬地すべり地の水はすでに報告済みであり<sup>1)</sup>、また猿供養寺地すべり地の水は pH 値の欠測のために同図から省略してある。

Fig. 4A, 4B は、水中の  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SiO}_2$  などは、 $\text{CO}_2$  を含む水と斜長石との反応に際して、Ca-モンモリロナイト、Na-モンモリロナイト、カオリナイト、ギブサイトだけが生成されるときに、供給されると仮定した場合の図である<sup>1), 9)</sup>。ただし実際の各点は人為的汚染、降雨などの影響を除くために、 $\text{Cl}^-$  は  $\text{Na}^+$  と、 $\text{SO}_4^{2-}$  は  $\text{Ca}^{2+}$  と等量にし、それぞれ除去した後の値をプロットしたものである。これから三波川帯結晶片岩類から構成されている倉石、善徳、九鬼、久保、丸山などの地すべり地の分析値は、カオリナイトの理論曲線上にきれいに分布しているのが特徴的である。御荷鉾緑色岩類の名頃；粘板岩の繁

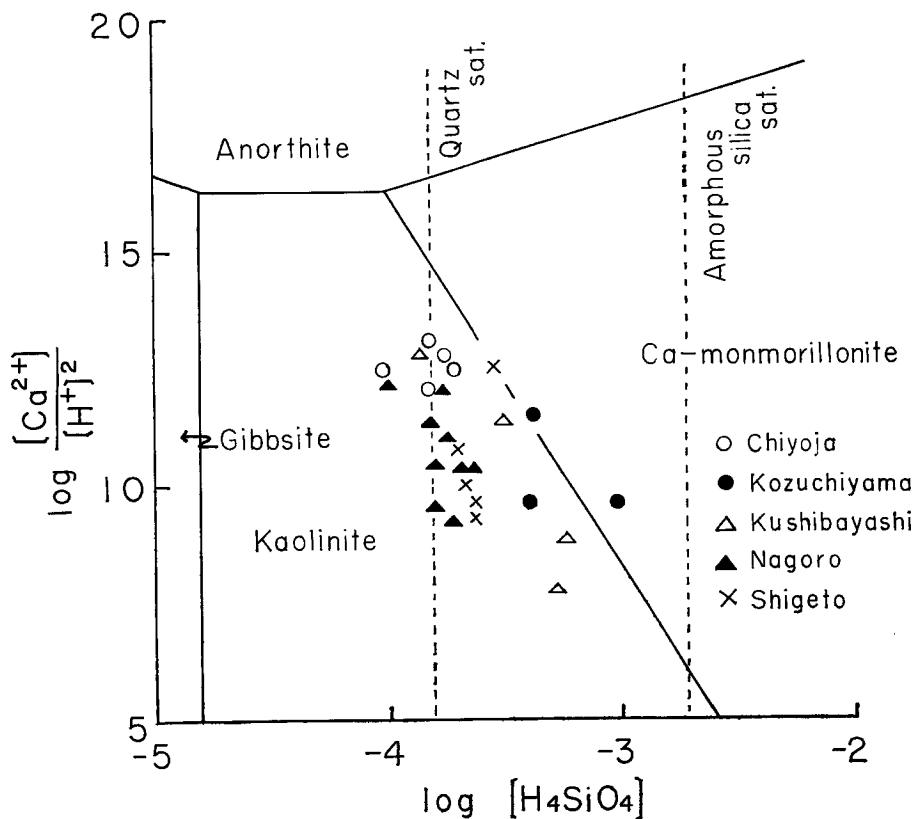


Fig. 3B Stability relations of anorthite, Ca-montmorillonite, kaolinite and gibbsite at 25°C and 1 atm, as function of  $[\text{Ca}^{2+}]$ ,  $[\text{H}^+]$  and  $[\text{H}_4\text{SiO}_4]$

藤；シルト岩の串林；砂岩，泥岩，凝灰岩，安山岩などから構成されている小土山などでは，カオリナイトとギブサイトの曲線間に分布しており，また泥岩，細粒細岩からなる南上中では，Na-モンモリロナイトの曲線上に分布している。ただ粘板岩の長者では，Ca-モンモリロナイトとギブサイトの曲線間にまたがり広く分布しているのが特徴的である。

前述の Fig. 3A, 3B と Fig. 4A, 4B とから，各地すべり地の水はカオリナイトあるいはモンモリロナイトと平衡になっていることがわかったので，今カオリナイトと Ca-モンモリロナイトとの間に平衡が成り立ち，また  $\text{CO}_2$  と水との間にも平衡が成り立つとし，水，カオリナイト，Ca-モンモリロナイトの活動度および溶存化学成分の活動度係数を 1 とみなすならば，カオリナイトと Ca-モンモリロナイトとの平衡式が導かれる<sup>9)</sup>。

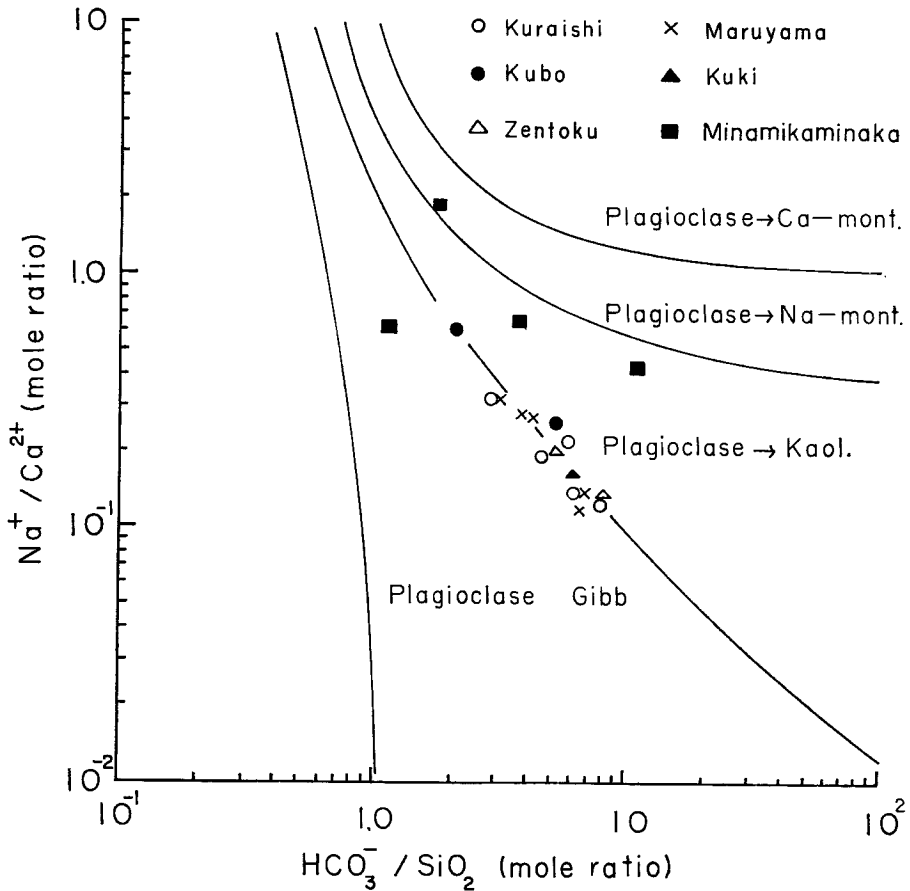


Fig. 4A  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$  mole ratio plotted versus  $\text{HCO}_3^-/\text{SiO}_2$  mole ratio for waters from geologically different landslide areas.

$$K_{\text{Kaol-Mont}} = \log[\text{Ca}^{2+}] + 8\log[\text{SiO}_2] + 2\text{pH}$$

ただし [ ] はモル濃度とする。

Fig. 5 は、上式で与えられる平衡定数と  $\text{HCO}_3^-$  含量との関係を示したものであり、 $\text{HCO}_3^-$  が大略 80 mg/l 以上では、各々の地すべり地により固有の値を示しているけれども、水質は生成粘土とほぼ平衡状態になっていることがわかる。これらの結果は先に著者ら<sup>1)</sup> が報告した亀の瀬地すべり地の結果とよく一致している。さらに、この図は  $\text{HCO}_3^-$  が大略 80 mg/l まではカオリナイトを生成し、それ以上の値では Ca-モンモリロナイトが生成されることを物語っている。

水中に  $\text{HCO}_3^-$  が 80 mg/l 以上存在するときには、モンモリロナイト系粘土が生成されるという結果は興味のあることであり、モンモリロナイトの膨潤性を考えあわせると、このような鉱物と水との平衡論的な取り扱い方は地すべり現象を解明する上で有用な手段となりえると考ええる。

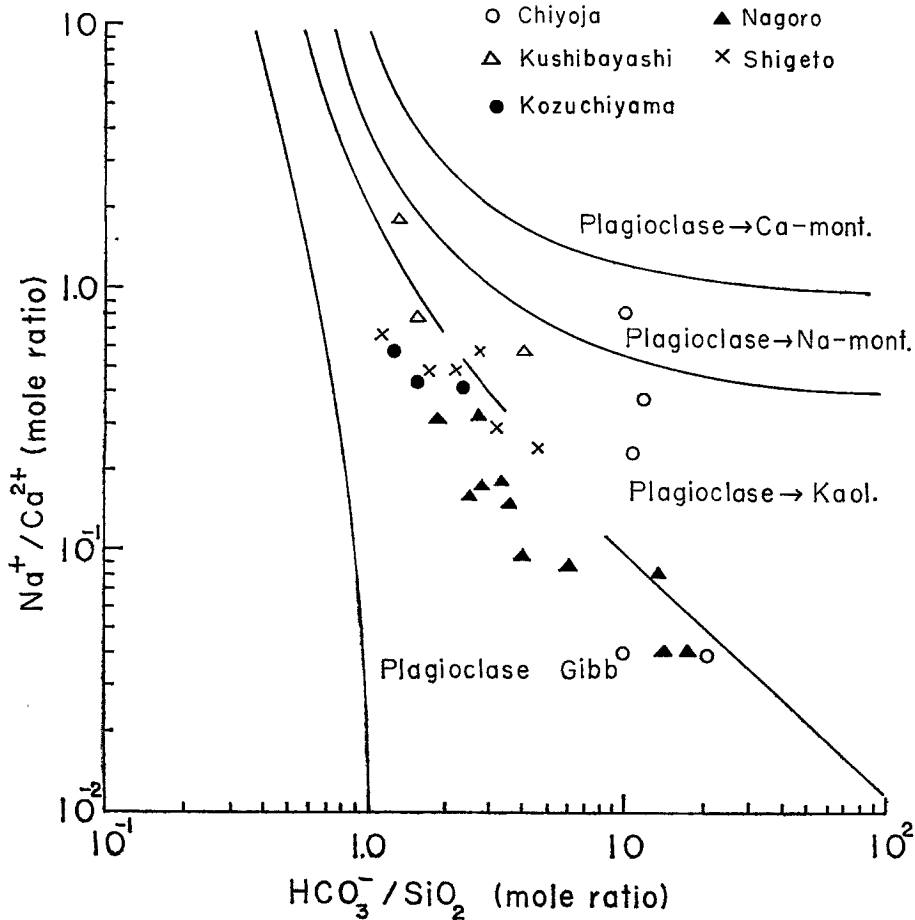


Fig. 4B  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$  mole ratio plotted versus  $\text{HCO}_3^-/\text{SiO}_2$  mole ratio for waters from geologically different landslide areas.

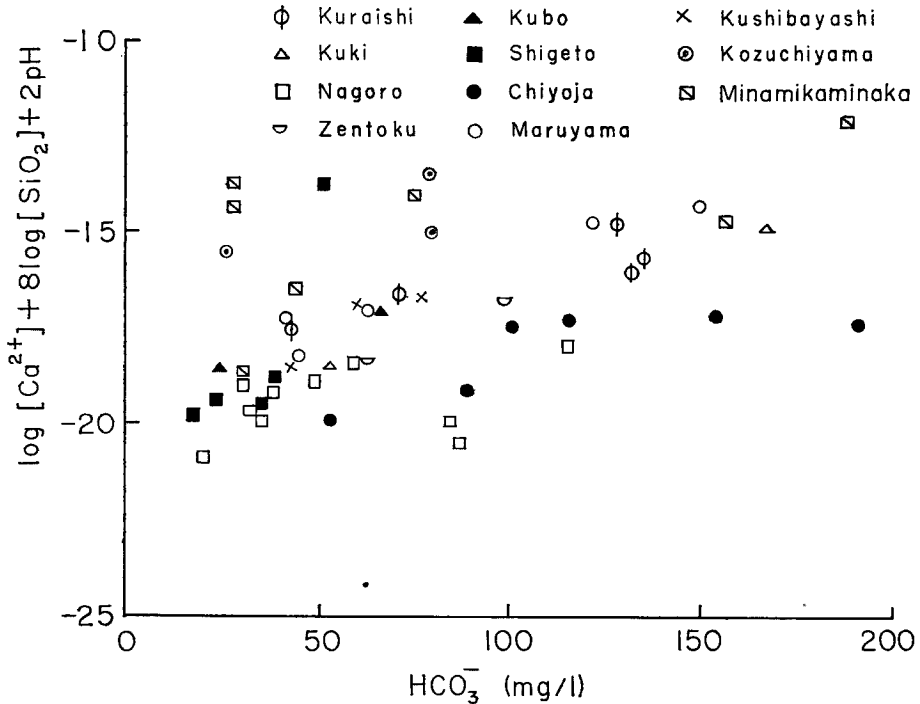


Fig. 5 Plots of  $(\log[\text{Ca}^{2+}] + 8\log[\text{SiO}_2] + 2\text{pH})$  versus  $\text{HCO}_3^-$  mg/l for waters from geologically different landslide areas.

## 5. 結 論

本報告では第三紀層地すべり地と破砕帯地すべり地との水質を比較検討し、次のような知見を与えることができた：

- (1) 一般に両地すべり地において、陽イオンとして  $\text{Ca}^{2+}$ 、陰イオンとして  $\text{HCO}_3^-$  が卓越している。
- (2) ヘキサダイアグラムから、水質を五つのパターンに分類できた。
- (3) 第三紀層地すべり地の亀の瀬、小土山、串林地すべり地では  $\text{SiO}_2$  含量は大きいが、一般に破砕帯地すべり地の  $\text{SiO}_2$  含量は小さい。
- (4) 第三紀層地すべり地と破砕帯地すべり地との分類には、 $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$  と  $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$  を指標に用いることが有効である。
- (5) 倉石、丸山、小土山、南上中などの地すべり地の水はカオリナイト、モンモリロナイトと平衡状態にあるが、その他の地すべり地の水はカオリナイトと平衡状態にある。
- (6)  $\text{HCO}_3^-$  含量が大略 80mg/l 以上に達したところで、カオリナイトとモンモリロナイトとの間に平衡関係が成り立つ。

## 謝 辞

本研究を遂行するに当り終始御指導と御教示を賜った名古屋大学理学部北野康教授および京都大学防災研究所奥田節夫教授に対し深甚なる謝意を表します。また草稿の御批判を賜った京都大学防災研究所福尾義昭助教授ならびに試料採取に御援助を賜った同研究所小西利史氏にあわせて深甚なる謝意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 吉岡龍馬・奥田節夫：水質からみた亀の瀬地すべり地帯の粘土鉱物生産量の推定，京都大学防災研究所年報，第15号 B, 昭47. pp. 171-182.
- 2) 谷津栄寿：地すべりの分類について，地球科学，No. 76, 昭40. pp. 34-39.
- 3) 黒田和男：地すべりの地質的分类—とくに小出の三大分類に関連して—，地すべり，Vol. 9, No. 3, 昭48. 1, pp. 1-6.
- 4) 小出 博：日本の地すべり—その予知と対策—，東洋経済新報社，昭30. pp. 259.
- 5) 有泉 昌：地すべり地帯陸水の水質について，土木研究所報告，No. 123, 昭40. pp. 117-130.
- 6) 平山光衛：新潟県東頸城山地および魚沼山塊における陸水の水質，工業用水，No. 90, 昭41. pp. 21-34.
- 7) 高倉盛安・木沢 進・藤森一郎：富山県西部丘陵地すべり地帯における陸水の水質，工業用水，No. 163, 昭47. pp. 32-43.
- 8) Tardy, Y.: Characterization of the principal weathering types by the geochemistry of waters from some European and African crystalline massifs, Chem. Geol. Vol 7, 1971, pp. 253-271.
- 9) Garrels, R. M.: Genesis of some ground waters from igneous rocks, in Abelson, P. H. (ed.), Geochemistry, Vol. 2, 1967, John Wiley & Sons, pp. 405-420.