

地すべり地の陸水の水質

1 虫亀, 高倉地すべり

佐藤 修*

The chemical composition of ground water in landslide areas.

1 The Mushigame and Takakura areas in Niigata Prefecture

by

Osamu SATO

(Abstract)

This report describes water quality of ground waters and surface waters in Mushigame and Takakura landslides which occurred during melting of snow in 1980. Both landslides belong to the Tertiary deposits landslide.

The author determined the chemical composition of waters with special reference to weathering degree of rocks in both landslide areas. The electrolyte concentration of waters from new landslide area was 5-10 times as high as it from old landslide or immovable areas in Mushigame and Takakura. Sodium sulfate is the main component of electrolytes in the most waters from both landslides. In some ground waters, sampled from old landslide debris area, calcium and magnesium bicarbonates also are the main components as well as sodium sulfate. The waters from the boring holes in the central part of Mushigame landslide was uncommon waters, containing as the main component ferrous chloride. The high concentration of chloride ion in Mushigame landslide surface waters are due to mixing sodium sulfate type ground water with this uncommon water.

The water quality in landslide areas was correlated to the weathering degree of aquifer rocks. The relation between chemical composition and weathering stage of rock was summarized as follows. In first stage of weathering, sodium carbonate is a major component and sodium sulfate is a minor component. In active weathering stage, sodium sulfate is a major component and calcium carbonate is a minor component. In last stage, calcium carbonate becomes a major component.

いまえがき

地すべり地の地下水などの天然水の化学的性質は, しばしば電解質濃度が高く, 硫酸ナトリウムあるいは炭酸ナトリウムに富むなど, 我が国の平均的陸水とは異なっており(平山, 1966), 地すべり地帯の活

* 新潟大学積雪地域災害研究センター

発でしかも特異な化学風化を反映している。若干の研究者が新潟県下の地すべり地の地下水の特性について研究を発表しているが（牧等，1953，大和等，1959，平山，1966，中村等，1973，松崎等1976）地すべりと水質の関係についてはわからないことが多い。その理由の第1は，新潟県下において多数の地すべりが発生しているにもかかわらず，地すべり地の地下水の研究された例が少ないこと，第2は水質の調査がおこなわれた場合も，地すべり地の地形、地質、岩石の化学的性質等の資料と対比して研究されることが少なかったことによる。

本報は，新潟県下の地すべり地の地下水の水質と岩石風化状態との関係を明らかにする目的で始めた研究の第1報であり，昭和55年に新たに発生した虫亀と高倉の地すべり地の内外の天然水を採水し，調査、研究した経過の報告である。

Ⅱ 調 査 地 域

1 虫亀地すべり地

昭和55年4月9日，新潟県古志郡山古志村虫亀地内において地すべりが発生した（藤田等，1981）。虫亀地すべり地の基盤地質は，新第三系椎谷層で，礫岩（粗粒砂岩を狭む破碎化泥岩）からなる。地すべり頭部に崩壊型の地すべりが起こり，中央部では崩積土が土石流となって流れ，末端部では折からの多量の融雪水により泥流となったものと考えられている。

2 高倉地すべり地

昭和55年4月7日，新潟県西頸城郡能生町高倉地内において，地すべりが発生した。今回の地すべりが発生する前に高浜等（1978）によって表面地質，危険地域などについて研究された。今回の地すべりの状況については別に報告した（青木等，1981）。高浜等（1978）の研究によって地質の概要を記すと次のようである。「基盤地質は，新第三系名立層で，凝灰質砂岩と黒色頁岩より成る。これを被って，旧滑落崖の尾部に，安山岩の巨礫を含む砂礫層がほぼ水平に分布している。旧滑落崖斜面下方には崖すいが分布する。」

Ⅲ 採 水 お よ び 分 析 法

昭和55年7月25日，高倉地すべり地の地下水および表流水12点を採水した。

虫亀地すべり地の水は3回に渡って採水した。第1回（昭和55年4月26日），地すべりの17日後，なお残雪が各所にみられ，地すべり地内は危険で立入りが困難であったため，立入り可能な地域の湧水と表流水を採水した。第2回（同年5月6日），残雪は一部残存したが，地すべり地内に立入り可能となり，溜り水，表流水を採水した。第3回は同年11月26日で，地すべり防止工事のための調査用に掘られたボーリング孔から地下水の採水を行なった。ボーリング孔からの採水には，塩化ビニールパイプを用いた採水器を利用し，表面水のみを採水した。採水した水は500 mlポリエチレンビンに保存し，実験室にもちかえって分析を行った。分析に先だって，0.45 μmメンブランフィルターでろ過し，ろ液を分析に使用した。

分析方法，分析項目は次の通りである。

pH：現場では比色法，実験室ではガラス電極法

HCO₃⁻：BCPを指示薬とするアルカリ度を測定し，HCO₃⁻として計算した。

Ca²⁺，Mg²⁺：原子吸光法

Na⁺，K⁺：フレイム光度法

Cl^- : チオシアン酸水銀による比色法

SO_4^{2-} : 低濃度のものについては、トリウムモリンを用いる比色法、高濃度のものについては、ゼラチン塩化バリウムによる比濁法

SiO_2 : モリブデン黄法による比色法

NO_3^- : カドミウムの銅アマルガムカラムによって還元した後、GR試薬を用いる比色法。

IV 結果と考察

1 虫亀地すべり地の湧水、地下水、表流水の水質

虫亀地すべり地の湧水、地下水、表流水の分析結果を表-1に示した。水質のヘキサダイナグラムと採水地点を図-1に示した。

表-1 虫亀地すべり地の水質

Table-1 Chemical compositions of natural waters in Mushigame landslide area.

Sample No	pH	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	SiO_2	Date of sampling	Remarks
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm		
1	9.0	591	4.4	20.0	12.5	7.37	880	14.2	13.5	Apr. 26, 1980	Spring
2	8.9	370	3.5	17.1	8.7	3.99	636	43.4	7.6	26	Stream
3	8.5	143	2.8	14.3	8.7	1.41	258	34.4	7.1	26	Stream
4	8.7	2.6	0.3	0.5	0.2	0.08	nd	0.9	1.2	26	Stream
5	8.7	102	1.7	13.8	8.2	1.78	188	8.9	5.6	26	Pond
6	8.0	111	4.2	41.2	24.0	0.88	388	8.0	13.6	May. 6	Pond
7	9.3	342	3.5	13.5	8.7	5.83	430	47.7	7.2	6	Stream
8	9.1	11.4	0.8	4.8	2.4	0.30	23.6	7.3	8.4	6	Spring
9	8.5	18.4	0.9	5.3	2.5	0.40	26.4	10.4	14.3	6	Well
10	9.4	158	2.5	19.4	10.9	2.35	235	51.8	3.3	6	Stream
11	6.4	17.1	3.4	13.2	4.6	0.94	30.6	8.4	38.4	6	Stream
12	7.0	124	7.4	89.6	51.6	2.69	595	6.8		Nov. 19	Bore hole
13	6.9	574	4.1	38.2	9.0	9.50	743	97.9		19	Bore hole
14	6.1	205	10.8	122	74.6	1.88	851	12.0		19	Bore hole
15	7.9	518	7.0	48.3	30.6	6.73	1040	12.4		19	Stream
16	7.9	560	2.4	10.0	4.5	10.7	627	20.0		19	Bore hole
17	5.7	497	9.7	176	90.3	0	24.9	136		19	Bore hole
18	7.1	474	6.6	115	56.1	5.70	164	795		19	Bore hole
19	8.1	398	4.8	58.3	33.1	6.59	682	58.4		19	Stream
20	7.5	166	2.8	18.7	9.5	4.53	215	21.2		19	Bore hole
21	8.1	355	5.1	49.8	30.1	5.87	582	56.1		19	Stream
22	7.8	27.6	1.6	13.3	6.4	0.54	67.9	13.1		19	Stream
23	7.4	25.2	1.8	13.8	6.4	0.53	58.6	15.1		19	Well

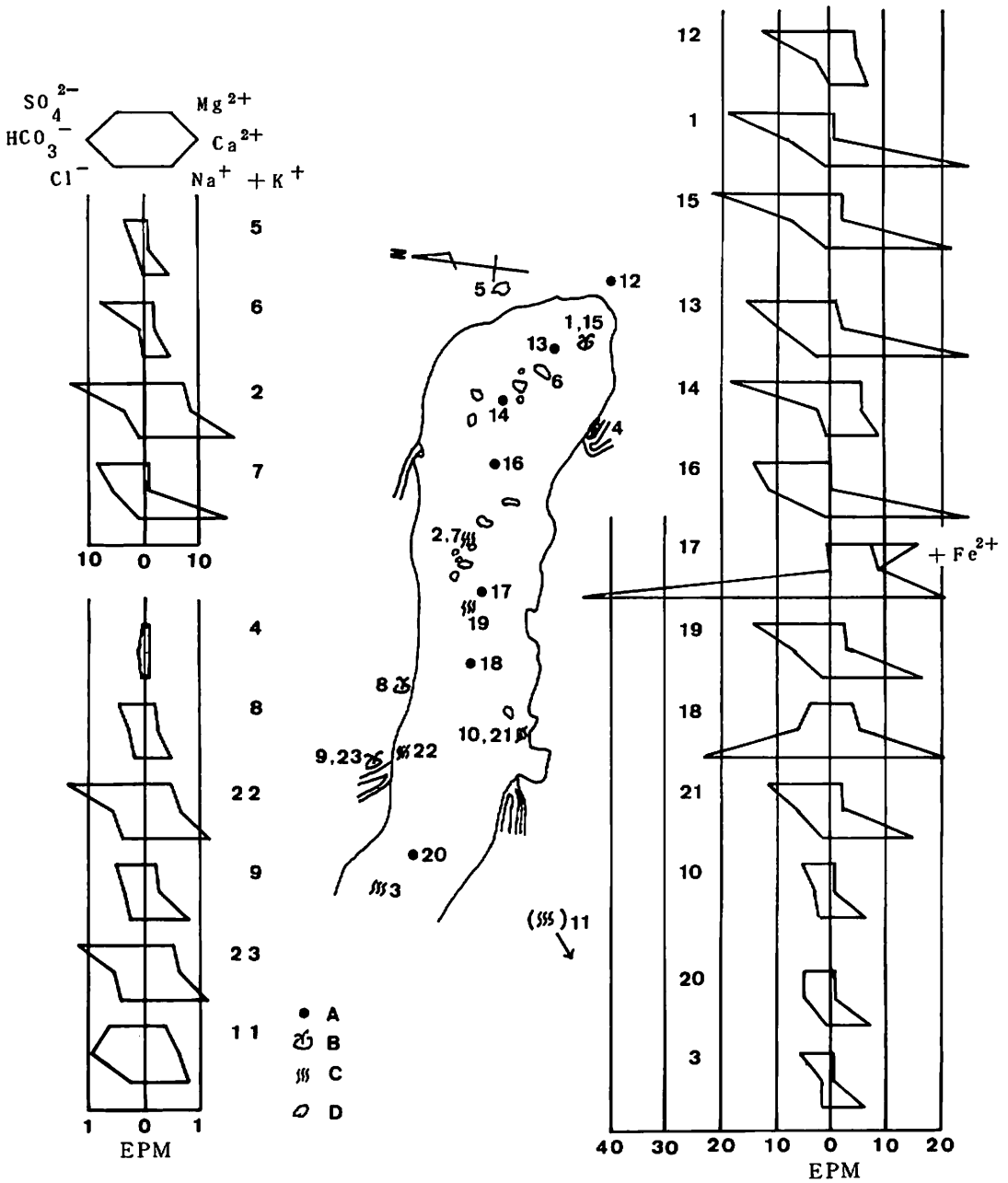


図-1 虫亀地すべり地の採水位置と水質のヘキサダイアグラム

A. ボーリング孔 B. 湧水 C. 表流水 D. 池

Fig.1 Sampling locations of waters in Mushigame landslide area and their hexadiagrams of water quality.

A. boring hole B. spring C. surface flow D. pond

4月26日採水の水について：滑落崖の下部からの湧水（試料1）は、硫酸ナトリウム、重炭酸ナトリウム等の電解質濃度の高い水であった。同じ時期の融雪水に由来する表流水（試料4）の塩類濃度は極めて低く、試料1の湧水は、地すべりの引き金とみなされる融雪水の浸透したものとは考え難い。地すべり地内、中央部の表流水（試料2）は、硫酸ナトリウムを主成分とする塩類濃度の高い水であるが、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- の濃度が高い点で試料1とは違った水である。地すべり地の末端部の表流水（試料3）は、試料1を融雪水で希釈した水のように見えるが、 Cl^- の割合が高い点で試料1とは異なる。この水の Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、濃度は試料2のそれらのイオン濃度の半分以下であるのに、 Cl^- 濃度はあまり変わっていない、試料2と3の間に Cl^- 濃度の高い水の供給が予想される。試料5は地すべり地の後背部の溜水である。この水は濃度が低い点を除けば試料1の水に類似しており、地下水と融雪水によって涵養されていることがうかがえる。

5月6日採水の水について：試料6は地すべり地内の凹地の溜水で、採水当時雪が多量に残っていた。硫酸ナトリウムを主成分とし、 Ca^{2+} と Mg^{2+} を比較的多量に含むが Cl^- は少ない。濃度が低いのは融雪水が多いためであろう。試料2とはほぼ同じ位置から採水した表流水、試料7は試料2とは異なり、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} の割合が小さく、 HCO_3^- の割合が高かった。 Cl^- の濃度が高い点では試料2に似ていた。下流部の表流水（試料10）は、先の地すべり末端部の試料3に似た水で、やはり Cl^- 濃度の高い水である。

地すべり地外の水として、養魚池に流れこむ横井戸の水（試料8）と、地すべり地の側方に残った水田に流入する湧水（試料9）を採水した。この2つの水はいずれもこれまでのにのべた水の5分の1以下の電解質濃度しかないのが最大の特徴である。

10月19日採水の水について：滑落崖の上部のボーリング孔から地下水の試料12を採水した。ボーリング孔の場所からさらに上部に、何条かの断裂がみとめられ、今回は不動であったと思われるこのボーリング孔（No1）の場所も、過去にすでに移動したことがある土地であることは明らかである。不動地である横井戸の水（試料8）や水田わきの湧水（試料9）に較べると、この水の塩類濃度は高い。アニオンは SO_4^{2-} が最も多く、次いで HCO_3^- が多い。カチオンは Na^+ が最も多いが、 $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$ の当量比は1より小さくなり、硫酸アルカリ土類型の水である。今回の地すべり地外の水は、雨水に由来したと思われる微量の Cl^- を無視すれば、いずれも硫酸アルカリ土類型である。滑落崖直下のボーリング孔の地下水、試料13は、硫酸・重炭酸ナトリウム型の水で、滑落崖下部の湧水、試料1と15に似ている。試料13よりも下部にあるボーリング孔（No3）の水、試料14は、試料13よりも、むしろ試料12に似た硫酸アルカリ土類型の水であった。4月に滑落崖の下部の湧水を採水したのと同じであるが、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} の割合が高くなっている。さらに下部のボーリング孔（No4）の水、試料16は、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} の少ない硫酸重炭酸ナトリウム型の水であり、試料1、13との類似性が高い。地すべり地中央部のボーリング孔（No6）の試料17は、アニオンが Cl^- のみで、カチオンとして Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} を含む特異な水質の水であった。採水時のpHは7.9であったが、ろ過後も水酸化第二鉄が生じ、しだいにpHは低下してゆき、pH3.65が記録された。したがって分析値中の Fe^{2+} の値は過少評価していることになる。50m程下部のボーリング孔（No7）の水も、試料18も塩化ナトリウムを主成分としている点で試料17と同じ系列の水であるが、中性で、 SO_4^{2-} や HCO_3^- を含み、 Fe^{2+} が認められなかったため、試料17の水に試料14、16のような水が混入し、 Fe^{2+} が除かれたと考えることができる。両ボーリング孔の間で採水した表流水、試料19は試料13に似た Cl^- 濃度が比較的高い硫酸・重炭酸ナトリウム型の水である。さらに下流の表流水、試料21は、試料19とほとんど同じ水である。この水の採水地点は、5月採水の試料10と同じ場所で採水した水で、水質もほぼ

じであるが、試料10の方が Cl^- の割合が高い。全体の濃度は10月の水の方が濃度が高いのは、5月がまだ融雪期であったのに対し、10月の採水時は比較的降水の少ない時期であったことによるのであろう。今回採水し得た最下部のボーリング孔の水、試料20は硫酸・重碳酸ナトリウム型の水で、 Cl^- 濃度も上流域の10 ppmよりは高いが、中央部の Cl^- 濃度の高いものよりは低く、上流域の水の混合したものと推定される。試料22の表流水は、試料8の採水点より50m程下流であるが、ほぼ同地点からの湧水が流れていると考えられる水である。濃度が高い点を除けば試料8と同じ水といえる。同様に試料9と同じ横井戸から採水した試料23も濃度の高い点を除けば同じ水といえる。

試料11は今回の地すべり地とは直接関係のない、山古志村の水道に使用されている表流水で、重碳酸アルカリ土類型の水であるが、当地の水には硫酸ナトリウムの割合が高いことを示している。

2 高倉地すべり地の表流水、地下水、湧水の分析結果

採水地点と各地点の水質のヘキサダイナグラムを図-2に示した。分析結果はすでに別報(青木等, 1981)*に報告したので、ここでは概略を要約する。

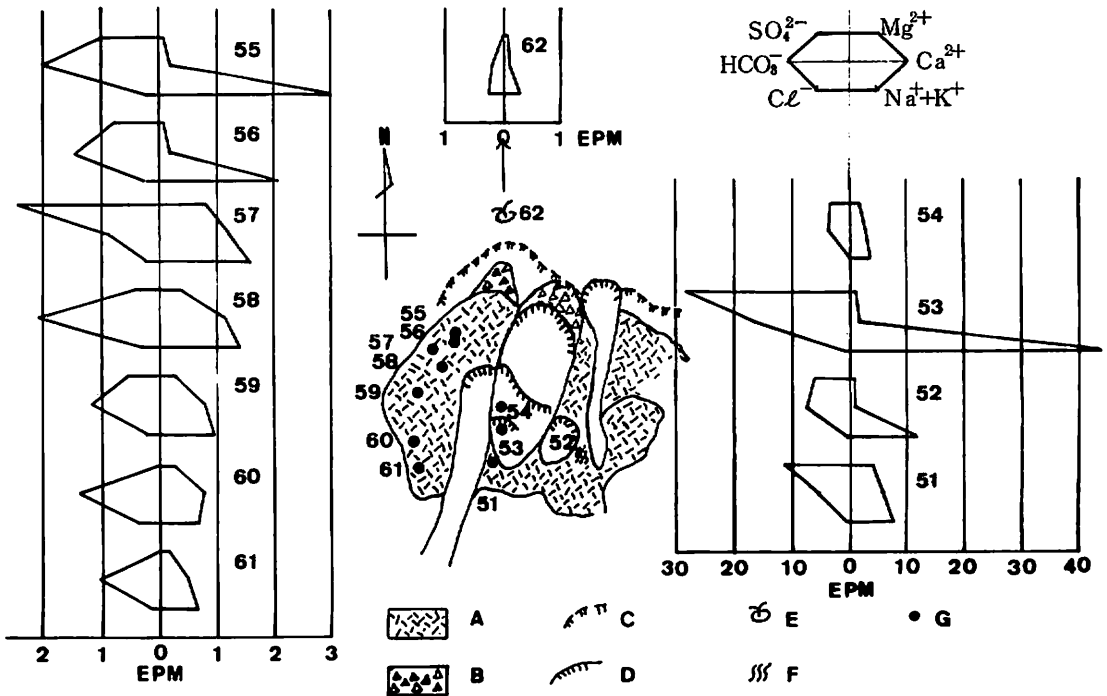


図-2 高倉地すべり地の採水位置と水質のヘキサダイナグラム

A. 旧崩積地 B. 崖すい C. 旧滑落崖 D. 新滑落崖 E. 湧水
F. 表流水 G. ボーリング孔

Fig.2 Sampling loations of waters in Takakura landslide area and hexadiagrams of water quality.

A. colluvial slope B. talus C. old scarp D. new scarp
E. spring F. surface water G. boring hole.

図2で試料51~54に対する濃度目盛は試料55~62の目盛の10倍であり、地すべり地内の水の塩類濃度がきわめて高いことがわかる。最も溶存成分の低い水は、崩壊のまったくない地すべり地の上部、山頂の湧

* 青木等(1981)に示した試料番号1~12は、本報告の51~62と対応しているものである。

水、試料62である。電気的には、 Na^+ と Cl^- はそれぞれ 0.29 epmと 0.26 epmではほぼ均合っており、 HCO_3^- と $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ で均合している。今回の地すべり地の地下水、旧崩土層中の地下水も Cl^- 濃度は 0.21 ~ 0.42 epm で山頂の湧水と大差なく、 Cl^- の大部分は降水に由来するものと考えられる。

この地すべり地の地下水（試料51, 53, 54）と表流水に共通な特徴はアニオンとして SO_4^{2-} の占める割合が高く、 HCO_3^- の占める割合も高いこと、最も主要なカチオンが Na^+ であることである。さらに興味深いのは、試料51, 52, 53, から 14.8, 29.9, 23.4 ppmの NO_3-N が検出されたことである。従来、地すべり地の地下水の水質の研究では窒素化合物が検討されることはほとんどなかったので、高濃度の硝酸の存在が高倉地すべりに個有の現象なのか、地すべり地に普遍的現象なのか、今後の研究課題である。

旧崩土のボーリング孔から得た試料55, 58, 59, 60, 61, および簡易水道の水源の水、試料57に共通する特徴は、やはり Na^+ が主要なカチオンとなっていることである。試料60を除けば Na^+ が最も主要なカチオン種となっている。本調査域の唯一の横穴ボーリング孔の試料55と、同じ位置の縦穴ボーリング孔の試料56は、極めて類似の水質を示している。これらのボーリング孔は基岩の頁岩にまで達していると思われ、それ故、両者が共通の水質形成の機構を持っていたと考えられる。これらの水と、地すべり地内の表流水、試料52が類似の水質を示していることからこの表流水の起源が頁岩地帯にあったことを推定させる。アニオンでは、簡易水道水源の試料57を除けば、 HCO_3^- が最も多いのが注目される。試料58~61は重碳酸アルカリ土類型の水である。試料55~59には 0.5 ~ 1 epmの SO_4^{2-} が含まれているが、試料60, 61には SO_4^{2-} がない。試料60と61は現在水田として利用されている場所であり、水田土壌での活発な微生物活動により SO_4^{2-} が還元除去されたものと考えられる。

3 虫亀、高倉地すべり地の水質の比較

虫亀地すべりは、椎谷層内で起こり、高倉地すべりは名立層内で発生している。これらの地質の違い、さらにそれらの岩石の風化の程度の違いを反映して、両地すべり地の水質が異なっているのは当然である。それにもかかわらず、両地すべり地の水質にはいくつかの共通点がある。

両地すべり地の水質を比較するために、同一トリリニアダイアグラム上に両地すべり地の水の分析結果を図示した（図3）。

図1, 2のヘキサダイアグラムと、図3のトリリニアダイアグラムによって両地すべりの水質を比較すると2, 3の共通点と相違点がみられる。共通点の第1は地すべり地内の水では、カチオンの中で Na^+ の占める割合が高いこと、第2は、 SO_4^{2-} の多いこと、第3は、地すべり地内で電解質濃度が高いことである。これらの特徴は、黒色泥岩地帯の地すべり地の天然水を研究した平山（1966）、粕等（1971）、安藤（1963）、大和等（1959）も指摘している。相違点の第1は、図3からうかがえるように、白丸で示された高倉地すべり地の水では、 $\text{HCO}_3^- (+\text{NO}_3^-)$ の割合が高いことである。第2は、高倉地すべり地ではアルカリ土類のカチオンに占める割合の高いものが多いことである。牧等（1953）、中村等（1973）、松崎等（1976）も新潟県下の地すべり地の天然水を研究し、重碳酸アルカリ土類を主成分とする水が分布していることを報告している。地すべり地には Na^+ を主要なカチオンとする硫酸アルカリ型の水と、 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ を主要なカチオンとする重碳酸アルカリ土類型の水が存在するようである。 Cl^- を主要アニオンとする水が虫亀地すべり地にみられたことは極めて興味深いことであるが、化石海水に由来するとされる水が松之山の地すべり地でみられた（牧等、1953）ことを除けば Cl^- の多い水の例はなく、 Cl^- を主要アニオンとする水については今後の検討が必要である。

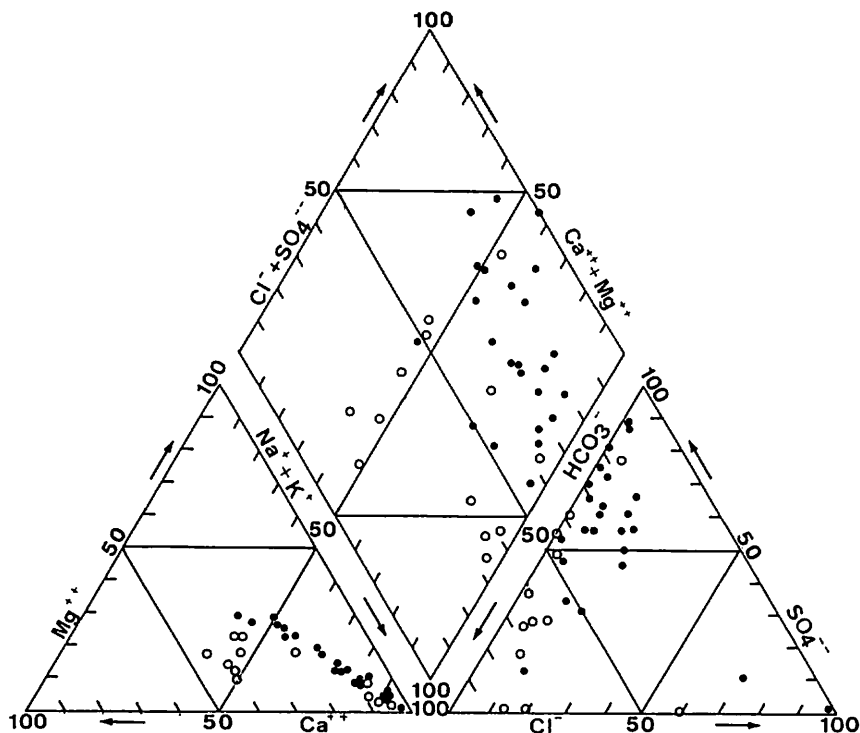


図-3 虫亀, 高倉地すべり地の水のトリリニアダイアグラム
 Fig.3 Trilinear diagram of waters from Mushigame and Takakura landslide areas.

4 地すべり地の水質形成過程

中村等(1973)は, 崩壊地の水質は重碳酸カルシウムが多いことが特徴であり, HCO_3^- と Ca^{2+} のモル比は2:1であると報告している。すなわち, この結果は, 崩壊地では, 風化の主役は HCO_3^- であり, 風化によって溶出してくるカチオンが Ca^{2+} であることを示している。本研究の対象とした地すべり地では SO_4^{2-} が主要なイオンであるので, 直ちに, 彼等の意見に賛同するわけにはいかないが, これらの地すべり地でも HCO_3^- による風化が occurring ことは確実であり, HCO_3^- と Ca^{2+} の関係を検討しておくことは意義のあることである。 HCO_3^- と Ca^{2+} との関係を図-4に示した。図中の斜線は HCO_3^- と Ca^{2+} のモル比が2:1となる場合を示している。 Ca^{2+} が10 ppm以下の場合多くは地すべり地外の水であるが, この直線に沿っている。 Ca^{2+} 濃度の高い, 地すべり地内の水の場合には, 多くの点は直線の上側に分布し, Ca^{2+} 以外のイオン, ここでは Na^+ によって HCO_3^- が電氣的に中和されていることを示している。電解質濃度の低い, 風化が

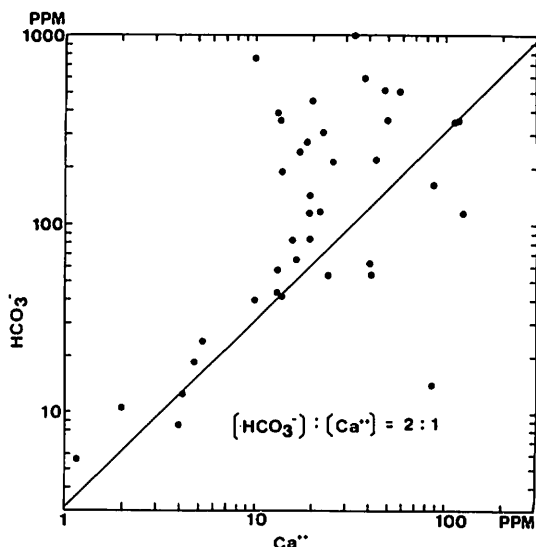


図-4 地すべり地の水の重碳酸イオン(ppm)とカルシウムイオン(ppm)の関係
 Fig.4 Plots of HCO_3^- (ppm) versus Ca^{2+} (ppm) for waters from landslide areas.

比較的緩慢な場所では HCO_3^- により Ca^{2+} が溶出されるが、 Ca^{2+} の多い風化の活発な場所では、岩石中に Na^+ が存在していることを意味している。

虫亀地すべりでも、高倉地すべりでも、ごく近くに掘られたボーリング孔内の水の水質に大きな差がある。同じ基岩の風化過程で溶出してきた物質が、水質を規定していると考えたのでは説明出来ない。地すべり地では、多様な風化段階の岩石が分布していると考えざるを得ない。この観点から見ると渡（1971）の地すべり運動形態による型分類が目ざされる。彼は地すべりを運動形態により幼年型-青年型-壮年型、老年型に分類したが、一つの地すべり地についても老年→幼年型と下部から上部へ連続したものが存在することを認めている。虫亀も、高倉も、過去に地すべりのあった場所であり、同一地すべり地に型を異にする部分があっても不思議ではない。本報では地すべり地の各部分での水質の差異を、風化段階を異にする岩石と水の反応という見地から考察を試みることにした。

虫亀地すべり地頭部の滑落崖は、ボーリング孔（No 1）の位置の説明で述べたように、幼年型地すべり地形が再滑動したもので、青年型に属する。したがってボーリング孔（No 1）は幼年型の形態の場所の水ということになり、試料12, 1, 15がこの場所の水と考えられる。これより下部のボーリング孔の水は、破碎泥岩に達することを目標としてボーリングが行われているため、上層の風化の進んだ土層を通ってきた水と共に、基岩の破碎泥岩に由来する水が混入していると考えられる。

高倉の地すべり地について、今回の地すべりの前に高浜等（1978）によっておこなわれた地質調査によると、今回の地すべりは、旧地すべり崩土が再地すべりした、新しい時期の崩積土、いいかえれば、よく風化した崩積土と、岩すべり岩塊が再地すべりを起こしたことになる。試料51, 53, 54は地すべり崩積土が再地すべりした場所のボーリング孔から得た試料であり、風化の進んだ泥岩と比較的未風化な泥岩に由来する水とが混合しているのであろう。試料52は岩すべり岩塊地帯からの湧水に由来する表流水である。いずれも電解質濃度の高い水である。試料53を除けば虫亀地すべり頭部の水に比較すれば、アニオンに占める HCO_3^- の割合が高い。試料55は横孔ボーリング孔であり、試料56は同じ位置の縦孔ボーリング孔の水である。いずれも基盤の頁岩層の中の地下水質を反映している可能性がある。試料52と、これらの水が水質的に類似していることも重碳酸ナトリウム型の水が新鮮な頁岩に由来する水であると考えて矛盾がない。重碳酸ナトリウム+硫酸ナトリウムを主成分とし濃度が中程度の水が新鮮な頁岩の風化段階、地すべり前の段階に対応するのであろう。旧崩積土地帯の下部の水では SO_4^{2-} の割合が減り、重碳酸アルカリ土類型の水に変わってゆく。この下部の水は風化の進んだ頁岩、地すべりの形態からは壮年期の地帯の水質を示すものと考えられる。

以上2つの地すべり地の水質から推察すると、地すべり地の水のカチオンは、地すべり地の老齢化に従って、 Na^+ 型から $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 型に変わるものと思われる。平山（1967）は新潟県東頸城郡牧村神谷、および同村棚広金地すべりから得た黒色頁岩の新鮮な試料と風化した試料を分析し、岩石の移動列は $\text{Na} > \text{Mg} = \text{Ca} > \text{K} > \text{Si} > \text{Fe} = \text{Al}$ であることを見出している。この結果も新鮮な泥岩から風化によってまず Na^+ に富んだ水が生成することを示している。松之山町の地すべり地の水質の研究（牧, 1953, 中村等, 1973, 松崎等, 1976）によれば、重碳酸アルカリ土類に分類される水が多く、この地すべり地が古くからの地すべりで風化の進んだ岩石がゆっくり移動する型の地すべりであることを思わせる。しかしながら、同地の1962年の地すべりの引き金となった、兎口の新しい崩壊地の地下水は重碳酸ナトリウムであった。兎口はこの時はじめて崩壊したのであり、新鮮な泥岩からは重碳酸ナトリウム型の水が溶出するとの考えを支持する結果である。

堆積岩の風化によるカチオンの溶出についてのアルカリからアルカリ土類への変化は、堆積岩中の一次鉱物の風化順序を示すと考えるよりは、風化によって生じた、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 等が二次鉱物中に含まれていた Na^+ とイオン交換をすることによるものと考えた方が理解しやすい。

両地すべり地の水は SO_4^{2-} の起源についてはパイライトの酸化を仮定する説がある(安藤, 1963)。虫亀の滑落崖から採取したオリブ灰色泥岩中の有色鉱物中にX線回折によってパイライトを認めた。虫亀地すべり地の水の SO_4^{2-} の供給源がパイライトである可能性は高い。しかし、二つの点で地下でパイライトから高濃度の SO_4^{2-} を供給することは困難である。第1は、地下に浸透する前に大気中の酸素によって飽和され、ありそうもないことだが、その酸素がすべてパイライトの酸化に利用されたとしても、観測されたような高濃度の SO_4^{2-} は供給できない。第2は、酸素があってもパイライトと酸素の反応は遅い。泥岩を水にひたしても SO_4^{2-} の生成速度は遅いもので、地すべり地の水の SO_4^{2-} 濃度に達するには、よほど長い時間が必要と考えられるが、一方地すべり地の地下水の流動の速度は速く、無機反応で SO_4^{2-} が生成されるに十分な時間があるとは思えない。

これらの困難を除きうる環境は次のような場所であろう。パイライトが十分に存在し、かつ大気からの酸素が常に供給される通気性のよい構造をもった泥岩帯で、硫黄酸化細菌、または鉄酸化細菌が生育している場所である。このような場所はおそらく、一次地すべりが起こり、岩石が破碎された所であろうと予想される。泥岩中のパイライトが活発に風化されている場所はまだみつかっていないが、地すべり地の上部の亀裂に1つの可能性があるように思われる。

多量の SO_4^{2-} の生成が上に述べたように破碎泥炭帯で生ずるとすれば、破碎の進んでいない、渡(1971)の地すべり前の段階に相当する岩石の風化は、進行が遅く、風化の主役となるアニオンは、土壤に由来する CO_2 と、パイライトの空気酸化によって生じた SO_4^{2-} であろうと考えられる。試料55, 56はこのような過程で生じた水である可能性がある。

SO_4^{2-} とならんで、 HCO_3^- が5 ppm以上にも達する水が多い。20m以浅の自由地下水の水質としては、これらの水は HCO_3^- が極めて多い水に属するであろう。自由地下水の HCO_3^- の起源は、土壤の微生物活動により生産される CO_2 に帰せられるのが一般的である。地すべり地の水についても、土壤微生物の活動を無視できないが、これとは別に、堆積物自身に由来する CO_2 を考慮する必要がある。本研究の対象とした椎谷、名立層等は、有機物が多く、天然ガスの母岩となり得る堆積物であり、 HCO_3^- が帯水層で生成された CO_2 、あるいはさらに深い場所で生成されて、浅い所に登ってきた CO_2 に由来するものである可能性がある。

アニオンはもちろん、カチオンについても地すべり地の水の水質が決定される機構についてはわからないことが多いが、今回の調査、これまでの議論を要約すると、図-5のようにまとめられる。

地下水の水質と、地すべり地の歴史的变化の対応は、推論の域をでるものではないが、渡(1971)も主張しているように、このような地すべり地の発展の歴史を正確に把握することは地すべりの予知、防止工事の設計に重要な役割をはたすことに

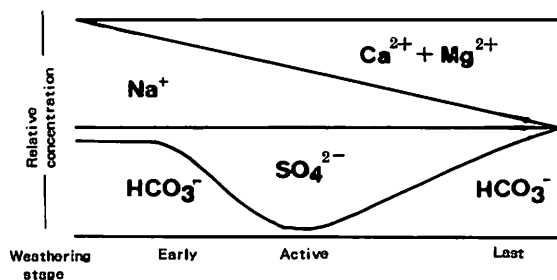


図-5 地すべり地の岩石の風化過程における水質変化の模式図

Fig.5 Schematic diagram of chemical composition change during the weathering of rocks in landslide area.

なろう。

ま と め

1. 虫亀地すべり地内の水は、電解質濃度の高い、硫酸・重炭酸ナトリウムを主成分とする水が多く、地すべり地外では、成分は若干 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ の寄与率が高い硫酸・重炭酸ナトリウム型であるが、電解質濃度が低い水が分布した。
2. 虫亀地すべり地中央部のボーリング孔から、 Cl^- と Fe^{2+} を多量に含む特異な水が得られた。この地すべり地表面流水の水の Cl^- 濃度が高いのは、この水の影響と考えられた。
3. 高倉地すべり地内の水も、電解質濃度の高い、硫酸・重炭酸ナトリウム型の水であった。今回の地すべり地外の旧崩土内の水は、重炭酸アルカリ土型の性格の強い、硫酸・重炭酸ナトリウム型の水で、電解質濃度は地すべり地内に較べて低い水であった。
4. 地すべり地の運動形態と水質の比較から、アニオンについて未風化泥岩の風化は炭酸ガスによって始まり、破碎された泥岩では、パイライトの酸化による SO_4^{2-} が重要となり、風化が進んでパイライトがなくなった崩積土で再び CO_2 が重要になることが推定された。
5. 両地すべり地内の水では、 Na^+ が主要なカチオンであった。風化の進んだ崩積土では $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ の割合が高くなる傾向が認められ、堆積岩の風化の初期にNaが溶出され、つづいて $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ が溶出されることが推定された。

謝 辞

本研究を遂行するに当たり、常に御指導賜わった、災害研の青木滋教授、藤田至則教授、現地調査、ボーリング調査に御助力を賜わった興和地下建設株式会社、横山好雄氏、現地の調査で、貴重な御意見を賜わった高野技術事務所、高野秀夫博士、防災研究協会、湊元光春博士、現地調査に協力していただいた災害研、鈴木幸治技官に深く感謝いたします。

文 献

- 青木 滋・佐藤 修・鈴木幸治(1981)：高倉地すべりについて、新潟大学積雪地域災害研究センター研究年報、第3巻。
安藤 武(1963)：地すべりにおける泥岩の風化機構、応用地質学会誌、4、3-23。
大和栄次郎・安藤 武・太田 一(1959)：新潟県東頸城郡地すべり調査報告、地質調査所月報、10、451-472。
粕 武・横田節哉(1971)：第三系地すべり地帯における水質の特徴、—北海道常盤台地区の例—、地質調査所月報、22、305-317。
高浜信行・青木 滋・小林巖雄・鈴木幸治(1978)：新潟県西頸城郡能生町高倉地すべり地の地質、新潟大学理学部地盤災害研究施設年報、第4号、47-52。
中村誠佑・北野 康・飯田 修・片岡 順(1973)：地すべり地帯の地下水の水質—新潟県東野名および湯本地域—、地球化学、6、10-20。
藤田至則(1981)：私信
平山光衛(1966)：新潟県東頸城郡山地および魚沼山塊における陸水の水質、工業用水、第90号、21-34。
平山光衛(1967)：堆積岩の風化に際する主要元素の相対的移動度、柴田秀賢教授退官記念論文集、P 305-307。
牧 隆正・富田利保(1953)：松之山地すべり地帯陸水の水質特性について、地すべり、1、3号、1-7。
松崎 健・飯田 修(1976)：地すべり地帯の水質とその統計的分析について、—新潟県下の4地区の例から—、地

すべり, 12, 19-27.

渡 正亮(1971):地すべりの型と対策. 地すべり, 8, 1-5.