

虫亀地すべり地の地下水のアニオンの起源
—地すべり地の陸水の水質3—

佐藤 修*・青木 滋*・鈴木幸治*

Origin of anions in groundwater from the Mushigame landslide area

by

Osamu SATŌ, Shigeru AOKI and Kōji SUZUKI

(Abstract)

This paper traces the origin of anions of groundwaters in Mushigame landslide area. The groundwaters abound in such anions as Cl^- , HCO_3^- and SO_4^{--} . It is important to understand the behavior of these anions in landslide area because SO_4^{--} and HCO_3^- are main agents of chemical weathering of rock-forming minerals and Cl^- is an indicator of marinogenic water, volcanic activity or human activity.

The groundwaters were collected at a depth of 5 meters from ground surface daily and from 10, 15, 20, 25 and 27.5m depth layer in bore-hole near landslide scarp and analyzed for Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{--} and I^- . There are found three type waters, sulfate type containing SO_4^{--} , Ca^{++} , and Mg^{++} , chloride type waters containing Cl^- , HCO_3^- , I^- and Na^+ and their mixtures. From the distribution of ions, it is concluded that chloride type waters originate from deep layer while the sulfate type waters come from surface soil.

The air in the bore-hole contained 2-7% CO_2 and the gas separated from bottom water contained 5-7% CO_2 . These observation suggests that bubbles from bottom water rise to surface and disperse into atmosphere. The CO_2 liberated from water should be accumulated in the free space of bore-hole. The CO_2 gas should dissolve in surface water in contact with low CO_2 partial pressure water and dissociate into HCO_3^- reacting with minerals.

The mudstones collected from Mushigame, Nigorisawa and Kamibanba landslide areas contained framboidal pyrite which was easily oxidized and produced sulfate ions by hydrogen peroxide. These also produced sulfate ions by air oxidation. The pyrite-oxidation must be accelerated by iron and sulfur-oxidizing bacteria detected in Mushigame and Nigorisawa mudstones.

From these observations and experiments, we concluded that

- (1) chloride ions originated from the bottom water similar to oil field water,
- (2) hydrogencarbonate ions were supplied from HCO_3^- and CO_2 dissolving in the deep water,
and
- (3) sulfate ions were produced from pyrite in mudstone by chemical and microbiological oxidation.

I ま え が き

地すべり発生後、半年以内の地すべり地には、塩類濃度が著しく高い水がみられるが（佐藤，1981，1982），その原因については不明な点が多い。塩類を構成する主要イオンは， Ca^{++} 、 Mg^{++} 、 Na^{+} 、 HCO_3^- 、 SO_4^{--} 、 Cl^- である。

カチオンは一次鉱物の風化（Kitano, Nakamura, 1983, 狛，横田，1971），あるいはイオン交換〔佐藤，1982〕によって供給されると推定されている。カチオンが多量に溶解するためには，多量のアニオンの供給が必要となる。地すべり地における主要アニオンである HCO_3^- の生成に必要な CO_2 は，火山活動（Kitano, Nakamura, 1983），有機物の酸化分解（大和田，安藤，太田，1959），堆積岩中の有機物の還元環境における分解（狛，横田，1971）等により供給されると考えられているが確証はない。第2の主要アニオンは， SO_4^{--} であり，黄鉄鉱の酸化により生成する硫酸が， SO_4^{--} の主要な源と考えられている（Kitano, Nakamura, 1983, 狛，横田，1971, 大和田，安藤，太田，1959）。第三の Cl^- については，降水，大気によって運ばれると推定する量より多い値が，分析結果に散見されるが，牧，富田（1953）が化石塩水からの塩素の供給を指摘した例を除けば，その起源についての知見は乏しい。地すべり地に係わる水の役割を理解するために，アニオンの挙動の解明が必須である。

本報は，三種のアニオンのすべてを多量に含有する水が存在する虫亀地すべり地において，これらアニオンの挙動を明らかにすることを目的として，地下水質の経時変化，垂直変化，泥岩の硫酸生成能，ボーリング孔内空気中の CO_2 含量等を調査研究した結果である。

なお，本研究は文部省科学研究費（自然災害特別研究）による研究の一部である。

II 調査地域および試料

調査は，新潟県古志郡山古志村虫亀において，1980年4月9日に発生した地すべりの滑落崖下において行った。この地すべりの地形地質等については藤田等（1981）が報告している。地下水，表流水の水質は佐藤（1981）が報告している。

虫亀地すべり地滑落崖下の崩土に穿たれた，ボーリング孔内の地下水を調査対象とした。採水には，Instrumentation Speciality社の1680型自動採水器を用い，地表より5 m下に設置した採水口より，6時間ごとに125mlずつ4回揚水し，一本のプラスチック瓶に集めて一試料とした。本報告では，1982年5月19日より6月9日までの22試料について分析をおこなった。

地下水水質の垂直変化を調査する目的で，同じボーリング孔内の水をナルゲンの手動真空ポンプ，ビニールパイプ，吸引瓶を用いて，浅層から順に，10，15，20，25，27.5m層の水500mlを採取した。

硫酸生成速度の測定に使用した泥岩は，虫亀の他，濁沢，上馬場の各地すべりの滑落崖から採取した。泥岩を風乾した後，乳鉢で粉碎して，2 mmの篩を通して分析試料とした。

III 方 法

1. 水の化学分析法

既報（佐藤，1981）に記した方法に従った。ヨウ化イオンは，東亜電波工業kkのイオンメーター I M-20E型と電極I-125を用い，JIS K0101の方法に従って測定した。

2. 泥岩の易酸化性硫黄の測定

泥岩試料1gを100mlビーカーにとり、水冷しながら、 H_2O_2 (30%) 10mlを加えた。初期の激しい反応が終了した後、ホットプレートで加熱して酸化させた。反応液をろ過した後、ろ液について比濁法(吉田, 暮目, 1981)により硫酸イオンを定量した。

3. 含水泥岩の硫酸生成量の測定

試料5gをポリエチレン瓶(50ml容)にとり、3mlの蒸留水を加えて、ねじ栓をして室温に静置し、一定期間後水を加えて水量50gとし、充分攪拌した後ろ過し、ろ液について水溶性の硫酸イオンを比濁法により測定した。

4. ボーリング孔内空気の CO_2 および深層水溶存ガスの CO_2 測定

北川式真空ガス検知器(光明理化学工業kk)に検知管をつけないで、ゴム管(内径4mm, 長さ5m)をつけて、先端をボーリング孔内測定深度におろし、100mlの空気を吸引してゴム管内の空気を試料空気と置換する。その後、検知管(SH型)をつけて先端にゴム管をつけて、常法に従って測定深度の CO_2 濃度を測定した。

深層水を真空吸引法で採水すると、多量のガスが分離するのが観察される。このガスを水上で捕集し、ガス検知器により CO_2 の検出をおこなった。

5. 鉄・イオウ細菌の検出

濁沢、虫亀の泥岩から、酸化鉄で褐色に汚染されたpH4以下の部分を取り、鉄・イオウ細菌検出の試料とした。対照として虫亀のpH8以上の灰色部分を使用した。鉄・イオウ細菌検出のための培地は NH_4Cl 1g, KH_2PO_4 0.5g, $MgSO_4$ 0.2gをpH1.5の塩酸100mlに溶解した栄養塩液15mlに、硫酸第一鉄を15g加え、水と塩酸を加えてpH2.5水量1.5ℓとした溶液である。

培地に上記の泥岩を加え、37°Cで70日間培養した。

IV 結 果

1. 地下5m深の地下水質の経時変化

観測期間は1982年5月19日から6月9日まで22日間で、融雪水、梅雨の降水の影響がない時期である。調査期間中に二度、導電率の低下を観測した(図-1, 2)。導電率の低い水が現われた5月23-24日, 6月5-6日の値は2.21~2.43ms/cmであった。5月28日から6月3日の間の導電率は低い時の2倍以上の値(5.09~5.13ms/cm)を記録した。

期間中のアニオン(図-1)とカチオン(図-2)の変動を導電率の変動と対比させて、イオンを導電率と平行して変動する群, Cl^- , HCO_3^- , I^- , Na^+ と、逆に変動する群, SO_4^{2-} , Ca^{++} , Mg^{++} および相関の小さい K^+ とに分類した。導電率と主要なアニオン(図-3), カチオン(図-4)の濃度との相関図によれば、この関係は一層明瞭である。 Na^+ , Cl^- , HCO_3^- の濃度は導電率の増大に比例して直線的に増加し、 SO_4^{2-} , Ca^{++} , Mg^{++} の濃度は導電率と反比例している。

以上の結果は、表層水に、 $NaCl$, $NaHCO_3$ を主成分とする塩類濃度の高い水と、 Ca^{++} , Mg^{++} , SO_4^{2-} を主成分とする比較的塩類濃度の低い水、二種の性質を異にする水が出現することを示している。沃化物イオンは量的には少なく、導電率に対する寄与は無視しうる程度であるが、塩化物イオンと平行して増減しており高導電率の水を特徴づける微量元素である。

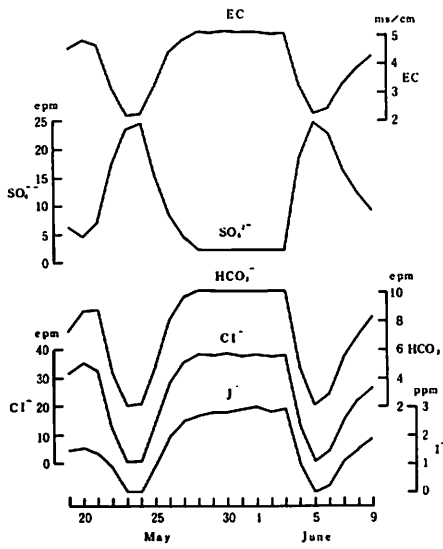


図-1 虫亀地すべり地地下5mの地下水のアニオン組成変化
 Fig.1 Variation of anion concentrations in groundwaters at a depth of 5 meters in bore-hole.

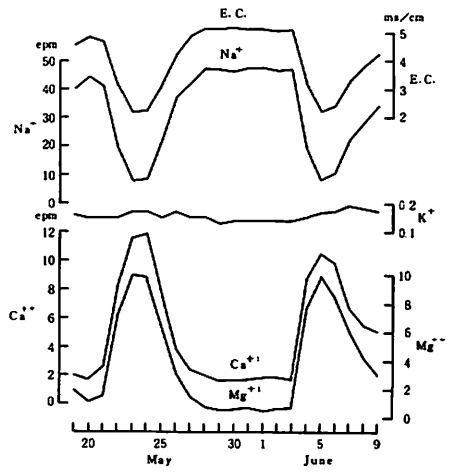


図-2 虫亀地すべり地地下5mの地下水のカチオン組成変化
 Fig.2 Variation of cation concentrations in groundwaters at a depth of 5 meters in bore-hole.

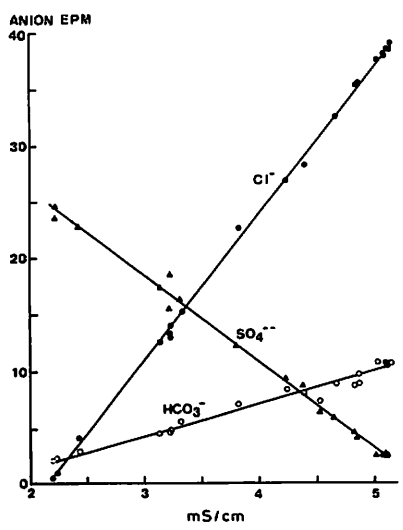


図-3 虫亀地すべり地地下水のアニオンと導電率
 Fig.3 Correlations between electroconductivity and anion concentrations of groundwaters.

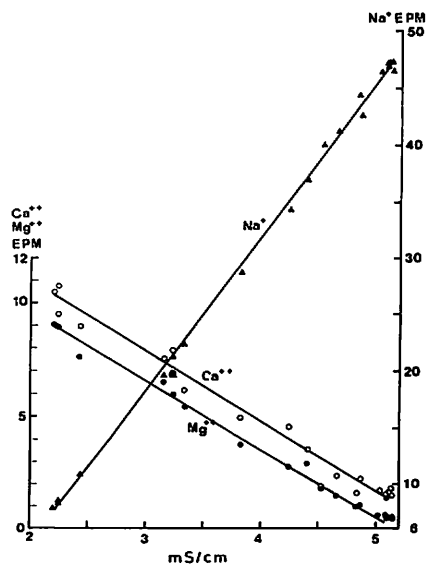


図-4 虫亀地すべり地地下水のカチオン濃度と導電率
 Fig.4 Correlations between electroconductivity and cation concentrations of groundwaters.

2. ボーリング孔内水の水質の垂直変化

表層5 mに比較的濃度の低い水が存在した6月28日、ボーリング孔内の水を層別に採取して分析を行った。結果は各イオンの分布図として図-5に示した。各曲線によってかこまれた空間が、空間中に記した各イオンの存在量を表わしている。黒丸を付した曲線と縦軸によりかこまれた空間は、それぞれ全カチオン、全アニオンに相当する。

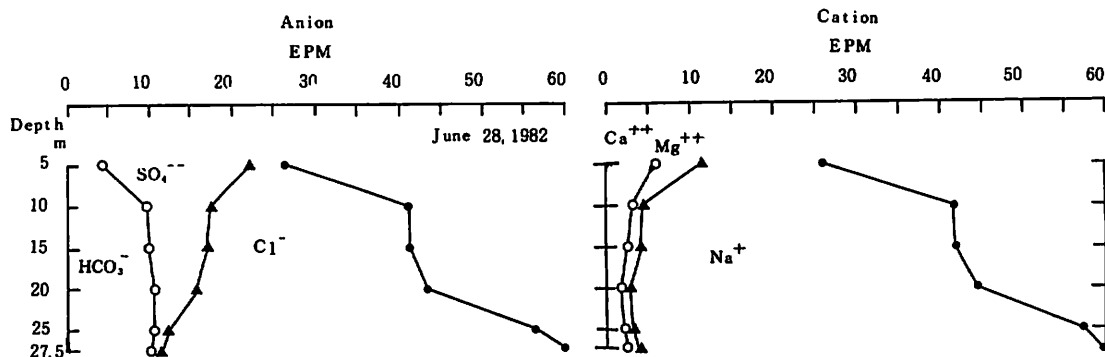
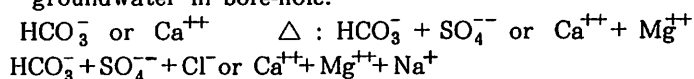


図-5 ボーリング孔内水のアニオン、カチオンの垂直分布

Fig.5 Vertical distribution of anions and cations of groundwater in bore-hole.



全イオン濃度は5 m層が最低で、27.5 m層で最高値を示し、10~25 m層は両者の中間の値である。イオン組成の変動は上に述べた経時変化に似て、 SO_4^{--} 、 Ca^{++} 、 Mg^{++} はイオン濃度の低い浅層に多量に存在し、イオン濃度の高い深層に向かって減少の傾向を示し、 Cl^- 、 HCO_3^- 、 Na^+ は逆に深層に多く、表層に向かって減少する。

しかしながら、 HCO_3^- と Cl^- の分布は完全に同じでない。 Cl^- は5 m層で最低濃度を示し、5~10 mと20~25 mの層では深層に向かって急激に濃度が増加するのに対し、 HCO_3^- 濃度は5~10 m層では急に減少するが、10~27.5 m層の減少は少なく、かつ、なだらかである。 Na^+ も Cl^- の分布とは若干異なる。 Na と Cl の当量比は5 mから27.5 m層に向かって5.2、1.5、1.2、1.1と深層に向うに従って小さくなり、 Cl^- の少ない水では Na^+ の割合が高くなる傾向があり、 Na^+ の分布は深層水の拡散のみによって規定されるのではない。一方、 I^-/Cl^- は $1.6\sim 1.9 \times 10^{-3}$ で、層位による一定の傾向はなく、 I^- は Cl^- と完全に同じ移動をしている。

3. 泥岩の硫酸生成能

灰色泥岩の過酸化水素処理により生成する硫酸イオン量は、濁沢、上馬場、虫亀のいずれも泥岩中に水溶成で含まれていた硫酸イオンの10倍以上であった(表-1)。濁沢の褐色に風化した泥岩、上馬場の崩積土、水田下層土からも水溶性 SO_4^{--} より多くのイオンが確認され易酸化性の硫黄化合物が存在していることを示している。

虫亀の泥岩から分離した重鉍物のX線回折による分析により黄鉄鉱が認められた。すべての泥岩から水簸により集められた金属光沢のある黒色粒状の物質は、過酸化水素と激しく反応して硫酸を生成した。易酸化性硫黄の大部分は黄鉄鉱である。

黄鉄鉱の大気酸素による酸化速度の概略を知るために、湿潤泥岩の酸化実験を行った。53日間の硫

表-1 泥岩の過酸化水素酸化によって生成する硫酸
Table.1 Sulfuric acid produced from mud stone by H₂O₂oxidation.

Sample		SO ₄ ²⁻ ppm water soluble	SO ₄ ²⁻ ppm produced by oxidation
濁沢 Nigorisawa	gray mudstone	1,200	14,000
	broun mudstone	60>	490
	debris	60>	300>
上馬場 Kamibanba	gray mudstone	2,300	29,000
	broun mudstone	560	2,400
	debris	550	3,100
虫亀 Mushigame	gray mudstone	1,200	12,000

酸イオンの増加とpHの変化は図-6のごとくであった。初期のpHが3.4であった上馬場の泥岩では、53日間に2,000ppm程の硫酸が生成し、その間にpHはわずかに低下した。水田下層土のpHは4.4から4.2に低下し、その間に500ppmのSO₄²⁻が生成した。濁沢泥岩ではpHが6.8から4.9へ著しい低下がみられ1,500ppmのSO₄²⁻が生成した。初期のpHの最も高い虫亀の泥岩は、pHの低下は小さく、硫酸生成量も泥岩では最小の500ppmであった。硫酸の生成速度は、可酸化性の硫黄含量と泥岩のpHに依存するらしい。

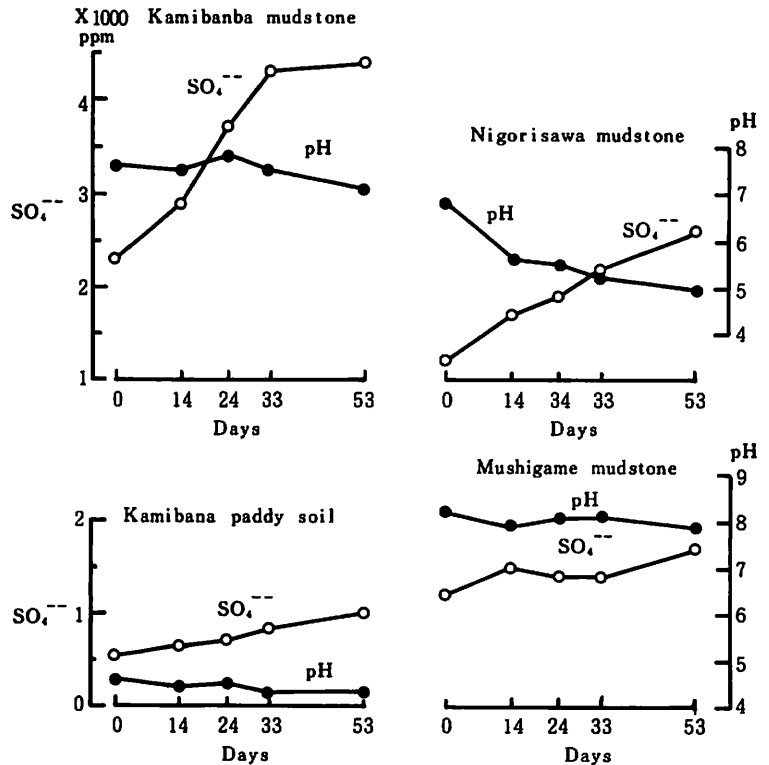


図-6 泥岩からの硫酸イオンの生成
Fig.6 Production of sulfate ions from mudstone.

4. 泥岩中の鉄・イオウ細菌の存在

培地に泥岩の酸性部分を添加した場合には、70日後に培地は、酸化鉄コロイドにより褐色に着色したのに対し、灰色泥岩の高pH部分を添加した培地と無添加の培地では、添加培地に比べれば無視しうる程少量の鉄コロイドがみられるにすぎなかった。濁沢、虫亀の泥岩の酸性の部分にはpH2.5で第一鉄イオンを酸化する能力、鉄酸化細菌の存在が予想される(加村, 1981)。

5. ボーリング孔内空気のCO₂および深層水の遊離CO₂

地下水からのCO₂の放出の有無を検討する目的で、虫亀地すべりの滑落崖下の3本のボーリング孔の空気のCO₂濃度を測定した。測定位置と測定結果は図-7のようである。調査時期、ボーリング孔、深度により差異はあるが、通常の大気から予想されるCO₂に比べれば数十～数百倍に相当する、2～7%のCO₂が確認できた。ボーリング孔の口は開放されておりCO₂の一部は外部に出てゆくことを考慮すれば、大量のCO₂が水から供給されていることになる。

Boring Hole NO.	CO ₂ %	Depth m	Date
1	2.3	4	Aug. 20, 1982
	3.5	4	Sep. 14,
2	3.5	3	Aug. 20,
	7.0	2.5	Sep. 14,
3	4.0	4	Sep. 14,



図-7 ボーリング孔内空気測定地点とCO₂濃度

Fig.7 Sampling location of air in bore-hole and its CO₂ concentration.

深層地下水の遊離のCO₂の含有と大気への放出を確認する目的で、現場において簡単な測定を行った。真空吸引法により深層水を揚水する時に分離するガスには5～7%のCO₂が検出された。

V 考 察

表層地下水の水質の経時変化、地下水質の垂直変化の観測結果から、調査地の地下水は硫酸アルカリ土類型と、塩化物-炭酸水素ナトリウム型の二種の水と、その混合物が分布している。虫亀地すべり地の表流水、湧水の水質（佐藤，1981）は、これら二種の水と降水、融雪水の混合によって説明できる。したがって、虫亀地すべり地の水質を支配する因子の解明には、地下5m深の地下水の水質を規定する因子を明らかにする必要がある。カチオンは岩石の風化（KITANO, NAKAMURA, 1983）やイオン交換（佐藤，1982）によって供給されるのであろうが、カチオンの溶出に働くアニオンの由来を検討することが地すべり地の水の役割の理解に不可欠である。

1. 塩化物イオン

虫亀の地下水のNaCl濃度の高い水は、地下の深い所に分布しており、人間活動によって表層から混入したものではない。調査地より高所には人家はなく、この点からも人間活動によるCl⁻の供給は否定される。

地下深部からの塩化物の供給は火山活動、温泉により供給されるか、化石塩水によるものであろう。当地にはCl⁻を供給するような火山活動は知られていない。一方、この地域はガス・石油の産地であり、ガス・石油の附随水は高濃度のNaClを含むことが知られており（新潟県，1977）、当地の水が化石塩水である可能性がある。

虫亀地すべり地の地下水のCl⁻濃度は、新潟県下の油田附随水のCl⁻濃度960～22,000ppmに比較

すれば低濃度である。高 Cl^- の水に特徴的にみられる I^- の含量は、河川水の値 $0.3\sim 5.5\text{ppb}$ （山県，1977）に比べれば著しく高く， I^-/Cl^- は 2.2×10^{-3} であり，石油塩水の I^-/Cl^- の $1.9\times 10^{-4}\sim 1.4\times 10^{-2}$ に相当している。ボーリング孔の深層の水から分離したガスに CO_2 濃度が高く，かつ，ガス臭がすることも考慮すれば虫亀地すべり地の Cl^- はガス・石油塩水に由来すると結論し得る。

従来，各地の地すべり地で行われた水質調査の結果には，同一地域で相対的に塩化物イオン濃度が高い例が若干含まれていることが多い。しかしながら， Cl^- 濃度の高い試料の出現頻度が低く，他の試料の Cl^- 含量との差が小さいことなどが原因してか， Cl^- の由来が論じられることは稀であった。これまで報告された最も塩化物イオン濃度の高い湧水は $3,700\text{ppm}$ の Cl^- を含む，新潟県松之山町地すべり地の兎口から得られた水で，油田地帯特有の化石塩水とされている（牧，富田，1953）。東頸城郡のガス油田地帯の地すべり地において，塩化物イオン 112ppm の水が知られているが，化石塩水とは結論されていない（大和田，安藤，太田，1959）。北海道の第三系地すべり地の水にも 92ppm の Cl^- を含む例が報告されているが， Cl^- のイオン吸着比が小さいことから，岩石の接触によって富化したものと考えられている（狛，横田19）。大和田等，狛等の主張も化石塩水の可能性を完全に否定したのではなく Cl^- の濃度が化石塩水より低いこと，他のイオンとの比が化石塩水と一致しないことを理由にしているにすぎない。

これらの問題点は，化石塩水に特徴的なハロゲン元素の研究により克服しえよう。さらに地すべり地の湧水，地下水の水質の研究を行う上で重要なのは，試料の採取時期である。虫亀の地すべり発生後調査ボーリングが行われた段階では，高濃度の Cl^- を検出し得た場所でも，集水井や排水横穴ボーリングが施工された後では， Cl^- がほとんど検出できなくなる経験をしており，このことは地すべり発生直後の調査の重要性を示唆している。濁沢や上馬場の地すべり地でも，ボーリングが行われた直後には高濃度 Cl^- を検出したが，その後の変化追跡する必要がある。以上の議論から，ただちに第三系地すべり地の多量の Cl^- をすべて海水由来と断定はできないが，今後の調査で化石塩水を検出できる可能性は高い。

2. 炭酸水素イオン

水質の垂直変化，経時変化の結果によれば， HCO_3^- は Cl^- と同じ群にまとめられ， Cl^- と同じ起源と考えられる。しかしながら， HCO_3^- の垂直分布は， Cl^- とは同じではなく， $10\sim 20\text{m}$ 層へは Cl^- より早く移動してくるようみえる。両イオンが同じ水に由来するとすれば， HCO_3^- のみが早く浅層に移動する機構が存在しなければならない。

深層水には真空吸引法で揚水した時にガス化する成分が含まれており，その中に CO_2 が含まれているのだから，ボーリング孔内に達した NaCl 型の水に気温の上昇，気圧，静水圧，間隙水圧の低下が生じた場合，その水から CO_2 が気泡となって大気中に放出される可能性がある。放出された CO_2 は，内径 4cm ，長さ数 m のビニル管の内に送り出されることになるが，この中の空気は外部大気と容易に混合するとは考え難い。ボーリング孔内の空気に CO_2 が供給され，外の大気との混合も不完全であれば必然的に管内の空気の CO_2 の濃度は高くなるはずである。管内空気の CO_2 の測定結果は大気より CO_2 濃度が高かったから管内には水から CO_2 濃度が供給されたことになる。泡の上昇の過程で泡の CO_2 分圧より CO_2 分圧の低い水に泡が接すれば，泡の CO_2 の一部は水に再び溶解するはずであり，溶解した炭酸ガスは周辺の岩石と反応して HCO_3^- となるのであろう。このような過程で HCO_3^- が Cl^- より早く浅層に移動したと考えられる。

ボーリング孔と違って、現実の帯水層は固体が密に詰まっているからCO⁻の移動は容易ではないが、Cl⁻よりHCO₃⁻が早く移動する原因としては、CO₂のガス化による移動が最も可能性がある。

これまでに調査された地すべり地において、HCO₃⁻はCO₂による岩石の風化の過程で生じたとする点では一致しているが、CO₂の由来は様々な主張がある。狛, 横田 (1971) は、還元環境で地球化学的に生成したCO₂を想定しており、大和田, 安藤, 太田 (1959) は泥岩中の有機物の酸化分解を推定している。長野県鬼無里の地すべり地を研究したKitano, Nakamura (1983) は、この地に火山活動があるとの報告にもとずき、火山活動によるCO₂の供給を予想している。虫亀の地すべりのCO₂は、ガス・油田塩水由来であるから、生成環境としては、狛等の還元環境でのCO₂生成と類似していることになる。以上の諸説はそれぞれの環境で、充分考えうる過程であるから、CO₂の供給源はCl⁻よりも多様であると考えらるべきであろうが、Cl⁻について議論したように化石塩水起源のCO₂の寄与はもっと注目されてよい。

3. 硫酸イオン

地下水の浅い部分に分布する電解質濃度の低い水にSO₄⁻が多いから、SO₄⁻は地すべり地の表層で生成することは確かである。調査したボーリング孔には27.5mまで硫酸イオンが認められたが、図7の1のボーリング孔では硫酸イオン1 ppm以下の水を確認した。還元環境を経てきたと予想されるNaCl型の水はSO₄⁻を含まないはずであるから、深層の水にはSO₄⁻がないと考える方が合理的である。

虫亀地すべり地の泥岩には、空気により容易に酸化される微粒の黄鉄鉱が含まれており、酸性条件下で黄鉄鉱の酸化を促進する鉄細菌も存在しているから、空気の酸素が進入する表層で、部分的に酸性になった泥岩の一部で活発な硫酸の生成があるものと予想できる。

これまで引用した諸論文も、SO₄⁻の起源については一致して黄鉄鉱の酸化をあげている。狛, 横田 (1971) は、表流水、湧水では、炭酸水素アルカリの水から硫酸アルカリ型の水に変わったと考えられる水が存在することを指摘している。この指摘は、本研究の硫酸が地表近くで生成されるとする結論と矛盾しない。硫酸の生成速度、特に細菌の役割についての検討は、不完全なものであり、今後この点を追求する必要がある。

本報では、地下水表層の導電率の低い水の出現、消失、NaCl型の水の表層への上昇の機構には言及しなかったがその後の水質変動、降水との関係等と合わせて別に報告する予定である。

カチオン組成の決定機構については、泥岩の一次、二次鉱物組成、イオン交換等検討すべき点が多々あり、今後の研究の進展が期待される。

VI ま と め

1. 虫亀地すべり地の地下水の水質分析により、浅層に分布するSO₄⁻、Ca⁺⁺、Mg⁺⁺を主成分とする水と、深層に分布するCl⁻、HCO₃⁻、Na⁺を主成分とする水、およびその混合物が存在することを明らかにした。

2. 塩化物イオンは、深層に分布するI に富み、遊離のCO₂を含む化石塩水起源である。

3. 炭酸水素イオンは、Cl⁻と同じく主に化石塩水に由来するが、ガス状となって移動するCO₂に由来するものもあり、Cl⁻とは分布が異なる。

4. 硫酸イオンは、泥岩に含まれる黄鉄鉱の酸化によって、地表から供給される。黄鉄鉱の酸化には鉄細菌が関与している。

参 考 文 献

- 大和田栄次郎・安藤 武・太田 一 (1959) : 新潟県東頸城郡地すべり調査報告, 地調月報, 10, 451-473.
- 加村崇雄 (1981) : 山間地の強酸性土壌と鉄・イオウ細菌, 微生物と資源 5, 34-39.
- KITANO, Y. and S. NAKAMURA (1983) : Chemical Composition of Natural Waters in the Kinasa Landslide Area, Jap.J.Limnol., 44, (2), 132-138.
- 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, 地調月報, 22, (6), 305-317.
- 佐々木信夫 (1978) : 新第三系に由来する酸性硫酸塩土壌, ベドロジスト, 22, 2-11.
- 佐藤 修 (1981) : 地すべり地の陸水の水質 1, 虫亀, 高倉地すべり, 新潟大災害研年報, 3, 47-58.
- 佐藤 修 (1982) : 地すべり地の陸水の水質 2, 濁沢, 上馬場地すべり, 新潟大災害研年報, 4, 77-85.
- 新潟県 (1977) : 新潟県地質図説明書, 茅原一也他編, 新潟県.
- 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), 1-7.
- 藤田至則・茅原一也・青木 滋・鈴木幸治 (1981) : 新潟県古志郡山古志村における虫亀地すべりの形態とその形成過程, 新潟大災害研年報, 3, 1-22.
- 山県 登 (1977) : 微量元素, 一環境科学特論一, p241, 産業図書, 東京.
- 吉田仁志・蓑目清一郎 (1981) : 水の分析, 日本分析化学会北海道支部編, 178-179, 化学同人, 京都