

地すべり地の陸水の水質

2 濁沢・上馬場地すべり

佐藤 修*

The chemical composition of ground water in landslide areas. 2. The Nigorisawa and Kamibaba areas in Niigata Prefecture.

by

Osamu SATO

(Abstract)

This report deals with the water quality of ground and surface waters and the exchangeable cations of mudstones and soils sampled from the landslide areas, which slid in Nigorisawa, Nagaoka, and Kamibaba, Arai, during snowy season in 1980 — 1981.

The waters were analyzed for Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , and Cl^- . Cation exchange capacity (CEC) and amounts of exchangeable cations of the mudstones and soils were determined by using the modified SCHOLLENBERGER method.

The electrolyte concentration is high in some ground waters from boreholes and spring, which located inside the landslide areas. Their major components are sodium and chloride ions. They originate from ground water similar to the brine of oil and gas fields widely distributing in the Tertiary system in Niigata prefecture. The Na^+/Cl^- ratios are unity in a few samples but are more than one in many samples. The electric charges of the excess sodium are compensated by them of bicarbonate and sulfate ions. This means that a part of sodium derived from weathering of mudstone.

The CEC of samples collected from both research areas is 26—32 meq/100 g soil. Base saturation of them are 93—100% in Nigorisawa and 70—73 % in Kamibaba. The major exchangeable cations are Ca^{2+} and Mg^{2+} and monovalent cations, Na^+ and K^+ are 2—3 % in Nigorisawa and 3—10 % in Kamibaba. By using Gapon equation and cation composition data of waters, the mono-divalent ratios are calculated at 0.06—0.2 for Nigorisawa ground waters and 0.01—0.02 for Nigorisawa surface waters and 0.02—0.01 for Kamibaba ground waters. The ratios calculated from exchangeable cations are 0.02—0.04 for Nigorisawa mudstones and 0.03—0.1 for Kamibaba mudstones. It was concluded that Nigorisawa samples were equilibrium with the surface waters and Kamibaba samples were with ground water, comparing with the values obtained by two cal-

*新潟大学積雪地域災害研究センター

culatation ways. These results show that a part of sodium ions are supplied by the exchangeable cations of the mudstones.

Ⅰ はじめに

地すべり発生機構の解明には、風化岩石の力学的性質、物質移動の現象面からの研究のみならず、岩石の風化様式、風化速度等の研究が必要である。岩石の風化過程の解明には、残留している岩石の風化の程度、様式を研究するとともに、反応の結果、水に溶解する物質の研究が重要となる。本報は前報（佐藤，1981）に続いて、水に溶解している成分を明らかにする目的で地すべり地の水質を調査するとともに、地すべり地の岩石、土の塩基交換容量、交換性塩基の組成を検討した結果である。

Ⅱ 調査地域と資料

昭和55～56年の冬季に、新潟県下は豪雪にみまわれ、各地で地すべり災害が発生した。本研究の対象は、人家に被害の出た大きな地すべり、昭和55年12月30日発生した、濁沢地すべり（新潟県長岡市濁沢町）と、昭和56年1月25日に発生した、上馬場地すべり（新井市上馬場遅屋敷）である（図-1）。地すべり災害の概況、地質、地形を藤田等（1981）が報告している。

濁沢地すべり地から、地下水、表流水、湧水、溜水を、上馬場地すべり地において、地下水を採取した。採取位置を図-2、3上に黒丸で表示する。採水方法、分析のための保存、処理法は前報に記した。

泥岩、土は、滑落崖およびその周辺で採集し、ビニール袋に入れて実験室に運んだ。採取位置を図-2、3上に三角で示す。試料を、風乾後、磁製の乳鉢で砕いて2mmの篩を通して、塩基交換容量の測定に供した。試料の色、pH等を表-1に示す。

Ⅲ 分析法

水の分析法は前報に記した方法に従った。

泥岩、土のpHは、試料重量の2.5倍の純水を加え、ガラス電極法により測定した。

塩基交換容量は、セミマイクロSCHÖLLENBERGER法（蔵本等，1975）に従って測定した。アンモニウムイオンの定量は、アンモニア電極（東亜電波KK，AE-235型）を用いる電極法により測定した。

交換性カチオンとして、酢酸アンモニウム浸出液中の Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ を原子吸光光度法で測定した。塩基飽和度は、水溶性のイオンをBOLT（1976）の方法によって求め、N酢酸アンモニウム浸出

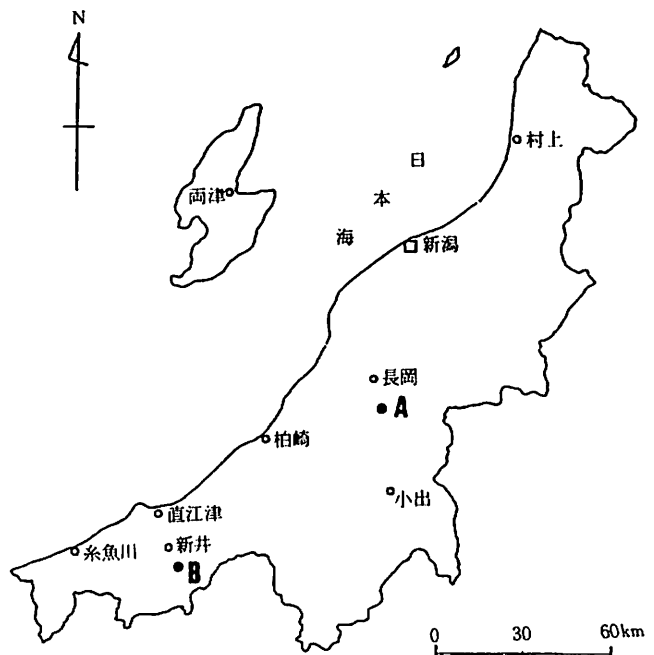


図-1 濁沢、上馬場地すべり位置図
Fig.1 Location of Nigorisawa landslide (A) and Kamibanba landslide (B).

表-1 泥岩、土試料の性質
Table.1 Properties of Mud stone and soil samples.

| | | pH | 色 |
|-------|-------------|-----|-------|
| 濁 沢 | 滑 落 崖 (泥 岩) | 6.8 | 暗 灰 色 |
| | 同 上 (泥 岩) | 6.0 | 褐 色 |
| | 崩 積 土 (泥 岩) | 5.8 | 褐 色 |
| 上 馬 場 | 滑 落 崖 (泥 岩) | 7.6 | 灰 褐 色 |
| | 同 上 (泥 岩) | 4.3 | 褐 色 |
| | 水田下層土 (泥 岩) | 4.6 | 褐 色 |

液中のカチオンから、水溶性カチオンを引くことにより計算した。

IV 結 果

地すべり地の各採水地点の水質をヘキサダイアグラムにして、図-2, 3に、水の分析値を表-2に示す。
電解質濃度：濁沢地すべり地内のボーリング孔から得た地下水 (N 4, N 5), 地すべり地中央部の湧水 (N 3) の電解質濃度は高く、地すべり地外に起源をもつ谷水 (N 2), 養鯉場の用水 (N 6, 7),

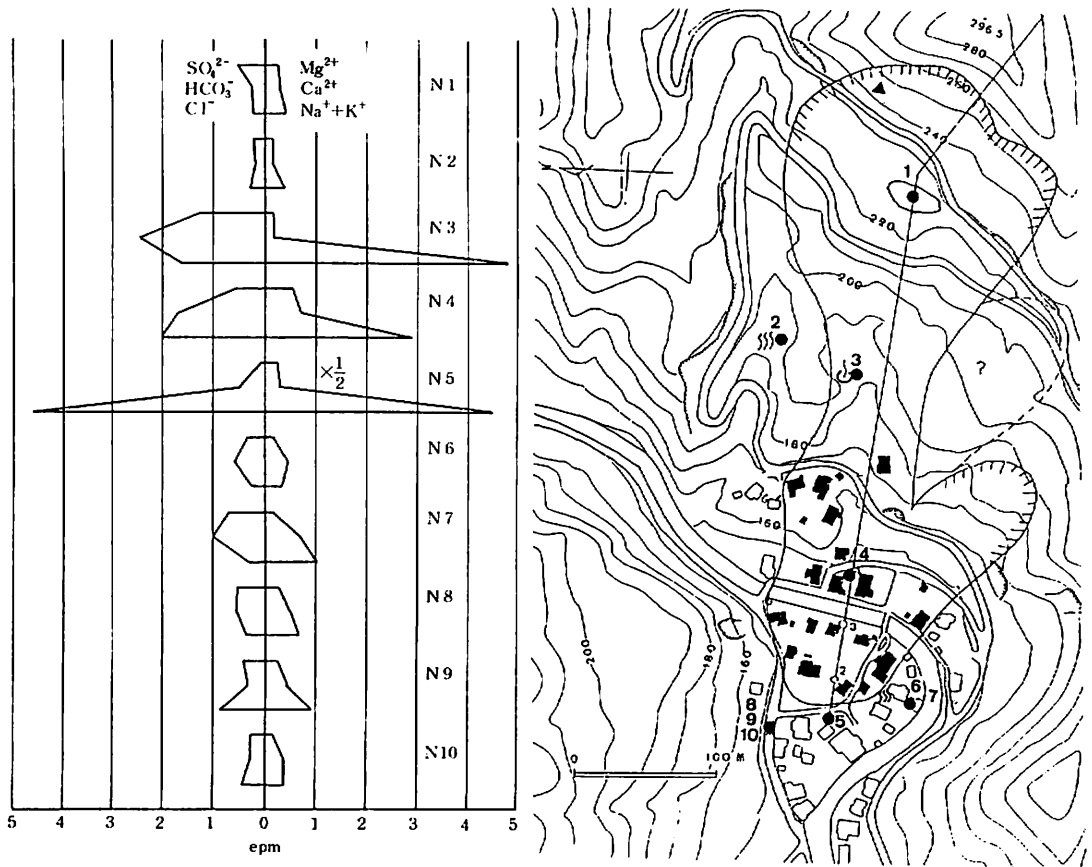


図-2 濁沢地すべり地の試料採取点と水質のヘキサダイアグラム
Fig.2 Sampling locations of waters in Nigorisawa landslide area and their hexadiagrams of water quality.

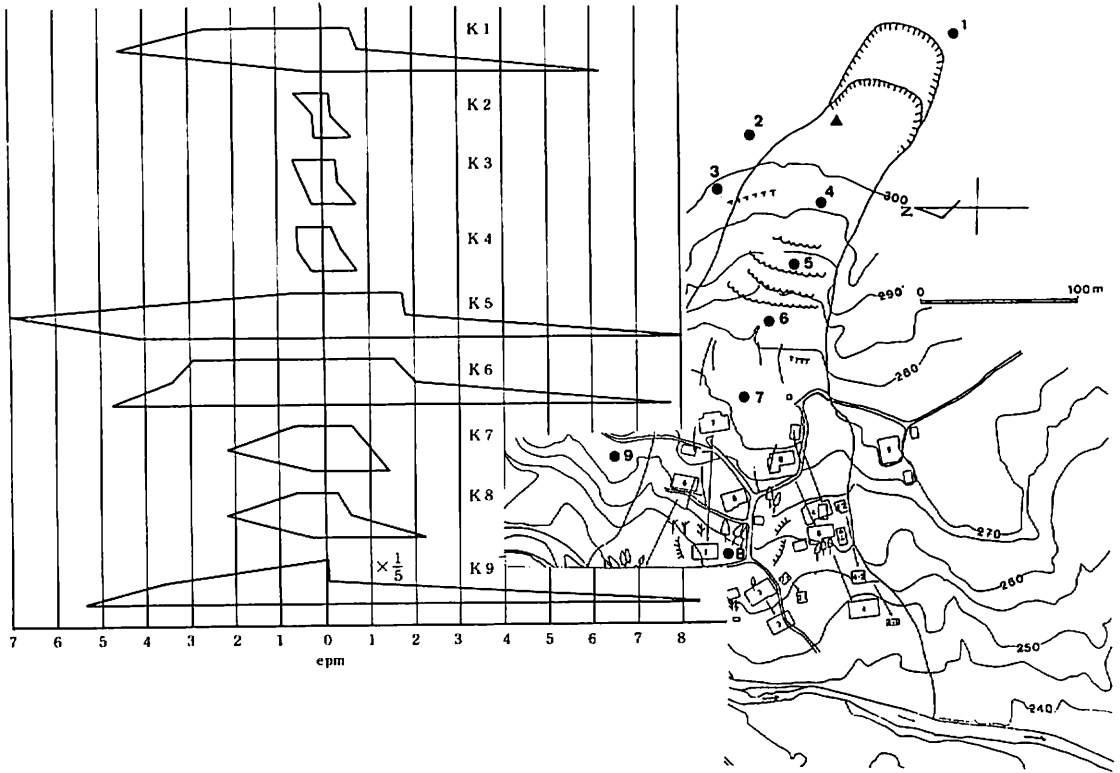


図-3 上馬場地すべり地の試料採取点と水質のヘキサダイアグラム
 Fig.3 Sampling locations of waters in Kamibanba landslide area and their hexadiagrams of water quality.

表-2 濁沢および上馬場地すべり地の水質
 Table.2 Chemical compositions of natural waters from Nigorisawa and Kamibanba landslide area.

| | pH | 導電率 μs/cm | HCO ₃ ⁻ ppm | SO ₄ ⁻ ppm | Cl ⁻ ppm | Na ⁺ ppm | K ⁺ ppm | Ca ⁺⁺ ppm | Mg ⁺⁺ ppm | Date of sampling | Remarks |
|------------|------|--------------|--------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|-----------|
| Nigorisawa | | | | | | | | | | | |
| N 1 | 8.6 | 105 | 13.4 | 24.9 | 7.1 | 9.0 | 1.9 | 5.7 | 2.7 | Jun. 17, 1981 | pond |
| N 2 | 7.5 | 72 | 9.8 | 9.8 | 8.8 | 7.5 | 1.1 | 3.0 | 1.6 | 17 | stream |
| N 3 | 8.6 | 535 | 141 | 59.3 | 57.5 | 109 | 3.0 | 3.5 | 1.7 | 17 | spring |
| N 4 | 8.5 | 420 | 103 | 27.0 | 72.0 | 64.5 | 3.8 | 14.3 | 6.7 | 17 | Bore hole |
| N 5 | 7.9 | 1,010 | 57.4 | 4.5 | 326 | 20.3 | 7.6 | 12.3 | 5.9 | Feb. 14 | Bore hole |
| N 6 | 9.8 | 116 | 32.3 | 13.7 | 6.6 | 6.7 | 2.0 | 8.9 | 2.6 | Jan. 29 | well |
| N 7 | 10.0 | 260 | 59.8 | 32.3 | 9.9 | 21.0 | 4.5 | 14.4 | 1.7 | 29 | well |
| N 8 | 9.8 | 160 | 33.6 | 23.3 | 12.6 | 15.1 | 1.1 | 9.4 | 3.1 | 29 | River |
| N 9 | 7.5 | 166 | 19.5 | 20.8 | 30.6 | 18.2 | 5.9 | 8.8 | 3.0 | Feb. 14 | River |
| N 10 | 6.9 | 105 | 15.8 | 12.4 | 15.0 | 8.0 | 1.5 | 7.5 | 2.0 | Jan. 17 | River |
| Kamibanba | | | | | | | | | | | |
| K 1 | 8.8 | 740 | 280 | 126 | 11.7 | 143 | 1.6 | 15.0 | 7.2 | Jun. 13, 1981 | Bore hole |
| K 2 | 7.6 | 120 | 10.0 | 30.4 | 5.2 | 14.5 | 1.2 | 4.0 | 1.1 | 13 | Bore hole |
| K 3 | 8.0 | 150 | 30.5 | 31.5 | 8.6 | 17.2 | 1.7 | 7.1 | 3.5 | 13 | Bore hole |
| K 4 | 7.6 | 150 | 34.2 | 27.9 | 8.9 | 17.1 | 1.3 | 8.0 | 2.4 | 13 | Bore hole |
| K 5 | 7.8 | 840 | 424 | 29.7 | 148 | 18.2 | 6.0 | 35.8 | 21.0 | 13 | Bore hole |
| K 6 | 7.8 | 1,180 | 206 | 140 | 167 | 166 | 21.5 | 40.5 | 19.1 | 13 | Bore hole |
| K 7 | 8.0 | 344 | 131 | 32.1 | 8.9 | 30.0 | 4.5 | 20.7 | 7.7 | 13 | Bore hole |
| K 8 | 8.3 | 316 | 134 | 30.6 | 9.7 | 50.0 | 2.4 | 11.4 | 3.6 | 13 | Bore hole |
| K 9 | 9.5 | 4,100 | 1,070 | 2.07 | 950 | 960 | 15.4 | 8.8 | 4.3 | 13 | Bore hole |

太田川の河川水 (N 8, 9, 10) では低い。同地の滑落崖の下にあり、魚、水草の生育する古い溜池の水の電解質濃度は、地すべり地内の水であるにもかかわらず低い値を示していた。

上馬場地すべり地の不動地 (K 1) 中央部 (K 5, 6), 不動地の水田 (K 9) のボーリング孔から採取した地下水の電解質濃度は高く、不動地 (K 2, 3) と、それらの同じ高度に位置する地すべり地 (K 4) のボーリング孔から得た水は低い。これらの試料はいずれもボーリング孔から得た水である。地すべり地外のボーリング孔の試料も、ボーリング孔が地すべり地から数十mしか離れておらず、地すべり地外の水と断言出来ない。むしろ、ここに得られたすべての試料は帯水層を異にする、地すべり地内の水と考えるべきである。

電解質組成：濁沢の電解質濃度の高い水 N 3, 4, 5 には、多量の塩化ナトリウムが含まれている。N 5 の塩化ナトリウム以外の成分は、電解質濃度の低い水と大差がない。これら 3 試料のアニオンについて、高い位置から採取した水は、低い位置からの水より、 SO_4^{2-} と HCO_3^- の割合が高くなり、逆に Cl^- の割合が低くなる傾向がある。カチオンはいずれも Na^+ が多く、採取位置とカチオン組成との関係は明瞭ではない。N 8, 9, 10 は太田川の水であるが、N 9 は、塩化ナトリウムの割合が高い。N 9 のみ、太田川の河川水に地すべり地の水が流入する地点から採水したため、地すべり地の高塩化ナトリウムの水の影響を受けたものと考えられる。

上馬場の水のカチオン組成には共通の性質がある。 Na^+ は、陽電荷の 42-97% を占め、最も主要なカチオンである。K 9 を除けば、 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ の寄与も 18-53% あり、 $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ の関係が認められる。

上馬場の水のアニオン組成は、採水地点により、大きく違っている。K 1 は、 HCO_3^- が 61%, SO_4^{2-} が 35% であり、 Cl^- は少量成分 (4%) にすぎない。K 2 では、 HCO_3^- は 59% 存在するが、 SO_4^{2-} は 5% と少なく、 Cl^- が 36% を占めている。K 6 では、 HCO_3^- (31%), SO_4^{2-} (26%), Cl^- (43%) の 3 アニオンの寄与はほぼ等しい。K 7, K 8 は HCO_3^- を主成分とし、 SO_4^{2-} と Cl^- が副成分である。水田の自噴状態の水 K 9 は、 Cl^- が 60%, HCO_3^- が 40% を占め、 SO_4^{2-} は無視しうる。電解質濃度の低い K 2, 3, 4 は、 SO_4^{2-} が最も多く、 HCO_3^- と Cl^- が全体の 16-18% である。以上の結果から、高所の試料程、全アニオン中の SO_4^{2-} の寄与が大きい傾向を指摘できる。

カチオンとアニオンの相関：地すべり地の天然水で相関関係の認められている (中村等, 1973, 吉岡等, 1973) HCO_3^- と 2 価カチオンの相関関係を図-4 に示す。実線は HCO_3^- と 2 価カチオンの比が 1 の場合を示している。 HCO_3^- 濃度が 1 epm 以上の試料では、2 価カチオンは実線の下になり、逆に 1 epm 以下では、2 価カチオンが HCO_3^- の当量以上存在している。 SO_4^{2-} と 2 価カチオンの間 (図-5) には顕著な関係はみとめられない。 Cl^- と Na^+ の関係を示す図-6 の、実線 A は Na^+ と Cl^- の比が 1 を、実線 B は海水の Na^+ と Cl^- の比を示す。3 試料は実線のまわりに分布し、 Cl^- と Na^+ が同じ挙動を示す水が存在することを示唆しているが、その他の試料では、すべて、 Na^+ が過剰に存在し、水質形成の過程で泥岩から、 Na^+ が供給されたことを示している。

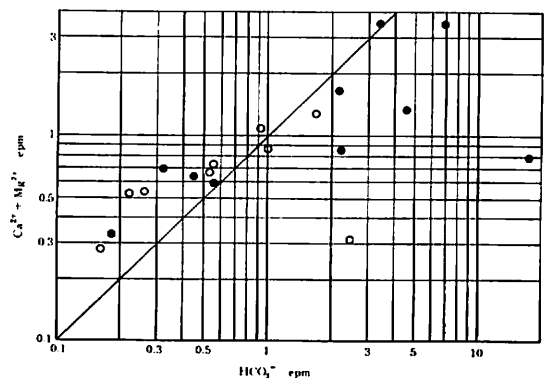


図-4 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, HCO_3^- 相関図
Fig.4 Plots of $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ versus HCO_3^- (epm)

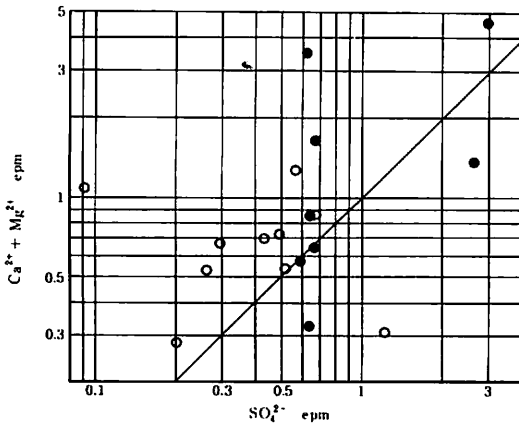


図-5 $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, SO_4^{2-} 相関図

Fig.5 Plots ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) versus SO_4^{2-} (epm)

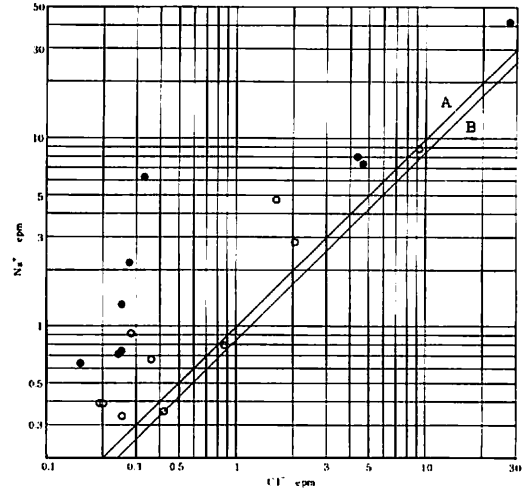


図-6 Na^+ , Cl^- 相関図

Fig.6 Plots Na^+ versus Cl^- (epm)

塩基飽和度と交換性塩基：濁沢、上馬場の泥岩に由来する試料の塩基交換容量(表-3)は26~34 meq/100g 土壌である。

濁沢の試料の塩基飽和度は高く、滑落崖の灰色泥岩は93%、同じ場所の褐色の泥岩は98%、崩積土が100%である(表-3)。pHは塩基飽和度と逆相関の関係がある(表-1)。交換性塩基の組成は59~65%が Ca^{2+} 、 Mg^{2+} が33~39%、 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ はわずか2~3%であり、試料間の変動は小さい。

上馬場地すべりの塩基飽和度は70~73%であり、濁沢地すべりの土と比較すると、飽和度が低い(表-3)。 Ca^{2+} が最も多く、全塩基の58~59%、 Mg^{2+} が23~32%、 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ の割合は濁沢の場合より高く、3~10%である。とりわけ崩積土の1価カチオンの割合が高い。

表-3 地すべり地の泥岩と土の塩基交換容量と交換性カチオン

Table.3 Cation exchange capacity (CEC) and exchangeable cations of mud stones and soils from landslide area.

| | 塩基飽和度 CEC meq/100g | 塩基組成 % Cationic composition | | | | 塩基飽和度 % Base saturation |
|-------------------|--------------------------|--------------------------------|------------------|---------------|--------------|----------------------------|
| | | Ca^{2+} | Mg^{2+} | Na^+ | K^+ | |
| 濁沢 Nigorisawa | | | | | | |
| Mud stone (grey) | 29.3 | 58.5 | 38.1 | 1.7 | 1.7 | 93 |
| Mud stone (brown) | 32.4 | 64.8 | 33.0 | 1.3 | 0.9 | 98 |
| Soil | 32.4 | 58.8 | 39.2 | 1.3 | 0.8 | 100 |
| 上馬場 Kamibanba | | | | | | |
| Mud stone (grey) | 26.5 | 68.5 | 23.1 | 5.9 | 2.5 | 72 |
| Mud stone (brown) | 28.7 | 67.6 | 29.3 | 1.8 | 1.4 | 73 |
| Soil | 28.9 | 57.7 | 31.9 | 4.2 | 6.1 | 70 |

IV 考 察

電解質濃度：虫亀と高倉地すべり地では、地すべり地内に電解質濃度の高い水が存在し、地すべり地外では低いことが報告されている（佐藤，1981）。上馬場地すべり地にも、電解質濃度の高い地下水が存在することが確認され、新潟県下の第三紀層地すべり地の地下には、かなり普遍的に電解質濃度の高い水が存在することが予想される。地すべり地外の地下水の電解質濃度の調査は不十分であり、地すべり地外と地内の電解質濃度の比較には、今後の調査が必要である。

電解質組成：濁沢、上馬場の水のカチオン組成は、高倉、虫亀の水の組成と大差ない。アニオン組成は、濁沢の水が Cl^- に富む。高倉と虫亀の水では、 SO_4^{2-} と HCO_3^- を主なアニオンとする水が多く、 Cl^- を主要アニオンとする水は、虫亀の中央部にみられたにすぎない。これに対し、濁沢、上馬場では、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- と共に Cl^- が主要なアニオンを構成する水が多い（K5, 6, 9, N3, 4, 5）。多量の Cl^- は、ガス附随水のような、泥岩の堆積環境にあった化石海水に由来すると推定される。著者は、虫亀において、前報の調査時に微量の Cl^- しか認められなかったボーリング孔の深部にガス附随水様の Cl^- に富んだ水を確認した。この事実は、池の Cl^- の少ないボーリング孔の深部にも、ガス附随水様の水が存在する可能性を示唆するものである。

前報と同様、濁沢、上馬場の地すべり地にも、 SO_4^{2-} に富んだ水が存在している。両地すべり地の泥岩は空気と接触して SO_4^{2-} を生成する。したがって、 SO_4^{2-} は空気の充分供給される環境、地表近くで生成されたものと考えられる。高い場所から採取した水に SO_4^{2-} が多いのは、高い場所は地下水位が低下しやすく、空気の供給が活発に行われることを反映しているであろう。

他の主要アニオン、 HCO_3^- は、 Cl^- 、 SO_4^{2-} と異なった分布をしており、地表から供給されるものでもなく、 Cl^- と行動を共にしているのでもない。ガス附随水に含まれる炭酸ガスが HCO_3^- の供給源となっている可能性がある。ガス附随水様の水の分析を進めることが必要である。

カチオンの中では、 Na^+ の割合が高いことが注目される。図-6に示すように、 Na^+ が Cl^- と当量関係にある試料は少なく、大部分は Na^+ が過剰である。過剰の Na^+ は交換性のカチオンのイオン交換によって供給されると予想される（佐藤，1981）。本研究では、予想を確かめるために、泥岩、土の交換性カチオンの測定を行い、水質との関係を検討した。

交換性カチオンと水質：泥岩と地下水の接触時間は長く、交換性のカチオンと地下水のカチオンは充分平衡に達しているものと考えられる。両者が平衡に達していれば、地下水のカチオン組成から、交換性カチオン組成が推定できるはずであり、逆に、交換性カチオンの組成を検討して地下水のカチオンを予想できることになる。

土壌の置換性カチオンと、間隙水のカチオンの1価カチオンと2価カチオンの比について、GAPONの交換平衡式(1)により、近似的にあらわされることが知られている（BOLT, 1976）。

$$\frac{\overset{+}{f}_1}{\overset{+}{f}_{2+}} = \text{KG} \cdot \frac{C_{0,+}}{\sqrt{C_{0,2+}/2}} \quad (1)$$

ここに、 $\overset{+}{f}_1$ 、 $\overset{+}{f}_{2+}$ は1価、2価の交換性カチオン量（meq/100g土壌）、 $C_{0,+}$ 、 $C_{0,2+}$ は間隙水中の1価、2価のカチオンの濃度（mol/l）、KGはGAPONの交換平衡定数である。KGは実験的に定められる値であるが、泥岩については研究されていないので、土壌の実験結果から $\text{KG} = \frac{1}{2}$ を採用することにする（BOLT, 1976）。KGを仮定すれば、地下水のカチオンの分析値を用いて、交換性の1価と2価のカチオ

ンの比を計算できる。

濁沢の地下水, N3, N4, N5 の $\frac{Ca^{2+}}{Mg^{2+}}$ は 0.06, 0.06, 0.2 となる。一方, 濁沢の土の交換性のカチオンから比を計算すると, 0.04, 0.02, 0.02 となり, 泥岩と土のカチオンは地下水のカチオンと平衡とはいえない。濁沢の谷水, 溜水, N1, N2 から比を計算すると, 0.01, 0.02 となり, 滑落崖周辺の泥岩, 土の交換性カチオンはむしろ溜水に近い表流水と平衡になっている。

上馬場の地下水から, 比は, K1~K9へ順に, 0.1, 0.03, 0.02, 0.02, 0.1, 0.09, 0.03, 0.05, 1.06 と計算される。泥岩, 土の比は, 0.09, 0.03, 0.1 であるから, K9 の 1.06 を除けば, 両者の値は同一の範囲に入っている。すなわち, 地下水の水質は, 泥岩の交換性カチオンとの平衡により規定されており, したがって地下水の Cl^- に対して過剰の Na^+ が, 泥岩の交換性の Na^+ に由来することを意味している。K9 のように極端に Na^+ の割合の高い地下水が存在するためには, 交換性カチオンの 50% 以上が Na^+ である泥岩が存在しなければならない。虫亀のボーリングコアの塩基交換容量と交換性カチオンを研究した小林 (1982) は, 交換性カチオンと水溶性カチオンの Na の合計がカチオンの 80% 以上に達する泥岩が地すべり地に広く分布していることを報告している。上馬場にも交換性カチオンの 50% 以上が Na である泥岩が存在すると考えるのが妥当である。

粘土鉱物の交換基が Na^+ で置換されると, 粘土が分散しやすくなり, 土の物性に著しい影響を与える。地下水の分析から, 泥岩の交換カチオンを正確に予想できれば, 水の分析により, 地下の泥岩の土質についての知見を得ることもできることになる。しかし, 現状では, KG は土壤の一般的な値を利用しており, さらに K^+ と Na^+ , Ca^{2+} と Mg^{2+} の選択係数を等しいと仮定しているなど, 水分析値のみから, 交換性カチオンを推定出来る段階にはいたっていない。今後は, 地すべり地の泥岩について, KG, 選択係数を決定することが重要となる。

V ま と め

1. 濁沢, 上馬場地すべり地の地下水には, 電解質濃度の高いのが存在している。
2. 両地すべり地の水の主要なカチオンは Na^+ である。主要なアニオンは, HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- であり, 虫亀, 高倉の地すべり地の水に比べ, Cl^- の割合が高い水が多い。
3. 塩化ナトリウムが主要な塩類である水が多く, ガス附随水様の水が, 両地すべり地に存在することを暗示している。
4. Na^+ と Cl^- は当量ではなく, Na^+ が過剰な水が多く, ガス附随水様の水のみならず, 泥岩が Na^+ の供給源である。
5. 両地すべり地の泥岩, 土の塩基交換容量は 26~34 meq/100 g 土壌であった。濁沢の試料の塩基飽和度は 93~100%, 上馬場は 70~73% であった。交換性カチオンは Ca^+ , Mg^{2+} が多く, Na^+ + K^+ は濁沢でカチオンの 2~3%, 上馬場で 3~10% である。
6. 地すべり地の地下水の分析値から, GAPON の交換平衡式により, 泥岩の交換性 1 価, 2 価カチオンの比を求め, 泥岩の 1 価, 2 価カチオンの比と比較して, 濁沢の滑落崖の試料は地表水の平衡になっており, 上馬場の試料は地下水と平衡になっていることが推定された。 Cl^- に対して過剰な Na^+ は, 泥岩の交換性 Na^+ に由来することが推測された。

謝 辞

この研究の研究費の一部は、文部省科学研究費（自然災害特別研究突発災害研究）を使用した。現地調査に御指導を賜った、災害研の青木 滋教授、藤田至則教授、現地調査に協力していただいた災害研の鈴木幸治技官に深く感謝いたします。

文 献

- 佐藤 修(1981)：地すべり地の陸水の水質，1,虫亀，高倉地すべり．災害研年報，**3**，47-57.
- 藤田至則・青木 滋・小川正二(1981)：56豪雪下に発生した新潟県下の地すべり災害について．災害研年報，**3**，111-118.
- 蔵本正義・小菅伸郎・高橋和司(1975)：土壤養分分析法．34-43，養賢堂，東京．
- BOLT, G. H. (1976)：Soil Chemistry A. Basic elements. 54-90, Elsevier Scientific Publishing company.
- 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．I．-新潟東野名および湯本地区-地球化学，**6**，10-20.
- 吉岡龍馬・奥田節夫(1973)：亀の瀬地すべり地における地下水の化学組成と流量について．京都防災研究所年報，**16**-B，141-149.
- 小林 久(1982)：地すべり構成土とその風化物の粘土鉱物学的及び，理化学的性質について．静岡大学大学院農学研究科修士論文．