

沖見地すべりの水文観測 (予報)

佐藤 修*・丸井英明*・渡部直喜*・羅 曉林**

Preriminary report of Hydrological Investigation in Okimi Landslide,
Niigata Prefecture

by

Osamu SATO, Hideaki MARUI, Naoki WATANABE
and LUO Xiao Lin

(Abstract)

The Okimi landslide was divided into A valley (about 12.52 hectares) which included an active A block and B valley (11.35 hectares) which included comparatively steady B block. The amount of drain was measured in each valley and the chemical element included in the drain was analyzed. The amount of drain of A valley was three times B valley though the areas was almost the same as the A valley and the B valley. The outflow of all ions has increased in A valley when the amount of drain increases. There is no change at all ion outflow rate even if the drain increases in B valley. The groundwater which has a constant water quality always springs out in the B valley except miner ions like chloride ions. Increase of amount of drain is caused by adding of thawing water which contains negligible small amount of ions.

Key Words : Okimi lamdslide, Hydrology, Groundwater, Geochemistry, Drain
キーワード：沖見地すべり, 水文学, 地下水, 地球化学, 排水

I は じ め に

新潟県の第三紀層に多発する地すべりの抑止工としてとして、集水井や横穴ボーリングによる排水が広く採用されている。地下水の排除により、地すべり地内の地下水位が低下し地すべり活動が静穏になることは広く認められ、地下水排除工は有効な工法と認められている。長期にわたって大量の水が排除される排水施設があり、現場の技術者はしばしば、地すべり地外から水が流入していると想定している。しかしながら、新潟県下の地すべりについて水文観測を行い水収支を算定した例は見あらず、地すべり地外からどの程度の水が流入することがあるのかはわかっていない。

この研究は、現在活動している新潟県東頸城郡牧村の沖見地すべりを対象にして、水文観測を行い、地すべり地の水収支を明らかにすることを目的としている。それとともに、降水、流水、地下水などの水質を調査して、地すべり地の物質収支をも解明する。物質収支の解明により、地すべり地の化学

*新潟大学積雪地域災害研究センター

**新潟大学大学院自然科学研究科修士後期課程

風化の実態や、塩化ナトリウム型深部地下水の挙動についても定量的に理解できる。観測は1996年の4月から開始した。観測を開始してから一水文年を経っていないので、ここでは、4月14日から15日に行った24時間観測の結果を中心に融雪期の排水流量変化とその化学成分の挙動について報告する。

II 沖見地すべりの歴史と現状

1 沖見地すべりの概要

沖見地すべりは、新潟県と長野県の県境から北約11km上越市から東14kmの新潟県東頸城郡牧村神谷地区に位置する。県境は標高1,100~1,300mの開田山脈が連なり、山脈の北側の東頸城丘陵の標高350~200mに地すべりが発生した。発生位置は、保倉川水系高谷川の支流・平方川の右岸斜面で、現在もこの地すべりは活動している。地すべりの幅は約500m、長さは1,500m、高度差は150m、面積約70haの規模である。地すべり上部の約24haを調査対象とし、より活動的なAブロックを含むA流域(約12.52ha)と比較的安定なBブロックを含むB流域(11.35ha)に分けて水文観測を行っている。

古くからの地すべり活動により、風化が進んだ泥岩の崩積物が移動土塊を構成している。地すべり地の基岩は新第三紀中新世の椎谷層相当層である。黒灰色の新鮮な泥岩は黄鉄鉱と有機物を多く含んでいる。地すべり活動により泥岩が大気と接触するようになると、黄鉄鉱は活発に酸化し、多量の硫酸を生成する。生成した硫酸は岩石中の炭酸カルシウムなどの鉱物を溶解し中和され、黄鉄鉱中の鉄は酸化鉄となって沈殿する。その結果、泥岩は急速に赤褐色の重粘土となる。

2 地すべり活動の記録

この地すべりの一部は、古くは神谷地すべりとして記録されている。1990年に地すべり学会新潟支部の現地検討会が沖見地すべりで行われた。そのおりに出版された資料¹⁾に、本地すべりの現状とともに、新潟県(1952)²⁾、谷口敏雄(1989)³⁾、高野秀夫(1987)⁴⁾らの神谷地すべりについての報告などが参考資料として添付されている。これらの報告の中に、本地すべりについて古い時代の活動の記録が記載されている。その記録は、地すべりと地震活動との関係についてふれてあり、地震と地すべり活動を考える上で貴重な記録である。地すべり活動の要点が簡潔に整理されており、また比較的目に触れにくい資料であるから、地震に関連した要点を再録した。

高野秀夫(1987)⁴⁾は報告の中で地すべりの沿革を次のように整理している。

- (1) 数100年前には旧部落の下の小部分が地すべりをしていた。(範囲は不明)
- (2) 享保4年(1719)3月18日、北東12kmにある保倉村団平山を震源とする地震により、大音響と共に移動を始め、当時20数戸あった部落の全戸は3方面に分散した。
- (3) 安政4年(1857)にも大地震があり、この地すべりは止まり、地域は復旧され、ほとんど美田化した。
- (4) 明治9年(1876)に大豪雨があり、地すべりは復活し、その幅は倍増、60haの地すべりとなった。
- (5) 明治38年(1905)7月23日正午頃、4km北東の安塚村を震源とする地震があり、地内から泥水が吹出し、以後4年間は地すべりは止った。
- (6) 明治44年(1911)11月21日の地震により3度地すべりは全面的に復活した。
- (7) 昭和7年(1932)県林務課により平方川に砂防ダムが設けられ、末端の一部はやや安定した。
- (8) 昭和19年(1944)と、翌20年(1945)の2回の豪雨により周辺10haが拡大し、地すべり総面積は70haとなった。

- (9) 昭和23年(1948)10月1日から観測地として観測を開始し、27年(1952)3月31日まで継続された。
- (10) 昭和26年(1951)県砂防課によって林務施工の砂防ダムのかさ上げをした。
- (11) 昭和27年(1952)から県耕地課によって開拓計画が実施され、30年度に完了し、一応大部分が水田化されたが、31年には耕地が潰潰（著者注：潰滅か？）し現在に至る。
- (12) 昭和45年(1970)度から砂防課により調査が開始され、同年から昭和48年まで集水井工、暗きょ工が施工されたが、十分な効果が上らず現在も年間5m内外の移動が続いている。

新潟県の調査¹⁾によれば、沖見地すべりは基岩に対して走行方向に滑動しているA地区、流れ盤方向に滑動しているB、C地区、地すべり移動土塊が合わさり流動的な動きをするD、E地区に5ブロックに分けられている。水文観測の対象としては、地すべり下部の流動的な部分をさげ、地すべり上部の現在活動的なA地区と比較的安定しているB地区を選んだ。

この地すべりは1970年から本格的な調査が行われた。村道神谷七森線の上方A、B、Cブロックにおいては100孔近くの調査ボーリングが実施されている。同じ期間に、約20基の集水井を主体とする対策工もなされてきたが、活発な地すべり活動により、これらの施設の大半が破壊している。

現在活発な活動をしているため、地下水の調査に役に立つ調査ボーリング孔・集水井・排水横孔ボーリングなどが壊れやすく、地下水の観測地としては不便な点もある。しかし、沖見地すべりには水文観測をすべき以下のような興味深い現象がある。

1. これまでの水処理などの対策にも関わらず活動中である⁴⁾。
2. 地震時に液状化が見られたことがある⁴⁾。
3. 水の供給量と地下水位と移動量の関係が理解しがたい⁴⁾。

水文調査をする上で、降水量、積雪量などの既存のデータを利用でき、移動杭を使った移動量の観測データがえられる等の地すべり地の水文観測に必要なデータを利用できる利点がある。

III 水 文 観 測

A流域とB流域の排水が合流する直前の地点で、それぞれの流域の排水量を把握するための三角堰を設けて水位を自動記録して排水量を推定した。同時に電気伝導度と水温を自動測定し、25℃の電気伝導度に換算した。これとは別に各季節ごとに24時間観測を行った。24時間観測では、自動記録とは別に水温、気温、流量、電気伝導度を測定するとともに、毎時水試料を250mlポリエチレン瓶に採取した。試料水を実験室に持ち帰り、化学分析を行った。

IV 水文観測・化学分析結果と考察

1 集水面積と排水量

三角堰を使用して自動記録した4月の流量測定値のうち流量の少ない例と多い例をあげると、4月5日はAブロック：1.49 t/min、Bブロック：0.48 t/minであり、流量の多い4月18日はAブロック：5.72 t/min、Bブロックは2.02 t/minであった。両ブロックの流量の比は、流量が少ないときA/B=3.1、流量の多いときA/B=2.8で、A流域の方が3倍ほど多い。

沖見地すべりの集水面積を森林基本図を使って推定した。活動的なAブロックを含むA流域は約12.52ha、比較的安定なBブロックを含むB流域は11.35haであり、A：B=1：1.1でほぼ同じ面積

である（図-1）。A流域とB流域の集水面積はほぼ同じで（ $A/B=1.1$ ）あるのに、両流域の流量には大差があるので、単に融雪水が集まって表流水（排水）になったとは考えられない。融雪水、降水などは地下の複雑な流路を通して地表に現れるに違いない。

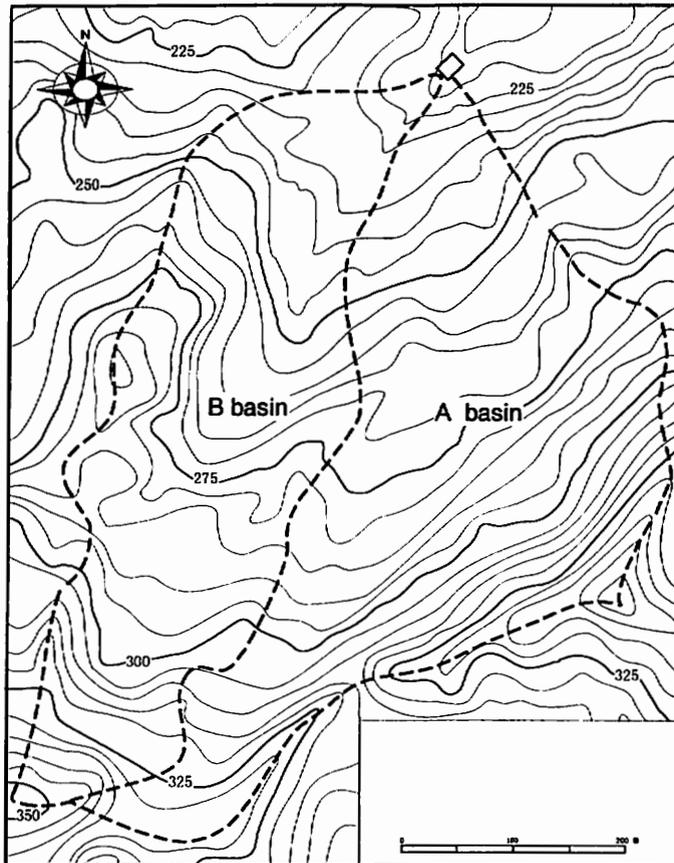


図-1 観測中の集水域、A流域とB流域
Fig. 1 Obseation site. Catchment zone A and B

2 気温・水温と排水流量

A流域：調査を開始した9時から10時の間に流量は増加し、15時まで急激に流量は増加した（図-2）。15時を過ぎると20時までには流量は顕著な減少を示し、15日の7時までにはきわめて緩やかに流量が減少した。15日の8時から9時には流量の増加が認められた。15日の9時の流量は14日の流量より大きい。気温の上昇と流量の変化を対比すると、流量の増加は気温の上昇より数時間遅れる（図-3）。融雪水が観測点に到達するまでに要する時間がこの差を生じさせたのであろう。

B流域：調査を開始した9時から10時の間でもすでに排水流量はわずかに増加している（図-2）。その後排水流量速度は急に加速し、16時に最高に達した後、18時までには急速に排水流量が減少した。15日の8時と9時の流量を比較すると、9時の流量はわずかながら8時の速度を上回っている。この時間に15日の流量の増加が始まっている。

排水の水温変化は気温と排水速度の変化のパターンのいずれとも違っている (図-3)。A, B流域の排水の水温では、流量の多いA流域の水温が高い。両流域とも水温は9時から12時まで上昇する。20時以降では、水温の方が気温より高い状態が続き、気温が急上昇する15日の7時になって気温の方が高くなる。B流域では流量が最高になる16時に水温が最低になり、その後気温が低下するのに反して、水温はむしろ上昇している。流量が減少したときの排水の大きな部分が水温の高い地下水であることを示している。A流域では、B流域ほど顕著な地下水による温度の上昇は観測されなかったが、夜間に気温より高い水温を持つ水が流出するのは、やはり水温の高い地下水の湧出が考えられる。

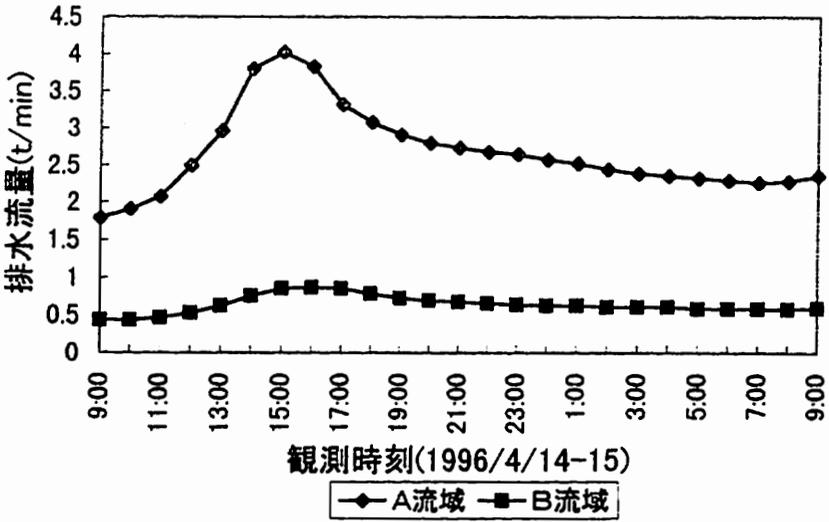


図-2 A流域, B流域の排水流量の日変化, 1996年4月14~15日
 Fig. 2 Changes of amount of drainage water in 14-15, April, 1996

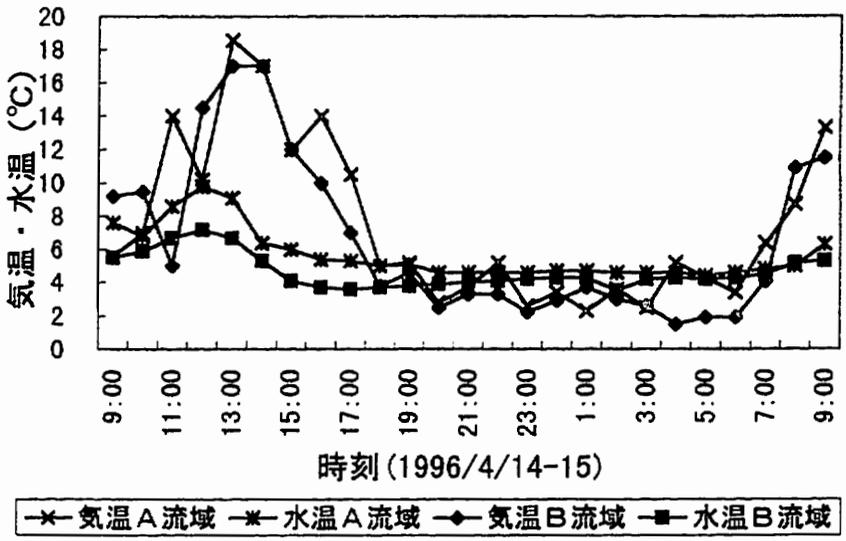


図-3 A流域, B流域の気温と水温の日変化, 1996年4月14~15日
 Fig. 3 Changes of air temperatur and water temperatur of drain water in catchment zone A and B in 14-15, April, 1996

3 融雪の日サイクルに対応するイオンの流出

A流域：陽イオンと陰イオン濃度は流量の増大とは逆に減少し、その後、流量が減少すると再びイオン濃度が回復する傾向がある（図-4）。夜間も流量の減少に反比例するようにイオン濃度が上昇している。流量が増加した時に、流出するイオンの総量が増加したかどうかが問題である。

流量とイオン濃度の積はイオンが流出する速度に相当する。このイオン流出速度の経時変化を全イオンについて流出速度を計算し経時変化を示す図-5を作成した。全イオン流出速度を流量の変化と比較すると、流量の顕著な増加に対応して、イオン流出速度は変化している。14日の12時から14時に

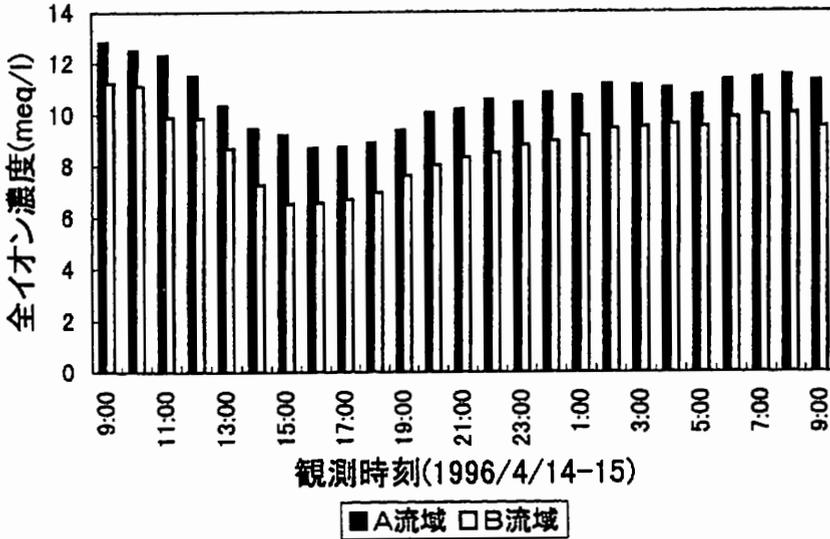


図-4 A流域, B流域の排水の全イオン濃度の日変化, 1996年4月14~15日
Fig. 4 Changes of total ion concentration of drainage water from catchment zone A and B in 14-15, April, 1996

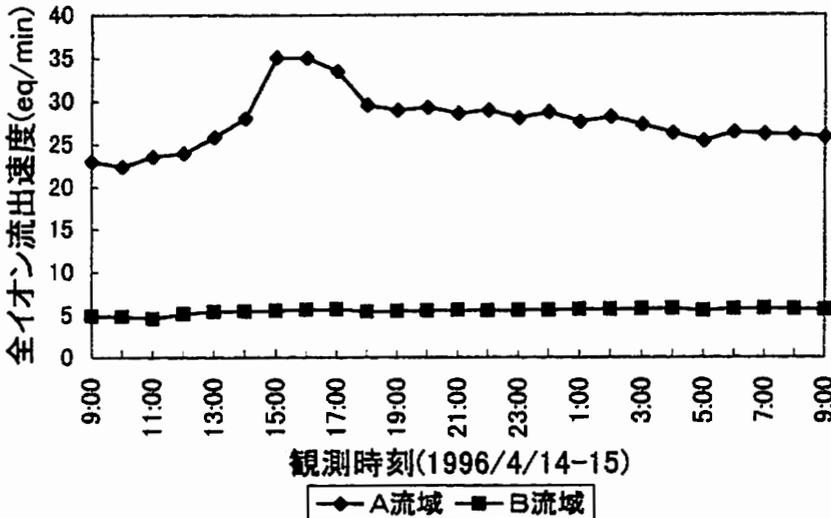


図-5 A流域, B流域の全イオン流出速度の日変化, 1996年4月14~15日
Fig. 5 Changes of outflow rates of total ions of drainage water from catchment zone A and B in 14-15, April, 1996

かけては全イオン流出速度が増大したが、その後は流量の変化にも関わらず、全イオン流出速度はほぼ一定であった。

B流域のイオン濃度はA流域の場合と同じく、排水流量が増加したときに減少した(図-4)。陽イオンと陰イオンの濃度の変化は排水の流量の増大にともない、イオン濃度が低下し、夕方になって流速が減少すると、イオン濃度は再び高くなり、夜間はほぼ一定の値で推移した。

B流域では流量の顕著な変化に対応したイオン流出速度の変化が見られない(図-5)。B流域のイオンは流出速度が一定であるのは、高濃度のイオンを含む基底流量が一定量・定常的に流出している排水系に、イオンをほとんど含まない融雪水が加わったと考えると理解できる。すなわち、B流域で流量が変化したのは融雪水の量が変化したからであり、全イオンの排出速度が同じであるのは地下水の成分が変わらずしかも供給量が一定であるからである。

一方、A流域では、流量の増加により全イオンの流出速度が増加したのであるから、融雪水が増加すると(1)地下水流量も増加するか(2)平常よりイオン濃度の高い地下水が湧出するかのどちらかである。この点については化学成分の検討が必要である。

4 イオン濃度の経時変化

A、B両流域のイオンの濃度をそれぞれ各時間毎にプロットした(図-6、図-7)。A流域の水は常に硫酸イオンがもっとも多いイオンである。ついでナトリウムイオン、カルシウムイオン、マグネシウムイオン、塩化物イオン、炭酸水素イオンの順である。流量の変化にも関わらずそれぞれのイオン濃度の順序に変化はなかった。B流域では炭酸水素イオンが存在しない。測定期間中pHが常に5以下であったB流域の試料には炭酸水素イオンは存在しえない。A流域とB流域について分析結果を比較してもっとも大きな違いは、A流域のpHが6台であるのに対して、B流域は4.5ほどであることである。

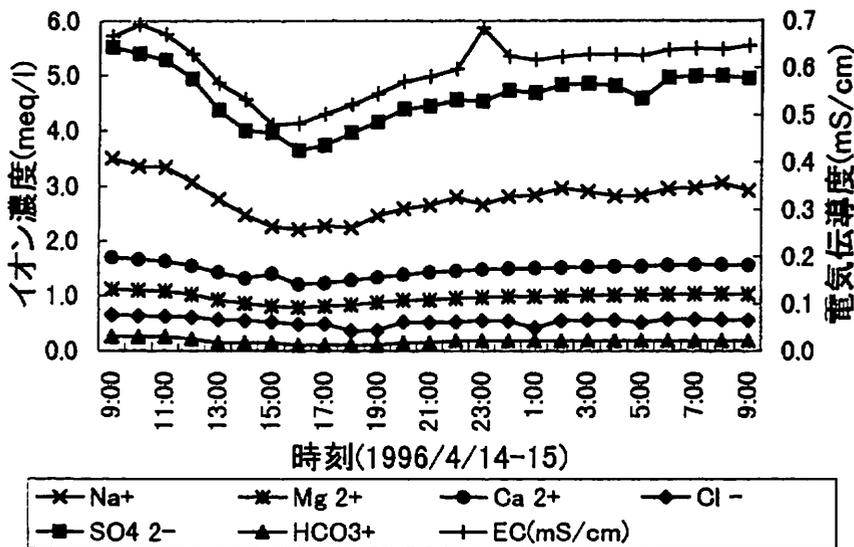


図-6 A流域のイオン濃度の日変化, 1996年4月14~15日
 Fig. 6 Ion concentrations of drainage water from catchment zone A in 14-15, April, 1996

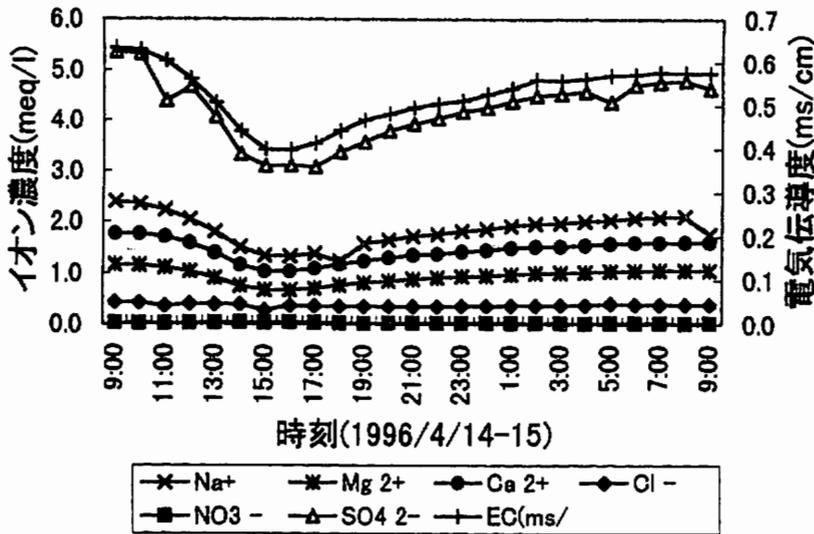


図-7 B流域のイオン濃度の日変化, 1996年4月14~15日
 Fig. 7 Ion concentrations of drainage water from catchment zone B in 14-15, April, 1996

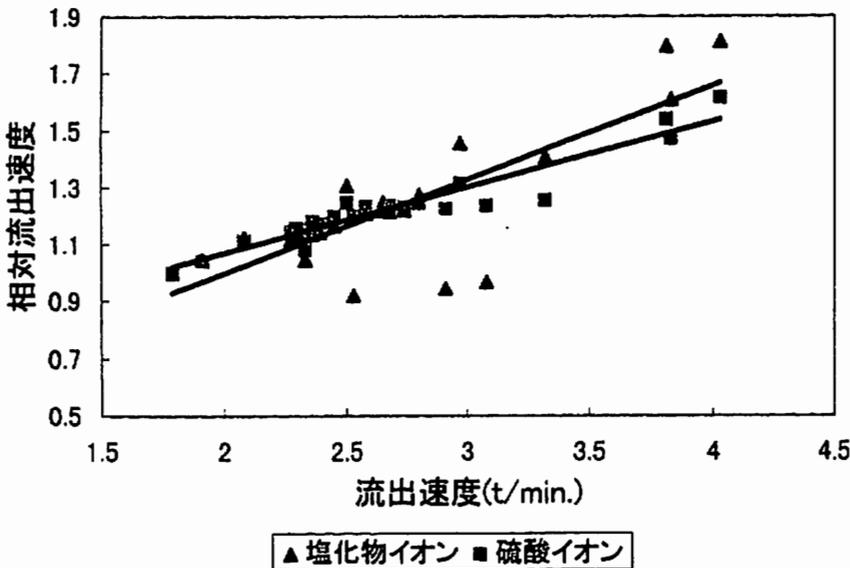


図-8 A流域の9時を基準とした相対的塩化物イオン(▲)及び硫酸イオン(■)の流出速度
 Fig. 8 Changes of relative outflow rates of chloride ion (▲) and sulfate ion (■) of drainage water from catchment zone A in 14-15, April, 1996

5 塩化物イオンと硫酸イオンの挙動について

筆者等⁵⁾は新潟県下の第三紀層地すべりの地下水を、陰イオンに注目して深層地下水と浅層地下水を区分することを提案している。濃度の高い塩化物イオンはジオプレッシャー型の深層地下水の指標である。硫酸イオンは泥岩中の黄鉄鉱が大気酸素により酸化されることにより生じることから、浅層地下水の指標である。この指標を使って、A流域とB流域の地下水の挙動の解析を試みた。

地下水の流出速度と全イオンの流出速度の経時変化から、A流域では排水の量が増えると全イオンの流出量が増大することがわかった。陰イオンに注目して、排水流量に対して塩化物イオンと硫酸イオンの流出速度を比較した。硫酸イオン濃度は高く、塩化物イオン濃度は低いので、両者を比較するため、14日9時の値を基準として相対的な流出速度を比較した(図-8)。硫酸イオン、塩化物イオンは共に排水の流出速度が大きくなると、相対流出速もおおきくなり、その傾向はほぼ同じである。硫酸イオンと塩化物イオンを含む地下水が融雪水の増加に伴い多く湧出することになる。この結果からはA流域では、浅層地下水と深層地下水を区別できなかった。

一方、全イオン流出速度が一定であったB流域では、流量が増加しても硫酸イオンの相対的流出速度は変化していない(図-9)。塩化物イオンの相対的流出速度は明らかに増加している。この現象は、硫酸イオンを多く含む水塊と塩化物イオンを相対的に多く含む水塊が独立の水塊をなしていることを示している。B流域では、融雪水が増加すると、排水のイオン組成を支配する硫酸を多く含む浅層水はほぼ一定量流出するが、塩化物イオンを含む深層水が排水量の増加にともない増加してくることが分かる。おそらく、塩化物イオンを含む深層水の供給量は小さく、排水の全イオン濃度を変えるにいたらなかったのであろう。

以上は地すべりが多発する融雪期の一日のデータから、A流域と、B流域の地下水の挙動を考察したが、雨期、乾季のデータに基づき、年間を通じての地下水の挙動を明らかにする計画である。地すべり活動が盛んなA流域で、融雪水の供給があると地下水が多くでてくる点は、地すべり活動を考える上で興味深いので、今後この点を中心に調査をする。

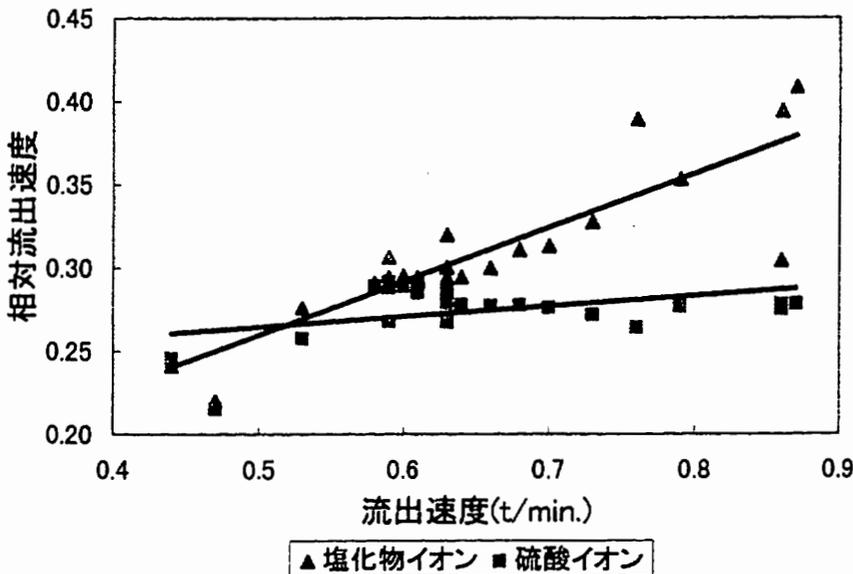


図-9 B流域の9時を基準とした相対的塩化物イオン(▲)及び硫酸イオン(■)の流出速度

Fig. 9 Changes of relative outflow rates of chloride ion (▲) and sulfate ion (■) of drainage water from catchment zone B in 14-15, April, 1996

V ま と め

1) 沖見地すべり地において、活動的なAブロックを含むA流域(約12.52ha)と比較的安定なBブロックを含むB流域(11.35ha)に分けて排水量、排水に含まれる化学成分の解析を行った。

2) A流域とB流域は面積がほぼ同じであるにも関わらず、A流域の排水量はB流域の3倍であった。

3) A流域では、排水の量が増加すると、全イオンの排出速度が増大した。

4) B流域では排水量が増大しても全イオン流出速度に変化はない。常に一定の水質地下水が一定量供給され、増水時には融雪水が混入すると考えられる。

5) 塩化物イオンと硫酸イオンの挙動の解析から、A流域では硫酸イオンを主体とする水塊と融雪水を仮定すれば流量変化と水質変化を説明できるのに対し、B流域では硫酸イオンの水塊と融雪水その他塩化物イオンの水塊を仮定しなければならないことを明らかにした。

謝 辞

この研究を遂行するに当たり、多大な便宜を与えて下さいました新潟県砂防課、現地調査、ことに流量・電気伝導度の計測などの管理に関してお世話になりました株式会社興和の南雲政博氏、現地調査に御協力くださった新潟大学理学部学生の西田吉孝さんに深く感謝いたします。

文 献

- 1) 新潟県土木部砂防課編集(1990): 沖見, 活動中の地すべりとその対策, 地すべり学会新潟支部発行
- 2) 新潟県編(1952): 地滑り現象の研究, 沖見資料編6~10頁, 新潟県発行
- 3) 谷口敏雄(1989): 地すべりの道を拓く, 地すべり学会編, 谷口敏雄先生遺稿集より, 沖見, 資料編11~18.
- 4) 高野秀夫(1987): 神谷地すべりの観測結果, 西日本工業大学地盤工学研究所報告, 第3号, 沖見資料
- 5) 佐藤 修(1993): 北陸地方の第三紀層地すべり地帯の地下水形成と動態, 地すべり学会関西支部シンポジウム“地すべり地における地下水の形成とその動態”53~65.