

災害地の地下水

佐藤 修*

はじめに

新潟大学積雪地域災害研究センターの地水系保全研究分野に、赴任するにあたり、水田の水の化学を対象としようと考えていた。前任地では生物有機地球化学の教室にいたので、生物地球化学と、同位体地球化学の方法を災害研究に使いたいと思っていたが、いずれも大きな装置が要るので、どこまで実現できるか不安のまま新潟にくることになった。新潟では、たちまち災害現場で、地下水と格闘することになり、今日まで地下水化学をすることになった。最初に思っていたことが十分実現できたとは思えないが、ここでは、やってきたことを思いつくまま記録した。テーマもなく、文献も引用しないで、雑談です。

六日町地盤沈下地帯の地下水

昭和54年の夏、災害研の教員で姫川の支流浦川の土石流地帯の調査を行うために、予備調査を行った。土石流が頻発する浦川の支流金山沢と唐松沢の電解質濃度が高く、特に金山沢の水は酸性であり土石流多発との関係を調査する必要を感じた。化学風化と土石流はやはり関係があると確信した。

同年の暮れから、消雪のための地下水の多量揚水に起因すると見られる地盤沈下が問題になっていた六日町の地下水を災害研の教員で調査した。融雪のための揚水が行われている井戸で水位の調査を行うとともに、井戸水を集め、化学分析を行った。分析の目的は、地下水の区分と流動方向の推定であった。水質のつながりと変化に基づき、流動方向は推定できたが、特に地盤沈下を防止するために役に立ったとも思えなかった。この調査で印象に残ったのは、六日町の北部の水田が多く残る地域で、塩化ナトリウム型で温度が20℃以上ある地下水に出会ったことであった。さすが温泉で名高い六日町、融雪にも温泉水を利用しているのだと感心した。

最初に出会った虫亀地すべりの地下水は多様であった。

六日町の地下水の分析、整理が一段落した、昭和55年の4月9日に新潟県古志郡山古志村虫亀地区の椎谷層の泥岩地帯で地すべりが発生した。青木滋助教授（当時）と一緒に地すべりを調査することになった。地すべりの防止のためにいかなる調査が行われ、それが防止対策にどのように使われるかも知らぬまま、地下水の水質の調査を行うことにした。

地下水の水質調査を行って、地すべりの防止工事にどのように役にたつのか、これまで何人かの人が、地すべり地の地下水の水質を調査したと聞いた程度で、それらの目的もろくに知らないまま調査を開始した。当面の目的は、岩石の風化と地すべりの関係を見ることであった。当時、名古屋大学の北野ら、京都大学の吉岡らが災害地の地下水の化学分析

*新潟大学積雪地域災害研究センター

を行い花崗岩の風化と崩壊の発生を論じていたのを知っていて、風化を調べることにしたのである。

地すべり地内の湧水や、表流水、調査ボーリング孔内水を採取した。調査ボーリングが行われること、その構造を初めて知ったのもこのときであった。地すべり地の風化を調査するのだから、滑っていない場所の地下水も集めたかったが、地すべり地外ではボーリング調査が行われないので、周辺の湧水や表流水を集めた。集めた水は、新潟大学農学部土壌学教室（加村崇雄教授）の実験室で分析した。

分析して、驚いのは、まず電解質濃度が極めて高い水が多いこと、塩化ナトリウム型の水があること、硫酸イオンが極めて高い水が多いこと、炭酸水素イオンの高い水があることナトリウムイオンの多い水が圧倒的に多いことであった。狭い斜面にこれほど多様で、しかも、電解質濃度が高い水が分布するその原因を知りたいと思った。原因を知って、地すべりとどんな関係があるかはもはや問題ではなかった。面白そうだと思った。

文献を調べてみると、牧らや大和らが、新潟県内の地すべりを調査していた、平山が北陸地方の地すべりの地下水を調査していた。中村ら、松崎ら（現在、新潟大学農学部教授）も新潟県の地すべり地下水の水質の論文を発表していた。それらは、北野らが、兵庫県六甲山の花崗岩地帯で行った崩壊地の調査で得た、炭酸水素ナトリウムイオンの多い地帯が化学風化が激しく斜面災害が発生しやすいとの見方で、論文が整理されており、水の多様性や、電解質濃度が高い理由については、特につっこんだ議論は行われていなかった。炭酸物質の供給で風化が活発になることにより地すべりが発生するのであれば、同じ岩石の地帯で多様な水が出来る理由はないし、風化は均一に起こるから近傍の調査ボーリング孔内水の水質が大きく違うことはうまく説明できない。

先人の分析結果と、虫亀地すべりと、同じ年に発生した西頸城郡能生町の高倉地すべりの調査結果を整理して、泥岩地帯の地すべり地の水質変化過程を推定した。多量の炭酸水素イオンは、泥岩中の有機物由来とし、硫酸イオンはパイライトの微生物酸化によると推定した。この段階で、高濃度硫酸イオンの起源をパイライトの微生物酸化としたのは、土壌学教室の加村教授が、法面の緑化の障害として、泥岩中のパイライトの微生物による酸化による硫酸の生成を研究していたからである。

虫亀の地下水の研究で、孔内水の深さ別の採水を行い、地下水を立体的に把握しようとしたことに触れる。湖の研究をしてきたせいで、水は深さごとに化学的性質が違っていると信じていたので、何の抵抗もなく深さ別の採水を計画した。うまい採水器が見つからず、ビニールパイプと真空ポンプを使う湖で使ってきた採水方法を使って、最初の深さ別採水を行った。その後、井戸採水器を見つけて、採水作業は楽になった。虫亀では浅いように硫酸ナトリウム・カルシウムの水、底に塩化ナトリウムの水、それらの中間に炭酸水素ナトリウムの水が分布しており、排水などによりそれらが変化する様子が観測できた。

松之山越地すべり—塩化ナトリウム型の地下水が自噴した

松之山町の越地すべりは圃場整備のための切り土の部分ですべり、盛土の部分がおされて移動した。吉田昭治教授（当時）が一地点に孔底1 m区間のみにもストレーナーを持つ複数の調査孔を設け、深さ別の水位観測をし、水の浸透と地すべりの安定解析に関する研究を行った。佐藤はそれらの井戸群を利用して、地下水の垂直分布を明らかにした。表層の地下水は電解質濃度の低い炭酸水素ナトリウム型で、地すべり面の上には電解質濃度の高い炭酸水素ナトリウム型の水が分布した、すべり面より下には、塩化ナトリウムの影響を受けた炭酸水素ナトリウム型の水があった。盛土部分の調査孔は塩化ナトリウム型の水が自噴し、浅い層の水では炭酸水素ナトリウム型の影響が強くなった。

その後、越地すべりで塩化ナトリウム型の水が自噴することを、地元の人（高橋組社長）にはなしたところ、興味深い話が聞けた。越地すべりの盛土部分では、盛土をする以前に塩水が湧いていたということであった。この話は、塩化ナトリウム型の地下での動きを考える重要なヒントになった。塩化ナトリウム型の水圧は極めて高いが、流量が少ないため、間隙の多い土層では横に流れてしまい、上に上がることが出来なかったが、周辺が他の水で飽和されると、本来の圧力に従い、より上方へ移動できると考え得る。観測井の中で塩化ナトリウム型の水が得られるのも、このような機構があるのではないか。

細菌が岩石を食べて災害を起こすのか

蓬平地すべりでは活動後半月までは硫酸イオンの多い水は目だたかったが、地すべり後1ヶ月からは硫酸イオンが増加した。このような変化は微生物の関与を思わせる。浦川と地すべり地で、硫酸イオンの多い水ばかりに出会ったので、硫酸イオンが果たして微生物により生成しているかを調べることにした。1. 蓬平、虫亀地すべりと金山沢土石流地帯の湧水、地下水の分析により、同地域の硫酸イオンの分布、化学風化における硫酸イオンの役割、2. 両地域の土、岩石、水の第1鉄イオン酸化能、及びチオ硫酸酸化能の調査、測定、それらを通じて鉄硫黄細菌の活性度の分布、3. 土壤岩石の可燃性硫黄の定量による、パイライト存在量の分布、4. 鉄硫黄細菌の生育に及ぼす二酸化炭素濃度の影響などを明らかにすることを目的とした。

黄鉄鉱は当然浦川にも、泥岩地すべり地帯にもたくさんあった。黄鉄鉱を食べて、硫酸を生成する微生物は、やはり硫酸イオンが多い地すべり地にも、金山沢にもいた。地すべり地では古い地すべり地と新しい地すべり地では微生物の種類が違ってくこともわかった。炭酸ガスの話は少し生態学的すぎるので省略する。

化学風化に関連して、平成7年に金山沢の水の電気伝導度を測定したら、従来の1.5倍になっていた。その原因を調査して、地形の変化や、新しい崩壊の影響など様々なことが考えられたが、現在は新しい崩壊で、黄鉄鉱が沢山供給されたことが、電気伝導度の上昇の原因になったと考えている。金山沢の源頭部の風化が激しくなったとは考えにくい。

土石流の水の性質

建設省松本砂防事務所の委託を受け、昭和55年の夏から、金山沢の土石流観測と流域の地質調査、砂防の調査を行うことになった。私は、地質も砂防も分からないので、土石流の観測を手伝う傍ら、理学部の地質鉱物学科の卒業論文のため青木助教授の指導を受けることになった宇都宮真と一緒に、湧水の調査を行うことにした。目的は化学風化の評価を行い、土砂生産-地すべり発生と結びつけることであった。丹念に湧水、表流水を集めて分析を行った。金山沢、唐松沢、浦川の流域の地下水を、硫酸イオンの濃度、炭酸水素イオンの濃度により大きく三群に分けることが出来、地形、地質を参考にしてこの地域を9つの水質区に区分した。

風化の程度を知る目的で、土の鉱物組成をX線回折により検討した。モンモリロナイト鉱物、カオリナイト鉱物、雲母類、 α クリストバライト、方解石、石膏、黄鉄鉱、硫黄などを確認した。安山岩の熱水変質が著しく、安山岩の温泉余土化が認められた。硫酸イオンはパイライトの酸化に由来することが予想された。水の流れは速く、黄鉄鉱の化学的風化では、川の流れの硫酸イオンを供給できないと予想され、やはり黄鉄鉱の微生物酸化を考えざるを得ない状況であった。

土石流の多い金山沢、旧金山沢、唐松沢の流域と浦川流域でも比較的土石流の少ない板倉沢、高倉沢、浦川、本流の姫川に定点をもうけ、一週間一度の採水を行う観測を行った。金山沢の全カチオン濃度は常に最も高く150~200mg/lであった。旧金山沢、唐松沢は60mg/l前後であり、風化の活発でない板倉沢、高倉沢は25mg/l程度である。いずれも降雨により電解質濃度は低下し、雨の少ない時期には電解質濃度が上昇するが、変動は小さく、ほぼ一定の電解質濃度を説明するためには地下水の湧出を考えなければならない。

昭和56年からは、分布を精密にする調査とともに、金谷橋下を定点として、橋の上からバケツを投下して沢水を採水し、朝夕二回と土石流、増水時の電気伝導度の観測を実施した。併せて、土石流流下時の電気伝導度の自動観測を試みた。何回かの土石流の伝導度変化の観測に成功した。

1981年8月22日23日の台風による降雨で土石流が発生した。このときは、22日の小雨で、時間雨量7mmで沢水の電気伝導度が低下した。一度やんだ後、再び雨が降り出したが、時間雨量5mm程度では電気伝導度の変化は認められず、時間雨量7mm程度になって電気伝導度が低下したが、時間雨量10mmの時電気伝導度が急上昇し、やがて伝導度は急低下しているが、おそらくセンサーが異常になったと見られる。10分ほど後に土石流が通過した。この例に励まされて、土石流の直前予測を試みた。下流部で砂防ダムの工事が行われており、その人達の避難に一度だけ成功したが、センサーが土石流で破壊されるため、事前警報システムはうまく機能しなかった。このほかにもいくつかの観測で、土石流の直前に電気伝導度が上昇する観測が出来た。電気伝導度が低下する例もあった。いずれの結果にしても、土石流の流下時の水が平常の沢水と降水でなく、地下水が噴出していることが明らかになった。

昭和58年の7月19日から10月15日の期間に21回の土石流が確認できた。土石流の多い年であった。6回の土石流を橋の上からバケツを投げ込むことにより汲み上げることに成功した。土石流発生した当日の朝と夕方の観測では、特に伝導度の異常は見られなかったが、土石流に含まれる水の電気伝導度は極めて高い。土石流が、降水そのものではなく電気伝導度の高い地下水により引き起こされたことは明らかである。平常時の沢水と土石流の水の水質を比較すると、土石流の水の炭酸カルシウム濃度が高く、湧水の調査結果と対比させると、硫酸・炭酸水素型の水が多量にでたと結論した。

平成7年12月に蒲原沢で土石流災害が発生した。白馬の安山岩地帯から姫川へ流下する点では浦川と類似の地質条件を備えた沢である。幸い土石流の以前に、沢水の分析を行っていた。浦川と違って、平常時の蒲原沢の水は、日本の山地に多い、炭酸水素カルシウム型の水であった。しかし、土石流発生直後の、土石流堆積物から分離した水は、硫酸イオンに富む水であった。堆積土砂の中に、黄鉄鉱を含む安山岩の礫も見られ、硫酸カルシウム型の水が土石流を運んだことが明らかとなった。土石流発生後、土石流の引き金となったと推定された崩壊地周辺の湧水の調査を行ったが、濃度の高い硫酸カルシウム型の水は見つからず、現在も土石流時の硫酸カルシウム型の水の起源は不明である。しかしこの例でも、土石流が降水や融雪水そのものではなく、地下水の噴出が関係していることは確実である。

金山沢では、土石流発生時には崩壊が常に観測されており、蒲原沢の例も含めて、いくつかの土石流は、地下水が移動して崩壊を起こし、それが土石流に転化すると考えている。

災害地地下水の年代測定を試み

比較的新しい地下水の年代測定には半減期が12.3年のトリチウムが使われる。トリチウムは宇宙線が大気ガスと反応して、高層大気で常に一定量生産されている。水素の同位体である。1950～1960年年代に、米国、ソ連をはじめとする現在の核保有国が大気圏内の核爆発実験を行い、大量のトリチウムを大気中に注入した。異常にトリチウム濃度の高い雨が降ったことがあることになり、地下水に高いトリチウム濃度の検出出来ると、地下水を涵養した雨の時代が容易に特定できるわけである。

浦川の土石流地帯の湧水のトリチウム濃度測定（1985年）では、源頭部の湧水にトリチウムの濃度が極めて高い値が観測され、1960年代頃に涵養された水が当時湧出していたことが分かった。全般的に電解質濃度が高い水ほど古い傾向が認められた。

長岡市の地下水の調査では、50m深の帯水層がトリチウム濃度が最も高く1960年代の涵養であり、100m深の地下水はトリチウム濃度が極めて低く1950年代以前の涵養であることが分かった。もちろん、長岡市に降った雨水がそのまま地下に浸透したのではなく、信濃川の上流に降った雨が地下を流れて、このような年代が測定されたのである。長岡市は、消雪のために多量の地下水を使用し、地盤沈下が発生しており、この涵養時間の推定は、合理的な水利用の計画を立案する際の基礎的な資料になりうる。

地すべり地では、長野県の地附山地すべりで測定した例がある。集水井から排出されている水が、1960年代の水と想定されるものがあった。また、極めてトリチウム濃度が低い水があり、1950年以前の水が関与している可能性が推定された。

中国の長江およびその支流の地すべりを調査する機会を得て、長江と地すべり地湧水のトリチウム濃度を測定した。長江の水は信濃川の水に比べ極めてトリチウム濃度が高かった。長既往流域の降水のトリチウム濃度の測定データはないので、議論が困難であった。長江の源流は、氷河であり、中国の核実験基地と近いことから、氷河に閉じこめられた核実験時のトリチウムがちょうど長江の水の涵養に影響したのではないかと考えた。長江の水よりトリチウム濃度の高い湧水が地すべり地に存在しており、地すべり地の地下水の滞留時間は結構長いことがわかった。

洪水でないときの河川水は、地下水が流出したものであるから、河川水を測定すると地下水の年代のあらましを知ることが出来る。信濃川を初めとする新潟県下のいくつかの川のトリチウム濃度を測定した。結果をようやくすると①河川水は降水がいったん地下に蓄えられて後流出下ものであるから、過去の高濃度のトリチウムの影響を受け現在の降水の平均よりも高いトリチウム濃度を示す。②流域面積の大きな河川ほど帯水層の容積が大きく、地下水が入れ替わる時間が長くなり、結果として大河川ほどトリチウム濃度が高い。観測した1986年当時、新潟県の河川の流域にはトリチウムの濃度が極めて高い地下水が分布していたことを示している。現在から見ると、地すべりとの関連を考察するためには、洪水の水を測定しなかったのは極めて残念なことであった。

酸素同位体を測って分ったこと

水は水素と酸素の化合物である。しかし水素には質量数1, 2, 3の3種類の同位体が天然にある。質量数3の水素をトリチウム (${}^3\text{H}$) と呼び、2のものをデューテリウム (${}^2\text{H}$) と名付けている。トリチウムは極めて少ないが、重水素は0.015%存在します。酸素も天然には質量数が16, 17, 18のものがあります。 ${}^{17}\text{O}$ は極めて微量で、 ${}^{18}\text{O}$ が0.1%ほど存在する。酸素と水素からできている水には質量の違ったものがある。水が蒸発、凝結する過程で質量による文画が生じるから、世界の各地の雨はそれぞれ固有の重さの雨になる。

水の質量は水循環の過程で変化するから、たとえば新潟海岸地域の降水と、山の同位体的には違っている。同位体を測定すると、ある水がどの降水であるかが分かることがある。しかしこれには膨大な基礎的観測を行う必要がある。基礎データの蓄積を少しずつ始めているが現在は十分ではない。ここでは、既存の酸素同位体のデータを参考にしながら行った、渡辺直喜さんの仕事とその後小松原岳史さん達の仕事の内、酸素同位体に関する部分のみを紹介する。

松之山町およびその周辺は地すべりの多発地帯である。先に紹介した越地すべりだけでなく、松之山の大地すべりの後、水を調査した牧らも塩化ナトリウム水の存在を報告している。また、古くから知られている松之山の温泉は塩化ナトリウム型であり、近年もいく

つかの塩化ナトリウム型の温泉が掘削されている。石油やガスの調査のためのボーリング孔から塩化ナトリウム型の水がでることは周知の事実である。

渡辺は、松之山地域の地すべりの塩化ナトリウム型の水と併せて、温泉水の分析を行った。塩化ナトリウム型の温泉水の分析結果を、石油・ガス付随水の解析に用いられる、 $\delta^{18}\text{O}$ -塩化物イオン濃度図にプロットして、石油・ガス付随水の分類にしたがって、温泉水の分類を試みた。松之山の温泉水は、寺泊相当層の石油・ガス付随水と同じ位置にプロットされた。化学成分を利用して、地化学温度計による温泉水生成時の温度推定した結果などとあわせ、これらの温泉水が、地下1000mより深い寺泊相当層に存在した化石海水であると結論した。地すべり地の塩化ナトリウム型の水の塩化物濃度は低いため、そのままのデータは石油・ガス付随水の分類には一致しないが、温泉水のデータと、塩化物イオンの少ない地下水のデータを比較することにより、地すべり地の塩化ナトリウム型の水は、寺泊層の化石海水と浅い地下水の混合物であることを証明した。

牧村の宇津の俣地すべりや沖見地すべりは椎谷層相当層が分布している点で、松之山地すべりとは違っている。しかしやはり、塩化ナトリウム型の水が地すべり地に存在し、確実ではないが最近上昇傾向にある。この塩化ナトリウム型の水の分析結果を、上記の図にプロットすると、これらの水は椎谷相当層の化石海水と現在の地下水の混合物と見て良い結果が得られた。小松原らは併せて、新潟県下に多く見られる強塩化ナトリウム型の温泉水をいくつか分析し、新潟県下の石油・ガス付随水と比較を行った。強塩化物泉は各種の化石海水であることが分かった。

大木靖衛は松之山・松代地域等新潟の地すべり地帯はジオプレッシャー熱水地帯であると主張したが、松之山町、松代町、牧村などの地すべりの高い水位を考えるとときには、ジオプレッシャー熱水の考え方を入れることが重要であることを示している。

滝坂地すべりの排水トンネルは深い層の水を排出している

滝坂地すべりは福島県西会津郡に位置する、地すべり面が100m以上も深いところにある大規模地すべりである。地すべりはいくつかのブロックに分けられている。大きくは阿賀川と支流の笹川に接する南部ブロックと上部の北ブロックに大別されている。南部ブロックは活動がはげしく、いくつかの小ブロックに分けられているが、今回の話では小ブロックの動きまでは触れられないので、省略する。北部ブロックは、東側の花崗岩のブロックである大石田山ブロック、その西の谷状地形の湯出沢ブロック、西側の地すべり面の浅い松阪ブロックに分かれている。

大石田山ブロックと湯出沢ブロックは断層で区切られていると推定されている。湯出の沢地区の表層は泥岩であり、その下に数十メートルの凝灰岩層があり、さらにアルコース砂岩層が横たわっており、その下が基岩の花崗岩である。地すべり面はアルコース砂岩の下部と想定されている。アルコース砂岩層は、湯出の沢地区では100mほど深い位置にあり、西に向かって地表に近づき松阪ブロックでは表層近くに分布している。

近年活動的であり、阿賀川のダム化が危惧された南部ブロックの排水が大々的に行われている。その中でも、トンネルの掘削により、最近では活動が沈静化しつつあるように見える。すべり面が自然流下で排水できる阿賀川水面より深いため、集水井排水もトンネル排水もすべり面より数十メートル上の水を排水する設計になっており、これらの排水システムがいかなる水を排水しているかは興味深い問題である。現在は、最終結論を出す段階ではないが、これまでの滝坂地すべりで行われてきた水の調査と、最近の水位の連続観測、排水の水質の解析などの結果を総合して、問題点を指摘する。

滝坂地すべりの地下水質の分布は、深さ別の水質分析が一部でしか行われていないので、断面分布図が出来る段階ではない。地質条件とこれまでの水質分布から推定すると、表層の泥岩層で硫酸生成が起き硫酸カルシウム型の水が出来る。地下に浸透する過程でイオン交換により硫酸ナトリウム型に変わる、凝灰岩層に入った水は、凝灰岩に多く含まれるナトリウムとカリウムがイオン交換して増加するが、凝灰岩層では陰イオンの供給が少ないので大きな変質はしない。アルコース砂岩層は被圧した、炭酸水ナトリウム型の水である。大石田山の花崗岩地帯の水は硫酸イオンを含む炭酸水素ナトリウムカルシウム型の水である。この炭酸水素ナトリウムが他の水の成因についてはまだ分からない。大石田山ブロックと湯出の沢ブロック境界、および北部ブロックと、南部ブロックの境界に位置する堰沢近くの観測井戸からは、降水に由来すると考えては説明できない塩化ナトリウムに富んだ水が見つかる。おそらく、地下に弱線沿いに深い地下水が上昇しているのであろう。

松阪地区には湧水が見られ、炭酸水素ナトリウム型である。この湧水は、降水があると湧出量が著しく増加し、湧水量は少ないときと多いときでは100倍ほど差がある。量の多いときは確かに少し電解質濃度がさがるが、基本的にはほとんど同じ水が湧出する。降水によって、地下に貯留されていた水が押し出されてきたと考えられる。この現象は、洪水流出も大部分は地下水であるとする、水文学の見解と整合性がある。

トンネルの排水の主成分は硫酸ナトリウムである。当然のことながら、雨が降ると排水量は増える。やはり溶解成分の濃度はそれほど顕著な変化は見られない。副次的な成分である炭酸水素イオン濃度の変化は、松阪の湧水の炭酸水素イオン濃度の変化と似ている。トンネルが松阪湧水の起源と思われる、アルコース砂岩層の水をも排出しているかもしれない。

最近、トンネル排水の電気伝導度の連続観測と自動採水器による一日一度の採水をした水の分析の検討を行っている。電気伝導度は融雪期の後に高くなる傾向があるが、まだ例が少ないので長期的な変動は今後調査を継続する必要がある。電気伝導度の観測で、しばしば電気伝導度の急な低下が観測される。最近、その原因を解く糸口が見つかった。

日雨量20mm程度では電気伝導度は変化しないが、連続雨量100mm程度の雨で電気伝導度が急低下した。電気伝導度急低下の2例について、排水の化学成分の変化を比較した。気伝導度が低下した時は当然、硫酸イオンの濃度は下がったが、炭酸水素イオン濃度は上昇した、同時にpHは上昇した。電気伝導度の低下は、電気伝導度の低い炭酸水素イオンを含み

pHの高い含む水の混入による。雨水に比べて排水は炭酸水素イオン濃度は高く、また、雨水は酸性であるから、この低下は雨水による希釈とは考えられない。100mm程度の激しい雨で、深い位置に貯留されていた地下水が排水されたに違いない。この推察が正しければ、雨量が多いときには同じ現象が起きるはずだと、この観測を担当している鈴木将之さんと話していた。機会はすぐにあった。2002年は台風の影響が多い年で、10月のはじめに滝坂地すべりにも100mmを越す雨が降った。やはり同じ現象が観察された。やはり、ある量の雨が降ると地下水が動くのだ。

終わりに

ここで私の仕事は終わった。雨が降るとなぜ地すべりや土石流が起きるのか、地下水の動きが問題だと考え、地球化学で理解しようとする私の試みは十分な結果を得られなかった。しかし、雨が降ると地面に水が多くなって地盤がゆるむと、地すべり、土石流が起りやすくなるという報道に、いつも「そうかなー」と思ってきた人間のやってきたことをお話しして、これでおしまいと思っている。まだなにも分かっていない、いいわけをすると、地すべりの機構がはっきり分かる必要はあまりないのではないか。災害で苦しむ人が減ればいいのであって！今でもそんなことに悩んでいる。でも、大学では分かることが求められているので、こんな仕事をしてきた。