

新潟県の地すべり

新潟大学積雪地域災害研究センター 地すべり研究分野の10年を振り返って

青木 滋*
Shigeru AOKI

1. はじめに

当センター(以下災害研とよぶ)は、1978年に、地盤災害、雪氷技術、地下水系保全の3部門(分野)で発足し、地すべりの研究分野は、1981年に新発足し、10年間の時限によって、1991年に廃止され、現在は、雪泥流研究分野として再発足している。

災害研の地すべり研究のルーツは、1969年に発足した理学部付属地盤災害研究施設(地すべり研究部門)にまでさかのぼる。この研究施設自体が、1964年の新潟地震、1967年の羽越豪雨災害をきっかけとして、災害の研究を目的としてつくられたものであり、とくに地すべりをとりあげたのは、新潟県で毎年多発し、数も全国一という地域的特性を考慮したからにほかならない。

2. 地すべりと基礎地質学研究者(Basic geologist)

理学部地質鉱物学科(当時は3講座)の努力によってつくられた上記研究施設は、地質学関係の教員3名と技官1名より成り、同学科の新設講座的な役割を与えられた事は当然である。発足当時、同教室から研究施設に対する文書による意見を要約すると、つぎのとおりである。

「1) 理学部付置の研究施設であるから、自然科学の観点から性格づけをし、したがって、災害防止工法などの土木工学的研究は目的としない。

2) 地すべり現象を「地表近くの条件下における地殻物質の変形・破壊・変質」としてとらえ、物質科学および歴史科学の二つの側面から研究する。

3) 研究対象と関連する分野は次のようになる。

a) 地すべりの地域性・時代性: 主として地質学・第四紀学・地形学

b) 地すべり物質の風化・変質: 主として粘土鉱物学・岩石学・地球化学

c) 地すべり物質の破壊・変形: 主として岩石力学・構造地質学

4) 地域社会への寄与は、主として地すべりの原因解明から導かれる「地すべりの予知」の問題を通じて行なう。

5) 地質鉱物学教室でも、従来地すべりを含む災害の研究を行なってきた*1。研究施設は、教室との密接な協力体制の下で、教室側のこれまでの経験を生かすと共に、相互に補いあって充実させていく必要がある。」

私事ながら、筆者は、1970年に東京都土木技術研究所から新潟に転任した。東京都の10年間の応用地質学的研究では、道路や宅地造成地の斜面やノリ面の崩壊はあつかった事があつたが(青木・飯島・細野, 1968)¹⁾、地すべりに関しては、全く無知に等しかった。

その主な理由は、東京都管内では、地すべり地がほとんどなかった事による(当時は、指定地は1箇所しかなかった)。新潟地内を歩いてみると、東京(または関東)では、ほとんどみられない現象の多さに驚いた事がある。

また、主として新潟県庁には、長年地すべりをあつかつてこられた研究技術者(故高野氏、湊元氏、福本氏、岩永氏などなど)が多くおられて、地すべりの研究や対策を長年手がけてこられた事と、上記したように専門は異なっているも、地質研究者で地すべりをあつかつてこられた研究者の多い事にも気づいた。

日本の基礎地質研究者でも、各自の専門とは別に、大なり小なり地すべりを調査されている方が多い事は、文部省自然災害特別研究グループの活動をみてもわかるし、古くは、小出 博(1955)²⁾の提唱された地すべり分類にみられるように、地すべりの素因と地質との関係が深い

* 1 たとえば、昭39(1961)年の新潟地震において、教官・学生が一体となって作成した新潟市内の「地盤災害図」(縮尺1:3000)などは、世界的にも歴史的にも価値の高いものである。

* 新潟大学積雪地域災害研究センター

ことからもうなづける。しかし、現状をみると、これらの地質学的研究には、地すべりの予知や災害を防止・軽減させるといふ面からみると問題が多く、筆者は、別に(青木, 1981, 1985)²¹⁾ これらの問題点を指摘した事があるので、ここでは、くわしい事はのべないでおく。以下、従来、筆者らが理学部時代を含めて過去20年間行ってきた研究の概要をのべる。

3. 主な研究成果

3.1 地すべり地の表層地質の研究

新潟においても、地質図に地すべり地をおとし、その分布状況から、地すべりは寺泊層に多いとか、褶曲の背斜軸に沿って分布するなどの研究が多い(前記小出博による分類も、縮尺50万分の1の地質図をベースにしたと氏自身からきいた事がある)。また、図に使用されている地すべり地も、地すべり指定地を使っているものが多く、それ以外にも地すべり地が多数分布していることは、高野作成の新潟県下地すべり分布図(縮尺5万分の1, 新潟県, 1982)²⁾をみてもあきらかである。

地すべりと地質の関係を調査するといっても、地質調査の唯一の手がかりとなる露頭が地すべり地内には極端に少なく、国立大学の経費や科学研究費を使用してボーリングをする事は、ほとんど不可能に近い²⁾。そこで、上記研究施設時代に、湊元氏の御助言もあって、県が危険と判断された指定地について、縮尺1:5,000の地図“地すべり地図”の作成を目的として、毎年2~3地区をえらんでいただき、現地踏査を行なうことにした。調査内容は、地形、地質調査、電気探査などで、できれば、ボーリングのコアが観察できる地域とした。地図は、1:5,000の森林基本図をベースに、縮尺1:25,000の拡大図(1万分の1)を補助として用い、1971年から1977年まで実施し、調査費として県の受託研究費と文部省の自然科学研究費(1972~74年, 代表 西田彰一: 第三紀層の地すべり発生と予測の研究)を使用させていただいた。

この間の調査地域は、新潟県下11地区で、その結果は新潟大理・地盤災害研研究年報1号(1975)~4号(1978)^{6)~14)}と新潟大災害研研究年報1号(1979)^{15)~16)}に報告されている。

これらの現地調査を通して、それまでの“地すべりの地質調査”について、筆者は、次のような疑問(一部加筆訂正)を提出したことがある(青木, 1975)¹⁷⁾。

(1) 現在、生じている地すべりの大半は、地すべり崩積土とよばれている一種の斜面物質(堆積物)の二次的移動で、地すべり地内の不動地は、ほとんど基岩より成ること(基岩は動いていない)。

(2) 地すべり崩積土層の層相は、その地域の基岩の風化生成物と必ずしも一致しないこと。

(3) 地すべり崩積土層の発生は、段丘等との関係から洪積世(更新世)のある時期と考えられ、現在生成されているものではないこと(青木・高浜, 1977)¹⁸⁾。

すなわち、今の言葉でいいかえれば、地すべり地においては、従来の基礎地質研究者が行なっている基盤(岩)地質 (bed rock geology) よりも表層地質 (surficial geology) の調査が重要で、表層地質は、地形と密接な関係があることは、いうまでもない (J. E. Costa, V. R. Baker 1981)¹⁹⁾。ただし、地質研究者の中には、表層地質 (surface geology) という第三紀層を含める人がいるので、むしろ、地すべりの第四紀地質学的研究が重要だといえれば理解されやすいかもしれない(青木・中村, 1983²⁰⁾, 青木 1986-a²¹⁾, 1986-b²²⁾)。

上にのべた筆者の疑問は、国土地理院の刊行物(航空写真による崩壊調査法, 1976, p.142)²³⁾にも引用されている。そして同著にくわしくのべられているような表層物質と地形との関係を筆者らは次第に重視するようになった。とくに、羽田野他(1970)²⁴⁾による北松型地すべりの研究におけるように、斜面の遷急線(筆者らは、“地形の変換線”とよんでいた)または段丘による斜面地形および表層物質すなわち崩積土の区分を行なうようになった。その典型例を図-1.2に示す(青木・高浜 1976¹¹⁾, 高浜, 青木他, 1978¹²⁾)。

筆者らの調査地で調査後に地すべりが発生した地区が1例あり(能生町高倉地すべり, 青木・佐藤・鈴木, 1981)²⁵⁾, 上記の区分の正当性が実証された。

また、あとののべるように、各地の災害例を調査するうちに、活動地すべりは、上記崩積土の分布地内—すなわち古い地すべり地内で発生しており、現在の地すべりの大半(またはすべて)の地すべりは、古い(旧)地すべりの再活動であることであることがわかった。このことが、筆者らの研究の後半に主力をそそいだ地すべりの危険地帯の予測の研究(“ハザードマップ”作成)の基礎となっているのである。

3.2 地すべり災害の事例調査研究

筆者らの研究期間内に、新潟県内およびその周辺地区で発生し、人命・財産に被害の生じた災害のうちのいくつかについて、概要と調査結果の要点を示す。

3.2.1 新潟県新井市濁川地すべり災害(1973年1月, 2月)

魚沼層とよばれる砂礫層の山砂利採取現場で、大きな地すべりが2回発生し、地すべりにともなって発生した

* 3 この物出地すべり地は、従来黒色泥岩の地すべり地といわれてきたが、移動物質(崩積土)は、石英閃緑ひん岩角礫まじりロームである。

* 2 最近科研費では、可能になった。

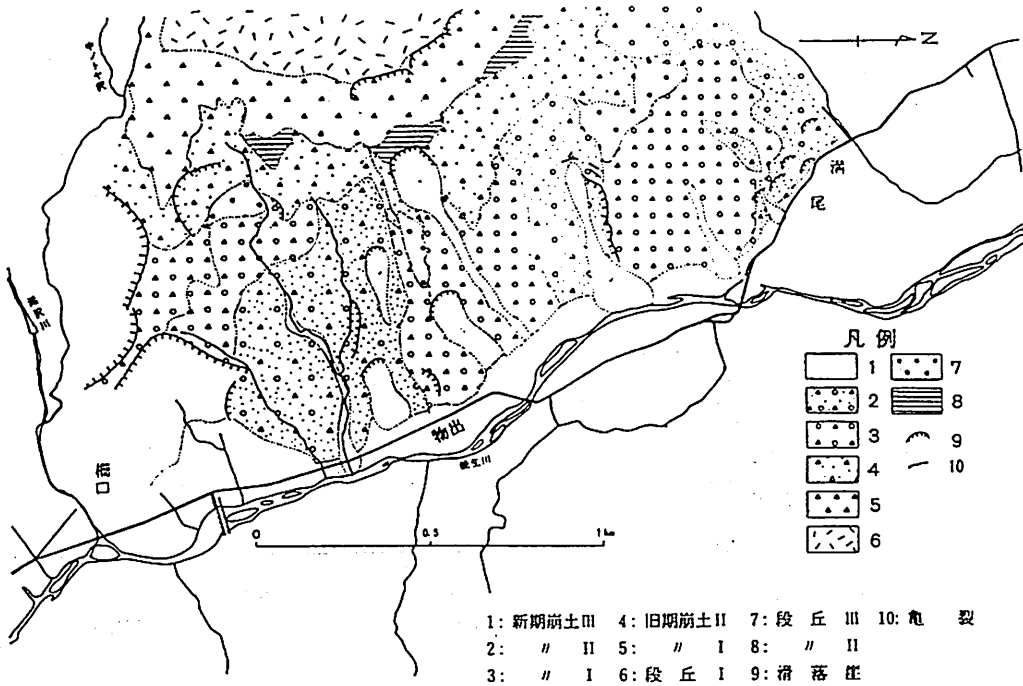


図-1 表層地質図 (能生町物出地すべり地)

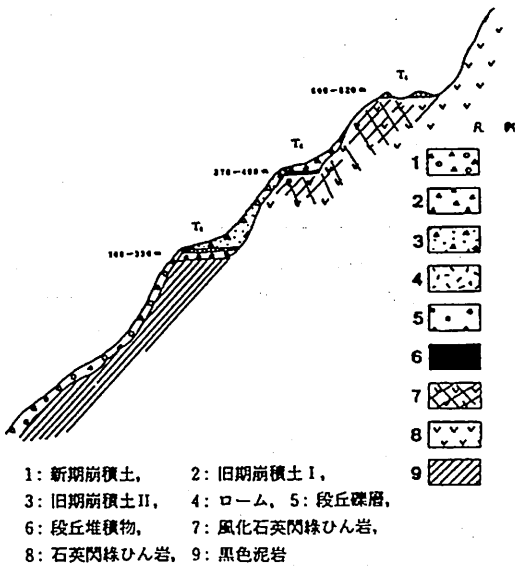


図-2 模式断面図 (能生町物出地すべり地)

第1回目の土砂流によって2名が死亡した。

現地両岸の露頭(切りとり面)には、砂礫層が露出し、はじめ、砂礫層の地すべりと考えられたが、地すべり地には、傾斜した砂岩上に、ローム質砂礫層が分布し、旧地すべり崩積土と判断された。現場の谷底にいた作業員は、左岸上方からの土砂がとびちったのておており、崩積土と基岩の砂礫層の境から濁った湧出水がみられ、写真による定点観測によると、濁った湧水の量が増加し

てきていたので、場内の立ち入りを禁止したところ、残存崩積土の2回目の地すべりと土砂流が発生した(西田・青木他, 1975)²⁶⁾。

3.2.2 新潟県能生町高倉地すべり災害(1980年4月)

この地域では、地すべり発生前と発生後の比較調査を行なうことができた(青木・佐藤・鈴木, 1981)²⁵⁾。その結果地すべりは、もっとも新しい崩積土分布域で発生し、発生前、標高450m, 350mの遷急線に亀裂が生じており、下方の亀裂に湧水がみられ、この部分が滑落崖に転化した。この頃から地すべり地内外の湧水とボーリング孔内水(地下水)の水質調査を行うようになった。ここでは、地すべり地内の電解質濃度は高く、炭酸水素イオン、硫酸イオン、ナトリウムイオンが多いことがわかった。

3.2.3 新潟県山古志村虫亀地すべり災害(1980年4月)

比較的規模の大きい(移動量約128万m³)地すべりで、旧地すべり崩積土の再移動である。地すべり地内の土塊ブロックの表面が上流側に傾くものと、下流側に傾くものに大別されることが明らかになり(藤田・茅原・青木・鈴木, 1981)²⁷⁾、前者は、高野のいう“すべりブロック”に、後者は、“末端流”に相当するものである。滑落崖冠頭部付近には、多数の亀裂地形(古い地すべり地形)が発達していること(図-3)、地すべり発生以前の空中写真にみられる地溝状地形が、滑落崖に転化した(写真-1, 図-4)ことが明らかになった(藤田・青木, 1982)²⁸⁾。地すべり発生直後からの地下水水質調査で、地すべり直後の地すべり地内(とくに上記すべりブロックの末端部)



- 1: 1 2: 2 3: 3 4: 4 5: 5 6: 6 7: 7 8: 8
- 1: 滑落崖, 2: 地すべり時に生じた亀裂,
3: 地すべり以前の亀裂, 4: 地すべり以前の亀裂陥没地,
5: 崩積土上の陥没地, 6: 古い崩積土, 7: 池,
8: 中央崩積土

図-3 滑落崖冠頭部付近の主な地形と地質の分布図 (山古志村虫亀地すべり)

には、濃度の高い塩化ナトリウム型の水が分布し、その後、次第に、硫酸ナトリウム型の水に変わったことがたしかめられた (佐藤, 1981)²⁹⁾

3.2.4 長岡市濁沢地すべり災害(1981年1月) (藤田・青木・小川, 1981)³⁰⁾

融雪期でなく、豪雪期(積雪深約3m)の正月に発生し、時期としてはめずらしく、約300年間移動していなかったところといわれている(32戸倒壊)。地すべり発生前の写真によると、旧滑落崖地形と、1列の地溝地形と旧滑落崖がみられ、ここでも、旧地すべり地の再活動であることがたしかめられた。地すべり直後の湧水には、塩化ナトリウム型の水がみられたが(図-5)、その後は、硫酸ナトリウム型の水が多くなった(佐藤, 1982)³¹⁾。

3.2.5 新潟県新井市上馬場地すべり災害(1981年1月)³⁰⁾

3m以上の積雪の中で発生し、住宅8戸が破壊された。地すべり発生前の地形図をみると、今回の地すべりも、旧滑落崖付近の滑落によって発生した再すべりである(藤田・青木, 1982)²⁸⁾。地すべり地末端付近の深部に塩化ナトリウム型の水がみられ、その他の地下水は、硫酸ナトリウム型である(佐藤, 1982)³¹⁾。

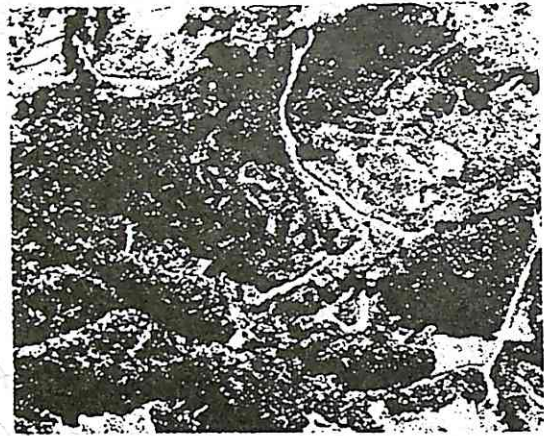
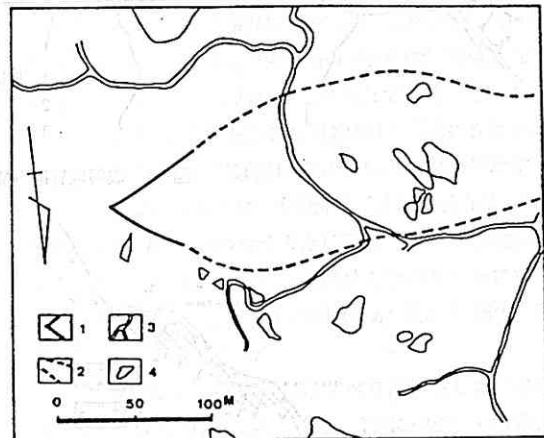


写真-1 虫亀地すべり地の地すべり以前の航空写真



1: 滑落崖, 2: 地すべり輪廓, 3: 道路, 4: 池と大きい水田。
図-4 虫亀地すべりの生ずる以前の航空写真(写真-1)に地すべり分布を対置した図(写真-1と同縮尺)

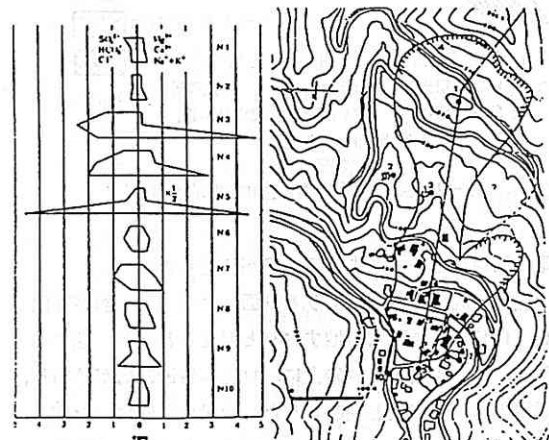


図-5 濁沢地すべり地の試料採取点と水質のヘキサダイアグラム

3.2.6 新潟県関川村中東地すべり災害(1981年4月)

図-6に示したように、地すべり地南部に地溝が発達し、一部に基岩(中新統凝灰岩層)に條痕をもつすべり面がみられたので、当初岩盤すべりといわれていたが、すべり面上に、古い崩積土が分布し、地溝も、古いものが再活動したと考えられるので、古い崩積土内に生じたすべり面に沿ってすべったと再活動の地すべりであることがたしかめられた(藤田・青木, 1982)²⁰⁾。

3.2.7 新潟県青海町玉ノ木地すべり災害(1985年2月)

この地すべりは、規模こそ小さかったものの死者10名、全壊5戸の被害を生じた(図-7, 8)。今回の移動物質は、過去に形成された崖錐堆積物で、ここでも、旧地すべり地内の再すべりである。ここでは、滑落崖の上方に3段にわたる段差地形が認められ、これらは、古い時代に形成された地すべり性の亀裂で、この亀裂が融雪水浸透の集中部であったと推定された(藤田・高浜, 1986)²¹⁾。この傾斜地の下方では、急傾斜地法による工事が施行されたが、その上方の杉林の斜面物質のすべりによって発生した災害で、転倒した杉林の根には直径1m以上の毛根に付着した土塊がついており、このため、斜面内地下水の流動を阻害した場合も考えられた²²⁾。

3.2.8 長野市地附山地すべり災害(1985年7月)

死者26名、全壊家屋50戸の大災害で、信州大学との共同研究の一貫として、主に地形、地質、地下水水質を調査した(川上浩, 1986)²³⁾。

(1) 地附山一帯には、古い地すべり地形と過去の移動物質が広く分布している。すなわち、今回の地すべりは、旧地すべり地の再活動である。また、滑落崖付近には、地溝亀裂、地すべり性ドリーネが残存しており(図-9, 10)、今回の地すべりの素因と考えられる。このような古い地形が今回の地すべりの誘因となった降水の浸透を増大させる条件となった。

(2) 地すべり直後のボーリング孔内水は、濃度の高い炭酸水素ナトリウム型の水であったが、しだいに硫酸ナトリウム型の水にかわった。裾花凝灰岩から熱水変成によってできたスメクタイトが広く分布しており、地下水のナトリウムと結合して、極めて分散・膨潤し易くなっていたことが推定できる。滑落崖下の集水井とボーリング孔内水などのトリチウム濃度を測定し、集水井からは、原水爆の大気圏における実験が盛んであった1960年代に涵養されたと推定できる高いトリチウム濃度が観測された。この古い水は、集水井の排水孔の方向と距離から、滑落崖深部に滞留していることがわかった(佐藤, 1986)²⁴⁾。

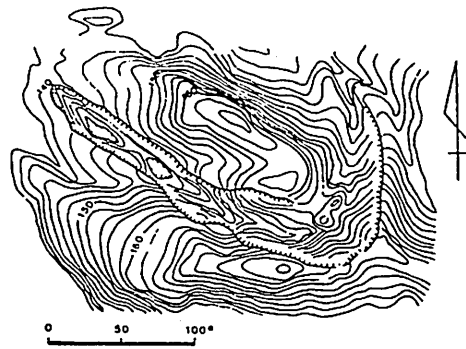
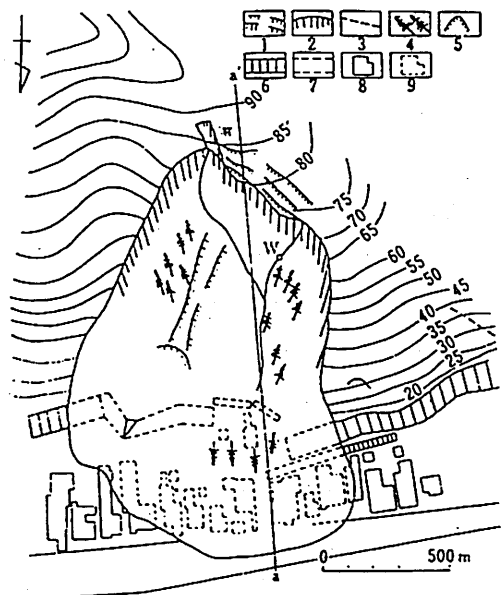
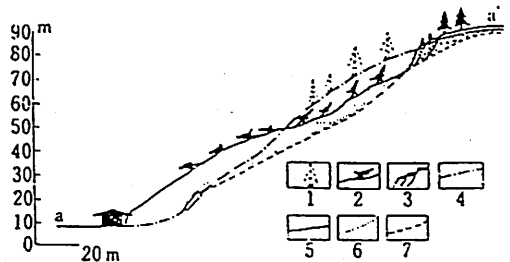


図-6 中東地すべりの冠頭部付近の地すべり後の地形図
——鋸歯模様: 地溝——



1: 古い亀裂, 2: 今回の地すべり滑落崖, 3: 亀裂,
4: 倒木, 5: 亀裂, 6: 擁壁, 7: 崩積土に覆われた擁壁,
8: 非被災建物, 9: 被災建物, W: 崩壊後の湧水地点

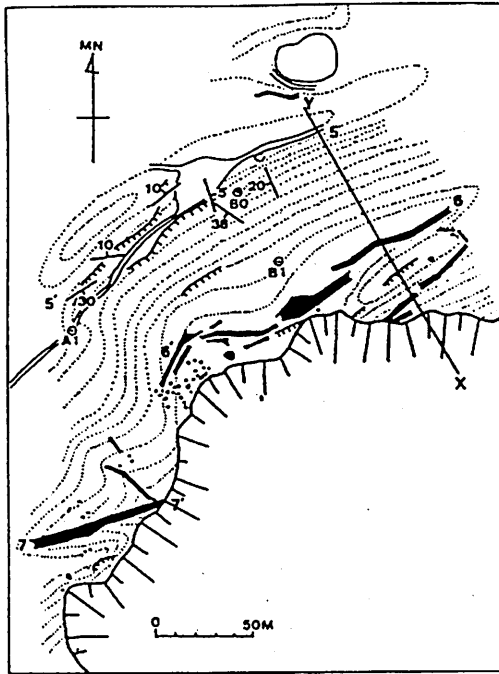
図-7 玉ノ木地すべり災害図



1: 地すべり前の立木, 2: 地すべり後の倒木,
3: 滑落崖と古い亀裂, 4: 旧地表面, 5: 現地表面,
6: すべり面, 7: 基岩上面

図-8 地すべり断面図(玉ノ木)(断面線は図-7参照)

*4 災害を知ったある自治体の長から、その村では、植林して40年位たった杉林では、水が湧いてくる事が多いので、伐採しているとの連絡をいただいた。



破線: 見かけの等高線, X-Y: 図-10の断面線, 1: 古期滑落崖, 2: 古期地溝性亀裂, 3: 地すべり性ドリネ, 4: 基盤ブロックの走向と傾斜, 5: 池

図-9 地すべり冠頭部の地形と古地形図

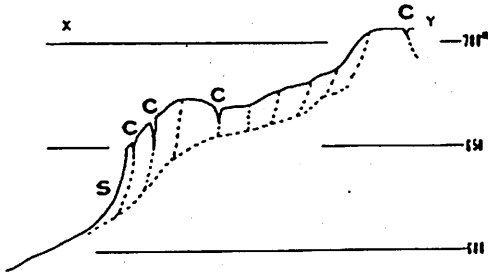
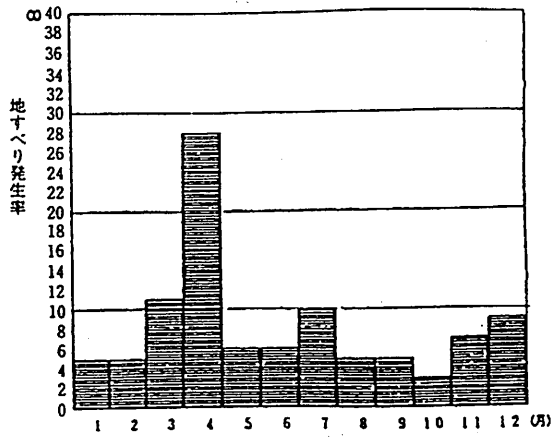


図-9のX-Y線に沿った断面でC: 地溝性亀裂, S: 滑落崖

図-10 滑落崖上方の地形・地質模式断面図

3.3 融雪地すべりの発生機構の研究

新潟県を含む北陸地方で発生する地すべりは、雪とくに融雪に関係していることは、よく知られており、年間の地すべり発生件数の約40%が、3月、4月の融雪期に発生していることからわかる(図-11)。しかし、冬季間には、地すべり地は、豪雪におおわれているため、融雪現象と地すべり発生との関係を知るためには、積雪期間の長期観測を必要とする。筆者らが、このことを企画した時には、県当局にも、この種のデータは、松之山地すべり地をのぞいて皆無に近かった。建設省土木研究所で



(1949年-1979年: 合計発生数 2189件)

図-11 新潟県における地すべり発生の月別頻度

は、猿供養寺地すべり地において、地すべりに及ぼす融雪浸透特性に関する研究は、60年代前年から観測が開始されたという(建設省土木研究所新潟試験所, 1990)³⁵⁾。つぎに融雪関係についてみると、研究者の話や文献等からみても、山地においては、あまりくわしい研究が行われていないようである³⁶⁾。そこで、前述のいくつかの地すべり災害と、発生前後の気象条件を検討してみると、発生の何日か前に融雪量が急増したことがあることに共通性がみられたが(小林・藤田, 1986)³⁶⁾、1981年頃から、災害地に近い山古志村において、気象と積雪・融雪の長期観測³⁷⁾と、地下水の各種観測を開始した。

3.3.1 山古志村虫亀地区の地下水観測(佐藤・青木・鈴木, 1983)³⁸⁾

前記の虫亀地すべり地滑落崖直下のボーリング孔を利用して、1982年5月よりアナログ記録計による水位(水圧水位)、水温、水質の観測を行った。水質は、深さ5mの水を自動採水器によって約17時間ごとに採水した試料を分析した。

(1) 地下5m深の水質の変化

1982年5月から6月の22日間で、図-12, 13のような変化が認められた。この期間は、融雪、降水の影響がない時期であるが、期間中に、電気伝導度(EC)の低い水と高い水が交互にあらわれた。このことは、水位が変動しないのに、5mの深さのところには水質の異なる水が交互にあらわれることを意味している。

(2) ボーリング孔内の水質の垂直変化

深さ5mのところに比較的濃度の低い水が存在した時、ボーリング孔内の水を層別に採水して分析した(図-14)。各曲線によってかこまれた空間が、各イオンの存在

* 5 災害研小林俊一氏による。

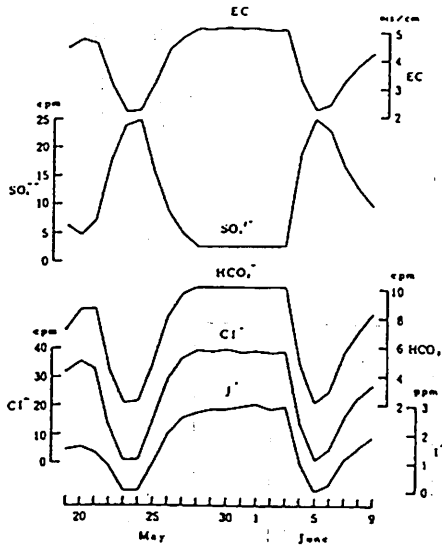


図-12 虫亀地すべり地地下5mの地下水のアニオン組成変化

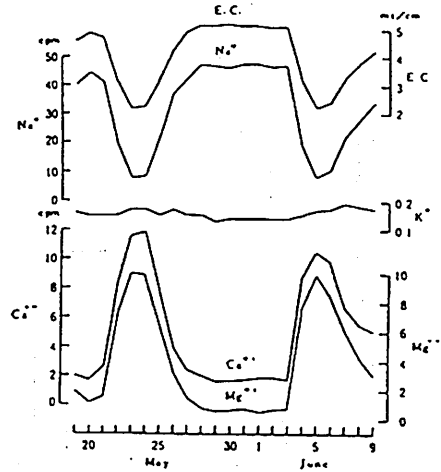


図-13 虫亀地すべり地地下5mの地下水のカチオン組成変化

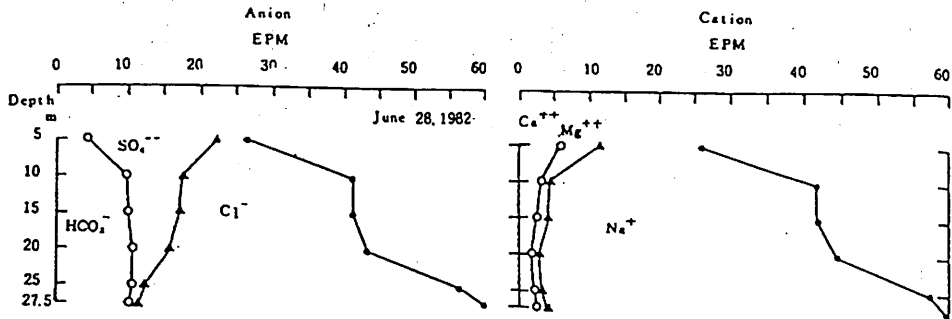


図-14 ボーリング孔内水のアニオン、カチオンの垂直分布

量を示し、黒丸の線と縦軸にかこまれた空間は、それぞれ全カチオン、全アニオンに相当する。これによると、この孔内には、浅層に EC の低い (2.21~2.43 ms/cm) SO_4^{2-} 、 Ca^{++} 、 Mg^{++} を主成分とする塩類濃度の低い水と、深層に EC の高い (5.09~5.13 ms/cm) Cl^- 、 HCO_3^- 、 Na^+ を主成分とする塩類濃度の高い水が存在することがわかった。

(3) 水の起源

a) 浅層水

硫酸イオン SO_4^{2-} は、地すべり地の表層で生成される。虫亀地すべり地の泥岩 (崩土も含む) 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、岩石中の鉄・イオウ細菌により硫酸が生成されていると予想される。

b) 深層水

重炭酸を含み NaCl 濃度の高い水は、他地域で知られているような火山活動によって供給されたものでなく、ボーリング孔より通常の大気の CO_2 に比べて、数 10~数 100 倍に相当する 2~7% の CO_2 が確

認されたことや、 I^- の含有量が高いことから、ガス・石油付随水に由来するものと考えられる。

(4) 長期観測結果

結果を図-15 に示す。水位変化はほとんどみとめられなかったが、深さ 5 m 位置の水質変化が 4 回みとめられた。EC が高くなったときは、深層水が上昇したことを意味し、降水との関係は不明だが、2 層の境が何らかの原因で上下する変動を示している。なお、11 月 2 日からの水位の急低下は、近接集水井設置による排水の影響である。

3.3.2 長岡市濁沢地区の観測 (青木・佐藤, 1989)³⁹⁾

虫亀地区の観測にあたって、計器類の保守管理等にも種々の問題のあることがわかったので、1981 年の正月に地すべりが発生した濁沢地すべり地において、県の小屋と井戸 (深さ 18 m) を借りて、デジタル記録・演算システムによる地下水位、EC、水温の測定を、1983 年 12 月 27 日から約 5 ヶ月間行った。水温と EC は、7.5 m、10 m、18 m の深さで測定した。

(1) 観測結果 (図-16)

水位は、12 月末の深さ 6 m から低下を続け、2 月初め

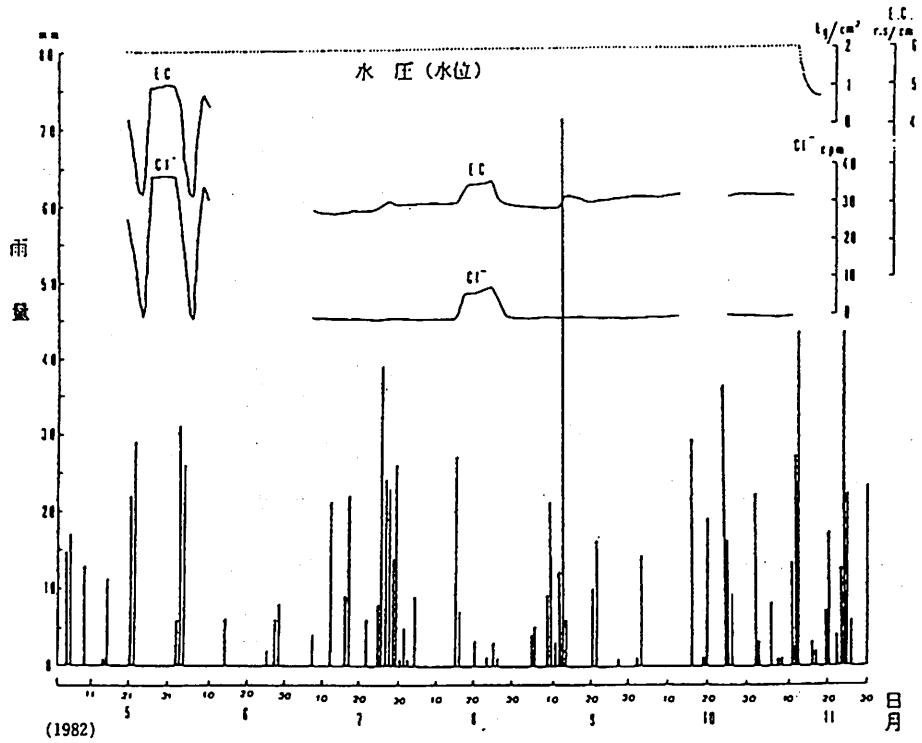
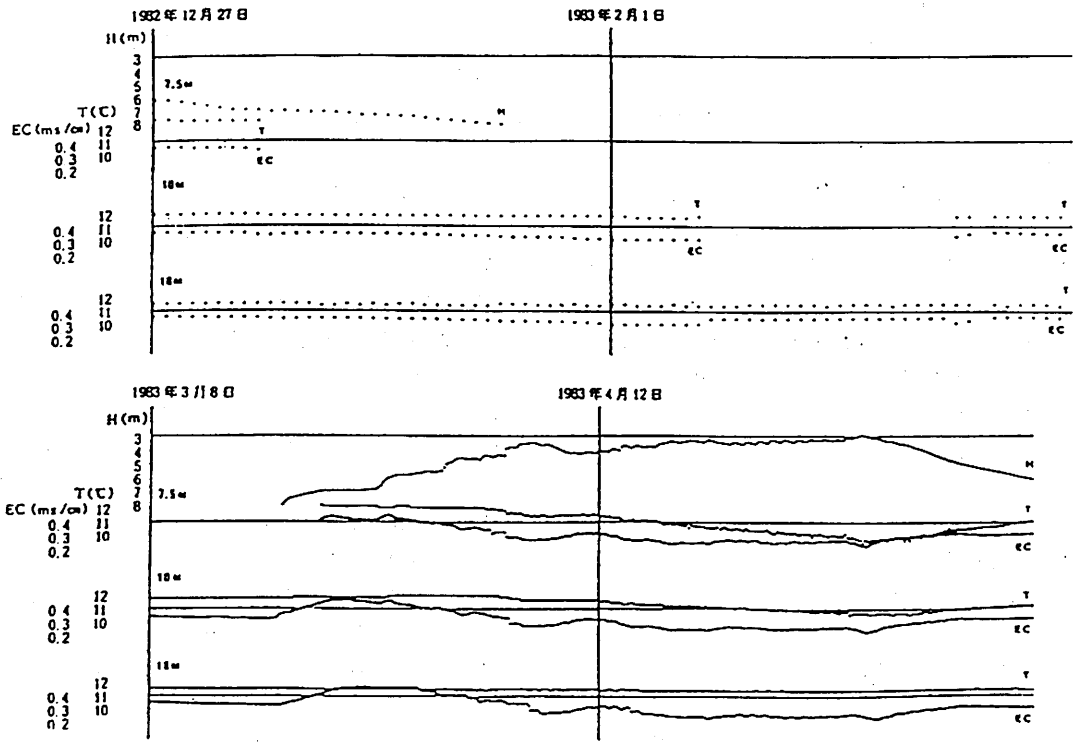


図-15 アナログ記録計による観測結果 (新潟県長岡市虫亀地すべり地)



H: 水位 (m), T: 水温 (°C), EC: 電導度 (mS/cm)

図-16 デジタル記録・演算システムによる観測結果 (新潟県長岡市濁沢地すべり地)

に、10 m 以下に低下し、センサが水面上に露出したため、測定不能になった。3月18日頃には、水位センサの位置(8.25 m)まで水位が上昇した。水位の上昇は、時々短期間に急上昇することをくり返して、全体として上昇している。また、4月初めまでの水位上昇期には、深い方のEC(一部水温も)が上昇し、深層水が上昇しているとみさせる。その後の水位横ばい期には、ECも水温もほぼ横ばいを続け、水位の下降期には、浅いところの水温が上昇する。したがって、融雪期の地下水水位上昇が、融雪水の直接浸透によるものでないことは、確かである。

3.3.3 地すべり地地下水の湧出状況

- (1) 安定期における湧水(佐藤・青木・矢沢・鈴木, 1984)⁴⁾

山古志村一帯の湧水(自然湧水、集水井・水平ボーリング排水など)の地すべり非発生期の水質を広域的に調べてみると、不動地をのぞいて、大半が硫酸イオンで特徴づけられる浅層水であり、深層水はみられなかった。不動地のそれは、電解質濃度の低い水である。

- (2) 地すべり発生時の湧水(佐藤, 1981²⁾, 1982³⁾)

すでにのべたように、地すべり発生後の地内(地すべりブロック内)の湧水は、電解質濃度の高い塩化ナトリウム型を主成分とする前記深層水がみられる。

3.3.4 地すべり地地下水のふ存、流動状況と地すべりの発生

以上の結果をまとめ、地すべり発生メカニズムを推定すると次の通りである。

- (1) 地すべり地内の地下水には、水質の異なる2層の水が存在する。

(2) 浅層水は、常時地表に湧出し、流動的な地下水で深層水は、地表に流出しにくい停滞水である。

(3) 融雪期には、地すべり地外における融雪水の浸透によって、深層水の水圧がたかまり、すべり面に対して揚圧力が働く。この揚圧力によって地すべりが発生すると、深層水が地表に流出する。

(4) 融雪水の浸透は、地すべり地内ではほとんど発生せず、滑落崖上方の断裂溝、亀裂を通して行なわれる⁶⁾。

浸透による地下水(裂か水)の圧力伝播により、深層水の水圧が融雪期にたかまる(青山・中俣・小川, 1984)⁴⁾

(5) 地すべりによって深層水が排出されると、ある期間をへて深層水が貯留され、揚圧力が地すべり発生状態にまでたかまると、再び地すべりが発生する。これが地すべりの周期性であろう⁷⁾。

- (6) 今後は、滑落崖上方の亀裂内と、下方の地すべり

地内の地下水変動の比較観測を行なう必要があると共に、地すべり防止対策として、これらの亀裂を通して行なわれるであろう浸透水排除を検討することがのぞましい。

3.4 地すべり地地下水の自動観測システムの開発

前章でのべたような地すべり地の長期観測(とくに地下水の)を行う際に、冬季間の積雪のため、人手による現地観測には困難をとまることが多いので、観測の自動化によってデータを得ることができるシステムの開発を企てた。それらの試みは、次のとおりである。

- (1) アナログ記録計による水位・電導度・水温の測定(虫亀地区, 1982年5月~1983年4月)。

(2) デジタル記録・演算システムによる水位、電導度、水温の測定(濁沢地区, 1983年12月~1984年5月)。

(3) デジタル記録・演算システムによる水位・電導度、水温、積雪深、融雪水量、気温、多層移動量などの測定と、新潟大学災害研へのデータ転送、処理(東虫亀地区, 1986年12月~現在)。

(4) デジタル記録・演算システムと無線通信システムによる水位、電導度、水温の測定とデータ転送(松之山町越地区, 1986年12月~1987年4月)でこれらの内容と問題点については、別にくわしくのべてあるので、(佐藤・青木ほか, 1987年)²⁾、ここでは詳細を省略する。なお、地すべりの自動観測システムについては、現在、建設省評価規定(建設省告示第1394号)に基づいて、関係各社によって開発されつつあることは、衆知のとおりである。

3.5 地すべり危険地帯の予測に関する研究

1985年前後に、人命が失われた土砂災害が全国で多発した。その結果、1984年9月の総理大臣指示により、国土庁など6省庁による“土砂災害対策推進連絡会議”が発足し、土砂災害の予防や被害の軽減について、政府も積極的に取り組むようになった。また、土質工学会でも、“土砂災害の予知と対策”について刊行物が発行された(1985)。土砂災害による死者をへらすためにも、土砂災害危険地帯の見直しが急務である。

その具体的なものが、ハザード・マップまたは防災マップ(国土庁)の作成に相当するが、筆者らも、地すべりに関して、今までのべてきた研究結果を土台として、理学部地質鉱物学学科の卒業論文生の協力をえてこの問題にとりくみはじめたのは、1985年以降である。上記連絡会議の資料でも、「地形や地質から、土砂災害の危険度を評価する技術が十分に確立されていない」と指摘されており、この点については、従来の基岩地質学的研究では、(1)表層地質と地形、(2)すべり面、(3)地下水問題の各々についての認識の欠除を指摘したい。

* 6 地下水中の窒素の存在は、亀裂につまっている草や木から由来していると考えられる。

* 7 この点をたしかめるために、地下水のトリチウム濃度を広域的に測定している。

3.5.1 危険地帯の予測のための調査法

筆者らが行ってきた方法を要約すると、次のとおりである。

(1) 表層地質図、地形分類図(第四紀地質図)の作成
地すべりの発生が、すべて旧地すべり地(ancient landslide area)内で生じているため、旧地すべり地とその堆積物(landslide deposit)の分布を明らかにし、基岩地質図は、不動地の判定のための参考図として使う。

(2) 旧地すべり群の区分

新期の地すべり群に最近の地すべりの発生が多いので、段丘や斜面の遷急線(knick line)を使って、旧地すべり地およびその堆積物の新旧区分を行い、新旧亀裂、断裂地形の分布も明らかにする。

(3) 地区内災害例の収集と図化
過去の災害例を集め、できるだけ地図化する。アメリカでは、この種の災害図(inventory map)(青木, 1989)⁴⁾がよくそろえられており、ハザード・マップの作成の重要な基礎データになっているが、日本では、(たとえば災害台帳などには)意外と少ない。

(4) 地下水の水質調査

地域内の湧水・井戸水、河川水を採水し、水温、電導度、phを現地で測定し、採水後、室内で水質分析を行う。溶存イオン量や水質の型で、地すべり地の危険度の判定の一資料とする。また、必要があれば、トリチウム濃度を測定し、長期的な危険度の判定につかう。

(5) 危険地帯の予測図の作成

以上のデータをまとめて危険地帯の予測図を作成し、危険度の程度は、新しい亀裂の発生状況を現地踏査してきめる。

3.5.2 具体例(青木, 1986-b, c)²⁾¹⁾²²⁾(図-17, 18)

この地域は、長岡市東南部、信濃川支流の大田川上流域にあたり、1981年1月に、濁沢地すべり、1984年5月に蓬平地すべり災害が発生している。

(1) 基岩地質

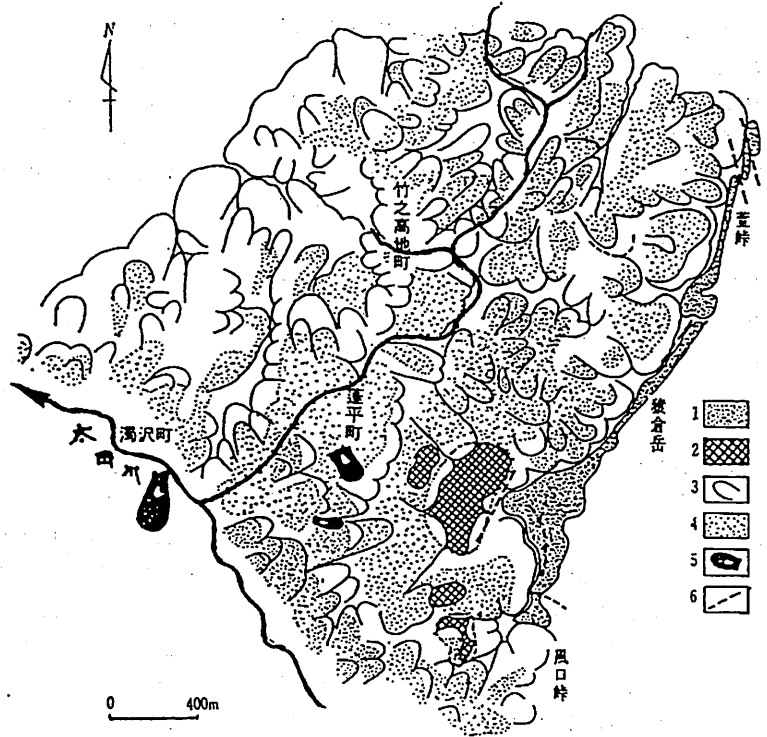
主に新第三系より成り、下位より頁岩(寺泊層下部)、石英安山

岩質火山角礫岩(寺泊層上部)、塊状泥岩(椎谷層)、砂岩・泥岩互層(西山層)にわけられる。北北東-南西方向にのびる断層と褶曲構造がみられるが、これらの岩層区分や地質構造と地すべり分布(または地形)との対応関係はみとめられない。

(2) 地形と表層地質

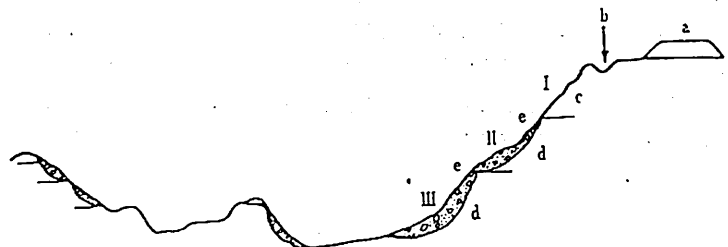
a) 山頂小起伏面—地域東部の高度550~700mの稜線沿いに分布し、厚さ20m前後の赤色土が分布している。

b) 旧滑落崖—円弧状または馬蹄形状の急斜面より成り、規模は高位のものほど大きく、低位になるほど



1: 山頂小起伏面(赤色土), 2: 離れ山ブロック, 3: 旧地すべりブロック, 4: 旧地すべり崩積土, 5: 最近の地すべり, 6: 旧亀裂地形

図-17 新潟県長岡市大田川流域地質図



a: 山頂小起伏面(赤色土), b: 旧亀裂, c: 離れ山ブロック, d: 旧崩積土, e: 遷急線, I: 旧地すべりI群, II: 旧地すべりII群, III: 旧地すべりIII群

図-18 模式断面図

小さい。

- c) 旧崩積土一b)の形状に関連して形成された旧地すべりの崩積土で、基岩を被い、旧滑落崖下方のゆるやかな斜面に分布する。
- d) 旧亀裂地形一上記a)の山頂起伏面に、二重山稜、線状凹地が分布する。
- e) 離れ山ブロック一地域東南部の西斜面に4ヶ所みとめられ、旧地すべり時に、下方に滑落せずに大きなブロックとして残っているものと、旧滑落崖からはなれて孤立丘状に存在しているものがある。
- f) 遷急線一高度350m前後、480m前後、600m前後にみとめられる。それぞれ遷急線直下に旧地すべり地が分布し、旧滑落崖頂部が遷急線に一致している。

(3) 旧地すべり群の区分

この地域には明瞭な段丘が発達しないが、

- a) 上記3段の遷急線がほぼ同一高度で比較的連続していること。
- b) 隣接下流域で、各遷急線が各段丘と対比できることから、これらの遷急線を、河床停滞期の時間面として、旧地すべり群を、I群(480m前後の遷急線より上位に存在するもの)、II群(350m～480mの遷急線間に分布するもの)、III群(350m前後の遷急線より下位に存在するもの)にわけることができる(図-17では省略)。

これらのうち、旧地すべりI群には、旧亀裂地形や、離れ山ブロックがみられ、初生すべりの状況を残している。また、これらの旧地すべり群は、I群→II群→III群と下方の地すべり群ほど時代的に新しくなり、旧地すべり地の大きさは、I群→II群→III群と小さくなっている。

(4) 斜面発達史からみた地すべり発達史

- a) 小起伏面の形成、赤色土の形成(第四紀初頭の準平原化、風化土の形成)。
- b) 小起伏面の隆起、浸食による斜面の形成。
- c) 重力性クリープ破壊面の形成(旧亀裂地形の形成)。
- d) 初生すべり(崩壊)の発生(I群の形成)。
- e) 河床低下にともなう再すべりの発生(II群、III群の形成)。

(5) 地すべり危険地域

この地域では、水質調査を行っていないが、新しい亀裂の発生などから、III群分布地域の危険度が最も高い。なお、この地域の最近の地すべりは、いずれもIII群で発生している。

過去の地すべりは、すべて斜面において発生しているので、上記の手法は、斜面発達史からみた地すべりの危険度予測を出発点としている。一般に、山地・丘陵地は、

第四紀初頭に隆起をはじめ、現在にいたっている。この運動を藤田(1982)⁴³⁾は、第三紀層の褶曲をもたらしたアルプス変動と区別して、島弧変動とよんでいる。したがって、山地・丘陵地の斜面は、第四紀を通じて形成され、斜面の“表層物質”は、第四紀層ということになる。

そうすると、地すべりも、山地・丘陵地の第四紀地形、地質学などの観点から見直すことが必要である。

筆者らも上記のような見地から、地すべり危険地帯の予測の一手法を提示したが、何故、初生地すべりが、浸食されずに残っているのか、何故、初生の谷が巾広いのかなど、河谷の発達形成過程については、現状では、必ずしも明らかな解答を得ていない。

4. おわりに

筆者らの研究分野では、上記の研究のほかに、1978年の妙高災害(青木ほか、1979)⁴⁴⁾や1979年～1985年間にかけて、長野県小谷村浦川流域の斜面崩壊と土石流の研究⁴⁵⁾を、建設省松本砂防工事事務所の御協力の下に行い、いくつかの新知見を得ることができた。また、1978年から1987年にかけて、インドネシアジャワ島、台湾、北米サンフランシスコ周辺、西ドイツ、中国長江流域の地すべりについて、地すべり特性の比較研究を行ったが、紙数の関係で、内容は割愛する。

災害研の地すべり研究について、このほかにもいろいろ行われているが、ここでのべたことは、かなり筆者の主観的意見が中心となっていることをお断りしておきたい。筆者らの災害研は、シンクタンクのように、学際的であり、多くの学問領域にわたり、具体的な防止対策を立案できる能力をもつ機関でありたいと願っているが、その理想にはほど遠いけれども、少人数ながら多岐にわたる専門分野の研究者が集まって、協同して仕事を進めてきたことが、多少なりとも、地すべりを含めた災害の研究に役立てばと願っているものである。

引用文献

- 1) 青木 滋、飯島 弘、細野義純: 宅地造成と災害、建築雑誌、43年1月号、pp. 73-75、1968
- 2) 小出 博: 日本の地すべり一その予知と対策一、pp. 1-259、東洋経済新風社、1955
- 3) 青木 滋: 第三紀層域における土砂生産特性、第14回砂防学会シンポジウム概要集、pp. 29-39、1981
- 4) 青木 滋: 自然災害と地質学、地質学論集、25号、pp. 453-463、1985
- 5) 新潟県: 空中写真による地すべり地形判読図、縮尺5万分の112葉、1982
- 6) 西田彰一、青木 滋、岩松 暉、小林巖雄、鈴木幸治: 新潟県中頸城郡樽本地すべり地の地質、新潟大地理地盤災害研究年報、1号、pp. 29-38、1975
- 7) 津田禾粒、青木 滋、小林巖雄、満田忠人、鈴木幸治: 新潟県中頸城郡飯倉町西谷地すべり地の地質、同上、1号、pp. 39-48、1975
- 8) 青木 滋、茅原一也、小松正幸、小林巖雄、鈴木幸治: 新

- 潟県西頸城郡糸魚川市夏中地すべり地の地質, 同上, 1号, pp. 49-76, 1975
 9) 西田彰一, 青木 滋, 小林巖雄, 湊元光春, 鈴木幸治: 新潟県西頸城郡能生町小見地すべり地の地質, 同上, 1号, pp. 77-88, 1975
 10) 青木 滋, 西田彰一, 茅原一也, 小林巖雄, 鈴木幸治: 新潟県北魚沼郡入広瀬村横根地すべり地の地質, 同上, 1号, pp. 89-104, 1975
 11) 青木 滋, 高浜信行: 地すべり地の履歴に関する研究(その1), 同上, 2号, pp. 11-18, 1976
 12) 高浜信行, 青木 滋, 西田彰一: 新潟県新井市平丸地すべり地の地質とくに表層地質について, 同上, 2号, pp. 19-32, 1976
 13) 高浜信行, 青木 滋, 小林巖雄, 鈴木幸治: 新潟県西頸城郡能生町高倉地すべり地の地質, 同上, 4号, pp. 47-52, 1978
 14) 茅原一也, 青木 滋, 高浜信行, 鈴木幸治: 新潟県西頸城郡能生町長畑地すべり地の地質, 同上, 4号, pp. 53-58, 1978
 15) 青木 滋, 藤田至則, 高浜信行, 小林巖雄, 鈴木幸治: 新潟県西頸城郡能生町越地すべり地の地質, 新潟大災害研究年報, 1号, pp. 69-74, 1979
 16) 茅原一也, 青木 滋, 鈴木幸治: 新潟県西頸城郡能生町芳山山すべり地の地質, 同上, 1号, pp. 75-84, 1979
 17) 青木 滋: 地すべり地の第四紀地質学的考察, 文部省科学研究費研究成果 No. A-50-6「第三紀層の地すべり発生と予測の研究(代表西田彰一)」pp. 57-59, 1975
 18) 青木 滋, 高浜信行: 新潟県における初生斜面崩壊の発生期と発生原因に関する一考察—地すべり地の履歴に関する研究(その2)—新潟大地理地盤災害研究年報, 3号, pp. 19-29, 1977
 19) Costa, J. E. et V. R. Baker: Surficial Geology, Building with the Earth, pp. 1-498, John Wiley&Sons Inc.
 20) 青木 滋, 中村三郎: 土砂災害の予知と対策 3, 地すべり, 土と基礎, 31巻4号, pp. 71-78, 1983
 21) 青木 滋: マス・ムーブメントの第四紀地質学的研究, 地質学論集, 28号, pp. 45-54, 1986-a
 22) 青木 滋: 新しい地すべりと古い地すべり, 土と基礎, 34巻12号, pp. 1-3, 1986-b
 23) 建設省国土地理院: 航空写真による崩壊調査法, pp. 1-372, 1976
 24) 羽田野誠一, 岡部文武, 渡辺征子: 「1:50,000北松地域地すべり地形分類図」の作成, 防災科学技術総合研究報告, 32号, pp. 7-23, 1970
 25) 青木 滋, 佐藤 修, 鈴木幸治: 高倉地すべりについて新潟大災害研究年報, 3号, pp. 23-30, 1981
 26) 西田彰一, 青木 滋, 津田禾粒, 小林巖雄, 霜島重雄, 歌代 勲: 昭和48年1月に発生した新潟県新井市濁川山砂利採取現場の地すべりについて, 新潟大地理地盤災害研究年報, 1号, pp. 105-111, 1975
 27) 藤田至則, 茅原一也, 青木 滋, 鈴木幸治: 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, 新潟大災害研究年報, 3号, pp. 1-24, 1981
 28) 藤田至則, 青木 滋: 地すべり予測に関する基礎的研究, 同上, 4号, pp. 51-64, 1982
 29) 佐藤 修: 地すべり地の陸水の水質-1 虫亀, 高倉地すべり, 同上, 3号, pp. 47-58, 1981
 30) 藤田至則, 青木 滋, 小川正二: 56 豪雪下に発生した新潟県下の地すべり災害について, 同上, 3号, pp. 111-118, 1981
 31) 佐藤 修: 地すべり地の陸水の水質(2)濁沢・上馬場地すべり, 同上, 4号, pp. 77-86, 1982
 32) 藤田至則, 高浜信行: 新潟県西頸城郡青海町玉ノ木地すべりの要因, 地質学論集, 28号, pp. 135-146, 1986
 33) 川上 浩: 1985年長野市地附山地すべりの災害調査研究, 文部省科学研究費(No. 60020045), 自然災害特別研究突発災害研究成果, No. B-60-5, pp. 1-158, 1986
 34) 佐藤 修: 長野市地附山地すべり地の地下水の水質-地すべり地の陸水の水質-6, 新潟大災害研究年報, 8号, pp. 57-69, 1986,
 35) 建設省土木研究所新潟試験所: 雪と地すべり—研究30年のあゆみ—, pp. 1-113, 1990
 36) 小林俊一, 藤田至則: 融雪地すべりについての概要, 自然災害科学, 5-1, pp. 1-8, 1986.
 37) 新潟大災害研究年報, 8号(1986), 9号(1987), 10号(1988) 11号(1989), 12号(1990), 13号(1991)の資料
 38) 佐藤 修, 青木 滋, 鈴木幸治: 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, 新潟大災害研究年報, 5号, pp. 33-42, 1983
 39) 青木 滋, 佐藤 修: 融雪期における地すべり地内の地下水の挙動, 地すべり学会新潟支部, 土質工学会北陸支部, 17回シンポジウム(地すべりと地下水について), pp. 1-7, 1989
 40) 佐藤 修, 青木 滋, 矢沢茂伸, 鈴木幸治: 虫亀地すべり地周辺の湧水の水質—地すべり地の陸水の水質-4, 新潟大災害研究年報, 6号, pp. 63-72, 1984
 41) 青山清道, 中保三郎, 小川正二: 新潟県における地すべりと雪との相関性に関する検討, 地すべり, 21巻3号, pp. 11-16, 1984
 42) 佐藤 修, 青木 滋, 吉田昭治, 仲川隆夫, 鈴木幸治: 地すべり地地下水の自動観測システムの開発, 同上, 9号, pp. 115-124, 1987
 43) 青木 滋: アメリカ・ドイツ・台湾の応用地質見聞記, 新潟応用地質研究会誌, 32号, pp. 3-12, 1989
 44) 藤田至則: 島弧変動について, 地研専報, 24号, pp. 1-32, 1982
 45) 青木 滋, 藤田至則, 霜島重雄, 島津光夫, 吉村尚久, 高浜信行, 早川嘉一, 北野 康, 鈴木幸治: 1978年5月18日妙高災害(1)—斜面崩壊について, 新潟大災害研究年報, 1号, pp. 1-22, 1979
 46) 姫川水系浦川流域における斜面崩壊と土石流について, その1(同上4号, 1982)~その6(同上9号, 1987)
 (原稿受理日 平成5年9月13日)