

## 流動型地すべり「アースフロー」の調査概要 —北海道稲里中央地区の地すべりを中心に—

### Summary report of earthflow research at Inasato, Hokkaido

石丸 聡・田近 淳・高見 雅三・遠藤 祐司  
岡崎 紀俊・高橋 浩晃\*・廣瀬 亘・垣原 康之

Satoshi Ishimaru, Jun Tajika, Masazo Takami, Yuuji Endou, Noritoshi Okazaki,  
Hiroaki Takahashi, Wataru Hirose and Yasuyuki Kakihara

#### Abstract

The results from this earthflow research are the following. 1) Earthflows are distributed in the places which have thick soil layers and water preservable landforms, and low resistance rock, for example mudstone, serpentinite, and tuff. 2) Side ridges of the earthflows are formed to override sediments to the side direction. Terminal mounds are formed to press against sediments. 3) The earthflows have gradients of velocity in the bodies. The deformation is most in a soft saturated layer. 4) The subsurface soil layer with the lower soft layer is deformed, when the rising of the water content from heavy rain and melt water weakens resistivity of the subsurface layer. 5) The interval between the beginning of a heavy rain and the beginning of an earthflow movement is a few hours.

キーワード：アースフロー，塑性流動，土壤水分，飽和帯，泥岩  
Key words : earthflow, plastic flow, soil water, saturated zone, mudstone

#### I はじめに

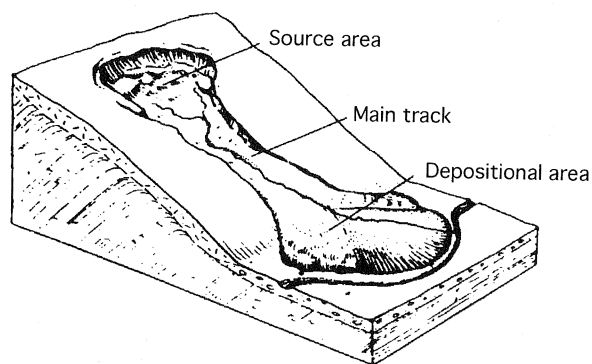
アースフローは、移動体内部に粘性流体に似た速度勾配を持つ、土のマスムーヴメントである (Varnes, 1978; 第1図)。その速度は、高速のものから年間数mm以下といった超低速のものまで知られている。日本では、古くからこのような特徴を持つ斜面変動の存在が認識され、粘稠流動型あるいは流動型地すべり (高野, 1960) と呼ばれてきた。

アースフローは、土が軟らかいため土塊が杭打ち工の杭をすり抜けたり、土塊自身が変形するため集水井の井戸を潰してしまうなど、通常の対策工を行なった結果しばしば問題が発生している。このようなアースフローの特徴をとらえ、効果的な対策手法を検討するためには、その運動形態などについて基礎的なデータを蓄積し、発生機構を解明する必要がある。

このような観点から、1997年度～2000年度 (平成9年～12年度) に「流動型土砂災害の発生機構に関する研究」を行なった。この中で、穂別町稲里地区の地すべり防止区域 (稲里中央地区) 内のアースフロー斜面に観測地を設け、4年間にわたり地形、変動量、土壤水分など様々な計測を実施してきた。本報告は、その結果の概要をまとめたものである。

#### II アースフローの分布地域

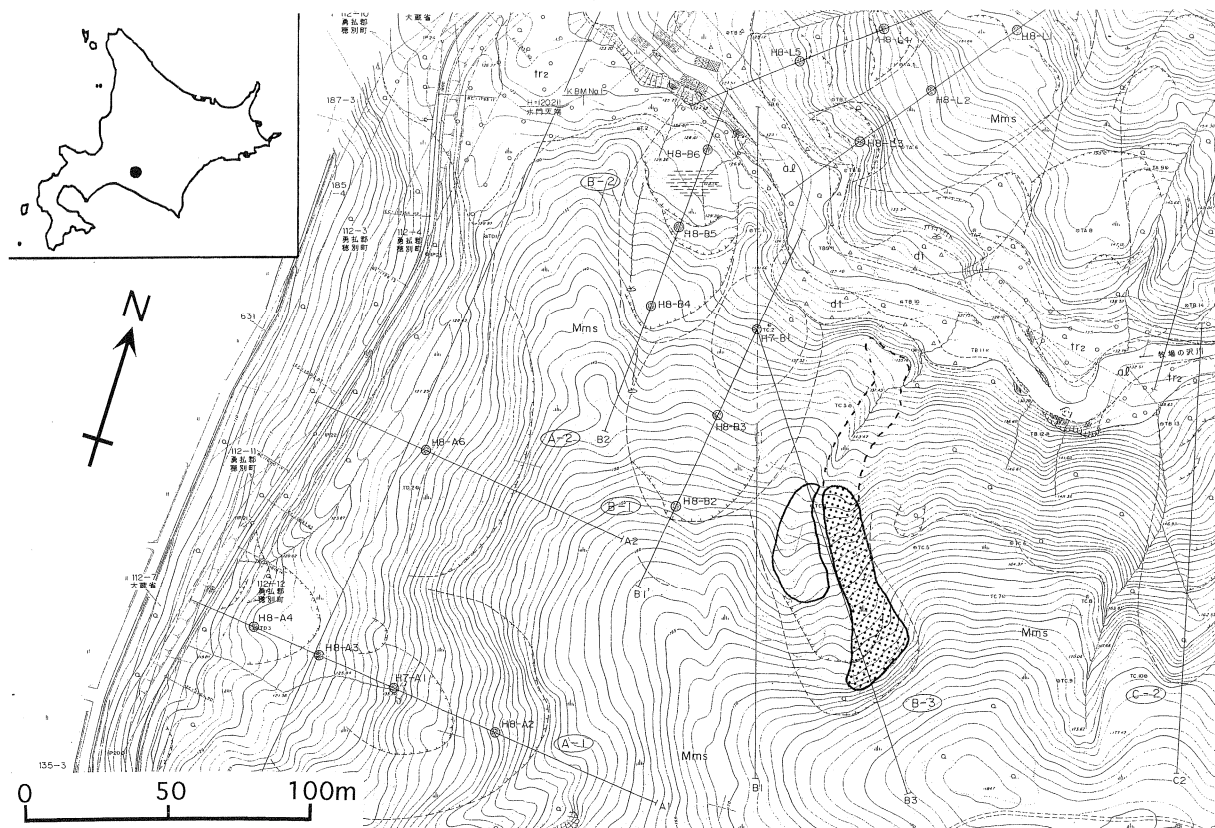
アースフローは、地質的には泥岩や蛇紋岩、凝灰岩地域で、浅い谷地形 (低次谷の谷底低地) や水はけの悪い緩斜面など未固結土層が厚く、地中水を保持しやすい地形に多く分布する (石丸ほか, 1999a, b)。また、しばしば深いすべり面を持つ地すべりの末端部や表層部に発生することが知られている (小出, 1955)。



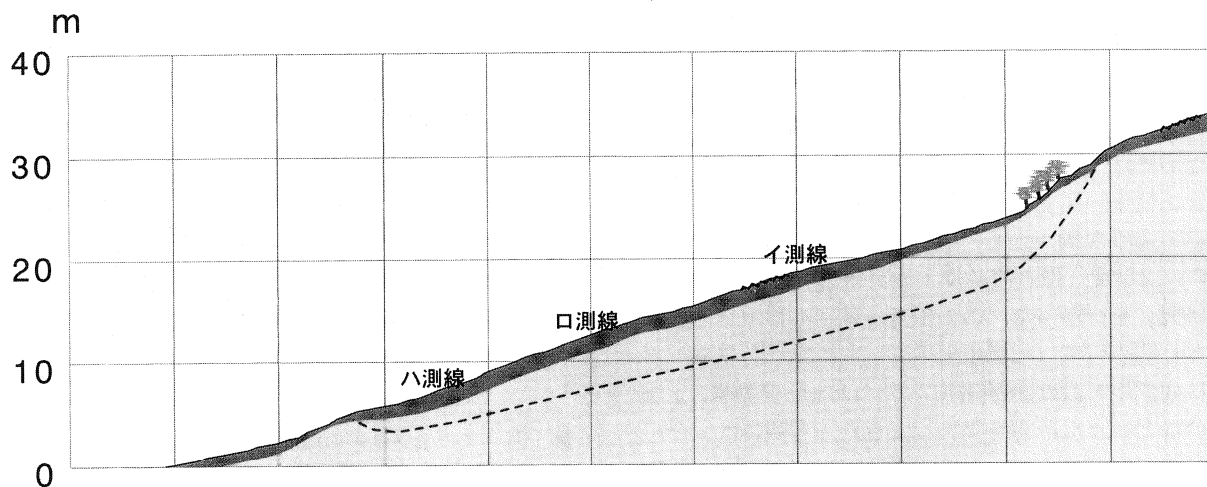
第1図 アースフローの概略図 (Záruba and Mencl, 1969)  
Fig. 1 Schematic diagram of an earthflow.

北海道鶴川流域の穂別町福山周辺にひろがる蛇紋岩地域では、地すべり土塊の末端にしばしばアースフローが分布する(石丸, 1997). また、北海道の泥岩分布地域では、宗谷～日高の白亜系上部蝦夷層群、幾春別～穂別の古第三系幌内層、増毛山地東部の新第三系ワッカウエンベツ層地域などにアースフローが多く見られる。中川町周辺の上部蝦夷層群分布地域には、地すべ

り地形が多数みられるが、このうちアースフローの分布は、上部蝦夷層群の中でも特に岩盤強度の低いところに見られる(石丸ほか, 1999c). 穂別町稲里地区の上部蝦夷層群分布地域では小さな規模のアースフローが多数分布している。本研究では、この地区に試験斜面を設け観測をおこなった。



第2図 稲里調査地域(北海道胆振支庁・応用地質株式会社(1997)に加筆)ハッチ部分が調査対象のアースフロー  
 Fig. 2 Location map of the study area. Dot pattern shows the observed earthflow.



第3図 アースフロー斜面の縦断面図  
 濃色部分は細粒化した地すべり移動土塊、アースフローはこの範囲で発生する。破線はアースフロー下に存在する地すべりのすべり面。  
 Fig. 3 Schematic profile of the earthflow slope. Dark color shows weathered soil in landslide deposits. Earthflows occur in this portion. Broken line shows the basal slip surface of the lower slump.



第4図 アースフロー観測地のななめ空中写真  
 白線で囲まれた部分は調査対象のアースフロー。  
 Fig. 4 Aerial oblique photo of Inasato earthflow.  
 The earthflow is illustrated by white line.

### III 調査地周辺の概観

調査地域は、夕張の南東約30km、穂別町稲里地区の標高120~200mの丘陵地に広がる地すべり地帯である(第2図)。この地域には傾斜10~20°の浅い船底型の地すべり地形が多数分布する。既存資料によれば、この丘陵地は1974年に林地を牧草地としており、1982年頃から地すべり活動が活発化したとされる(上戸ほか, 1999)。試験斜面はEn-a火山灰降下時(約18,000年前)頃に離水した段丘面(高橋ほか, 2002)の背後に広がる緩斜面である。基盤地質は上部蝦夷層群の泥岩で、破碎しやすく、スレーキングも顕著である(高橋ほか, 2002)。

この地域に分布する地すべりは、長さ30~200m、幅20~50mで、深度4~13mにすべり面を持つ岩盤すべりである。既存資料によれば、抗内傾斜計による観測から、この地域の地すべりで最大のすべり面変位量は約2cm/yearと報告されている(北海道胆振支庁・応用地質株式会社, 1997)。ボーリング資料によれば、この地すべりの表層1~2m部分はシルトを主体とした地すべり土塊からなる(第3図)。本研究では、この地すべり土塊内部の変動をアースフローと認定し、調査を行なった。

本地域のアースフローのうち、地表部の凹凸が特に顕著なものの変動が活発であるものと判断し、本調査の対象として選定した(第4図)。

### IV アースフローの形態

調査地周辺のアースフローは浅い船底型の形態を呈する。その頭部には比較的小規模な滑落崖を持ち(不明瞭な場合もある)、中部にはしばしば側方リッジ(levee)が、末端部にはマウンド地形が形成されている。観測対象としたアースフローの縦断面は、ほぼ直線的であるが、上部ではやや凹型、下部ではやや凸型の形

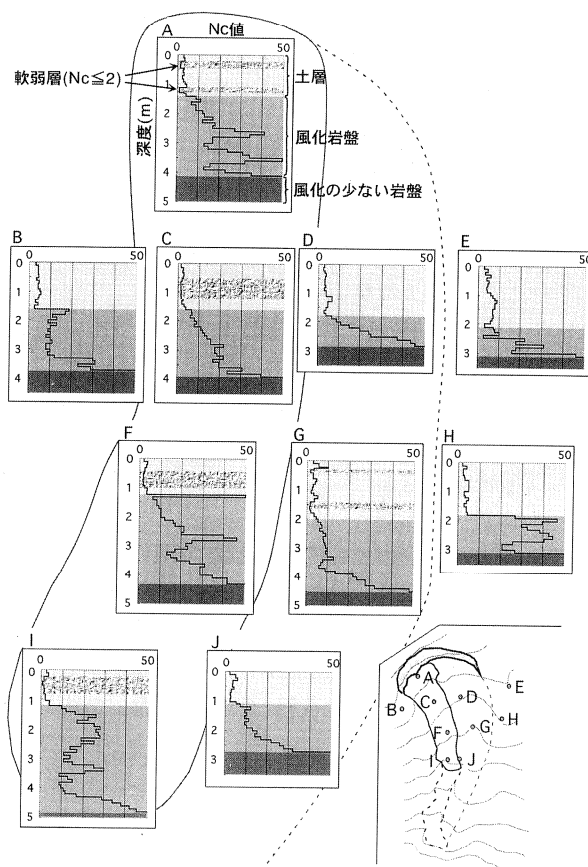
態となっている(第3図)。

側方リッジは幅1m以下、比高30cm以下で、その横断面は、内側が急で外側が緩い。側方リッジの部分には圧縮構造や堆積物がのりあげている構造が見られる。傾斜がやや緩くなる末端付近の堆積域には、複数のマウンド地形が形成されている。マウンド地形の形態は横断方向に長い、下にやや凸の楕円形~眉型で、その規模は縦1~3m、横1~5m、比高20cm以下である。その形態から見て、末端方向へ押し出され形成されたものと考えられる。

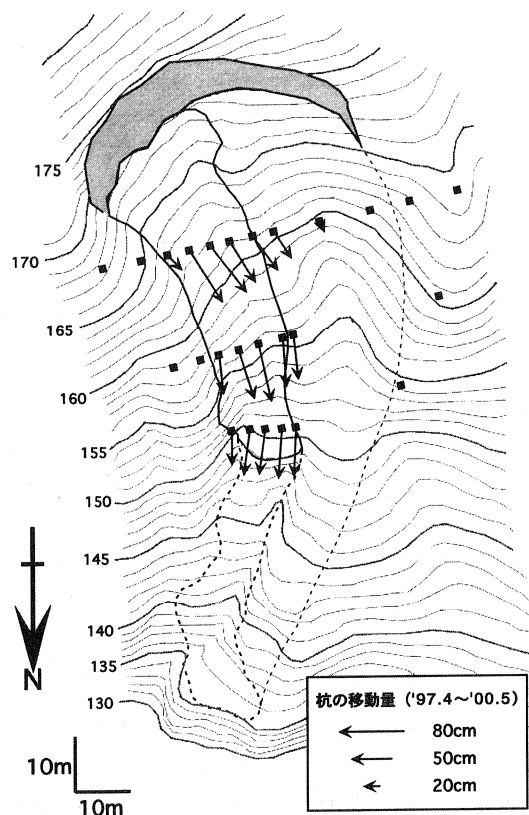
このアースフロー上部には、ほぼ1年を通して地表面付近が湿地となる範囲が点在し、その一部には谷地坊主が並ぶ。調査開始の1997年以降、これらの湿地状の部分を取り囲むように、比高数十cmの馬蹄形の段差が数段生じた。

### V 調査地の土層分布

簡易貫入試験機および検土杖を用いて土層調査を行なった(第5図)。その結果、調査斜面周辺の土層の厚さは1~2mであることが確かめられた。土層は、基本的に下位から泥岩起源のシルト~粘土、En-a火山灰起



第5図 簡易貫入試験の結果  
 各Nc図内の麻模様部分は軟弱層(Nc値 $\leq$ 2)。  
 Fig. 5 Result from cone penetration test. Dot pattern shows soft layer (Nc-value $\leq$ 2) in Nc profiles.



第6図 設置杭の3年間の変動量  
Fig. 6 Movement of the earthflow. Arrows show displacement vectors of stakes for three years.

源の土層, Ta-d 火山灰起源の土層からなる。ただし, アースフロー末端では, この層序は乱れ逆転することがある。このような土層末端部の逆転は, この部分で様々な土層が押し出され, 複雑に堆積した結果形成されたものとみることができる。

アースフロー内部には, 軟弱で変形しやすい土層 ( $N_c$ 値 $\leq 2$ ) が認められる (第5図)。この層は黄白色~灰白色のEn-aおよび泥岩起源のシルトを主体とした層で, 地中水に満たされた極めて軟弱な飽和帯である。この軟弱な飽和帯は基本的に斜面沿いに続くが, アースフローの外側には分布しない。この飽和帯は, しばらく降水の無い比較的乾燥した時期にも保持されているが, そのような時期には変動は見られない。したがって, アースフローの変動は軟弱な飽和体の上位にのる土層の強度が低下した時に, 軟弱な飽和体とともに変形するものと考えられる (石丸ほか, 2001a)。

礼文島元地のアースフロー (凝灰岩およびハイアロクlastタイトの地すべり土塊で発生) においてVLF-MT探査を行なった結果, 土壤水分が多いと考えられる低比抵抗域で変動が発生したことを明らかにした (石丸ほか, 2000)。本観測地は, 元々比抵抗の低い泥岩地域であるが, ここでもVLF-MT探査による低比抵抗域とアースフローの分布域とはおおよそ一致する。これはアースフローの変動域が, より低比抵抗な粘土

鉱物や土壤水分の多い場所と一致するためと考えられる。

## VI 変動量の測定結果

本調査地のアースフローの変動量を測定するため, 移動杭のトランシット測量(1997年4月~2000年5月)およびGPS測量(1999年12月~2001年5月)をおこなった。両測量とも基準点をアースフロー外に設け, そこからの変位量を計測した。杭は, アースフローの横断方向に3本の測線を設け, これに沿って設置した(第6図)。GPSは基準点を含め7箇所に設置した。また, アースフローの上・中部において, Yamada and Kurashige (1996) のひずみプローブ法(1997年11月~2001年5月), および相馬ほか(1979)のビニールチューブ法(1998年5月~2001年5月)を用いて, 土層内の変動量についても計測をおこなった。

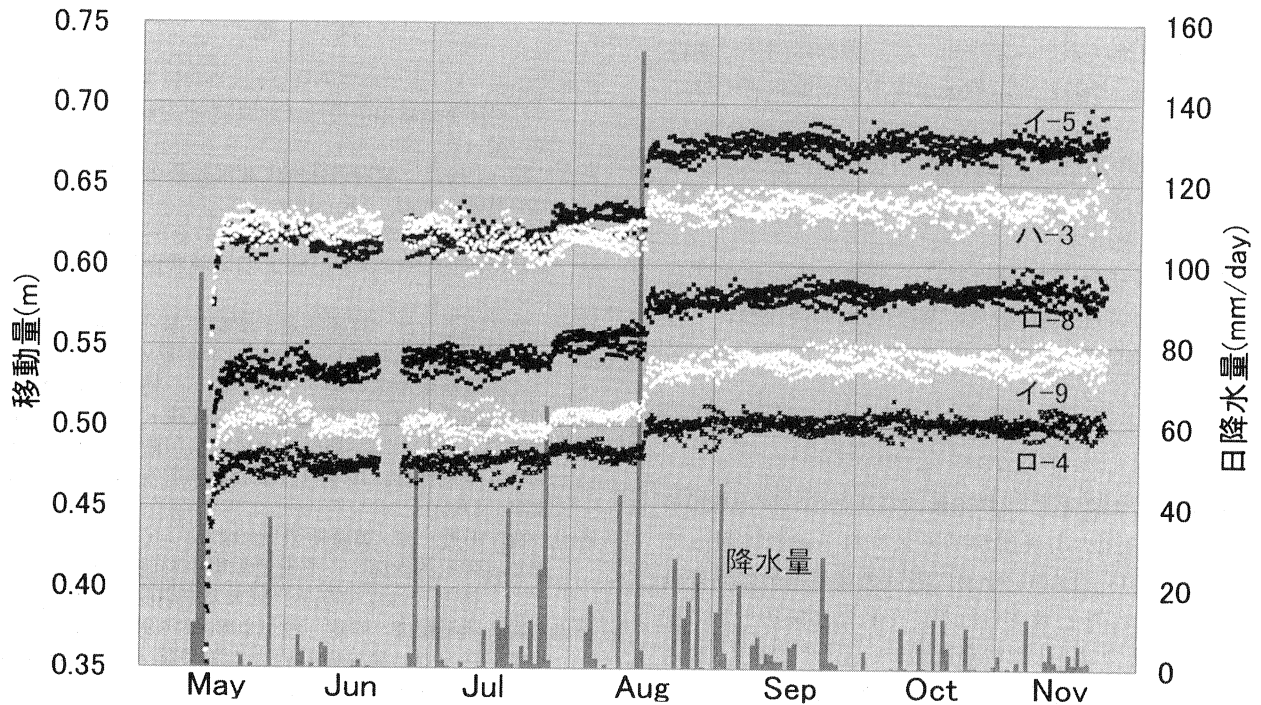
1997年4月から2000年5月までの約3年間の杭移動量は, 第6図に示したとおり最大で74cmであった。1年あたりの最大移動量は, もっとも大きい年で33cm, もっとも小さい年でも11cmであった。この移動量は, アースフローの下位に存在する地すべりの年間変位量約2cm/年を大きく上回ることから, 地表部で見られる変形の大部分は表層のアースフローによるものと考えられる。

第6図に示したアースフローの変動ベクトルを見てみると, 中心部で速く, 両側部で遅いという塑性流動の典型的な特徴が現れている。また, 末端部の測線は中央部の測線にくらべ変動量が小さいことから, 圧縮の場となっていることがうかがえる。ひずみプローブを用いて深度ごとの変位量を計測した結果も浅部ほど変位が大きくなっており, 移動体内部についても地表部同様, 速度勾配が存在することを確認した。

また, 鉛直方向に埋設したビニールチューブ (長さ1m以下) の3年後の変形を見ると, 局所的にせん断を受けるような部分は見られず, 深さごとに速度勾配は異なるが, 土層全体が変形するような形態を示す。その中で地中水が飽和する軟弱層では, 特に速度勾配が大きくなっていることが確認された。

## VII 変動と含水率の関係

1997年4月から2000年5月までの3年間の杭測量の結果, 地表面の変動量が大きかった時期は, '97年7月~9月, '98年7月~9月, '99年7月~9月, および2000年4月であった。このうち, 最初の2回の期間中には連続降雨100mmを超える豪雨を記録しており, '99年7月~9月の期間中には5日間で200mmを超える降雨があった。融雪期については, '98, '99年には数cmの変動しか見られなかったが, 2000年4月には80cmの積雪が一



第7図 GPS観測による各点の水平移動量と降水量との関係 (2000年5月~11月)

Fig. 7 Relationship between horizontal displacement from GPS observation and amount of precipitation.

気に融雪したため約20cmもの変動が発生した。なお、上記以外の期間の変動量は極めて小さいものである。ひずみプローブおよびGPSから得られた変位量と降水との関係を見てみると、降水があったときに顕著な

変位が認められ、降水のないときにはほとんど変位は認められない(第7図)。また、降水量が多いほど変位量が大きいため、降水による土壌水分の増加とアースフローの変位には密接な関係があると考えられる。

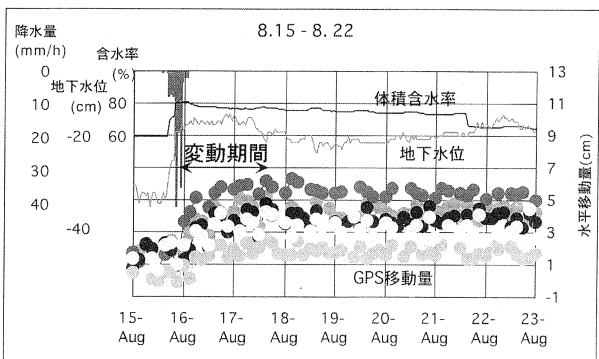
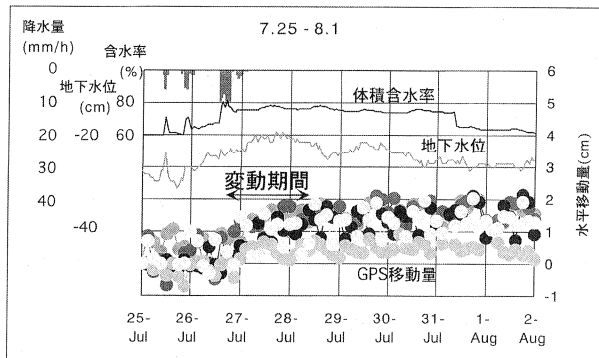
そこで土壌中の含水率に注目し、テンシオメーターや体積含水率計(設置深度10cm)を用いて土壌水分の変動とアースフローの変動の関係について検討してみた。その結果、含水率の増加量が大きいほど変動量が大きくなる傾向があり、また、顕著な変動が見られるのは、堆積含水率の増加量が15%以上の時であった(石丸ほか, 2001b)。つまり、土壌中の水分量の増加がアースフローの変動を規定していることになる。

深度10cmの体積含水率の増加開始は降水直後(数十分以内)に見られ、アースフローの変動は強度の高い降水開始後、遅く見積もっても数時間以内には発生している(第8図)。このことは、土層のごく表層部分の含水率が増加するだけで、変動を開始することを示唆する。

## VIII まとめ

以上、本研究の概要を述べてきた。この研究により得られた結果をまとめると以下ようになる。

- 1) アースフローは強度の低い泥岩、蛇紋岩、凝灰岩地帯で、未固結の土層が厚く、地中水を保持しやすい地形に発生しやすい。
- 2) 側方リッジは堆積物が側方に押され乗り上げることによって形成され、末端部のマウンドは堆積物が



第8図 変動時の降水、含水率、地下水位、移動量の関係  
 Fig. 8 Precipitation, water content, groundwater level, and displacement around occurrences of movements.

次々と押し出されることで形成される。

3) 稲里地区のアースフローは、移動体内部に速度勾配を持ち、その変形は軟弱な地中水の飽和帯で特に大きい。

4) 豪雨や融雪により表層付近の土層の含水率が上昇し強度が低下したときに、この土層が下位の軟弱層とともに変形する。

5) 表層部分(約1m以浅)の土層の強度が低下した時に変動が発生するため、豪雨の開始後変動までの時間は比較的短い。

## IX おわりに

観測地の斜面上に18,000年前降灰のEn-aや9,000年前降灰のTa-d火山灰層がアースフロー斜面に残っていることから、18,000年前以降は表層付近の斜面変動は緩慢であったと考えられる。それにも関わらず、現在のアースフローの移動量は数十cm/年と速く、数百年オーダーで変動域の頭部から末端部まで達してしまう。仮にこの速度でアースフローの移動が続けば、すぐに谷が形成されることになるであろう。

このように斜面変動の環境が大きく変わった原因については、森林伐採や土地利用の形態など、さまざまな要因が考えられる。本研究の結果からは、アースフローに対しては表層水・浅層地中水の排除を行なう対策工が最も有効であると考えられる。しかし、それ以前の問題として、比較的浅いアースフローの場合、森林の根が変動を抑える効果を発揮することから(石丸, 2002)、強度の低い泥岩地域等で斜面を開発する際には、ある程度樹木を残すなど土地利用を注意深く検討する必要がある。

本報告は4年間にわたる調査・研究の概要について述べたものである。それぞれの計測結果等の詳細については、今後順次報告する予定である。

## 謝 辞

本研究を進めるにあたり、北海道胆振支庁農業振興部耕地課には地すべり観測を行なうことを快く了解していただいた。また、穂別町農業振興課、応用地質(株)からは様々な情報を提供していただいた。基礎地盤コンサルタント(株)にはボーリングコアの観察をさせていただいた。以上の関係者に深く感謝いたします。

## 文 献

- 北海道胆振支庁・応用地質株式会社(1997):平成9年度地すべり対策事業稲里中央地区地質調査(2)委託業務(調査編)報告書。
- 石丸 聡(1997):北海道穂別町北部に分布する地すべりの活動期。地形, **18**, 395。
- 石丸 聡(2002):ゆるゆる流れる山の土ーアースフロー。森に学ぶ101のヒント。(社)日本林業技術協会, 156-157。
- 石丸 聡・田近 淳・遠藤祐司・岡崎紀俊・広瀬 亘・高橋浩晃(1999a):アースフローの形態と変動特性ー北海道稲里地区の地すべりの例ー。地形, **20**, 487。
- 石丸 聡・田近 淳・遠藤祐司・岡崎紀俊・広瀬 亘・高橋浩晃(1999b):「稲里中央地区」流動型地すべりの形態と変動特性。地すべり学会北海道支部研究発表論文集, 16-21。
- 石丸 聡・田近 淳・遠藤祐司(1999c):アースフローの形態と地質的素因ー北海道稲里中央地区の例を中心にー。第38回地すべり学会研究発表講演集, 477-480。
- 石丸 聡・岡崎紀俊・田近 淳(2000):1994年礼文島元地アースフロー発生前のVLF-MT探査。第39回日本地すべり学会研究発表講演集, 75-78。
- 石丸 聡・高見雅三・垣原康之(2001a):GPS観測から得られたアースフローの変動とそれを規定する水文条件。地形, **22**, 411-412。
- 石丸 聡・高見雅三・垣原康之(2001b):GPS観測から得られた稲里アースフローの変動とそれを規定する水文条件。第40回日本地すべり学会研究発表講演集, 95-98。
- 小出 博(1955):日本の地すべりーその予測と対策ー。東洋経済新報社, 259p。
- 相馬秀広・岡沢修一・岩田修二(1979):白馬岳高山帯における砂礫の移動プロセスとそれを規定する要因。地理学評論, **52**, 562-579。
- 高橋功二・谷口久能・渡辺 順・石丸 聡(2002):5万分の1地質図幅説明書「紅葉山」。北海道立地質研究所, 117p。
- 高野秀夫(1960):地すべり防止工法。地球出版, 314p。
- 上戸喜久夫・平林孝英・尾上秀司・橋本 勝(1999):穂別町稲里地すべり。北海道の地すべり'99, 地すべり学会北海道支部編, 160-173。
- Varnes, D. J. (1978): Slope movement types and process. in Landslides: Analysis and control, Transportation Research Board Special Report, 176.
- Yamada, S. and Kurashige, S. (1996): Improvement of strain probe method for soil creep measurement. *Transactions, Japanese Geomorphological Union*, **17**, 29-38.
- Záruba, Q. and Mencl, V. (1969): Landslides and their control. Elsevier, 205p.