■雪渓上を長距離移動した地すべり移動体

ー富山県魚津市片貝川源流で発生した融雪地すべりー

Long-travel landsliding along snow patch: snowmelt-induced landslide occurred in the upper reach of the Katakai River, Uozu, eastern Toyama Prefecture of central Japan

日野康久* Yasuhisa HINO / 株式会社環境総合テクノス KANSO Technos Co., Ltd.

柏木健司 Kenji KASHIWAGI / 富山大学大学院理工学研究部(理学)

Graduate school of Science and Engineering for Research (Science), University of Toyama

永田秀尚 Hidehisa NAGATA / 有限会社風水土 Fu Sui Do Co., Ltd.

キーワード：長距離移動，雪渓，融雪地すべり，岩盤崩壊

Key words: Long-travelling, Snow patch, Landslide induced by snowmelt, Rock failure

1. はじめに

積雪期ないし積雪域に発生する地すべりのなかには、しばしば移動体が長距離移動するものがある。2011年長野県北部地震の際に移動した辰ノ口地すべり¹⁾や中条川1号崩壊地²⁾がその例である。地震によらずとも、地形条件によって移動体が長距離移動する場合がある³⁾。長距離移動を発生させる機構についてはなお解明すべき点が少ない⁴⁾。

富山県東部、片貝川源流域の阿部木谷(図-1)においては、2012年5月16日に雪渓上を広く被覆する堆積物が登山者により確認され、5月18日と19日に富山新聞と読売新聞で報道された。これらの情報に基づく、雪渓を被覆する堆積物は、阿部木谷源流域の大明神沢で発生した岩盤崩壊(以下、大明神沢岩盤崩壊と呼ぶ)に起因する地すべり移動体であると判断された。雪渓上を移動する堆積物の性状やその運搬機構を検討するためには、それに関与している積雪が最終的に消失することから、できる限り早期の調査が求められ、かつ変化を観察する必要がある。そこで、著者らは同年6月18日と10月6日に、標高1,020mの移動体末端から標高約1,300mにかけて、地すべり移動体の定置状況とその性状について現地調査を行った。また、急峻な地形のため調査が困難な崩壊の発生域については、ヘリコプターからの観察や撮影写真の解析を行った。調査結果の概略は既に報告しているが⁵⁾、本論ではこれをまとめるとともに、若干の考察を述べる。

2. 地形地質概要

岩盤崩壊の発生した大明神沢は、標高2,414.5mの毛勝山とその西にある大明神山(標高2,082.8m)を結ぶ尾根の鞍部、標高約2,000mから北方に流下する谷である(図-1)。大明神沢源頭部の右岸には馬蹄形の急崖がみられ、大規模な崩壊跡と考えられる。同様の崩壊地

形は、大明神山直下などにもみられ、さらに、今回の崩壊発生域直上の尾根上緩斜面には、北側が低下する小崖が、空中写真や衛星画像で確認できる(図-1)。これらのことから、尾根付近の高標高部は岩盤が緩んでいることが示唆される。

大明神沢は標高1,240m地点で毛勝山から流下してくる毛勝谷と合流して阿部木谷となり、引き続き北北西方向に流下するが、標高1,100m付近から下流で流路に屈曲が多くなり、標高1,030m付近からは西ないし西北西に流路方向を変える。

崩壊地周辺の地質は、三畳紀-ジュラ紀中世の花崗岩類で構成される。一方、移動体末端付近の標高950m付近より下流では、古生界からなる片麻岩類が主に分布し、下部三畳系の結晶片岩類がわずかにみられる⁶⁾。

3. 大明神沢岩盤崩壊

3.1 発生域

岩盤崩壊の発生域は、大明神沢源頭部左岸の傾斜45~50°に達する北東向き急斜面(標高約1,930~1,770m)である。崩壊前の空中写真を判読すると、斜面は多少上に凸の縦断形をもち、重力的な膨隆(バルジング)が生じていた可能性がある。

空撮写真や地形図から推測される崩壊の規模は、最大幅70m、長さ160m、深さ20mで、その崩壊体積は $1.1 \times 10^5 \text{ m}^3$ と概算される(図-1, 2)。深さは写真による概測であるが、幅に比べて浅い。発生域上端と稜線との比高は約50m、また発生域の長軸方向と大明神沢との交角は45°である。望遠カメラを通じた観察では、崩壊面に露出する花崗岩類は、風化による褐色化が進み、開口した不連続面が発達している。また、破壊面はやや凹凸に富み、連続的かつ広い破壊面はみられない(図-2b)。

3.2 流走・堆積域

移動体は発生域から約1.4kmを傾斜約32°で流下し、さらに毛勝谷と合流後の阿部木谷を北北西方向に傾斜約

* 連絡著者 / corresponding author
〒938-0861 黒部市宇奈月町下立301
301, Oritate, Unaduki, Kurobe, Toyama 938-0861, Japan

図-1 大明神沢岩盤崩壊の位置図, 断面 (国土地理院発行の2万5千分1地形図 (毛勝山) を使用)

14°で約1.0km流下して阿部木谷が流路を西方に変化させた直下の砂防堰堤付近, 標高1,020m付近で停止した (図-2 a, f)。流走距離 (斜距離) は合わせて約2.4kmとなる。

また, 移動体の流走・堆積域は20~80mの幅を持つが, 発生域直下から少なくとも標高1,150m付近までは, 縦断方向に長く延びる堤防状の高まりと, その内側の溝状の微地形が認められる。堤防状の高まりの外側には径の大きい岩塊が並ぶ場合もある (図-2 c)。移動体を構成する堆積物は, ほとんどの場所で雪渓上にある。また, 堆積域を通じて流れ山のような地形は認められなかった (図-2 a, 2c, 2e)。

地すべり移動体を構成する堆積物は, 径0.1~0.4mの花崗岩類の亜角礫・角礫を主体とし (図-2 d, 2e), 少量の径1~2mの巨礫が含まれる。このうち, 径1mを越える巨礫の多くは, 新鮮かつ極めて硬質である。標高

1,200m付近より上部では堆積物に樹幹が多く含まれている。現地調査を実施した6月18日の時点で, 堆積物の内部は湿潤状態にあったが, 岩屑と混合する雪や氷は確認できなかった。移動体の層厚は, 断面が露出する地点での観察に基づくと, 0.2~0.5mと概して薄い。その下位には層厚数mの雪渓が存在するが, 堆積物と下位の雪渓の境界は明瞭で, その間に両者の混合層は認められなかった (図-2 d)。また, 水流が現れた10月の調査を含め, 雪渓が削られて岩屑が堆積したとみなされる断面は観察されなかった。

4. 考察

4.1 崩壊の発生日時と誘因

はじめに述べたように, 大明神沢岩盤崩壊の発生日時は, 登山者による情報提供があった2012年5月16日以前であること以外に確かな証拠がない。以下では, 他の傍

図一 2 大明神沢岩盤崩壊の発生域と移動体。a) 崩壊発生域から流走・堆積域の全景。b) 崩壊地の全景。節理の発達により破壊面の凹凸が大きい。c) 移動体の流走域。自然堤防が発達する。ただし内側の溝は雪渓の融解によるものの可能性がある。d) 移動体の堆積状況（標高1,100m）。層厚は0.2～0.5mで、堆積物と雪渓との境界は明瞭である。e) 移動体の堆積状況（標高1,100m付近）。亜角礫・角礫をなす花崗岩類で、径0.1～0.4mのものが主体。f) 移動体の末端部。砂防堰堤直下で停止している。撮影はa, cが2012年7月25日, b, d, e, fが2012年6月18日

証から崩壊の発生日時とその誘因について考察する。

北陸電力(株)は、片貝川上流部の片貝東又発電所での発電を目的として、その上流の阿部木谷と北又谷、笠谷に取水口を設置し、それぞれの取水量と発電機出力を観測している。その観測記録によると、阿部木谷取水口での取水量は5月4日0時から18時4分に $0.4\sim0.7\text{m}^3/\text{s}$ で、その後わずか3分足らずで $1/10$ 以下に急減し、18時7分から翌日の5日10時9分の間はほぼ0となり、その後10分程度で平常取水量まで回復し、10時42分以降に $0.6\sim0.8\text{m}^3/\text{s}$ と観測されている(図-3)。この取水量の急激な低下は、何らかの原因により約16時間にわたり、阿部木谷取水口で取水が停止していたことを示唆する。片貝東又発電所の発電機出力が同調して低下している点は、これが計測機器の不調による誤記録ではないことを示す。また、北又谷と笠谷の両取水口では、その期間に取水量の目立つ変化は観測されていない。このことは、阿部木谷取水口での取水量の著しい低下を引き起こした原因が、東又谷の源流域の広域で発生した現象ではなく、阿部木谷取水口より上流の狭い範囲で発生した現象であることを強く示唆している。

取水口における取水停止の原因として、土砂などで流入が遮られて取水が急減する場合と、流量の急増による自動的な取水停止が想定される。前者の可能性については、地すべり移動体の先端が阿部木谷取水口よりも上流側約300mで停止していることに加え、急減の前後で取水量に大きな変化は無く、原因として考えにくい。後者については、地すべり移動体の定置により、一時的に阿部木谷溪床の流路が変化し、阿部木谷取水口に多量の流水が入ることで、自動停止した可能性がある。移動体末端部は不安定であり、その後、雪渓の融解による移動体表層の崩壊などに伴い流路ないし流量が平常時に戻り、取水量が通常に近い状態に復旧することで、取水が回復したと考えられる。

以上から、阿部木谷取水口の取水量の急減は大明神沢岩盤崩壊に原因を求めることが可能であり、地すべり移

図-3 取水口の取水量と発電機出力の観測記録。各取水口の位置は図-1を参照。北陸電力(株)から提供を受けたデータを図化

動体の定置による流路の変更と、それに伴う取水口への流水の急増による自動取水停止が考えられる。すなわち、岩盤崩壊の発生時期は取水量の著しい低下が観測された5月4日18時頃と推定される。

図-4に、近隣の気象庁アメダス魚津気象観測所(現地より北西に約18km地点、標高48m)における、岩盤崩壊発生の推定日時を含む前後2週間弱(4/27~5/8)の1時間ごとの気温と降水量を示す。ここでは4月28日から5月1日にかけて、日中に気温が $20\sim26^{\circ}\text{C}$ と、平年(1981~2010年の30年間統計)の 20°C 前後より高い状態が続いていた。また、5月4日に、日降水量 39.5mm が記録されており、崩壊発生の推定時間である18時直前の16時と17時には $7\sim9\text{mm/h}$ の強い降雨が、その後22時まで最大 6mm/h の雨量が観測されている(図-4)。魚津気象観測所は大明神沢岩盤崩壊の発生域より標高で1,900m弱低い地点であるものの、気温の上下や降雨の強弱等の大まかな傾向は似通ったものであると予想され、魚津の気温から判断して、崩壊発生地においても雪ではなく雨が降ったものと推定される。

このような気象データから、大明神沢岩盤崩壊の誘因は、高い気温と降雨による急激な融雪(積雪層内を通過した降水を含む)であると考えられる。なお、防災科学技術研究所の強震観測網の記録によれば、崩壊の発生が推定される期間とその前後数日において、岩盤崩壊を引き起こすような規模の地震は観測されていない。

4.2 移動体の長距離移動

大明神沢岩盤崩壊による移動体は、その流走距離が長く、かつ堆積物の層厚が薄いことを特徴としている。崩壊頂部から移動体末端までの水平距離 L は2.3km、比高 H は0.94kmであるから、 H/L で表されるみかけの等価摩擦係数 μ は0.40となる(図-5)。この値は土石流ほど小さくはないが、通常の地すべりよりは小さい⁸⁾。類似の規模をもつ雪上滑走地すべりとしては、2011年辰ノ

図-4 魚津気象観測所の降水量、気温の観測記録。2012年4月27日~2012年5月8日。気象庁ウェブサイトの過去の気象データから作成。矢印は崩壊の推定発生日時刻

図-5 崩壊体積と等価摩擦係数との関係。高橋⁹⁾のとりまとめた図(図1.2)に雪上の地すべり, 土石流, 落石と雪崩の例を加筆

口地すべり ($V = 5 \times 10^4 \text{ m}^3$, $\mu = 0.31$)¹⁾よりは μ が大きい。また, 1968年立山雷鳥沢の新雪雪崩 ($V = 4.3 \times 10^4 \text{ m}^3$, $\mu = 0.33$)⁹⁾や1992年白馬大雪渓の全層雪崩 ($V = 3.2 \sim 5.8 \times 10^5 \text{ m}^3$, $\mu = 0.40$)¹⁰⁾, 2007年富士山大沢崩れでのスラッシュ雪崩 ($V = 5 \times 10^4 \text{ m}^3$, $\mu = 0.43$)¹¹⁾といった雪崩に近い μ を持つ。図-5には数は少ないが雪渓上を流走した落石¹²⁾, 土石流¹³⁾¹⁴⁾も示している。

移動体の流走距離を決めるのは発生域から流走域にかけての地形と, 移動体自体あるいは移動体下面の物性の2つの条件である。地形条件としては, 発生域の地山傾斜が $45 \sim 50^\circ$ と急で, 崩壊の初速度が大きかったと考えられること, 大明神沢への流入角度が 45° と大きくなく, 流走域上部の傾斜が 32° と大きいこと, 大明神沢がほとんど直線状で, これらの条件によって速度の減衰が起きにくかったこと, が流走距離を伸ばすことに寄与したであろう。一方, 阿部木谷に流下してからの流路の屈曲や, 河川縦断勾配の減少, 砂防堰堤による河床の階段化は移動を抑制したと考えられる。なお, 移動速度を推定できるような現地での証拠は得られなかった。

一方, 移動体ないしその下面の物性についての条件はよくわからないことが多く, 移動体の運動がどのようなものであったのかははっきりしない。発生当時の周辺の積雪状況からみて, 単に岩石のみが基岩から分離して移動したとは考えられず, 積雪を巻き込んだ地すべりであったことは確実と思われるが, 移動体の流動性を大きく左右するであろう雪の混合割合は不明である。6月の調査時点で, 移動体は雪塊が混合した状態ではなかった。移動体の破碎度は大きく含水比は高かったが, 発生直後からこの状態であったかどうかは不明である。発生域直下から自然堤防状の微地形が認められるので, 移動体は雪ないし融解した水と岩屑とが混合した状態で流動したと考えられる。しかし, 先端に巨礫が集中するといった堆積物の特徴は見られず, ロープが形成されるといった微地形も確認できないことから, 典型的な石礫型土石流

として挙動したものではないと思われる。一方, 流れ山のような地形も認められないので, 岩屑なだれのような運動でもない。

堆積物の厚さがその末端部で0.5mに満たず, 下位の雪渓と混合していないことや, 少なくとも流走堆積域の中下部では雪渓を削り込んでいないことは, 地すべり移動体が雪渓上を薄いシート状に滑走したことを示す。図-4に示すように崩壊前には高温期が続いていたことから, 雪渓の表面はよく締まっていたと考えられるが, 積雪の状態が移動体の運動にどのように寄与するのかはここでも明らかにはならなかった。ただし, 障害物がなく平滑で, おそらく堅くしまった雪面は, 長距離移動には有利に働いたと思われる。

5. まとめ

大明神沢岩盤崩壊は, 富山県東部の片貝川源流域阿部木谷の最上流部, 大明神沢の源頭部で発生した。水力発電所への取水量データの検討から, その発生は2012年5月4日18時頃と推定される。発生前の高い気温に加え, 直前の降雨で積雪層内を通過した降水を含む多量の融雪が崩壊の誘因と考えられる。少なくとも地震動による崩壊ではない。花崗岩からなる発生域の岩盤は緩んでいた可能性がある。

崩壊による移動体は, 発生源直下から急勾配の谷底に沿って, 雪渓上を約2.4kmと長距離移動した。この崩壊の等価摩擦係数は0.40である。発生域の急傾斜, 谷への流入角度の小ささや谷の直線性, 傾斜が, 移動体の長距離移動に寄与した地形条件である。移動体はおそらく雪, 水, 破碎された岩屑の混合体として流動したと考えられるが, 詳細な運動機構については十分明らかにはならなかった。

氷河上の雪・氷・岩石なだれとその長距離移動については近年研究が進展している¹⁵⁾が, 日本のような非恒常的な積雪地におけるこの現象についての報告は少ない。

大明神沢岩盤崩壊はこの数少ない例であり, 不十分ながら調査結果をまとめた。今後, 雪崩も含めた同様な現象に着目してゆく必要がある。

謝 辞

本報告にあたり, 北陸電力株式会社の片川秀基氏には, 片貝川水系の取水量データの提供とともに, 取水量の増減に関して適切なご助言を頂いた。富山森林管理署には, 野外調査に際してご配慮を頂いた。北見工業大学の山崎新太郎博士には素稿を閲読頂き, 貴重なお意見をたまわった。以上の方々と機関に心から感謝します。

引用文献

- 1) Yamasaki, S., Nagata, H. and Kawaguchi, T. (2014): Long-traveling landslides in deep snow conditions induced by the 2011 Nagano Prefecture earthquake, Japan. *Landslide*, Vol. 11, No. 4, pp. 605–613. DOI10.1007/s10346-013-0419-z
- 2) 櫻井正明 (2013): 2011年長野県北部地震により発生した中条川流域の斜面崩壊, 日本地すべり学会誌, Vol. 50, No. 2, pp. 83–90.
- 3) 木村諒・桂真也・丸山清輝・石田孝司 (2016): 長距離移動した融雪地すべりの発生域・移送堆積域の地形特性, 日本地すべり学会誌, Vol. 53, No. 2, pp. 31–42.
- 4) 山崎新太郎 (2016): 雪・氷・岩石なだれ, 日本地すべり学会誌, Vol. 53, No. 2, pp. 61–63.
- 5) 永田秀尚・日野康久・柏木健司 (2015): 雪上を長距離移動したランドスライド: 富山県片貝川上流大明神沢崩壊, 地球惑星連合大会, HDS25–05.
- 6) 原山智・滝沢文教・加藤碩一・駒澤正夫・広島俊男・須藤定久 (1996): 20万分の1地質図幅「富山」, 地質調査所.
- 7) Hsu, K. J. (1975): Catastrophic debris streams (Sturztroms) generated by rockfalls, *Geological Society of America Bulletin*, Vol. 86, No. 1, pp. 129–140.
- 8) 高橋保 (2004): 土石流の機構と対策, 近未来社, 432p.
- 9) 中川正之・深井三郎 (1971): 雷鳥沢なだれ調査報告, 雪氷, Vol. 33, No. 2, pp. 71–77.
- 10) 寺田秀樹・藤澤和範・大浦二郎・小川紀一郎・臼杵伸浩 (1993): 1992年5月4日白馬大雪渓の大雪崩について, 雪氷, Vol. 55, No. 3, pp. 183–189.
- 11) 国土交通省中部地方整備局富士砂防事務所 (2007): 富士山周辺で発生したスラッシュ雪崩による被災状況, <http://www.cbr.mlit.go.jp/fujisabo/db/db-kouji/070413.pdf> (参照日2017年3月21日)
- 12) 白馬大雪渓落石事故調査隊 (2005): 2005年8月11日白馬大雪渓における落石事故調査速報, 日本地すべり学会誌, Vol. 42, No. 4, pp. 350–353.
- 13) 松元高峰・河島克久・和泉薫・納口恭明 (1998): 土石流によって形成された北アルプス白馬大雪渓上の大規模な溝, 雪氷, Vol. 60, No. 1, pp. 37–46.
- 14) 丸山清輝・武士俊也・秋山一弥・小嶋伸一・佐藤宗吾 (2004): 北アルプス白馬大雪渓上を流下した土石流, 砂防学会誌, Vol. 56, No. 5, pp. 67–71.
- 15) Deline, P., Hewitt, K., Reznichenko, N. and Shugar, D. (2015) Rock avalanches onto glaciers, in *Landslide Hazards, Risks, and Disasters*, (Davies, T., ed.), Hazards and Disasters series, pp. 263–319.

(原稿受付2017年3月29日, 原稿受理2017年7月10日)