

山岳科学総合研究所 ニュースレター

2014年 3月
第42号



Contents

「日本アルプスの大規模地すべり：第四紀地形学・地質学の視点から」特集 2 2~11

地すべりが山地生態系の発達に果たす役割

専修大学 高岡 貞夫

地すべり地形に侵食される氷河地形

東京都立大学名誉教授 岩田 修二

氷河・周氷河プロセスに関連した大規模地すべり

筑波大学 池田 敦

ヒマラヤの大規模地すべりと地表面露出年代法の問題点

山岳科学総合研究所 朝日 克彦

リモートセンシングや GIS による地生態学的研究とその山岳地への応用

日本地図センター 佐藤 浩

広報・コラム 12

3月20日(木)開催2013年度山岳科学総合研究所研究報告会のお知らせ

表紙の写真：藪沢礫層

専修大学 刈谷 愛彦

地すべりが山地生態系の発達に果たす役割

専修大学
高岡 貞夫



1. はじめに

地すべりは地形学や防災科学の研究対象となるばかりでなく、地すべりが多様な生態系をつくりだすうえで重要な役割を担っている点が注目されている。地すべり地には希少植物が生育することもあり、生態学的な視点からの関心が近年ますます高まっている（Walker and Shiels 2013）。

地すべりは、そこに成立していた植生を一時的に破壊するだけでなく、根本的に植生構造を改変する。これは、地すべりによって地形や土壌が改変されたり、それにとまって新たな水文条件・微気候条件をもつ場所がつくり出されたりするためである。そのような、地すべり地における環境条件の不均質性の出現とそれに対応して異なる種類の植生が混在することは、日本の山地でも多く報告されている（小泉 1999；宮城 2002；三島ほか 2009など）。

しかし、地すべりがつくる地形や地形プロセスが生態系の発達にどのように関わっているのかについて体系的に研究されてきたとは言い難く、植生景観や地域のフロラ形成に地すべりが果たしてきた役割については十分に解明されていない点が多い（高岡 2013）。

本講演では植生を主な題材として、地すべり地の地形や地形プロセスが山地生態系の構造やその発達に対して長期的にどのようにかわってきたのかを解明することの意義を述べ、特に高山地域におけるいくつかの研究課題を示す。

2. 長期的視点で研究する必要性

従来の研究では、地すべり発生直後の植生遷移に関する研究は多いにもかかわらず、地すべり地の植生の長期的な変化過程はほとんど研究されていない。日本の研究例でも、地すべり発生後数年～数十年の遷移初期に関するものがほとんどであり、地すべりがつくる環境のうち、どのような要素がどのような形で長期的に影響力を

持ち、地域のフロラ形成に貢献するのかが検討されていない。菊池（2002）は長期的な視点から地すべりの植生に対する影響を解明することの重要性を指摘したが、その後この問題に対して正面から取り組んだ研究は行われていない。

地すべり地の滑落崖や岩塊地には氷期の遺存種が認められる例が知られている。日本においても、チョウセンゴヨウやトウヒ属バラモミ節などの遺存種に類する性格を持つ植物は中部地方の岩塊地に出現することが報告されているが（沖津 1999；野手ほか 1999）、山地に点在するこれらの岩塊地の成因には地すべりが関わっている例が多いと予想される。これらの植物の分布と地すべり地形との関係に着目することにより、後氷期の温暖化・湿潤化にとまって分布適地が大幅に減少する中で、地すべり地に形成された崖錐や岩塊原などの乾性立地が生存場所を提供してきた過程が解明できると期待される。

3. 高山地域における地すべりと植生

(1) 高山で地すべりを研究する意義

日本の高山地域における従来の研究では、周氷河地形と氷河地形が植生景観を特徴づける地形として着目されてきたが、地すべり地形もまた注目すべき重要な地形である。森林限界を超えた場所では、積雪深が植生の配置を規定する重要な因子の一つであるが、地すべりがつくる地表の凹凸は積雪深の空間分布を不均質にし、風衝や残雪の影響を受けて成立する植生がモザイク状に形成される（荻谷ほか 2013）。低標高域においては比高数 m 程度の微地形と植生構造との関係は明瞭でないことが多いが、冬季に強風にさらされ、また低温環境下にあるために消雪時期が遅くなる高山地域では、そのような微地形が風衝性・雪田性の植生を成立させる要因となる。

高山における植生構造の形成過程に対して地形がもつ意味に関して、地すべり地形が周氷河地形や氷河地形と異なる点は、地形の形成年代にある。周氷河地形や氷河

地形の多くは約2万年前を最寒冷期とする最終氷期中に形成されたが、地すべりは様々な時代に形成されたものが混在していると考えられる。稜線付に存在する風衝砂礫地や残雪砂礫地を除けば、周氷河地形と氷河地形は現在の気候環境下ではその生成が停止しているのに対し、地すべり地形には後氷期に発生し活動してきたものもある。厳しい環境下で生態遷移の進行速度が遅い高山地域では、地すべり地形と対応した植生分布とその成立過程を氷期以降の環境変遷とあわせて検討する機会が得られる。

以下に線状凹地の植生と湖沼・湿原を例に、地すべりの役割を長期的視点で解明するための糸口を示す。

(2) 線状凹地の植生

線状凹地の内部には雪が厚く堆積するために、線状凹地が森林限界より上方の風衝地に位置する場合は、ハイマツや雪田性の植物が生育する場所となり、森林限界下に位置する場合は広葉高茎草原などが成立する場所となる。線状凹地における植生の発達具合は凹地のサイズによって異なり、サイズが大きなものでは凹地内の微環境の違いに対応して様々なタイプの植生がみられる(水野 1984)。

ところで、線状凹地の中には、一回のイベントで形成されるのではなく、間欠的あるいは慢性的な岩盤変形によって形成されたものがあることが報告されている(西井・松四 2012)。このことは、線状凹地の中には徐々に大型のものに発達していくものがあり、凹地のサイズがその形成開始時期の新旧と無関係ではないことを示唆している。線状凹地内の植生の多様性を理解するうえで、現在の残雪や風衝の条件を考えることに加えて、凹地の形成開始時期や凹地サイズの増大過程との関係、さらには最終氷期以降に変化してきた森林限界高度との位置関係を考えあわせて検討することは興味深いことである。

(3) 高山の湖沼・湿原

高山地域において湖沼や湿原が形成されるのは、水の集まる凹地が形成された場所や流水の堰き止めが起きた場所、排水条件の悪い緩斜面の形成された場所などである。日本の高山では、このような地形の形成にしばしば地すべりが関わっている。北アルプス白馬岳周辺の標高2000m以上の地域(7838ha)には合計94個の湖沼が存在するが、そのほとんどは地すべりに関連した地形に位置している(高岡ほか 2012)。すなわち、94個のうち60

個は地すべり移動体の内部か移動体に接して存在しており、移動体の外部にある34個のうちの27個は、稜線付近から斜面中腹にかけて存在する低崖に沿う凹地に位置している。これらの大半は1000m²に満たない小規模なものであるが、水域の分布が限られる高山地域において、その生態学的機能は決して小さくない。

予察的な観察によると、高山湖沼における水生植物の出現種や、両生類、水生昆虫類、珪藻類の出現の仕方には湖沼ごとの特徴が認められることがある。湖沼内外の環境の違いとともに、それぞれの湖沼の成因や形成年代などもあわせて考えていくことが、湖沼生物相の発達過程を理解することの前進につながると考えられる。

4. おわりに

山地植生の発達過程における地すべりの長期的な役割については、これまで必ずしも十分な検討がなされてこなかった。地すべり地における地表の形態、地表構成物、地形プロセスなどの諸特性と植生との関係が、地すべり発生後の時間の経過とともにどのように変質・消滅し、あるいは維持されていくのかについて、発生年代の異なる複数の地すべり地を比較するなかで明らかにしていく必要がある。

引用文献

- 沖津 進 1999 (地理学評論, 72A).
荏谷愛彦ほか 2013 (地学雑誌, 122).
菊池多賀夫 2002 (地すべり, 39).
小泉武栄 1999 (東京学芸大学紀 要第3部門 社会科学, 50).
高岡貞夫 2013 (植生学会誌, 30).
高岡貞夫ほか 2012 (地学雑誌, 121).
西井稜子・松四雄騎 2012 (国土地理協会平成23年度研究成果報告書).
野手啓行ほか 1999 (日本林学会誌, 81).
三島佳恵ほか 2009 (季刊地理学, 61).
水野一晴 1984 (地理学評論, 57A).
宮城豊彦 2002 (地すべり, 39).
Walker, L. R. and Shiels, A. B. 2013 (LandslideEcology).

(本研究は科研費 JSPS22500989、24300321による研究成果の一部である)

地すべり地形に侵食される氷河地形



東京都立大学名誉教授
岩 田 修 二

1. タイトルの「侵食」に関して

このタイトル「地すべり地形に侵食される氷河地形」にある「侵食」に対しては、用法が間違っているというお叱りを受けるかもしれない。「侵食」は、流体を媒介にする作用に対してしか使えないというのが地形学の伝統的考えである。したがって、重力地形に対して「侵食」を使うべきではないという批判である（ただ最近はこのことを容認する見解もある）。それに対して、ここでの「侵食」は、地すべり地形説が氷河地形説を駆逐するという意味であるといえ文句はないだろう。ただし、ここでは、重力地形による「削剥」の意味も含んでいるのはいうまでもない。

ここで述べるコメントは、オーガナイザーに指示された項目に関して述べるものであるが、コメンテーター自身の研究実績に基づいたものではなく、いわば感想のようなものである。

2. 否定される氷河地形

これまで氷河地形とされていたもののいくつかは、荻谷愛彦などの研究によって、大規模地すべりや大規模崩壊による地形であると主張されている（前号掲載：荻谷の要旨中 表1）。ここに挙げられている氷河地形の多くは、氷河地形とする地形・地質学的証拠が必ずしも十分とはいえなかったものである。荻谷の主張は大筋で正しいであろう。判定の決め手になったのは、堆積物の礫種や層相であるとコメンテーターは理解している。

コメンテーターのフィールドであった長池平について少し述べる。長池平は、研究の初期（1971年）にすでに門村 浩によって地すべり地形であると指摘されていた。コメンテーター自身も、多くの割れ目と、割れ目起源の凹地形をみつけていた。長池平の地形は、白馬岳-旭岳-清水岳の稜線の北側（北向き）にある圈谷とは形態が違い浅い。典型的なティル（氷成堆積物）もなかった。コメンテーター自身は自信をもって氷河地形といえず、周氷河地形にテーマを変えたという経緯があ

る。しかし、師匠である五百沢智也・小嶋 尚の影響から抜け出すことはできず、長池平の成因は氷河侵食であるとした。

長池周辺の地すべり地形の時代は完新世初期とされている。なぜ、完新世初期に地すべりが起こったのか、完新世より古い地すべりがその下にあるのではないのか、氷河拡大期以前に地すべりによってできた凹地が氷河に占拠され、氷河地形が形成されたのではないのか、そして、その氷河の融解による荷重除去が完新世の地すべりの引きがねではないのか、など調査すべき課題は多い。

完新世の地すべり地形・崩壊地形に埋もれた氷河地形の研究が、これからの氷河地形屋の仕事になろう。「しんどいなあ」とため息が出るが…

3. 空中写真判読の手法について

地すべり地形の分布研究にも、氷河地形の分布研究にも、写真判読が重要であることはいうまでもない。1963年に五百沢が発表した空中写真判読による氷河地形分布図では白馬岳以北に広範な氷河地形が認定された。それは後に、小嶋・岡沢修一によっても確認された。2008年以来、佐藤 剛や荻谷は、それらの氷河地形の多くが地すべり地形であると認定した。

これを言い換えれば、氷河地形屋には氷食谷壁（圈谷壁）・氷河堆積地形・モレーンリッジ／流動皺にみえるものが、地すべり地形屋には滑落崖・移動体・亀裂／低崖にみえるということである。しかし、これは、どちらかに誤りがあることを意味する。地すべり屋からの、氷河地形ではない理由が十分に説明されているとは思えないが、いっぽうでは氷河地形屋からの反論もない。「写真を見ればわかる」では将来の発展がない。もっと議論が必要であろう。ただ問題は、氷河地形関係者が亡くなっていたり高齢だったり、十分な説明や反論が得られないことである。1980年代におこなわれた寒冷地形談話会の大所川の巡検では、ロッシュムトネなどいくつかの氷河の証拠が発見されたとされるが文書記録はない。

おなじ場所を両者が納得ゆくまで写真判読し、現地でも議論をする必要がある。

五百沢の氷河地形分布によれば、飛驒山脈の最終氷期の雪線高度は（涸沢期・横尾期とも）白馬岳以北で日本海へ向かって大きく降下する。この部分の氷河地形が否定され、それらが地すべり地形となれば、この降下は否定される可能性がある。ただし、五百沢は地すべり地形の少ない立山や劔北方稜線（毛勝・僧）でも白馬北部とおなじような降下を認めている。

4. 山岳形態（山容）の違いと地すべり地形

日本アルプスは、急峻な山容で知られているが、連峰単位（槍穂高連峰や常念蝶連峰など）でみると、山容にかなりの違いがある。しかし、まともに議論されたことはほとんどない。原山 智は、くわしい岩石の履歴（形成時の温度条件など）を調べることによって、山容の違いを説明できることを明らかにした。たとえば、劔岳連峰と立山連峰の違いなどである。

山容と地すべりなどとの関わりの研究のためにすべきことは次の①～⑤である。①日本アルプス全体の山容の区分図を作成する。起伏量・高度分散量・谷密度などによる定量的な区分ができればよいが、地形図や衛星画像を使った定性的な区分でもよい。人間の視覚は、形態の識別にはとても敏感であり信頼に足る。②原山が報告しているような地質分布（岩相と構造・組織）を山容区分図に重ね合わせる。細かな岩相の違いは、山地斜面での流水の侵食を通して形態に反映されるであろう。③日本アルプスの、それぞれの重力地形がどのような斜面変化をおこすかを評価した上で、重力地形のタイプ分けをおこなう。トップリングや大規模な岩盤崩壊、表層崩壊は斜面を平行後退させるだろうが、大規模地すべりや岩盤クリープは斜面の緩傾斜化をもたらすのではないかと。ただし、これらのことは、まだほとんど、検討されていないと思われる。④山容区分と地質分布に、タイプごとの地すべり地形や崩壊地形の分布を重ね合わせる。⑤遷急線（時代ごとの侵食前線）や、氷河地形の分布も重ねる。

これはもう総合的な山地の地形変化史の研究に他ならない。コメンテーター自身は、大学院博士課程の時に、このような研究をやりかけたがうまくゆかなかった。今後の進展を期待したい。

5. 主題は廻る

氷河地形研究者の立場からは、荻谷や佐藤の研究が進んでいる現在は、氷河地形研究史上の転換点であるようにみえる。i) 1940年代～50年代の氷河地形研究は、典型的な圈谷とU字谷の範囲だけを氷河地形としていた。そのために雪線高度が局地的に大きく変化する矛盾が生じた。ii) 1960年代～90年代には、統一された基準での写真判読によって多くの氷河地形が認定され、氷河地形の分布は大きく広がった。i) の時代の矛盾は大きく解決されたが、中には、氷河地形と認定できるかどうか判断に迷う地形もあった。iii) 2000年代になって、荻谷や佐藤の研究によって、氷河地形に、多くの地すべり地形や崩壊地形が混在していることが明らかになった。ここに、日本の氷河地形研究の、困難さの原因のひとつが明らかになったともいえよう。

従来の氷河地形の認定に対する批判がある。10m DEMを用いるべし、航空レーザー計測を利用すべし、などの意見に対しては、詳細な地形のみが判定の基準にはならない、全体の形態や空中写真上での肌理（テクスチャー）の重要性を認識すべきであると言いたい。氷食断面形の数値や、氷河平衡線付近の地形特性を重視すべき、などの意見に対しては、それでは不確実な地形は排除され、結局は、典型的な氷河地形の認定のみに終わった、i) 時代の研究の復活になると言わざるを得ない。氷河地形卓越地域と周縁地域とでの研究法の違いを認識したい。

時代は廻り、主題が変わる。氷河地形研究の時代から重力地形研究の時代が変わるのだろうか。先に書いたように、重力地形に隠された氷河地形を研究するというふうに、今後は、氷河地形の調査方法を全面的に改める必要があるのかも知れない。中部ネパールのカリガンダキ上流のジョムソンからムクチナートにかけては、氷河侵食地形と地すべり地形、ティルと岩屑なだれ堆積物が混在している。ブータン北部のルナナ東部では地すべりによって、氷食谷壁とモレーンが大規模に変形している地形がみられた。これらの地形を参考にして、氷河地形と重力地形をバランス良く研究することが、これからの、日本アルプスの山岳地形研究の中心課題となるのではなかろうか。

氷河・周氷河プロセスに関連した大規模地すべり

筑波大学

池田 敦



1. 氷河と地すべりの関係：アルプスと日本の対比

古くから地質調査が進んだヨーロッパアルプス（以後、アルプス）では、大規模な地すべり地形が存在することもよく知られている¹⁾。なかでも最大のフリムス（Flims）地すべり²⁾の体積は $1.2 \times 10^{10} \text{m}^3$ に及ぶ。スイスでは、その他にも体積 109m^3 以上の巨大な地すべり地形が3つ知られている。大規模地すべりを体積 10^6m^3 以上のものとする、アルプス全域では莫大な数の大規模地すべり地形が存在する。一方、歴史時代を通じて、アルプスで大規模地すべりが発生した記録となると、非常に少なくなる。とくに巨大な地すべりは、最終氷期末から後氷期初めに発生したとされている。

前段落で述べた事柄は、氷河の存在抜きには語れない。アルプスでは地すべりだけでなく、その他の地形、そして生態系も、最終氷期に山脈全体がすっぽり氷河に覆われ、非常に強力な侵食作用が及んでできた器のうえで、氷河が1.9万年前に縮小過程に入った後に生じたものである。大規模地すべり発生の最終的な引き金は何であったにせよ、氷河の侵食作用が標高差の大きい急斜面を形成したこと、そして氷河が融けることによって側方からの支えを失った急斜面が不安定化したことが、それらの大規模地すべりの素因である。また、1.9万年前から1万年前にかけて急速に氷河が縮小した直後（二、三千年の遅れ時間は含む）が、地すべりの主な発生期となった。

では日本アルプスではどうだろうか？ そこでは氷河の存在抜きに地形を語りおこす方がふさわしい。氷河はおまけである。

たしかに氷河の痕跡を明瞭に残す3000mを超える峰々は絵になる景観を作る。また、本場アルプスに輝く氷河が、多くの日本人を魅了してやまないのも事実であり、それと同じ氷河が日本にもあったという物語は素敵

だ。しかし、日本アルプスにおいては、山体を構成する斜面の形を説明するために、氷河の存在を必要とする範囲は極端に狭い。後立山山域北部などで、山麓近くまで氷河が拡大したという説が主流であったが、荊谷らの一連の成果と天秤にかければ、中立的な研究者はその説の根拠は否定されたとみなす³⁾。大規模地すべりの堆積物だけでなく、土石流等に由来する堆積物も、日本アルプスの随所で氷河や融氷流によるものと誤認されていた可能性が高い（図1）。また、日本周辺の最終氷期の気候復元の方法として、古典的な氷河地形研究（氷河堆積物を同定し、方位・標高と年代を整理）がこれ以上、必要とされることもない。より普遍的な堆積物の研究から得た古気候指標の方が、高分解能かつ一義的だからである。日本アルプスの氷河地形研究は、意義付けや方法論に大きな工夫を施さないかぎり、局所的な地形を説明する事例研究に留まり続けるだろう。

逆に、日本アルプスの地形を、テクトニクスによる隆起という側面と、河川による侵食・運搬およびマスムーブメント⁴⁾による削剥という側面を中心に深めていくのは、日本の地形学の一つの軸になると考えられる。アルプスと異なり、日本アルプスでは現在の環境条件下において、高頻度で地すべりが生じ地形を変化させ続けており、流域に膨大な土砂を供給するからである。

2. 近年の温暖化と寒冷な山岳の地すべりの関係

近年の温暖化に連動した山岳氷河の縮小が世界的に顕著であり、山岳永久凍土の昇温についても報告例が増えた。とくに氷河に関しては一般に、19世紀半ば以降、末端が大きく後退している（垂直方向に見ると表面低下）。表面低下中の氷河周辺において、近年、氷食谷壁が崩れたという報告が増えている。しかし、いずれも突発的な事例のため、その誘因を特定することは極めて難しい。

小規模な岩盤崩壊の頻度増加については、平年から外れた猛暑によって、それまで何年、何十年と融点を下回っていた深度が、融点を越えたタイミングに一致していた。そのため、岩盤内の亀裂に存在した氷が融解し、斜面が不安定化したと考えられている。大規模地すべりの原因については暗中模索といった状態である。しかし、大きな特徴は氷河と凍結岩盤が接するところを起点に発生していることである。氷河底面の岩盤は気温に対し相対的に高温に保たれ、氷河を欠く岩盤は冷却されやすい。そのため、その境界部では、猛暑による融水や降雨に由来する浸透水が、上部の氷河下の岩盤から下部の氷河を欠く岩盤に移動する際に凍結する（その際、潜熱発生により岩盤温度は上昇、亀裂内の氷の固結度は低下。また、新たな凍結による圧力発生）。そのような境界部での水の流れと、短期的な地温変動が、崩壊の誘因になるのかもしれない。

- 注 1) 例えば、Geologie der Schweiz (Labhart 1992) という地質の概説書にも説明が載っている。
- 2) フリムスの堆積物は、崩壊という語を当てる方が適切な高速移動でもたらされた。しかし、ここでは本シンポジウムでの用法に従い、地すべりという語が、崩壊現象および堆積物も含意するというのでこの語を用いた。本稿のその他の部分でも、崩壊現象も地すべりとして括っている点に留意していただきたい。
- 3) 氷河は存在できなかったと証明されたわけではない。従来いちおう信頼されてきた方法がそこでは役に立たないことが証明されたために、低位置への氷河拡大を根拠のある説とはみなせないのである。
- 4) マスムーブメントとは、土砂や岩盤の集合的な移動現象の総称である。



図 1 傾斜区分を施した剣岳周辺の鳥瞰地形図
ここで従来、古期の氷河地形とされていたやや幅の広い谷は氷食谷ではないだろう。なぜなら氷河の質量収支を踏まえてその浸食作用を考えれば、中流区間にV字谷をもつ氷食谷の認定がそもそも合理性を欠いているからである。

ヒマラヤの大規模地すべりと地表面露出年代法の問題点



信州大学山岳科学総合研究所

朝 日 克 彦

1. ヒマラヤの巨大地すべり

ネパール・ヒマラヤのうち氷河が現存する標高5000m以上の高ヒマラヤにおいて、かつて巨大地すべりが生じていたことは古くから地質学 (Scott and Drever 1953 など) や地形学 (Heuberger 1956 など) の論考で指摘されてきた。ホイベルガーらは多数の論文を執筆し、アルプスでの過去の氷河拡大域における巨大地すべりを参照して、これらの成因を重力崩壊や近傍の主中央衝上断層 (MCT)、あるいは氷河起源であると指摘した (Heuberger 1984 など)。筆者は、これらの論考で援用されてこなかった空中写真の実体視判読や地表面露出 (Terrestrial Cosmogenic Radionuclide ; TCR) 年代法を用いて、ネパール・ヒマラヤにおける典型事例とされる2ヶ所の巨大地すべりについて考察してきた。また、この過程で地表面露出年代法における問題点も浮かび上がった。

2. クーンピラ山の地すべり

クーンピラ山 (5720m) は、エベレスト山を源流とするクンプ・ヒマールの中央部にあり、山頂直下に小規模な氷河が現存する。南斜面山腹に巨礫からなる緩やかな丘があり、これは大規模地すべりによる堆積地形で、その起源は北東6kmのタムセルク山 (6618m) 西斜面とされた (Heuberger 1956, 1986)。この地形について空中写真の実体視判読を行い、氷河地形・地すべり地形の区分を試みた。この結果、クーンピラ山南斜面に滑り面や滑落崖を見出し、クーンピラ山斜面でかつて大規模地すべりが生じていたことが分かった。地すべり堆積地形の最高標高点 (3850m) で試料を採取し、TCR年代を測定したところ、最終氷期前半、酸素同位体ステージ3 (MIS 3) 相当の氷河拡大期直後の年代 (約29ka) を示した。直接的証拠は得られていないが、クーンピラ山南面のボテ・コシ川にギャジョ谷からの氷河がステージ3には到達していたことから、地すべりの成因として、氷河後退後に側方斜面が支持力を失ったことも考えられる。

3. ツェルゴリ台地の地すべり

ツェルゴリ山 (5000m) は、カトマンズの北方、ラン

タン・ヒマールにある緩やかな台地である。この台地の基部では山体の高速地すべり移動によって変成したシェードタキライトを産出する (Scott and Drever 1953) ことから、台地全体が巨大地すべり起源であるとされてきた (Heuberger *et al.* 1984)。インシュブルック大学のグループが多くの研究を行い (Schramm *et al.* 1998 など)、ツェルゴリ山の北方3kmのラクパツェ・ピーク (6567m) が大規模地すべりを引き起こし、このピークは地すべり前には8000mを超える高峰であったと指摘している (Weidinger *et al.* 2002)。

筆者らはツェルゴリ丘の小リッジ上で試料を採取し、TCR年代を測定した (Barnard *et al.* 2006)。3試料の年代は39ka ~ 22ka とばらつきがあった。この台地の南縁を流れるランタン谷には最終氷期にランタン氷河が拡大して到達していたと考えられる。クーンピラ山の地すべり同様、MIS 3に拡大した氷河が後退し、側方支持力を失ったことが地すべりの成因かもしれない。

4. ツェルゴリ台地の地表面露出年代

ツェルゴリ台地のTCR年代は、試料採取地の地形から地すべりの年代を示すと考える。一方、Takagi *et al.* (2007) は同台地のシェードタキライトについてフィッシュトラック年代を測定し、 51 ± 13 kaを得た。地すべりの成因から考えれば2つの年代は同じ値になることが期待されるが、TCR年代はシェードタキライトの年代より若かった。

ネパール・ヒマラヤは南西モンスーンの強い影響下にあり、年降水量の80%近くが気温の高い夏季に集中し、冬の降水は僅かである。そのため、5000m台の標高では通常積雪に覆われることはない。サイクロン性の降雪があっても、強い日射により昇華し数日で消雪する。ランタン・ヒマールはネパール・ヒマラヤには珍しく東西方向に谷が開いており、冬の偏西風擾乱による降雪がもたらされやすい (Seko and Takahashi 1991)。通年の観察では、ツェルゴリ台地は12月から5月まで積雪に覆われている。したがって、地表面が積雪に覆われることで、被覆期間における宇宙線生成核種の生成率が低下し、実際の地すべり年代よりも若い年代になったと思われる。

れる。

積雪による宇宙線の遮蔽効果について、Benson *et al.* (2004) は積雪深と生成効率との関係を計算して、一定程度の年代の若返りが生じることを指摘している。氷河地形編年において、現在、TCR 年代が積極的に採用されているものの、年代計算に積雪による遮蔽効果を考慮した研究は多くない。考慮した研究も、30cm 以上の積雪はなく積雪遮蔽による年代の若返りはない、という見積もりである (Tschudi *et al.* 2003)。積雪遮蔽効果を厳密に考慮する場合、積雪の密度や深度を復元せねばならない。わが国において、高山での最大積雪深について、立山・内蔵助カールにおける積雪深分布が明らかにされている (Watanabe 1989)。1 km 四方程度の同カール内においても 0 から 20m まで積雪深は複雑に変化する。また積雪深、積雪密度がこの間不変であるという仮説に基づかなければならない。そこで多雪山地においては、地表面露出年代の値を厳密な数値年代とするよりは、「数値よりも古い」とするミニмумエイジとして参照することを提案したい。



図1 クーンピラ山およびツェルゴリ台地の位置

文献

Barnard, P. *et al.* 2006 (*Quat. Sci. Rev.* 25). Benson, L. *et al.* 2004 (*Quat. Sci. Rev.* 23). Heuberger, H. 1956 (*Zeit. Gletscherkunde Glazialgeol.* 3). Heuberger, H. 1986 (*Material Technik* 3). Heuberger, H. *et al.* 1984 (*Mountain Res. Dev.* 4). Schramm, J.-M. *et al.* 1998 (*Geomor.* 26). Scott, J.S. *et al.* 1953 (*Proc. Royal Soc. Edinburgh, B* 65). Seko, K., Takahashi, S. 1991 (*Bull. Glacier Res.* 9). Takagi, H. *et al.* 2007 (*J. Asian Earth Sci.* 29). Tschudi, S. *et al.* 2003. (*J. Asian Earth Sci.* 22). Watanabe, T. 1989 (*Mountain Res. Dev.* 9). Weidinger, J.T. *et al.* 2002 (*J. Asian Earth Sci.* 21).

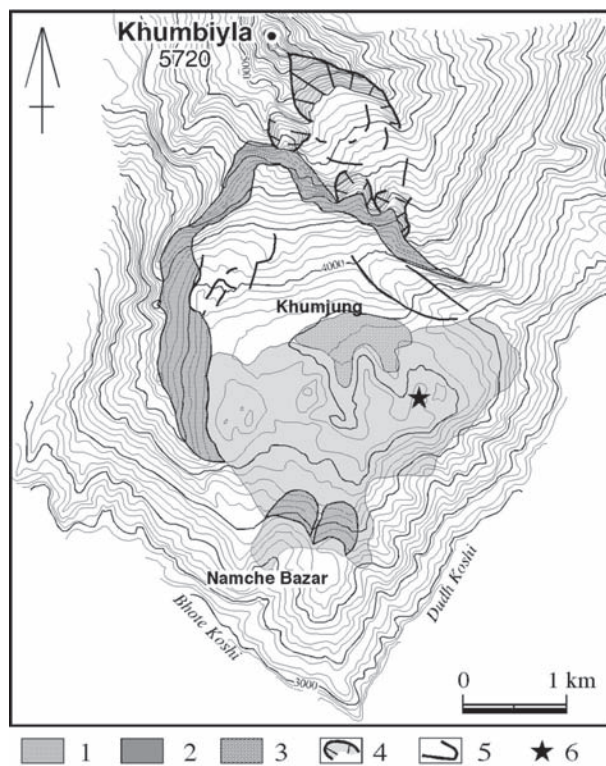


図2 クーンピラ山の地すべり、氷河地形分類
1 地すべり堆積地形、2 滑落崖、3 湖成堆積地形、
4 カール壁、5 モレーン、6 年代試料採取地点

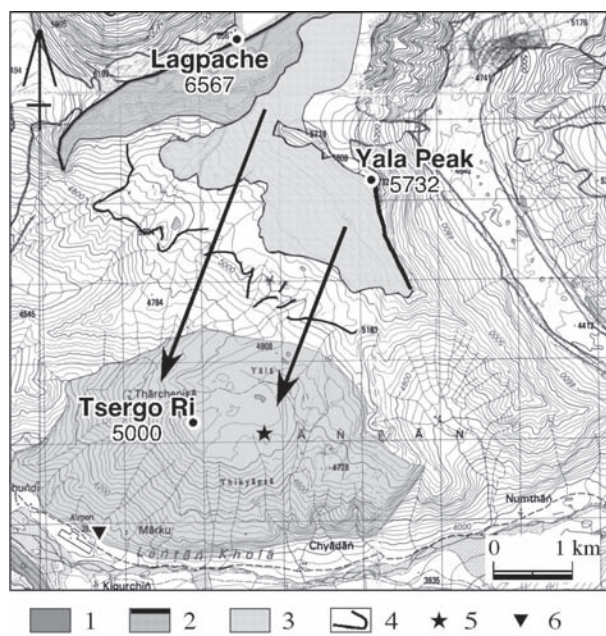


図3 ツェルゴリ台地の地すべり、氷河地形分類図
1 地すべり堆積地形、2 滑落崖、3 氷河、4 モレーン、
5 TCR 試料採取地点、6 フィッシュントラック試料採取
地点

リモートセンシングや GIS による地生態学的研究とその山岳地への応用

日本地図センター
佐藤 浩



1. はじめに

わが国の地生態学の1999年までの動向については漆原(2000)によって簡潔にレビューされ、隣接科学の視点から考察されつつあるとしている。植物生態学的視点は、本ニュースレターで高岡が述べているように、山岳地植生の発達過程における地すべりの長期的な役割の検討が不十分な中で、検討事例の蓄積に不可欠だろう。

従来の地生態学の研究手法は、現地調査に加えて空中写真の判読が主であった。しかし本ニュースレターで齋藤が指摘しているように、近年のGISの発達や地理空間情報の普及に加え、リモートセンシング(Remote Sensing、以下RSという)データの広域性・斉時性・時系列性も検討事例の蓄積に寄与すると考えられる。

以下、地すべりの挙動の把握に資する航空レーザ測量(航空機に搭載したレーザスキャナから地上にレーザ光を照射し、地上から反射するレーザ光との時間差より得られる地上までの距離と、航空機の位置情報より、地上の標高や地形の形状を精密に調べる測量)や合成開口レーダー(SAR: Synthetic Aperture Radar; 人工衛星や航空機に搭載されたアンテナから地表に向けてマイクロ波を射出し、後方散乱波を受信して地表画像を得る技術)の利用例や、その他RSを利用した地生態学的研究事例を紹介する。

2. RS/GISによる地すべりの挙動把握

大丸ほか(2013)は大井川上流域で、2006年に撮影された人工衛星「だいち」に搭載のPRISMセンサによる白黒2.5m解像度画像と、過去約60年間に撮影された空中写真を判読し、崩壊地を抽出した。そのうちホーキ薙(なぎ)では、PRISM画像と5時期の空中写真からオルソ画像(写真の歪みを除いて地図の上に重なる画像)を生成し、稜線付近の土塊移動や植生部分の筋状の

パターンの変化を判読で時系列的に見出した。

向山(2010)は、岩手・宮城内陸地震の前後に計測された航空レーザ測量データから数値標高モデルを得て、これから計算した地震前後の傾斜データの画像マッチングから、土塊の2次元の挙動を明らかにした。

中埜ほか(2013)は静岡県葵区口坂本の北北西750mの地点にある斜面を対象に、人工衛星「だいち」から計測された2時期のSAR画像の干渉処理によって、2008年と2009年の地すべり性地表変動を指摘した。これは、マイクロ波の照射方向に沿った衛星と地表の間の距離の伸び縮みから、地表が著しく乱されていない状態で地表の微小な変動が判ることを利用したものである。その後、現地で、崩壊の著しい痕跡が認められたという。地すべりの前兆が捉えられた好例である。

3. RS/GISによる地生態学図・景観生態学図作成

佐藤ほか(2010)はブナ(*Fagus crenata*)が卓越する白神山地を対象に、航空ハイパースペクトルセンサ(従来のマルチスペクトルセンサよりもスペクトルバンド数が多くて波長分解能が高い、航空機に搭載されたセンサ)データを使って樹種を自動分類するとともに、航空レーザ測量データから生成した等高線図から読図で地形分類し、GISで両者の分類を統合した地生態学図を作成した。展葉期に計測された航空ハイパースペクトルセンサデータを使うことが、移動土塊の攪乱の影響を受けるサワグルミ(*Pterocarya rhoifolia*)をブナから効率良く分類する鍵であった。

小荒井ほか(2012)は、図1(a)に示す矩形の範囲で、2008年9月5日の落葉期と2004年6月6日の着葉期の2時期に計測された航空レーザ測量データを用いて、図1(b)に示す植生の3次元構造や落葉の状況を調べた。また、このデータから生成した数値標高モデルから

自動で地形分類し、GIS でこれらの情報を組み合わせて
図 1 (c) に示す景観生態学図を作成した。

4. おわりに

地すべりと関連する山岳地植生の特徴を捉えるため、

航空ハイパースペクトルセンサデータは特徴的な樹種の
分類に利用し、地すべりの挙動の把握には時系列の空中
写真の判読や航空レーザ測量データ・SAR データの GIS
処理、植生の 3 次元構造の把握には季節の異なる航空レ
ーザ測量データの GIS 処理が有効であろう。

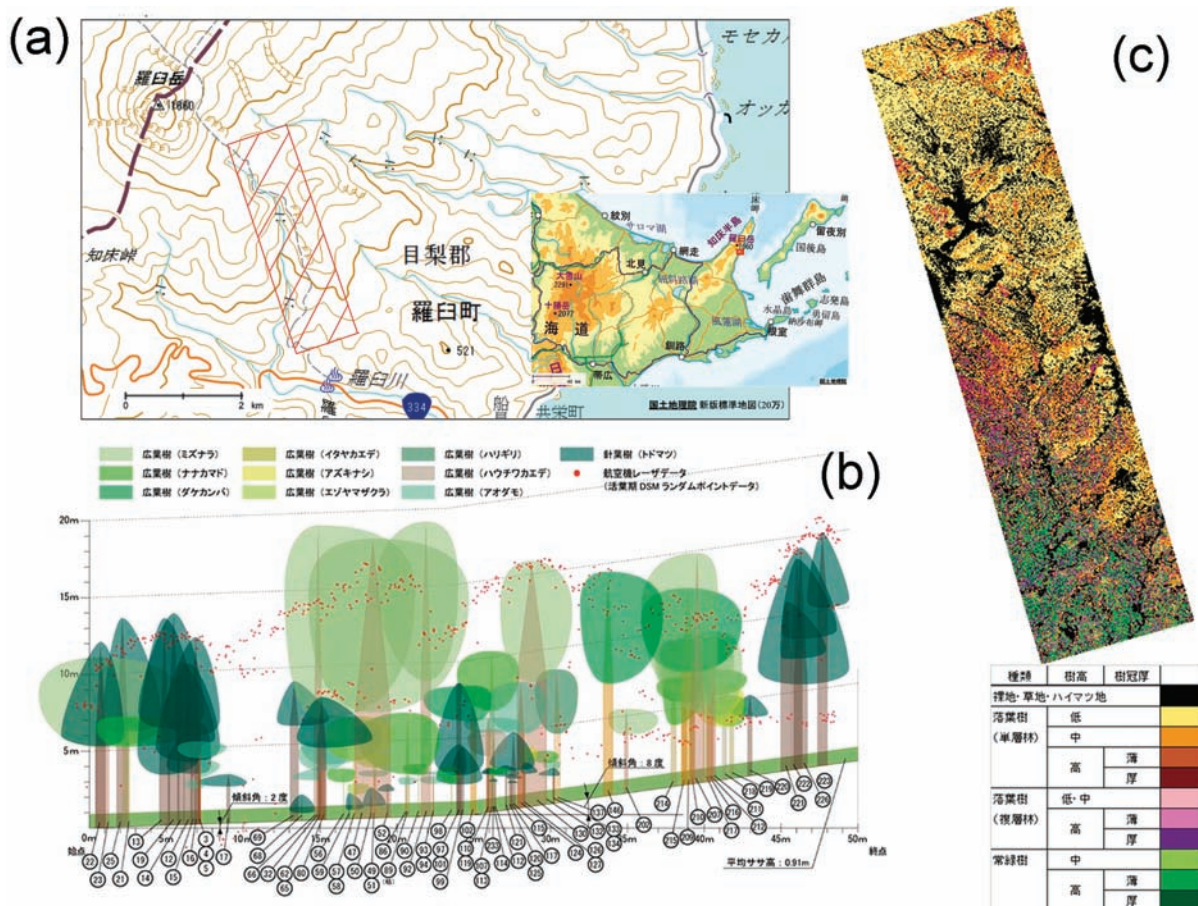


図 1 6 月と 9 月の航空レーザ測量データを用いた知床半島羅臼岳南東麓の景観生態学図 (小荒井ほか 2012)
(a) 位置図 (「地理院地図」より)、(b) 林帯側方図 (点群がレーザ反射点)、(c) 景観生態学図

文献

- 漆原 2000 (平成 11 年度科研費補助金基盤研究 (C) 研究成果報告書 [愛知大学現代中国学部]).
小荒井ほか 2012 (地図 50).
佐藤ほか 2010 (地理評 83).
大丸ほか 2013 (地すべり学会誌 50).
中埜ほか 2013 (地理学会発表要旨集 84).
向山ほか 2010 (平成 22 年度地すべり学会関東支部シンポ予稿).

3月20(木)開催 2013年度山岳科学総合研究所報告会のお知らせ

3月20日(木)信州大学松本キャンパスにおいて2013年度山岳科学総合研究所研究報告会を開催いたします。
山岳科学総合研究所の研究員等の山岳に関わる研究成果を報告いたします。

日 時：2014年3月20日(木) 9:00～17:00
場 所：信州大学理学部C棟 2階大会議室（松本市旭3-1-1）
主 催：信州大学山岳科学総合研究所
参 加 料：無料
申し込み：不要 お気軽にご参加ください。

表紙の写真：藪沢礫層

藪沢は、南アルプスの女王とも称される仙丈ヶ岳（標高3033m）北面のカールから北に発し、戸台川、三峰川と名を変えて、やがて伊那盆地で天竜川に注ぐ。標高1500～2000m 付近の藪沢両岸に厚さ100m を超す礫層が存在することが古くから知られ、藪沢礫層ともよばれてきた。伊那市の南アルプス林道に沿って、丹溪新道入口から藪沢橋を経て、大平小屋にかけての区間でよく観察することができる。

藪沢礫層の起源は、仙丈ヶ岳のカールに氷河があった最終氷期に、その融け水によって運ばれた砂利であると長い間信じられてきた。ところが、2000年代になって、この礫層は約1万年前の大規模な地すべりの産物だとする論文が出されて議論を醸した。藪沢礫層をよく観察すると、河成段丘堆積物や土石流堆積物とは全く顔つきが異なることに気づく。流水堆積物に特徴的なクロスラミナ（斜交葉理）やインプリケーション（礫の覆瓦構造）は、全くといってよいほど認められない。むしろ、ジグソー・パズル状の割れ目がたくさん入った岩塊の集合でできている異様さが目立つ（人物の背後）。この割れ目の隙間を埋めて元に戻せば、山体を構成している基盤岩そっくりになる。それに、地表には大規模地すべり特有の塚状地形も伴っている。こうした特徴からみて、藪沢礫層が大規模地すべりの所産であるのは確実である。ただ、藪沢礫層の正確な分布や堆積構造、年代には不明な点も多い。現在、それらを改めて調べるための試みがなされつつある。

専修大学 荻谷 愛彦

研究所 行事日誌（2014年3月）

3月9日（日） 山岳雪崩安全啓発講演会「山岳雪崩を知る・考える」
13:00～16:00 信州大学理学部C棟2F大会議室
入場無料・申込み不要
3月20日（木） 2013年度山岳科学総合研究所研究報告会
9:00～17:00 信州大学理学部C棟2F大会議室
入場無料・申込み不要

山岳科学総合研究所ニュースレター 第42号

発行日：2014年3月4日

発行責任者：鈴木啓助

編集・発行：信州大学山岳科学総合研究所 情報企画チーム

〒390-8621 長野県松本市旭3-1-1

TEL:0263-37-2342 FAX:0263-37-2438

E-mail: suims@shinshu-u.ac.jp



掲載されている内容全ての無断転載を禁じます。著作権は著者及び信州大学山岳科学総合研究所に帰属します。