

斜面土層の発達と崩壊を「ししおどし」から考える —山地災害科学の最前線—

概要

京都大学では、農学研究科と防災研究所が他の大学や研究機関と協力して、地形学と水文学の学際的な共同研究プロジェクトに取り組んできましたが、その成果が8本の論文として、日本地形学連合の機関誌「地形」の特集号「湿潤変動帯における流域水文地形学のフロンティア」に掲載されました。研究成果の最大のトピックは、土砂くずれ（表層崩壊）をその発生の前提となる長期の土層発達からみたところにあります。

山地斜面の土層は大雨があるとくずれ（いわゆる表層崩壊）、大きな災害をもたらし、そのメカニズムを理解することが対策に欠かせません。しかし、土層の崩壊するメカニズムの解明に焦点が当てられ、土層が崩壊後数百年かかって厚く発達してくるのはなぜなのかは、あまり注目されませんでした。

プロジェクトでは、土層発達をシミュレーションするモデルを開発しましたが、土層が厚く成長するには2つの条件が必要だとわかりました。ひとつは、森林の根が土をつなぎ止めるはたらきでした。それがなければ、岩盤の上に土層が無いはげ山になってしまいます。もうひとつは、浸み込んだ雨水の流れ方です。大雨で地下水が地表にあふれるときにくずれることが多いのですが、数百年の間に大雨は何度もあるのに、土層がくずれずないのは、土層の中にパイプ状の水みち構造が自然にできてきて、地下水が速やかに排水されるからだと推測されました。

斜面では岩盤が風化して土の粒子が作られますが、森林がなく、排水がうまくはたらかないと、土粒子はどんどん流されます。しかし、森林と排水のおかげで、数百年の間、土層が安定して厚く発達できるのです。京都洛北の詩仙堂にある「ししおどし」の仕組みは、注がれる水が竹筒の中にためられ、いっぱいになると竹筒が転倒して排水されるものです。同じように土は斜面上に土層としてためられますが、ししおどしが転倒するのと同じように、いつかは崩壊して土は川に流されます。

研究から次のような山地災害に対するいくつかの情報が得られます。

1) いつかは斜面の土層はくずれます。住居選定や森林管理には、この自然の摂理を前提として減災を図る必要があります。立派な森林にも防災施設にも頼りすぎないことがたいせつです。

2) しかし、土層の発達と崩壊のようすは沢の地形によって異なることがわかりました。この結果は、どこから防災工事を優先的に行うべきかにも応用できます。

3) 表層崩壊の発生は、ししおどしの竹筒にどのくらい水がたまってるかと同じように、土層の厚さが以前の崩壊の後、現在どのような発達段階にあるかに影響されます。また、森林の根の発達ぐあいも関係するでしょう。発達ヒストリーを考えた現場調査が今後重要になると考えられます。

1. 背景

山地災害対策のためにはそれを起こすメカニズムを理解することが大切ですが、それぞれの学問分野毎に研究が行われる傾向がありました。学問分野ごとの時間スケールの違いがその原因のひとつです。わたしたちは、数百年間は土層がくずれないで浸み込んだ雨水を川へ流している（水文学の対象です）のに、数百年に一度は土層がくずれて水のほかに土も一気に流してしまう（地形学の対象になってきます）ことに注目し、なぜそうなるのだろうかと考えてきました。その結果、森林の根による補強と効率的な排水が大きな役割を果たすことがわかってきました。

2. 研究手法・成果

1) 森林効果を含む土層発達のシミュレーション

山地斜面の地下深いところは固い岩盤でできているのですが、浅いところは風化してぼろぼろになっていて、そこからゆっくり土の粒子が産み出されています。そして、図1左のように、土はソイルクリープによって斜面に沿ってごくごくゆっくり移動しています。その結果として、斜面下部や凹地形のところはだんだん土がたまり、厚くなってゆきます。この土は、数百年に一度の大雨のときに表層崩壊（土砂くずれ）を起こします（写真1）。松四雄騎（防災研究所准教授）らの論文（文献①）では、この長期の土層移動過程、厚く発達する過程、安定がくずれて生じる崩壊する過程についてのシミュレーションモデルを開発しました。

シミュレーションでは、森林の根の役割を与えています。根がなければ、斜面上に土層は発達できず、はげ山になってしまいます（写真2）。森林がある場合には、その根が土層を補強して毎年の土の流失が起こらず、土層が厚く発達してゆき、数百年に一度、写真1のような崩壊が発生することになります。

2) 土層内の水の効率的な排水と崩壊発生

次に、図1をみながら、大雨のときの水の動きを考えてみましょう。水文学では、降雨条件を与えて洪水流出量の時間変化を計算する研究が多く為されてきました。それによると、穴の開いた簡単なタンクを想定するタンクモデルで、かなりきれいに洪水流出量の時間変化が予測できることがわかっています。谷誠（農学研究科名誉教授、現在人間環境大学特任教授）の論文（文献②）では、土層内の水の浸透流のメカニズムに基づいて、なぜタンクモデルでうまく流出が計算できるのかを検討しました。その結果、パイプ状水みちが土層内の水を効率的に排水する効果が重要であることがわかりました。

自然の山地斜面の土層は、以前崩壊したときから数百年かかり発達してきたものです。その間に、徐々に、水が細かい土粒子を流して、水を効率的に流せる水みちが作られると考えられます。この水みちがあると、大雨の場合も、水が地表面まで上がってきてあふれることが少なくなります。森林の根の土層を補強する効果は重要ですが、樹木の根は地表付近30センチくらいのところに集中しています。土が1mもの深さになると、図1左に示すように、根はまばらにしか存在しません。効率的な排水機能があることによって、ある程度の雨までは崩壊は発生しないのだと推測されます。しかし、排水しきれないような大雨の場合は、図1右のように、水が地表から噴き出すとともに崩壊するのではないかと考えることができます。

3. 波及効果、今後の予定

プロジェクトの成果を日本の山の現況に照らして考えてみましょう。現在、スギやヒノキの多くが植えてから60年程経過して成長し、収穫期を迎えています。貴重な国産材資源なのですが、国土保全上無

計画な伐採を行うわけにはゆかないので、崩壊の発生しやすい沢では根の土層補強に及ぼす効果が維持されるように保護するのは当然です。しかし、森林を伐採しないでも土層は必ず崩壊する自然の摂理も頭に入れたうえで、伐採して木材を利用しその後森林に戻してゆくことも、林業再生やわたしたちの暮らしにとって重要です。次世代に向けて、どこの森林を保護し、どこで林業を行うか、防災と森林利用の100年計画を立てなければならないのです。

その100年計画には、100年を超える時間スケールで土層の発達と崩壊の研究が基盤となります。わたしたちのプロジェクトで取り組んできた研究は、防災対策と林業再生の両方を、いかにうまくバランス良く長期計画するかにとって、ますます重要になると考えています。

4. 研究プロジェクトについて

科学研究費基盤(S)「地形・土壌・植生の入れ子構造的発達をふまえた流域水流出特性の変動予測」(平成23～27年度、代表：谷誠) 課題番号：23221009

<論文タイトルと著者>

文献①

タイトル：土層の生成および輸送速度の決定と土層発達シミュレーションに基づく表層崩壊の発生場および崩土量の予測

著者：松四雄騎・外山真・松崎浩之・千木良雅弘

掲載誌：地形 37(4)、427-453

文献②

タイトル：複雑な斜面流出機構が単純な降雨流出応答を産み出す根拠

著者：谷誠

掲載誌：地形 37(4)、531-557



写真1 斜面の水の集まりやすい地形の場所に発生した表層崩壊
 (栃木県日光市芹沢において 2015年 9月発生、同年 12月、松四雄騎)



写真2 森林が半永久的に回復しない花崗岩山地のはげ山
 (滋賀県田上山の若女谷 2008年 12月、谷誠撮影)

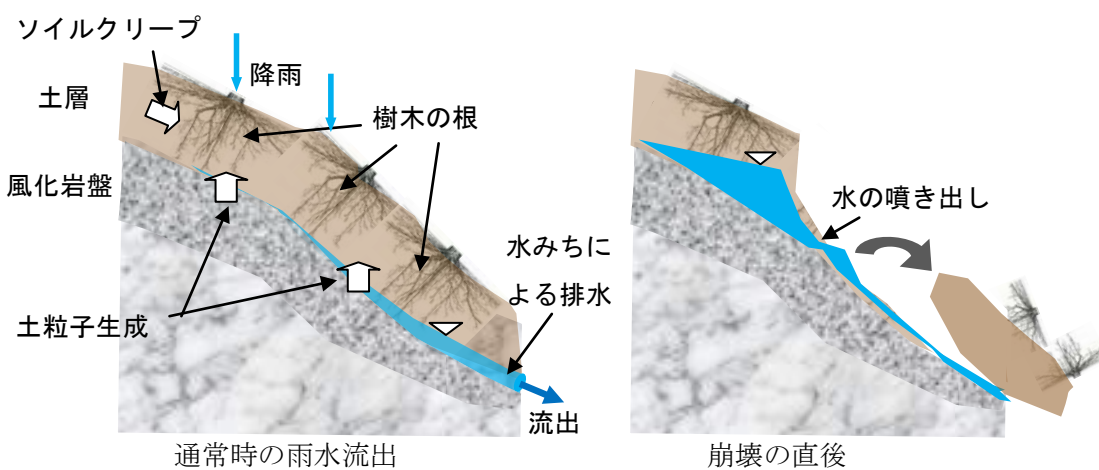


図1 雨水流出と表層崩壊