

( 続紙 1 )

京都大学	博士 ( 理 学 )	氏名	渡壁 卓磨
論文題目	Controlling Factors for Hillslope Denudation by Soil Formation and Shallow Landsliding in Low-relief Landscapes under Contrasting Lithological Conditions (土層形成と表層崩壊による斜面削剥を制御する要因：対照的な地質条件をもつ小起伏山地での比較研究)		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>土層に覆われた山地の斜面における削剥の速度とその制御要因を解明することは、湿潤温帯地域における地形の発達を理解するうえで重要である。本研究では、相対的な低所をつくる花崗岩およびその周辺で高所を構成するホルンフェルスをそれぞれ基盤とする山地を対象に、土層の生成と輸送の速度および土層の除去を担う表層崩壊の発生機構を明らかにしたうえで、表層崩壊後の土層の回復に要する時間を推定した。調査対象とした場所は、京都-滋賀県境および広島県広島市北部の低起伏山地である。</p> <p>京都-滋賀地域では、尾根型凸形斜面における土層直下のサプロライト中の石英に含まれる宇宙線生成核種ベリリウム<sup>10</sup>を測定することで、土層の生成速度を決定した。また、高解像度のデジタル地形モデルの解析およびピット掘削による土層の厚みのデータをもとに、ソイルクリープによる土粒子の輸送速度を求めた。土層の生成速度は土層の厚みに対して指数関数的に減少する傾向を示し、花崗岩の斜面の方がホルンフェルスの斜面よりも大きかった。また土層の輸送係数も、花崗岩の斜面においてホルンフェルスの斜面よりも約4倍大きかった。これらの差異は、斜面を覆う土層の物理的性質の差異によって説明される。すなわち、粗粒で非粘着質な高透水性の土層に覆われる花崗岩の斜面は、細粒で粘着質な難透水性の土層に覆われるホルンフェルスの斜面に比べ、サプロライトの上面において含水率および温度の変化に富む。また、花崗岩の斜面はホルンフェルスの斜面に比して不安定になりやすく、土粒子が効果的に輸送されることで土層は薄い状態を保つ。こうした土層の被覆効果がもたらすフィードバックが、地質毎の岩盤風化速度を制御しているものと推測された。</p> <p>広島地域では、2014年に豪雨によって表層崩壊の発生した斜面を対象に、隣接する花崗岩とホルンフェルスの山地を対比させて崩壊の発生メカニズムを論じた。この地域では、斜面の土層構造と斜面構成物質の水理・力学的な物性および地下浅部での水文過程を踏査・試験および観測によって調べた。花崗岩の斜面では降水の素早い透過が、サプロライト上に飽和帯を形成し、正の間隙水圧をもつ領域が上方へと発展することで脆弱な上部土層と緻密な下部土層との境界でせん断破壊が生じることが示された。一方、ホルンフェルスの斜面では、降雨浸透時には濡れ前線の降下が卓越し、透水性の低い下部土層の上に宙水が発達することが、表層崩壊の発生原因となることがわかった。このとき、表層崩壊の発生に要する降雨閾値は、関連する部分の水分貯留容量が小さい花崗岩の斜面で、ホルンフェルスの斜面よりも小さくなる。</p> <p>これらの知見を組み合わせ、表層崩壊の発生跡地での土層の生成・集積過程を地理情報システム上でシミュレートしたところ、土層の回復に要する時間(すなわち表層崩壊の再現周期)は、花崗岩を基盤とする斜面で500年から600年程度、ホルンフェルスを基盤とする斜面で8000年から10000年程度であることが示された。以上のような土層の生成・輸送の速度、斜面が不安定となる水文条件と降雨閾値および崩壊発生後の土層の回復に要する時間の差異が、花崗岩とホルンフェルスを基盤とする山地での削剥速度の差異、ひいては標高の差異をもたらしているものと推察される。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本研究は、相対的な低所を形成する花崗岩およびその周辺の接触変成帯で高標高の尾根を構成するホルンフェルスそれぞれを基盤とする山地を対象に、土層の生成と輸送の速度および表層崩壊による土層の除去過程を明らかにしたうえで、表層崩壊後の土層の回復に要する時間を推定したものである。調査対象として、それぞれの地質条件において典型的な地形を呈する京都-滋賀県境および広島県広島市北部の低起伏山地を選択し、実証的かつ定量的な研究を展開している。

京都-滋賀地域では、尾根型凸形斜面における土層直下のサブロライトを対象に、石英中に生成蓄積する宇宙線生成核種のひとつであるベリリウム10の濃度を加速器質量分析によって測定し、風化岩盤が土層へと変化する速度（すなわち土層の生成速度）を決定した。また、航空レーザー測量によって得られた高解像度のデジタル地形モデルを用いた地形曲率の解析およびピット掘削による土層の厚みのデータをもとに、ソイルクリープによる土粒子の輸送速度を求めた。その結果、花崗岩の斜面において、ホルンフェルスの斜面よりも土層の生成および輸送の速度が大きいことを明らかにした。これは、同じ気候環境下においても、地質に依存して、地形の変化を担う主たる過程の速度が異なっていることを定量的に示した最初の例である。またそれが斜面を覆う土層の物理的性質の差異によって説明されることを示し、土層の被覆効果が、地質毎の岩盤の風化速度を制御するフィードバックシステムを作り出している可能性を初めて指摘した。

広島地域では、隣接する花崗岩とホルンフェルスの山地を対比させ、斜面の土層構造と斜面構成物質の水理・力学的な物性および地下浅部での水文過程を、踏査や試験あるいは観測によって調べることで、2014年の豪雨により実際に発生した表層崩壊のメカニズムを論じた。花崗岩の斜面ではサブロライト上に形成される飽和帯が上方へと発展することで脆弱な上部土層と緻密な下部土層との境界でせん断破壊が生じるのに対し、ホルンフェルスの斜面では下部土層の上に宙水が発達することが、表層崩壊の主因となることを示した。また、表層崩壊の発生に要する降雨閾値は、花崗岩の斜面で相対的に小さくなることも明らかにした。これらの発見は土層の除去を担う表層崩壊の発生過程が地質毎に異なり、土層の存続性に差異があることを示したものとして評価できる。

これらの対照的な地質を基盤とする斜面において、表層崩壊の発生後、土層の回復に要する時間を求めたところ、花崗岩を基盤とする斜面で500年から600年程度、ホルンフェルスを基盤とする斜面で8000年から10000年程度と算出され、地質毎に表層崩壊の再現周期には一桁以上の差異があることが示された。

以上の成果は、花崗岩とホルンフェルスを基盤とする山地において、これまで十分に検討されてこなかった岩盤の風化速度に及ぼす土層の被覆効果を定量的に検証し、土層の生成・輸送の速度および土層が不安定となる斜面水文過程と降雨の閾値、そして表層崩壊の再現周期が地質毎に異なっており、それらが斜面の削剥速度の差異、ひいては山地の標高の差異をもたらしていることを多面的・総合的に明らかにしたものとして評価できる。よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また令和2年1月14日に、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。