

氏 名	小 川 泰 浩		
学位 (専攻分野の名称)	博 士 (農学)		
学位記番号	乙 第 952 号		
学位授与の日付	令和 3 年 1 月 20 日		
学位論文題目	細粒火砕物堆積斜面の粗粒化に伴う地表安定化過程に関する研究		
論文審査委員	主査 教 授・博士 (林学)	福 永 健 司	
	教 授・博士 (林学)	橘 隆 一	
	准 教 授・博士 (林学)	矢 部 和 弘	
	博士 (生物資源科学)	岡 本 隆*	

論文内容の要旨

火山地域において爆発的噴火が発生すると、周囲の山腹斜面に大量の火山砕屑物(火砕物)が堆積する。既存植生が火砕物で埋没した後の山腹斜面では、植生回復が困難になる。さらに大量の火砕物が不安定な状態で斜面に堆積するため、火山活動の影響を受けずに降雨や地震の作用で容易に土砂が移動する。よって、火砕物が堆積している山腹斜面の下流域では、火山活動とは直接関連のない 2 次的な土砂移動から人命や財産を守る防災対策が重要課題となる。こうした土砂移動を防止するために従来から行われてきた治山砂防工事では、上流域の山腹斜面に堆積した不安定な火砕物の早期安定化が求められている。

爆発的噴火で空中に放出された火砕物は、時間差で山腹斜面に堆積する。はじめに風の影響を受けずに降下する粒径の大きい火砕物が堆積し、その上位に風とともに空中で分級された粒径の小さい火砕物が遅れて堆積する。このうち、シルトや粘土を含む細粒の火砕物が堆積した斜面では透水性が急速に悪化するため、通常より少ない降雨量で発生した地表流が粒径の小さい火砕物を流亡させて、その結果として表面侵食が発生する。

火砕物が斜面に堆積すると斜面の最上位に位置している細粒の火砕物が流亡するとともに地表の火砕物の粒径が粗くなる「火砕物の粗粒化」が生じることが知られている。しかし、火砕物が粗粒化する過程や、粗粒化した後の緑化植物による植生回復に与える影響については多くの点が不明である。

本研究では、長崎県島原半島の平成新山の山腹斜面を対象として、1991 年以降の噴火によって斜面に堆積した火砕物の粗粒化過程を把握し、火砕物の粗粒化が緑化植物の植生回復に与える影響の解明を目的とする。さらに火砕物の粗粒化と植生回復による地表の安定化を統合し、火砕物堆積斜面における地表安定化過程として連続的に解釈した。

第 1 章では、前述した山腹斜面に時間差で分級し堆積した粒径が異なる 2 種類の火砕物

*国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所山地災害研究室 室長

について、下位の粗粒火砕物とその上位の細粒火砕物に分類し、次のように定義した。細粒火砕物の下位に位置し、砂や礫のような粗粒土砂を主体とする火砕物を「粗粒火砕物」、0.075 mm 以下のシルトや粘土のような細粒土砂を主体とする粗粒火砕物の上位にある火砕物を「細粒火砕物」とした。つづいて、これまでの火砕物堆積斜面における地表の粗粒化や植生回復に伴う地表安定化に関する研究の背景や既往研究の問題点を論じた。最後に本研究の目的と流れを示した。

第 2 章では、火砕物の粗粒化に伴う火砕物の堆積構造と物理性の変化を議論するため、平成新山南東側の裸地状態の火砕物堆積斜面において、粒径組成と透水性に関する実態調査をおこなった。その結果、粗粒火砕物の上位に堆積する細粒火砕物はシルトと粘土で構成され、飽和透水係数は 1.70×10^{-4} cm/s と低い値であった。このことから細粒火砕物は自身の流亡につながる地表流を容易に発生させる性質があると推察された。この細粒火砕物が地表流により流亡すると下位の粗粒火砕物が露出すると考えられた。この粗粒火砕物は、礫を主成分とする厚さ 0.5~2.0 cm の粗粒層が上位に位置し、その下位に砂と礫を主体とする火山砂礫層が位置する 2 層構造を有していた。粗粒層は、下位の火山砂礫層よりも細粒土砂を欠いた粒径組成であることから、粗粒火砕物中の細粒分が地表流によって流亡した結果、形成されたと推察した。粗粒火砕物の飽和透水係数は 5.38×10^{-3} cm/s となり、細粒火砕物と比較して高かった。この理由は、細粒火砕物の流亡によって火砕物の堆積構造が多孔質な状態に変化したためと考えられた。よって、細粒火砕物の流亡によって火砕物の上位に位置づけられた粗粒火砕物は、堆積構造が多孔質に変化し、流亡する前に火砕物の上位にあった細粒火砕物よりも透水性が上昇したと推察された。

第 3 章では、第 2 章の結果から推察した火砕物の粗粒化過程を議論するため、噴火当時に現地採取した細粒火砕物を粗粒火砕物の上位に人工的に散布して被覆し、細粒火砕物の流亡による火砕物の粗粒化を再現する野外試験を行った。その結果、火砕物の粗粒化は、雨期に 2 つの段階を経て進行することが明らかとなった。最初の粗粒化第 1 段階では、小雨期に発生した少量の地表流によって上位の細粒火砕物の一部で流亡が始まり、続く多雨期に発生した大量の地表流によって残りの細粒火砕物と下位の粗粒火砕物の一部がともに流亡し、地表に粗粒火砕物が露出した。次の粗粒化第 2 段階では、粗粒火砕物の透水性の上昇によって雨量に対する地表流の応答流出量が減少し、流出土砂の主要な粒径が礫から砂に細粒化した。これらの結果は粗粒火砕物の透水性が上昇したことを示すものである。流出土砂の細粒化によって、地表では礫が取り残されて粗粒層が形成したと考えられた。以上の野外試験によって、第 2 章の現地調査結果から得た火砕物の粗粒化過程に関する推察が実証された。

第 4 章では、粗粒化した火砕物堆積斜面において植生回復に伴う地表流と土砂流出の減少による地表安定化過程を議論した。そのために平成新山南東側で火砕物が粗粒化した後に緑化された火砕物堆積斜面に流量観測施設を設けて地表流の流量や流出土砂量を計測し、植生

調査で植物の生育状況を把握した。その結果、粗粒化した火砕物に散布された液体状の緑化資材は、地表面の多孔質な粗粒層に浸透し、定着したと推測された。このように粗粒化した火砕物は、液体資材の定着に寄与していた。液体資材が定着した斜面では、緑化施工1年目に緑化草本が急速に被覆し、施工5年目以降に草本と小型低木で構成された植物群落が完成した。施工開始後4年間は草本中心の面的被覆によって、年土砂流出量が漸減した。それに続き、草本に加えて小型低木の植物群落による立体的被覆が完成した緑化施工後5年目以降は、土砂流出が年間を通じてほとんどなくなった。このように草本と小型低木による2段階の植生回復に調和して年土砂流出量が減少した。緑化施工後1年目から4年目までの年土砂流出量が漸減している時期を植生回復第1段階、緑化施工後5年目から土砂流出が無くなった時期を植生回復第2段階に分けると、各段階で土砂流出特性は明確に異なっていた。以上から緑化斜面における降雨流出観測と植生調査によって、植生回復による2段階の地表安定化過程が明らかになった。

第5章では、これまでの結果をとりまとめ、火砕物堆積斜面の地表安定化過程を総合的に考察した。細粒火砕物の流亡試験の結果から植生回復による地表安定化には、2段階の粗粒化が不可欠な現象であることが結論付けられた。すなわち粗粒化第1段階では、降雨状況に応じて上位に堆積した細粒火砕物が流亡し、多雨の時は下位の粗粒火砕物の一部が細粒火砕物とともに流亡して、次第に下位の粗粒火砕物が地表に露出する。これに続く粗粒化第2段階では、粗粒化第1段階よりも火砕物の透水性が上昇することによって、降雨に対する地表流の応答流出量が減少する。粗粒火砕物のうちの砂以下の細粒土砂が選択的に流亡し、細粒土砂よりも受食性が低い粗粒土砂（礫）が取り残された結果、礫が主成分の粗粒層が形成し、地表の火砕物が2層構造となる過程である。粗粒化第2段階の粗粒層の礫は、多雨期に発生する地表流で流亡するので、植生被覆による粗粒層の侵食防止が必要である。2段階の粗粒化過程で形成した多孔質な粗粒層に液体状緑化資材が浸透して、粗粒層が植物生育基盤の役割を果たした。こうして植物定着に有利な条件が整った斜面では、次に示す2段階の植生回復プロセスが明らかになった。植生回復第1段階は、粗粒層における草本の植生回復に応じて流出土砂が経年的に漸減する過程である。これにつづく植生回復第2段階は、草本と小型低木の群落が完成によって年間を通して土砂流出がほぼゼロを持続する地表安定化過程である。

本研究では、粗粒火砕物が持つ植物生育基盤としての役割を考慮して、地表の粗粒化過程と植生回復過程を統合した地表安定化過程を次のように示した。すなわち、粗粒層を有する火砕物は、生育基盤として有効な多孔質構造であり、この構造が植物や緑化資材の定着を促し、表面侵食から植生回復への中継ぎを進展させる。この中継ぎを経た2段階の植生回復が表面侵食を防止する地表安定化過程である。このように火砕物の粗粒化過程を考慮することによって、火砕物堆積斜面の地表安定化過程が連続的に解釈できることを立証した。

第6章では、本研究から得た成果の利活用を検討した。最初に地表の粗粒層が持つ生育基盤としての役割を利用し、種子散布に限定された液体状緑化資材に代わり、種子散布と植栽のどちらも選択可能な表面侵食防止資材を提案した。次に、この表面侵食防止資材を活用した山腹緑化工法として点群緑化工法を新たに提案し、本工法の課題と今後の展開を述べた。

第7章は、本研究の総括を行った。そして、平成新山の地表安定化過程から見出された課題を検討した。噴火活動終了後も継続する立ち入り規制により火砕物の流亡状況の把握が非常に困難な火砕物堆積斜面における粗粒化過程を把握する観測技術の開発が進展すれば、火砕物の流亡実態に合わせた適切なタイミングで航空緑化工や点群緑化工を行うことが可能になるであろう。

審査報告概要

本論文は、1990年に活動が始まった雲仙普賢岳において、これまで未知であった火砕物が厚く堆積した火山山腹斜面における火砕物の安定化過程の詳細を現地調査や現地再現実験により明らかにしたものである。堆積火砕物の上層の不安定な細粒火砕物が降雨で流亡して下層の粗粒火砕物が露出し、さらにその表層で粗粒化が起きることで耐侵食性が高まり、植生回復においてもプラスに働くことを突き止めた。本研究成果は、他の噴火パターンにおいても十分適用可能な新知見が含まれ、また噴火終息後の防災対策や植生回復に関する有用な情報を見出しているものと評価された。よって審査員一同は学位請求者に博士（農学）の学位を授与するに値すると判断した。