

令和 6 年 6 月 3 日現在

機関番号：82105

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K14001

研究課題名（和文）土層の生成から流出までの循環過程にもとづく新しい山地保全技術の開発

研究課題名（英文）Technical development for hillslope conservation based on the processes of soil production and runoff

研究代表者

渡壁 卓磨（Watakabe, Takuma）

国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員

研究者番号：10883663

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、花崗岩を基盤とする小起伏山地の源流域を対象にして、土層の生成速度を宇宙線生成核種の分析から明らかにし、降雨時に流れ出る土砂量を直接観測した。これらの結果をもとにして、長期的な土層発達過程を予測した。斜面で生産された土粒子は、凹型の斜面に集積する。急傾斜の場所では、時間とともに土層が厚く発達し、表層崩壊の危険性が増加する。水が流れている勾配の緩やかな渓床では、強い雨のときに土砂が流出するため、土層は薄く保たれている。今後、強雨頻度の減少や、表層崩壊の崩土で渓床が埋積され、水流による土砂運搬ができなくなった場合には、下流への土砂供給量の長期的な減少が予想される。

研究成果の学術的意義や社会的意義  
土層の生成量と降雨時に流出する土砂量という時間スケールの違う地形プロセスを統合し、山地源流域の土層発達過程を予測した点において、学術的意義がある。本研究で得られた成果には改善の余地は残されているものの、長期的な土砂生産量を予測できるため、水・土砂管理施設の維持的な管理に資する情報を提供できる。

研究成果の概要（英文）：In this study, I predicted long-term soil layer development in the head-water basin underlain by granite bedrock using a simulation of soil production, transport, and removal. The soil production rate is quantified using cosmogenic beryllium-10 and the sediment runoff is monitored by direct observation. Soil particles accumulate on concave part of the hillslope. The soil layer develops thicker over time in the steep parts of the hillslope with the high risk of shallow landslide initiation. In gentle hillslope with persistent stream flow, thickness of the soil layer is kept thin due to sediment transport by water flow. Sediment supply to downstream areas will likely decrease over long term when the ability of sediment transport falls due to decrease in the frequency of heavy rain or burial of the stream bed.

研究分野：自然地理学

キーワード：土層生成 土砂流出 表層崩壊 山地保全 宇宙線生成核種 航空レーザー測量

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

気候環境の変化や人工林の樹齢が50年を超えたことによる森林利用を背景として、山地斜面における表層崩壊の発生リスクの増加が予想される。山地斜面から生産される土砂は、豪雨時には土砂災害を引き起こすものの、下流地域の生態系などの保全に重要な役割を果たすため、防災と土砂移動を両立させる必要がある。しかしながら、山地斜面からの土砂流出量に関しては数年から数十年程度の観測事例があるものの、土層が発達する速度に関する研究事例が極めて乏しかった。そのため、山地斜面は土砂生産と流出が混在している場であるにもかかわらず、両者を組み合わせて、土砂収支がどのようにになっているのかを定量的に評価した事例が存在しなかった。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、土層に覆われた山地源流域において土層の発達から流出まで過程を組み合わせて、山地防災と下流地域への土砂供給の両立が可能な新しい山地保全技術の開発を行うことである。そのために、表層崩壊が発生する危険性があり、降雨時の土砂流出が観測可能な花崗岩を基盤とする山地源流域を対象にして、宇宙線生成核種を用いて基盤岩が風化することで生成される土粒子の量を明らかにし、降雨によって流域外へ排出される土砂量を観測する。これらのデータと航空レーザー測量から得られた精細な地形データを用いて、数百年から千年程度におよぶ土層の発達過程をシミュレートする。これにより、土層の生成と流出の収支がどのようにになっているのかを予測し、持続可能な山地斜面の利用や生態系管理に資する情報を提供する。

### 3. 研究の方法

滋賀県大津市にある花崗岩の山地斜面に、流域面積約1 haの観測流域を設定し、調査を実施した。流域内の複数地点で土壌断面を作成し、基盤岩までの土層の厚さを調べ、基盤岩の試料中に蓄積された宇宙線生成核種<sup>10</sup>Beの分析から得られる土層の生成速度を明らかにした。土砂流出量を観測するために、観測流域内の上空が開けた場所に降水量観測用の雨量計を設置し、流域の外へ流れ出る水と土砂の量を調べるために、堰と水位計および土砂を堆積させる水槽を設置した。土層発達シミュレーションをするために、地理情報システムと1 mのグリッドサイズの数値地形モデルを用い、土層の生成と流出を1年ごとに計算し、山地源流域内での長期的な土層発達過程を予測した。

### 4. 研究成果

宇宙線生成核種を用いてより確からしい土層の生成速度を得るために、新しいスケーリングの方法論を導入した。これまでの研究では、サンプル採取地点における宇宙線生成核種<sup>10</sup>Beの核種生成率の決定において、地球磁場の変動の影響が考慮されていなかった。そこで、古地磁気変動の変化を時間積分したスケーリングファクターを用いて、サンプル採取地点の核種生成率を決定し、土層の生成速度を再計算した。その結果、土層が厚くなると土層の生成速度が指数関数的に減少するという傾向は、従来の計算方法と同じであったものの、どの土層厚においても約半分の生成速度になることがわかった。これは、古地磁気強度の時間変化の影響に加え、基準となる高緯度・海水準地域の核種生成率が、これまでの研究で用いられていた値よりも約10%小さくなった影響があるからである。

年間の土砂流出量の変化をみると、観測期間によってばらつきがあり1年あたり1000-2000 kg程度の土砂が流出していた。大量に土砂が流出する期間は7月から9月に集中し、その他の期間の土砂流出量は総流出量の1割以下と偏りがあった。短時間で強い雨が降った時と、弱い雨が長時間続いた時の土砂流出量を比較してみると、短時間で強い雨が降った場合には活発な土砂移動が生じたのに対して、弱い雨が降り続いた場合には流出する水の勢いが弱いため、活発な土砂移動は起こらなかった。土砂流出のタイミングの観測から、本流域では、10分間雨量で5-7 mmを超えるような強い雨が連続して降り、水の流量が増大したときに、大量の土砂流出が引き起こされることが明らかになった。

土層発達シミュレーションを用いて、長期的な土層発達過程を予測した。初期条件として土層厚を0.5 mと一様にして、斜面での土粒子の移動が斜面勾配に依存するソイルクリーブだけを考慮する場合と、ソイルクリーブに加えて水流による土砂運搬の影響がある場合と、2つの条件でシミュレーションを実施した。どちらの条件でも、土層は凹型の斜面で厚く発達し、特に急傾斜の場所では時間の経過とともに表層崩壊の発生リスクが上昇することがわかった。後者の条件では、水流発生点よりも下流側では降雨時の土砂運搬が生じるため、土層が薄い状態が維持されており、現場の状況を再現することができた。今後、強雨頻度の減少や、表層崩壊の崩土で溪床が埋積され、水流による土砂運搬ができなくなった場合には、下流への土砂供給量の長期的な減少が予想される。

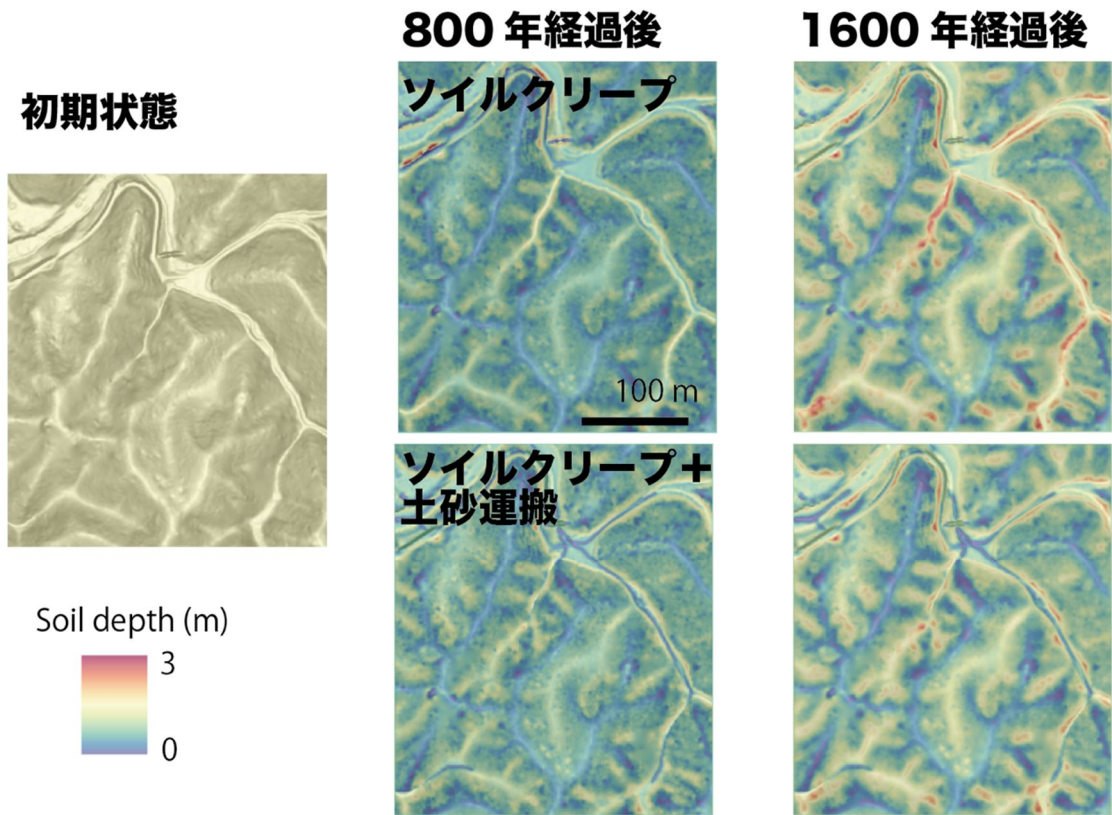


図1 土層発達シミュレーションの結果。初期条件として土層厚を0.5 mと一様にし、土層発達シミュレーションを行った。上段では、土層の輸送は斜面勾配に従ったソイルクリープによる輸送の影響だけを考慮した土層発達過程を示している。下段では、ソイルクリープに加え、水流発生点よりも下流側では水流による土砂運搬の影響を組み込んだ土層発達過程を示している。どちらの条件でも、凹型の斜面で土層が厚く発達する。土砂運搬の影響を組み込んだ場合に、水流発生点よりも下流側で、土層が薄く保たれている状況を再現することができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 渡壁卓磨	4. 巻 149
2. 論文標題 山に降る雨と流れ出る土砂の関係	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 森林総合研究所関西支所研究情報	6. 最初と最後の頁 2-3
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 渡壁卓磨、馬場俊明、松四雄騎
2. 発表標題 土層の生成から流出過程にもとづいた山地源流域の斜面地形発達
3. 学会等名 日本地形学連合
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 渡壁卓磨、松四雄騎
2. 発表標題 古地磁気強度の時間変化を組み入れた地表面露出年代と地形の削剥速度の計算法
3. 学会等名 日本AMS研究協会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 地質の異なる斜面で発生した表層崩壊の斜面水文過程：2014年広島豪雨災害を事例に
2. 発表標題 渡壁卓磨、松四雄騎
3. 学会等名 日本地すべり学会第61会研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渡壁卓磨、松四雄騎
2. 発表標題 宇宙線生成核種 <sup>10</sup> Beの核種生成率に関する最新のスケーリング方法論
3. 学会等名 日本地形学連合2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 馬場俊明、松四雄騎、渡壁卓磨
2. 発表標題 花崗岩山地の隣接源流域における土層発達および降雨流出過程の比較研究
3. 学会等名 日本地形学連合2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 馬場俊明、松四雄騎、渡壁卓磨
2. 発表標題 花崗岩山地の隣接源流域における土層発達および降雨流出過程の比較研究
3. 学会等名 京都大学防災研究所研究発表講演会(令和3年度)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大澤光、土井一生、荒井紀之、山川陽祐、渡壁卓磨
2. 発表標題 線状凹地の発達する大規模地すべり地における地下構造の推定
3. 学会等名 京都大学防災研究所研究発表講演会(令和3年度)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大澤光、土井一生、荒井紀之、山川陽祐、渡壁卓磨
2. 発表標題 崩壊斜面源頭部に広がる線状凹地の地下構造の推定
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会(2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡壁卓磨、大澤光、荒井紀之、土井一生、山川陽祐
2. 発表標題 山地上流において穿入蛇行が開始する条件 - 高角な層理面をもつ東河内川の事例 -
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会(2021)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------