

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23710208

研究課題名(和文) 宇宙線生成核種の分析による山地源流域の土砂生産ポテンシャルの定量化

研究課題名(英文) Quantifying potential of sediment yield from mountainous watersheds by terrestrial cosmogenic nuclides

研究代表者

松四 雄騎 (Matsushi, Yuki)

京都大学・防災研究所・准教授

研究者番号：90596438

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円、(間接経費) 1,080,000円

研究成果の概要(和文)：地表近傍の造岩鉱物中に蓄積する宇宙線生成核種を用いて、山地の削剥速度を決定する研究を行った。この手法を用いると、山地において、斜面崩壊の予備物質となる土層がどれほどの速度で形成されるか、また流域からどれほどの速度で土砂が生産されるかについて、千年から万年程度の長期スケールでの平均値を得ることができる。日本列島の全域で本手法を適用したところ、土層の形成速度として10-1000 g/m²/yrの値を、流域の削剥速度として100-10000 g/m²/yrの値を得た。大起伏山岳において、流域の削剥速度は土層の形成速度よりも大きく、基盤岩を削る崩壊によって山地の削剥が進行していることが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：Denudation rates of hillslopes and mountainous watershed were determined by terrestrial cosmogenic nuclides produced by cosmic-ray irradiation onto the Earth's land surfaces. Soil production rates on hillslopes and spatially-averaged denudation rates of watersheds were calculated to 10-1000 g/m²/yr and 100-10000 g/m²/yr, by accelerator mass spectrometry of nuclides in saprolite beneath soil layer and fluvial sediments collected at outlet of the watersheds, respectively. In high-relief steep mountainous terrains, denudation rates exceed soil production rates, implying a significant contribution of bedrock landsliding to denudation and hence landscape evolution.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・自然災害科学

キーワード：宇宙線生成核種 削剥速度 侵食 加速器質量分析 土層形成速度 流域 土砂生産 地理情報システム

1. 研究開始当初の背景

急峻な地形とモザイク状の地質構造を持つ日本のような環境においては、山地源流域からの長期的な土砂生産量とその空間分布を把握することは、その地域における土砂災害ポテンシャルの定量的評価や、人工河川構造物（例えば、砂防ダムや利水ダム）の効果的な配備・建設を行う上で極めて重要である。また、こうした知見は、将来行われるであろう高レベル放射性廃棄物の地層処分においても、埋設候補地の安定性評価や周辺地域における長期的な地形変化の予測に資するものとなる。

従来、山地の斜面から生産され、河川を流下する土砂の量的な検討は、浮遊砂や掃流砂の直接観測、あるいはダム建設後の堆砂量の測定などによって行われていた。しかしこれらの方法は、いずれも数年から数十年スケールでの土砂生産量を求めたものであり、一般的な山地斜面の侵食プロセスを考えれば、長期的には土砂生産量を過小評価してしまう傾向にある。これは山地斜面の侵食現象が、頻度は小さいが規模の大きな事象（例えば数十年から数百年に一度の豪雨や地震など）に支配されるという特性を持つためである。流域の出口に形成年代の明らかな扇状地が保存されているといった特殊な状況でない限り、任意の流域から百年・千年といった長期間にどれほどの土砂が生産・排出されるかを予測することは極めて困難であり、それゆえに、我々は、しばしば「想定外の」土砂流出に当惑する事態となる。

本研究では、特に流域における土砂生産に着目し、砂防事業の効率化、土砂災害の予測・軽減に資する新しい方法論の確立をめざす。最近 西南日本において、これまでには観測されてこなかったような、局所集中型豪雨による土砂災害が頻発している。近年の人為的な気候変動によって気象現象の極端化が進行することが、大気-海洋結合モデルによるシミュレーションによって示唆されていることから、今後ますます豪雨による土砂災害の発生が懸念される。より長い時間スケールでの山地源流域からの土砂生産量を把握しておくことは、再現周期の長い大降雨イベント時に、果たしてどれほどの土砂流出がもたらされるかを知ることにつながる。従来は強い降雨を経験してこなかった地域においても、長期的にみて土砂流出の発生しやすい源流域を特定しておくことは極めて有用であろう。

2. 研究の目的

本研究では、従来の問題を一挙に解決し、目的を達成するため、地表近傍の造岩鉱物中に蓄積する宇宙線生成核種を応用する。特に、山地の溪流堆砂中あるいは斜面の風化岩盤に含まれる宇宙線生成核種の加速器質量分析という極めて新規性の高い手法により、数千年スケールで山地の源流域から生産され

る土砂の量およびその予備物質としての土層の形成速度を決定する。これにより、山地斜面の土砂災害ポテンシャルを高空間解像度で定量的に評価し、防災・減災のための人工構造物の効果的な配備に資する情報を提供することを目的とする。

3. 研究の方法

日本列島各地において山地の源流域から排出され、溪流堆砂となった土砂を採取し、宇宙線生成核種の分析対象とする。分析結果から、それぞれの試料採取点より上流側に位置する山地源流域の空間平均的な削剥速度を決定できる。削剥速度に流域面積を乗ずることで土砂生産速度に換算する。結果は近年公開された高精度デジタル標高データによる地形解析結果と比較し、長期的な土砂生産速度の支配要因を探求する。得られた一覧から日本における土砂生産速度のデータベースを構築する。また、流域内の斜面において崩壊予備物質として蓄積していく土層にも着目し、土層直下の風化岩を採取して分析し、土層の形成速度を求めらる。

造岩鉱物中の宇宙線生成核種は、地表に到達した二次宇宙線と、岩石を構成する元素との原子核反応によって直接その場で生成・蓄積する。ここでは石英中の酸素 (^{16}O) および珪素 (^{28}Si) の原子核を標的として生成する ^{10}Be (半減期: 138.7 万年) および ^{26}Al (半減期: 71.7 万年) を利用する。野外調査によって得られた試料の粉碎整粒、超音波酸処理、重液分離等によって、溪流堆砂あるいは風化岩から石英粒子を抽出し、溶解・イオン交換・沈殿精製等の化学処理によって Be および Al を単離する。最終的に得られる酸化物をイオン源に装填し、東京大学大学院工学系研究科原子力国際専攻に設置されたタンデム型加速器を用いて、 ^{10}Be あるいは ^{26}Al の加速器質量分析を行う。

4. 研究成果

調査の結果、日本列島の花崗岩山地流域の削剥速度は $10^2 - 10^4 \text{ g/m}^2/\text{yr}$ の範囲であることが分かった。これらの値は各地域の山容やダム堆砂データから推定される相対的な侵食の活発さと調和的であった。地理情報システムによって流域内のデジタル標高データを解析したところ、求められた流域削剥速度は流域内斜面の平均勾配に非線型に対応しており、勾配 1 付近をしきい値として削剥速度が無限大に発散するような関数との適合性が高いことが明らかとなった (図 1)。これは従来地形変化のモデリングにおいて想定されていた勾配に比例する土砂生産過程とは異なり、地形と削剥速度の間に非線型的なプロセスが含まれていることを示唆するものであった。

また流域内の斜面における斜面崩壊予備物質としての土層の形成速度は $10^1 - 10^3 \text{ g/m}^2/\text{yr}$ の範囲であり、土層の厚みが増大す

るほど土層形成速度が小さくなるという土層形成速度関数が求められた。これは日本で求められた最初の一般山地斜面での岩盤の土層化速度であり、今後より多くのデータが蓄積され、土層形成速度を決定する要因の特定と、法則の一般化に関する研究が進むことが期待される。

大起伏で急峻な山岳の一部の場所では、流域の削剥速度は土層の形成速度よりも一桁大きく、崩壊などのマスムーブメントによって基盤岩が直接削剥されていることが明らかとなった。これが前述の勾配と削剥速度の非線型性をもたらすメカニズムであるものと推定される。また、このことは、一般的に山岳地形における溪流に、サブロライト中にしか存在しないような巨礫が散在しているという観察事実と調和的であり、土層の形成を凌駕する速度での河川の下刻と斜面の削剥によって、山体が土に覆われた状態から、露岩の卓越する状態へと変貌していく過程を捉えているものと解釈された。

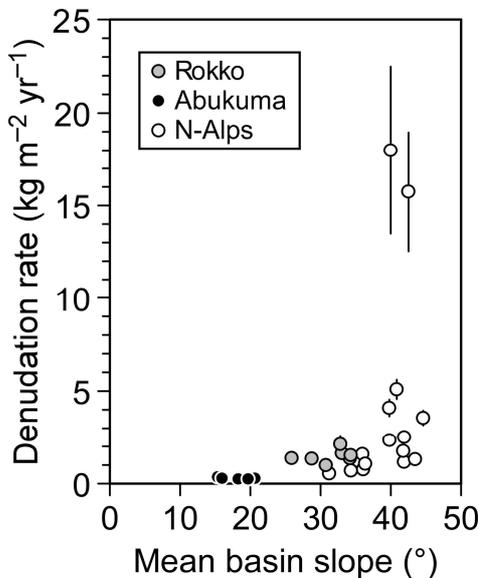


図 1. 日本のいくつかの花崗岩山地における流域の削剥速度と流域平均傾斜の関係 (松四ほか 2014 地形 35, 165-185).

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 4 件)

松四雄騎・松崎浩之・牧野久識, 2014. 宇宙線生成核種による流域削剥速度の決定と地形方程式の検証. 地形 35, 165-185. (査読有)

http://ci.nii.ac.jp/vol_issue/nels/AN00333248_ja.html

八反地剛・松四雄騎・北村裕規・小口千

明・八戸昭一・松崎浩之, 2014. 宇宙線生成核種と物質収支法を用いた花崗岩山地の化学的風化速度の推定: 北アルプス芦間川流域の事例. 地形 35, 147-164. (査読有)

http://ci.nii.ac.jp/vol_issue/nels/AN00333248_ja.html

渡壁卓磨・松四雄騎・小玉芳敬・進木美穂・松崎浩之, 2014. 宇宙線生成核種 ¹⁰Be を用いた岩盤侵食河川の下刻速度の推定: 鳥取県小鹿渓谷の例. 地形 35, 131-146. (査読有)

http://ci.nii.ac.jp/vol_issue/nels/AN00333248_ja.html

松四雄騎・松崎浩之・千木良雅弘, 2014. 宇宙線生成核種による山地流域からの長期的土砂生産量の推定. 応用地質 54, 272-280. (査読有)

<http://www.jseg.or.jp/03-publication/magazine.html#menu54>

[学会発表](計 2 件)

松四雄騎: 削剥速度と流域の地形: 地形情報から削剥速度を推定するアプローチの限界について. 第 5 回 GIS-Landslide 研究会, 防災科学技術研究所, 2013 年 11 月 9 日.

松四雄騎・松崎浩之: 宇宙線生成核種による山地流域からの長期的な土砂生産速度の推定. 平成 25 年度砂防学会研究発表会, 静岡市民文化会館, 2013 年 5 月 30 日.

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

取得状況 (計 0 件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松四 雄騎 (MATSUSHI, Yuki)
京都大学・防災研究所・准教授
研究者番号：90596438

(2) 研究分担者

該当なし ()

研究者番号：

(3) 連携研究者

該当なし ()

研究者番号：