

深度依存型ソイルクリーププロファイル：大気生成および原位置生成 Be-10 による知見 Depth-Dependent Soil Creep Profile: Insights from Meteoric and In-situ Be-10

○近藤有史・松四雄騎・松崎浩之

○Arihito KONDO・Yuki MATSUSHI・Hiroyuki MATSUZAKI

This study quantifies depth-dependent soil creep fluxes and the vertical transition of dominant physical processes using both meteoric and *in situ* ^{10}Be . Soil creep fluxes, derived from the inverse of soil residence times, decrease exponentially within the upper mixed layer and linearly within the lower plastic deformational layer on planar midslopes. Gentle crests limit the conversion of soil mixing into downslope transport, whereas planar midlopes promote disturbance-driven soil transport, resulting in thicker upper soil layers. In concave hollows, continued upstream sediment supply leads to ongoing soil thickening. These results improve understanding of soil dynamics and provide quantitative constraints for landslide hazard modelling (102 words).

1. 導入

湿潤温帯の丘陵斜面では、土層は深さに応じてフラックスを変化させながら、極めて緩慢に斜面下方へ移動する。このようなソイルクリープは、動植物の活動や水分の状態変化による混合作用に加え、土層のレオロジー特性に支配される変形作用など、複数の物理過程によって駆動される。しかし従来のモデル研究は単一プロセスに着目するにとどまり、複数プロセスが重なる条件下におけるソイルクリープフラックスの深度変化は、ほとんど検討されていない。その主因は、土層内部における長期的な移動履歴を定量的に復元する手法が確立されていないことにある。この課題に対し、千年スケールで恒常的に地表に供給された後土粒子に強く吸着する大気生成 ^{10}Be は、有効なソイルクリープのトレーサーとなり得る。本研究では、大気生成および原位置生成 ^{10}Be を併用することで、ソイルクリープの深度依存フラックスを推定した。

2. 研究方法

ソイルクリープの深度依存フラックスは、大気生成および原位置生成 ^{10}Be を用いてパラメータ決定可能な数理モデルで推定した。構築したモデルは、攪乱による混合作用と塑性変形の両方を考慮し、土層が深度依存的に定常輸送されることを想定する。その結果、全球大気モデルに基づく恒常的な大気生成 ^{10}Be 供給下で、土層内部に特徴的な ^{10}Be 濃度分布が形成される点に着目している。濃度測定は、東北地方阿武隈山地北部の頂部斜面・平坦な中腹斜面・谷頭凹地をもつ花崗閃緑岩基盤の丘陵斜面で行った。谷頭凹地を囲む稜線部の基

盤岩試料から原位置生成 ^{10}Be 濃度を測定し、土層生成速度を推定した。この速度は土層入れ替わり時間の推定に用い、滞留時間の上限としてモデルに組み込んだ。モデルを実測大気生成 ^{10}Be 濃度分布に適合させることで、土層滞留時間の深度プロファイルを推定した。その信頼性は、土層内木炭片の ^{14}C 年代との比較で検証した。

3. 結果

^{10}Be に基づく解析により、土層の滞留時間は深度および斜面位置で変化することが明らかとなった。平均的な大気生成 ^{10}Be 濃度は稜線から斜面下方へと増加し（図 1）、斜面下方ほどソイルクリー

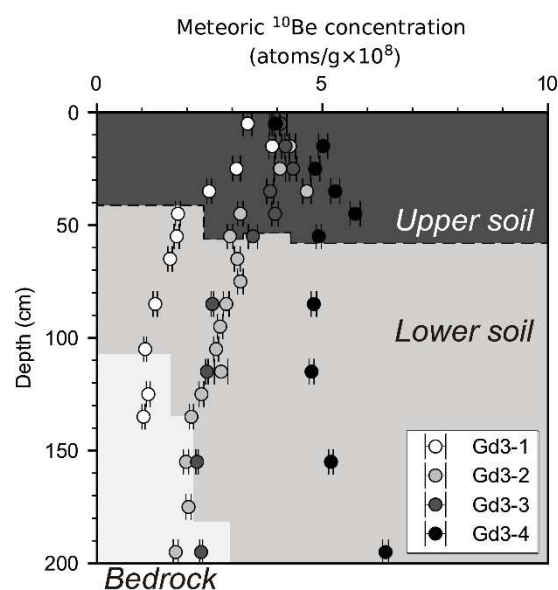


図 1. 尾根 (Gd3-1), 平坦な中腹部 (Gd3-2, 3), 谷頭凹地 (Gd3-4) の大気生成 ^{10}Be 濃度

ブフラックスが大きいことを示す。原位置生成 ^{10}Be から推定された土層入れ替わり時間は、斜面中腹より上方で土層厚に応じて 14,000–29,000 yr の範囲にあり、この時間スケールで、土層は定常的に輸送されている。平坦な中腹斜面では、上部の混合層で滞留時間が深度とともに指数関数的に増加し、下部残積土層ではほぼ線形に増加した(図 2A)。また、 ^{14}C 年代は、2,200–8,800 yr BP の範囲を示し、推定された滞留時間と整合的であった。

4. 議論

本研究で推定されたソイルクリーププロファイルは、斜面内部で支配的な物理過程が鉛直方向に変化することを示す。土層滞留時間の逆数として算出されたソイルクリープフラックスは、尾根部から平坦な中腹斜面に向かうにつれ、上部層で指数関数的、下部層で線形的に減衰する特徴を示し(図 2B)、上部層では混合作用、下部層では塑性変形が支配的であることの証拠となる。上部層での混合作用の卓越は、大気生成 ^{10}Be 濃度が不規則な深度分布を示すことから示唆される。尾根部では勾配が緩やかで混合作用が斜面方向への輸送に直ちに交換されにくい、平坦斜面では混合作用が地表付近のソイルクリープを強化し、上部土

層の厚さを増加させることが予想される。凹地状地形では土層が最も厚く、下部土層の深部ほど高い大気生成 ^{10}Be 濃度を示すことから、上流からの継続的な土層供給により、上・下層ともに現在も成長を続けている可能性がある。

5. まとめ

本研究は、大気生成および原位置生成 ^{10}Be を用いて、ソイルクリープの深度依存型フラックスと支配的物理過程の鉛直遷移を定量的に明らかにした。本手法により、斜面地下構造の成熟度を評価し、潜在的すべり面の分布位置推定の基礎データを提供できる。さらに、非平衡斜面へと適用可能な発展的モデルを構築することで、地下構造形成の時間スケールや表層崩壊時の潜在的すべり面との関連を評価できる可能性が示された。

6. 謝辞

山形大学高感度加速器質量分析センターのスタッフの皆様には、 ^{14}C 年代測定でご支援をいただきました。本研究は、JST SPRING (JPMJSP2110)、JSPS 特別研究員奨励費 (JP23KJ1244) の財政的支援を受けて実施されました。

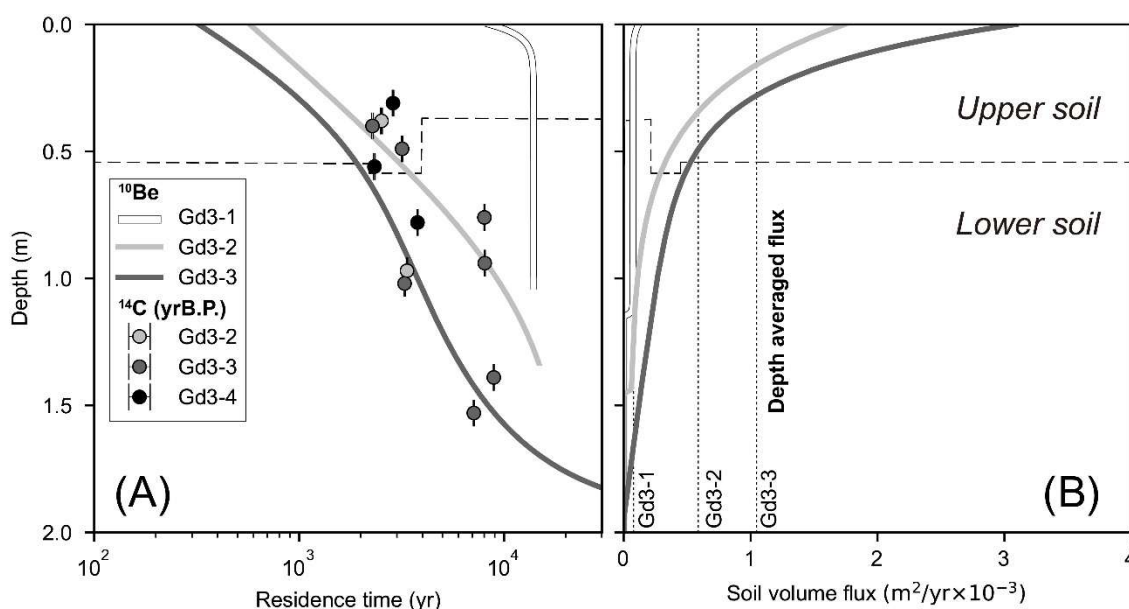


図 2. 大気生成 ^{10}Be 濃度プロファイルから推定される土層滞留時間 (A) および体積フラックス(B)