

隆起山地の長期的な地形発達史

—堆積物中の宇宙線生成核種 ^{10}Be を用いた復元と検証の枠組み—

概要

地殻変動が活発な地域の山地は、断層活動などによる隆起と、河川や斜面での侵食が並行して進むことで、長い時間をかけてその姿を変えていきます。山地の発達過程を明らかにすることは、地形がどのように、どれほどの時間をかけて形成され、侵食や土砂生産が進むのかを理解するうえで重要です。近年では、地形変化を数理モデルで表し、現在の山地の形態情報から過去の隆起履歴や地形発達史を復元する研究が進められています。しかし、理論に基づく演繹的な計算が、実際の長期的な地形変化をどの程度まで正確に再現できているのかを、時系列的かつ定量的に検証することは十分に行われていませんでした。太田義将 理学研究科博士後期課程、松四雄騎 防災研究所教授、加藤茂弘 元・兵庫県立人と自然の博物館および蒜山地質年代学研究所、松崎浩之 東京大学総合研究博物館教授らによる研究チームは、堆積物中の石英に蓄積された宇宙線生成核種 ^{10}Be に着目し、兵庫県南東部の六甲山地と大阪湾を対象に、隆起山地の長期的な地形発達史の復元と検証を行いました。現在の六甲山地から得られたデータに基づいて、過去 150 万年間の隆起履歴と地形発達史を復元し、流域から排出される河川砂中の ^{10}Be 濃度の時間変化を計算して、これを大阪湾神戸沖で掘削された深層ボーリングコアの ^{10}Be 濃度プロファイルと比較したところ、両者はおおむね一致しました。これにより、モデル計算によって復元された隆起山地の地形発達史を、堆積物記録から時系列的かつ定量的に検証することができました。

本研究成果は、2026 年 6 月 12 日に、国際学術誌「*Earth and Planetary Science Letters*」にオンライン掲載されました。

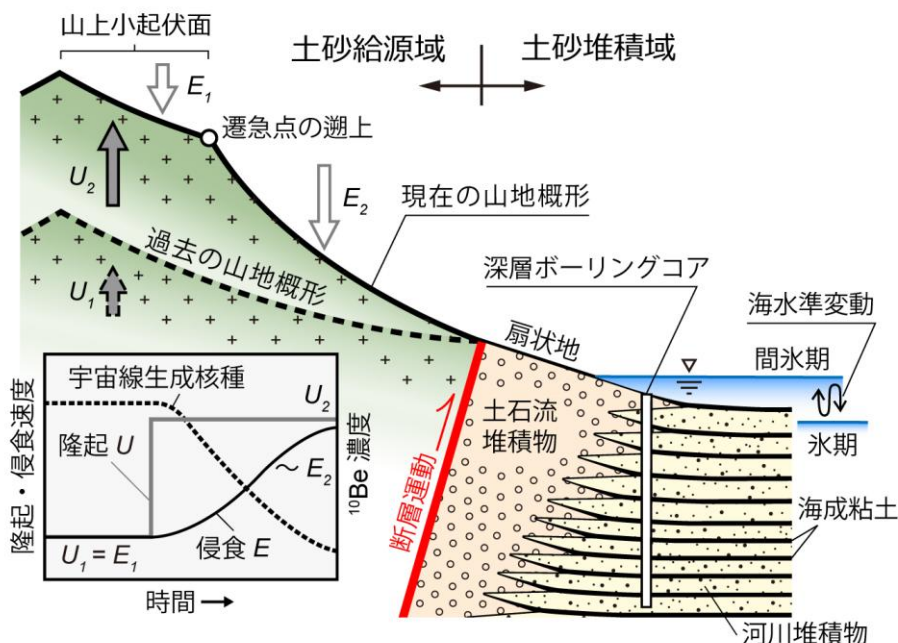


図 1. 研究概念図 (Ota et al. 2026 の内容に基づき作成)

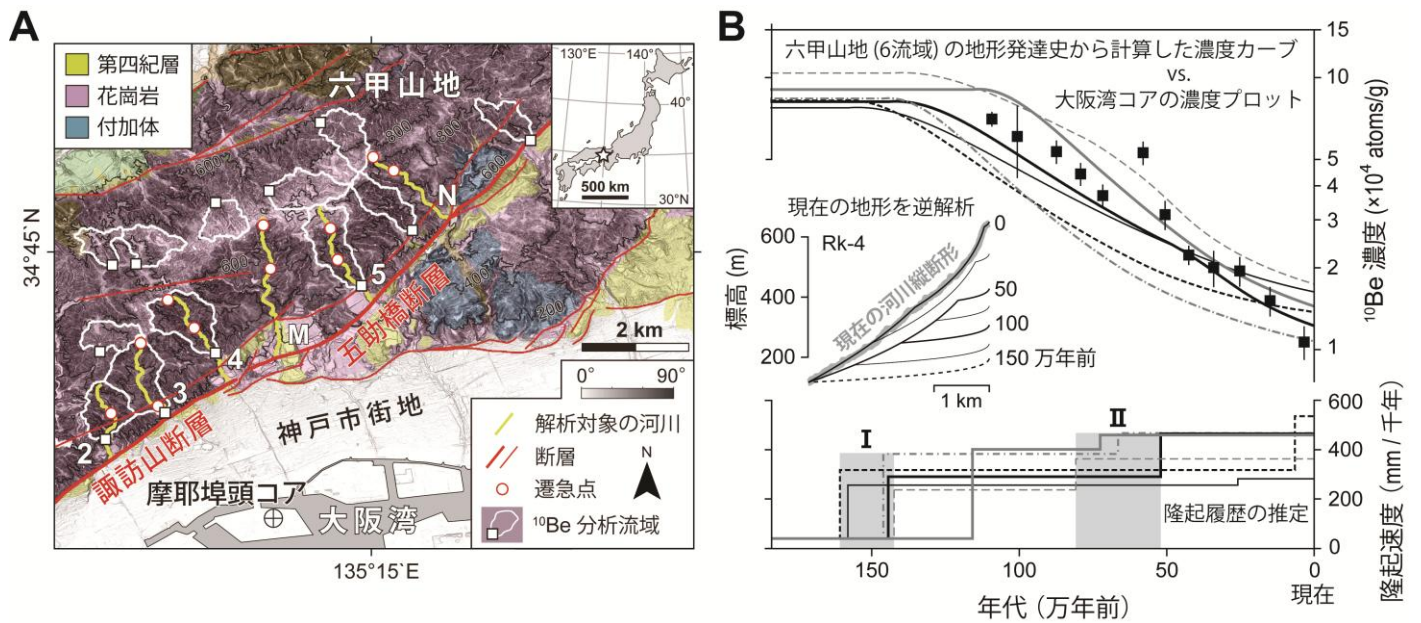


図 2. (A) 研究対象地域 (B) 六甲山地において過去 2 回の隆起速度の急変時期 (I : 約 160–140 万年前、II : 約 80–50 万年前) と地形発達史を復元しました。復元結果から計算した ^{10}Be 濃度の時系列変化は、大阪湾コアの ^{10}Be プロファイルとおおむね整合的でした。(Ota et al. 2026 の内容に基づき作成)

1. 背景

断層活動に伴って隆起する山地では、隆起速度の増加にตอบสนองして河川が深く谷を刻み、それに追従するように斜面が急峻化することで、山地全体の形が変化していきます。侵食によって山地斜面から除去された土砂は、下流の平野や海へと運搬され、堆積物として保存されます。隆起山地の地形がどれほどの時間をかけて変化するのかを明らかにすることは、過去の地形発達史の復元や、将来の地形変化、長期的な土砂生産量の予測において重要です。

近年では、地形変化を記述する数理地形発達モデルを用いて、山地の隆起履歴や地形進化の過程を復元する研究が盛んに進められています。一方で、復元された地形発達史を、堆積物記録を用いて時系列的かつ定量的に検証した事例は限られていました。これは、堆積物の蓄積が、土砂の運搬過程や堆積域の環境変化の影響も受けてしまうため、給源域での過去の地形変化と直接結びつけることが困難であったことによります。

2. 研究手法・成果

研究チームは、土砂の給源域と堆積域の双方で、堆積物中の石英に蓄積された宇宙線生成核種 ^{10}Be ¹⁾ を分析することで、隆起山地の長期的な地形発達史の復元と検証をおこないました (図 1)。

研究対象地は、兵庫県南東部の六甲山地と、その南側に近接する大阪湾神戸沖です (図 2A)。はじめに、現在の六甲山地において河床堆積物に含まれる ^{10}Be から流域の平均侵食速度を求め、地理情報システム (GIS: Geographic Information System) を用いて得られた地形量との関係を調べました。そして、山地地形の成立過程をモデルにより逆解析することで、過去 160 万間の隆起履歴と地形発達史を復元しました。

次に、大阪湾神戸沖の摩耶埠頭で採取された深層ボーリングコアを分析し、過去に六甲山地から供給された堆積物の ^{10}Be を調べました。その結果、 ^{10}Be 濃度は現在に向かって顕著に減少する傾向を示しました (図 2B)。復元された地形発達史から計算した ^{10}Be 濃度の時系列変化曲線を、大阪湾コアの ^{10}Be 記録

と比較したところ、両者はおおむね一致しました。この結果は、復元された六甲山地の隆起履歴と地形発達史が、大阪湾の堆積物記録によって定量的に支持されることを示しています。

3. 波及効果、今後の予定

本研究では、土砂給源域と堆積域の両方に対する宇宙線生成核種 ^{10}Be 分析を通じて、復元された隆起山地の地形発達史を、堆積物記録から検証する新たな枠組みを提示しました。地形発達モデルによる計算結果の確からしさを、地質アーカイブから得られる実証データに基づいてこれまでにない確度で評価した初めての例となっています。今後は、この枠組みを岩質や気候、隆起様式といった条件の異なる山地と盆地のペアに適用することで、堆積物中の宇宙線生成核種から隆起山地の地形発達プロセスをより広く解明していきます。

4. 研究者のコメント

堆積物から過去の侵食環境を読み解くには、山地で削られた土砂が、いつ、どこへ運ばれ、保存されたのかを特定できることが重要です。本研究では、六甲山地と大阪湾が近接しており、大阪湾側の継続的な沈降によって、六甲山地から運ばれた土砂が 100 万年以上にわたって厚く保存されていることに着目しました。また、地球規模の気候変動による海水準変動に伴って堆積した海成粘土層を、年代を決める手がかりとして利用できたことも、重要な鍵となりました。

5. 研究プロジェクトについて

本研究は、日本学術振興会 (JSPS) 科学研究費助成事業、特別研究員奨励費 (22KJ1942) および基盤研究 (B) (21H00628) の支援を受けて実施されました。

<用語解説>

1) 宇宙線生成核種 ^{10}Be :

宇宙線に由来する反応によって生成される半減期 138.7 万年の放射性同位体です。本研究では、地表付近で宇宙線の照射を受けた石英粒子の内部で生成される ^{10}Be を分析しました。石英中の ^{10}Be 濃度から、地表面が宇宙線に曝されていた時間や、地表面が削られる速さを推定することができます。

<論文タイトルと著者>

タイトル : Reconstructing long-term landscape evolution of an uplifting mountain using cosmogenic ^{10}Be in a sediment source–sink system

(土砂給源域と堆積域の宇宙線生成核種 ^{10}Be を用いた隆起山地における地形発達史の復元)

著者 : Yoshimasa Ota, Yuki Matsushi, Shigehiro Katoh, Hiroyuki Matsuzaki

(太田義将^a・松四雄騎^b・加藤茂弘^{c,d}・松崎浩之^e)

所属先 : ^a 京都大学理学研究科地球惑星科学専攻博士後期課程・^b 京都大学防災研究所・^c 兵庫県立人と自然の博物館、^d 蒜山地質年代学研究所、^e 東京大学総合研究博物館

掲載誌 : *Earth and Planetary Science Letters*

Share Link : <https://authors.elsevier.com/a/1nFvd,Ig4gZpF>

DOI : <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2026.120157>