

# $^{10}\text{Be}$ 年代測定を用いた断層活動性評価手法の高精度化に関する研究

松四雄騎\*<sup>1</sup>

## 1. 研究の目的

本研究では、地表近傍の岩石に含まれる石英中に生成・蓄積している宇宙線由来の同位体（宇宙線生成核種）である  $^{10}\text{Be}$  を用いて断層の活動性を評価する手法の高精度化を試みる。高精度化には二つの観点からアプローチする。まず、試料の採取・前処理・分析という一連の核種濃度値の取得ステップでの不確かさを軽減し、得られるデータの精度を向上させる。次に、地中での宇宙線生成核種の蓄積モデリングを高度化し、データ解析における精度を向上させる。これにより、 $^{10}\text{Be}$  を用いた断層の活動性評価を、より精緻に、また、より定量的に展開できるようにすることが本研究の目的である。

## 2. 研究の方法

第四系の上載層を変位させており、活断層であることが明らかな断層や、現在の応力場では活動していない地質断層であると判断されるもの、あるいは活動性が不明であるものなどを対象に、いくつかの断層露頭を選定し、試料の採集を行う。試料は、断層の上下盤での比較ができるよう、水平位置や鉛直位置を変えて、複数の深度-核種濃度プロファイルが得られるように採取する。

得られた試料に、酸による洗浄や重液による鉱物分離を施し、分析対象となる清浄な石英粒子を十分量抽出する。石英は秤量したのち Be 担体を添加して酸分解し、標的要素を単離する。酸化物に化学形を変化させ、金属粉末を混合して導電体として圧縮固化させた試料を、イオン源に装填し、加速器質量分析により同位体比を測定する。得られた同位体比と担体量および石英の質量から、核種濃度を算出する。

この一連のデータ取得作業において、各ステップでの手順を再検討し、不確かさの軽減を行った。特に試料採取時のクロスコンタミネーションの完全回避や、同重体干渉の程度に影響するホウ素の混入を低減させるための物理・化学処理手順の改良を検討した。また、 $^{10}\text{Be}$  の測定において、 $^{10}\text{B}$  による同重体干渉を考慮したスペクトル解析手法に関する検討を行った。

モデリングについては、地表面の削剥や埋没を考慮できる数理モデルを考案した。離水後に侵食あるいは埋積されつつ断層変位を受ける段丘などを想定し、地形を構成する岩盤中の宇宙線生成核種の濃度が、断層の上下盤でどのような時間変化を経て蓄積するかを計算できるようにした。このとき、削剥や堆積の速度変化がどの程度の不確かさをもたらすかについて検討した。

## 3. 得られた成果

露頭面から試料を採取する際、所定の深度において一定の幅で試料を掘り出し、回収率がほぼ 100% となるようなサンプリング器具を考案し、実用に供した。これにより、クロスコンタミネーションが全くなく、採取深度の不確かさが十分に低減できるサンプリング手順が確立した。

試料の前処理に関しては、試料中の石英の粒径と含有量に応じて、粉碎・整粒と磁選・比重による分離方法の最適化を模索した。また、試料の化学形調整過程においては、特に後半の焼成酸化と圧密固化の段階で、実験室雰囲気からのホウ素混入があることが推定され、その工程の処理時間を短くすることでコンタミネーションを低減できる可能性を見出すことができた。

分析に際しては  $^{10}\text{B}$  による同重体干渉の程度を定量化する指標を考案し、 $^{10}\text{Be}$  の測定におけるバックグラウンド値の変動を補正することができるようになった。ただし、実験環境の異なる条件で作成された試料に関しては、実験室固有の環境要因を踏まえた検討が、引き続き必要である。

---

\*京都大学・准教授

地形構成岩盤に含まれる石英中の $^{10}\text{Be}$ の蓄積については、核種濃度の時間変化を記述する基礎式を組み合わせ、多様な削剥と埋没の履歴変遷を表現できるようなカップリングモデルを考案した。地表が削剥されているとき、地形を構成する岩盤中の宇宙線生成核種濃度は、削剥速度が変化しないある期間内については、

$$C = C_0 e^{-\lambda t} + P_0 \sum P_i e^{-\frac{\rho_b x}{\Lambda_i}} \left[ \frac{1 - e^{-(D/\Lambda_i + \lambda)t}}{D/\Lambda_i + \lambda} \right] \quad (1)$$

と表現できる。ここで、 $C$ は核種濃度 (atoms  $\text{g}^{-1}$ )、 $C_0$ は継承核種濃度 (atoms  $\text{g}^{-1}$ )、 $\lambda$ は核種の壊変定数 ( $\text{yr}^{-1}$ )、 $t$ は経過時間 (yr)、 $P_0$ は地表での核種生成率 (atoms  $\text{g}^{-1} \text{yr}^{-1}$ )、 $P_i$ は複数の核種生成過程の寄与率、 $\Lambda_i$ は各々の核種生成過程に関与する宇宙線粒子の減衰長 ( $\text{g m}^{-2}$ )、 $\rho_b$ は地形を構成する物質の密度 ( $\text{g m}^{-3}$ )、 $x$ は任意時点の地表を零点にとった深さ (m)、 $D$ は地表面の削剥速度 ( $\text{g m}^{-2} \text{yr}^{-1}$ )である。また、地形が埋積されているとき、堆積物下の岩盤中の宇宙線生成核種濃度は、堆積速度が変化しないある期間内では、

$$C = C_0 e^{-\lambda t} + P_0 \sum P_i e^{-\frac{\rho_b x_0}{\Lambda_i}} \left[ \frac{e^{-St/\Lambda_i} - e^{-\lambda t}}{\lambda - S/\Lambda_i} \right] \quad (2)$$

と書くことができる。ここで、 $x_0$ は埋没してゆく元の地形表面を零点にとった深さ (m)、 $S$ は地形の埋積速度 ( $\text{g m}^{-2} \text{yr}^{-1}$ )である。

図1に、段丘が離水後に断層の変位を受けつつ、削剥(上盤側)あるいは埋積(下盤側)を受ける状況を想定し、上下盤のそれぞれで露出あるいは埋没した岩盤上面での石英中の $^{10}\text{Be}$ 濃度の時間変化を計算した例を示す。この図から、同時点であっても、削剥あるいは埋積の速度に依存して核種量が増加することがわかる。堆積物の放射性炭素年代測定や光ルミネッセンス年代測定により独立に時間情報が得られていれば、式(2)の堆積モデルの確からしさを確認することができ、また、式(1)の削剥モデルからは断層変位の上下成分に対応するであろう削剥速度の情報を得ることができる。これにより、断層活動度の評価が可能になるものと期待される。核種濃度の深度分布に対するモデルカーブの当てはめによる、より精緻な検証と定量評価が今後の課題となる。

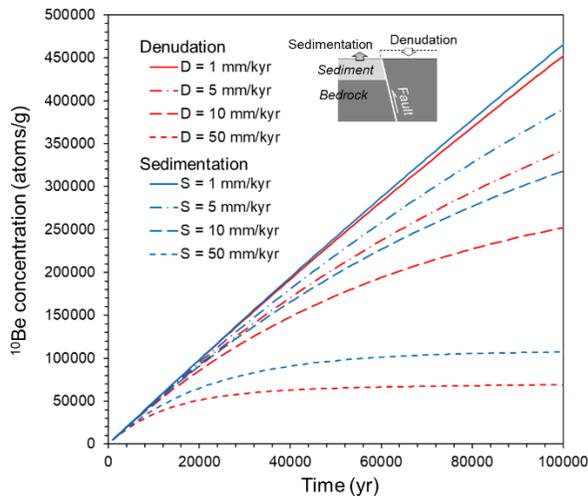


図-1 断層変位を受けつつ削剥によって露出あるいは埋積によって埋没した地形構成岩盤上面における石英中の宇宙線生成核種 $^{10}\text{Be}$ の蓄積曲線。パラメータとなっている削剥および埋積の速度は、適当な地形構成物質の密度値を与えて単位変換されている。