

^{10}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

2022 年度

松四雄騎*1

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}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}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。本年度は、核種濃度の深度分布が、断層の変位速度やそれに影響される断層上下盤での削剥速度や埋積速度といった種々の条件によってどのように変化するかに焦点を当て、核種の蓄積計算に基づいて地表面下における核種濃度の深度プロファイルを描くことのできるモデルを構築することで、複雑な地史をもつ場における核種濃度データを断層の活動性評価へとつなげる試みを行った。

2. 研究の方法

昨年度に引き続き、第四系の上載層を変位させている断層の観察できる河成段丘の露頭を対象に、断層の上下盤あるいは断層を横切る位置に鉛直測線を設定し、深度方向に複数の試料を採取して、加速器質量分析により、石英中の宇宙線生成核種である ^{10}Be の測定を行う。得られた核種濃度の深度プロファイルに対して、地中での宇宙線生成核種の蓄積モデルを適用し、データにモデルカーブをフィッティングすることで、離水前および離水以降の段丘面の削剥および埋積の履歴を復元する。このとき、断層の変位速度は、離水前の上下盤の削剥（下刻）速度の差異や、岩盤面の変位量と離水年代から定量的に推定可能となる。本年度は、河川堆積物に被覆された状態で離水した段丘面が、断層の上盤側でのみ一時的に削剥を受けたのち、風成物に埋積されるという、やや複雑ではあるが一般的に観察される状況を想定したモデリングについて検討した。

離水前の河床あるいは離水後に依然として削剥を受けている状況における岩盤に含まれる石英中の ^{10}Be 濃度は、削剥速度をパラメータとして、

$$C_{\text{pre}} = P_0 \sum \frac{P_i}{D/\Lambda_i + \lambda} e^{-\frac{\rho_s x_s + \rho_b x}{\Lambda_i}} \quad (1)$$

と表現できる。ここで、 C_{pre} は削剥環境における岩盤中の核種濃度 (atoms g^{-1})、 P_0 は地表での核種生成率 ($\text{atoms g}^{-1} \text{yr}^{-1}$)、 P_i は複数の核種生成過程の寄与率、 Λ_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 (g m^{-2})、 λ は核種の壊変定数 (yr^{-1})、 x_s は河床を覆う河川堆積物の平均的な厚み (m)、 x は岩盤表面を零点とした深さ (m)、 ρ_s は河川堆積物の密度 (g m^{-3})、 ρ_b は河床岩盤の密度 (g m^{-3})、 D は削剥速度 ($\text{g m}^{-2} \text{yr}^{-1}$) である。断層運動による変位を受けた河床岩盤が、削剥によって速やかに平滑化されるとき、断層の上下盤での削剥速度は、断層の上下変位速度に相当する分だけ異なるものとなるはずである。風成物によって段丘面が埋積され始めると、その遮蔽の効果を考慮して、岩盤中の核種濃度は、

*京都大学・教授

$$C_{\text{post}} = C_{\text{pre}}e^{-\lambda t} + P_0 \sum P_i e^{-\frac{\rho_s x_d + \rho_b x}{\Lambda_i}} \left[\frac{e^{-St/\Lambda_i} - e^{-\lambda t}}{\lambda - S/\Lambda_i} \right] \quad (2)$$

と書くことができる。ここで、 x_d は埋積開始時に岩盤を覆う河川堆積物の厚み (m)、 S は地形の埋積速度 ($\text{g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$)、 t は埋積開始以降の経過時間 (yr) である。これら2つの式を組み合わせることで、河川作用による河床岩盤の削剥、離水して段丘化した以降の上載河川堆積物の削剥および風成層の形成という3つのステップを経た核種濃度の深度プロファイルの発達をモデル化することができる。

3. 得られた成果

図1に、河成段丘における岩盤中の核種濃度の深度プロファイルの計算例を示す。ここでは、断層の正味上下変位速度が 125 mm yr^{-1} で、2万年前に離水したのち、断層変位を継続的に受けつつ、上盤側で相対的にやや速い削剥および遅い埋没を経験した場合を想定し、断層を鉛直に横切る測線での石英中の ^{10}Be 濃度の深度プロファイルを計算した。計算結果からは、核種濃度が断層を跨ぐ深度で不連続となることがわかる。この不連続性は、離水以前に既に成立しているため、仮に上載層が無かったり、離水後に変位を受けていなかったりする場合にも現れ、断層の変位速度が大きいほど、その不連続程度は大きくなる。これにより、上載層の有無やその変位の有無に関わらず、核種濃度の深度分布を実測し、そのデータにモデルカーブをフィッティングさせることで、断層の上下変位速度、すなわち断層の活動度を定量的に評価できる手法を示すことができた。

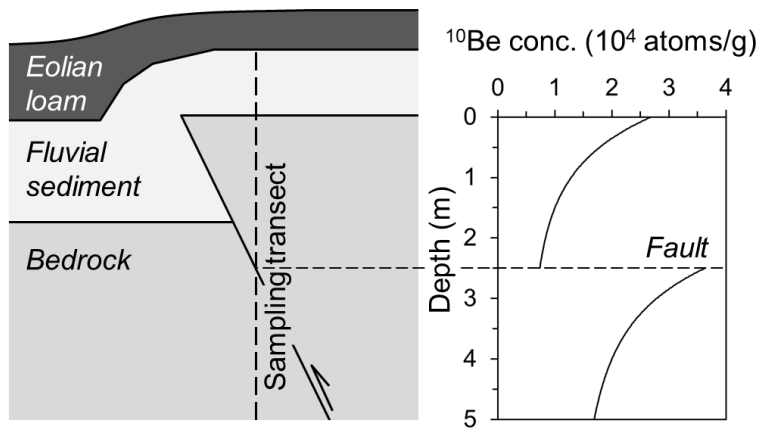


図-1 断層変位を受けつつ削剥されていた河成面が離水し、風成物によって埋積される過程でさらに変位が累積した場合の模式的な地下構造と、その際に岩盤中に蓄積する宇宙線生成核種濃度の計算例。