

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 6 日現在

機関番号：12102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24700944

研究課題名(和文) 宇宙線生成核種年代測定を用いた日本アルプスの山体変形開始時期の特定

研究課題名(英文) Onset of gravitational slope deformation evaluated by terrestrial cosmogenic nuclides

研究代表者

西井 稜子 (Nishii, Ryoko)

筑波大学・生命環境系・研究員

研究者番号：00596116

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,700,000円、(間接経費) 510,000円

研究成果の概要(和文)：深層崩壊の発生に至るまでの長期的な斜面変形プロセスを明らかにするには、重力性変形地形の形成開始時期を明らかにする必要がある。そこで、本研究では、宇宙線生成核種年代測定法を用いて、重力性変形地形の形成開始時期とその変形過程を検討した。その結果、対象とした重力性変形地形群は完新世以降に形成されたことが推定された。また、同一の重力性変形地形から複数の年代試料を採取することで、斜面の変形過程を復元できる可能性が示された。

研究成果の概要(英文)：To understand long-term process of slope deformation prior to deep-seated landslides, it is essential to evaluate the onset of gravitational slope deformation (sackung features). This study evaluated the onset and deformation processes of sackung features using terrestrial cosmogenic nuclide dating. The results indicated that the measured scarps were formed in Holocene. In addition, rock samples from different heights of a scarp give us an insight into deformation process of the scarp.

研究分野：地形学

科研費の分科・細目：地理学・地理学

キーワード：宇宙線生成核種年代測定 重力性変形 日本アルプス

### 1. 研究開始当初の背景

深層崩壊はすべり面が深いため、ひとたび発生すると大量の土砂を生産し、下流域に甚大な被害をもたらす山地災害の一つである。したがって、崩壊に先立ち山体変形が生じている場所（崩壊の可能性が高い斜面）の形成プロセスを解明することは、深層崩壊の発生場所を予測する上で重要な課題である。

大起伏山地では、重力性変形が広く生じており、その結果として、稜線付近の斜面には岩盤の変形に伴い形成された重力性変形地形（線状凹地）と呼ばれる溝状の特異な地形が現れる。重力性変形地形は、岩盤変形に伴う斜面内部の亀裂増加を示唆し、さらに現実に発生した崩壊の滑落崖となったケースもあるため、深層崩壊の前兆地形として認識されている。しかし、崩壊発生に至るまでの斜面変形は $10^3 \sim 10^4$ 年の長期に及ぶと考えられており、山体の変形開始時期、および、その形成プロセス、に関する詳細な知見は得られていない。その原因の1つとして、これまで山体の変形時期を特定するための有効な研究手法が確立されていなかったことが挙げられる。これまで、重力性変形地形（線状凹地）の形成時期推定は、凹地に堆積した火山灰の分析や有機物の $^{14}\text{C}$ 年代測定によって行われてきたが、年代測定に用いられた試料の堆積時期と線状凹地の形成開始時期が必ずしも一致しているとは限らず、得られた年代値は大きな誤差を含む可能性があった。また、低温環境下の山岳地では有機物の生成が遅いため、 $^{14}\text{C}$ 年代測定の試料を得られる場所は一部に限られていた。一方、宇宙線生成核種年代測定は、宇宙線の照射により岩石中に生成される放射性核種（例えば $^{10}\text{Be}$ 、 $^{26}\text{Al}$ ）の蓄積量を計測し、その岩石の地表露出時間を算出する方法である。岩盤変形に伴い形成される線状凹地の側壁は、変形直後から宇宙線照射によって放射性核種が蓄積され始めるため、側壁を測定対象にすることで形成年代値を得ることができる可能性がある。

2000年以降、ヨーロッパを中心に宇宙線生成核種年代測定法を用いて、山体変形の開始時期を特定する研究が始まっており、とくに氷河後退に伴い山体が応力から開放されることが変形開始のトリガーかどうか注目が集まっている。一方、日本国内において、宇宙線生成核種年代測定による重力性変形地形の形成時期の特定は、申請者が着手した例を除いて、これまで行われていない。そのため、日本アルプスの稜線上に多数認められる線状凹地の形成時期（山体の変形開始時期）は未だ不明である。今後、宇宙線生成核種年代測定法を日本アルプスにおける山体変形の開始時期特定のツールとして適用することで、氷河の影響が少ない「湿潤変動帯における山体変形開始時期の解明」という研究課題に取り組むことが可能と考えられる。

### 2. 研究の目的

本研究では、宇宙線生成核種年代測定法を用いて、重力性変形地形の形成開始時期を特定することを目的とする。また、後述（3. 研究の方法）するように、年代試料の採取地点を工夫することで、重力性変形地形の形成プロセス（一回の運動 or 断続的な運動で形成されたのか）の復元、および、重力性変形が斜面上部から下部にかけてどのように伝播していくか、という点についても検討する。さらに、重力性変形地形の形成時間がそれらの地表面形態（崖高）に反映されているかを比較検討する。最終的に、複数の重力性変形地形の形成開始時期のデータをもとに、それらの形成開始時期に影響を及ぼすであろう因子（気候変動や地震活動など）との対応関係についても比較検討する。

### 3. 研究の方法

#### (1) 年代測定対象の重力性変形地形の選定

本研究では、宇宙線生成核種年代測定が適用可能な花崗岩類からなり、さらに重力性変形地形の発達が顕著な飛騨山脈中央部を対象地域とした。

年代測定を実施する重力性変形地形の選定条件として、重力性変形地形が形成された時の破断面（露出面）の保存状態がよいものを対象とした。具体的には、破断面の連続性が上下・水平方向によく、さらに、破断面の表面が著しく風化作用をうけていないと判断される場所を選定した。年代測定は、重力性変形地形の形成に伴い露出した崖の側壁の岩石中に生成される放射性核種 $^{10}\text{Be}$ （半減期 $138 \times 10^4 \text{ yr}$ ）の濃度を測定することで、重力性変形地形の露出時間を算出した。露出時間の算出に必要な採取地点の情報（採取地点の緯度、標高、傾斜、採取深度）については、野外調査時に収集した。

#### (2) 年代試料の採取・処理と解析方法

試料の採取は、各重力性変形地形の側壁から少なくとも鉛直方向に上部と下部の2地点から採取した。現地で採取した岩石試料は、粉碎・篩過整粒することで $0.25 \sim 1 \text{ mm}$ 粒径の画分を選別した。この試料から有機物やMeteoritic $^{10}\text{Be}$ を除去するための塩酸・フッ酸処理を行い、その後、キャリアを添加し、陰・陽イオン交換を行った。最終的には東京大学タンデム加速研究施設にて $^{10}\text{Be}$ を測定した。そして、得られた核種量データと採取地点の核種生成率、 $^{10}\text{Be}$ の壊変定数から露出時間を算出した。なお、露出時間の算出条件は、採取地点の露出時に核種量0、積雪の被覆効果や原地表面の傾斜効果は未考慮と設定した。

崖の形成（露出）は、必ず崖上部から下部に向かって進行するため、上部採取地点から算出される露出時間を崖の形成開始時期とみなした。また、次の3つの単純な形成プロセスモデル（1回のイベント、複数回のイベント、等速運動、の3タイプ）を想定したモデル（計算）値と測定値（核種濃度）とを比較し、想定モデルの妥当性を検討した。具体

的には、上部・下部採取地点の核種濃度が同一である場合、1回のイベントで崖（重力性変形地形）が形成されたと推定した。一方、下部に比べ、上部採取地点の核種濃度が高い場合は、等速運動で形成された時の核種量の計算値と実測値が一致するかを確認した。計算値と実測値が不一致だった場合、複数回のイベントで崖が露出したと判断した。

#### 4. 研究成果

##### (1) 重力性変形地形の形成時期の特定

対象とした5つの重力性変形地形群の<sup>10</sup>Be核種量(atoms/g)は $10^3 \sim 10^5$ オーダーを示した。そして、崖の上部と下部採取地点の核種量は、同等もしくは上部採取地点が下部に比べ大きい値を示した。露出時間の計算結果は、5つの重力性変形地形はいずれも完新世以降の形成開始を示し、最も古いもので約9千年前、最新で約1千年前に形成されたと推定された。すなわち、対象とした5つの重力性変形地形は、狭い範囲(約6kmの稜線上)に分布しているにもかかわらず、その形成開始時期には最大8千年というばらつきが認められ、形成開始が一時期に集中するという明瞭な傾向は示さなかった。したがって、斜面の不安定化(変形)は狭い範囲であっても同時に始まるわけではないことが示唆された。

また、重力性変形地形の形成時間とその成長量(崖の比高)を比較したところ、必ずしも形成開始時期が古いほど、崖の比高が大きいという傾向は認められなかった。

##### (2) 斜面変形プロセスの復元

上部・下部採取地点の核種濃度を比較し、前述の3つの単純な形成プロセスモデル(1回のイベント、複数回のイベント、等速運動、の3タイプ)を想定し、それらのモデルから算出された計算値と測定値(核種濃度)とを比較検討した。その結果、1つの重力性変形地形は、崖の上部と下部採取地点の核種濃度がほぼ同等の値を示し、1回のイベントで形成された可能性が高いことが明らかになった。一方、残りの重力性変形地形では、下部に比べ上部採取地点の核種濃度が明らかに高い値を示し、複数回のイベントによって形成されたことが推定された。

斜面の上部から下部にむかって3つの重力性変形地形が分布している場所では、それら3つの重力性変形地形の形成時期は、上部から下部にむかって3千年、1千年、1千年という値を示した。すなわち、岩盤変形が斜面上部から始まり、その後、変形が斜面下方へ向かって進行していった可能性が示唆された。深層崩壊の先駆的斜面変形の進行は、外的誘因(地震や降雨イベント)に加え、斜面変形が更なる斜面変形を引き起こすというフィードバック効果によっても、促進されている可能性が考えられた。

##### (3) 斜面変形に影響を及ぼす因子との対応

#### 関係

重力性変形地形の形成開始時期に影響を及ぼしたであろう因子(降水量と地震活動)との対応関係について検討した。過去の降水量に関する先行研究では、最終氷期から完新世の移行期に、降水量が大幅に増加したことが指摘されている。したがって、本調査地の重力性変形の開始には、降水量の増加に伴う急激な河川の下刻や下方斜面の侵食が影響を及ぼしている可能性が高い。一方、調査地周辺の過去の地震活動については、近傍の糸魚川-静岡構造線活断層系(北部)の活動履歴を参照し、重力性変形の開始時期との比較をおこなった。どちらも年代値の誤差が大きいものの、最も古い形成時期を示す重力性変形地形を除く4つの重力性変形地形の形成開始時期と地震活動の時期は、ほぼ重なることが明らかになった。一方、最も古い重力性変形地形の形成時期と地震活動との対応関係については、地震活動のデータがないため、現時点では不明である。

本研究によって、宇宙線生成核種年代測定が重力性変形地形の形成時期の特定や長期的な斜面変形プロセスを復元する上で有力な年代ツールになりうることを示された。本研究において年代測定対象となった重力性変形地形群の数は決して多くはない。しかしながら、崖が形成されてから現在に至るまでの長期的な形成プロセスを復元できたこと、さらに、崖の成長に影響を及ぼす因子(地震活動や降水量)について絶対年代をもとに検討できるようになったことは、特筆すべき成果の一つである。

今後、国内各地に分布している重力性変形地形の形成時期とその形成プロセスの年代データを蓄積していくことで、斜面の不安定開始から崩壊に至るまでの時間を推定できる可能性がある。また、長期的な斜面の不安定化をより理解していくには、重力性変形地形の形成時期の特定だけでなく、不安定化を促す誘因、とくに河川の下刻速度を定量的に評価していくことが重要と考えられる。

本研究では、重力性変形地形の崖高と形成時間との間には明瞭な比例関係は認められなかったが、今後、重力性変形地形の形成開始時期の特定数を蓄積していくことで、重力性変形地形の地表面形態の具体的な指標性を明らかにできる可能性がある。

#### 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)

[学会発表](計6件)

(1) 西井稜子, 松四雄騎, 松崎浩之, 重力性変形地形の形成時期とその発生誘因についての検討, 日本地理学会 2014 年春季学術大会, 2014 年 3 月 27 日~28 日, 東京

(2) RYOKO Nishii, YUKI MATSUSHI, HIROYUKI MATSUZAKI, Terrestrial

cosmogenic nuclides dating of a sackung on a cirque in the Japanese Alps. The 8th International Conference on Geomorphology of the International Association of Geomorphologists, 2013 年 8 月 30 日, フランス

(3) 西井稜子, 松四雄騎, 松崎浩之, 高瀬川濁沢上流部における重力性変形の進行プロセス - 宇宙線生成核種年代測定による定量的評価 -, 平成 25 年度砂防学会研究発表会, 2013 年 5 月 30 日, 静岡

(4) 西井稜子, 松四雄騎, 松崎浩之, 宇宙線生成核種を用いた烏帽子岳周辺における重力性変形地形の発達プロセスの復元, 日本地球惑星科学連合 2013 年度大会, 2013 年 5 月 24 日, 千葉

(5) 西井稜子, 松四雄騎, 松崎浩之, 宇宙線生成核種を用いた重力性変形地形の発達モデルの構築, 日本地理学会 2013 年春季学術大会, 2013 年 3 月 29 日 ~ 30 日, 埼玉

(6) 西井稜子, 松四雄騎, 松崎浩之, 宇宙線生成核種年代測定を用いた重力性変形地形の形成時期の特定: 北アルプス野口五郎岳の事例, 日本地形学連合 2012 年秋季大会, 2012 年 9 月 22 日, 大阪

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

西井 稜子 (NISHII RYOKO)

筑波大学・生命環境系・研究員

研究者番号: 00596116