

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	横山 修
論文題目	高角断層を伴う層状岩の曲げトッピングによる山向き小崖の形成に関する研究		

(論文内容の要旨)

岩盤からなる山体も長期的には重力によって変形して特徴的な地形を形成する。そして、その典型的なものが、山側に傾斜して横方向に連続する小崖—山向き小崖—である。山向き小崖は、層状岩盤が斜面下方に向かって折れ曲がる曲げトッピングに伴ってしばしば観察されるが、その発現機構は明らかになっていなかった。その最も大きな理由は、山向き小崖の内部構造が直接観察されたことがほとんどなかったためである。

本研究では、研究地域として、曲げトッピングを起こしやすい層状岩盤の分布域で、山向き小崖の発達する次の2地域を選定した。1つは瀬戸川帯のスレート分布地で静岡県安倍川流域の山伏地域、もう1つは隣接する大井川上流の赤崩地域で、ここには四万十主帯の砂岩・泥岩が分布する。山伏地域は、露頭の規模は小さいものの、地質構造の詳細について近接して観察することが可能である。一方、赤崩地域では、山向き小崖下方の地層が崩壊地内に広く露出しており、露頭に近寄っての観察や計測はできないものの、崩壊地縁辺からの遠望や無人航空機 (UAV) によって広範囲に構造を観察することが可能である。相互を補完的な地域として、詳細な地質調査と1mの数値地形モデル (DEM) を用いた地形解析を行った。

山伏地域では、山側に高角度で傾斜するスレート劈開とともに、谷側に高角度で傾斜する断層が複数発達しており、スレート劈開の曲げトッピングに伴って、断層も谷方向に曲がっていることが認められ、また、折れ曲がった断層破砕帯の延長上に山向き小崖が発達していることが見いだされた。一方、断層破砕帯のないスレートの曲げトッピングの場合、山向き小崖が発達していなかった。赤崩地域でも、やはり、山側に急傾斜する層理面と谷側に急傾斜する断層が発達し、層理面の谷側への折れ曲がりによって断層も谷側に折れ曲がっていること、そして、山向き小崖の下の斜面内部延長部に断層破砕帯があることが明確に認められた。つまり、層理面が谷側に倒れ掛かり、それに伴って断層破砕帯に沿う岩盤の大きなずれが生じ、それによって山向き小崖が形成されたものであることが明らかになった。

以上の2地域での調査結果とモデル解析によって、山向き小崖は、劈開や層理面などの面構造とともに、高角の断層が存在する場合に発達することが明らかになった。そして、層状の岩盤が高角の断層破砕帯を持つ場合、曲げトッピングは、断面的にみて断層およびその断層と曲げトッピングのヒンジ面との交線を通る面構造、および地表面に囲まれた三角形領域 (ウェッジ) の斜面下方への回転を伴い、これが山向き小崖の形成原因となることがわかった。ウェッジの斜面下方への回転に伴って、山向き小崖が成長する。山向き小崖の高さは、面構造および断層の姿勢に支配され、面構造が山側に傾斜し、断層が谷側に傾斜する場合に最も高くなる。断層が山側に傾斜する場合には山向き小崖は目立たなくなる。断層破砕帯がない場合は、曲げトッピングは斜面の山向き小崖を欠き、斜面全体が膨らんだ形状に変形する。曲げトッピングが山頂部にまで及ぶ場合には、破砕帯の有無にかかわらず、一般的に山上凹地が形成される。曲げトッピングを起こした岩盤は開口割れ目に富むが、断層破砕帯とヒンジ面の間には、それらが低透水層として機能する場合に地下水が貯留され、これは豪雨や地震時に曲げトッピングから崩壊に移り変わる素因となり得る。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

岩盤からなる山体斜面も、長期的には重力によって変形すること、そして、それに伴って特徴的な地形が形成されることが知られてきている。本研究の対象とされた山向き小崖と線状凹地は、その典型的なものであり、層状岩の斜面下方への倒れ掛かり(曲げトッピング)によって形成されると考えられてきた。しかしながら、その内部構造はほとんど詳細に研究されることがなかった。

申請者は、曲げトッピングに伴って、どのようにして山向き小崖が発現するのか、山向き小崖の発達する2つの研究地域を設定して、詳細に調査した。1つは最も曲げトッピングを生じやすい岩石の一つであるスレート地域で、山伏地域、もう一つは、砂岩泥岩互層を主体とする赤崩地域である。前者では、比較的露頭状況が良く、曲げトッピングのヒンジ部分等に近づいて直接詳細な観察が可能であった。後者では、大規模な崩壊地があり、そこには直接アクセスできないものの、無人航空機や双眼鏡を用いて広範な露頭観察が可能であった。本研究は、両者を補完的な研究地域として調査し、山向き小崖の実態に迫ったものである。

申請者は、対象とした2地域において、1mの数値地形モデルを活用し、詳細な地形解析を行い、山向き小崖や線状凹地などの地形の判読を行った。そして、その結果を現地で検証し、地質構造との対応を吟味した。山伏地域では、スレート劈開の曲げトッピングに伴って、スレートを切断している高角断層も倒れかかっていることを認め、さらに、高角断層の延長上に山向き小崖が形成されていることを見出した。また、断層破碎帯が伴わない場合には、曲げトッピングによって山向き小崖が形成されていないことを明らかにした。赤崩地域では、山体内部の地層が広く露出している崩壊地内部をUAV、空中写真などを駆使して詳細に観察し、山向き小崖の斜面が、下方に向けて山体内部の断層破碎帯に連続していることを実際に確認し、山向き小崖が地層の曲げトッピングに伴って断層沿いのせん断が生じた結果であることを明確にした。申請者は、調査した2地域において、山向き小崖に伴って湧水が存在することを認め、特に赤崩地域では、山向き小崖の下の線状凹地で湧水を認め、さらに、山向き小崖の崩壊地内部への延長部の破碎帯沿いに湧水があることを確認し、断層破碎帯が遮水ゾーンになり、その山側の岩盤内に地下水が貯留されていることを明らかにした。そして、この地下水の存在が、豪雨や地震時に崩壊の原因になると推定した。

申請者は、さらに山向き小崖の発達過程を幾何学的に検討し、それが、断面的にみて断層、断層とヒンジ面を通る面構造、そして地表面からなる角形状領域(ウェッジ)の回転によって成長することを明らかにし、それが実際の山向き小崖と周囲の地形と整合的であることを確認した。そして、面構造が山側に傾斜し、断層が谷側に傾斜する場合に、山向き小崖が最も高くなることを見出した。

従来、曲げトッピングの研究は、数値解析やモデル実験によって数多く研究されてきた。しかしながら、実際の自然現象としての曲げトッピングが詳細に観察・記載されたことは少なく、まして、曲げトッピングと山向き小崖との関係を地質断面的にとらえて詳細に観察した事例はなかった。

本研究は、曲げトッピングに伴う山向き小崖の成因を初めて実証的に明らかにし、また、山向き小崖が地下の水理地質構造推定の糸口ともなることを示したものであり、高く評価される。よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、令和2年1月14日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降

学識確認のための試問の結果

氏 名 横山 修

(試問の科目・方法・判定)

(科 目) (方 法) (判 定) (備 考)

専攻学術

環境地圏科学についての専門知識	口頭	合格
斜面移動の事象及び関連機構について	筆答	合格

(試問の結果の要旨)

上記のとおり、専攻学術に関する試問の結果、本学大学院 博士課程を修了した者と同等以上の学力を有することを確認した。

令和 2 年 1 月 14 日

試問担当者氏名

氏 名：千木良雅弘

氏 名：釜井俊孝

氏 名：山崎新太郎

氏 名：岩田知孝

氏 名：松四雄騎