

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 8 日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26400487

研究課題名(和文) 深層崩壊の前兆現象としての山体重力変形地形の発達過程の解明

研究課題名(英文) Development of gravitational slope deformation as precursor of deep-seated landslide

研究代表者

小嶋 智 (KOJIMA, Satoru)

岐阜大学・工学部・教授

研究者番号：20170243

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：山体斜面が重力の影響により変形した結果形成される二重山稜、山向小崖などの地形(以下DGSDと略)は、深層崩壊の前兆現象であると考えられている。これらの地形の形成過程を明らかにする目的で、北アルプス、美濃山地、紀伊半島などで地形地質調査を行った。その結果、DGSDの中には過去10万年近く安定して存在しているものがあること、現在見られるDGSDの多くは最終氷期終了後の温暖湿潤気候下に形成されたものであることなどがわかった。したがって、全てのDGSDが深層崩壊の前兆現象であるとは言えないことが明らかとなった。また、代表的なDGSDに伴われる凹地の埋積堆積物には様々な環境変動記録が残されている。

研究成果の概要(英文)：Double ridges and uphill-facing scarps are the results of deep-seated gravitational slope deformation (DGSD), and are considered to be precursors of deep-seated landslides. Geological and geomorphological surveys in Northern Alps, Mino Mountains and Kii Peninsula were performed in order to clarify the developments of these landforms. As the results of surveys some of the DGSDs are stable during the last 100 thousand years and most of the DGSDs were formed in the warm and wet climate conditions just after the last glacial maximum. These lines of evidence indicate not all the DGSDs are the precursors of deep-seated landslides. Moreover the sediments accumulated in the linear depressions between the double ridges, one of the representative DGSDs, have recorded several kinds of signals of environmental changes.

研究分野：地質学

キーワード：地すべり 山体重力変形地形 北アルプス 越美山系 紀伊半島

1. 研究開始当初の背景

(1) かつて周氷河地形と考えられていた二重山稜、山向小崖などの地形は、山体が重力の影響で変形した結果形成される山体重力変形地形 (DGSD) であることが明らかになってきた。

(2) 航空レーザ測量技術の発展により、日本の多くの地域で詳細な地形図が利用できるようになり、2.5 万分の 1 地形図には表現されないような小規模な DGSD が日本の山地に広く分布すること、これまでアクセスが困難であった地域にも多くの DGSD が認められることが明らかとなった。

(3) 2011 年の紀伊半島豪雨災害の際には多くの深層崩壊が発生したが、Chigira et al. (2013) は、レーザ測量により作成された崩壊前後の詳細地形図を比較することにより、深層崩壊の前兆現象として DGSD が形成されていることを明らかにした。

2. 研究の目的

(1) 代表的な DGSD である二重山稜地形について、複数の地点でその発達過程を明らかにすることを本研究の目的とした。具体的には、以下の項目を明らかにすることを目的とした。

対象とする DGSD がいつ形成されたのか。

DGSD は形成後も変動を続けているのか、あるいは安定して存続しているのか。

(2) 異なる地質・地形・環境条件のもとで形成された DGSD の発達過程を明らかにすることにより、DGSD の形成モデルを作成し、地すべりの周期性 (図 1) を解明し、崩壊予測に役立てることを最終目的とした。

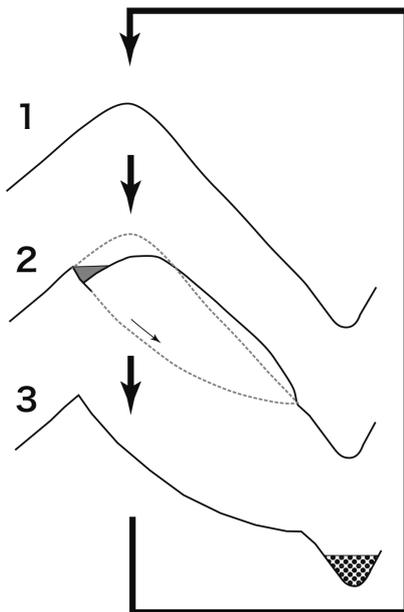


図 1. 山体の不安定化と DGSD の形成、地すべりの発生サイクルを示す模式図。

3. 研究の方法

(1) 調査対象地域として、地質条件が同じ (ジュラ紀付加体) で標高の異なる上高地周辺 (標高約 2,000m) と越美山系 (標高約 1,000m) を取り上げた。また、地質条件が異なり (新第三紀熊野層群)、豪雨地域・海溝型地震多発地域である紀伊半島のツエノ峰地域を取り上げた。さらに南アルプスでも予察的な調査を行うこととした。

(2) 研究対象地域の DEM (Digital Elevation Model) を入手し、GIS (Geographical Information System) ソフトウェアを用いて地形解析を行う。DGSD の分布、規模、地質との関連について考察する。

(3) 研究対象地域の野外調査を行い、DGSD の地形・地質の特徴を把握する。二重山稜、山向小崖がつくる線状凹地を埋積する泥質堆積物をハンドオーガボーリングにより掘削し、その特徴から堆積環境を明らかにする。

(4) 堆積物中に含まれる木片等の放射性炭素同位体年代と広域火山灰の解析により、DGSD の形成年代を明らかにするとともに、堆積物に記録された環境変動に年代目盛りを入れる。

(5) DGSD 周辺地域について電気比抵抗探査、表面波探査を行い、DGSD の地下構造を明らかにするとともに、二重山稜地形等の形成メカニズムを考察する。

4. 研究成果

DGSD には、深層崩壊の前兆現象以外に長期に渡って安定して存続するものがあることが明らかとなった。今後は両者を識別する方法の開発が重要である。現時点での作業仮説は、稜線付近に分布する二重山稜は長期安定型であり、山体斜面の遷急線の直上に分布する山向小崖は深層崩壊の前兆現象であると考えている。しかし、この識別方法が全ての DGSD に適用可能なのか、両者の中間的なものはどちらに属するのかなどは分かっていない。

稜線付近に分布する二重山稜地形の多くは、地質や標高には関係なく約 10,000 年前に形成されたものであることが明らかとなった。このことは、最終氷期後の湿潤温暖気候のもとで山体が不安定化し、多くの DGSD が形成され、その大部分 (?) は崩壊してしまっただが、一部は安定化し現在まで存続しているものと推定される。しかし、この点についても今後の検討が必要である。

以下に対象とした研究地域で得られた個別の成果を述べる。

(1) 越美山系冠山地域

冠山周辺地域には、美濃帯のジュラ紀付加

体に属する、厚さ数十～数百 m のチャート・砂岩・泥岩が繰り返し分布し、一部に礫岩の薄層を伴う。地層の走向は NW-SE 方向で、NE または SW 方向に傾斜する。

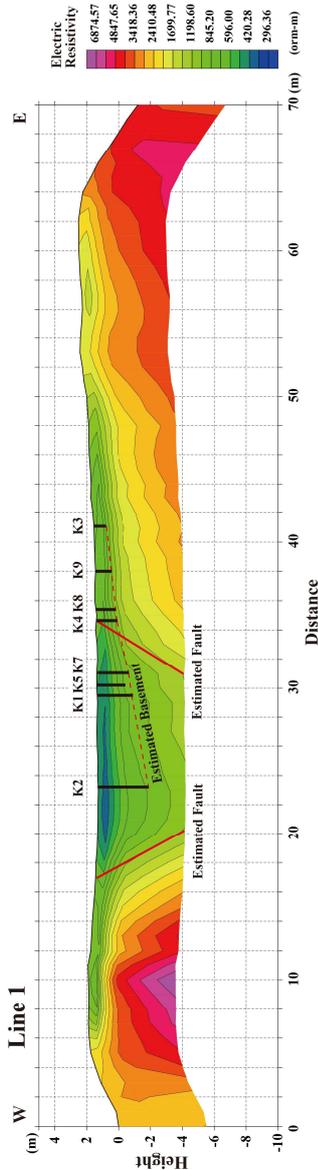


図 2 . 冠山地域の二重山稜間の凹地の地質構造

冠山の北西約 1km の、ほぼ南北に伸びる砂岩からなる稜線上には、二重山稜地形が認められ、山稜間の凹地を埋積した堆積物をハンドオーガーボーリングにより掘削・解析した。堆積物は西ほど厚く、凹地東西断面ではくさび形を呈する(図 2)。このことは、稜線が東側に円弧回転しながら変形していることを示唆する。堆積物の厚さは最大で 2.8m 以上あり、下位から (a) 橙色礫質粘土、(b) 灰色粘土、(c) 有機質腐植土層からなる。(a) の下位には、基盤岩があるものと思われるが、(a) をボーリングするのは難しく確認していない。コア試料に挟まれるアカホヤ火山灰、木片の AMS ¹⁴C 年代、およびそれらの年代値から推定される平均堆積速度などから、本凹

地は 11,000 年前頃に形成され、その後、ほぼ一定の速度で埋積されたものであることが明らかとなった(図 2)。

電気探査は、電極 12 本×2 チャンネルで行い、測線を延長する場合はロールアロング方式を用いた。データの取得には、小型比抵抗映像法探査装置 SYSCAL キッド・スイッチ 24 (IRIS instruments 社製) を用い、電極配置はウェンナ法を採用した。探査装置の最大出力は 25W, 200V, 500mA, 比抵抗レンジは 0.01 ~ 1,000k Ω-m である。精度 3% 以下になるまで 3~5 回の重合処理を行った。探査深度は、電極間隔×7(m) である。解析ソフトは、ElecImager/2D (応用地質社製) を用いた。

電気探査の結果、凹地埋積堆積物と基盤岩の比抵抗の差は大きく、両者の境界が明瞭に識別できることがわかった(図 2)。また、凹地の東側では、ハンドオーガー掘削により明らかとなった (a) 層の直下に基盤と考えられる高比抵抗層があるのに対し、凹地の西側では高比抵抗部はより深いところに位置する。これが何を意味するのかは明らかではないが、凹地西部では基盤が落ち込んでいて凹地埋積堆積物が厚くなっている可能性や、基盤岩上部が破碎され含水量が多くなっている可能性などが考えられる。

(2) 北アルプス徳本峠地域

徳本峠は蝶ヶ岳と霞沢岳を結ぶ稜線上に位置し、標高は約 2,140m である。調査地域は徳本峠から北東にのびる稜線およびその両側の斜面である。この山域は、後述の地質構造の影響を受け、主稜線の北西側が比較的緩やかで南東側が急峻となっている。主稜線の標高は 2,140-2,250m で、起伏の少ない広い尾根となっている。本地域の森林限界の標高は約 2,500m で、調査地域は主として常緑針葉樹林に覆われている。

徳本峠周辺には、美濃帯のジュラ紀付加体に属する砂岩・泥岩が広く分布し、一部にチャート層を挟む。地層の走向は NE-SW 方向で、NW 方向に中～急角度で傾斜する。調査地域の北西を南流する梓川を挟んだ対岸には、第四紀の滝谷花崗閃緑岩や焼岳・アカンダナ山などの活火山群が分布する。

徳本峠北東の主稜線上の DGSD の発達は、そこから派生する NW-SE 方向の支尾根に比べ、非常に顕著である。これは地層の走向規制と考えられる。主稜線沿いの DGSD は南東向きよりは北西向き斜面で標高の低い位置まで認められ、これは地層の傾斜方向による規制と考えられる。認められる変形ユニットの最大幅は約 2 km であるが、変形の多くは斜面上部にとどまり、明瞭な地すべり移動体に移行する DGSD は少ない。ただ「深層崩壊」の痕跡は認められ、その最大のものは幅 300 m、推定体積 $3 \times 10^6 \text{ m}^3$ に達する。

主稜線上に発達する顕著な山上凹地 2 箇所をハンドオーガーボーリングを行った。そのうちの 1 箇所では、深度 120~220cm に達す

る計7本のボーリングコアを得た。凹地埋積堆積物の層相は概ね共通しており、下部に向かって、(a) 植物片を含む厚さ 50cm 程度の有機質な黒色～褐色泥層、(b) 部分的にピンク色となる明灰色シルト層～砂層で、粗粒な砂層（火山砕屑物を主体とする）や葉理の発達するシルト層を挟む、(c) 赤褐色に酸化したシルト層～砂層、(4) 火山砕屑物からなる礫質砂層（この層準でコアが抜け落ち、掘止となる場合が多い）からなる。

(b)層には植物片が含まれていないので、その上面の時代に本地域は森林限界より低くなったと推定される。本地域から NNE 方向に約 2.7 km 離れた長尾尾根の標高 2000 m 付近で掘削されたコアには火山砕屑物層が認められないことから、(4)の給源はごく近傍の火山、おそらく焼岳と思われる。

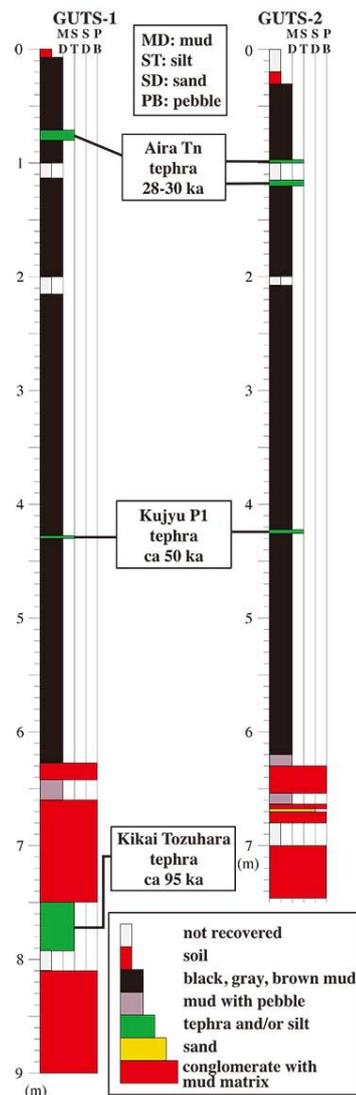


図3．紀伊半島ツエノ峰地域の二重山稜間凹地埋積堆積物の岩相とテフラ年代。

(3) 紀伊半島ツエノ峰地域

三重県熊野市のツエノ峰周辺には、山上凹地、せき止め湖などの地すべり関連地形が認められる。両者とも堆積物に覆われているため、形成時期の特定や形成後の周辺環境の変遷の推定が可能である。一方、その基盤構造

は堆積物のために明瞭ではない。基盤構造を推定するためにボーリング調査・電気探査・地震波探査を行った。山上凹地では約 15m 離れた 2 地点において、深さ約 7.5m と 9m のボーリングを掘削した。岩相はいずれも、上部約 1m が有機質な泥層で、その下部に厚さ 5m 程度の灰色～黄土色の泥層が堆積し、最下部には基盤岩直上に堆積したと思われる粘土基質の礫層が認められる（図3）。長さ 9m のコアの深度 0.8m, 4.3m, 7.7m には火山灰層が挟まれ、それぞれ、始良 Tn (28-30ka), 九重第 1 (50ka), 鬼界葛原 (95ka) テフラと同定された。

せき止め湖を埋積した堆積物は約 7.5m を掘削したが、基盤岩には到達しなかった。厚さ約 2.5m の地表露頭とあわせて 10m ほどの湖底堆積物を得た。岩相は塊状の黄褐色粘土層で下部では礫まじりとなる。テフラの純層は認められなかったが、全ての層準でアカホヤ火山灰 (7.3ka) 起源と思われる再堆積火山ガラスが確認できた。

電気探査と地震波探査は、山上凹地の尾根と直交する方向に 2 測線、せき止め湖の河川流路に平行に 1 測線、直交方向に 2 測線を設けて行った。電気探査と地震波探査の結果は概ね調理的で、基盤岩、地すべり移動体、線状凹地堆積物、ダム湖堆積物を明瞭に区別することができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 6 件)

Safonova, I., Maruyama, S., Kojima, S., Komiya, T., Krivonogov, S., Koshida, K. (2016) Recognizing OIB and MORB in accretionary complexes: A new approach based on ocean plate stratigraphy, petrology and geochemistry. *Gondwana Research*, vol.33, p.92-114. 査読有 DOI:10.1016/j.gr.2015.06.013

Safonova, I., Kojima, S., Nakae, S., Romer, R.L., Seltmann, R., Sano, H. and Onoue, T. (2015) Oceanic island basalts in accretionary complexes of SW Japan: Tectonic and petrogenetic implications. *Jour. Asian Earth Sci.*, vol.113, p.508-523. 査読有 DOI:10.1016/j.jseas.2014.09.015

小嶋 智・永田秀尚・植木岳雪・沼本晋也・池田晃子・中村俊夫・木戸豊大・太谷具幸 (2015) 三重県多気郡大台町蘭川上流のせき止め湖堆積物の層相と年代。名古屋大学加速器質量分析計業績報告書 (XXVI), p.108-113. 査読無

Kojima, S., Nagata, H., Yamashiroya, S., Iwamoto, N. and Ohtani, T. (2015) Large deep-seated landslides controlled

by geologic structures: prehistoric and modern examples in a Jurassic subduction-accretion complex on the Kii Peninsula, central Japan. Eng. Geol., vol.186, p.44-56. 査読有
DOI:10.1016/j.enggeo.2014.10.018

Kojima, S., Kaneda, H., Nagata, H., Niwa, R., Iwamoto, N., Kayamoto, K. and Ohtani, T. (2015) Development history of landslide-related sagging geomorphology in orogenic belts: Examples in central Japan. In: G. Lollino, et al. (eds.) Engineering Geology for Society and Territory, vol.2, p.553-558, Springer. 査読有
DOI:10.1007/978-3-319-09057-3_91.

Kojima, S., Nozaki, T., Nagata, H., Tanahashi, R., Kondo, R., Okamura, N., Suzuki, K., Ikeda, A., Nakamura, T. and Ohtani, T. (2014) Large-scale landslides in Toyama Prefecture, central Japan, and their probable relationship with earthquakes. Environ. Earth Sci., vol.71, p.2753-2763. 査読有
DOI:10.1007/s12665-013-2654-y

〔学会発表〕(計10件)

小嶋 智・永田秀尚・小出健太・大谷具幸, 北アルプス, 徳本峠北東の山体重力変形地形. 日本地質学会第123年学術大会, 2016年9月10-12日, 日本大学文理学部(東京都世田谷区).

Kojima, S. and Nagata, H., Past and modern landslides controlled by lithology and geologic structures of accretionary complexes in eastern Kii Peninsula, central Japan. Japan Geoscience Union Meeting, May 26, 2016, Makuhari Messe, (Chiba, Chiba).

小嶋 智・村田芳信・岩本直也・小村慶太郎・山崎智寛・金田平太郎・大谷具幸, 三重県熊野市ツエノ峰周辺にみられる山上凹地およびせき止め湖の埋積堆積物の基盤構造: ボーリング調査・電気探査・地震波探査の統合解析結果. 日本地球惑星科学連合2016年大会, 2016年5月24日, 幕張メッセ国際会議場(千葉県千葉市).

Kojima, S., Hasegawa, Y., Iwamoto, N., Komura, K. and Nagata, H., Geomorphological and geological characteristics of deep-seated gravitational slope deformation in the Kamikochi area, central Japan. 10th Asian Regional Conference of IAEG, Sept. 26-29, 2015, Kyoto University (Uji, Kyoto).

Nagata, H. and Kojima, S., Structural control of landslide in the accretionary complexes of the Southwest Japan. 10th Asian Regional Conference of IAEG, Sept. 26-29, 2015, Kyoto University (Uji, Kyoto).

小嶋 智・岩本直也・山崎智寛・小村慶太郎・金田平太郎・大谷具幸, 岐阜福井県境, 冠山北西の山体重力変形地形の地下構造. 日本地質学会第122年学術大会, 2015年9月11-13日, 信州大学(長野県長野市).

Kojima, S., Iwamoto, N., Niwa, R., Kaneda, H., Komura, K., Hattori, K., Yamazaki, T. and Ohtani, T., Geomorphology, geologic structure, and development history of deep seated gravitational slope deformation features in the Kanmuriyama area, central Japan. XIX INQUA, July 31, 2015, Nagoya Congress Center (Nagoya, Aichi).

Nagata, H., Kojima, S. and Sakaguchi, T., Sugging feature in mountain range of central Japan: results from the topographic map interpretation and GIS analyses. XIX INQUA, July 31, 2015, Nagoya Congress Center (Nagoya, Aichi).

Komura, K., Kaneda, H., Kojima, S., Iwamoto, N. and Hayashi, H., Development history of concentrated sackung features adjacent to an active fault: a case study of the Neodani fault, central Japan, based on sediment cores and pit excavations. XIX INQUA, July 31, 2015, Nagoya Congress Center (Nagoya, Aichi).

小嶋 智・永田秀尚・長谷川勝幸・岩本直也・小村慶太郎・金田平太郎・大谷具幸, 北アルプス上高地, 長堀尾根の二重山稜間の線状凹地を埋積する堆積物の層相と年代. 日本地球惑星科学連合2015年大会, 2015年5月28日, 幕張メッセ国際会議場(千葉県千葉市).

〔図書〕(計1件)

Kojima, S., Hayasaka, Y., Hiroi, Y., Matsuoka, A., Sano, H., Sugamori, Y., Suzuki, N., Takemura, A., Tsujimori, T. and Uchino, T. (2016) Pre-Cretaceous accretionary complexes. In: Moreno, T., Wallis, S., Kojima, T. and Gibbons, W. (eds.) Geology of Japan. Geological Society, London, p.61-100.

6. 研究組織
(1)研究代表者

小嶋 智 (KOJIMA, Satoru)
岐阜大学・工学部・教授
研究者番号：20170243

(3)連携研究者

金田 平太郎 (KANEDA, Heitaro)
千葉大学・理学研究科・准教授
研究者番号：30415658

中村 俊夫 (NAKAMURA, Toshio)
名古屋大学・年代測定総合研究センター・
教授
研究者番号：10135387

大谷 具幸 (OHTANI, Tomoyuki)
岐阜大学・工学部・教授
研究者番号：20356645

勝田 長貴 (KATSUTA, Nagayoshi)
岐阜大学・教育学部・准教授
研究者番号：70377985

(4)研究協力者

永田 秀尚 (NAGATA, Hidehisa)
(有)風水土代表取締役