

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23540531

研究課題名(和文)せき止め湖堆積物から探る有史以前の地震・豪雨災害と将来予測

研究課題名(英文)Prehistoric earthquake and heavy-rain disasters and their future prediction by the analyses of dammed-lake sediments

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) 3,900,000円、(間接経費) 1,170,000円

研究成果の概要(和文)：(1) 富山市八尾町桐谷および小井波集落は、大規模地すべりにより形成されたせき止め湖が埋積された平坦面上にある。これらの地すべりは、せき止め湖堆積物・地すべり移動体中の木片の14C年代より約2500BPに発生したもので、跡津川断層が引き起こした地震によると推定される。

(2) 岐阜福井県境をつくる越美山系には多くの山体重力変形地形が認められ、それらは最終氷期直後および最終氷期の温暖期に形成されたものであり、その後は安定していることが明らかになった。

(3) 紀伊半島東部のせき止め湖堆積物、山体重力変形地形がつくる凹地の埋積堆積物には、地震・豪雨と推定されるイベントが記録されている。

研究成果の概要(英文)：Kiritani and Koinami villages in Yatsuo town, Toyama city, are located on the flat basins; they were originally dammed-lakes formed by large landslides. The ages of landslides were estimated by 14C ages of wood fragments embedded in the lake sediments and landslide debris, and they indicate that the landslides were triggered by the earthquake, probably the penultimate activity of the Atotsugawa fault. The sackungen in the Etsumi mountains along the Gifu-Fukui prefecture boundary were formed in the warm climate during or after the last glacial period. The dammed-lake sediments and the sackungen-basin sediments in the eastern Kii Peninsula recorded events interpreted as earthquakes and heavy rainfalls.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地質学

キーワード：地すべり せき止め湖 山体重力変形地形 地震 豪雨 紀伊半島 越美山系

1. 研究開始当初の背景

日本列島のような造山帯では、地震災害や地すべり災害が多発するため、その減災を目的に様々な研究が行われてきた。しかし、地すべり(広義)によって形成されるせき止め湖については、あまり注目されていなかった。2000年代後半になって地震に伴い多くの大規模な地すべりが発生し、せき止め湖が形成されることが報告されるようになり(例えば、2004年の中越地震、2008年の中国四川地震、2008年の岩手・宮城内陸地震など)、大規模地すべりと地震の関連性に注目が集まった。2009年5月の地球惑星科学連合の大会では、研究代表者がコンピナーとなったスペシャルセッション「地すべりダムとせき止め湖：形成から発展、消滅まで」に多くの研究者が参加し、活発な議論が行われた。

研究代表者らは、地すべりにより形成されたせき止め湖およびその堆積物に着目して地質学的な研究を行っていた。特に、長いタイムスパンを考えることにより、希有な巨大地すべりを複数回とらえることができ、古文書記録からは明らかにすることができない災害記録を解明できることを明らかにした。例えば、滋賀県の伊吹山西面の地すべりにより、その山麓を流れる姉川は約5,000年前と30,000年前の2回せき止められ、巨大なせき止め湖が長期間に渡り存続したことを示した(小嶋ほか、2006)。

このような研究成果をもとに、研究開始当初は、連続的なせき止め湖堆積物のボーリングコアを採取し、そこに記録された地震・集中豪雨などの災害の歴史を明らかにすることが求められていた。それまでの研究では、地表に露出している、あるいはハンドオーガボーリングで得られる厚さ数mの堆積物を研究対象としていたため、明らかにすることができるイベントはごく限られたものであった。連続した数十m程度の堆積物を対象とすることにより、その地点が経験した数千年あるいは数万年の災害史を明らかにすることができることが期待されていた。地質学的手法、堆積学的手法や放射性炭素年代解析に加え、堆積物の化学組成の連続解析を行うことにより、抽出することのできるイベントやその精度も高いレベルのものとなることが期待された。

2. 研究の目的

本研究は、当初紀伊半島南部を対象地域としていた。その理由は、(1)研究開始時点で研究代表者らがせき止め湖堆積物の分布を確認していたこと、(2)紀伊半島南部は東南海地震・南海地震の影響を強く受ける地域であるため地震イベント記録の解析が期待できること、(3)紀伊半島南部は集中豪雨による災害の多発地域であるため豪雨イベント記録の解析が期待できることからである。このような地域で連続的なせき止め湖堆積物のコアを、複数地点から採取することにより、

そこに記録された災害の歴史を明らかにすることを目的とした。これにより、古文書などが利用できない有史以前の災害の歴史を明らかにすることができると期待され、本手法が別の地域でも活用できれば、災害研究にとって大きな意義がある。

当初の研究目的はせき止め湖堆積物の解析であったが、途中から、二重山稜・山向小崖などの山体重力変形地形も研究対象とした。その理由は、山体重力変形地形が地すべりの前兆現象であることが明確となったこと、山体重力変形地形に伴って形成される凹地を埋積した堆積物も、せき止め湖堆積物同様、様々なイベントを記録していること、凹地埋積堆積物は、堆積速度が遅く、短い試料で長い時間をカバーできるという利点があることである。同時に、研究対象地域も紀伊半島南東部のみならず岐阜福井県境、北アルプス、南アルプスなどに拡大している。

3. 研究の方法

調査対象地域の地形・地質調査を行い斜面変動史を明らかにする。それに基づきせき止め湖堆積物および山体重力変形地形がつくる凹地の埋積堆積物のコアを取得する。堆積物の厚さに応じて、ボーリング業者による掘削を行うか、ハンドオーガボーリングあるいはパーカッションボーリングを自前で行うかを判断する。

採取したボーリング試料を記載し、せき止め湖堆積物および凹地埋積堆積物の柱状図を作成する。堆積物中の年代は、含まれる植物遺体について加速器質量分析計(AMS)により放射性炭素同位体年代を測定するか、含まれるテフラの分析により決定する。これらの年代と岩相から、堆積モデルを構築する。さらに、せき止め湖堆積物および凹地埋積堆積物の偏光顕微鏡による薄片観察、X線回折計による鉱物同定、走査型蛍光X線分析顕微鏡による化学分析などを行うことにより、堆積物の周期性やそこに記録されたイベントを読み取る。以上のような解析を複数地点で行うことにより、広範囲に影響を与えるイベントと局所的イベントの分離や、気候変動との関連などを考察することができると期待される。

4. 研究成果

本研究で得られた成果を地域ごとに記述する。

(1) 八尾地域

八尾地域の地形・地質調査により、久婦須川沿いの桐谷と別荘川沿いの小井波は、大規模な地すべりにより両河川がせき止められ、その上流側に形成されたせき止め湖がその後埋め立てられてできた平坦面であることが明らかとなった。これらの地すべりは、新第三紀中新世の岩稲層群の凝灰岩が変質し地すべり粘土となり発生した。また、その上位の塊状安山岩溶岩がキャップロック構造

をつくっているため、地すべりの規模はひじょうに大きくなっている。桐谷の地すべり移動体および小井波のせき止め湖堆積物中に含まれる木片の AMS-¹⁴C 年代を測定したところ、約 2500 BP で両者の年代は一致した。この地すべりを引き起こした誘因が何かはわからないが、もしそれが地震であるなら、それは跡津川断層の飛越地震(1858年)の一つ前のイベントである可能性が高い。なお、本地域における研究の成果は Kojima et al. (2014)として公表済みである。

(2) 冠山地域

冠山地域には、美濃帯のジュラ紀付加体に属するチャート・砂岩が分布し、冠山～冠山峠～金草岳の岐阜福井県境稜線周辺には多くの山体重力変形地形が認められる。このうち、冠山峠東方と西方の2カ所について詳細な調査を実施した。

冠山峠東方の稜線上にある二重山稜について、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解析した。凹地埋積堆積物は、下位から 1)礫質橙色粘土、2)淡黄色粘土、3)暗灰色粘土・腐植土互層からなる。この堆積物の厚さは確認された範囲では最大約 3m で、西ほど厚く凹地断面がくさび形であることがわかる。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。コア試料に挟まれるアカホヤ火山灰(K-Ah, 7.3 ka:年代値は町田・新井, 2003による,以下同じ)、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。

冠山峠西方約 2 km の岐阜福井県境稜線の南斜面には、斜面の走向にほぼ平行に延びる 4 列の山向小崖がある。これらの小崖と山体斜面の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やピット掘削により解析した。どの凹地も、凹地埋積堆積物の岩相はほぼ共通で、下位から 1)時に礫質となる橙色粘土層、2)明灰色粘土層、3)暗灰色粘土層、4)腐植質泥層からなる。この層序は、冠山峠東方の二重山稜地形の間の凹地埋積堆積物ともほぼ共通している。上から 1, 2, 3 列目の凹地埋積堆積物からは、アカホヤ火山灰が純層として、あるいは粘土試料中のピークとして確認できた。しかし、その層準は同じ岩相中にはなく、同じ時間面で比較すると、これらの山向小崖の堆積環境が若干異なっていたことが推定される。これらのテフラ年代や凹地埋積堆積物中の木片の AMS-¹⁴C 年代から、下部の粘土層の平均堆積速度は 0.07-0.08 mm/year 程度であり、上位の腐植質泥層はそれよりも数倍速いことが示唆された。基盤深度を推定し、堆積速度を外挿すると、各凹地はいずれも数万年前に形成を開始したと推定される。

(3) 能郷白山地域

岐阜・福井県境に位置する能郷白山の周辺には、美濃帯の地層・岩石に貫入した新第三紀中新世の能郷白山花崗閃緑岩が分布している。また、能郷白山花崗閃緑岩体は NW-SE 方向の温見断層に切られ、NE-SW 走向で急傾斜、NNW-SSE 走向で南に急傾斜の節理系が発達している。

能郷白山花崗閃緑岩体に発達する山体重力変形地形は、稜線及び尾根の頂部に広がる平坦面やそれに連なる斜度が 30 度以下の緩斜面に発達し、特に、後氷期開析前線付近では山体重力変形地形の発達密度が高いことが明らかとなった。これより、「斜面崩壊により上部が不安定化し、山体重力変形地形が形成され、再び斜面崩壊が発生する」という一連のプロセスが推測され、山体重力変形地形と斜面崩壊は密接な関係を有すると考えられる。

節理面が集中する走向と山体重力変形地形の発達が集中する方位を比較した結果、それらはほぼ平行であることがわかった。また、斜面の走向と節理面の走向が平行である場合、山体重力変形地形の発達密度が高くなり、斜交する場合発達密度が低くなることも確認できた。したがって、山体重力変形地形は節理面の走向と斜面の走向に規制されて発達すると考えられる。

(4) 園川地域

三重県大台町を流れる宮川の支流、園川の上流には、開析を受けやや不明瞭となった滑落崖と、その下部に広がる移動体からなる緩斜面が認められる。この地域は秩父帯に属し、基盤岩構成岩類はジュラ紀メランジュからなる。本地域のメランジュは、泥岩を基質として砂岩ブロックが卓越する北部のユニット A と、チャート・石灰岩・緑色岩ブロックを多く含む南部のユニット B に分けられる。滑落崖付近には北傾斜のユニット B が分布し、地すべりは流れ盤で発生している。地すべり移動体の上流には河床礫層に覆われた平坦面が広がり、かつてはせき止め湖が形成されていたことが推定される。この平坦面上でボーリング掘削を行い、上部約 17m が土石流堆積物、下部の深度 17-33m がせき止め湖堆積物からなるボーリングコアを取得した。

せき止め湖堆積物に含まれる木片の AMS-¹⁴C 年代から、本せき止め湖が 26000 cal BP 頃に形成され、その後 1000 年ほどの間に埋め立てられたことが明らかとなった。平均堆積速度は、約 14mm/year と計算されるが、今後、葉理の成因等を考察し、再考する必要がある。

深度 25-30m から得られたボーリングコアを凍結乾燥し樹脂で固めた後、走査型 X 線分析顕微鏡を用い元素マッピングを行った。その結果、葉理の濃淡と元素濃度の関係や Mn と Fe の正の相関などの特徴がみられた。また、深度 25.67-25.84m と 29.67-29.84m 区間については薄片を作成し、高分解能で元素マ

ッピングを行った。その結果、シデライト濃集層により認定される年稿の存在や、級化層理から示唆される上流域での地すべりの発生などのイベントを読み取ることができた。

(5) 池ノ谷地域

産業技術総合研究所が掘削した直径 8cm、深度 30m のボーリングコアを解析した。地表から深度 9.5m は砂礫層とシルト層の互層、深度 9.5m~30m は層理の発達した腐植質シルト層からなる。最下部付近から得られた木片の年代は、6245BP である。シルト層をつくる葉理のうち、白色のものはほぼ珪藻のみからなる層で、春の珪藻のブルーミングによってつくられたものと推定できる。

(6) ツエノ峰地域

三重県熊野市のツエノ峰地域には、新第三紀中新世の熊野層群に属する砂岩・泥岩および少量の礫岩が分布する。稜線には二重山稜が、斜面には線状凹地と地滑り地形が、その下部の沢沿いには天然ダムとせき止め湖跡が認められる。

二重山稜の間の線状凹地を埋める堆積物を 2 本のボーリングにより掘削し、長さ約 9m の凹地埋積堆積物のコアを得た。堆積物はほぼ全体が塊状泥層からなり、最下部は泥質礫層に移化する。泥層には、木片等、14C 年代測定に適した有機物は含まれていないが、深度 0.8、4.3、7.8m に上・中・下、3 層のテフラ層が挟まれており、年代の推定が可能である。火山ガラスと角閃石の屈折率などの特徴から、上部層は始良 Tn テフラ (AT, 28-30ka)、中部層は九重第 1 テフラ (KJ-P1, 50ka)、下部層は鬼界葛原テフラ (K-Tz, 95ka) であることが推定され、わずかに約 7m の泥層の堆積に約 6 万年以上を要したことが明らかとなった。

(7) 蝶ヶ岳地域

北アルプス、蝶ヶ岳地域において、登山道沿いの地形・地質調査を行った結果、徳沢から蝶ヶ岳に至る長堀尾根には多くの山体重力変形地形があることが明らかとなった。標高の高いところに分布する山体重力変形地形がつくる凹地は岩屑で埋められているのに対し、標高が低いところに分布する凹地は泥質堆積物で埋められている。平成 26 年度以降は掘削許可を得て後者の解析を行う予定である。

(8) 北岳地域

南アルプス、北岳地域において、登山道沿いの地形・地質調査を行った結果、北岳周辺の稜線には多くの山体重力変形地形があることが明らかとなった。野外調査の結果と富士川砂防事務所より提供された DEM データを統合して GIS 解析を行った結果、本地域の山体重力変形地形は、四万十帯の付加体のもつ面構造に強く規制されて発達していることが明らかとなった。また、本地域の山体重力変形地形の線密度は、0.33 km/km²であった。

(9) 天子山地地域

山梨県、天子山地地域における調査研究は、

JR 東海コンサルタンツ(株)との共同研究として行った。富士川砂防事務所より提供された DEM データの解析により、天子山地に分布する山体重力変形地形の線密度は、美濃山地や北岳地域より 1 桁小さいことが明らかとなった。

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)

[雑誌論文](計 10 件)

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

永田秀尚・小嶋 智・栢本耕一郎・安井 秀 (2014) 熊野市ツエノ峰における山上凹地の形成年代とその応用地形学的意義。地形, vol.35, no.1, p.50, 査読無。

小嶋 智・木戸豊大・勝田長貴・永田秀尚・植木岳雪・沼本晋也・中村俊夫・池田晃子・大谷具幸 (2013) 三重県多気郡大台町蘭川上流のせき止め湖堆積物の岩相と年代。日本応用地質学会平成 25 年度研究発表会講演論文集, p.7-8, 査読有。

岩本直也・小嶋 智・金田平太郎・大谷具幸 (2013) 岐阜福井県境、能郷白山花崗閃緑岩分布域における山体重力変形地形と地質構造(特に節理系と温見断層破碎帯)の関係。日本応用地質学会平成 25 年度研究発表会講演論文集, p.177-178, 査読有。

丹羽良太・小嶋 智・金田平太郎・大谷具幸 (2013) 岐阜福井県境、冠山峠周辺に発達する山体重力変形地形の発達過程。日本応用地質学会平成 25 年度研究発表会講演論文集, p.179-180, 査読有。

大谷具幸・河地浩平・小嶋 智・笹田政克 (2013) 自然条件と社会条件を考慮した地中熱利用の広域的な賦存量と導入ポテンシャルの評価手法。地熱学会誌, vol.35, p.17-31, 査読有。

小嶋 智・徳永浩之・大谷具幸 (2012) わかって使うレーザ計測 7。事例その 3: 航空レーザ計測の地質学への応用-山体重力変形地形研究を例として-。地盤工学会誌, vol.60, no.3, p.59-62, 査読有。

小嶋 智・丹羽良太・金田平太郎・永田秀尚・池田晃子・中村俊夫・大谷具幸 (2012) 岐阜福井県境周辺に発達する山体重力変形地形の分布・特徴・発達過程。日本応用地質学会平成 24 年度研究発表会講演論文集, p.13-14, 査読有。

丹羽良太・小嶋 智・金田平太郎・永田秀尚・池田晃子・中村俊夫・大谷具幸 (2012)

岐阜福井県境，冠山北西の二重山稜地形の発達過程 .日本応用地質学会平成 24 年度研究発表会講演論文集，p.149-150，査読有 .
Kojima, S. and Sano, H. (2011) Permian and Triassic submarine landslide deposits in a Jurassic accretionary complex in central Japan. In: Yamada, Y., et al. (eds.) Submarine Mass Movements and Their Consequences, Advances in Natural and Technological Hazards Research 31, p.639-648, Springer, 査読有 , doi:10.1007/978-94-007-2162-3_57.

[学会発表](計 9 件)

Kojima, S., Kaneda, H., Nagata, H., Niwa, R., Iwamoto, N., Kayamoto, K., and Ohtani, T., Development history of landslide-related sagging geomorphology in orogenic belts: Examples in central Japan. IAEG XII Congress, 2014.9.15-19, Torino, Italia.

小嶋 智・丹羽良太・金田平太郎・池田晃子・中村俊夫・大谷具幸，岐阜福井県境，冠山周辺の山体重力変形地形の特徴と形成過程 .日本地質学会第 120 年学術大会 2013 年 9 月 14 日～16 日，東北大学 .

岩本直也・小嶋 智・金田平太郎・大谷具幸，岐阜福井県境，能郷白山花崗閃緑岩分布域における山体重力変形地形と地質構造の関係 .日本地質学会第 120 年学術大会，2013 年 9 月 14 日～16 日，東北大学 .

小嶋 智・丹羽良太・栢本耕一郎・金田平太郎・永田秀尚・池田晃子・中村俊夫・大谷具幸，山体重力変形地形の形成過程：岐阜福井県境の冠山北西および三重県熊野市ツエノ峰を例として .日本地球惑星科学連合 2013 年大会，2013 年 5 月 19 日～24 日，幕張メッセ国際会議場 .

岩本直也・小嶋 智・金田平太郎・大谷具幸，岐阜福井県境，能郷白山花崗閃緑岩分布域における山体重力変形地形と地質構造の関係 .日本地球惑星科学連合 2013 年大会，2013 年 5 月 19 日～24 日，幕張メッセ国際会議場 .

小嶋 智・永田秀尚・大谷具幸，三重県熊野市のツエノ峰周辺の地質と地すべり地形・山体重力変形地形 .日本地質学会第 119 年学術大会，2012 年 9 月 15 日～17 日，大阪府立大学 .

小嶋 智・丹羽良太・金田平太郎・永田秀尚・池田晃子・中村俊夫・鈴木和博・大谷具幸，岐阜福井県境の冠山北西の稜線上凹地を埋積した堆積物の特徴と年代 .日本地球惑星科学連合 2012 年大会，2012 年 5 月 20 日～25 日，幕張メッセ国際会議場 .

小嶋 智・徳永浩之・大谷具幸，岐阜・福井県境稜線にみられる山体重力変形地形の特徴 .日本地質学会第 118 年学術大会・日本鉱物科学会 2011 年年会合同学術大会，2011 年 9 月 9 日～11 日，茨城大学 .

小嶋 智・徳永浩之・山城屋誠一・大谷具幸，福井・岐阜県境稜線にみられる山体重力変形地形について .日本地球惑星科学連合 2011 年大会，2011 年 5 月 20 日～25 日，幕張メッセ国際会議場 .

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

(2) 連携研究者

鈴木 和博 (SUZUKI, Kazuhiro)

名古屋大学・年代測定総合研究センター・

教授

研究者番号：90111624

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

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

大谷 具幸 (OHTANI, Tomoyuki)

岐阜大学・工学部・准教授

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