

令和 4 年 6 月 6 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K01154

研究課題名(和文) 2018年西日本豪雨災害地調査にもとづく土砂災害発生域の高精度予測研究

研究課題名(英文) Sediment hazard prediction with high spatial resolution by characterization of the slope failure events triggered by 2018 torrential rainfall in western Japan

研究代表者

須貝 俊彦 (Sugai, Toshihiko)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授

研究者番号：90251321

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：2018年西日本豪雨災害現場を現地調査し、崩壊-土砂移動プロセスを解明するとともに、発災前後の地形を比較し、2018年以前の地形、地質条件が、土砂移動に与えた影響を考察した。また、土砂堆積域において、堆積物の放射性炭素年代測定を実施し、過去に発生した土砂移動時期を解明した。そのうえで、河床縦断面形のセグメント区分を試行し、土砂の移動堆積区間の推定根拠について検討した。2017年九州北部豪雨、2019年東日本台風による土砂・水移動も検討し、最近の地形変化と同様の変化が、完新世の過去にも繰り返されてきた事例と、過去とは異なる変化パターンが現れ始めた事例とが共存している可能性を指摘した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

崩壊箇所の地形地質的条件や、頻度規模分布特性を明かにするとともに、土砂移動時に生じた露頭や砂防工事露頭の調査により、過去のイベント発生時期や間隔を解明した点は、重要である。平成29年(2017年)に一部改正された土砂災害防止法の更なる改訂が必要であること、表層崩壊連動土石流によるインフラ被害は壊滅的かつ局所的であり、土地利用規制の科学的根拠を明確化し、空間的精度と強制力を高めることが長期課題であることを示した。

研究成果の概要(英文)：We conducted a field survey of the 2018 western Japan heavy rain disaster site, elucidated the slope failure sediment movement, compared the topography before and after the disaster, and considered the effects of topography and geological conditions before 2018 on the sediment movement. In addition, we clarified the timing and recurrence of the sediment migration in the past by radiocarbon dating of sediments in the sedimentation area. After that, we tried the segment division of the riverbed longitudinal section and examined the estimation basis of the moving sedimentation section of the sediment. We also considered the movement of sediment and water due to the heavy rains in northern Kyushu in 2017 and the typhoon in eastern Japan in 2019.

研究分野：地形学

キーワード：slope failure debris flow disaster photogrammetry river long-profile weathering crust climate change heavy rain fall

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 「平成 30 年(2018 年)7 月豪雨災害(いわゆる西日本豪雨)」によって、広島県、岡山県、愛媛県を中心とした西日本各地で、数千ヶ所以上の表層崩壊が発生した。崩壊土砂の多くが土石流となって河谷を下り、山麓部の集落や農耕地に甚大な被害を与えた。岡山県高梁川流域では、本流から支流へ多量の河川水が逆流するバックウォーター現象が生じた。低湿地の卓越する支流が次々と破堤し、土砂と湛水によって新興住宅地に甚大な被害をもたらした。その前年には「平成 29 年(2017 年)7 月九州北部豪雨」が福岡県、大分県を中心に発生した(宝蔵ほか、2017)。更にその前々年には「平成 27 年(2015 年)9 月関東・東北豪雨」が生じて鬼怒川堤防が決壊し、首都圏では 30 数年ぶりの大規模外水氾濫が生じた(Izumida et al, 2017)。その更に前年の 2014 年にも広島県では、安佐南区を中心に「平成 26 年(2014 年)8 月広島市豪雨土砂災害」が発生し、土石流で全壊家屋が多数生じた(松本・須貝、2018; 内山・須貝、2019)。これらの土砂災害・洪水害は、いずれも線状降水帯をもたらした多量の降水が誘因となって発生した。線状降水帯の出現は、地球温暖化の進行と関わっていると予想され、我が国の水・土砂災害の深刻化が強く懸念されるようになった。これら一連の災害教訓を活かす形で、平成 29 年(2017 年)には、土砂災害防止法が一部改正されていた。その直後に、西日本豪雨災害が生じ、現状の法規制による防災効果の限界が露呈することとなった。

(2) 短期的な対応として、次に生じる可能性のある水・土砂移動と流路変更を阻止するための砂防堰堤や河川堤防の整備、避難行動誘導システムの見直しによる人的被害の最小化が、喫緊の課題となった。とくに、避難指示発令根拠となる線状降水帯の発生・移動・発達による豪雨予測技術の向上が要請された。

長期的な課題としては、斜面崩壊や土石流、破堤が生じやすい場所を高精度・高確度で推定して、ハザードの時空間分布を解明すること、その成果に基づき、土地利用規制を強化し、危険個所に居住しない開発や移転を促すこと、および、教育による市民や学生の防災リテラシーの向上が必要と考えられた(たとえば須貝、2018)。

### 2. 研究の目的

(1) 2018 年西日本豪雨で発生した土砂移動地域のうちの広い範囲を対象として、個々の土砂移動域を高精細マッピングする。土砂移動量の頻度規模分布特性、および、移動土砂量と基盤地質や流域地形量との関係を検討する。加えて、地域の平均的な土砂移動特性とそれを規定する要因について解明する。

(2) a) 花崗岩、流紋岩地域それぞれからモデルフィールドを選定し、2018 年の土砂移動プロセスと地形変化を定量的に記録する。とくに、2018 年土砂移動イベント前後の地形変化と、発災後の自然・人為による地形変化過程を追跡し、その特性を解明する。

b) 2018 年より古い時代の土砂移動イベントの痕跡を発見し、イベントの発生時期と土砂移動域の特定を試みる。さらに、発達史地形学の観点から、前地形および地質と土砂移動イベントとの関係性について解明する。

(3) 岡山県真備町小田川で発生したバックウォーター現象に伴う破堤を調査する。破堤の要因と破堤に伴う微地形・堆積物の形成の特徴を解明する。

(4) 比較地理学的視点から、2017 年九州北部豪雨災害、および、2019 年東日本台風災害の発生域を調査する。それぞれの災害をもたらした地形変化の特徴を解明し、上記(2)(3)と比較する。

(5) 水土砂流動系を支配する地形システムの考え方を深めて、階層的・動的な地形分類の体系化に必要な課題を抽出し、基礎科学的視点からハザードマップの高度化に貢献する。

### 3. 研究の方法

(1) 広島県呉市・東広島市・坂町・熊野町・広島市安芸区および愛媛県西予市・宇和島市で生じた長さ 10m 程度以上の崩壊・土石流を対象として、国土地理院が 2018 年西日本豪雨災害発災直後に撮影したステレオ空中写真を実体視判読し、土砂移動域を認定した。認定基準を統一するために、研究代表者が土砂移動域を全て抽出し、研究協力者がクロスチェックした。

各土砂移動域は GIS 上でポリゴンデータ化し、現地でも可能な限り確認した。ポリゴン数は約 2400 個である。5m メッシュ DEM と重ねて、ポリゴンごとに最大・最低標高、最大長、平均勾配、面積を計測、集計、解析した。また、対象地を花崗岩、流紋岩、付加体堆積岩の各地質地域に分け、各地質地域をそれぞれ 30 前後の小流域に分割して、各小流域の起伏量、面積、平均傾斜量等の地形量を計測した。なお、流域認定基準は、海に河口をもつ水系次数 5 次以上の河川流域を単位

とした

(2) 東広島市(流紋岩地域)、熊野町(花崗岩地域)の各モデルフィールドにおいて、ドローンによる写真撮影を2~3回繰り返し、写真測量による高精度地表面高度モデル(DSM)を作成した。花崗岩地域の坂町(総頭川)も対象に加えて、現地でも露頭調査を実施し、年代測定、粒度分析、化学分析用試料を採取した。年代測定はパレオ・ラボに外注し、他の分析は大学の実験室で実施した。粒度分析試料は、基盤岩の風化殻を含む崩壊源から土砂堆積域まで系統的に採取したが、年代試料は、土砂堆積域のみで採取された。

(3) 真備町小田川では、破堤(クレバス)地形の観察とクレバス砂の採取、粒度分析を行うとともに、破堤微地形分類図を作成した。作成にあたっては、2015年鬼怒川破堤地形の分類(Izumida et al, 2017)を参考にした。

(4) a)九州北部豪雨災害地のうち、変成岩類、花崗閃緑岩類が卓越する4支流を対象として、国土地理院が発災直後に撮影した空中写真判読を行い、崩壊源、土砂移動域をマッピングした。現地で、崩壊堆積物、土砂流堆積物を採取し、礫径、礫種、円磨度等を計測した。また、狭い谷底低地に残存する小規模な河成段丘面群を現地で認定し、それらの段丘群の構成砂礫層、テフラ、放射性炭素年代測定用炭化物も採取、分析した。

b) 本研究の実施期間中の1年目の2019年に、東日本台風による水・土砂災害が東日本の広域で同時多発した。渡良瀬川水系の永野川や思川などの支流の山間部の礫床区間を主対象として、破堤調査を実施した。とくに8か所でドローンによる写真測量を実施し、詳細なDSMを構築した。

(5) 上記の(1)~(4)の方法で得られた成果を統合し、一連の土砂・水移動イベントを長期の地形発達史のなかに位置づけた。すなわち、一連の土砂移動イベントを複数種の微地形変動の連鎖としてとらえ、各微地形単位を定義し、動的で階層的な地形分類の方法論について考察した。とくに、土石流・土砂流に関しては、流れの到達域と堆積物の粒度・層厚の関係性に注目した。河川地形に関しては、流路の縦断勾配と平面屈曲形状に着目してセグメント区分を行った。

#### 4. 研究成果

(1) 花崗岩、流紋岩、付加体堆積岩の各地質地域において、崩壊土砂移動域の面積規模と頻度との関係は「ベキ関数」で回帰されることが確認された。規模の増加に対する頻度の減少割合(いわゆるb値)は、いずれの地域でも1より大きいこと、したがって、全体の土砂移動面積に対しては、小規模な土砂移動イベントが効果的に働くことがわかった。詳しく見ると、前2者は減少割合が相対的に小さく、移動土砂体積量で評価すると、b値は概ね1を示すと考えられた。これに対して、堆積岩地域のb値は2を超えており、極微小の表土崩壊が卓越していたことが裏付けられた。ミカン畑からの土壌流出がガリー侵食のレベルで頻発したことを反映している。堆積岩体では、すべり面の一部が層理面に沿ってブロック状に深く侵入する深層崩壊も観察された。このことから、付加体堆積岩地域では、プロセスが全く異なる崩壊現象が同時発生したといえる。いずれの地質地域においても、崩壊土砂移動面積密度は、その崩壊が属する流域の規模と負の相関関係にあることが分かった。海に河口をもつ水系次数5以上の河川流域を単位としたため、小面積の流域は海岸に近く急勾配であるという特徴をもつ。平坦地形が内陸部に広く未開析の状態分布し、海岸から内陸へ向かって侵食が徐々に進行してきた当該地域の長期的なマクロな地形変化傾向が、2018年に発生した崩壊の面積密度と流域規模の関係にも現れている、と考えられた。

(2) 広島の花崗岩地域では、水系が細かく分岐しており、流域内に1次谷が多数分布する。それらのなかの一部の1次谷の谷頭付近(いわゆる0字谷)が表層崩壊し、土石流となって谷口まで到達した例が多くを占めた。クレバス砂に挟まれた埋没土壌の14C年代測定の結果、総頭川流域においては、谷口への土石流到達頻度は、おおよそ数百年ごとに1度であると推定された。個々の崩壊は免疫性があり、不安定な土層が崩壊・削剥されれば、次の土層が堆積するまでに千年以上かかると推定されている。ところが、流域内には、最後に崩壊してからの経過時間の異なる多数の谷頭が存在するため、経過時間の長い1次谷が崩壊し、土石流となって谷口に至り、クレバス堆積地形を形成すると考えられる。このため、クレバス地形の形成間隔は、個々の谷頭が崩壊を繰り返す間隔よりも短いと解釈された。

流紋岩山地では、ア) 赤色風化殻が面的に被覆する直線的な斜面が崩壊し、細粒分に富む流れとなって、シート状に流下した例と、イ) 砂防堰堤が多数設置されていた谷の最上部が崩壊して、土石流となって谷を流下し、山麓の扇状地を成長させた例とが、隣り合って発見された。ア)の崩壊土砂移動経路の縦断面形は直線的であるのに対して、イ)のそれは凹型であった。ア)の山麓には、風化の進んだ基盤岩石を覆って中世温暖期頃の14C年代値を示す泥炭層が堆積し、その場所に2018年イベント堆積物が到達した。これに対して、イ)の山麓では晩氷期の14C年代値を示す泥炭層を覆って、数m以上の厚さで土石流扇状地堆積物が累重していた。この事実から、今後ア)タイプの斜面はイ)タイプへ発達していく可能性が示唆された。また、赤色風化殻が面的に被覆する直線斜面は、今後、新たに崩壊源となる可能性があると考えられることから、風化殻

の分布をふまえた斜面の安定度評価の必要性が示された。

(3)高梁川支流の小田川における 2018 年西日本豪雨洪水に伴う破堤は、堤防の低所、もしくは橋や植生による局所的な河川水面高度区間で越流が生じ、それが引き金となったと考えられた。また、破堤によって、クレバス地形が形成されたことが確認された。河床が上昇傾向にある場合では、クレバスサンドの堆積が顕著であった。

(4) (3)で述べた 2018 年の小田川破堤は、2015 年の鬼怒川破堤、2019 年の渡良瀬川支流の破堤と共通し、明瞭なクレバス地形を形成した。また、(2)で述べた坂町の総頭川での事例のように、流路がわずかでも屈曲している場合、攻撃斜面側（水衝側）が破堤する傾向があり、上流側ほどこの傾向が顕著となることがわかった。(2)で述べた、イ)の流紋岩斜面における土石流流下区間でも、同様の現象が認められた。すなわち、わずかな屈曲（蛇行）を成長させるように、砂防堰堤の右岸側と左岸側が交互に破壊された。

他方、九州北部豪雨域では、山間河谷の滑走斜面や支流の合流点付近で、複数段の小規模な非対称段丘が確認され、それらは土砂流の流下に伴う河床幅の増加とその後の河床の掘り込みのセットの地形変化と対応している可能性が指摘された。14C 年代値とテフラ分析結果からは、4 つの段丘は千年に一度程度の頻度で形成されてきたと推定された。

渡良瀬川水系の上流区間では、2019 年東日本台風災害で、蛇行河川の攻撃斜面が破堤し、河道短絡が生じたり、多量の砂礫がシート状に堆積して、鱗状礫洲の河床形態が出現したりした。すなわち、河道幅が広がった結果、流路が網状化したと解釈できた。

以上をまとめると、2014 年から続発している水・土砂災害は、顕著な地形変化が原因であったといえる。また、これら一連の地形変化と同様の形式・規模の地形変化が、完新世の過去にも繰り返されてきたと考えられる事例と、過去の状況とは異なる地形変化パターンが現れ始めたと考えられる事例があると推定された。具体的には、前者は、「流紋岩山地のイ）」、「坂町のクレバス形成と土石流扇状地の成長」、「九州北部豪雨地域の非対称段丘群の形成」であり、後者は、「流紋岩山地のア）」や「渡良瀬支流上流区間での蛇行流路から網状流路への変化」などである。

(5)(4)で指摘したように、21 世紀の線状降水帯の高頻度での出現が、地形形成環境を変化させつつあり、その結果、完新世を通じて継続してきた地形変化の繰り返しや動的平衡状態が破れ、レジームシフトが始まった地域や地形があると考えられた。一方で、動的平衡状態が維持されている地域や地形もあると考えられた。両者を見極めて、発達史地形学的時間スケールに立って、工学的な微細空間スケールでの地形変化予測の前提条件を与える必要が示された。本研究のうち、クレバス地形に関しては、極微小な地形とその構成物を最小単位とした地形単位を定義し、それらの集合体として地形変化現象を捉えることが可能となった。その適用地域や適用期間を広げ、他の種類の地形変化へ応用する必要がある。

#### < 引用文献 >

宝蔵 蓮也、高橋 尚志、須貝 俊彦、平成 29 年 7 月九州北部豪雨被災地における過去の土砂移動イベント復元の地形学的試み、日本地理学会春季大会発表要旨集、2018、000224

Izumida A, Uchiyama S, Sugai T, Application of UAV-SfM photogrammetry and aerial lidar to a disastrous flood: repeated topographic measurement of a newly formed crevasse splay of the Kinu River, central Japan, Natural Hazards and Earth System Sciences 17 (9), 2017, 1505-1519

木村 佳菜子、須貝 俊彦、平成 30 年 7 月豪雨における外水氾濫の素因の検討と体系化、地惑連合大会、2019、JpGU HDS15-P06

松本 一希、須貝 俊彦、2014 年広島豪雨による斜面崩壊を制約した地形条件:機械学習を利用した評価の試み、地形 39 (1)、2018、15-28

須貝 俊彦、防災教育における地域地形発達史研究の重要性、日本地理学会秋季大会発表要旨集、2018、171

内山 庄一郎、須貝 俊彦、平成 26 年 8 月豪雨による広島市土石流災害の被害の特徴、自然災害科学 38 (S06)、2019、57-79

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 4件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 須貝俊彦	4. 巻 65-9
2. 論文標題 地形分類図の活用 安心安全な社会づくりの基盤	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 地理	6. 最初と最後の頁 84-91
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takayuki Takahashi, Toshihiko Sugai	4. 巻 383
2. 論文標題 Spatiotemporally varying inter-relationships between mainstem riverbed elevation and tributary sediment supply since the last interglacial in the upper Ara River, central Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geomorphology	6. 最初と最後の頁 1-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.geomorph.2021.107697	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 須貝俊彦・鈴木康弘	4. 巻 91
2. 論文標題 自然の恵みと災いをどう教えるか	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 科学	6. 最初と最後の頁 461-464
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 須貝俊彦	4. 巻 -
2. 論文標題 地形分類図の活用 安心安全な社会づくりの基盤	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 地理	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 高橋尚志・須貝俊彦	4. 巻 129
2. 論文標題 関東地方、荒川狭窄部における河成段丘発達過程および荒川本流の河床縦断面形変化史に関する再検討	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 地学雑誌	6. 最初と最後の頁 123 - 140
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5026/jgeography.129.123	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Yuichi Niwa, Toshihiko Sugai	4. 巻 389
2. 論文標題 Millennial-scale vertical deformation of the Hachinohe coastal plain (NE Japan)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geomorphology	6. 最初と最後の頁 1-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.geomorph.2021.107835	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 内山 庄一郎・須貝 俊彦	4. 巻 38 (S6)
2. 論文標題 平成26年8月豪雨による広島市土石流災害の被害の特徴	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 自然災害科学	6. 最初と最後の頁 57-79
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.24762/jnds.j.38.S06_57	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件(うち招待講演 1件/うち国際学会 1件)

1. 発表者名 須貝俊彦
2. 発表標題 地理学が担う防災教育の意義
3. 学会等名 日本地理学会(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sugai T., Kunnga M., Sasaki N., Hasegawa S., Uchiyama S.
2. 発表標題 Geomorphological characterization of the slope failure - debris flow events in rhyolitic and granitic mountainous areas in Hiroshima triggered by 2018 torrential rainfall in western Japan and its implications for disaster risk reduction; a quantitative approach by photogrammetry and field survey
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会－米国地球物理学連合同大会 (JpGU-AGU Joint meeting) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 須貝俊彦
2. 発表標題 頻発する大規模水・土砂害に挑む流域管理地形学
3. 学会等名 日本地理学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 須貝俊彦・クンガメルゲン・佐々木夏来
2. 発表標題 2018年西日本豪雨による広島県黒瀬町・坂町における崩壊土砂イベントとその人新世における地形発達史的意味
3. 学会等名 日本第四紀学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋尚志・須貝俊彦
2. 発表標題 2017年九州北部豪雨に伴う河川地形変化と更新世末期以降の筑後川支流の段丘発達
3. 学会等名 日本第四紀学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木村 佳菜子、須貝 俊彦
2. 発表標題 平成30年7月豪雨における外水氾濫の素因の検討と体系化
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	丹羽 雄一  (Niwa Yuichi)		
研究協力者	佐々木 夏来  (Sasaki Natsuki)		
研究協力者	高橋 尚志  (Takahashi Takayuki)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------