

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 26 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350380

研究課題名(和文)「道」という形態の世界遺産における斜面災害避災システムの構築

研究課題名(英文) Construction of disaster prevention system on the world heritage site which form is "road"

研究代表者

石田 優子 (Ishida, Yuko)

立命館大学・総合科学技術研究機構・研究員

研究者番号：50710612

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：熊野参詣道を対象とし、2011年台風12号災害による被害アーカイブをGISにより構築した。また、伊勢路横垣峠を対象として、多点雨量計測および地下水位計測、2次元FEMによる浸透流解析、斜面安定解析を実施し、崩壊発生時の再現解析により雨量と地下水位の状況を推定した。最終的に観光客への防災情報として、災害発生箇所、危険箇所、一時退避場所等を含めた「観光防災マップ(案)」を作成した(公開準備中)。

研究成果の概要(英文)：The damage archive on the Kumano Pilgrimage by the 2011 Typhoon No 12 disaster was made used GIS. We carried out multi-point monitoring of rainfall and groundwater level fluctuation at Yokogaki-toge pass Iseji in order to evaluate sediment disaster risk. In addition, infiltration analysis and slope stability analysis was conducted by the two-dimensional FEM, and rainfall amount and groundwater level at the time of collapsed were estimated. As a disaster prevention information for tourists, we created "Sightseeing Disaster Prevention Map (draft)" including disaster occurrence place, dangerous place, temporary evacuation place etc.

研究分野：文化遺産防災

キーワード：文化遺産 斜面崩壊 防災 情報提供

### 1. 研究開始当初の背景

世界遺産「紀伊山地の霊場と参詣道」のうち「参詣道」は、奈良県、和歌山県、三重県に渡る延長 347.7km (平成 28 年追加登録部分含む) を有し、観光道、宗教信仰者の修験道・参拝路、地域住民の生活にも供される、世界に 2 例しかない「道」という特異な形態の文化財である。往来を目的とする「道」は文化・交通・山林・観光と多彩な側面を持つが、災害発生後は「交通」という利便性を優先した早急な復旧が望まれるために、文化財のオーセンティシティを保持する上で非常に重要な「保存」や「景観」への配慮が十分行き届かない対策工により文化的価値が致命的な損傷を負う場合がある。実際、2011 年 9 月に発生した台風 12 号によって大規模崩壊が発生した熊野参詣道伊勢路横垣峠では、並走する林道の復旧により景観が損なわれ、道を構成する重要な要素である石畳も崩壊土砂とともに廃棄された (図 1)。

参詣道が分布する紀伊半島は日本で有数の多雨地域であり、今後も豪雨災害や南海トラフ等の地震災害の発生が懸念される。災害発生時の課題として、1) 包括的保存管理計画に災害時や災害後の復旧、観光客を対象とした防災対策等が定められていない、2) 県や観光協会等が発行する観光客用ルートマップや各種観光情報サイトに、災害発生時の避難所や避難行動についての案内がない、ことが挙げられる。



図 1 大規模崩壊による熊野参詣道 (伊勢路・横垣峠) の消失

### 2. 研究の目的

文化財および近年増加の一途をたどる観光客への防災・減災対策が急務であることから、本研究では特に土砂災害に着目し、過去の崩壊事例に基づいた土砂災害発生の危険性評価に関する検討、および観光客に対して災害を避けるための有益な防災情報を提供するシステムの構築を目的とした。

### 3. 研究の方法

現在、法律によって指定されている土砂災害危険箇所や警戒区域は、過去の崩壊履歴から統計的に求められた発生しやすい形状により決定されている。土砂災害は、崩壊発生しやすい条件の場所で、豪雨や地震などの誘因 (きっかけ) により、繰り返し発生しやすいという特徴がある。そのため過去に土砂災害が発生した場所は、危険性のある場所とし

て考えることができる。そこで、参詣道について 2011 年台風 12 号によって災害が発生した箇所を被害状況とともに地理情報にまとめてアーカイブ化し、結果の公開については関係機関と協議を行うこととした。

また発生場の特徴として、崩壊発生しやすい素因および崩壊発生させた誘因の大きさ等を分析することとした。さらに、崩壊発生しやすい場において、危険性が高まる状態を検討するために、多点で雨量、風向風速、地下水位を長期計測し、特性や局地性について分析することとした。斜面の安定性は、数値シミュレーションを用いて評価することを目指し、2 次元 FEM による浸透流および安定解析を多断面で実施、検討することとした。研究対象地は、2011 年台風 12 号災害で最も被害が大きかった伊勢路横垣峠とした。

これらの研究から、過去に土砂災害が発生した場所や、土砂災害発生の危険性がある場所を抽出し、一般の観光客に分かりやすい形で情報提供し、防災対策に役立ててもらい仕組みを構築することとした。そのために、まず観光客の防災に対する認識の現状把握や、要求される防災情報、利用しやすい提供形態等をアンケート調査によって明らかにすることとした。その結果を分析し、観光客のニーズに合わせて防災情報をまとめ、観光情報や文化的情報と合わせて、アナログおよびデジタルの両手法によって情報を発信することとした。研究方法のフローを図 2 に示す。

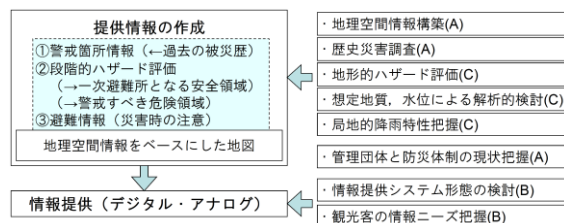


図 2 避災システムの構築

### 4. 研究成果

研究期間内に実施した研究及びその成果を、3 つの分野に分けて以下に示す。

(1). 参詣道の地理空間情報および管理、防災情報、被災歴のアーカイブ作成

現在は、国土交通省が文化財所在地の GIS データを公開しているが、研究開始当初は参詣道のデータがなく、地理空間情報を作成するところから始める必要があった。三重県および和歌山県教育委員会、文化庁、世界遺産熊野本宮館、和歌山県東牟婁振興局、熊野古道センター、東紀州地域振興公社を来訪し、詳細地図、被災履歴と被災状況、防災対策、被災後の対応等についてヒアリングを実施し、情報提供を依頼した。収集したデータは、エクセルで整理するとともに GIS に搭載できるように位置情報データを取得し、整理した。

(2). 土砂災害発生危険評価 (①段階的危険評価手法、②山間部の局地的降雨特性把握)

一般に斜面崩壊の発生予測には、1) 場所、2) 時間、3) 影響範囲の3つがある。本研究ではそのうち場所と時間に関連する研究を実施した。斜面崩壊が発生しやすい場所の予測では、まず実際に崩壊した箇所から崩壊しやすい条件を統計的に分析することとした。分析には信頼性の高いデータが数多く必要であるが、文化財の被災箇所だけではデータが少ない。そこで、文化遺産サイトに限らず、2011年台風12号で発生した崩壊箇所を対象として分析することとした。2012年から参加した公益社団法人地盤工学会関西支部の委員会「『想定外』豪雨による地盤災害への対応を考える調査研究委員会」での調査結果も含めて以下の成果を得た。和歌山県および三重県（中辺路、大辺路、伊勢路）では南向き斜面、傾斜角35~40、熊野層群と火成岩との境界付近、特に熱水変質等の見られる箇所では相対的にリスクを高く評価できるといえる。

土石流により社殿が埋没した熊野那智大社のある那智川流域を分析したところ、左岸側、右岸側、上流域で崩壊数や最多レンジの傾斜角が異なっており、メカニズムや崩壊規模も、左岸では基岩上に堆積した薄い崩積土や土石流堆積物による土石流発生、右岸では柱状節理の発達した火成岩体への多量の雨水浸透による大規模崩壊発生が多い等、その特徴が異なっていることが分かった(図3)。

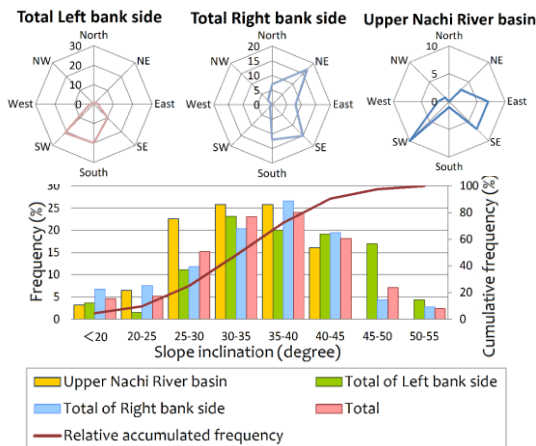


図3 那智川流域の崩壊地の特徴

多点雨量計測では、以下の成果が得られた。山間地での雨量計測は、樹冠通過雨量を計測することになる。開空度と捕捉雨量との相関を分析したところ、概ね正の相関にはなるが、開空度が低くても捕捉雨量が多い箇所が見られ、場の条件の影響が大きいと推察された。開空度の算出範囲は一般に45°とされているが、その範囲を30°にすると、開空度と捕捉率の相関性は向上するため、雨量計直上付近の影響が大きいと考えられた。

斜面崩壊は、樹冠通過雨量と樹幹流が地盤内に浸透して発生する。そこで樹冠通過雨量を各計測地点間で比較すると、南向き斜面と北向き斜面では、崩壊が発生した北向き斜面に恒常的に雨量が大きかった。しかし台風等

の大きな降雨イベント発生時では、両斜面の捕捉雨量の差は小さくなり、逆転する現象もみられた。この結果から、崩壊時の多雨(誘因)よりも、平常時の多雨による風化侵食促進(素因)の方が、崩壊発生への影響が大きい可能性があると考えられた(図4)。

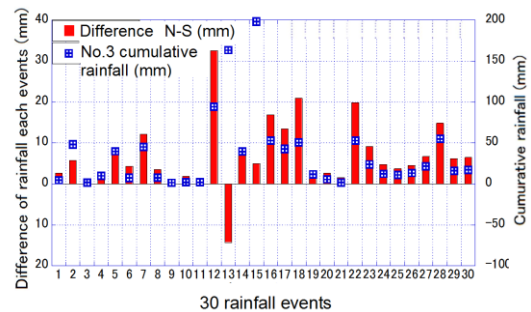


図4 イベント毎の南北斜面の雨量差分

地すべり地では、地質条件の異なる4地点で計測を実施した。3地点は表層地質が強風化泥岩(熊野層群)、1地点は神木流紋岩(火成岩)である。地下水位の変動特性を地質別に分析すると、熊野層群分布域での降雨応答特性は、火成岩分布域より鋭敏であることが確認された。今後、節理の発達や浸透能に着目することで地下水変動特性の予測に貢献する知見が得られる可能性があると考えられる。また、地下水位の下降過程において、ある深度に達すると急激に地下水位が低下する現象が地質の区別なく3地点で確認され、破碎帯の影響が考えられた。地下水位の上昇過程では、降雨量に対して直線的よりは、多項関数的に上昇する傾向が見られた。しかし、観測期間中には崩壊が発生しうるほどの大きな降雨イベントが無かったため、今後、観測期間中に得られた最も高い地下水位より上ではどのような挙動で上昇するのかを確認する必要がある。

2次元FEMによる浸透流および安定解析では、1つの崩壊箇所でも再現計算を実施し、概ね崩壊形状を再現することができた。さらにアメダスと解析雨量を用いた浸透流解析の比較、複数断面での数値シミュレーションを実施し、設定モデルやパラメータの違いにより、安全率の変化状況を分析した結果、数値シミュレーションを予測手法として利用するには、現状では地盤の詳細調査が容易ではないことから現実的ではないことを確認した。数値シミュレーションを危険度予測手法として利用するためには、今後、地盤の情報を簡易に得る技術が必要と考えられる。

### (3) デジタル・アナログ情報提供システムの検討および観光客の情報ニーズ

多様な観光客のニーズに合う最適な情報提供システムの構築を目指し、タイ、京都、和歌山、三重で、3つのアンケート調査を実施した。観光客の現状での防災に対する意識は低く、年齢が低いほどその傾向は顕著に見られた。約半数弱は、観光中に被災する可能

性について考えたとしたが、そのために何か特別な備えをした人は2割弱であった。事前の防災対策としては、避難所の確認や装備品（靴や服装、水や懐中電灯等）の準備、天候の確認等の意見が見られた。災害に備える気がないという意見は少なからずあり、何とかなる、面倒である、その時は不運だと思って諦める等の意見が見られたが、多くの観光客は何をしていいかわからないから備えない、すべきことが明確に分かれば今後はやりたいと回答した。その中で、すべきことがそんなに手間がかからない、負担にならないことであればする、という意見がいくつかあり、「費用対効果」のように、災害に備える準備に必要な手間や時間、費用と、それによって得られる効果、が明示されれば防災対策をしようという人を増やせる可能性が示された。

最終的に横垣峠を対象として、過去の災害履歴、危険箇所、災害時の一時退避場所、林道への避難路を含めたアナログ形式の「観光防災マップ(案)」(図5)を作成した(公開準備中)。また、デジタル形式ではArcGIS Onlineを利用したサイトを2017年6月現在作成中であり、年度内の公開を予定している。



図5 観光防災マップ(案)

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計10件)

①Yuko Ishida, Tsuyoshi Kibayashi, Tatsuo Konegawa, Masamitsu Fujimoto and Ryoichi Fukagawa, INFLUENCE OF ANTECEDENT PRECIPITATION ON SLOPE FAILURES AT THE YOKOGAKI-TOGE PASS, International Journal of GEOMATE, 査読有、Vol. 11、2016、2626-2632  
[http://geomatejournal.com/sites/default/files/articles/2626-2632-5378\\_Yuko\\_Oct-2016-cl.pdf](http://geomatejournal.com/sites/default/files/articles/2626-2632-5378_Yuko_Oct-2016-cl.pdf)

②石田優子、崔明姫、酒井宏平、豊田祐輔、鐘ヶ江秀彦、深川良一、ピクトグラムの認識に関する調査とベイズの定理を用いた正しい避難に有用なワードの分析、歴史都市防災論文集、査読有、Vol. 10、2016、167-174  
[http://r-cube.ritsumei.ac.jp/bitstream/10367/7561/2/dmuch10\\_ishida.pdf](http://r-cube.ritsumei.ac.jp/bitstream/10367/7561/2/dmuch10_ishida.pdf)

③Tsuyoshi Kibayashi, Yuko Ishida, Tatsuo Konegawa, Masamitsu Fujimoto and Ryoichi Fukagawa, SEDIMENT DISASTER RISK EVALUATION WITH THE USE OF SLOPE STABILITY ANALYSIS AT YOKOGAKI-TOGE PASS, Proceedings of Fifth International Conference on GeoMate, 査読有、2015、465-470

④石田優子、木林幹、古根川竜夫、藤本将光、深川良一、熊野参詣道における数値解析による斜面安定性評価のための地盤モデルに関する検討、Kansai Geo-Symposium2015-地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム論文集、査読有、2015、135-140、DOI:10.1201/b17435-318

⑤ M. Fujimoto, K. Kosugi, Y. Ishida, R. Fukagawa and Y. Satofuka, Numerical simulation of a large landslide triggered by Typhoon Talas in central Japan, Proceedings of the 14th International conference of International association for computer methods and recent advances in geomechanics, 査読有、2014、1797-1802

〔学会発表〕(計15件)

①石田優子、山間部の多点雨量計測における樹冠通過雨量と開空度との相関、第51回地盤工学研究発表会、2016.9.13、岡山大学(岡山県岡山市)

②石田優子、山間部における雨量観測データの精度評価、平成28年度(公社)砂防学会研究発表会、2016.5.19、富山県民会館(富山県富山市)

③石田優子、熊野参詣道「横垣峠」における雨量観測に基づく崩壊誘因に関する考察、第50回地盤工学研究発表会、2015.9.1、北海道科学大学(北海道札幌市)

④石田優子、世界遺産「熊野参詣道(横垣峠)」の崩壊地・非崩壊地における多点雨量観測、平成27年度(公社)砂防学会研究発表会、2015.5.21、栃木県総合文化センター(栃木県宇都宮市)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

石田 優子 (ISHIDA YUKO)  
 立命館大学・総合科学技術研究機構・専門研究員  
 研究者番号：50710612

### (2) 研究分担者

藤本 将光 (FUJIMOTO MASAMITSU)  
 立命館大学・理工学部・助教  
 研究者番号：60511508