

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24300303

研究課題名(和文)世界遺産「紀伊山地の霊場と参詣道」における風水害に伴う遺産劣化モニタリングと保全

研究課題名(英文) monitoring and conservation of heritage degradation due to wind and flood damage of world heritage "sacred sites and pilgrimage routes in the kii mountain range"

研究代表者

山本 晴彦 (YAMAMOTO, HARUHIKO)

山口大学・農学部・教授

研究者番号：40263800

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,000,000円

研究成果の概要(和文)：人工衛星データと現地踏査等による参詣道の被害解明では、参詣道の被害解明を実施した。気象観測モニタリングポイントの設置・運用によるリアルタイム気象解析では、リアルタイム気象解析を行い、多雨地域における降水特性を明らかにした。長期間・高密度データセットの作成による豪雨解析では、雨量観測データの入力を行い、1929年からの雨量データセットを完成させ、紀伊山地で発生した豪雨の解析を試みた。林床画像や分光測定による世界遺産「参詣道」の劣化、被害回復の調査・解析では、現地踏査による参詣道の遺産劣化調査・解析に基づき、和歌山県を中心に現地踏査による遺産被害回復の調査を実施した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we conducted four research to obtain research results. 1. Damage analysis of Kumano Pilgrimage Routes in the Kii Mountain Range by satellite data and field surveys, etc., 2. Opening and meteorological data analysis of meteorological monitoring point, 3. The heavy rain analysis by the construction of high-density rainfall data set 80 years in the Kii Mountain Range, 4. Deterioration recovery investigation and analysis of vegetation by forest floor images and spectroscopy.

研究分野：環境情報学

キーワード：世界遺産 紀伊山地 熊野参詣道 風水害 和歌山県

1. 研究開始当初の背景

本研究で対象としている「紀伊山地の霊場と参詣道」は、2004年7月に世界遺産リストの登録された和歌山県・奈良県・三重県にまたがる3つの霊場と参詣道を登録対象とする世界遺産(文化遺産)である。

「紀伊山地の霊場と参詣道」は自然崇拜を起源とする熊野三山、空海が開いた高野山、山岳修行の拠点の吉野・大峯の3霊場と、これらをつなぐ熊野参詣道や大峯奥駈道、高野山町石道の参詣道で構成されている。神道や仏教、修験道が融合した信仰の山々が文化的景観として国際的に顕著で普遍的な価値があると評価され、「道」が世界遺産として登録されている数少ない事例の一つで、その総延長は308kmにも及んでいる。

世界遺産登録後は、国内外からの観光客の急増により、歴史的な「熊野参詣道」の苔類等の林床植生の破壊が徐々に進んでおり、科学研究費補助金 基盤研究B『世界遺産「熊野参詣道」における苔類モニタリングと培養・移植技術による衰退修復(代表者:山本晴彦)』に採択され、平成20~22年度に現地調査を実施し、時間・季節・天候・暦日(平日・土日祝日)の因子から観光客の入り込みと植生の劣化を詳細に分析した。

また、紀伊山地およびその南斜面に位置する本世界遺産は、日本有数の多雨地域(年間降水量3000~5000mm)であり、幾度となく集中豪雨や台風による強風により『風水害』に見舞われてきた状況を、風・雨量解析により明らかにしている。とくに、多雨地域に位置する「紀伊山地の霊場と参詣道」や「屋久島」では、台風や前線による豪雨・暴風により発生する風水害により、世界遺産に大きな影響を及ぼすことが今後も予想されており、遺産劣化の防止・保全が大きな課題であることを、研究代表者は2010年12月に学会誌に発表した。

研究代表者が指摘した翌年、2011年9月、台風12号による豪雨により、霊場や参詣道には甚大な被害が発生した。行方不明者の捜索や土砂ダム・大規模崩落地への対応のため、世界遺産における被害の全容は不明で、復旧の目処が立たない山岳遺産地域も数多く見受けられている。また、和歌山県世界遺産センター(世界遺産熊野本宮館)も浸水被害で事務所の移転を余儀なくされている。

2. 研究の目的

世界遺産は、登録時に存在していた「顕著な普遍的価値」が失われたと判断された場合等、登録が抹消される(すでに2件が抹消)。本研究で対象としている「紀伊山地の霊場と参詣道」は、2011年台風12号に伴う風水害による被害は、抹消までは至らないものの、遺産劣化により「顕著な普遍的価値」が失われつつあることは、研究代表者の予備調査(山本ら、2011)でも明らかである。本研究では、これらの課題を背景とし、『世

界遺産「紀伊山地の霊場と参詣道」における風水害に伴う遺産劣化モニタリングと保全』を実施し、研究成果を世界遺産「紀伊山地の霊場と参詣道」の持続的保全・風水害の遺産劣化の回避の取り組みを地域と協働で実施することを最終目標としている。

3. 研究の方法

(1)人工衛星データと現地踏査等による参詣道の被害解明

2011年9月4日、台風12号により被害が発生した前後の衛星データの購入(大工大)、国土交通省・測量会社等の空中写真の収集・購入(山口大)、参詣道(熊野参詣道、大峯奥駈道、高野山町石道)を踏査調査(共同調査)、三県の研究協力者からの資料提供に基づき、「参詣道」および周辺地域における森林・林床・斜面等の劣化程度を半球型デジタル魚眼レンズを装着した可視画像、および可視・近赤外画像から得られる正規化植生指数(NDVI)画像、分光反射測定によるNDVIスペクトル診断等により、農学と工学が融合した研究手法に基づいて被害程度を調査・解析し、詳細にわたり被害状況を解明する。

(2)気象観測モニタリングポイントの設置・運用と気象解析

台風12号により熊野那智大社では土砂災害が発生したが、研究協力者の宮司・朝日芳英氏は数十年間にわたり、自ら雨量観測を実施している。本研究では、最新の気象観測システムを購入して、那智大社内に設置し、雨量・風向風速・気温・日射量等の気象要素を自動測定して、データをWeb上で閲覧できるシステムを構築する。さらに、本データを利用して、(3)で実施する周辺地域の雨量データとの比較を行い、世界遺産「那智川流域」における風水害の発生の予知・予測技術の開発を行う。

(3)紀伊山地80年間高密度雨量データセットの構築による豪雨解析

世界遺産「紀伊山地の霊場と参詣道」の地域では、気象庁アメダス、国土交通省(川の防災情報)、和歌山県・奈良県・三重県の三県(雨量・水位情報システム)、関西電力株式会社、市町村の雨量計が設置され、リアルタイムで雨量が観測されるシステムが構築されている。しかし、2011年台風12号の通過時の集中豪雨により停電や土砂・洪水災害が発生し、多くの雨量観測データが欠測・Web切断に陥った。ここでは、上記の雨量データを収集・整理し、高密度データセットを作成する。

本地域における既往の大規模な豪雨災害としては、1954(昭和29)年の梅雨前線豪雨が上げられる。気象庁アメダスが整備されたのは1976年であり、それ以前の雨量は区内観測所において実施されている。しかし、この資料は紙媒体として保存され、(財)気象

業務支援センターでは TIFF ファイル形式で販売されてため、デジタルデータとして活用することが出来ない。研究代表者は、平成 18 年度から広島県以西の西中国・九州 9 県の 80 年雨量データベースを開始し、平成 21 年度に完成している。ここでは、和歌山県・奈良県・三重県の三県の 1929 年～1975 年の雨量データを(財)気象業務支援センターから購入し、役務(外注)によりデータ入力を行い、和歌山県の長期間データセットを完成させる。

さらに、1929 年～1975 年までの長期間データセットの完成、さらには 1976 年以降のアメダスデータと統合し、紀伊山地 80 年間雨量データセットを完成させる。データセットに基づき、紀伊山地で発生した豪雨の解析を試み、その特徴を典型的に分類し、豪雨災害の予知・予測に役立てる。「(4)林床画像や分光測定による世界遺産「参詣道」の劣化、被害回復の調査・解析」では、初年度の現地踏査による参詣道の遺産劣化調査・解析に基づき、引き続き、現地踏査(和歌山県内を重点的に実施)による遺産被害回復の調査・解析を行う。

(4) 林床画像や分光測定による植生の劣化回復調査・解析

世界遺産「紀伊山地の参詣道」および周辺地を対象(奈良県内を重点的に実施)に、(1)現地踏査と平行して、森林、林床、周辺傾斜地の画像、分光反射測定を山口大学と大阪工業大学が共同で定期的(3回を予定)に調査を行い、台風災害発生時の平成 23 年 9 月から進めている予備調査結果とも比較して、参詣道・周辺地域の植生等の世界遺産の劣化状況を時間的・空間的に調査・解析を行う。

劣化、被害回復の調査・解析の最終的な取り纏めを行う。得られた研究成果は総合的に分析し、甚大な風水害を受けた「紀伊山地の霊場と参詣道」の持続的保全と風水害の遺産劣化の回避の取り組みを地域と協働で実施する。

4. 研究成果

(1) 人工衛星データと現地踏査等による参詣道の被害解明

解析では人工衛星 RapidEye により撮影された 2 シーンを使用した。RapidEye は太陽同期準極軌道を仕様が同じ 5 機で周回して、周期日数 5.5 日で観測を行うのが特徴であり、2008 年に打ち上げられブラックブリッジ社(ドイツ)により運用されている。受動型の光学センサ[青(Band1; 440-510nm)・緑(Band2; 520-590nm)・赤(Band3; 630-680nm)・レッドエッジ(Band4; 690-730nm)・近赤外(Band5; 760-850nm)]を搭載しており、地上分解能は直下で 6.5m となっている。

崩落地の抽出は小山内ら(2010)23)による粒度指数(GSI)24)と正規化植生指数

(NDVI)を併用した手法を使った。以下、手順を示す。ArcGIS データコレクション 2011 を基準に RapidEye 画像をジオリファレンスする、衛星画像の持つ値を DN 値から地球大気上端反射率に変換する、地球大気上端反射率画像を用いて NDVI 画像、GSI 画像を作成する、自然分類(Jenks)で NDVI 画像、GSI 画像を 2 値化する閾値を決定する、NDVI、GSI のマスク(2 値化)画像を作成する、国土地理院「10m メッシュ(標高)」を用いて傾斜度画像を作成する、傾斜度画像を用いて 15°を閾値にして 2 値化したマスク画像を作成する、RapidEye データに付属する UDM(無効データマスク)ファイルを利用して雲マスクを作成する(どちらかのシーンで無効とされたピクセルを雲域とする)、傾斜マスク、雲マスクを適用した土砂崩落地データを作成する。

災害発生前(2011 年 7 月 10 日)にシーンにおいて、NDVI、GSI が閾値より大きなピクセルを、それぞれ植生域、裸地域とし、植生域より裸地域を除いたピクセルを「災害前植生域」と判定した。さらに災害発生後(2011 年 9 月 14 日)のシーンにおいて、同じく閾値から植生域、裸地域を判定し、裸地域から植生域を除いたピクセルを「災害後非植生域」と判定した。ただし、手順 6)から手順 9)を経て、地形の傾斜度が 15 度以上で両シーンに雲がないピクセルのみを選択し、そのうち災害前植生域から災害後非植生域に変化したピクセルを「崩落地」として最終的に判定した。人工衛星 RapidEye を使った熊野古道の小辺路周辺地域における崩落地の抽出結果を図 1 に、地すべり地形 GIS データを同時に示している。今回 GIS に展開した災害情報共有マップに記録されていた災害箇所 652 箇所のうち、56 箇所が人工衛星 RapidEye による撮影範囲にあり、このうち少なくとも 41 ケ所が抽出された崩落地ピクセル近辺にあった。また、地すべり地近辺で報告された災害箇所は 12 ケ所で、うち 8 ケ所は RapidEye で抽出された崩落地とも重なっていた。

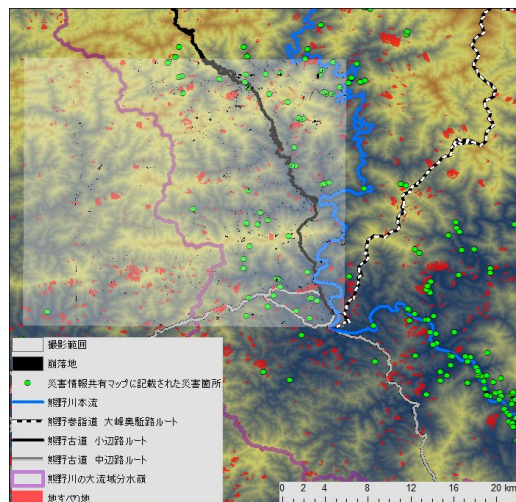


図1 人工衛星データRapidEyeによる熊野古道小辺路周辺地域の崩落地の抽出結果

(2) 気象観測モニタリングポイントの設置・運用と気象解析

図2に本気象観測システムの構成概要を示すが、観測項目は、気温、相対湿度、風向・風速、雨量とし、イーサネットに対応したデータロガー(CR800、Campbell社)で携帯電話データ通信回線を介してこれらのデータを回収することとした。本システムでは、気温、相対湿度、風向・風速、雨量のデータを、携帯電話データ通信回線を介してリアルタイム(10分毎)で回収することとしたが、このデータは、研究における解析のほか、気象情報をなるべく早く公表し、多くの人々が実態を知ること重要であるとの考えから、専用Webサーバを設け、インターネット上で誰でも閲覧できるデータ公開システムとして運用しており、関係機関においても活用されている。



図2 気象観測データのWeb公開システム

(3) 紀伊山地 80年間高密度雨量データセットの構築による豪雨解析

年降水量の時系列的な特徴を見るため、図3に三重県の尾鷲(1926年観測開始)和歌山県の潮岬(1913年観測開始)和歌山(1880年観測開始)奈良県の奈良(1954年観測開始)の気象官署(潮岬、尾鷲測候所は廃止され、特別地域気象観測所に改称)を対象に、年降水量の経時変化を示した。細い線が実測値、太い線が7年の移動平均を示しており、和歌山と奈良はほぼ1,400mm前後と同値であり、奈良では年次間への変動がきわめて小さいことがわかる。両地点とも長期的な降水量の増減傾向は認められない。潮岬に関しては降水量の長期的な増減傾向は見られないが、尾鷲では減少傾向が見えるものの年降水量は約4,000mmで有意差は確認できない。

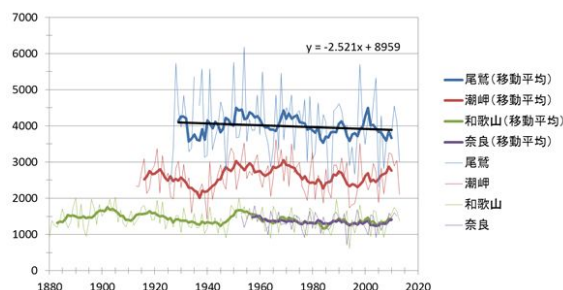


図3 紀伊半島に位置する気象官署(尾鷲、潮岬、和歌山、奈良)の年降水量(mm)の推移

(4) 林床画像や分光測定による植生の劣化回復調査・解析

現地踏査(和歌山県内を重点的に実施)による遺産被害回復の調査を実施した。植生の評価には一般的な植生指数であるNDVIを指標とし、分光放射データから算出したNDVI_{SR}値およびデジタル画像の画像濃度値から算出したNDVI_{IM}により林床コケ類植生の評価を行った。その結果、大門坂では植生が顕著に衰退しており、NDVI値が高いところは人の踏圧の影響の少ない部分であった。一方の円座石では、大門坂に比べ植生の活性が高いことが示されたが、参詣道の中心部分ほどNDVI値が低くなっていることが示された。

NDVI_{SR}値は測定時の光条件の影響を受けやすく、植生の評価には測定方法の改善が必要であることが示唆された。しかし、植生が中植から密植である地点では、NDVI_{SR}値とNDVI_{IM}値の関係に高い相関関係が得られ、デジタル画像を用いた植生評価は有効であることが示された。本モニタリングシステムを用いることにより、世界遺産地域や自然公園地域の遊歩道や登山道における植生のモニタリングおよび評価に適用可能であることが明らかになった。

本研究で得られた3ヶ年の研究成果を、研究代表者が編著者となり、「風水害と観光客の増大による世界遺産の劣化と保全」のタイトルで取りまとめを行い、平成27年度科学研究費補助金 研究成果公開促進費(学術図書)に申請を行った。その結果、申請した学術図書が採択され、平成28年2月末までに書籍(A5版、260頁)として出版されることが決定した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

高山 成・小林北斗・岡田周平・山本晴彦：世界遺産熊野参詣道における風水害とその診断について、日本農業気象学会近畿支部講演論文集、第7号、24-29、2014年(査読無)

〔学会発表〕(計1件)

山本晴彦：平成の風水害 - 地域防災力の向上を目指して -、本農業気象学会 中国・四国支部大会(招待講演)、2014年12月4日~5日、山口大学大会館(山口県、山口市)

〔図書〕(計1件)

山本晴彦、高山 成、岩谷 潔、原田陽子、岡田周平、吉越 恆、小林北斗、森 博隆、立石欣也、山崎俊成、山本実則、野村和輝：風水害と観光客の増大による世界遺

産の劣化と保全、農林統計出版(株)、260p.、
2016年(印刷中)

〔その他〕

ホームページ等

環境情報学研究室ホームページ

<http://yamaharu.agr.yamaguchi-u.ac.jp/>

山口大学 熊野那智気象観測モニタリング

<http://kumano.agr.yamaguchi-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山本 晴彦 (YAMAMOTO Haruhiko)

山口大学・農学部・教授

研究者番号：40263800

(2) 研究分担者

荊木 康臣 (IBARAKI Yasuomi)

山口大学・農学部・教授

研究者番号：50242160

高山 成 (TAKAYAMA Naru)

大阪工業大学・工学部・准教授

研究者番号：40403373