

平成 30 年 6 月 22 日現在

機関番号：82620

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26350384

研究課題名(和文)空間情報データベースによる文化財の災害被害予測の高度化及び防災計画策定への応用

研究課題名(英文) Sophistication of devastation prediction and application for establishment of disaster mitigation plan of cultural properties with spatial information databases

研究代表者

二神 葉子 (Futagami, Yoko)

独立行政法人国立文化財機構東京文化財研究所・文化財情報資料部・室長

研究者番号：10321556

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：国内の文化財に関しては、国指定文化財GISデータベースを更新し、関連のハザードマップを集めた。また、地震ハザードカルテと内陸活断層や歴史地震の情報、地盤増幅率及び地形陰影図を用いて国指定文化財12天守の地震危険度評価を行い、想定される揺れの大きさから特に危険度の高い天守を列挙するとともに、ハザード評価では地形等の要素の考慮も必要だと指摘した。

国外の文化財防災に関する調査では、タイでは洪水を中心とした災害対応とGISデータベース、イタリアでは地震対策及び発生後の対応について、関連の専門家へ聞き取りを行った。

研究成果の概要(英文)：Regarding the cultural properties in Japan, we updated the GIS database of designated national cultural properties, and collected related hazard maps. In addition, we assessed seismic hazard of the 12 national designated castles using the information of the seismic hazard charts (provided by J-SHIS), locations of inland active faults and historic earthquakes, the ground amplification rate and the shading maps. We also listed the highly earthquake-prone castles with the expected ground motion, and pointed out the necessity of adding factors such as topography of the location of each cultural property in its hazard assessment.

As for the surveys in abroad, in Thailand, interviews concerning the responses of national organizations mainly on floods and utilization of GIS database for disaster mitigation were done. In Italy, we interviewed relevant experts on aseismic activities of cultural properties and rescue activities after occurrence of natural disasters.

研究分野：文化財科学

キーワード：文化財防災 GIS データベース 地震

1. 研究開始当初の背景

過去の人々の営為の所産である文化財では、時間の経過による劣化は不可避である。しかし、経年劣化のようなゆるやかな変化だけではなく、災害によって大きな損失を被る例も少なからずある。特に日本は、大雨や台風、地震などの自然災害が多く発生し、また不動産文化財の多くが木造建造物であることから、災害に対して脆弱な状態にある。

日本の国指定文化財建造物の多くが木造建造物であるため、火災に関しては放水銃や火災報知機といった防火設備の設置、防火訓練の実施など対策が進んでいる。また、地震対策としては、文化庁は1999年4月には「重要文化財(建造物)耐震診断指針」を策定し、2005年からは国庫補助事業「重要文化財(建造物)耐震診断事業」が開始されている。国指定文化財の修理の場合には、建造物の耐震性の検討、地震対策としての補強が行われるのが通例である。

しかし、これらの対策は個別処理的なものが多く、策定にあたっての所有者や管理者など関係者間での情報共有や相互のやりとり(リスクコミュニケーション)はまだ十分ではない。また、自然災害は広域かつ複合的に生じることもあり、大雨による洪水や、大雨や地震による地滑りのように、ある災害が別の災害を引き起こすことも多い。そのため、文化財の総合的な防災にあたっては、広域かつ複数の災害への対応の方法を、リスクコミュニケーションのもとに統合して構築することが必要である。

理学の分野では、平成23年3月11日の東北地方太平洋沖地震およびそれに関連する災害の発生以降、原子力発電所の再稼働に関して、地震の規模や発生履歴など詳細な情報の提供が進み、「想定外は許さない」という厳しい姿勢での従来の評価の見直しが行われている。しかし、文化財保護の分野では、地震を含む災害に関する情報が文化財の位置情報と連携され、最新の知見が十分に活用されているとはいえない状況にある。

これからの災害に備え、効率的かつ効果的な文化財の保護を行うには、文化財保護の担当者が、災害に関する情報と連携したデータベースを日常管理のツールとすることが必要であると考えられる。しかし、国や地方で埋蔵文化財を中心にデータベースが構築されている一方、データの更新や日常業務への活用は進んでいない。

さらに、多くの災害に見舞われる他国における災害発生時のデータの共有方法や、災害対応に関する情報に関する知識についても断片的であった。

2. 研究の目的

本研究では、文化財の所在地および属性に関する空間情報データベースと、自然災害、特に地震や地滑り、洪水、台風による文化財の被災履歴、これらに加えて、各機関から提供

されている自然災害の将来の発生予測の情報との連携を通じた、文化財の災害被害の軽減に対する文化財データベースの効果的な活用方法の提案を目的とする。さらに、このような文化財空間情報データベースとの連携により、世界遺産リスト記載への推薦書のような、簡潔でわかりやすい説明が求められる場面においても活用可能な防災計画の策定を目指す。

3. 研究の方法

本研究で目的とする、文化財防災のための地理情報システム(GIS)データベース活用と効果的な災害対策の提案を達成するための具体的な実施項目は以下のようなものである。

- ・全国の災害に関するハザードマップの収集およびGISデータベースによる連携
- ・国指定文化財の被災履歴、災害対策に関する調査
- ・海外での文化財GISデータベースの活用手法、災害対策に関する調査
- ・上記の調査に基づく、文化財防災情報の集積および分析のための国指定文化財GISデータベース構築

4. 研究成果

(1) ハザードマップの収集、GISデータベースの整備

- ・既存の文化財GISデータベースの更新
研究代表者が構築している国指定文化財GISデータベースについて、新指定の文化財の情報を適宜追加し、データを更新した。

- ・災害ハザードマップの収集

全国を網羅した地震や地滑りに関するもの、地方自治体で作成されている洪水に関するものを含め収集した。国土交通省のハザードマップポータルサイトでは、洪水や津波、火山などのハザードマップについて、市町村ごとにリンクをつけて閲覧を可能にしている。ただし、ここで提供されているデータはPDF形式であったため、位置情報を付加してGISで利用可能なシェープファイルに変換する必要があった。そのため、GISソフトウェアによるPDFファイルへの位置情報の付加を試みたが、作業量に比してデータの見やすさや精度に課題が残った。

(2) 海外での事例調査

- ・タイにおける調査

2016(平成28)年1月、タイ・バンコクの政府機関及び政府間機関での災害対応に関する聞き取り調査を実施した。

タイ文化省芸術局では、情報技術室で文化遺産GISの構築及び活用について、建造物部門で収蔵施設等の災害対策について話を聞いた。文化遺産GISには国のリストに登録されている文化財が掲載されており、川からの距離や標高などにより脆弱性が可視化され

るようにはなっているが、同局の考古部門の文化遺産の専門家にも話を聞いたところ、ほとんど GIS は利用されておらず、GIS の防災への積極的な活用は今後の課題であるようだった。建造物部門（文化財収蔵施設や、公共の建物などを伝統的な形態で建てるための設計監理を行う部署）では、バンコク国立博物館の新設される収蔵庫に関して、チャオプラヤー川に近いという立地上の不利を緩和するための工夫について、また、耐震対策の検討の根拠について聞いた。

東南アジア文部大臣機構考古芸術事業（SPAFA）では、2011 年のアユタヤの洪水後に立案中の洪水対策を、歴史公園全体の保全管理計画に組み込む手法について聞いた。

タイの無形文化遺産の保護や振興を役割とする文化省文化振興局では、アユタヤの洪水後に無形文化遺産に関して支援の要否と必要な場合その内容について問い合わせを行ったことを確認した。「無形文化遺産の防災」に関しては、同局の専門家たちは当初は具体的なイメージがわからない様子であったが、東日本大震災その他の災害時における、実践を継続するための担い手への対応を例示したところ、理解いただけた状況がある。なお、その後、文化振興局の専門家は東京文化財研究所の運営費交付金および先方負担により 2017（平成 29）年及び 2018（平成 30）年に来日し、無形文化遺産の防災に関する情報交換を継続している。

・イタリアにおける調査

2016（平成 28）年 10 月及び 2017（平成 29）年 11 月に、イタリアでの聞き取り調査を行った。

2016 年 10 月の調査（ローマ）

ローマ第 3 大学本部において、2016 年 8 月 24 日にイタリア中部のノルチャ付近で発生した地震（イタリア中部地震：Terremoto Centro Italia）の際の、市民防災隊（Protezione Civile）の活動について聞いた。市民防災隊は国の政府機関であるとともに、地方（Regione）や基礎自治体（Comune）ごとに組織され、人のみならず文化財の救援にも対応する。イタリア中部地震では、震源付近の古くぜい弱な建物が多い地域で建物の倒壊が多く発生した。基礎自治体の市民防災隊は、損傷程度の診断を経て、立ち入り可能とされた建物にのみ入って文化財の救出を行うなど、他組織と連携した救援活動を実施したことがわかった。

同大学建築学部では、イタリア中部地震の際の複数の大学の混成チームによる建造物の被害状況調査について聞いた。同学部の Camillo Nuti 教授によれば、2009 年ラクイラ地震（Terremoto dell'Aquila del 2009）などの際に文化財の分野で言われていた、修復部位の損傷程度がオリジナルの部分に比して大きいとの状況は確認されず、梁の追加などにより補強された建物の損傷は小さく、

補強が施されなかった建物は大きく損壊したとのことである。また、ラクイラ地震の後、近隣の学校などの公共施設では耐震補強が実施されたため、イタリア中部地震による被害は限定的であったという。一方、筆者が長期にわたり調査を行っている文化財保存修復高等研究所（Istituto Superiore per la Conservazione e il Restauro, IsCR）による文化財危険地図（Carta del Rischio del Patrimonio Culturale）はその存在も知らなかったとのことであった。以上から、イタリアにおける修復や補強の地震防災上の効果や、文化財 GIS によるハザードマップの、文化財防災及び救援に対する活用の状況について再確認が必要であると考えられた。

国立地球物理火山学研究所（Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, INGV）で、歴史的建造物の地震波への応答に関するモニタリングや、地震発生状況のモニタリング、及び地震発生時の観測データの市民への提供方法について聞いた。INGV には見学可能なモニタリングルームが設置され、交代制で研究者が常駐し、地震発生時には研究者の検討を経たうえで、市民に通知する仕組みとなっているとのことであった。

2017 年 11 月の調査（ローマ、ラヴェッロ）

2017（平成 29）年 11 月 13 日～19 日にイタリアでの聞き取り調査を実施した。

ローマ第 3 大学建築学部において、同学部の Camillo Nuti 教授との打ち合わせを行った。2016 年 8 月 24 日にイタリア中部のノルチャ付近で発生したイタリア中部地震の際の建造物の被害状況調査や、ピサの斜塔の地震対策について、及びイタリアでの文化財レスキュー事業の公的な枠組みについて、東京文化財研究所及び国立文化財機構の関係の専門家も交えて日本での情報共有を行うこととした。

Centro Universitario Europeo per i Beni Culturali（文化財のためのヨーロッパ大学センター）の Ferruccio Ferroggi 氏とラヴェッロに所在する同センターで面会し、同センターの組織の概要について、及び文化財防災に関連して、伝統的な建造物防災手法の調査などの取り組みについて話を聞いた。

(3) 文化財 GIS データベースの活用、文化財の地震等ハザードの評価

・ Google Map による活断層と文化財及び文化財収蔵施設の位置を示す試み

2016（平成 28）年 4 月に発生した熊本地震に関連して、Google Map を用いて内陸活断層と熊本県、大分県の文化財及び文化財収蔵施設の位置を示す地図を作成し、被害の有無や支援の必要性について検討するための資料とした。

・ 国指定文化財 12 城の地震ハザードカルテによる危険度評価

天守は地域のランドマークであり、災害に

よる損傷が被災住民の心理にも大きく影響する。しかし、江戸時代以前に築城され、天守が現存する国内 12 の城のうち、耐震補強などの地震対策が完了しているのは姫路城のみにとどまり（東京新聞 TOKYO WEB 2016 年 7 月 2 日付）地震対策は喫緊の課題である。そこで、国宝・重要文化財に指定されている 12 の城と平成 28 年熊本地震で被災した熊本城（再建天守）について、地震危険度・地震活動・地盤条件・地形を比較可能な形式で示すこととした。

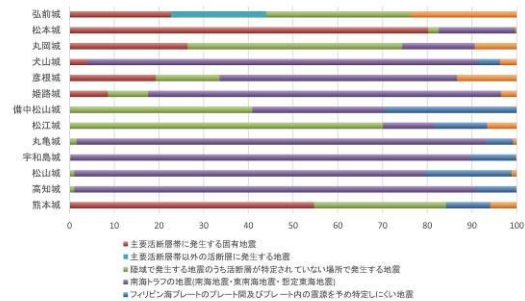
まず、防災科学技術研究所が公開している「地震ハザードカルテ」を用いて、地震危険度評価の比較を行った。工学的地盤上での最大速度、最大速度、最大震度は、評価基準日から 30 年間に 6% の確率で見舞われる値である。この確率値 6% は、再現期間としてはおよそ 500 年間に対応し、築城から 400 年程度の天守の評価には適当な指標である。また、地盤増幅率とは、大型構造物を設置する場合の基礎となる工学的地盤（平均 S 波速度 400 m/s）の揺れに対する、地表から深さ 30m までの表層の地質構造による増幅率である。

表 1 地震ハザードカルテに示された 12 天守の地震ハザード関連情報（都道府県コード順）

城名	指定	工学的地盤上最大速度 (cm/s)	地盤増幅率	最大速度 (cm/s)	最大震度	10 万年相当平均震度
弘前城	重文	22.0	1.18	26.1	5 強	6 強
松本城	国宝	114.3	1	114.4	6 強	7
丸岡城	重文	22.9	1.32	30.2	5 強	7
犬山城	国宝	58.3	0.89	52.1	6 弱	6 強
彦根城	国宝	45.4	0.57	25.8	5 強	6 強
姫路城	国宝	42.2	1.32	55.8	6 弱	7
備中松山城	重文	38.3	0.57	21.8	5 弱	6 弱
松江城	国宝	19.7	1.59	31.3	5 強	7
丸亀城	重文	74.3	1.24	92.4	6 強	7
宇和島城	重文	99.9	0.57	56.9	6 弱	6 強
松山城	重文	73.5	0.91	66.8	6 弱	7
高知城	重文	116.0	1.26	145.9	6 強	7

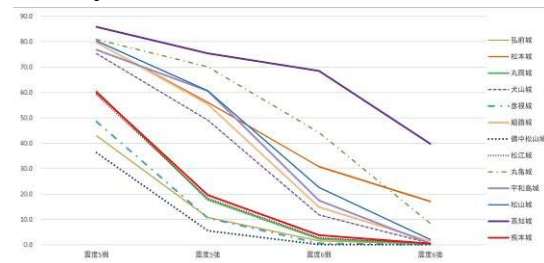
これらの評価結果から地震の危険度が特に高いと評価されるのは、丸亀城、高知城、松本城となる。丸亀城と高知城は、2030 年頃に次の地震の発生が予測されているプレート境界型の南海トラフの地震の想定震源域に近いこと、また、松本城は前回の活動（西暦 762 年もしくは 841 年）からの経過時間が、活断層の研究で明らかとされた平均的な活動間隔の 600 年～800 年を超えている糸魚川・静岡構造線活断層帯を成す松本盆地東縁断層への距離が 2 km と近いことが理由である。一方、やはり南海トラフの地震の想定震源域に近い宇和島城は、上記の期間及び確率において、実際の表層地盤の状態を考慮しない工学地盤上での最大速度は、丸亀城の 74.3 cm/s よりも大きく 99.9 cm/s であるものの、地盤が堅固な山地に位置し地盤増幅率が

0.57 と比較的低いため、震度は 6 弱と小さく見積もられている。ただし、地震ハザードカルテの空間解像度は天守に対してやや粗いため、微地形の詳細な再区分は必要なことには留意する必要がある。



グラフ 1 30 年震度 6 弱以上の超過確率に対して影響の大きい上位 3 地震

各城の所在地において 30 年間に震度 6 弱以上の地震を被る確率に対して影響の大きい上位 3 地震を示す（グラフ 1）。弘前城や松本城、熊本城などでは、内陸の主要活断層帯に発生する固有地震の影響が大きい。一方、プレート境界型の東海・東南海地震の影響が大きいのが四国の各城や犬山城、姫路城などである。



グラフ 2 震度別 30 年超過確率

また、各地点で今後 30 年間に被ると予想される地震動について震度別の確率（グラフ 2）を見ると、高知城が震度 6 強で 39.8% と最も高く、次いで松本城が 17.1% で、震度 5 強での確率が 50% を超える城は半数の 6 件を数えた。

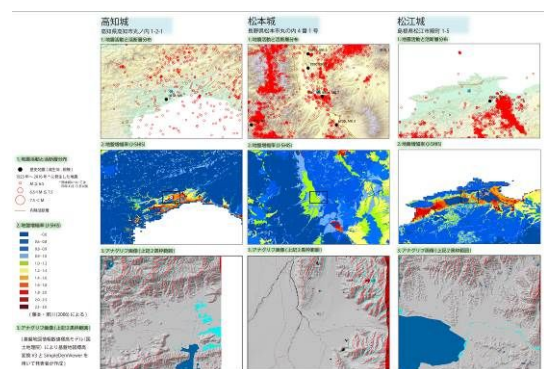


図 1 城別の情報（高知城、松本城、松江城）

各城について地形陰影図、地盤増幅率、ア

ナグリフ画像を作成、地形陰影図上に地震活動と内陸活断層の分布を表示した。その一部を図1に示す。地震活動と内陸活断層の分布を見ると、松本城などでは所在地付近で地震が多く発生している。松江城では、1923年以降に発生した地震や歴史地震は比較的少ないものの、宍道断層が近傍に存在するのは、熊本城の布田川断層と似た地震環境であると言える。

また、地盤増幅率は表層地盤が堅固であると低く、軟弱であると高くなることから、湖のほとりに位置する松江城や、扇状地に分類される丸亀城などで値が高くなっている。ただし、地盤増幅率も250mメッシュの情報であるため、特にメッシュの境界付近では値が必ずしも実際の地盤を反映していないことがある。そこで、アナグリフ画像により、所在地とその周辺の地形情報を示すことで、地滑り等地震と関連して発生する恐れのある地盤災害についても確認することができることを示した。今後は、このような複数の情報を組み合わせることで、地震ハザードを適切に把握し、地震対策を策定する必要がある。

(4) 成果公開

2015(平成27)年10月22日-23日に神戸大学文学部で開催された国際会議「文化財防災体制についての国際比較研究」において、「文化財の地震危険度評価とその活用 - 文化財GISデータベースによる - 」と題して報告を行った。報告では、これまでに行った文化財GISデータベースの構築とハザードマップとの連携、現在ウェブ等で公開されているハザードマップの活用及び地域の文化遺産を把握する取り組みについて紹介した。また、イタリアで構築されているCarta del Rischio del Patrimonio Culturale(文化財危険地図)に関するCarlo Cacace氏(保存修復高等研究所)の発表について、文化財保護制度のわが国の状況との差異に関連してコメントした。

東北芸術工科大学で開催された日本文化財科学会第34回大会に参加し、6月10日・11日の両日、ポスターセッションでの研究成果発表「国指定文化財12城の地震ハザードカルテによる危険度評価」を行った。

2018(平成30)年1月28日~2月2日、Camillo Nuti教授(ローマ第3大学建築学部)を日本に招へいし、1月29日、31日に東京文化財研究所、京都国立博物館でそれぞれ話題提供を行った。このうち、京都国立博物館では「アマトリーチェでの2016年8月の地震の際の建造物の損傷、及びイタリア文化財省のレスキュー組織」と題し、話題提供のほか文化財防災ネットワーク推進事業関係者との意見交換を行った。

(5) まとめと今後の課題

文化財防災においてはまず、文化財の所在地の情報(位置、周辺環境、被災履歴等)を

把握することが必要である。特に、位置情報が利用可能な状態で把握されてさえいれば、それを手がかりとして各種のハザード情報を取得可能である。一方、ハザードマップについては、それ自身が他のデータと連携することなく完結したものになっている場合、GISで直接利用しやすいデータ形式ではなく、全国を対象にしてデータ変換し網羅するのは現実的とはいえなかった。一方で、観測地震・歴史地震、地形陰影図、地震ハザードカルテといった、GISで利用可能な形式で全国について整備されているデータを用いることで、過去の情報を参照しつつ、将来の地震被害について考え対策を講ずるための情報を、視覚的に示すことができた。学会発表では、地形や立地、過去の地震情報と組み合わせると、各文化財のハザードの状況がわかりやすいとの感想が多く聞かれた。確率論的地震危険度評価のみの情報では、専門家以外にはハザードを評価することは難しい - 確率が低くても地震の危険はあるとされれば、値の高低の意味に疑問を感じる - ため、このような取り組みの継続・拡大が必要であろう。

海外の事例に関しては、タイ、イタリアとも、データベースを構築する側と、そうではない文化財研究者・実務者との間で、GISの利用価値に対する評価が異なっていた。このような、データベースによる調査研究がとかく「机上の空論」と思われがちな状況は日本でも同様と言えるだろう。一方で、イタリアにおいては、文化財プロパーの研究機関とは異なる分野の研究者との情報交換によって、地震対策の有効性や、災害発生時の情報提供、救援体制の構築など、これまでになかった情報を得ることができ、タイでは、文化財やその収蔵施設の洪水や地震への対応について知ることができた。イタリア、タイそれぞれの国の研究者や実務者との情報交換・交流を継続できたことは、文化財防災一般にとって有意義であったと言え、今後もこのような交流を続けることで、互いに成果が得られるものと期待する。

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 1件)

・二神葉子「文化財の地震危険度評価とその活用 文化財GISデータベースによる」『国際会議「文化財防災体制についての国際比較研究」報告書』神戸大学 pp.18-23 2016.3

〔学会発表〕(計 5件)

・二神葉子「文化財の地震危険度評価とその活用 文化財GISデータベースによる」国際会議「文化財防災体制についての国際比較研究」神戸大学文学部 2015.10.22
・二神葉子「国指定文化財12城の地震ハザ

ードカルテによる危険度評価」 日本文化財
科学会第 34 回大会 東北芸術工科大学
2017.6.10-11

・二神葉子「文化財情報のデータベース化と
防災、減災への活用」 文化財を災害から守
る 3 文化財の記録と継承 文化財を守り、
伝えるために (招待講演) けいはんなオ
ープンイノベーションセンター
2018.10.28

・Camillo Nuti: Leaning Tower of Pisa:
uncertainties reduction for seismic risk
assessment through dynamic monitoring,
site response analysis and soil-structure
interaction modelling. ピサの斜塔の地震
対策について 東京文化財研究所
2018.1.29

・Camillo Nuti: Damage patterns in the town
of Amatrice after August 24th 2016 Central
Italy earthquake. 文化財防災体制構築に関
する研究会 (招待講演) 京都国立博物館
2018.1.31

6. 研究組織

(1) 研究代表者

二神 葉子 (FUTAGAMI, Yoko)

研究者番号: 10321556