

(様式D-2)
(別 紙)

令和 4 年度 海外派遣研究員研究報告書

令和 4 年 1 0 月 2 0 日

日本大学理事長 殿
日本大学学長 殿

所 属 文理学部 (自然科学研究所)
資格・氏名 教授・藁谷 哲也

令和 4 年度海外派遣研究員 (短期 B) の研究実績を、下記のとおり報告いたします。

記

- 1 区 分 短期 B
2 研究課題

熱による石造文化遺産の風化と保全に関する調査

- 3 派遣期間 2022年 8月19日 ~ 2022年 9月 9日
4 派遣先 スペイン・ポルトガル
5 研究目的

地中海沿岸諸国には、貴重な石造文化遺産が多い。しかし、近年の地球温暖化に伴う気温上昇や湿度低下は、日射による石造文化遺産の劣化速度に強いインパクトを与えると指摘される。筆者は、2022 年度までに日本地球惑星科学連合と欧州地球惑星科学連合の国際共同セッションのコンビーナとして「Geomaterials in cultural heritage」を企画してスペイン、イタリア、フランス、ポーランドの研究者らと石造文化遺産の風化に関する議論を行い、石材表面温度が最高値に達する高温・乾燥した夏季に現地調査することの重要性を認識した。

そこで本研究では、地中海に面するスペイン南部とポルトガルを中心として、石造文化遺産の劣化状況を主に石材の熱破砕の観点から調査する。とくにスペイン南部・アンダルシア地方には、8 世紀から 15 世紀にかけて数多くの石造建築物が建設され、世界遺産に認定されているものも多い。そこで、スペインとポルトガルにおける 8 世紀以降の石造文化遺産を対象に石材の岩種、表面形状、風化形態、風化生成物、風化深度、含水状態、方位など風化指標の計測と表面温度の計測を行ってそれらの関係について検討する。本研究では、おもに現状の石材の劣化状態を調べることに加え、スペインの地形研究者と石材の熱破砕や地形・地質環境に関して意見交換することを目的とする。

(様式D-2)

6 研究概要

本研究では、おもにスペイン南部・アンダルシア地方のグラナダやセビーリヤなどにおいて、ムスリム支配の下で建築され、その後キリスト教徒による増築、改築などが行われた宮殿・大聖堂・城砦などの石造文化遺産について調査した。調査は主に建築物を構成する石材の風化状態や保全状況、および石材表面温度の計測である。なお、スペイン南部には、ローマ帝国時代の遺跡も大規模に残っていることから、石造のそれら文化遺産についても併せて調査した。一方、ポルトガルのリスボンやポルトなどには、キリスト教徒によって建築された石造文化遺産が点在する。このため、ポルトガルでもスペインと同様に石材の風化状態や保全状況、および石材の表面温度について調査した。これら主な調査地点は、表1に示した28か所である。

それぞれの石造文化遺産における石材の風化状態や保全状況の調査は、目視による観察と簡易計測を主としている。また、石材の表面温度計測ではサーモグラフィカメラ FLIR C5 (解像度 160×120, 19200 ピクセル) を使用した。

マドリッド自治大学 (Universidad Autónoma de Madrid) のゴメス (M. Gomez-Heras) 教授は、研究目的に述べた日本地球惑星科学連合と欧州地球惑星科学連合の国際共同セッションのコンビーナの一人である。ゴメス教授は近年、石材の熱破砕について精力的に研究を進めている。そこでマドリッドにあるゴメス教授の研究室を訪問し、石造文化遺産に対する熱破砕の可能性と温暖化の影響、石材保全、およびスペインの地形・地質環境などについて意見交換した。

表1 調査対象とした建築物の名称と位置

名称	現地名	場所	名称	現地名	場所
1 メスキータ	Mezquita-Catedral de Córdoba	コルドバ	15 セビリア大聖堂	Catedral de Sevilla	セビーリヤ
2 ローマンブリッジ	Roman Bridge of Córdoba	コルドバ	16 アルカサル・デ・セビーリヤ	Real Alcázar de Sevilla	セビーリヤ
3 カラオーの塔	Torre de la Calahorra	コルドバ	17 セビリア闘牛場	Plaza de toros de la Real Maestranza de Caballería de Sevilla	セビーリヤ
4 ザフラ-宮殿	Medina Azahara - Conjunto Arqueológico Madinat al-Zahra	コルドバ	18 イタリア考古学複合施設	Conjunto Arqueológico de Itálica	セビーリヤ
5 アルハンブラ宮殿	Alhambra	グラナダ	19 イタリアのローマ劇場	Ancient Roman theatre of Itálica	セビーリヤ
6 ナザリー宮殿	Nasrid Palaces	グラナダ	20 ジェロニモス修道院	Mosteiro dos Jerónimos	リスボン
7 アルカサバ・デ・グラナダ	Alcazaba de Granada	グラナダ	21 アルコ・ダル・アウグスタ	Arco da Rua Augusta	リスボン
8 サクロモンテ洞窟	Museo Cuevas del Sacromonte	グラナダ	22 ポルト大聖堂	Sé do Porto	ポルト
9 グラナダ大聖堂	Catedral de Granada	グラナダ	23 カルバオ改札	Postigo do Carvão	ポルト
10 ヒブラルファロ城	Castillo de Gibralfaro	マラガ	24 ノッサ・セニョーラ・ド・オ礼拝堂	Capela de Nossa Senhora do Ó	ポルト
11 アルカサバ・デ・マラガ	Alcazaba de Málaga	マラガ	25 クレリゴス教会	Igreja e Torre dos Clérigos	ポルト
12 エンカルナシオン大聖堂	Catedral de la Encarnación de Málaga	マラガ	26 サンティシマ・トリンダーデ教会	Igreja da Santíssima Trindade	ポルト
13 バブアルバー	Bab Al Bahr (باب البحر)	タンジエ	27 アルマス聖堂	Capela das Almas	ポルト
14 ランドポート	Landport Tunnel	ラリニア (ジブラルタル)	28 サンティアゴ・デ・コンポステーラ大聖堂	Catedral de Santiago de Compostela	サンティアゴ・デ・コンポステーラ

7 研究結果・成果

【石材の風化状態や保全状況】

研究対象とした建築物や遺跡の建築年代は、年代不詳のサクロモンテ洞窟などを除けば BC3~AD19C におよび、きわめて長期間の建築年代を有している。また、建築

(様式D-2)

に用いられた材料も自然石(礫)をそのまま利用したものや、切り出してブロック状に加工したもの、あるいはレンガやモルタルなどの人工物と多様である。そこでここでは、石材の放射温度を計測したおもな建築物や遺跡を取り上げて報告する。

調査対象とした最も古い遺跡は、BC206につくられた。この遺跡はイタリアの考古学複合施設(Conjunto Arqueológico de Itálica)と呼称され、セビリアの北西約9km、グアダルキビル川右岸に位置している。建築にはレンガ・石灰岩・花崗岩などの建築材料が利用されているが、円形劇場跡(Anfiteatro Romano)の壁面には多孔質で貝殻片を含む石灰岩がおもに利用されている。この石灰岩は一辺50cm以上のブロックに成形されている。石灰岩ブロックからなる壁面の基部やブロック表面には、多数の小穴(直径10-15cm)が発達し、かなり風化が進んでいるようである。また、おそらく壁面上部のブロックも風化が進んでいたと考えられるが、そのような風化部分はモルタルブロックに置換され、修復されている。

マラガ要塞(Alcazaba de Málaga)は地中海に面し、8世紀に建築され18世紀まで利用されたムーア様式の要塞である。マラガは平均気温12.1-26.0℃で、年降水量は526mmである。要塞を構成する城壁の建築石材は、人頭大程度までの塊状の角礫(自然石)で所々にレンガを挟在させモルタルで接着している。このような自然石の風化は、あまり顕著ではない。しかし、要塞内部の宮殿の砂岩柱では、床から高さ約50cmまでの基部に小穴が多数発達しているものがある。とくにその小穴は、日陰部分に発達しているようである。このような柱基部の風化は、マラガのエンカルナシオン大聖堂(Catedral de la Encarnación de Málaga)の壁面でも認められ、乾湿風化や塩類風化に起因すると推測される。

サンティアゴ・デ・コンポステーラの大聖堂(Catedral de Santiago de Compostela)は、スペイン東岸の大西洋から55km内陸の標高251m、ガリシア地方に位置する。11世紀に建築されたロマネスク様式の教会である。建物表面はおもに花崗岩ブロックからなるため、表面の風化は顕著ではない。

グラナダ要塞(Alcazaba de Granada)は、地中海から約46km内陸の標高約770mの山頂部に位置する。平均気温6.5-25.3℃で、年降水量365mmと寡少である。要塞は13世紀に建築され、世界遺産に認定されたアルハンブラ宮殿の北東縁にあたる。要塞の城壁は、人頭大の自然石とレンガが用いられ、それらがモルタルで接着されている。自然石はレンガに比べて風化抵抗性が大きいことから、壁面ではレンガやモルタルの劣化が顕著である。なお、ナスル宮殿(Nasrid Palaces,アルハンブラ宮殿)は壁面や天井にタイルやスタッコ(凝固材になる硬質な粘土や大理石の粉などを石膏に混ぜた塗り仕上げ用の漆喰)などで装飾(例えば、ムカルナス装飾)され、床面を除けば自然石が用いられている部分はあまりないようである。

クレリゴス教会(Igreja e Torre dos Clérigos)はポルトガル・ポルトに位置するバロック様式の教会で18世紀に建築された。教会は大西洋に流れ込むドウエロ川河口から約5km上流の標高81mに位置する。ファサードはもちろん高さ75.6mの鐘塔も一辺約1mの花崗岩のブロックを積み上げて建築されている。このため、石材の

(様式D-2)

[7 研究結果・成果 (つづき)]

風化は変色を除けば顕著ではない。花崗岩本来の色は不明であるが、鐘塔の石材表面は灰色がかっており変色している可能性がある。

風化研究では、建築物の年代と風化量から石材の風化速度を求める手法がとられることがある。本研究でも当初は同様の手法をとることを想定していたが、分析対象とする石材の設置年代が不明であることから風化速度は求められなかった。

【石材の表面放射温度】

石造文化遺産の熱破砕については、これまで火を用いた石材の室内実験例が多い。文化遺産は、しばしば紛争や火災の影響を被るためである。これに対して本研究では、日射による温度変化による石材の熱破砕のリスクについて新たな知見を得るため、調査対象とした石造文化遺産の放射温度を計測した。その結果、グラナダ要塞の日向の城壁を構成するレンガで、48.9℃の最高温度（計測時刻 8 月 23 日 12 : 20）が得られた。城壁は自然石の他、レンガ、モルタルなどを材料としており、建築材料によって表面温度は異なっていた。この城壁の最低温度は、自然石で 32.5℃であることから、城壁全体の温度差は約 16℃であった。マラガ要塞の城壁でも、モルタル部分で 43.5℃の最高温度（8 月 25 日 12 : 44）が計測され、次いでレンガ 42.7℃、自然石 42.0℃であった。マラガ要塞における城壁の温度差は、レンガの最高温度と自然石の最低温度の差から得た 8.0℃であった。このように城壁の構成物では、レンガやモルタルなど人工物の表面温度が高く示され、自然石の温度は相対的に低かった。

石造文化遺産の表面構成物質が自然石となっている事例として、イタリア考古学複合施設を構成する多孔質の石灰岩ブロックでは最高 40.0℃、最低 33.2℃（8 月 30 日 12 : 49）で温度差は 6.8℃であった。また、セビリア大聖堂 (Catedral de Sevilla) ファサードの大理石ブロックでは灰色石材で 39.1℃、白色石材で 32.9℃の最高温度（8 月 29 日 16 : 47）がそれぞれ計測された。これらファサード全体の石材における温度差は 9.3℃であった。これら計測値はいずれも日向の石材の計測値であるが、コルドバのメスキータ (Mezquita-Catedral de Córdoba) では日向と日陰でそれぞれ 42.7℃、35.2℃が計測され、温度差は 7.5℃であった。

一方、花崗岩ブロックからなるクレリゴス教会の外壁では、日向で最高温度 35.1℃、最低温度 23.0℃を計測（9 月 3 日 16 : 51）し、温度差は約 12℃であった。また、日陰のブロックでは最高 17.5℃、最低 16.3℃であり温度差は小さい。このように日向における石材（壁面）の温度差は一般に大きく、日陰の石材（壁面）の温度差は小さい。この傾向は、サンティアゴ・デ・コンポステーラ大聖堂ファサード（花崗岩ブロック）で得られた温度差 0.8℃（9 月 4 日 14 : 24）が小さいことから示される。

熱破砕は石材ブロックの岩種、熱物性、温度上昇・降下速度の他、石材の設置環境によって異なる。このため計測結果だけで熱破砕の可能性を推測することは困難であるが、ゴメス教授との意見交換でも石造文化遺産壁面における暑熱環境を推測するための基礎的なデータを取得することができたと考えられる。

以 上