

遺跡や歴史的建物における文化財保存のための環境制御

京都大学 小椋 大輔

1. はじめに

人類の文化的活動によって生み出された有形・無形の文化財は人類の貴重な財産である。文化財の中で、有形の文化財の劣化は、物理的環境の及ぼす影響が大きく、劣化の進行を抑制するために、適切な環境を作り、維持することが必要である。

博物館・美術館に収蔵・展示される美術工芸品等の文化財は、例えば IIC（国際文化財保存学会）、ICOM（国際博物館会議）、ICCROM（文化財保存修復研究国際センター）、ASHRAE（米国暖房冷凍空調学会）などで室内温湿度の環境のガイドライン^{1), 2), 3)}が設定され、国内では文化庁の指針⁴⁾として温湿度の基準が定められ、適切な環境制御が一般的に空調等によって行われている。

一方、遺跡や歴史的建物の中にある文化財は外界気象や周辺地盤の影響を大きく受けて劣化が進行するが保存のための環境の基準は特に設けられていない。従来、遺跡等の保存対策としては、化学的保存処置である合成樹脂で固めることが多く行われてきていた⁵⁾。

近年は、文化財保存における動向としては、1980年代から「予防的保存（preventive conservation）」が叫ばれ、現在の世界の保存の考え方は、まず文化財である資料に手を加えない保存環境作りが中心におかれ、手を加えないと資料が保存できない場合に修理を行うような考え方になってきている⁶⁾。

この考え方は博物館等の文化財を中心として展開してきているが、近年、遺跡等の保存に関する研究や保存対策の検討において、この理念や技術が採用されつつある⁵⁾。ただし、適切な保存対策を検討するためには、まず遺跡の劣化現象に、外界や周辺地盤の物理環境がどういうメカニズムで影響を及ぼしているのかを理解する必要がある、そこで生じている熱や水分等の移動を定量的に検討する手法として数値シミュレーションの活用がある。ただし、数値シミュレーションを踏まえて保存対策に活かす事例は未だ少ない。

今後、遺跡や、歴史的建物の中にある文化財を対象として「予防的保存」即ち「環境を制御する保存」による対策の検討の必要性は、気候変動問題を考えると益々高まると考えられる。筆者は2007年の高松塚古墳の石室解体時における空調について東京文化財研究所から依頼を受け、銚井修一・京都大学教授（当時）と共に関わらせて頂いたのが、文化財保存に関わるきっかけであった⁷⁾。その後、高松塚古墳劣化原因調査検討会におけるカビ発生に関係する現地での石室温度上昇の要因を、過去の記録や採取可能な材料の物理的特

性を考慮して熱水分同時移動理論を用い数値シミュレーションにより明らかにしてきた⁸⁾
-¹⁰⁾。そこで用いられた解析手法を元に、筆者らが関わってきた装飾古墳（釜尾古墳）と歴
史的建造物（ハギア・ソフィア大聖堂）にある壁画を対象とした研究事例を通じて環境制
御による文化財保存について考える。

2. 釜尾古墳の装飾壁画の保存のための環境設計¹¹⁾

古墳の石室内の石材表面に彩色や彫刻が施されているという特徴を持つ「装飾古墳」は
4～7世紀を中心に造られた古墳の一形態であり、全国で約600基存在し、これらは現地
保存され、コロナ禍以前にはいくつかの装飾古墳では定期的に公開されていた。熊本県熊
本市釜尾町に位置する釜尾古墳は、1769年に発見され、6世紀に築造されたと推定される
装飾古墳である（図1）。古墳内の石室には鮮やかに彩色された装飾壁画があり（図2）、
1921年に国の史跡に指定された。

この古墳は天井石や積石の崩落が生じたことから、1967年に改修工事が行われ、コンク
リートドームで墳丘が再現され、入口に金属扉が設置され現在の姿となった（図1、図3）。
以前は一般公開を行っていたが、現在は、装飾壁画の劣化の危惧により熊本市教育委員会
が判断して一時的に閉鎖状態にある。劣化の原因は長期的に結露水の流下や浸透雨水の落
下が生じることによる顔料の流出と考えられる。

ここでは、釜尾古墳石室内の装飾の劣化原因と推定される装飾表面の濡れのメカニズム
を、明らかにした上で、今後の釜尾古墳において保存・公開の面から適切であると考えら
れる保存施設の改修方法の提案を行うことを目的として以下の検討を行った。

- 1) 一年以上に亘る温湿度計測を石室内、また屋外で行い、季節毎に現地調査を行って
石室内の結露等の濡れ挙動の分析を行った。
- 2) 古墳の石室内温湿度と濡れ性状を熱水分移動解析モデルによる数値シミュレーショ
ンにより再現性を確認し、季節による温度分布の違い（図4）などを考慮し結露発



図1 釜尾古墳の概観 (2013年10月 筆者撮影)



図2 石室内の様子 (2013年10月 筆者撮影)

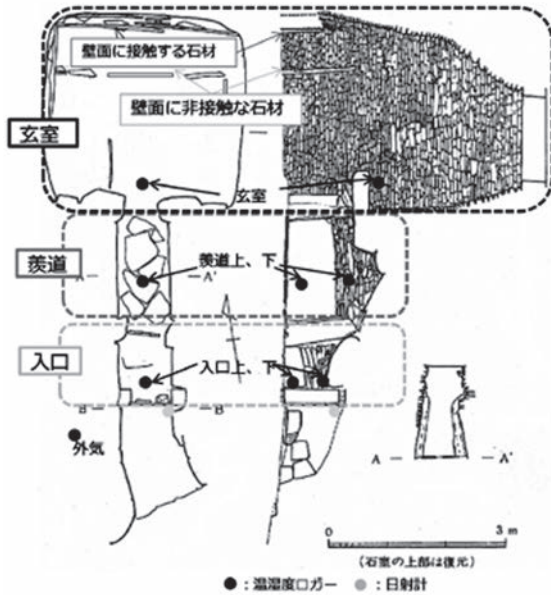


図3 釜尾古墳の保存施設の平面図と断面図

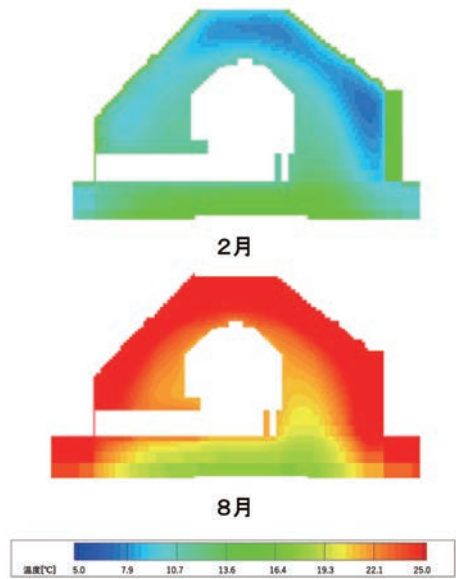


図4 釜尾古墳の石室内温度分布

生のメカニズムを明らかにした。

3) 結露発生メカニズムを踏まえて、この古墳の保存施設の改修方法について、玄室天井部の防水処理に加え、鉄扉の日射遮蔽を行い、墳丘部を断熱する方法を提案した。

ここで得られた成果は、釜尾古墳を維持管理している熊本市の担当者に対して筆者らにより2016年3月に報告した。しかし、その直後に、釜尾古墳は熊本地震（2016年）により被災した。熊本市は「古墳の復旧方法等に対する意見聴取委員会」を2017年4月に立ち上げ、釜尾古墳をはじめとした熊本市内の被災古墳の復旧について検討が進められている。筆者は、その委員を務めている。被災時における一時保存対策や、今後の保存施設の復旧や改修対策も環境制御も重要であり、これまでの研究成果を踏まえつつ検討が行われている。

3. ハギア・ソフィア大聖堂の壁体の雨水浸透が壁面に及ぼす影響^{12),13)}

トルコ・イスタンブールにあるビザンティン建築を代表するハギア・ソフィア大聖堂では、建物の内壁にモザイクやペイントといった壁画が描かれているが、建物上層の第2コーニス（図5、図6）で塩類風化による壁画の劣化が生じている。この主たる要因と考えられる雨水浸透が壁画の劣化に及ぼす影響を明らかにし、その保存対策を提案することを目的として、塩の結晶化に大きく影響する壁内の水分の蓄積や蒸発など、壁体内の熱水分挙動に及ぼす環境因子や壁体構成の影響について検討してきた。

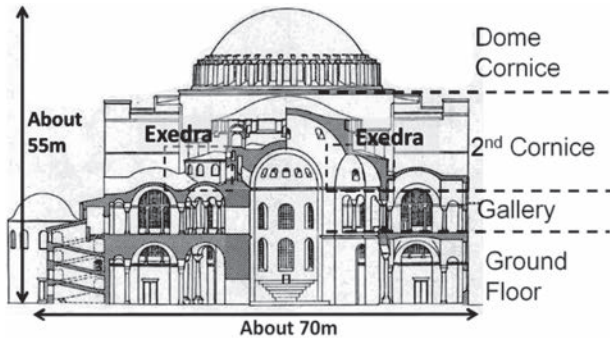


図5 ハギア・ソフィア大聖堂の断面図 (Mainstone (1988)¹⁴⁾ の図を元に作成)

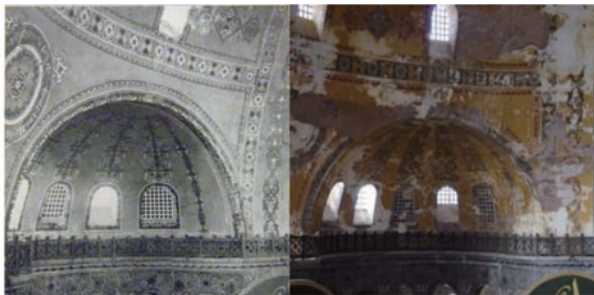


図6 第2コーニスの北西エクセドラの壁画の劣化の進行 (1907年 (Antoniades 撮影)¹⁾、2012年 (著者ら撮影))

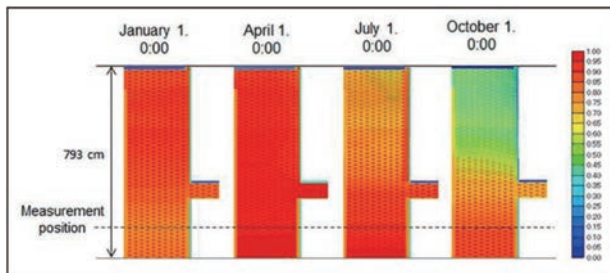


図7 北西側エクセドラの壁体内の水分飽和度の数値シミュレーション結果

現地調査により、大聖堂内部の各部での温湿度計測に加えて、第2コーニスの壁表面の含水率を測定し、建物形状の凹部となる部位で含水率が高く、方位による違いもあること、また含水率と劣化の程度に高い相関関係があることがわかった。

現地で採取した壁の材料に対して測定を行った物性値壁体構成を考慮して熱と水分の同時移動の2次元数値シミュレーションモデルを開発し(図7)、壁体表面の含水率の再現性を確認した。その上で、複数のパラメータを変数に検討を行った結果、壁体の含水率上昇に対して①壁体での結露の可能性が非常に小さいこと、②大きな屋根に降った雨の壁面での流下が大きな影響を及ぼしていること、また③吹き降り雨もある程度壁体含水率の上昇に影響を及ぼしていることを定量的に明らかにした。

数値シミュレーションを用いて適切な水の浸透抑制策を検討し、材料内部の含水率を高めない方法として、水蒸気の透過を変えずに

液水の浸入を抑制できる材料が最も適切な対策となることを提案した。得られた成果は、ここを維持管理するアヤソフィア博物館(当時)に修復を検討する際の参考資料となるように定期的に報告書を提出していた。今後の改修にあたっては、上記成果を反映した対策が行われればと願っている。

4. まとめ

遺跡や歴史的建物における文化財の保存に関して、筆者らが関わってきた装飾古墳と歴史的建造物の内部にある壁画を対象に「予防的保存」即ち「環境を制御する保存」を行うことを目的として、劣化現象の発生メカニズムの解明とそれらに基づいた対策の検討から得られた成果をここでは紹介した。

これらの「予防的保存」を確立するための方法は、以下のようにまとめられる。

遺跡等の文化財はその材料の違いや、設置されている環境が異なることから、劣化現象も様々である。まず、そこで起きている現象を適切に把握するためには、一年以上に亘る屋外や文化財の置かれている物理環境の計測が必要であり、文化財がどの時期に劣化が進行する懸念があるのかを丹念に調査する必要がある。また文化財そのものに接触は出来ないため、その物理特性を把握することは、似たような部材や、代替可能な部材の物理特性を理解することによらざるをえない。これらの基本的な情報を把握した上で、目的に応じた物理現象の把握を可能とする理論（熱水分同時移動理論、CFD等）を基本とした対象の文化財の周辺環境を考慮した数値シミュレーションモデル（解析モデル）を作成することができる。解析モデルの妥当性は、必要とされる実態の再現性から判断され、解析モデルを用いた定量的予測を元にして環境制御による各種保存対策の効果の比較が事前に可能となる。

しかし、このような対応を一つ一つの文化財全てに対して行うことは難しい。従って、文化財の劣化原因と対策として、可能な範囲で類型化をしっかりと行っていくべきと考えられる。そのような観点もあって筆者は、2014年3月にまとめられた装飾古墳ワーキンググループの報告書の装飾古墳の保存・管理の在り方の石室等の保存環境の調整¹⁵⁾について執筆を行い、装飾古墳の類型化に繋がる整理を行った。

今後は、主に水分に由来する材料の亀裂の発生など文化財の劣化現象（塩類析出、凍結、乾湿など）による材料変形等の予測を考慮して、保存のために固める技術とのバランスをとりながら「予防的保存」をさらに検討していきたいと考えている。

図表出典

- (i) Antoniadēs EM, Ekphrasis tēs Hagias Sophias: ētoi meletē synthetikē kai analytikē hypō eposin architektonikēn, archaiologikēn kai historikēn tou polythrylētou temenous Kēnstantinoupoleēs, VOL 3. Leipzig: Kommissionsverlag von B.G. Teubner, 1909.

参考文献

- 1) Julian Bickersteth: IIC and ICOM-CC 2014 Declaration on environmental guidelines, Studies in

- Conservation, pp.12-17, 2016. 08.
- 2) Gaël de Guichen: Climate in museums. Measurement, ICCROM, 1984.
 - 3) ASHRAE, Museum, Galleries, Archives, and Libraries, In ASHRAE Handbook-HVAC Applications, Chapter24, 2019.
 - 4) 文化庁、文化財（美術工芸品）保存施設、保存活用施設設置・管理ハンドブック、2015.03.
 - 5) 建石徹、模擬古墳：遺跡・遺物の保存と活用を考えるための実験的取り組み（1）史跡の現地保存と遺跡の露出展示－取り組みの理念と歩み－、考古学研究、第67巻、第1号、pp.12-15、2020年6月.
 - 6) 三浦定俊、佐野千絵、木川りか、文化財保存環境学、序文、朝倉書店、2004.
 - 7) 小椋大輔、犬塚将英、銚井修一、石崎武志、北原博幸、多羅間次郎、高松塚古墳石室解体時の壁画保存のための温湿度環境の制御、保存科学、第47号、pp.1-9、2008.
 - 8) 小椋大輔、銚井修一、李永輝、石崎武志、三浦定俊、過去の高松塚古墳石室内の温湿度変動解析－保存施設稼働時の気象条件の影響と、発掘直後の仮保護施設の影響－、保存科学、第48号、pp.1-11、2009年3月.
 - 9) 小椋大輔、銚井修一、李永輝、石崎武志、過去の高松塚古墳石室内の温湿度変動解析（2）墳丘部表面の植生等の変化が石室内温度変動に与える影響、保存科学、第49号、pp.73-85、2010年3月.
 - 10) 小椋大輔、銚井修一、李永輝、石崎武志、過去の高松塚古墳石室内の温湿度変動解析（3）吸放熱パネルへの送水温度および入室が石室内温湿度変動に与える影響、保存科学、第49号、pp.87-96、2010年3月.
 - 11) 芥子円香、小椋大輔、銚井修一：釜尾古墳における装飾壁画の保存のための環境設計、日本建築学会環境系論文集、第81巻、第730号、pp.1095-1104、2016年12月.
 - 12) 水谷悦子、小椋大輔、石崎武志、安福勝、佐々木淑美：ハギア・ソフィア大聖堂の壁体の雨水の浸透が壁画の劣化に与える影響、日本建築学会環境系論文集、第80巻、第716号、pp.1001-1011、2015年10月.
 - 13) Etsuko Mizutani, Daisuke Ogura, Takeshi Ishizaki, Masaru Abuku, Juni Sasaki: Influence of wall composition on moisture related degradation of the wall surfaces in Hagia Sophia, Istanbul, Journal of Building Physics, Online first, 2021.05.
 - 14) Mainstone RJ: HAGIA SOPHIA Architecture, Structure and Liturgy of Justinian's Great Church, Thames & Hudson, 1988.
 - 15) 古墳壁画の保存活用に関する検討会 装飾古墳ワーキンググループ、古墳壁画の保存活用に関する検討会装飾古墳ワーキンググループ報告書、pp.34-54、2014年3月.