

平成28年度
東北芸術工科大学

文化財保存修復 研究センター紀要

TOHOKU UNIVERSITY OF
ART AND DESIGN

Bulletin of Institute for
Conservation of Cultural Property



TOHOKU UNIVERSITY
OF ART & DESIGN

TOHOKU UNIVERSITY OF ART AND DESIGN

Bulletin of Institute for Conservation of Cultural Property

平成28年度 文化財保存修復研究センター紀要

東北芸術工科大学
文化財保存修復研究センター



ごあいさつ

文化財保存修復研究センター

澤田 正昭

遅咲きの八重桜の花が咲くころ、一週間ほどの短い間に白い花を咲かせるというサクランボ。日本全国のサクランボ生産量の75パーセントを栽培する山形では、もう出荷が始まっています。六月中頃にはそのピークを迎え、多くの観光客がサクランボ狩りに訪れることでしょう。

山形県庄内平野の南に位置する鶴岡市に、航海・漁業の守護として信仰される「善寶寺（ぜんぼうじ）」があります。文安3年（1446）創建の龍王殿、安政2年（1855）落成といわれる赤瓦葺入母屋の羅漢堂、安政3年に再建された総門、明治16年（1883）建立の五重塔など6棟が、平成27年11月に有形文化財（国指定）に指定されました。

重要文化財・羅漢堂の内陣正面には釈迦如来、向かって右側には文殊菩薩、左に普賢菩薩を配した釈迦三尊が配置されています。その前面には五百羅漢が安置されています。一昨年度より当研究センターはこれらの五百羅漢像の保存修理に取り組んでおります。古典彫刻（仏像）修理部門の研究者陣容も拡充され、本格的に始動したところです。

今後は、単にセンターのひとつの受託事業というばかりでなく、東北芸術工科大学の全学的なプロジェクト事業として位置づけ、学生や教員を含めた教育活動や地域貢献の一翼を担っていきたいと願っております。益々のご指導ご鞭撻を切にお願い申し上げます。次第です。

このたび、当センターが平成28年度に実施しました受託事業、文化財の保存修復にかかる調査研究、公開講演会・研究会などの地域貢献活動につきまして「文化財保存修復研究センター紀要」にまとめて刊行いたしました。ご高覧賜り、ご叱正とご支援を賜れば幸甚に存じます。

平成29年 5月20日

目次

ごあいさつ	03
-------------	----

【論文】

I 近世～近代を中心とした絹本作品における絵絹の織構成に関する研究 —山形美術館所蔵「長谷川コレクション」の調査をととして—

森田 早織、志村 明、秋本 賀子

はじめに	08
第1章 製糸技術と絵絹の性状について	08
第2章 山形美術館所蔵作品調査	10
第3章 総括	16

II ハギア・ソフィア大聖堂南北ギャラリー階モザイクの制作年代と保存 状況に関する調査

佐々木淑美、石崎 武志

はじめに—南北ギャラリー階モザイク	18
第1章 先行研究による推定年代	18
第2章 図像ならびに材料・技法に基づく制作年代の考察	20
第3章 結論と今後の展開	22

【受託事業報告書】

I 保存修復受託研究活動

平成28年度修復・調査研究一覧	28
-----------------------	----

II 保存修復受託研究事例

石巻文化センター所蔵「唐獅子図（139、140）」の保存修復	29
相馬市蔵作品「栃東関優勝額」の保存修復	37
個人蔵 伊沢清「初夏の七ツ森」 伊沢清「涼風一過」 伊沢清「冬」 奈良岡正夫「漁港」の保存修復	40
貞本義行 作「綾波レイ」	45
航空機展示模型の保存修復「Ju-87, Ca310」	51
石巻文化センター蔵 神山明「もしもし…聞こえますか」の保存修復	55
鶴岡市善寶寺五百羅漢堂蔵「五百羅漢像158番」の保存修復	58
重要文化財「鳥居」冬季養生の効果検証及び周辺環境調査	63

三内丸山遺跡「南盛土」保存処理	66
毛越寺庭園遺水の景石周辺環境に関する調査	70
全国石工サミットinたかはたの開催 ―寒冷地における地域文化資源の保存と活用―	74

【文化財保存修復研究事業】

I 「寒冷地における文化財の保存修復に関する研究」

●平成28年度 活動報告	80
●専門家会議『積雪寒冷地域における石造文化財の諸問題と対策』	84
「フゴッペ洞窟の保存に関する諸問題と対策」 浅野敏昭・余市町教育委員会	85
「カッパドキア岩窟教会外壁の劣化と保存対策」 伊庭千恵美・京都大学大学院	89
「寒冷地域における遺跡の水に関する諸問題と対策」 石崎武志・東北芸術工科大学	94
●公開講演会『遺跡における微生物の問題と対策』	101
「カンボジアのアンコールワット遺跡における生物被害と対策」 片山葉子・東京農工大学	102
「高松塚古墳壁画、キトラ古墳壁画のカビ等微生物の問題」 石崎武志・東北芸術工科大学	106
「装飾古墳における生物劣化と対策－石室石材の表面状態の保存－」 佐藤嘉則・東京文化財研究所	112
「遺跡等文化財施設での環境管理の実際」 川越和四・環境文化創造研究所	116
●専門家会議『寒冷地域における遺跡の保存に関する諸問題と対策』	120

II センター公開講座

平成28年度 文化財保存修復研究センター連続公開講座	121
----------------------------------	-----

著者略歴	123
------------	-----

研究員一覧	126
-------------	-----

ICCP-Bulletin 2016

論文



I 近世～近代を中心とした絹本作品における絵絹の織構成に関する研究 —山形美術館所蔵「長谷川コレクション」の調査をととして—

森田早織 MORITA, Saori／東北芸術工科大学文化財保存修復研究センター客員研究員

志村明 SHIMURA, Akira／勝山織物(株)絹織製作研究所

秋本賀子 AKIMOTO, Shigeko／勝山織物(株)絹織製作研究所

はじめに

絵絹は古来より東洋絵画や書画などの基底材として用いられる平織の絹であり、重要な伝統的材料のひとつである。その種類は時代や地域によって多様であるため、これまでも先学において絵絹の織組成と描画表現技法の関連性について研究されているⁱ。また修理材料としては、絹本著色作品の欠損部に用いられる「補絹」を、原本の表面上の織組成に類似させ百数種類を製作する研究事業が行われており、実際の原本修理に用いられているⁱⁱ。

しかし現在市販されている絵絹や現代繰糸技術による絵絹は、線描を施す際に筆の引っかかりや、絵具の撥水といった不具合を感じることが多く上げられる。また表装作業における裏打ちの接着性の悪さや、補填部分の表面上の質感の不調和なども指摘されている。このような問題に対して、絵絹に表面加工(砑打ちやアルカリ水溶液精練など)を行うことで表面を平滑にする対策が講じられてきた。しかし精練を行うと絹の表層部(セリシン層)が溶解し、原本と似て非なるものとなってしまふ。そこで絵絹の性質は製糸製織方法に起因するものと考え、製糸方法を変えた絵絹での比較実験を行うこととした。

自身のこれまでの研究からは、古来より行われてきた手繰糸による在来製糸技術(以下、在来技術)と、明治以降の洋式技術を導入した現代製糸技術(以下、現代技術)では糸の「断面形状」が異なり、それにより絵絹の性質が異なることが判明した。また、それらの性質が表現及び描画技法に与える影響が大きいことを指摘したⁱⁱⁱ。この度の研究では、古典絵画作品に用いられた「絵絹」の性状と「表現技法」の関係性を把握するために、1) 複数の絹本作品を対象として、絵絹の織構成・密度・バランスなどを記録・分類を行うこととした。2) 更に、それらのデータに基づいた古典絵画絵絹の基準試料を製作し、体系化することを目指す。

今回は、山形美術館所蔵「長谷川コレクション」の近世・近代を中心とした絹本著色作品を14点調査し、各絵絹の構造について織組成・密度・空隔・糸の高さ・幅・形状記録を行い数値化した。これら絵絹の情報を形状ごとに分類し、制作年代と構造の関連性について明らかになったことを報告する。

第1章 製糸技術と絵絹の性状について

今回の調査について記す前に在来技術と現代技術について簡単にふれることとする。先学では絵絹の表面上の織組成密度のみ記録されているが、表現技法との関連性を考える上で重要なのは、絵絹の「糸の構造」と「性状」である。これら2点について記す。

1.1 在来製糸技術と現代製糸技術による糸の構造

明治期の製糸産業改革以降、製糸技術が大きく変化すると共に絹織物の性質も大きく変化をとげている。また絵絹においても例外なくその性質は変化している。かつて日本の製糸方法(在来技術)は、手挽きや糸繰り道具を用いる手作業によって行われていた。手回し座繰り器などで糸を集緒^{しゅうちよ}し製作した糸は、ゆるく纏まり、平たいきしめん状の糸に仕上がる[図1]。このことで多少の不均一性はあるが、絹の光沢が活かされた生糸に仕上がる。

一方で、明治期に導入された洋式技術は(現代技術)、共撚りやケンネルが施される。ケンネルとは、繭糸を集緒し生糸にした後、枠に取る前に糸同士を数百回絡ませて水を飛散させる工程である。これにより凝縮された、丸い断面の糸に仕上がる[図2]。このことで、均一で強い生糸に仕上がる。

このようなケンネル式の製糸方法は、強くて均一で安定した大量生産が可能となるが、手繰糸による生糸と比較した時に大きな性状の違いが現れる。



図1 在来技術の製糸

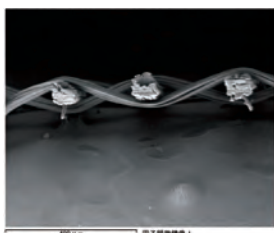


図2 現代技術の製糸

また、これまでの実験で下記のような各種絵絹試料a～dについて表面及び断面の観察を行った所、以下の図の様な差異が見られた。

試料a. 市販絵絹二丁樋（砧打ちなし）：機械による製糸製織の生絹。

表面は比較的平滑である。断面は、糸口が丸い。糸を横に並べて織ることで平滑性を出していることが分かる [図3、4]。

試料b. 機械織古典絵画用絵絹（砧打ちなし）：古典絵画模写に用いられる機械製糸製織の生絹。

表面は凹凸が大きい。断面は、糸口が丸い。一本一本が離れていることで、凹凸の差が大きくなっていることが分かる。ザラリとした感触がある [図5、6]。

試料c. 在来技術 座繰り繰糸（砧打ちなし）：座繰り繰糸による手織生絹。

表面は平滑で光沢がある。1本の糸が幅広である。断面は平たく、結束も緩い (図7、8)。

試料d. 機械織古典絵画用絵絹（砧打ちあり）：試料bを砧打ちして、平滑さを目指した絹。

砧打ち前と比較し、滑らか。表面は糸が横倒しになっている。断面は潰れている箇所と丸い箇所が不均一に残る [図9、10]。

このことから、現代製糸である試料a、bは断面形状が丸いことから、織った時の表面凹凸が大きい。それと比較すると、試料cの座繰り繰糸は断面形状が平たい為に表面は平滑である。このような平滑さは、機械製糸の絹に砧打ちなどを施しても、試料dのように糸が横倒しに潰れてしまうだけで、試料cのような整然とした表面にすることは困難である。

その為、機械製糸で平滑な表面を目指すためには、試料aのように糸を並べる必要がある。

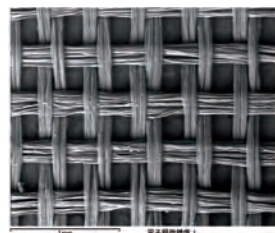


図3 試料a表面

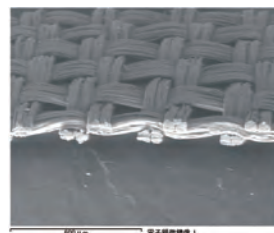


図4 試料a断面（経）

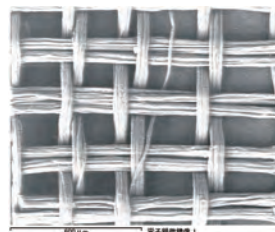


図5 試料b表面

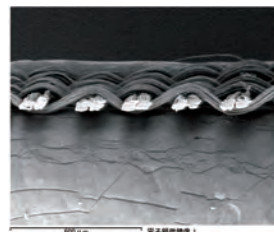


図6 試料b断面（緯）

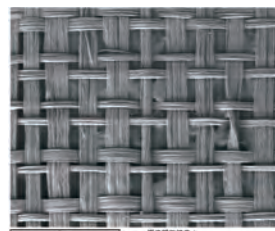


図7 試料c表面



図8 試料c断面（緯）

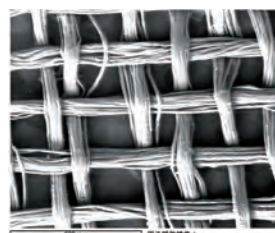


図9 試料d表面

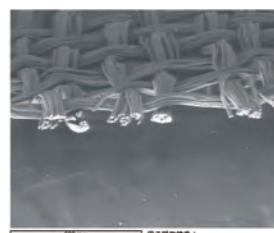


図10 試料d断面（経）

1.2 技術による性状の違い

以上、製糸技術の違いによる糸構造の特徴について記したが、これらの構造は製織した時の絹の質に大きく関わってくる。これまでに行った性状実験では、以下の様なことが判明した。

実験は、A. 在来技術である座繰り繰糸の絵絹試料と、B. 現代技術のケンネル製糸の絵絹試料を平置きにし、精製水と墨滴、エオシン5%水溶液の液滴を右から3点ずつ同量着滴させ3点の平均的な滲みを定期時間ごとに1時間後まで観察したものである。

この結果、試料Aは緯糸に適度な滲みが見られたが [図11]、試料Bは1時間後まで全く滲むことがなかった [図12]。v

このことから、在来技術と現代技術では、断面の形状や凝縮率に大きく違いがあり、これらの糸を用いて製織した絵絹にも吸水性や平滑性といっ

た差異が顕著にあらわれるということが明らかになった。

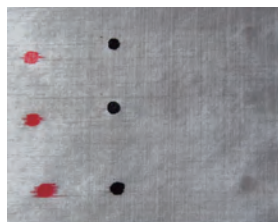


図11 試料A在来技術



図12 試料B現代技術

これまでの成果をうけて、「原本に基づいた絵絹の性質」と「表現技法」の関連性について研究を発展させることとした。しかし先学を含めたこれまでの研究では、原本絵絹による織構成の情報が少ないことから、厳密な絵絹の織設計を行うことが困難である。そこでより多くの作品から絵絹の織構成・密度等の情報を整理し、絵絹の製糸製織技術と性質の関係性について追求する必要があると考えた。

はじめに原本調査を行い、作品に用いられている「表現技法」と「絵絹の構造・製作方法」を解明するための同一企画によるデータを計測し、情報を体系化する。より多くの原本作品から絵絹の構造データをまとめ、一定した計測機器と倍率による絹糸1本の構造（幅、高さ）、バランス（織構成、密度、空隔）を計測および観察を行う。

第2章 山形美術館所蔵作品調査

今回の調査では山形美術館の協力を得て、作品調査を行うことが可能となった。

山形美術館は、日本および東洋美術、郷土関係美術に新たにフランス美術を加えた3つの柱を中心に調査・研究ならびに作品収集にあたり、収蔵品と常設展示が充実している。その内、絹本著色作品においては250点以上も所蔵されている。

なかでも「長谷川コレクション」は1968年に山形銀行の長谷川吉郎前会長より寄贈された、重要文化財の与謝蕪村（1716-1783）「奥の細道図屏風」を含む、同家歴代が収集した美術品163点である。また1995（平成7）年、現在の当主長谷川吉茂氏より7点の県指定有形文化財を含む48点。1994年（平成6）年には、殖産銀行の会長長谷川吉内氏の遺志を受けたご子息の長谷川憲治氏より81点の美術品が寄贈されている。

今回の調査では、「長谷川コレクション」から作者や時代が明らかとなっている作品を選定し、

それら作品の調査及び絵絹構造の計測を行った。

1.1 調査概要

調査目的

在来技術と現代技術^{vi}の変換期となる近世～近代の絹本著色作品を対象とし、絵絹の構造（織組成・密度・空隔・糸の高さ・幅・形状）を調査・記録し、その特徴についてまとめる。

調査者

森田早織（東北芸術工科大学文化財研究センター）

志村明（勝山織物（株）絹織製作研究所）

秋本賀子（勝山織物（株）絹織製作研究所）

山田祐子（当時：東京文化財研究所）

長峯朱里（東北芸術工科大学文化財研究センター）

使用機材

- ・キーエンス製デジタルマイクロスコープVHX-1000（以下、キーエンス機）
- ・杉藤製Sentech140万画素マイクロスコープ（以下、センテック機）
- ・NICON-D700（デジタル一眼レフ）

調査方法

【目視観察】

目視観察により、織組成の均一性、透明度、色、質感を観察した。

【センテック機】

織構成・密度・経糸数・空隔等を記録し、1作品につき5箇所以上、倍率を変えて^{vii}撮影した〔図13〕。

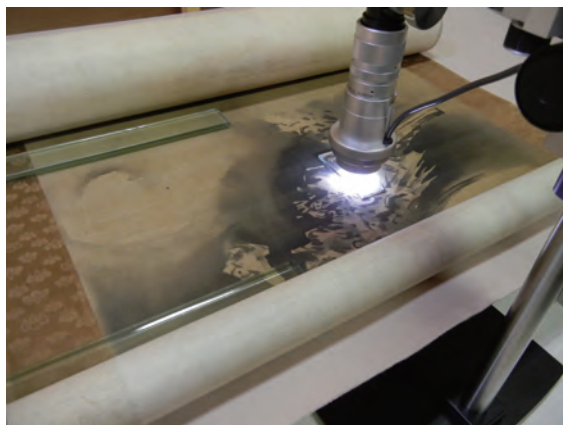


図13 作品調査風景（センテック機による）

【キーエンス機】

深度合成された画像を記録し、経糸の高さ・幅を3D計測した。その値を基に形状比を求めた。

(計測条件は①～④のとおり) ①裏打ち紙の頂点から絹糸の頂点までを複数枚撮影し、深度合成した。②経糸のみ計測ⁱⁱⁱ⁾した。③経糸1糸の高さ、幅の数値計測した。④1作品につき10箇所以上計測した。

【デジタル一眼レフ】

全作品の全体画像を記録した。

対象作品

山形美術館所蔵「長谷川コレクション」より、近世～近代を中心とした絹本着色作品14点を選定した〔表1〕。

表1 調査作品一覧(作品情報については、美術館所蔵作品目録を参照)

所蔵番号・作品名	作者	製作年	技法	調査機材
No.136 龍図	狩野探幽	1667	墨画	センテック・キーエンス
No.206 熊野舟行図	谷文晁	1804	着色	センテック・キーエンス
No.207 瀑布図	谷文晁	1873	着色	センテック・キーエンス
No.7103 悲母観音図	谷文晁	不明	着色	センテック・キーエンス
No.212 陶靖節図	都路華香	不明	着色	センテック
No.221 八巻祝寿図	富岡鉄斎	1909	着色	センテック・キーエンス
No.222 陸鴻漸煮茶図	富岡鉄斎	1899	墨画 淡彩	センテック・キーエンス
No.225 評山品水図	富岡鉄斎	1869	淡彩	センテック・キーエンス
No.226 月夜梅花図	富岡鉄斎	1909	墨画 淡彩	センテック・キーエンス
No.305 溪澗野雉図	渡辺華山	1837	着色	センテック・キーエンス
No.6142 福祿寿図	田能村直入	1895頃	著色	センテック
No.6152 美人納涼図	(伝)河鍋暁斎	不明	著色	センテック
No.7107 細雨	川合玉堂	1911	着色	センテック
No.7146 蘆鴈図	周之冕	明時代	墨画 淡彩	センテック

1.2 計測結果

【センテック機】

センテック機では、織組成・密度・経糸数・空隔等の表面状態を撮影・記録した〔表2〕。

作品全体を見ると、経糸は20羽(40本)/cm～30羽(60本)/cmであるが、14作品の内10点が経24羽(48本)/cmである。富岡鉄斎のNo.222「陸鴻漸煮茶図」と(伝)河鍋暁斎のNo.6152「美人納涼図」は経30羽(60本)/cmと本数は多いが、織の

空隔は確認できる。また谷文晁のNo.207「瀑布図」は経24羽(48本)/cmではあるが1本の糸が太く、空隔が殆ど見られないほど密度が高い。この作品に関しては、目視観察でも他の作品と異なり墨や絵具の乗り方がたっぷりとしており、紙に描いているような印象を受けた。

一方で、周之冕のNo.7146「蘆鴈図」は経20羽(40本)/cmでさらに絹糸が細いため、空隔が大きく開いている。目視観察でも織組成は粗く、糸のヨレが確認された。

また複数作品の経糸1本対して引き揃えと思われる割れ目が確認された。(表2・表3のグレー枠で配色し、丸で示した)例えば、No.136は引き揃えが見られないが、No.222は糸が分かれている事がわかる〔図13、14〕

これらの割れが確認された作品では、どれも経糸の幅が太く、2本の糸を並べて1本の経糸として使用しているように見受けられた。またNo.6142「福祿寿図」についても割れがあるようにも見受けられるが、しっかりと確認できないため保留とした。

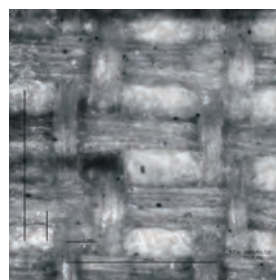


図14 No.136経引き揃えなし

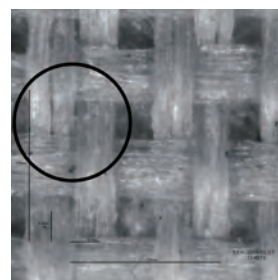


図15 No.222経引き揃えあり

【キーエンス機】

キーエンス機では、糸の立体構造についての計測・記録した。結果については①計測画像と、②絹糸の高さ・幅寸法平均値、③形状比率(高さ・幅)を数値化しグラフに示した。〔表3〕

①計測画像

C-D間を幅、A-B間を糸の高さ×1/2とし〔図16〕、糸の形状分析を行った。

②高さ・幅寸法

絹糸の高さ・幅寸法の平均値を示した。最大最小の2割を除いた平均値、最大最小の4割を除いた平均値、中央値も参考値として記す。

③経糸の形状比率

同作家ごとに比較し、時代による糸の形状変化について観察・考察した。

形状比率：「糸の高さ（ $A - B \times 2$ 倍） $\div$ 糸の幅（ $C - D$ ） $\times 100$ 」と求め、50%以下だと糸の断面形状は「平め」の傾向、それ以上の値だと「丸め」の傾向と位置づける。

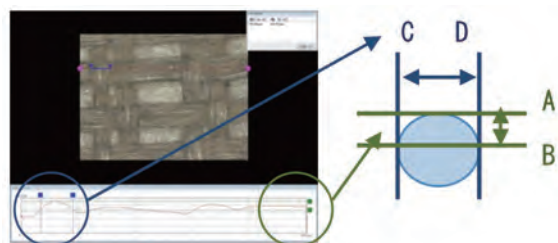


図16 計測グラフの見方

《狩野探幽》

No.136「龍図」の絵絹は高さのある1本の糸で形成されている。22点計測をおこなったが、形状比率は比較的ばらつきがあった。

《谷文晁》

- ・No.206「熊野舟行図」、No.7103「悲母観音図」は最大の数値を除いた場合およそ40～70%の形状比率となり、ややばらつきがある。
- ・No.207「瀑布図」は30～40%の平め形状に寄る。しかし、経糸の間に割れが見られ、糸の山も平たくなっている。センテック機での観察にも、同様に分割が確認できた。

《富岡鉄斎》

- ・No.221、No.222、No.226は形状比率約30～50%と平め形状が多いが、No.207と同様に糸に割れがみられた。はっきり分割している。
- ・No.225は1本の糸で形成され、形状比率は50～80%と丸め形状に近い。

《渡辺崋山》

No.305の形状比率は大きくふれるが、およそ60～70%とやや丸め形状の傾向である。経糸の分割については、はっきりとしないため1本とは断言し難い。

1.3 考察

以上、センテック機による表面の観察と、キーエンス機による構造の計測から、以下のことが推測された。

センテック機で経糸に割れ目が確認されたNo.207、No.221、No.222、No.226については、いずれもキーエンス機の構造計測で平め形状の結果が出た。

調査前の予想では、明治以降の作品については糸の形状が丸めに寄ると予想していた。しかし、結果としては、経糸1羽の形状は平めであった。

しかし、これらの作品については上記に示した通り割れが確認され、2本引き揃えたうちの1本を計測すると丸めの形状であることが分かる。つまり、製糸した段階では現代技術によるケンネル式の丸め形状糸であり、製織の段階で並べて織ることで、平め形状の糸にしていたと推測された[図17]。このようにすることで、機械製糸でつくられた糸の高さを緩和し、平滑な表面をめざしたと推測される。

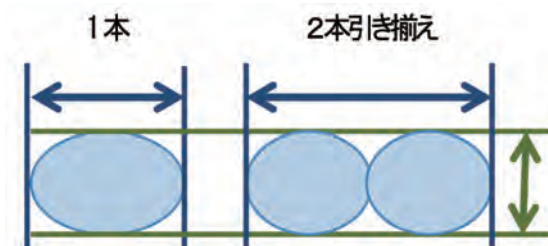
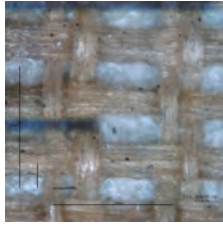
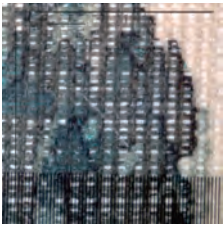
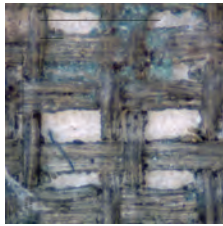
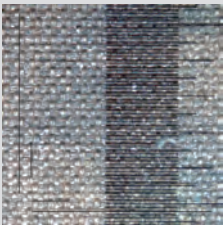
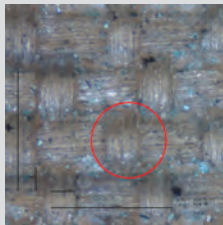
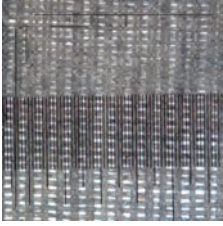
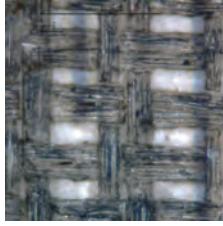
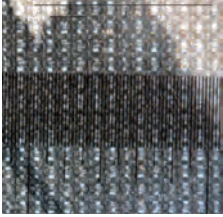
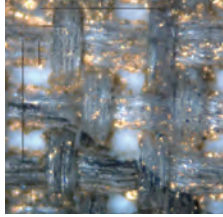
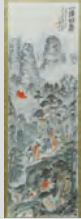
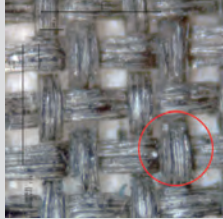


図17 引き揃え糸の断面構造

また目視観察では、明治以前の作品についてはツヤや糸の透明度があるが、明治以降の絹では白くマットで不透明な質感が多く見られる。これらは繭の保存方法や機械操糸、機械織などの現代技術が一因と考えられる^{ix}。

表2 センテック機による計測結果
記録画像、経緯数一覧（色枠箇所は経引き揃え）

作品情報	作品画像	センテック機（25倍）	センテック機（200倍）	経／緯数（10mm間）
No.136 龍図 狩野探幽 1667年				経：22羽（44本）／cm 緯：40本／cm
No.206 熊野舟行図 谷文晁 1804年				経：24羽（48本）／cm 緯：44本（2本引き揃え力）／cm
No.207 瀑布図 谷文晁 1873年				経：24羽（48本・引き揃え力）／cm 緯：44本（引き揃え）／cm
No.7103 悲母観音 谷文晁 不明				経：24羽（48本）／cm 緯：50本（引き揃え力）／cm
No.212 陶靖節図 都路華香 不明				経：24羽（48本）／cm 緯：38本（2本引き揃え力）／cm
No.221 八倦祝寿図 富岡鉄斎 不明				経：24羽（48本・引き揃え力）／cm 緯：44本（引き揃え）／cm
No.222 陸鴻漸煮茶図 富岡鉄斎 1899年				経：30羽（60本・引き揃え力）／cm 緯：32本（引き揃え）／cm

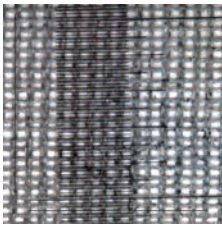
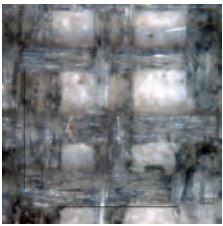
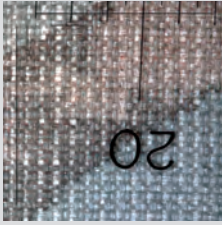
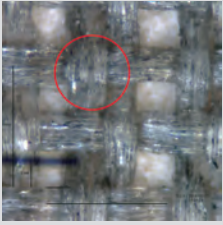
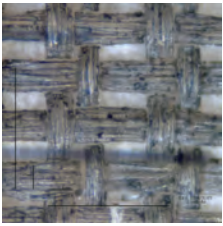
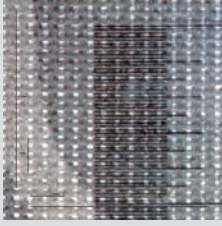
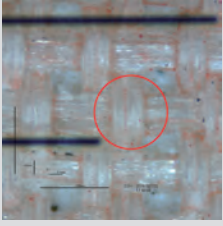
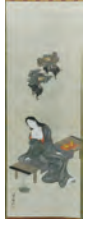
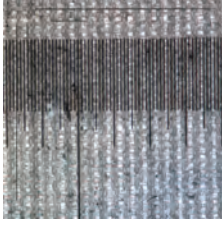
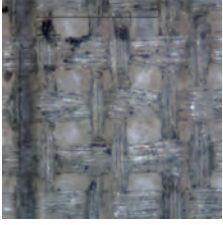
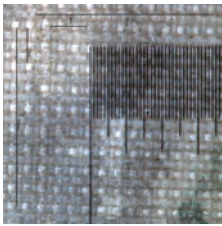
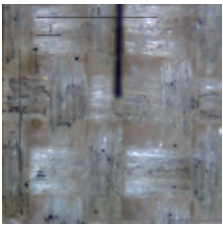
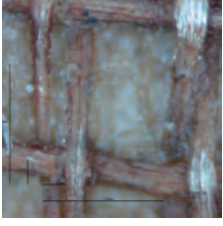
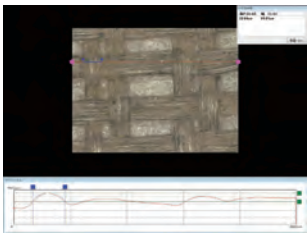
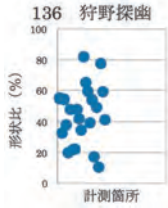
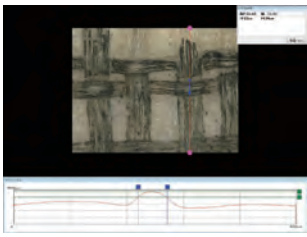
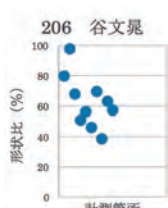
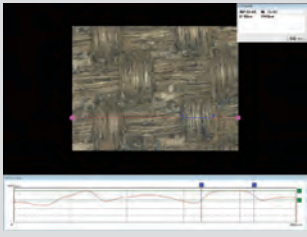
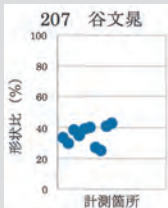
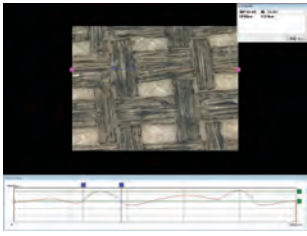
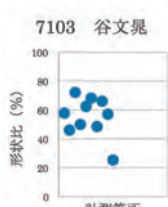
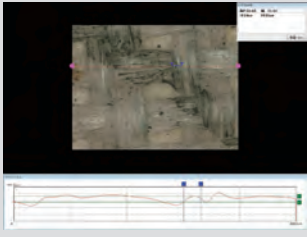
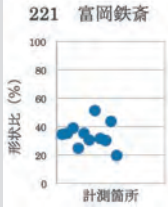
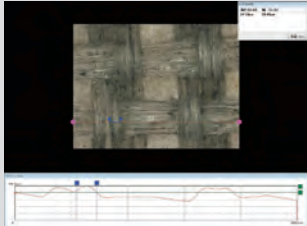
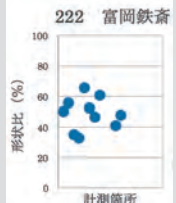
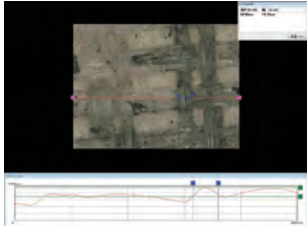
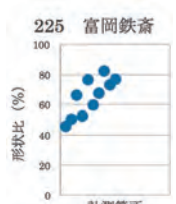
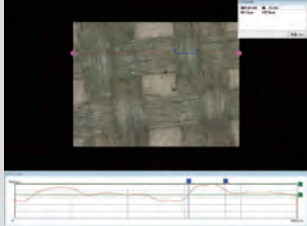
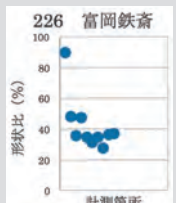
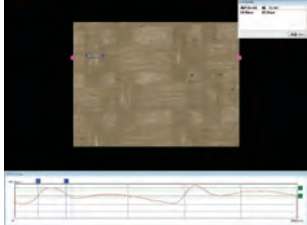
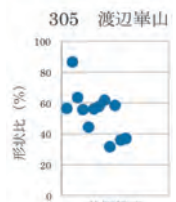
作品情報	作品画像	センチック機 (25倍)	センチック機 (200倍)	経／緯数 (10mm間)
No.225 評山品水図 富岡鉄斎 1869年				経：24羽 (48本)／cm 緯：36本／cm
No.226 月夜梅花図 富岡鉄斎 1909年				経：24羽 (48本・引き揃え力)／cm 緯：36本 (引き揃え)／cm
No.305 溪澗野雉図 渡辺崋山 1873年				経：24羽 (48本)／cm 緯：46本 (引き揃え)／cm
No.6142 福祿寿図 田能村直入 1895年				経：24羽 (48本)／cm 緯：42本／cm
No.6152 美人納涼図 (伝)河鍋暁斎 不明				経：30羽 (60本)／cm 緯：46本 (引き揃え力)／cm
No.7107 細雨 川合玉堂 1911年				経：24羽 (48本)／cm 緯：36本 (引き揃え)／cm
No.7146 蘆鴈図 周之冕 明時代				経：20羽 (40本)／cm 緯：18本／cm

表3 キーエンス機による計測結果
計測画像、高さ・幅、形状比率一覧

作品情報	①計測画像	②絹糸の高さ・幅寸法平均値			③形状比率
			高さ (μm)	幅 (μm)	
No.136 龍図 狩野探幽 1667年		平均値	35.7 (標準誤差 : 2.3)	88.9 (標準誤差 : 5.2)	 形状比に バラつきあり
		最大最小の2割を除いた平均値	35.7	88.3	
		最大最小の4割を除いた平均値	35.7	87.4	
		中央値	35.6	83.1	
No.206 熊野舟行図 谷文晁 1804年		平均値	45.7 (標準誤差 : 3.5)	73.9 (標準誤差 : 2.5)	 形状比率40~70%
		最大最小の2割を除いた平均値	44.3	74.2	
		最大最小の4割を除いた平均値	45.2	74.8	
		中央値	45.6	76.1	
No.207 瀑布図 谷文晁 1873年		平均値	48.0 (標準誤差 : 3.1)	136.0 (標準誤差 : 4.5)	 形状比率30~40% やや平め
		最大最小の2割を除いた平均値	47.7	136.7	
		最大最小の4割を除いた平均値	46.8	136.9	
		中央値	44.3	138.2	
No.7103 悲母観音 谷文晁 不明		平均値	50.14 (標準誤差 : 3.41)	91.92 (標準誤差 : 4.31)	 形状比率40~70%
		最大最小の2割を除いた平均値	51.77	93.02	
		最大最小の4割を除いた平均値	52.6	92.4	
		中央値	54.0	92.3	
No.221 八巻祝寿図 富岡鉄斎 不明		平均値	45.7 (標準誤差 : 2.9)	136.5 (標準誤差 : 7.8)	 形状比率30~50% やや平め
		最大最小の2割を除いた平均値	46.5	136.7	
		最大最小の4割を除いた平均値	47.4	135.7	
		中央値	49.8	140.6	

作品情報	①計測画像	②絹糸の高さ・幅寸法平均値			③形状比率
			高さ (μm)	幅 (μm)	
No.222 陸鴻漸煮茶図 富岡鉄斎 1899年		平均値	62.6 (標準誤差：2.8)	131.0 (標準誤差：5.5)	 222 富岡鉄斎 形状比率30~50% やや平め
		最大最小の2割を除いた平均値	63.4	129.7	
		最大最小の4割を除いた平均値	63.8	131.0	
		中央値	59.1	136.1	
No.225 評山品水図 富岡鉄斎 1869年		平均値	52.3 (標準誤差：4.0)	80.9 (標準誤差：5.2)	 225 富岡鉄斎 形状比率50~80% やや丸め
		最大最小の2割を除いた平均値	52.8	79.1	
		最大最小の4割を除いた平均値	53.1	77.5	
		中央値	52.5	77.0	
No.226 月夜梅花図 富岡鉄斎 1909年		平均値	57.3 (標準誤差：4.9)	140.4 (標準誤差：4.7)	 226 富岡鉄斎 形状比率30~50% やや平め
		最大最小の2割を除いた平均値	54.4	142.6	
		最大最小の4割を除いた平均値	53.9	143.9	
		中央値	52.8	148.0	
No.305 溪澗野雉図 渡辺崋山 1873年		平均値	47.7 (標準誤差：4.2)	89.2 (標準誤差：4.1)	 305 渡辺崋山 形状比率60~80% やや丸め
		最大最小の2割を除いた平均値	46.8	88.7	
		最大最小の4割を除いた平均値	45.0	87.7	
		中央値	43.7	85.9	

第3章 総括

富岡鉄斎、谷文晁などの作品の中には平め形状のものが見受けられたが、その内幾つかは経糸が分割していることが判明した。このことから、明治以降においてはこれまでの在来技術の糸と現代技術の糸と比較して形状の違いを感じ、織り方に工夫を施したと考えられる。現代技術の丸め形状の糸を2本引き揃え、平め糸として織ることで、平滑な表面の絹を目指したことが推察された。

しかし現段階では情報量が少ないため、今後も調査作品数を増やす必要がある。引き続き近世近代の同作家を中心に調査を行い、さらに時代の幅

を広げてより多くの情報入手を行う。また、これらの情報を基に絵絹の基準試料を製作し、性質実験を進めることとし、絵絹構造・性状に関する試料の体系化を目指したい。

最後に、本研究は科学研究費若手助成B(15K21320)の助成を受けたものである。調査にあたっては、公益財団法人山形美術館、東京文化財研究所、勝山織物株式会社並びに東北芸術工科大学文化財研究センターにご協力いただいた。分析いただいた山田祐子様をはじめ美術館の学芸員、研究所研究員の皆様のご協力を得て実施出来ましたことを、ここに記し感謝申し上げます。

-
- i 杉本欣久・竹浪遠「中国絵画の画絹について」『古文化研究』黒川古文化財研究所2008年
 - ii 国宝修理装演師連盟「修復用補絹絵絹見本作成事業」『国宝修理装演師連盟第9回定期研修会』国宝修理装演師連盟2003年
 - iii 森田早織, 志村明, 秋本賀子「絹本著色古典絵画における基底材に関する研究－描画実験による在来製糸製織技術絵絹の性質検証－」『東北芸術工科大学紀要第22号』2015年3月
 - iv 数本の繭糸を集めて1本にして、太くすること。
 - v これらの実験については以下の論文に詳細を記した。

森田早織, 志村明, 秋本賀子「絹本著色古典絵画における基底材に関する研究－描画実験による在来製糸製織技術絵絹の性質検証－」『東北芸術工科大学紀要第22号』2015年3月 pp74-76
 - vi 明治以前の技術を「在来製糸技術」、明治（産業革命）以降の技術を「現代製糸技術」とする。「在来製糸技術」を手回し座繰り器等による糸を集束させたものとし、平め形状糸。また「現代製糸技術」をケンネル操糸とし、丸め形状糸と想定する。
 - vii センテック1/2インチCCD140万画素USBカメラ： $\times 0.65$ 、 $\times 1$ 、 $\times 2$ 、 $\times 3$ 、 $\times 5.2$ 倍にて撮影。（ $\times 0.65 = \text{約}25\text{倍率}$ 、 $\times 1 = \text{約}40\text{倍率}$ 、 $\times 2 = \text{約}80\text{倍率}$ 、 $\times 3 = \text{約}120\text{倍率}$ 、 $\times 5.2 = \text{約}200\text{倍率}$ ）
 - viii 緯糸は引き揃えが多く打ち込みがゆるく、重なりあっている可能性があるため、今回は計測しないこととする。
 - ix 志村明「日本の在来製糸技術と絹の質感について～手回し座繰りを中心として～」『絹文化財の世界：伝統文化技術と保存科学』角川学芸出版2005年10月

Ⅱ ハギア・ソフィア大聖堂 南北ギャラリー階モザイクの制作年代と保存状況に関する調査

佐々木淑美 SASAKI, Juni／文化財保存修復研究センター客員研究員

石崎武志 ISHIZAKI, Takeshi／文化財保存修復研究センター研究員・教授

はじめにー南北ギャラリー階モザイク

ハギア・ソフィア大聖堂（Hagia Sophia、現在のアヤ・ソフィア博物館）のモザイク群に関する基礎資料として、1930～1970年代にビザンティン研究所が実施した調査・修復の記録が挙げられる。彼らは堂内のほとんどのモザイクにおいて調査・修復を実施したが、アーチや天井などに残る装飾モザイク群についての記録は、人物像モザイク・パネルに比べて少ない。そこで、発表者は2009年から南北ギャラリー階の装飾モザイク群に関する調査を開始し、現状記録の整備と制作年代の特定を進めている。本発表では、南北ギャラリー階に残るモザイク群のなかでも、特に南ギャラリー階中央ベイの列柱アーチ・イントラドスとその外縁および列柱上部壁（ヴォールト壁）に残るモザイクの材料・技法調査の結果とそれに基づく制作年代の考察について報告する。

ギャラリー階には、デシス・モザイクをはじめとしたモザイク・パネル以外に、身廊側列柱アーチのイントラドスとエクセドラ、南北中央ベイ身廊側ヴォールト部、3連アーチ・イントラドス、南中央ベイ東ピアの一部に、幾何学文様やアカンサス文様などの装飾モザイクが残っている。元来、ギャラリー階（2階）は女性のための空間として作られてきた。それが徐々に、公的かつ私的な目的のための空間へと変化していき、9世紀以降はギャラリー階で会議や皇帝の私的な典礼式が執り行われるようになり、特別な場所としてモザイクによる装飾が施されるようになった^(注1)。中でも、デシス・モザイクが残る南ギャラリー階中央ベイは主として教会会議に使用する空間であった^(注2)。北ギャラリー階にも同様にモザイクによる装飾が多く残っており、中央ベイにはハギア・ソフィアの中で最後に発見されたモザイクであるアレキサンダーモザイクが残っている^(注3)。南西隅には一般客に非公開の収蔵室があり、その内部にもモザイクが残っている^(注4)。

1959～1960年に北ギャラリー階中央ベイに残るアレキサンダーモザイクで調査および保存修復作

業（Underwood & Hawkins, 1961）が実施されたのに対して、南ギャラリー階の装飾モザイク群については、先行研究がなく、詳細な記録や制作年代の検討もおこなわれていない。北ギャラリー階のモザイクと類似した文様が展開されているため、制作年代も同じと考えることができるかもしれないが、北に比べて南は、テッセラの並びが整然としており、色彩も鮮明である。また、文様や色使いにも違いがみとめられる。そこで、まず1959～1960年の北ギャラリー階モザイクの調査成果を参照し、南北間の違いを整理する。

第一章 先行研究による推定年代

北ギャラリー階中央ベイに残るモザイクの制作年代は、第1期：537年より少し早い時期（第3次聖堂建立時）、第2期：562年より早い時期（最初の地震により崩落したドームの再建時）、そして第3期：9世紀末あるいは遅くとも10世紀初頭に分けられ^(注5)、南ギャラリーも同様であると推察できる（図1、2）。

まず、第1期のモザイクは、北ギャラリー階の身廊側列柱アーチのうち、最も西側のアーチ下部にのみ残っている。南ギャラリー階でも、最も東側のアーチ下部にのみ残っていることが目視観察からみとめられた（図3）。また、ギャラリー階東西4隅にあるエクセドラのモザイクも、第1期に制作されたものであり^(注6)、筆者が2009年に調査を実施した南ギャラリー階東ベイのエクセドラに残るモザイクもまた、この第1期に制作されたものとみられる（図4）。

身廊側列柱アーチ・イントラドスのモザイクは、元々そこにあった第1期のモザイクを、第2期に全て再制作したとされている^(注7)。アカンサス文様の様式や色使いは様々で、アーチ・イントラドス外縁の幾何学文様帯の色彩も南北で一部異なる（変更されている）が、いずれも第1期の影響を見てとることができ、工人の技量は第1期に比べ低い。



図1. 北ギャラリー 中央ベイ西側 (アレキサンダー・パネル)
黒：第一期、緑：第二期、青：第三期

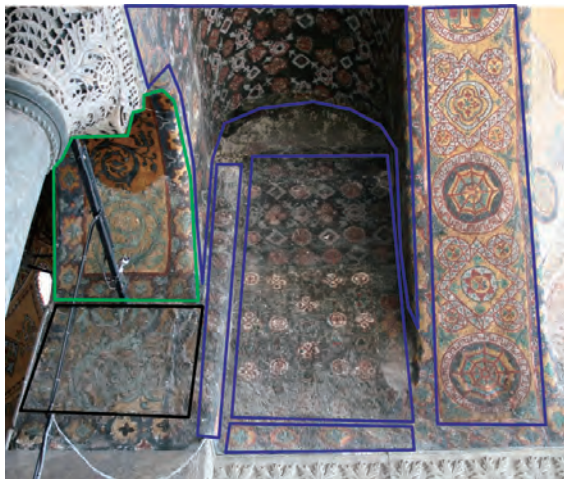


図2. 南ギャラリー 中央ベイ東側
黒：第一期、緑：第二期、青：第三期



図3. 身廊側列柱アーチ下部
(南ギャラリー階西6-7間東側下部)



図4. エクセドラのモザイク (南ギャラリー東隅ヴォールト)

また、北ギャラリー階のアレキサンダー・パネルと身廊側アーチ側部、身廊側ヴォールト壁面、3連アーチ・イントラドスのモザイクは第3期とされている。これらモザイクは全体的に、不規則な形状のテッセラが広い間隔で布置され、図柄は簡略化されているが、アレキサンダー・パネル部分のみ、周囲のモザイクと異なる工人によって注意深く制作されている^(注8)。

南ギャラリー階では、アレキサンダー・パネルと同じ場所に人物像パネルモザイクはなく、東側壁面に黒色の背景で周囲(ヴォールト)と同様の幾何学文様が描かれている。この部分は、間近で観察すると、ペイントの下に十字架モザイクをみとめることができた。また、金テッセラの上にもペイントが施されていることも確認した(図5)。3連アーチのイントラドスに描かれている幾何学文様も、南北で異なる(図6)^(注9)。また、ヴォールトのモザイクは、身廊側の壁面でのみ金・銀テッセラを使用することでゆらぎの効果を狙っている点は南北で共通しているが^(注10)、描かれている文様が異なるうえに、ヴォールト壁と列柱アーチ・



図5. 南ギャラリー 中央ベイ ヴォールト東側
十字架モザイク上塗りペイント

イントラドス外縁の幾何学文様帯との接続部に、北ギャラリーではみとめられる波形文様帯が存在しない（図7、8）。



図6. 左：北ギャラリー3連アーチ 西アーチ西側
右：南ギャラリー3連アーチ 東アーチ東側



図7. 北ギャラリー 中央ベイ ヴォールト壁

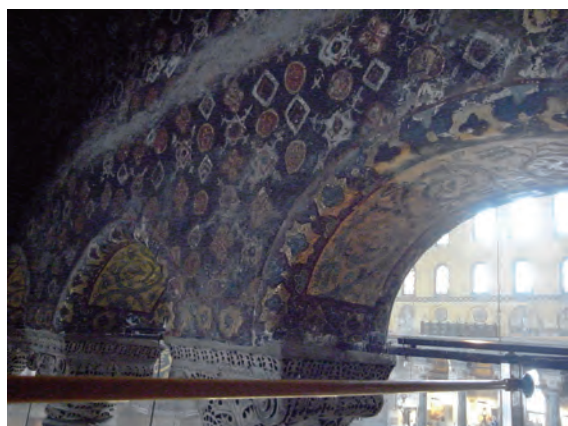


図8. 南ギャラリー 中央ベイ ヴォールト壁

以上のように、南北でモザイクの文様や色使いに違いがあることから、北ギャラリー階のモザイクとは分けて、新たに制作年代を検討する必要が

ある。そこで、北ギャラリー階モザイクの制作年代と調査結果（目視観察および寸法計測、色彩計測等）とを踏まえて、特に南ギャラリー階のモザイク群の制作年代の特定を試みた。

第二章 図像ならびに材料・技法に基づく制作年代の考察

まず、南北で合計14ある列柱アーチ（末図Ⅰ、Ⅱ）の制作年代について検討する。

列柱西0-1間、1-2間のアーチ・イントラドスの文様はともに、北ギャラリー階と同じ様式のアカンサス文様であったが、列柱西2-3間から西5-6間までは中央に図像を伴う唐草文様に変更されている。列柱6-7間では再び列柱西0-1間、1-2間と同様のアカンサス文様が採用されていることから、列柱西2-3間から西5-6間までのモザイクは、異なる時期に改変されたとみられる。

ここで注目したいのが、唐草文様の中央に描かれている図像である。列柱西2-3間では三ツ葉であるのに対して、列柱西5-6間では緑色の葡萄と鳥であった。そして、列柱西3-4間、4-5間でも緑色の葡萄が描かれている。

また、アーチ・イントラドス外縁の幾何学模様帯の色彩の違いにも注意する必要がある。幾何学文様帯は、次の2図像で構成されている。1つ目は、八角星の中心に配された四ツ葉で、南北の多くのアーチで緑と青であるのに対して、南の列柱西3-4間から5-6間の外縁でのみ赤色のものがみとめられる。2つ目は、文様帯の縁に配された三ツ葉で、輪郭を成す銀テッセラ列が、北では2列であるのに対して南では1列である。そして、その三ツ葉の色彩は、南北の多くで緑と青であるのに対して、南の列柱西3-4間と5-6間の外縁でのみ赤のものがみとめられる（図9、10）。これらのことから、改変部は列柱西5-6間のアーチ・イントラドスおよびその外縁のモザイクを比較的近い時期に模して制作された可能性が高いと言える。

また、列柱西2-3間のアーチ・イントラドス外縁から上部壁にかけて筋状の窪みがあり、それを区切りとして幾何学文様の変更もみとめられる。このことから、列柱西2-3付近において東西で制作年代が異なる可能性がある。そこで、列柱上部壁のモザイクを順に検討し、各部の制作年代を推定した。

列柱西6上部壁のモザイク（図11、12）では、寸法の小さい金・銀テッセラ（計69点、平均縦6.7mm×横6.2mm、最大縦11.9mm×横5.5mm、最小縦3.4mm×横5.8mm）を広い間隔で埋めて幾何学文様を描いている。明度の高い金テッセラ（L*値が70以上）を多く含む点で、ドーム6世紀モザイクに類似していると言える^{（注11）}。ただし、金地部分に多くの銀テッセラが混在し、また金テッセラが裏返しに布置されているなど、後世の修復と思われる乱雑な箇所も散見される。また、背景部では、テッセラではなく石あるいはレンガを埋め込み、その上に青味がかかった黒色のペイントを塗布している。



図9. 列柱アーチ・イントラドス（北-西0-1）

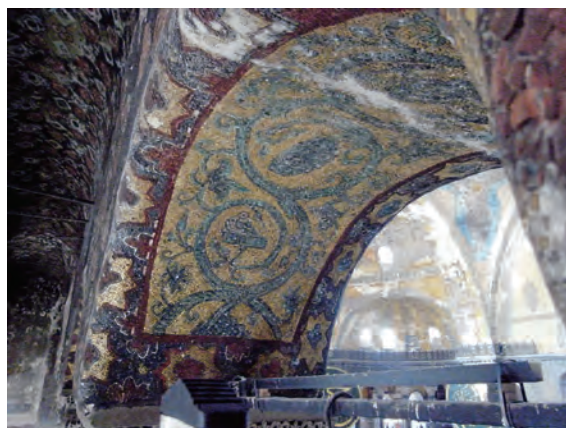


図10. 列柱アーチ・イントラドス（南-西5-6）



図11. 列柱西6上部壁

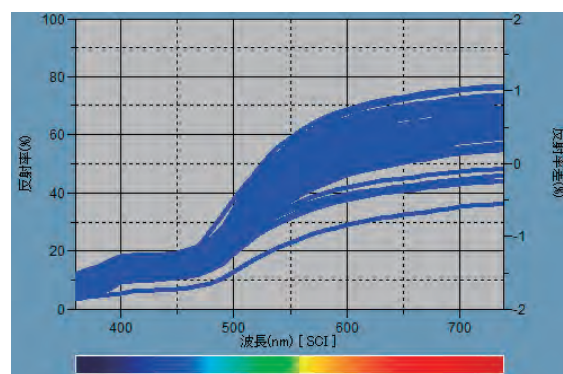


図12. 列柱西6上部壁の金テッセラ 分光反射率グラフ

これに対して、東側の背景の一部および列柱西6-7間のアーチ・イントラドス外縁のモザイクは、青色ズマルトテッセラのみで構成されている。また、外縁モザイクと上部壁面との接続部に筋状の窪みがみとめられ、この窪みを仔細に観察すると上部壁側のモルタルが外縁モザイク側に重なり盛り上がった状態になっていることがわかった（図13）。つまり、これは外縁モザイクが、ヴォールト壁面よりも先に制作されたことを示唆している。

この列柱6-7間のアーチ・イントラドス東側下部には、切断されたアカンサス文様モザイクが残っており、これは先行研究^{（注12）}で創建当初とされている。この先行研究の考察に則るならば、金テッセラの色彩傾向および接続部の窪みがないことから、列柱6-7間のアーチおよび列柱西6上部壁は、本来その場所にあった6世紀創建当初のモザイクが一部残っているか、あるいは、当初のテッセラを再利用して制作あるいは修復したと考えることができる。

次に、列柱西1上部壁のモザイク（図14、15）は、明度の低い金テッセラを多用する点で列柱西6上部壁のモザイクとは異なる。金テッセラは正方形

に近い辺長の例が多く、間隔を詰めて布置されている。また、背景は青色ズマルトテッセラで構成されている。そして列柱西6上部壁のようにアーチ外縁と上部壁との接続部における筋状の窪みはなく、上部壁面にも目立った補修痕は見当たらない。つまり、接続部や補修痕の欠如からみて列柱西1上部壁は、列柱西0-1間のアーチ・イントラドスおよびその外縁モザイクと制作時期が同じであると考えられる。



図13. 列柱西6上部壁および西6-7間アーチ 接続部の窪み



図14. 列柱西1上部壁

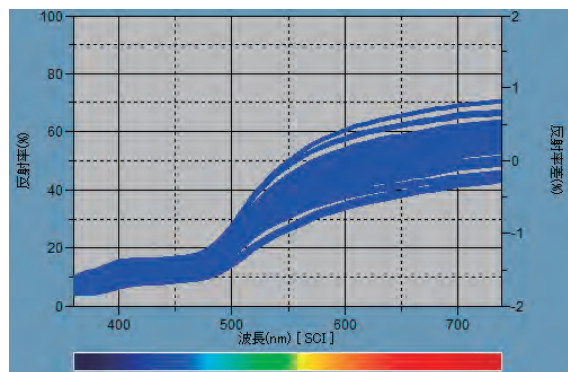


図15. 列柱西1上部壁の金テッセラ 分光反射率グラフ

それでは、この列柱西1上部壁を含めた西側の列柱西0-1間のモザイクはいつ制作され、また同時制作の例がどの範囲まで及ぶのであろうか。ここで注目したいのが、前述した列柱西2-3間のアーチ・イントラドス外縁と上部壁との接続部にみとめられる筋状の窪み、そして上部壁面における文様の変更である。すなわち、この西側壁面から列柱西2上部壁東側までを囲む補修痕は、この範囲がすべて同じ時期に制作されたことを示唆している。そして、列柱西0-1間のアーチ・イントラドスのアカンサス文様(図16)を見ると、その様式は北ギャラリー階のアーチ・イントラドス(図17)を飾る文様と様式が類似している。したがって、西側壁面から列柱西2上部壁までのモザイクはすべて、6世紀のドーム再建時の所産であると推断される。



図16. 南ギャラリー列柱西0-1間アーチ・イントラドス



図17. 北ギャラリー列柱西0-1間アーチ・イントラドス

第三章 結論と今後の展開

以上の考察から、南北ギャラリー階のモザイクは図像に同異があり、制作年代も場所により違いがあることがわかった。そして、北ギャラリー階のモザイクに関する先行研究をそのまま南ギャラリー階のモザイクに当てはめるべきではなく、図像および材料・技法に基づき、南ギャラリー階の列柱アーチ・イントラドスおよび列柱上部ヴォー

ルト壁面の制作年代を次の通り推定できる。

まず、南ギャラリー階のモザイクは、図像・材料・技法から、①西0-1と西1-2、②西6-7、そして③西2-3から西5-6の3グループに区分できる。それぞれの制作年代を考えていくと、まず、②列柱西6上部壁モザイクは、列柱西6-7間のアーチ・イントラドス下部のモザイクと同様に、6世紀創建時か、あるいはそれと大きくは隔たらない頃にテッセラを再利用して制作・修復された。その後、6世紀ドーム再建時に、①列柱西1上部壁を含む西側（列柱西0から2までの補修痕範囲）のモザイクが制作された。残る箇所③（列柱西2-3間から5-6間）については、現時点で制作年代を限定することが難しいが、少なくとも列柱西5上部壁は、テッセラが下向きに角度を伴い布置されていることから、先行研究の指摘^(注13)に則るとすれば、726年以前に遡る可能性が指摘できる。また図像の類似点が多いことから創建時に比較的近い時期に制作されたと考えられる。

図像や材料・技法による制作年代の推定結果は以上の通りである。この考察をさらに建築学的視点で検討するとすれば、列柱西5-6間アーチ・イントラドスの東側中間部でモザイク表面にまで至るクラックを修復（モルタル充填）した痕跡がみとめられる点に注目すべきであろう。このクラックは、アーチ・イントラドスから上部ヴォールト壁面上に連続してみとめられる。北ギャラリー階の列柱西5-6間アーチ・イントラドスの東側中間部で同様のクラック修復痕がみとめられることから、南北で同様に東側構造と連動する大きな物理的ストレスがかかった可能性を推測することができる。この列柱西5-6間は、上部構造であるドームのRib.8およびRib.35の真下に位置しており、これらリブは14世紀に崩落したドーム構造範囲の南北端である。つまり、14世紀にドームが崩落した際あるいは再建により、下部構造のギャラリー階身廊側のヴォールト部分に対し、衝撃や歪みが発生したのではないだろうか。このクラックは、モザイクに対して実施したモルタル充填によって解決できる問題ではなく、モザイクの背部にある構造から伝わり表面まで達したクラックであるため、早急にヴォールト壁面の構造補強が必要である。

今後は、2015年度調査で得た北ギャラリー階のアレキサンダー・パネルのデータならびに今年度

調査を予定している北ギャラリー階列柱アーチ・イントラドスでのデータとの比較をおこない、制作年代の特定を進めていく。

最後に、本研究は、科学研究費若手研究B(26870897)の助成を受けたものである。また、本調査はハギア・ソフィアの館長Hayrullah Cengiz氏および学芸員の方々ならびにハギア・ソフィア学術調査団代表日高健一郎教授の理解と協力を得て実施することができた。ここに記して感謝申し上げます。

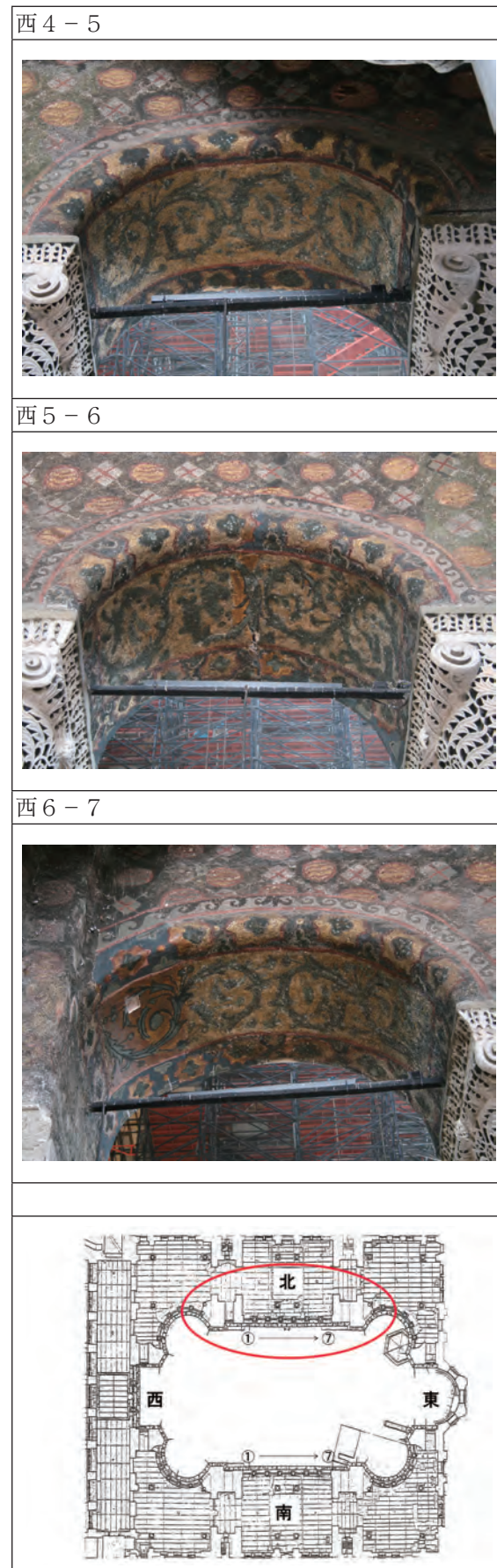
注

1. Whittemore, 1942, p.29 ; Whittemore, 1952, p.25.
2. 南ギャラリー階は3つの区画で異なる機能を有していた。まず、①東ベイは皇室のための私的空間として使用されていた。また、②中央ベイは教会会議のために使用され、③西ベイは中央ベイとの間に大きな大理石板の障壁を持ち、①②のような公式な使用を伴わない空間であった。特に、②中央ベイに関しては、旅行者らによって残されていた記録からヴォールト天井にペンテコステが描かれていたと推測できることから、この空間が特別な意味を擁していたことが伺えるとしている(Whittemore, 1952, pp.25-26.)。
3. 1934年のビザンティン研究所調査では発見されていないことから、1894年の地震によって失われたと当時考えられていた(Whittemore, 1942, p.8.)。しかし、1958年、ファン・ナイス(Van Nice)がフォッサーティのスケッチのページ隅に書かれたメモを発見したことで、北ギャラリー階中央ベイの身廊側ヴォールト部西側壁面からモザイクを見つけ出すことができた(Underwood; Hawkins, 1961, pp.189-190.)。
4. 現在収蔵庫として使用されているこの部屋は、ビザンティン研究所が実施した調査の報告書では、南西玄関上部の部屋としてその内部モザイクが記録されている(Cormack; Hawkins, 1977, pp.176-251.)。内部にはオスマン時代の美術工芸品が多数保管されている。適切な温湿度管理が必要であるが、現時点では十分な対策が取られていない。また、モザイクに関しては、ビザンティン研究所以来一切の保存・修復作業が実施されておらず、非常に劣悪な状態にある。筆者は2016年に調査を実施し、その成果の一部

- をすでに学会で報告している（佐々木, 2016）。
5. Underwood & Hawkins, 1961, pp. 199-215.
 6. Underwood & Hawkins, 1961, pp.199-201.
 7. 身廊側列柱アーチのモザイクは、目立った塩析出や構造変位による損傷が見当たらず、下地モルタルも維持力の強い丈夫な性質である。したがって、劣化や変位が原因で崩落したために再制作されたというよりも、ハギア・ソフィア全体で創建以来起きていた外側への歪みによってティンパヌムおよび柱を解体・再建する必要があり、それに伴いモザイクも壊され、再制作されたと指摘している（Underwood & Hawkins, 1961, pp.202-203, 212-214.）。
 8. Underwood & Hawkins, 1961, pp.203-210.
 9. 北ギャラリー階の3連アーチ・イントラドスのモザイク背景部には黄色い石のテッセラが使用されているに対して、南ギャラリーでは金テッセラが使用されている。
 10. Underwood & Hawkins, 1961, pp.207-209. 南北ともに、ヴォールト上部（天井）など見えにくい箇所のモザイクは、安価な材料で粗雑に制作されている。
 11. 筆者はこれまでに、ドーム・モザイクをはじめとして、ナルテクスやデシス、南ギャラリー階、地上階のモザイクにおいて実施した調査の結果から、モザイクに使用されている金テッセラの色彩を反射率およびL*a*b*表色系の数値から分類し、その使用頻度から各モザイクの制作年代の推定を試みてきた（佐々木；日高, 2010）。
 12. Underwood & Hawkins, 1961, pp. 210-211.
 13. Mango & Hawkins, 1972, pp.3-4.

参考文献

- 1) Whittemore, Thomas, *The Mosaics of Hagia Sophia at Istanbul. The Imperial Portraits of the South Gallery*, Oxford University Press, 1942.
- 2) Whittemore, Thomas, *The Mosaics of Hagia Sophia at Istanbul. Fourth Preliminary Report Work done in 1934-1938, The Deesis panel of the south gallery*, Oxford University Press, 1952.
- 3) Underwood, Paul Atkins ; Hawkins, Ernest J. W., "The Mosaics of Hagia Sophia at Istanbul, The Portrait of the Emperor Alexander ; A Report on Work done by the Byzantine Institute in 1959 and 1960", *Dumbarton Oaks Papers*, No.15, pp.187-217, Dumbarton Oaks Research Institute, 1961.
- 4) Cormack, Robin ; Hawkins, Ernest J. W., "The Mosaics of St. Sophia at Istanbul : The Rooms above the Southwest Vestibule and Ramp", *Dumbarton Oaks Papers*, No.31, Dumbarton Oaks Research Institute, 1977.
- 5) Mango, Cyril ; Hawkins, Ernest J. W., "The Mosaics of St. Sophia at Istanbul. The Church Fathers in the North Tympanum", *Dumbarton Oaks Papers*, No.26, pp.3-41, Dumbarton Oaks Research Institute, 1972.
- 6) Underwood, Paul A. ; Majewski, Lawrence J., "Notes on the Work of the Byzantine Institute in Istanbul : 1957-1959 : The Conservation of a Byzantine Fresco Discovered at Etyemez, Istanbul", *Dumbarton Oaks Papers*, Vol.14, pp.205-222, Dumbarton Oaks Research Institute, 1960.
- 7) 佐々木淑美, 「ハギア・ソフィア大聖堂西ギャラリー階モザイクの調査」, 文化財保存修復学会第38回大会（神奈川）, 2016.
- 8) 佐々木淑美, 「ハギア・ソフィア大聖堂南ギャラリー階モザイクの保存状況ならびに材料・技法に関する調査」, 日本建築学会大会（関東）, 2015.
- 9) Mango, Cyril, *Materials for the Study of the Mosaics of St. Sophia at Istanbul*, Dumbarton Oaks Research Institute, 1962.
- 10) 佐々木淑美；日高健一郎, 「ハギア・ソフィア大聖堂モザイクの現状記録と材料・技術考察現地調査報告（その1 ドーム・モザイク）」, 『日本建築学会計画系論文集』, 76巻, 661号, pp.703-709, 2011.



図Ⅰ. 北ギャラリー 中央ペイ 身廊側列柱アーチ・イントラドス モザイク一覧

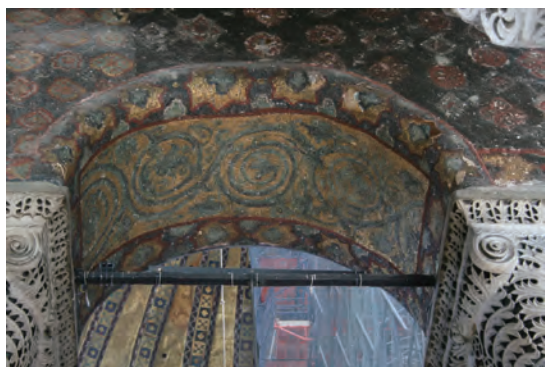
西 0 - 1



西 1 - 2



西 2 - 3



西 3 - 4



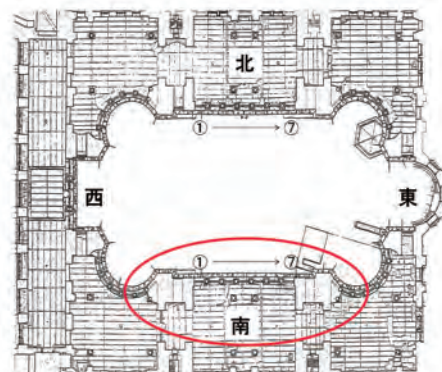
西 4 - 5



西 5 - 6



西 6 - 7



図Ⅱ. 南ギャラリー 中央ベイ 身廊側列柱アーチ・イントラドス モザイク一覧

ICCP-Bulletin 2016

受託事業報告書



平成28年度修復・調査研究

受託名	委託者	期 限	担当者
善寶寺五百羅漢像保存修復業務	宗教法人 善寶寺	2016年4月1日 ～2017年3月10日	藤原 徹
大理石像及び飛行機模型の修復業務	有限会社せいざん	2015年10月1日 ～2017年3月10日	藤原 徹
山形美術館蔵 高橋由一《鮭》作品調査	公益財団法人山形美術館	2016年4月1日 ～2016年6月30日	中右恵理子 長峯 朱里
「天童広重三幅対掛軸」修復業務委託	公益財団法人天童市文化・スポーツ振興事業団	2016年5月1日 ～2017年2月28日	大山 龍顕
個人蔵 作品保存修復処置	個人	2016年5月1日 ～2017年2月28日	中右恵理子 長峯 朱里
斉藤求作『阿蘇中岳』修復業務	株式会社荘内銀行	2015年9月1日 ～2017年6月30日	中右恵理子 長峯 朱里
浅立尋常小学校全校舎正面之図修復業務	白鷹町浅立地区	2016年5月1日 ～2016年10月31日	大山 龍顕
「無言館」所蔵絵画の保存修復業務	一般財団法人 戦没画学生慰霊美術館「無言館」	2016年5月1日 ～2017年2月28日	中右恵理子
《聖ヨゼフと幼子像》の保存修復業務	鶴岡カトリック教会	2016年5月1日 ～2017年2月28日	藤原 徹
米沢市上杉博物館木彫修理業務	公益財団法人米沢上杉文化振興財団	2016年5月1日 ～2017年2月28日	藤原 徹
石巻文化センターの書画修復業務	全国美術館会議	2016年6月1日 ～2017年2月28日	大山 龍顕
個人蔵古地図の保存修復業務	個人	2016年6月1日 ～2016年8月31日	森田 早織
東根市浅間神社絵馬調査業務	羽州文化友の会	2016年6月1日 ～2016年8月31日	大山 龍顕
天童市指定文化財認定調査研究業務	天童市	2016年8月1日 ～2016年12月28日	米村 祥央
山形美術館所蔵 渡邊畢山《溪澗野雉図》の保存修復業務	公益財団法人山形美術館	2016年10月1日 ～2017年2月28日	大山 龍顕
栃東関優勝額修復業務委託	相馬市教育委員会	2016年10月7日 ～2017年3月31日	大山 龍顕 中右恵理子 長峯 朱里
常福院木造不動明王三尊像X線調査業務	木製彫刻文化財保存修復研究所	2016年10月20日 ～2016年12月31日	米村 祥央
宮城県美術館 屋外彫刻の修復	宮城県美術館	2016年11月30日 ～2017年3月25日	藤原 徹
上萩野戸地区地藏堂所蔵地獄極楽図の修復	上萩野戸部落会	2016年11月1日 ～2017年2月28日	大山 龍顕
重要文化財「鳥居」冬季養生の効果検証及び周辺環境調査業務委託	山形市	2016年11月25日 ～2017年3月31日	石崎 武志
平成28年度 特別史跡毛越寺境内附鎮守社跡保存修理事業 遣水景石の保存処理に関する成分分析業務	宗教法人毛越寺	2016年6月7日 ～2017年3月31日	石崎 武志
三内丸山遺跡南盛土保存処理業務委託	青森県教育委員会	2016年11月1日 ～2017年2月28日	石崎 武志
木造釈迦如來坐像レントゲン撮影業務	一般社団法人木文研	2017年2月1日 ～2017年2月28日	米村 祥央

石巻文化センター所蔵「唐獅子図（139、140）」の保存修復

杉山恵助 SUGIYAMA, Keisuke／文化財保存修復研究センター研究員・准教授

大山龍顕 OYAMA, Tatsuaki／文化財保存修復研究センター研究員・専任講師¹

森田早織 MORITA, Saori／文化財保存修復研究センター常勤嘱託研究員



図1. 修復前（139）



図2. 修復後（139）



図3. 修復前（139）



図4. 修復後（139）



図5. 修復前（140）



図6. 修復後（140）

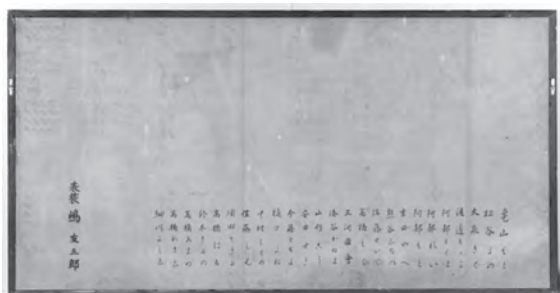


図7. 修復前（140裏面）



図8. 修復後（140裏面）

はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災により被災した石巻文化センターの津波被災作品は一時保管として各分野の機関に分散して保管され、当センターでは立体作品と書画作品の保管、修復を担当してきた。東洋絵画修復室では2015年度から修復に取り組んでいる。2016年度は「唐獅子図(140)」「石巻銭場絵巻」「孫子演舞」について修復処置、保存環境整備を行なった。本稿ではそのうち額作品二面「唐獅子図」(139、140)の保存修復について報告する。

第一章 作品概要

○作品名：唐獅子図

○目録番号：139¹、140²

○員 数：2

○法 量：*No.139

修理前／額寸法：縦1147mm×横2212mm
見込み（厚み）32mm

本紙寸法：縦851mm×横1513mm

修理後／変更なし

*No.140

修復前：前額寸法：縦1147mm×横2212mm
見込み（厚み）32mm

本紙寸法：縦851mm×横1513mm

修理後／変更なし

○作者名：華邦カ（詳細は不明）

○形 状：額装

*旧表装

パネル：骨組子に下張り。下張紙は、茶色の厚紙や反古紙が使用されている。

縁 木：木地に黒地塗装、釘により固定

大 縁：萌黄地花唐草紋緞子

小 縁：萌黄地一重蔓牡丹唐草紋金襴

裏貼紙：茶色の紙

*新表装

パネル：骨組子に下張り。下張紙は手漉き和紙。

縁 木：木地に黒地塗装、ネジにより固定

縁 裂：茶地花唐草紋緞子

裏貼紙：茶色の紙（再使用）

○材質技法：紙本着色

○制作年：昭和27年（1952）

○墨 書：No.139の画中の右上枠内に「寄贈」「門

脇母姉會（朱文方印）」「昭和十七年春」とある。裏面に25名の名前と「表装 嶋友五郎」とある。

No.140の画中左枠内には「寄贈」「門小父母教師會母姉部（朱文方印）」「昭和十七年春」裏面に24名の名前と「表装 嶋友五郎」とある。

第二章 作品状態

3-1. 損傷劣化について

本作品（No.139、No.140）は共に経年の塵埃だけでなく、津波による浸水や砂の付着、被災時の近隣工場から流出した原料パルプの付着がみられた。汚れは作品全体に及び、浸水によるシミが、黴が広がっていた。特に大縁の左上、裏面の左端に黴痕が集中していた（図9）。縁裂には褪色が生じて経年劣化などにより脆弱化していた。裏面の染み痕周辺には白い汚れが生じていた。裏面には鳥糞の付着があった。

本紙や裏貼り紙には通常の経年劣化とみられるヤケによる変色も起こっていた。本紙には破れ、突き痕、擦れ、欠失などが点在していた。破れや欠失部の周辺部分は糊離れを起こして浮いていた（図10）。

No.139では作品全体に破れ、欠失、突き痕、擦れなどが多く点在していただけでなく、本紙左下に約縦270mm×横600mmの楕円状の切り取られたような欠失がみられた（図11）。

両作品とも、パネルの裏面の左上、右下には顕著な角皺が生じており、額の縁部分には突き傷や擦れた跡が随所にみられた。額縁はパネルに釘で固定されていたが、釘には錆が生じていた。

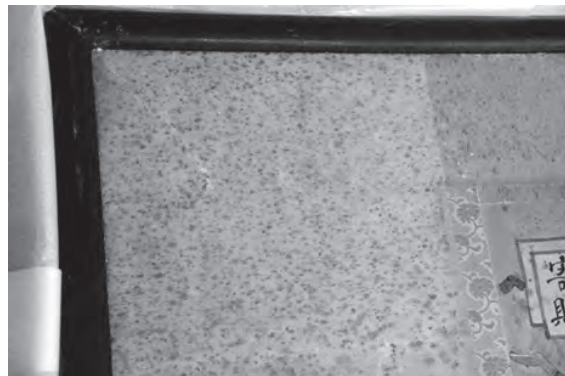


図9 縁裂のカビ（No.140部分）



図10 修理前 突傷 (No.140部分)



図11 修理前 大きな欠失 (NO.139部分)

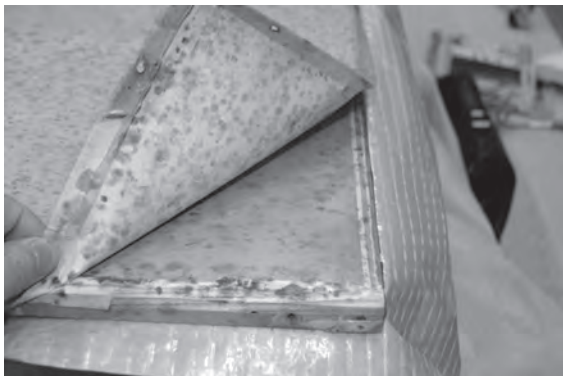


図12 下貼りまで拡がったカビ (No.140部分)

第三章 処置方針

作品状態を確認すると、経年による劣化の進行や本紙の脆弱化に加え、津波被災による水損が大きく影響して、損傷が進行したと考えられ、欠失、破れや擦れなどの損傷につながったとみられる。裏面に顕著な水しみに現れた白いシミは塩分の結晶化とみられる。

本紙や裏貼紙の脆弱化が著しく、今後、破れや絵具の剥離剥落が拡大する可能性が高い。また、本紙の内部にまでカビが浸透していることから水損の影響はパネル内部まで及んでいるとみられる。

そのため、作品を解体し、肌裏紙の交換などによる本格修理を行うことが望ましい（図12）。

縁裂については退色が進み、全面にカビが発生し劣化損傷が著しく、再使用は困難であった。縁木はパネルと固定している釘の錆が顕著で損傷も多く塗装も剥げていた。木材の変形など起こっているとみられるが、再塗装を行い使用することができるとみられた。以上の内容を踏まえ、以下の修復方針を立てることとした。

- ・解体し、肌裏紙を交換する本格修理を行う。
- ・絵具層には剥落を止めるため膠水溶液による剥落止めを行う。
- ・ドライクリーニングにより、表面に付着した汚れやパルプ屑などの付着物を除去する。
- ・シミや汚れに対して、薬品などによる過度なクリーニングは行わないものの、水染みの軽減や津波による塩分の除去のためウェットクリーニングを行い、状況を緩和させる。
- ・縁木については解体後洗浄して損傷部の補修を行い再使用する。縁裂は新調とする。
- ・修復材料には再修理可能な伝統材料を使用する。

第四章 処置内容

①一時処置

本作品は石巻文化センターから救出後、宮城県美術館への移送後、状態確認と応急処置を経て当センターに搬入された。その後、今回の修復処置に至る前に、以下の処置を実施した。

- ・写真撮影：作品の全体と部分の画像を記録。
- ・状態調査：調査書に搬入時の状態を記録。
- ・燻蒸処置：作品は当センターに移送される前にエタノールによる殺菌処置は行われたものの、それ以上の処置は行われていなかった。そのため、黴の増殖の危険性が高く、関係諸機関と連絡ののち燻蒸を行った。処置はイカリ消毒株式会社により、当センター内で実施した。使用薬剤はエキヒューム S（酸化エチレン製剤）による（2012.4.28～30）。
- ・その後は当センターの収蔵庫にて保管

②修復処置

修復方針に則り、以下の処置を行った。修復内容について順を追って記すこととする。尚、No.139、No.140ともに基本的な修復内容は同じとなっている。そのため、両作品の修復処置をまとめて記し、個別の処置についてはその旨記載した。

1. 修理前の記録。損傷箇所の調書などを取り、写真撮影をおこなった（一時保管時に実施）。
2. 額を解体し、パネルと額の縁木を分離した。それに伴い、錆びた鉄釘はバールやペンチなどの工具を用いて除去した。
3. 柔らかい毛の刷毛（熊野筆）と掃除機（ミュージアムクリーナー⁴）を用いて表面に付着した塵埃を除去した。
4. 彩色箇所の定着度合いをパッチテストにより確認し、色彩ごとに薄い膠水溶液³（牛膠3%）を筆で塗布し剥落止めを行った。剥落止めを乾かしたのち、濃い色彩や定着が不安定な箇所は追加して剥落止めを行った（図13）。



図13 剥落止め (No.139)

5. 本紙の表面のドライクリーニングを行った。本紙に付着した塵埃を除去するため、粉消しゴムを画面全体に散布し、刷毛を用いて表面を移動させたのち粉消しゴムを付着した塵埃とともに除去した。
6. 本紙のウェットクリーニングを行った。作業台の上に吸水紙とポリエステル紙を敷き、本紙を表向きに敷いた。上から噴霧器でイオン交換水を噴霧して汚れを吸水紙に吸着させた。噴霧する水は本紙上に溜まらないよう注意しながら、全体をクリーニングし、吸水紙のよごれを確認して、3回交換してクリーニングを行った。全体に濃い汚れが落ちていたところで止め、プレスして乾燥をした。
7. 裏張りに使用されていた茶色の紙には表具を行った職人の名称と、寄贈者の名前が記載されていた。そのため再使用することとし、本紙と同様にウェットクリーニングを行った。画面よりも砂の付着やしみの痕跡がはっきりしていたため、状態を確認しながら、印象が緩和されるよう吸水紙を交換してクリーニングを行った。

クリーニング後はプレスして乾燥を行った。

8. 本紙と裏張りをパネルから取り外した。パネルと表装裂の接着箇所を小刀やピンセットを使用して取り外し、次いで、本紙も取り外した。その後、裏面に残っていたパネルの旧下貼り紙についてもピンセットやヘラを用いて除去した（図14、15）。

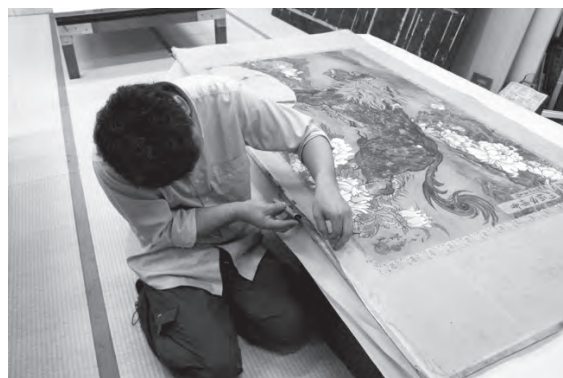


図14 解体 (No.139)

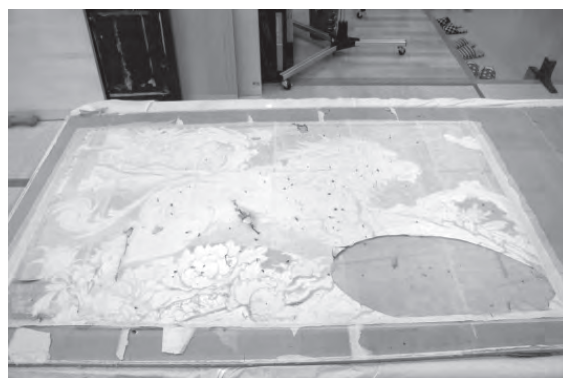


図15 解体時の本紙裏面 (No.139)

9. 本紙の損傷箇所を補填するための補修用紙を用意した。本紙の紙の組成に近い特号鳥の子紙（雁皮紙）を天然染料の矢車を用いて染め、木灰を用いて媒染し、よく水洗した。特号鳥の子紙はそのままでは厚すぎたため、二枚に剥ぎ厚みを調整した。



図16 肌裏紙の除去 (No.140)

10. 本紙の旧裏打ち紙の除去と調整を行った。本紙をライトテーブル敷いたポリエステル紙に裏返して寝かせ、全体に湿りを与え透過光と斜光を使用して肌裏紙を除去した。裏打ち紙を除去したのち本紙の厚みを確認しながらピンセットを用いて調整した (図16)。
11. 欠損部に補修用紙を貼り補填した。本紙の肌裏紙を除去したのち、本紙と厚みを調整した補修用紙を損傷の形に合わせて切り抜き、損傷の周縁部に小麦澱粉糊 (以下、新糊) を塗布して補修用紙を貼り補填した。特に大きかったNo139の下部左下の損傷では糊代をわずかに多めにとり、他の損傷箇所と同様に補修用紙を貼り補填した (図17)。



図17 補紙 (No.139)

12. 本紙裏面に手漉き和紙による肌裏打ちを行った。
肌裏紙の除去、補紙を行った後、新糊を均一に塗布した手漉き和紙 (五箇紙2.5匁) を貼り、撫ぜ刷毛で良く撫ぜて密着させた。裏打ち紙の重なりは毛羽先を作った和紙の裁断面「くい裂き」を重ねて段差を減らした (図18)。



図18 肌裏打ち (No.139)

13. 肌裏打ちを行ったのち、手漉き和紙 (石州紙4.5匁) に新糊を塗布して裏打ちを行なった。肌裏紙と紙の向きを交差させて接着させ、裏打後は数干しである程度乾いたのち、プレスして乾燥させた。乾燥したのち、本紙の裏面に湿りを与えてよく伸ばし、周囲に新糊を塗布して仮貼りに貼り込んで乾燥させた。
14. 本紙の貼られていたパネルは燻蒸したとはいえ再使用は困難と考え、新たに杉材による骨組みとなる組子を新調した (図19)。組子には手漉き和紙による下貼りを行うこととし、骨縛り (月山紙)、胴貼り (タルク入り楮紙)、蓑掛け三層 (月山紙)、蓑押え (石州紙4.5匁)、下袋掛 (石州紙4匁)、上袋掛 (石州紙3.5匁)、の下張りを行った。下貼りは新糊を用いて接着した。下貼りの紙は紙漉きの際に生まれる繊維方向が交差するように向きを変えながら貼り込んだ。表裏とも同様に行なった。

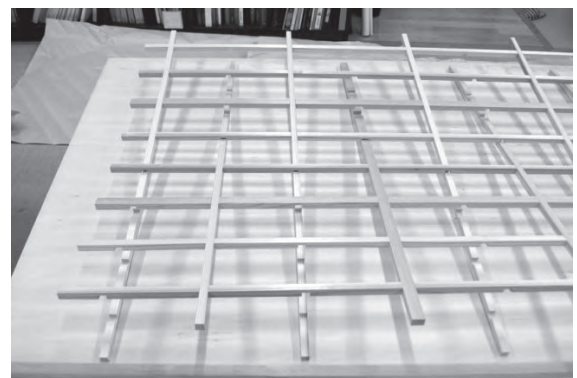


図19 新調した組子を組み立てる

15. 仮貼りに掛けた本紙を剥がし、修復前の寸法に即して裏打ちによる余分の周囲の和紙を裁ち落とした。パネルの所定の位置に本紙の印をつけ、本紙裏面の周縁部分に濃い新糊を塗布し、

内部に薄い新糊を塗布した。その後、印の位置を合わせて下貼りを行なったパネルに貼り込んだ（図20）。



図20 本紙に糊を塗布する（No.140）

16. 本紙周囲に裏打ちを行なった表装裂を廻した。本紙に使用されていた牡丹唐草と同様の紋の表装裂を使用して、本紙の周囲に配置することとした。表装は二種類の表装裂により大縁、小縁と配置されていたが、今回は一種類の牡丹唐草の裂を使用することとした。

表装裂は濃い新糊を用いて裏打ちを行い、本紙、裏張り同様に増裏打を行い、仮貼りにかけて乾燥させた。本紙の周囲に配置する寸法に裁断したのち、裏面に新糊を塗布して所定の位置に張り込んだ（図21）。



図21 表装裂を張り込む（No.140）

17. 裏張りは仮貼りをを行い乾燥させたのち、パネルに合わせてサイズを確認して、本紙同様に裏面に新糊を塗布して張り込んだ。
18. 補彩は地色補彩とした。本紙の欠損箇所に行なった補紙は古色をつけたものの、そのままでは色調が明るすぎて全体の調和を損なっていた。そのため、補紙にドーサを引き、補彩を行なった。絵具には棒絵具を使用して混色により色調を調

整しながら補彩を行なった。

19. 額の損傷箇所を補填し再塗装を行なった。額縁の材には多くの傷がつき、塗装が剥がれている箇所もみられた。損傷部の補填には人口木材としてエポキシレジンを使用した（図22）。再塗装はカシューを使用して、スチールウールにより、ツヤを抑えた。

20. 完成後の記録撮影を行なった。

21. 修理報告書を作成した。



図22 額縁の材の損傷を埋める（No.140）

③修復前後

修復による作品の変化を見てみることにする。

No.139とNo.140はほぼ同様の修復方針により処置を行なった。裏打ち紙の交換による裏面からの補強と損傷部の補填、補彩による色調の調和が作品を鑑賞する際の印象を左右する。実際の修復処置を見ても、損傷がふさがり、周囲と色調が近くなることで、全体の印象が改善していることがわかる（図23、図24）。



図23 修復前（139部分）



図24 修復後（139部分）



図27 修復後（部分）

細部で見るとより顕著である。損傷による穴や欠失や裂けでなく、周辺の本紙が歪み、萎縮していると見えた箇所も丁寧に伸ばし、修復を行ったことで、損傷部の印象を大きく緩和することができた（図25、26）。

これらのことは今回の修復の大きな成果となっている。最も大きな損傷であったNo.140の左下についても補紙と補彩により、安定した状態とすることができた（図27、28）。



図28 修復後（部分）



図25 修復前（140部分）



図26 修復後（140部分）

第五章 まとめ

二面に対になる唐獅子の作品（139、140）の修復事例について報告してきた。最後に本修復と石巻文化センター書画作品の修復事業について触れてまとめとする。

この二面は損傷状態も近く、修復内容も概ね同様の内容となっている。修復前の状態を振り返って見ると、作品全体に水染みが広がり、カビの発生や破損が見られたことから津波による損傷が著しい状態であった。修復全体としては本格修理と呼ばれる文化財修理の工程に即して行ったが、修復前と後で作品がどのように変化したかを確認すると、各所に見られた本紙の破損箇所は本紙裏面の肌裏紙を交換したことで全体の補強を行うことができ、再額装により安定した状態となった。損傷箇所には本紙と同様の組成の補紙を行い、さらに地色補彩を行い周辺の色調との調和を図った。140の左下に見られた大きな損傷箇所も同様に補紙と補彩により鑑賞する際の違和感を緩和した。修理前後の画像を比較すると損傷箇所は修理後の状態でも確認できるものの、獅子を鑑賞しやすくなっていることが分かる。

作品を支えるパネル部分にも津波によりカビが発生しており、損傷や水染みも著しかった。組子

を新調し手漉き和紙を用いて下地を整えたことで安定して作品を保存できる状態になったといえる。

裏面には作品の寄贈に関わった人物名が列挙されており、再使用することとした。津波による水染みが全面に見られたため、ウェットクリーニングにより洗浄したが、下部に砂の痕跡が残った。これは、紙の強度や資料的な面からこれ以上の洗浄は控えることとしたためである。東日本全体に及ぶ大災害の痕跡を留めて乗り越えた証である水シミが裏面に残ることも本作品が受け継ぐ地域史の一端になると考えることもできる。

今年度はこれまで保管を続けていた津波被災作品を、2015年度に修復を実施したものと合わせて、石巻文化センターのレスキュー事業を実施している全国美術館会議を通じて宮城県に返却を行なった。

これらの修復処置を通じて、作品が安定して保存され、地域史の一端を受け継いでいくことを願うばかりである。

震災から五年が過ぎてようやく石巻文化センターの書画作品の修復までこぎつけることができた。2015、2016年度に実施した六点と作品の数としては多くはないかもしれない。しかし、被災地から安全な場所に移送されるレスキュー活動、次いで宮城県美術館における一時保管、各専門機関において社会状況の安定と修復に至るまで保管する期間、そして作品の修復処置。一つ一つ事業が進むごとに、作品は日常の保存管理に近くなる。今回の修復を行い、作品が現地に近づいたことで、また少し津波被災作品のレスキュー活動から通常の作品の管理保存に復帰することができたといえるのかもしれない。

注

- 1 担当者・執筆者
- 2 「唐獅子図140」の保存修は2015年度に実施し、「唐獅子図139」は2016年度に実施した。
- 3 膠は天野山文化遺産研究所製牛皮和膠「特2-B」を使用。
- 4 ミュージウムクリーナーは無段階に吸引力を調節することができ、HEPAフィルターにより微細な塵埃まで除去できる。排気口の向きなども調整できる。

相馬市所蔵 「栃東関優勝額」の保存修復

中右恵理子 NAKAU, Eriko／文化財保存修復研究センター専任研究員・講師

大山龍顕 OYAMA, Tatsuaki／文化財保存修復研究センター専任研究員

長峯朱里 NAGAMINE, Akari／文化財保存修復研究センター嘱託研究員



図1. 修復前



図2. 修復後

はじめに

大相撲の優勝額制度は明治42年6月場所から大相撲常設館（後の旧両国国技館）完成に伴い開始された。第二次世界大戦中に旧両国国技館が焼失し、しばらくは優勝額制度が途絶えていたが、昭和26年春場所から蔵前仮設国技館にて優勝掲額が再開されている。明治から旧両国国技館での優勝額については不明な点が多いが、昭和26年以降はモノクロ写真に手作業で彩色が行われた。画材は油絵具で、媒材にはテレピン油（ターペンタイン）にルソルバンを混ぜたものを使用していた。髪にはアイボリーブラック、身体にはバーントシェナを中心イエローオーカーやバーミリオンを用いるなど、彩色箇所により使用する絵具が決まっていた様である。1週間ほどで約180cm×270cmの写真2枚を彩色せねばならず、面積の大きな個所などには脱脂綿を使い薄く塗り広げていく手法を

取っていた。また細かい部分には綿棒や筆などで色を置いていたようである。¹

優勝額彩色は昭和26年から62年間続けられてきたが、彩色家の佐藤寿々江氏が引退し、2014年の初場所以降はデジタル処理を施したカラー写真へと変わった。

第一章 作品概要

- 作 者：佐藤寿々江²
- 作品名：栃東知頼関優勝額
- 制作年：昭和47（1972）年
- 寸 法：作品 縦1817×横2726mm（最大寸）
- 材質技法：油彩／印画紙
- 署 名：なし
- 所蔵先：相馬市

第二章 損傷状態

本作は厚さ36mmの合板パネルに3枚に分割してプリントされた印画紙を張り込んだ作品である。パネルはラワン合板と見られる3層構造だが、経年劣化により板の浮き上がり、歪み、割れが多数見られる状態であった。

本作の支持体は紙でありバライタ印画紙と考えられる。紙の上にバライタ層、感光乳剤層、保護ゼラチン層が施されている。印画紙にモノクロ画像がプリントされ、その上に直接油絵具で彩色されている。表面の油絵具が剥がれている部分にはバライタの白色が見えていると思われるが、その部分にも細かい亀裂が生じている。画面全面に見える亀裂は油絵具層のみではなく、層全体に共通して発生していると考えられる。紙より上の層全体に亀裂が発生していると推察された。

絵具層は非常に薄い油絵具の塗膜である。額に隠れていた周縁部には艶のある濃い青色の層が見られた。対して、露出していた画面には全体的に細かい亀裂が入り、艶も引けていた。周縁部から画面の中央部に移行するにしたがって軽度の亀裂→深いしわ上の亀裂→亀裂の端が浮き上がった状態へと悪化している様子が見られる。日光が多く当たっていた部分の亀裂の生じ方が最も著しい。また、日光に晒されていた部分は著しく変色していた。顔付近や脇などには液体がかかって絵具層が無くなった個所が散見される。印画紙に施されているゼラチン層を感光乳剤層と一緒に流れて画像が失われている箇所もある。

溶剤テストを行うと、水に非常に弱い。印画紙のゼラチン層が水に反応し、膨潤していることが考えられる。ミネラルスピリット、エタノールにはゼラチン層が膨潤せず、絵具も動かなかった。

また画面の下方には破れが1 m30cmと1 mほどの大きな破れが見られた。これらはパネルや紙の膨張と収縮で生じたものと考えられる。他にも細かい破れが数か所観察された。

第三章 処置方針

作品の状態などの観察から、以下の処置方針を立てた。

- ・本作は、制作後から修復処置などの手は入られていない。使用されたパネルや額から作品を固定する木材などは劣化が進んでおり、今後作品の劣化を促進する恐れがあるため新規のものを使用する。
- ・画面の汚れをドライクリーニングで除去し、絵具層の亀裂・浮き上がり部分には強化処置を行う。
- ・破れが大きいため、破れた箇所を補修するだけ

では強度の不足が考えられる。そのため裏打ちを行い、新調したパネルに張り込み、作品の構造強化を図る。

- ・染みや破れ部分の絵具の剥落が作品の美観を損ねている。補彩を行うことで作品の美観を回復する。

第四章 修復処置

処置方針を踏まえ、以下の処置を行った。

1. 修復前の状態調査を行い、調書を作成した。
2. 画面に付着した埃や汚れを刷毛などで軽く払いながら除去し（図3）、紙片などの付着物をメスを用いて除去した。



図3 画面クリーニング

3. パネルに張り込まれた本紙の四辺を水を用いて糊を緩ませながらメス及びヘラで取り外した（図4）。四辺を再度利用するため、石州紙を貼り合わせて強化処置を行った（図5）。



図4 本紙のはずし



図5 張りしろの強化処置

4. 本紙に裏打ちを行った(図6)。外された本紙に湿り気を入れつつ、石州紙の3.5匁と正麩糊を用いて肌裏打ちを、石州紙4.5匁と正麩糊を用いて増裏打ちをした。
5. パネルの下張りは細川紙の3.4匁、3.5匁、4.5匁と3層張り重ねた。
6. 作品の裏面からわずかに湿りを入れつつ、本紙をパネルに張り込んだ(図7)。



図6 裏打ち



図7 パネル張り込み

7. 画面の細かい亀裂・浮き上がりに対しクルーセル(HPC)をエタノールに溶かした溶剤を0.5%の濃度で噴霧した(図8)。浮き上がりの大きな個所には筆等を用いて差しつつ接着強化を行った。
8. 本作は水に弱く、エタノール等の溶剤には強いことから、補彩にはミネラルスピリットやエタノールに可溶な樹脂絵具を使用した。染みや色落ちの部分などを目立たなくすることで、鑑賞性を向上させた(図9)。
9. 額の清掃を行い、作品に合わせた寸法調整を行った。また、入れ子内側にフレームシーリングテープを貼り、固定用の木材を新調することで保存環境を向上させた。
10. 修復後の状態を記録した。



図8 HPC0.03%噴霧



図9 補彩

第五章 まとめ

本作は印画紙に油絵具が使用されており、複合分野にわたる修復となった。修復を行うにあたり、東洋絵画修復室と西洋絵画修復室で意見を出し合い、作業を行った。

本作には木製パネル、印画紙、油絵具という異なる物性の素材で構成され、それらが影響し合い、亀裂、絵具の劣化、破れなどの損傷が生じたと考えられる。

今後の受託において、複合分野が増えてくることが推測される。本センターでは分野を超えた協力体制が整っているが、今回の作業で修復の手法・機材の持ち合わせなどの問題が多々見えてきた。この点に関して、目標の設定と対策が必要と考えられる。

注

- 1 優勝額製作関係者からの聞き取り調査による。
- 2 彩色は佐藤氏により行われたが、下絵にあたるモノクロ写真の製作には株式会社G.T.Sunが当たった。

個人蔵 伊沢清 「初夏の七ツ森」
伊沢清 「涼風一過」
伊沢清 「冬」
奈良岡正夫「漁港」の保存修復

中右恵理子 NAKAU. Eriko／文化財保存修復研究センター研究員・専任講師

長峯朱里 NAGAMINE. Akari／文化財保存修復研究センター嘱託研究員



図1. 伊沢清 「初夏の七ツ森」 修復前



図2. 伊沢清 「初夏の七ツ森」 修復後



図3. 伊沢清 「涼風一過」 修復前



図4. 伊沢清 「涼風一過」 修復後



図5. 伊沢清 「冬」 修復前



図6. 伊沢清 「冬」 修復後



図7. 伊沢清 「漁港」 修復前



図8. 伊沢清 「漁港」 修復後

「初夏の七ツ森」

○作 者：伊沢清

○作品名：初夏の七ツ森

○制作年：不明

○寸 法：作品 縦409×横319mm
額 縦562×横472mm

○材質技法：油彩／キャンバス

○署 名：画面左下「I.Kiyoshi」

○所 蔵：個人蔵

既成のF6号サイズの張りキャンバスに描かれた作品。筆触は中程度。不透明の色を何層か重ねて描いており奥の風景は筆触を弱めに、近景は筆触を強く出し、マチエールを細かく出している。目視と赤外線写真から、遠景の山や画面左の高い

木を描いた後に、白色を入れた黄緑で稜線や木の形が修正されていることがわかる。山の形は最大1センチほど位置が変更されており、細かく構図が変更されている。

作品の保存状態は非常に良好で、画面側からの損傷はほぼ見られない。しかし裏面の右半分に黄色いシミが多く観察された。粉状の白い胞子も散見されたことから黴が部分的に繁殖していると推察した。

額の状態も良好だが、ガラス面内側にのみシミ・黴跡が見られ、作品の鑑賞にも影響している。

「涼風一過」

○作 者：伊沢清

○作品名：涼風一過

○制作年：不明

○寸 法：作品 縦410×横317mm
額 縦560×横472mm

○材質技法：油彩／キャンバス

○署 名：画面右下「I.Kiyoshi」

○所 蔵：個人蔵

F6号の作品。《初夏の七ツ森》とサイズや描き方が似ていることから、近い年代に製作されたものだと考えられる。本作もタッチを生かした描写で、稲穂の部分などは絵具を置くように描いている。赤外線写真では、山脈の輪郭を下描きしている様子が観察された。下描き線から実際の描かれた山脈の位置が変わっており、描きながら構図が推敲されたことが推察される。

状態は非常に良好で、目立った浮き上がりや剥落は観察されなかった。中景にある黒い山には乾燥性の亀裂が生じているが、鑑賞の妨げにならない程度であった。

画面左上の空部分や山部分に黴跡が見られ、本作にも黴の処置と対策が必要と考えられた。

「冬」

○作 者：伊沢清

○作品名：冬

○制作年：1979年

○寸 法：作品 縦455×横380mm
額 縦654×横576mm

○材質技法：油彩／キャンバス

○署 名：画面右下「Kiyoshi」

○所 蔵：個人蔵

F8号の作品。支持体の経糸・緯糸が1cmあたり共に11本で布目が荒いが、糸が非常に太く織りの隙間は見られなかった。地塗りは白色で、油性地と考えられるが他作品より光沢が少ない。

描画は炭か木炭で下描きをしてから塗り分けるような方法で、絵具を重ねて描いている箇所は少ない。橋の際や山の稜線、川の水面と草の際などは地塗り層と下描きの線が見え、本作が薄塗りであることを示している。色味は全体的に白色を含んだ不透明色で描かれており、山の褐色や近景の草木などは原色を使用し強調されている。

作品の損傷として、絵具層の状態は良好で亀裂や剥落は見られない。四辺の角の張りしろの織り

部分にのみ地塗りの亀裂が見られたが、浮き上がりも確認されず、キャンバスの張り込み時に生じたものと考えられる。画面全体に褐色の黴跡のような斑点、砂のような付着物、虫糞が散見された。

額にもガラス前面に付着物・黴が見られ、水拭きの跡が確認された。裏板には歪みと反りが見られ、留め金具は錆が生じている。

「漁港」

○作 者：奈良岡正夫

○作品名：漁港

○制作年：不明

○寸 法：作品 縦454×横380mm
額 縦670×横594mm

○材質技法：油彩／キャンバス

○署 名：画面右下「M.NARAOKA」

○裏 書：「漁港 日展會員 奈良岡正夫」

○所 蔵：個人蔵

F8号の作品。空と海の境目、家と海の境目、作品下辺などには地塗り層が観察できるほどの薄塗りの作品。部分的に手前の民家の屋根や遠景の山など、筆触を生かしたタッチや絵具層が厚く盛られている箇所もある。色調は基本的に透明色を用いており、近景の海の青緑は不透明色を使用している。山を描いた後に空部分を加筆し、山の稜線に変更を加えている。作品の保管状態は非常に良く、大きな損傷は見受けられなかった。画面左上角と左下角部分に張り込み時に生じたと思われる支持体の凹凸がごくわずかに確認できた。加えて画面に埃の体積が少量見られたが、いずれも今後の保管に影響はしない程度である。裏面には油性のしみ跡及び黴跡が点在している。

本作の額にはマット部分に麻布が貼られており、下層の板ごと虫に食われている。上部に被害が大きく、右辺・左辺部分は被害が少ない。虫糞や染みも多数見られ、作品の保管上・鑑賞性にも問題がある。加えて、額裏面は箱額、内額、作品への固定が全て釘で行われており、緩みによって若干の動きが見られた。また、泥足の高さよりも5－6mm作品が出ており、その上から釘で固定しているため、表にして置いた場合作品への加重負担が増加していると考えられる。

処置方針

今回預かった作品は主に黴と額の問題点が共通している。作品自体の状態はどれも良好だが、同

じ場所で保管されていたためか黴の損傷も似たようなものが多かった。そのため、黴の対処と額の加工を中心に、以下の処置方針を立てた。

- ・画面と裏面のクリーニングを行い、埃を除去する。
- ・防黴処置と今後の黴の発生を予防をする。
- ・額のクリーニング及び加工を行い、保存環境を改善させる。
- ・修復作業には可逆性のある材料を使用する。

修復処置

処置方針を踏まえ、以下の処置を行った。

1. 修復前の状態調査を行い、調書を作成した。
2. 画面に刷毛でエタノール70%水溶液を塗布し、殺菌した。

裏面はエタノール70%水溶液をしみこませたウエスで拭き、殺菌した。

3. 画面に付着した埃や汚れを軽く湿らせた綿棒で除去した。裏面もケミカルスポンジで埃を吸着した後、ミュージアムクリーナーを使用しゴミを除去した（図9）。

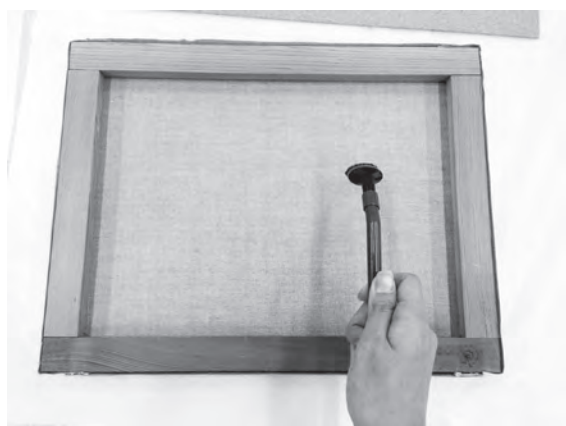


図9 クリーニング作業

4. 画面にTBZ溶液0.03%エタノール水溶液を塗布し、防黴処置を行った（図10）。
5. 額の殺菌およびクリーニングを行った。黴が生じているため、エタノール70%水溶液を含ませたウエスで拭き、殺菌およびクリーニングを行った。
6. 額の内側にある入れ子にシーリングテープ、画面が当たる箇所にGSフェルトを貼り付け、額内の環境改善を行った（図11）。



図10 TBZ0.03%液塗布



図11 額の加工

7. 額に使用されているトンボ・釘・吊り金具に錆が発生していたため、新規のものと交換した。新規のものには今後錆が出ないようにB72キシレン溶液を塗り、保護膜を作ったものを使用した。
8. 「初夏の七ツ森」「涼風一過」「冬」は額に入れた作品を裏板一枚のみで押えている状態であった。そのため、入子と作品の高さに合わせたT字金具を取り付け、作品の固定を行った（図12）。

また、額の裏板には薄い合板が用いられており、酸性物質の影響が大きい。そのため、裏板に近い方からAFプロテクト（酸緩衝材）・SHCペーパー（調湿紙）・ピュアガード（保護用紙）を入れ、保存環境を整えた（図13）。

9. 「漁港」のマット部は額縁工房にて新規マットと交換した。本作は泥足よりも作品が高く出してしまう点が問題だったため、泥足を制作・加工した（図14）。加えて、裏板に中空構造のポリカーボネート板（4mm）を入れ、額を改善した（図15）。
10. 修復後の状態を記録した。



図12 T字金具の取り付け

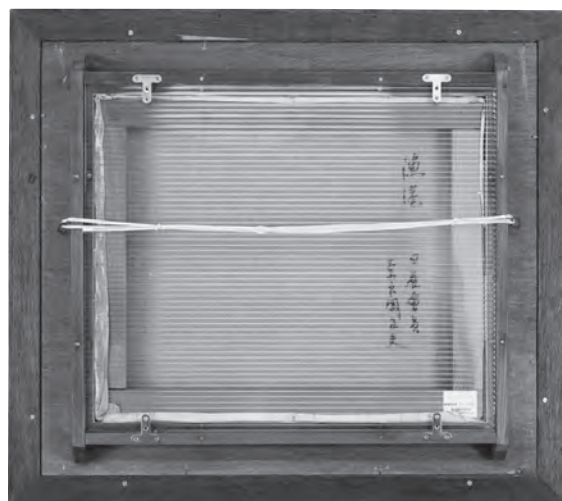


図15 修復後裏面



図13 保護用紙入れ

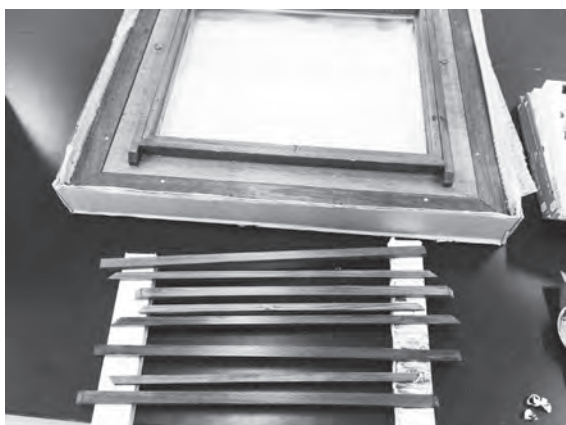


図14 泥足の作成

まとめ

今回の作品は保存状態も良く、劣化も少ない状態だったが、額や作品に黴が見られた。これらの作品は個人で所蔵しているもので、同じ場所に保管されていた。このことから、似たような黴の生じ方になったと推察される。この黴について本学の学生が研究課題として同定を行い、黴への処置を検討した。

作品に黴の除去と予防を、額には保存に適した形への加工と黴の予防を中心に処置を行った。結果、ガラス面の黴跡も消え、作品の鑑賞性と保存性を向上させることができた。個人蔵の作品ということで、家庭での保管に適した形を想定し、処置を行うことができた。劣化に対しての修復処置だけではなく、作品の保存環境という背景も重視し、必要な保存処置について今後も考える必要がある。

貞本義行 作「綾波レイ」

藤原徹 FUJIWARA, Toru／文化財保存修復センター研究員・教授

齋藤里歩 SAITO, Riho／美術史・文化財保存修復学科保存修復コース立体修復専攻3年

目次

1. はじめに
2. 作品概要
3. 観察・損傷状況
4. 修復案の提案
5. 実験・修復処置
6. まとめ

1. はじめに

本作品は1995年開始のアニメ『新世紀エヴァンゲリオン』に登場するキャラクター『綾波レイ』の等身大フィギュアである。作品の美観を大きく損ねる頭部の損傷の為持ち込まれた。損傷した頭部の接合及び、塗装を含めた修復処置を行うこととなった。2007年2月に登場した『エヴァンゲリオン初号機ヒューマンスケールフィギュア』で注目を浴びた秋山工房が制作したのが『綾波レイ』である。(第二弾は『式波・アスカ・ラングレー』)商品は受注生産となっており、当初の発売予定時期は2007年8月12日となっている。現在も購入可能である。

2. 作品概要

作 家 ・ 監 修：貞本義行・GAINAX
 キャラクターデザイン：貞本義行
 制 作 会 社：秋山工房
 塗 装：HARAPAINWORKS
 名 称 また は 題 名：「綾波レイ」
 制 作 年：2007～(秋山工房)
 材 料 ・ 技 法：FPR（おそらくポリエス
 テル）・スチール（台座）
 寸 法：159×56×39（cm）
 重 さ 全 体：8.48〔本体：4.87（kg）
 後 頭 部 の み：0.30（kg）〕

※キャラクター『綾波レイ』の詳細は補足事項へ

3. 損傷状況観察

3-1 観察

作中において、エヴァンゲリオンを操縦する際

に搭乗パイロットが身につけるパイロットスーツで、白を基調とした『プラグスーツ』姿。水色系の髪、大きく描かれた赤い瞳、鼻と口はデフォルメ化されており、全体を見ると頭部が大きく作られている。見た目は約8等身程度。腰は細く、腕と脚部は長い。全体的に華奢な造形である。首を左側に傾け、右腕を少し前に出し、人差し指を真っ直ぐにしている。左手は自然な状態でおろし、右足を少し引いた状態で立っている。左足に台座から伸びる鉄棒を指すための穴があいており、六角形の台座の上に立たせることができる。今回一番の問題点である頭部、割れている個所がもともと別々のパーツで、顔を含む前頭部と後頭部を接着して作られていることがわかった。

3-2 破損・割れ

- 1) 後頭部に大きな割れがあり、頭部が二つに分離している。
- 2) 左足の甲の中央付近に約15mmのヒビのような傷。

3-3 キズ・スレ傷・塗装の欠落

- 1) 頭部の割れ部分付近に数か所塗装の剥落。
- 2) 首の赤く塗装してある付近とその下の黒の塗装付近に亀裂と塗装の剥落。
- 3) 両手首のパーツに数か所のスレ傷が見られる。
- 4) 両手の指先、指の腹に数か所スレ傷が原因と思われる塗装剥げ。一番大きな個所は右手人差し指の指先で約0.5mmの塗装の剥落。
- 5) 左足の脛中央あたりに細いキズ。
- 6) 両足の甲に細かなキズ。つま先には移動の際に付いたと思われるスレ傷と、それによる塗装の剥落。
- 7) 両足かかと部分にスレ傷塗装の剥落が見られる。
- 8) 台座に無数のスレ傷や細長いキズ。本体を移動する際や向きを変える際についた傷と思われる。

3-4 付着物・汚れ

- 1) 脇の下から背中にかけて、指先・指の間、両膝下、右足のくるぶし付近など広範囲にわたり茶系のシミのような汚れ。
- 2) 鼻付近、両手の指先、ろっ骨当たりの装飾品付近、左足の膝下付近、右足の脛脛付近などに黒い線のような汚れ。なにかに擦れてついたものと思われる。
- 3) ボテイスーツのくぼんでいたりところや装飾の隙間、股下、台座表面に汚れとほこりの付着。
- 4) 両手の指や両足など全体に黒い線のような汚れ。
- 5) 左足のかかと付近に紙テープのような付着物。
- 6) 台座の水痕のような汚れ

3-5 塗装（塗り残し、はみ出し、塗り重ね）

- 1) 右腕、左腕、左足の甲の青紫系の塗料に塗り重ねられたような個所がみられる。補彩痕？
- 2) 右手肘付近の青紫系の塗料が白い塗料の部分にはみ出している個所がある。
- 3) 首中央あたりの赤の塗装部分と、右脇の下の白の塗料部分に塗り残しとみられる個所がある。

3-6 X線透過撮影による観察

- 1) 作品の内部は空洞になっており、軽量である。
- 2) 右足太腿部分で接着されている。おそらく、粘土造形のあと、FRP¹を流し込む際、別に作ったものと思われる。（補足別紙・秋山工房の綾波レイを参照）接着中央にくぼみがあり、そこにはめ込む形で接着されている。表面からでは接着部分もなだらかで一つになっているように見えた。
- 3) 両手首も右足太腿と同じような構造になっており、型を別抜きしたものと思われる。
- 4) 頭部は首部分で接着がされている。このことから全体を型抜きしたのではなく、別々に作ってから接合し、着色したものと考えられる。²

3-7 塗装について

塗装を担当したHARA PAINT会社に連絡をしたところ、ウレタン塗料を全体につかっている。手のひらは水溶性の塗料を使っているところもあるという回答をいただいた。補彩をする際はサーフェイサーやプライマーで下地を作ればアクリル系ラッカーでも可能とのこと。

4. 修復案

- 1) 頭部の髪部分の破片を用いて洗浄液の検討し、全体の洗浄を行う。
- 2) 不飽和ポリエステル樹脂を用いて頭部を接着する。
- 3) 細かな破損箇所や傷を不飽和ポリエステル樹脂やパテで埋めていく。
- 4) エアブラシによる吹き付けとリタッチによる補彩をする。

5. 修復処置

5-1 洗浄

目的

鑑賞に害する汚れがいくつかあり、本作の美観を損ねるので除去する。

方法

- 1) 溶剤を用いずとも落ちる表面に付着しているホコリは筆を用いて取り除いていく。
- 2) 茶色の汚れを洗浄するにあたり、ウレタン樹脂やアクリル樹脂のSP値を調べると8.5～10あたりとわかったので、用いる薬品はこれに近い薬品を避け選定する。挙げられるものに蒸留水、界面活性剤、エタノール（約12.7）、メタノール（約14～15）、ミネラルスピリット（約7.88）、アンモニア（約16.3）を用いて実験のち洗浄を行っていく。また、情報誌によると一般的なフィギュアを洗浄する際にはぬるま湯を用いるとあったので、45℃ほどのぬるま湯でも実験してみることとする。

以下 実験結果である。

	本体への影響	茶色の付着物	台座の汚れ	黒の汚れ
蒸留水	無し	落ちる	やや落ちる	落ちない
ぬるま湯（45°）	無し	落ちる	やや落ちる	落ちない
界面活性剤（5％）	無し	落ちる	落ちる	落ちない
エタノール	やや危険	落ちる	落ちる	落ちない
メタノール	危険	落ちる	(実験せず)	(実験せず)
ミネラルスピリット	なし	落ちる	(実験せず)	落ちない
アンモニア水	なし	(実験せず)	(実験せず)	落ちない

溶剤テストの結果

- ・ 蒸留水、ぬるま湯、界面活性剤で全体に見られる茶色系の汚れをとることが出来るとわかった。また、黒い汚れは、薬剤では落とせなかったのので別の処置を行う。
- ・ ぬるま湯は綿棒の先につけるとすでに温度を失うので蒸留水とさして変わらないということがわかった。

- ・エタノール、メタノールは本体の塗装に若干の影響が見られた。特にメタノールでの反応が大きかった。薄める作業を怠ってしまったことが原因だ。濃度を考えるべきだった。
 - ・台座は水滴痕なのか。スプレーによるものなのか原因は特定できなかったが、界面活性剤を用いることによって目立つ斑点状の汚れは除去できることがわかった。
 - ・本作の足の甲付近にも上記の斑点状の汚れを確認したので界面活性剤を用いて洗浄することとする。
- 3) 左脚かかと付近に付着している紙テープのようなものをピンセットまたは指を使い、ゆっくりと剥がしていく。多少のべたつきがあったので界面活性剤を用い洗浄したところべたつきを取り除くことが出来た。その際、足の裏のクッション材に多くの繊維やホコリが付着していたのでピンセットで除去した。
- 4) 黒色の線のような汚れは上記の薬剤で落とすことが出来なかったため、物理による除去を試みた、用いたのはMONO消しゴム。摩擦で落とすことにした。本体に影響がないかを足の裏、頭部の裏側などで実験し、影響が見られないことを確認したのち、汚れの除去に入った。

結果

特定には至らなかったが、目立つ茶系の汚れ、黒色の線のような汚れ、台座の水滴痕のような汚れは除去することが出来た。しかし、不注意によりアセトンによる本体への被害を出してしまった。リタッチの必要がある。

使用した器具、材料

- ・薬品（蒸留水・ぬるま湯・界面活性剤（トリトン×0.5%）・エタノール・メタノール、ミネラルスピリット・アンモニア水）
- ・スポイト ・ピーカー ・綿棒 ・ガーゼ（脱脂綿） ・筆

5-2 頭部の接着

接着のための練習

目的

頭部接着の練習として、不飽和ポリエステル樹脂でできた他の作品の足首の接着を行う。

不飽和ポリエステル樹脂とガラスチョップドストランドマットを用いて接着を行う。

内容

- 1) 接着箇所をアセトンで脱脂する

- 2) 不飽和ポリエステル樹脂を細く切ったガラスマットに塗りつける。

本体の内側、と接着面にも不飽和ポリエステル樹脂を塗る。

- 3) 不飽和ポリエステル樹脂を塗ったガラスマットを内側に入れ、つなぎの役割させる。
- 4) ズレが無いように接着し、ガムテープ等で固定する。
- 5) 3日程放置し固まったら不飽和ポリエステル樹脂に顔料を入れ、色を近づけたものをパテ代わりに塗っていく。同時に背中に走っていた亀裂も埋めた。

結果

エアロジル³と炭酸カルシウムがどれ程の量があるのか、硬化後、どの程度の強度が出るのかがわかった。

使用器具・材料

- ・不飽和ポリエステル樹脂 ・硬化剤 ・エアロジル ・炭酸カルシウム
- ・ガラスチョップドストランドマット（ECM0-5095） ・ハケ ・ヘラ
- ・マスキングテープ ・ガムテープ ・アセトン・脱脂綿 ・竹串

頭部の接合

目的

本作の一番の被害である頭部を接着し、本来の状態へと戻す。

内容

頭部の接着は エポキシ樹脂と不飽和ポリエステル樹脂を用いて実験を行い選択する。

事前に制作しておいた不飽和ポリエステルの樹脂片に、エポキシ樹脂、不飽和ポリエステル樹脂を用いて接着し強度を確かめる。また、爪で傷をつけた際の弾性をもみて、選定を行った。両方ともしっかりと接着し、それならば元々接着に使われていたであろう不飽和ポリエステル樹脂で接着を行うということに決定した。

- 1) 接着方法を選定のち、下準備を行う。不飽和ポリエステル樹脂を塗布する際に厚みを少しでも減らすことと、不飽和ポリエステル樹脂の喰い付き・接着を良くするために接着面を800の粗さでヤスリがけを行った。その後油脂成分などがついていると接着の妨げとなるので、他の部分に影響が出ないように注意を払いつつ、アセトンで接着面を脱脂した。

- 2) 他の箇所への影響を少なくするために前頭部全体をラップ（ポリ塩化ビニリデン）し、マスキングテープで固定した。
- 3) 主剤（不飽和ポリエステル樹脂）100に対し、硬化剤（パーメックN）0.5～2添加しそれに合う程度の粘りを出すため、増粘と増量としてエアロジルと炭酸カルシウムを加えて混ぜた。エアロジルと炭酸カルシウムの量はほぼ同等に、粘度がわかる程度に入れた。
- 4) 断面に不飽和ポリエステル樹脂を盛っていき、接着面にも薄く刷毛を用いて塗布していく、後頭部側の接着面にも同様に塗る。多すぎると接着した際はみ出す恐れがあるので、特に接合面は薄く塗った。
- 5) 後頭部をズレが無いように接着し、ゴムバンドで押さえつけるように固定する。完全に硬化するまで時間がかかるので3日ほど放置した。
- 6) ゴムバンドを外し、接着面からはみ出した不飽和ポリエステル樹脂をリユーターで削っていった。
おおよそ削り終えたら接着面全体を軽くやすりがけし、表面を荒した。
- 7) タミヤホワイトパテを用いて接着面が頭部と一体化するように埋めていった。
一度で大量に埋めると十分に乾燥せず割れてしまう恐れがあるので、完全にパテが固まるまで待ち、数度に分けてパテで埋めていく。その際もやすりがけをして食いつきをよくした。
- 8) さらにやすりがけを行い、頭部との境目をわからないようにしていく。その際、斜光線や指先での触診を行い表面の凹凸がないかを確認した。凸面を見つけたらやすり、またはリユーターを用いてなだらかにし、凹面があればもう一度パテで埋める作業をくり返した。

使用器具・材料

- ・不飽和ポリエステル樹脂 ・硬化剤 ・ヘラ
- ・マスキングテープ ・ラップ（ポリ塩化ビニリデン）
- ・紙やすり（p800/p1200/p2000）・リユーター・アセトン ・脱脂綿 ・ゴムバンド ・タミヤホワイトパテ ・竹串

補足

- ・パテの選定では 2 液性ポリエステルパテ、ベーシックパテ、ホワイトパテの中で、色味や成分を考慮し、今回はホワイトパテを用いることとした。

- ・硬化剤成分（メチルエチルケトン パーオキサイド55%・ジメチルフタレート45%・活性酸素量10～10.7%）

5-3 細部の補修

目的

擦れ傷、手足の凹み、傷を埋め美観を整える。
リタッチしたときに目立たないように仕上げる

内容

小さな傷なので不飽和ポリエステル樹脂パテではなく扱いやすく整形しやすいタミヤホワイトパテを用いて補修していく。頭部接着と同じように凹凸面が出ないようにヤスリやリユーターで整え、斜光線や指先を用いた触診を行いながら滑らかにする。

使用器具・材料

- ・紙やすり（p800/p2000）・MICROFINE（3M）
- ・リユーター（シリコン）

5-4 色合わせ（塗装のためのエアブラシ塗装練習）

目的

接着後、傷や塗装禿を補彩し、美観を整える。
本体へ塗装する前の、エアブラシや塗料の扱いに慣れる練習を行った。

内容

接着、充填をしたあとに塗装をするため塗料の選定をした。本作はウレタン塗装であるが、塗装を担当したHARAPAINWORKSにお話を伺ったところ、捕彩を行う際には扱いやすいアクリル系でも構わないとの返答をいただいた。身近にそろえられる塗料を選定し、今回はTAMIYAのACRYLPAINTMINIを吹き付けで塗装することとした。ボディの補彩にはアクリルラッカーのスプレー缶で販売されているカラーを用いた。

元ある色を用いているかと思われたが、本作の頭部に彩色されている色とは合わなかったので数種の塗料を混ぜ色合わせを行った。

タミヤカラーアクリル塗料ミニを用いて色合わせ
1) ブルー系の色を数種用意し、吹きつけたりホワイトを混ぜたりして近い色を探した。

- ・当初X-2ホワイトを用いていたが、光沢が出過ぎた為XF-2フラットホワイトに途中から切り替えた。

2) 筆で縫った時とエアブラシで吹きつけた時と

では色みが異なるので筆で作品の色よりわずかに濃い目に色を作るようにした。

- 3) 本作の髪はグラデーションのように色が変わっているので、最初はその中間の色を作成することにした。(ブルー：フラットホワイト＝1：1にロイヤルブルーを少量)
 - ・一番濃い色を制作した。最初はブルー・ロイヤルブルー・フラットホワイトを用いていたが、紫がかっている事に気づきレッドを少量入れた。しかし似たような色をつくることができなかったのでレッドの代わりにパープルを入れたところ近い色を作ることができた。(ブルー：パープル＝1：1にロイヤルブルーを少量と白を加える)
 - ・中間（濃い）あたりの色を制作した。ベースの色より濃い色に近い色を作る為最初のよりやや白を抑えめにした。
 - ・中間（薄い）を制作した。最初のよりやや白を多めにした。
 - ・一番薄い色を作成した。やや黄色がかっているのでイエローを少量入れブルーとホワイトで制作していたが、イエローの代わりにデッキタン（グレー系の塗料）をいれることでより近い色になることがわかった。(ブルー：デッキタン：フラットホワイト＝1：1：2)
- 4) エアブラシを使用するのが初めてだったので紙に吹き付けをして距離の保ち方と扱いの練習をした。プラモデル等の塗装の時は10cm～15cm程離すようだが、自分がためした中で吹きやすい位置、グラデーションがうまくできると思えた位置は15cm～20cm程だった。また、同一方向に動かしたり、動かす速さ等も感覚的につかめるよう練習を繰り返した。
- 5) 薄め液量の調節を行った。多すぎると吹きつけた瞬間塗料が飛び散ったり、ムラになったり、吹きつけた後流痕ができてしまった。少なすぎると塗料が出にくかったり色が濃すぎたりした。おおよそ50%になるよう薄めた。
- 6) 吹き付ける時は、一度試し紙などに少し吹き付けて、そのまま対象にうつる。そうすることで吹き出し直後の塗料の飛び散りなどを防ぐことが出来た。
- 7) 立体物に吹き付ける練習をした。平面だけではなく、立体面にも使用できるように頭部接着を行った際に余った不飽和ポリエステル樹脂を円柱のように硬化させたものに吹き付けて練習

した。また、グラデーションや後に用いるトップコートの試し吹きも同じ素材で行った。

- 8) プラモデル塗装を参考にインターネットを用いてサーフェイサーについて調べると、下地にするサーフェイサーは通常2倍程度薄めるとあった。しかし今回は慣れないこともあり、約3倍に薄めて吹き付け、回数を増やして塗布することにした。吹き方は塗料と同じ距離で行った。
- 9) 指先と足の甲の色合わせを行った。ホワイトをベースにデッキタンを混ぜていった。手の平はその色にブラックとブルーをほんの少量ずつ混ぜながら近づけた。
- 10) 足先はブルー：レッド＝2：3にブラックを混ぜながら色を近づけた。

結果

おおよそ作業者の思うように吹きつけができるようになった。色合わせに時間がかかってしまったが、同じ様な色を作ることができた。

本体への塗装・リタッチ

目的

接着後の頭部の補彩を行い、美観を整える。ボディや手足の擦れ等による塗装の剥落をリタッチする。

内容

頭部塗装

- 1) 余分な場所に塗料がかからないように頭部以外の顔やボディを新聞紙やラップで覆った。
- 2) 空気中にサーフェイサーや塗料が舞うのでダクトを使用した。また、塗料やシンナーを使う際は防毒マスク（有機ガス）を着用した。
- 3) 約三倍に薄めたサーフェイサーを4度吹き重ねた。完全に乾くまで放置。
 - ・乾いたら一度p2000の紙やすりなどで本体とサーフェイサーの境目をやすりがけし、滑らかにした。
- 4) ベースとなるよう中間の色を吹きつけた。
 - ・マスキングテープなどで止めないのは塗料による境目をださないようにするため。
- 5) 濃い色を吹きつけた。
- 6) 中間（濃い・薄い）を吹きつけグラデーションを行った。
- 7) ハイライトにあたる一番薄い部分を吹きつけた。
- 8) 小さな塗装の剥落や色がムラになってしまっ

た箇所にも合う色を吹きつけた。

- 9) パテで生めた箇所で凸が削りきれずおらず浮き出てしまったり、吹き付けがうまくいかなかったりしたところはもう一度やすりをかけ塗装をはがして表面を整え、サーフェイサーを吹き付けてから4)～7)を繰り返した。また、一度だけでは薄いところは何度か重ね吹きをして色を載せていった。
- 10) MICROFINE (3M) で軽くやすり、表面を整えた。
- 11) 強度を出すために水性用のトップコート (つやなし) を3倍に薄め3度程吹き重ねた。同じようにやすりがけを行い表面を整えた。

細部のリタッチ

- 1) 両手の指先・手のひら、両足の足先、かかと、足の裏、足の甲のリタッチを筆で行った。
- 2) 上からMICROFINE (3M) かp2000の紙やすりでやすりがけを行うと周囲にうまくなじませることができた。
- 3) プラグスーツの首の部分にある赤色パーツの下の塗装はげ(ぬりわすれ?)のリタッチをおこなった。なかなか色合わせがうまくいかず時間がかかった。レッド・クリヤーレッド・ホワイトを混ぜ近い色を作成した。

塗装のはみ出しの除去等

- 1) 塗装する場所以外を新聞紙やラップで覆ったが顔と髪の隙間等どうしても覆いきれず色が付いてしまった箇所があった。エタノール25%水溶液で下の元の塗装をはがさないようにはみ出した部分を除去した。
- 2) 右腕の中央付近にあった大きな補彩したような箇所にはエタノールでは落ちなかったのでアセトン20%を綿棒に塗布し他の箇所を侵食しないよう慎重にあてて薄くした。その後リタッチし、軽くやすりがけを行い周辺になじませた。左腕の塗り重ねも同じ処置を行った。

使用器材・材料

- ・ Mr.COLOR THINNER110 薄め液
- ・ Mr.BASE WHITE 1000 白い下地塗料
- ・ タミヤTAMIYACOLOR ACRYLPAINTMINI シリーズ X-1ブラック、X-2ホワイト、X-3ロイヤルブルー、X-4ブルー、X-8レモンイエロー、X-7レッド、X-16パープル、X-23クリヤーブルー、XF-2フラットホワイト、XF-17シーブルー、

XF-23ライトブルー、XF-55デッキタン

- ・ タミヤTAMIYACOLORシリーズ TS-45パールホワイト、TS-53ディープメタリックブルー
- ・ タミヤ TAMIYACOLOR ACRYLPAINT X-20A THINNER アクリル塗料溶剤
- ・ タミヤファインサーフェイサーL (ホワイト)
- ・ エアブラシ ・ コンプレッサー ・ 溶き皿
- ・ 筆 ・ 竹串 ・ 普通紙
- ・ 不飽和ポリエステル樹脂の破片・円柱資料
- ・ ガンクリーナー(成分ジクロロメタン・メタノール)
- ・ アセトン

6. まとめ

汚れの除去、頭部の接着、補彩を中心として行ったが、補彩に多くの時間をとる形となった。予定より修復期間が伸びてしまったが、本体の美観を取り戻せた。塗料の種類や成分による違い、FPRなど今後増えるかも知れない素材やエポキシなど実際の現場でも使われている素材の扱いなどを本学の学生にも学ばせることができた。現代の作品は時間がそれほど経ってない作品が多く、歴史的という面においての価値が低いように感じ、よりよい「綺麗」な状態に戻すことに重きを置いているのではないだろうか。それがニーズに合わせた現代の修復ということであり、修復の仕方も臨機応変に変えていかなければならないという事を改めて実感した。

注

- 1 繊維強化プラスチックの略称。ガラス繊維などの繊維をプラスチックの中に入れて強度を向上させた複合材料。(補足別紙FRPについてを参照)
- 2 FRPフィギュアの型取
FRPで整形をする際、粘土造形をつくり、石膏やシリコンで型をとり、それに離型剤を塗ってから樹脂を塗布しガラス繊維布を貼り丈夫にする。レイの場合、両手首より先、右足太腿、頭部は別型であとは一つ型で整形してあるとレントゲンから観察できる。塗料の下に白い層があったのでやはり多くのフィギュアと同じようにサーフェイサーを塗りその上から塗装するという事がわかる。
- 3 軟式シリカの一種。今回は接着剤の粘土を上げ、付けやすくするために使用した。

航空機展示模型の保存修復 「Ju-87, Ca310」

藤原徹 FUJIWARA, Toru／文化財保存修復研究センター研究員・教授

後藤葉祐 GOTO, Yousuke／美術史・文化財保存修復学科保存修復コース立体修復専攻4年

「Ju-87」

1. 作品概要

模 型 制作年代：1939年以降

最大高：11.5cm、最大幅：54.9cm、最大奥：43.3cm、

重 量：1115g

素 材：Cu 銅、Ni ニッケル、Zn 亜鉛（可
搬型蛍光X線による）

所 蔵：個人



X線透過撮影による画像や分解した際の部品の形状を確認したところ、ユンカース社製の機体と作品の形状の差異を確認した。

1939年にユンカース社が日本に輸出した2機の研究用Ju-87と作品が酷似していることが判明した。

2. 目視観察

- ・表面全体に錆、腐食
- ・右翼表面に線上の傷、汚れ
- ・胴体アンテナ欠損
- ・左翼ピトー管欠損
- ・プロペラ各先端に変色、錆（手汗や皮脂によるものだと考える）
- ・フラップの可動部が破損
※フラップ…可変する翼の一部
- ・主翼に線上の傷、打痕

3. 損傷観察

X線透過撮影により、内部の構造と損傷状況を

観察した（図1、2）。

透過撮影により内部構造を確認し、可動部の分解が可能になった。

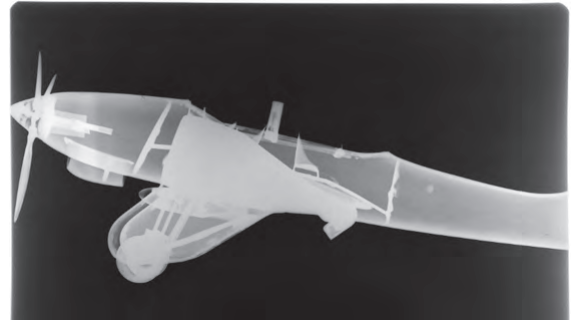


図1

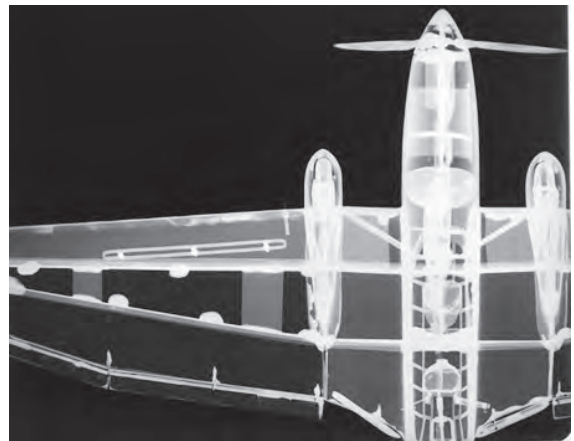


図2

デジタルマイクロスコープで表面の腐食の状態観察（図3）、腐食の種類と進行具合を確認した。

表面全体に孔食、粒界腐食、溝状腐食、すきま腐食があることを確認した。

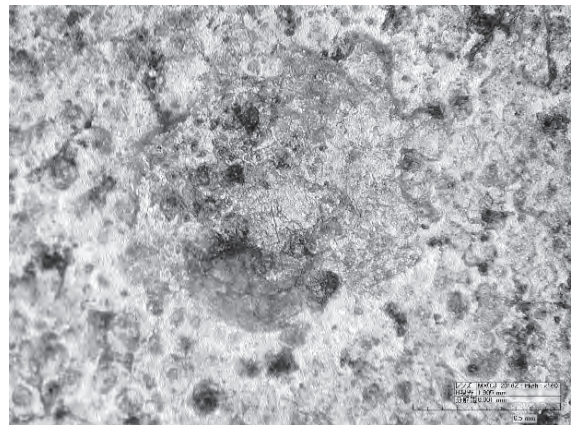


図3

可搬型蛍光X線

機体に使われている金属を同定した。

銅	65%
ニッケル	7%
亜鉛	25%

表 1

種類	JIS 記号	銅(%)	鉛(%)	鉄(%)	亜鉛(%)	特性
丹銅	C2100-C2400	78.0-96.0	0.05 以下	0.05 以下	残	色沢、耐食
黄銅	C2600	68.5-71.5	0.05 以下	0.05 以下	残	深絞り
黄銅	C2680	64.0-68.0	0.05 以下	0.05 以下	残	展延性、メッキ性
黄銅	C2780	62.0-64.0	0.07 以下	0.07 以下	残	強度、浅絞り

主な真鍮の割合を調査すると、黄銅（JIS記号：C2680）の割合に近いことが分かった（表 1）。

この黄銅は展延性があり、絞り加工性やめっき性の良い特徴を持ち、金属模型や鉄道模型の他にランプケースやカメラの素材にも利用されるものである。

表面全体の埃や油脂を、エタノールを含む脱脂綿（白十字社製カットメン）で落とした。

電子顕微鏡で、表面全体に孔食、粒界腐食、溝状腐食、すきま腐食があることを確認した。

4 種類の溶剤のどれがさび落としに効果的なのか尾翼の支柱部で比較実験した。

表 2

	錆落ち	光沢	変色	研磨、傷
ピカール	◎	◎	○	○
エタノール	△	○	×	×
ラメトリムバーナー	△	×	○	△
スーパーピカール	○	×	○	△
ジエチル酸	×	△	×	×
青棒	○	◎	◎	◎

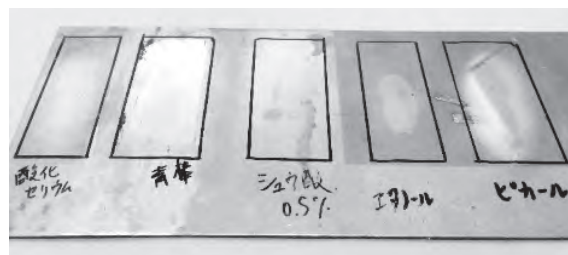


図 4

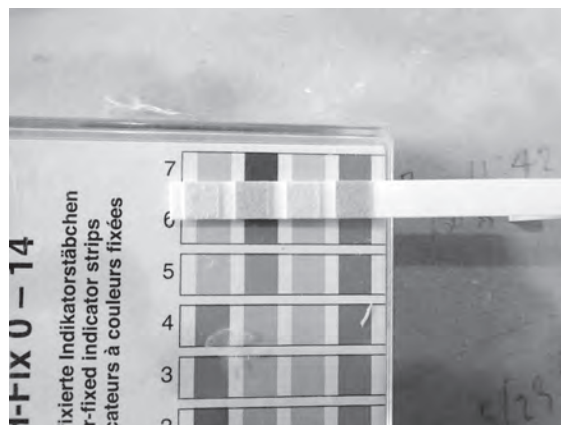


図 5

ピカール液300 g（日本磨料工業株式会社）

エタノール99.5%（上野化学工業株式会社）

を、脱脂綿に含みながら交互に使うと最も効果的であることが分かった。

窓枠上部にある 2 本のアンテナのうち 1 本が欠損しており、軸だけが残っている状態だった。

軸に合う 1.2mm の筒状のアンテナを新たに真鍮板から作成し、表面を本体同様の色合いになるまで研磨した。

6 個のアンテナを補作し、角度や接合部を適合させた。



図 6

作成したアンテナとキャノピー本体を溶接するためハンダとバーナーを使用した。

左右対照になるように角度を合わせることが困難であった。

また、周囲への影響を防ぎ、瞬時に溶接することが求められるため、100w以上のハンダゴテとペンシル型バーナーを使用した（図 6）。

処置では、補作したアンテナの色合いが本来の色合いと大きく異なるため、メッキを施した（図 7）。



図7

(X線透過撮影による既存する右翼のピトー管の長さとおさを計測)

ペンシル型バーナー使用し、0.8mmの真鍮パイプを溶接(図8)した。

主翼内には1.2cmの長さを埋蔵し、既存する右翼のピトー管同様にした。

この際、ピトー管が機体と平行になるように作業した。

溶接後、機体に付着したはんだを金属やすりで除去した。



図8

[Ca310]

1. 作品概要

機体の形状から同定(特徴的な丸窓のキャノピー)
機体名称 CAPRONI Ca310 リベリッチオ爆撃機(南西風の意)

1930年代に植民地向けとして開発された機体。

1937年4月就役~1948退役

主な運用国

・イタリア空軍(メイン)、ユーゴスラビア空軍、ノルウェー空軍、ペルー空軍、ハンガリー空軍

2. 損傷

- ・表面全体に錆、腐食(斑点腐食)
特に主翼、尾翼の進行が著しい。
- ・キャノピーの部分変形
- ・底石 土台の変形



図9



図10

3. 処置案

前述のJu-87 の処置と同じく、

ピカール液300g(日本磨料工業株式会社)

エタノール99.5%(上野化学工業株式会社)

を、脱脂綿に含みながら交互に使うと斑点腐食に最も効果的であった。

表3

	錆落ち	光沢	変色	研磨、傷
ピカール	◎	◎	○	○
エタノール	△	○	×	×
ラストリホーバー	△	×	○	△
スーパーポリッシング	○	×	○	△
シュウ酸	×	△	×	×
青棒	○	◎	◎	◎

4. クリアー塗装(腐食保護膜)

平筆による広範囲の塗布は、均一にアクリル膜で覆うことができないため、エアブラシを使用することにした。

その際、エアーコンプレッサーによる一定の噴出力を利用し、パラロイドB-72とアセトン混合溶液を吹き付けた。

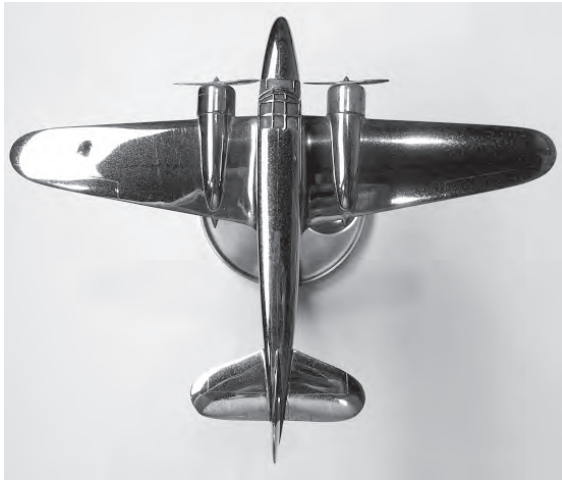


図11

参考文献

腐食・防食の材料科学 下平三郎 株式会社アグネ 1995年
 腐食反応とその制御 H.H.ユーリック R.W.レヴィー 産業図書株式会社 1989年
 腐食と防食 岡本剛 井上勝也 大日本図書株式会社 1971年
 文化財としての航空機修復～コルセアKD431～ デイヴィッド・モリス 文化財研究所 2009年
 接合加工技術とその応用 日本機械学会 日刊工業新聞社 1993年
 航空史をつくった名機100 航空情報別冊 鈴木正治 青木日出雄 酣燈社 1971年

参考URL

http://aircraftnut.blogspot.jp/2014_05_01_archive.html (Aircraft Nut)
<http://www.sankei.com/west/news/130815/wst1308150012-n1.html> (産経WEST)
[https://ja.wikipedia.org/wiki/Ju_87_\(%E8%88%AA%E7%A9%BA%E6%A9%9F\)](https://ja.wikipedia.org/wiki/Ju_87_(%E8%88%AA%E7%A9%BA%E6%A9%9F)) (Ju-87)
https://en.wikipedia.org/wiki/Caproni_Ca.310 (wiki CAPRONI)
<http://www.rada.or.jp/neutron/pdfs/9-x/9-5.pdf> (古文化財の非破壊可視化観察 元興寺文化財研究所)

石巻文化センター蔵 神山明「もしもし…聞こえますか」の保存修復

藤原徹 FUJIWARA, Toru／文化財保存修復研究センター研究員・教授

齋藤栞 SAITO, Shiori／美術史・文化財保存修復学科保存修復コース立体修復専攻4年



写真1 処置後

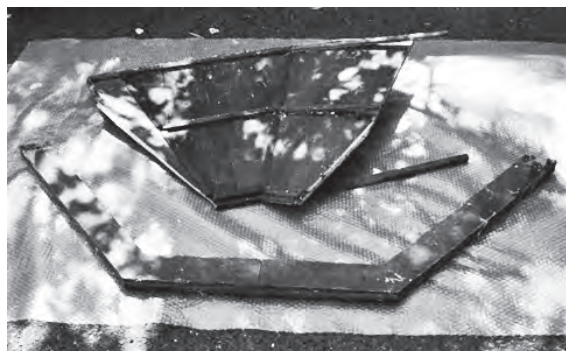


写真2 処置前

作品名：「もしもし…聞こえますか」

作家名：神山明

制作年：1988年

サイズ：縦 119cm

幅 210cm

奥行 210cm

材質：杉、オイルステイン

記述：下板「A.Kamiyama」

所蔵先：石巻文化センター

〒986-0835 宮城県石巻市南浜町1-7-30

1. 作品概要

神山明は1953年東京に生まれ。東京藝術大学大学院修了後、日本国際美術展、ヘンリー・ムーア大賞展、現代日本美術展、ハラアニュアル、サンパウロビエンナーレなどに出品。その後、国内外の展覧会で発表を続け、2000年以降は相生森林美術館での個展、宇都宮野外彫刻美術館の現代日本彫刻展、さらにコバヤシ画廊、ギャラリー東京ユマニテ、島田画廊などの様々な個展で発表してきた。2012年逝去。

救出された部品の特徴や形状から本作であると判明した。

本作は被災前の写真が見つかり、脱落部材のほとんどが元の位置を特定出来るという点と今後の保存や展示の活用を考慮した際に現状では不都合が生じる点を踏まえ、保存・展示活用に耐え得るように処置を行い、装飾等の欠損箇所に関して欠損箇所の形状、大きさが分解部品や写真から推定出来るものは補作をし、作品表現を維持することとした。

2. 処置項目

1、表面の汚れ

布、刷毛、ブラシ、ピンセット、竹串、エアーコンプレッサーを使用し、物理的介入によるクリーニングを行った。

2、脱落部材

脱落箇所と部材の位置関係を被災前の資料から確認した。確定した物に関しては適切な接着剤を選定し、接着を行った。

3、脱落危険性のある箇所

適切な接着剤を選定し、補強した。

4、欠損箇所

欠損箇所によって構造上不安定になると判断し

た物に関しては補作を行った。

また装飾品については形状、大きさが分かるものの、または推定できるものは補作した。

5、腐食生成物

進行性の物と判断した場合、除去あるいは保護膜を形成し、今後金属本体を侵食しないよう処置した。

6、鉄汚染による黒いシミ

鉄汚染とみられる黒いシミが見られ、多くの場合漂白処理が行われているが、本作には表面にオイルステインでの塗装がされているため、漂白処理を行うと塗装面に影響がある可能性がある。そのため事前に実験を行い、その結果から漂白の有無について判断と処置を行った。

3. 充填剤の選定

オリジナルと補作部分の隙間を埋めるための充填剤実験を行った。杉材に直径1cmほどの穴をあけ、人工木材を充填した。

使用材料：

- 1) ウッドエポキシ (ボンド) 色調「タモ白」(商品名)
- 2) 水系アクリル充填剤 (セメダイン) ウッドシール
- 3) エポキシレジン補修用人工木材 (セレクトナイン)
- 4) 砥の粉+パラロイドB72アセトン15%
- 5) 木粉+パラロイドB72アセトン15%

表 1

	減り	作業効率	強度	柔軟性
1	◎	◎	◎	△
2	×	△	△	○
3	○	◎	◎	△
4	△	△	○	△
5	○	△	×	△

以上の途中実験から以下の2つを選択した。

- 1) ボンド ウッドエポキシ 色調「タモ白」(商品名)
- 3) セレクトナイン 補修用人工木材 エポキシレジン (商品名)

色味がどちらも本作品と合わず、表面にオイルステインを塗布または顔料を混ぜ異和感のない色に仕上げた。

4. 組み立て

- ・ 細い柱の新調
- ・ 下部ドームの歪みの補正
- ・ 柱の接着
- ・ 下部ドームの設置
- ・ 円盤の設置



写真3 C型クランプでの圧着

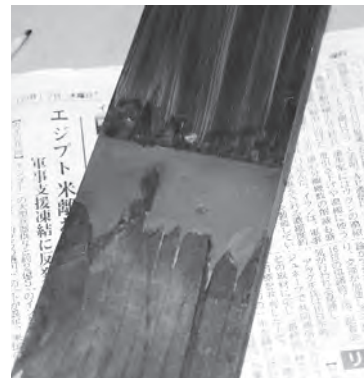


写真4 隙間の充填



写真5

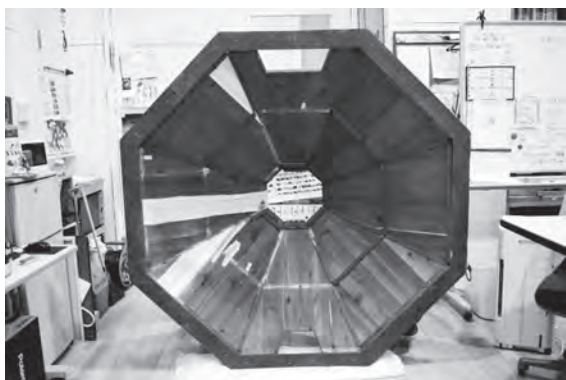


写真6

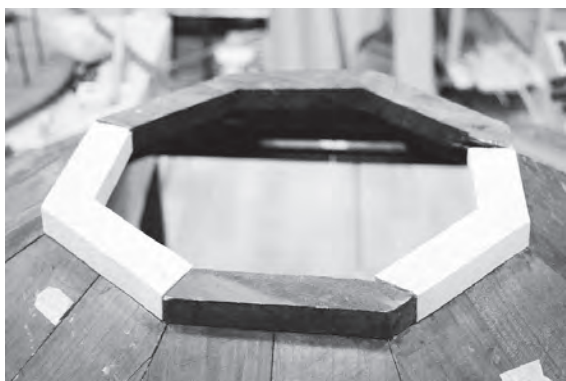


写真7 新補された部分

5. おわりに

今回修復にあたり写真のみでは部品の形状が確認できないという部分があった。そのため、本作品の修復では他作品から形状を推定し復元するという方法を取った。2011年の東日本大震災にて被災した作品の多くは、本作のように部材の欠落、破損したものが数多くある。

本作の報告が今後の被災文化財の修復に役立つと思われる。そしてこの作品が石巻文化センターにて未永く愛されることを切に願う。

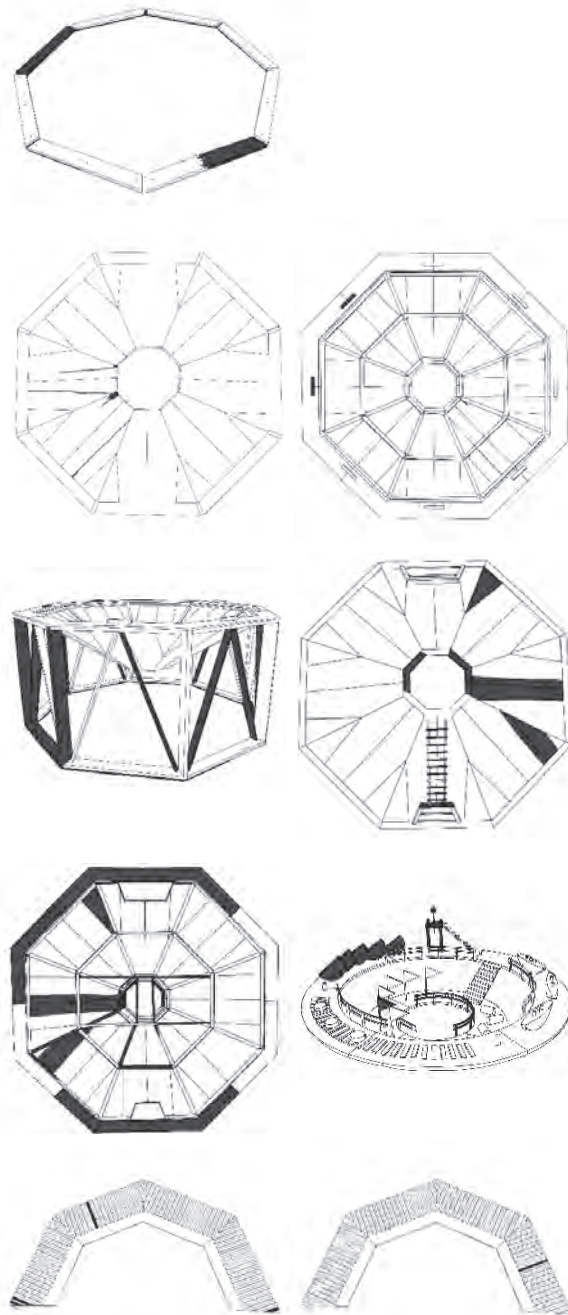


図1 補作された部分

鶴岡市善寶寺五百羅漢堂蔵「五百羅漢像158番」の保存修復

藤原徹 FUJIWARA, Toru／文化財保存修復研究センター研究員・教授

佐藤夏実 SATO, Natsumi／美術史・文化財保存修復学科保存修復コース立体修復専攻4年

1. 作品概要

名 称：五百羅漢像本体（158番）

作 者：不明

制作年代：19世紀頃か

材 質：木造（ヒノキ）、彩色、泥地

付属品：光背、台座、台座部品（岩）

所蔵先：善寶寺五百羅漢堂



写真1. 修復前



写真2. 修復後

法量

計測場所	長さ (cm)	計測場所	長さ (cm)
像高（現状）	58.0	胸—光背	16.0
頭頂—顎	12.8	膝—光背	23.5
面幅	8.0	足—光背（現状）	25.0
耳張	8.8	膝—地付き（現状）	40.2
肘張	29.6	像底部—地付き（現状）	16.8
裾張	35.1	最大幅	37.5
面奥	11.7	最大奥	26.5

五百羅漢堂について

安政2年（1855年）、落成した伽藍である。寺伝によると、この五百羅漢像と五百羅漢堂は、北海道元松前郡福山の豪商、伊達林右エ門、栖原六右エ門両家にて寄進された。

内陣正面に、釈迦如来、向かって右に文殊菩薩、左に普賢菩薩を配する。釈迦三尊像の前には、十大弟子が置かれ、両脇の柱の上に風神、雷神が掲げられる。堂内の左右には、それぞれ縦に長い長方形の台（中島）が置かれ、四隅に四天王像を配している。五百羅漢像は天井、壁、左右の中島に置かれている。



写真3. 五百羅漢堂

形状

【本体】

膝を立てて岩座に座る羅漢像。円頂。薄く目を開け、下方を向く。玉眼を嵌入している。耳朶不貫。鼻孔を穿つ。顎の肉割れが一条刻まれる。袈裟を着ける。右腕を屈臂し、曲げた右足を抱える。左腕は体の側面に沿って伸ばし、掌を岩座に付け、身体を支える。両足をたたんでいる。右足先は衣で隠れ、左足先を前に突き出す（現在は欠損している）。

【光背】

頭光。輪光。周縁部分に列弁が彫られている。

【台座】

岩座。長方形の箱に岩の部品が取り付けられる（現在は破損している）。

【框台】

長方形の框台。側面の上部分に段がつく。

構造

【本体】

木彫。寄木造。指首。頭部、体部共に内刳がなされ、複数の部材に分かれる。部材と部材の接合部分には和紙が貼られている。面相部は削られ、水晶板による玉眼がはめ込まれている。胡粉下地の上に彩色がなされている。衣類の一部分には金泥が塗られている。

背面に墨書き有り。

【光背】

木彫。4つ以上の複数の部材に分かれる。部材と部材の接合部分には和紙が貼られている。表面

は胡粉の上に金箔押しがなされ、裏面は黒漆が塗られている。

差込部分背面に墨書き有り。

【台座】

木彫。長方形の土台は5つの部材に分かれる。胡粉下地の上に彩色がなされている。その土台に複数の部

材（岩）が接合される。

表面・背面ともに墨書き有り。

【框台】

木彫。9つの部材からなると推測する。

側面部分は胡粉下地の上に黒漆が塗られている。段部分の装飾（彩色）は金泥か。

上面部分は胡粉下地の上に台座に似た彩色がなされている。現在見つかった2つの部材にはそれぞれ固定材（彩色無し）が接合されている。

側面内側に墨書き有り。

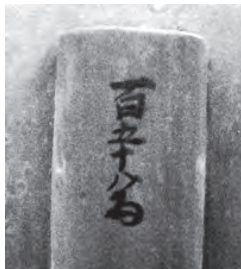


写真4



図1

■埃の堆積 (①) ■彩色の剥離 (②) ■彩色の剥落 (③)
■分解・破損 (④) ■矧ぎ目の緩み (⑤) ■染み (⑥) ■錆 (⑦)



図2

2. 蛍光X線分析

作品表面に使用された素材を推測するため、可搬型蛍光X線装置を用い、元素の検出を行った。

※使用機器：INNOV-X SYSTEMS 社製 α シリーズ携帯蛍光X線分析計 (MODEL α -4000 SL)

検出された元素により、作品表面に使用された素材（顔料）の考察を行った。

表1. 使用された顔料の考察

色	番号	調査した部分	使用されたと思われる顔料
白	1	正面右 彩色剥離部分	胡粉
	2	正面 右足 模様	胡粉か
	3	正面 左足 彩色剥落部分	胡粉
赤	4	背面	水銀朱
桃色	5	右側面 袖	水銀朱+胡粉
肌	6	左手	胡粉+雄黄+赤色顔料か 赤色の決め手となる元素未検出
	7	右側面	花緑青
	8	右側面 模様	花緑青
	9	正面 台座	花緑青
緑	10	正面 台座	花緑青
	11	背面右 袖 模様	花緑青+胡粉
黄緑	12	背面右 袖 模様	べろ藍
青	13	正面 左足	胡粉+青色顔料か 青色の決め手となる元素が検出されなかった
水色	14	背面右 左袖	赤色+黄色+青色顔料か 決め手となる元素未検出
茶	15	右側面 台座	墨

3. 処置方針

本像は修復後に善寶寺五百羅漢堂に戻されることから、鑑賞に耐え得るよう美観の回復処置を行うこととする。しかし、状態観察の結果から、彩色層が非常に脆くなっていることがわかる。美観を回復するために全解体・再接合の処置を行えば、彩色層がほとんど剥がれ落ちてしまう等の危険性も考えられる。

今回は、本像への負担を考慮した上で以下の方針を定めた。

①分解、破損部分

分解部位が発見されている箇所は、誤った処置を行う可能性が低い。オリジナルの状態に戻すために接着を行う。

分解部位が発見されていない箇所は、誤った形

で処置を行ってしまう可能性があるため、補作等は行わない。しかし、最低限の美観回復のため、周囲と同程度の彩色を行う。この際、可逆性には最新の注意を払う。

②堆積した埃、彩色の剥落、矧ぎ目の緩み

美観を損ねているため、処置を行う。

堆積した埃は、可能な限りの除去（洗浄）を行う。この際、彩色も除去してしまわないよう注意する。

彩色層が剥落した部分は、補彩を行う。文様が描かれている部分の復元は行わず、鑑賞に耐えうる程度の処置に留める。

矧ぎ目の緩みへの処置としての全解体は行わない。現状可能な限りでの安定、美観の回復のため、隙間部分は充填を行い、その後周囲となじむよう補彩を行う。

③彩色の浮き、錆

劣化が進行しないよう処置を行う。

彩色が浮いており、現状のまま保存すれば無事である彩色層も今後剥落してしまう危険がある。当該箇所には接着剤を注入する。

錆は彩色部分に付着しており、除去が困難である。無理に除去はせず、錆が進行しないよう処置を行う。

4. 彩色の浮きに用いる接着剤の選定

次に、浮き部分に注入する接着剤の選定を行う。使用する溶液は、12.5%膠液、アクリル樹脂エマルジョン2%水溶液、アクリル樹脂エマルジョン10%水溶液、アクリル樹脂エマルジョン20%水溶液、6%膠液を使用する。

実験方法、結果は次の表の通りである。

表2. 実験方法

注入する溶液	塗布方法
①12.5%膠液	注射器で注入し、接着する。
②アクリル樹脂エマルジョン ¹ 2%水溶液	ヒノキ材に胡粉を塗布し、その上に本体の剥落片を置き、各濃度のアクリル樹脂エマルジョンを筆で接着する。
③アクリル樹脂エマルジョン10%水溶液	
④アクリル樹脂エマルジョン20%水溶液	
⑤6%膠液	注射器で注入し、接着する。

表3. 実験結果

彩色の浮き部分に注入した溶液	彩色部分の変色、艶	作業のし易さ
①12.5%膠液	色が濃く浮き出る	作業し易い
②アクリル樹脂エマルジョン2%水溶液	艶が見える	作業し難い
③アクリル樹脂エマルジョン10%水溶液	艶が見える	作業し難い
④アクリル樹脂エマルジョン20%水溶液	艶が見える	作業し難い
⑤6%膠液	やや色が浮く	作業し易い

それぞれの詳しい実験結果を以下で述べる。

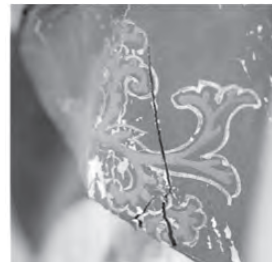


写真5. 作業前

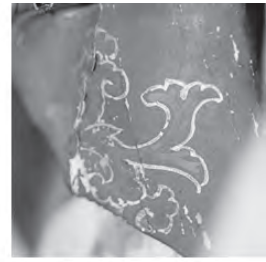


写真6. 作業後

①12.5%膠液

本体彩色部分で実験を行なった結果、接着強度は十分である。

しかし、元の色が濃く浮き出てしまうため、濃度を変更して行うこととした。

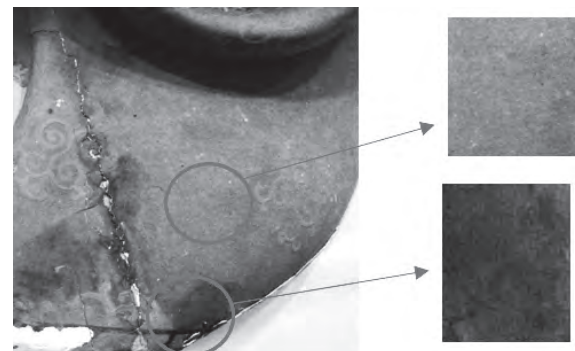


図3. 本体緑彩色部分
(拡大画像上) オリジナルの色
(拡大画像下) 膠液注入後の色

②アクリル樹脂エマルジョン2%水溶液

③アクリル樹脂エマルジョン10%水溶液

④アクリル樹脂エマルジョン20%水溶液

これらを彩色の剥落片に塗布し、1日経過した様子を観察した。結果は以下の表の通りである。

②、③、④の水溶液はすべて接着することがで

きた。しかし、乾燥後、全てに艶が見え、文化財に使用するにはそれを除去する作業が必要である。さらに各濃度のアクリル樹脂エマルションは硬化が早く、長時間の作業に向かず、作業性は良くないと判断した。

⑤ 6% 膠液

①の実験結果より、膠液を薄めて使用した。

浮き部分の接着は十分であり、①12.5% 膠液に比べ、彩色の変色も抑えられていると感じた。

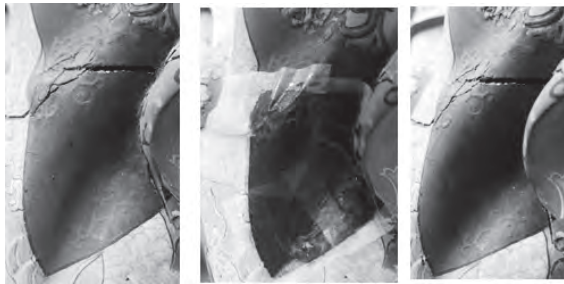


写真7. 作業前

写真8. 作業中

写真9. 作業後

以上の結果から、浮き部分に注入する接着剤は、6% 膠液を使用した。

5. 補彩に用いる絵具の選定

補彩に使用する絵具を選定する。実験は2つにわけ、まず、①候補に挙げた絵具をオリジナル部分と馴染むかどうかで比較し、なじむと判断した絵具を次の②除去の実験で使用した。

表4

実験	比較基準
①	塗った様子(色味)がオリジナル部分と馴染むか。
②	オリジナル部分の下地を溶かさず補彩を除去することができるか、作業効率は良いか。

表5. 実験結果(可逆性)

絵具	実験前	実験後	所感
(1)岩絵具 岩黒			強くこすれば色は落ちるが、周囲に広がってしまう。
(2)アクリル 絵具 MARS BLACK			周囲に広がることなく色が落ちる。

以上の結果から、オリジナル部分となじみ、作業性も良い(2)アクリル絵具MARS BLACKを補彩絵具として使用した。

6. 接着剤の選定

接着に使用する接着剤の選定を行う。今回は、実験器具が用意できるせん断強度実験を行う。作業性、接着強度の2点を比較し、選定を行った。

使用する接着剤

エポキシ系接着剤 常温硬化型二液性エポキシ樹脂接着剤 三千本膠

使用するもの

紙パレット ヘラ

実験器具(クレーン C型クランプ ビニール紐 ポリタンク)

実験方法

テストピース(ヒノキ、2cm×4cm)をヒノキ材に接着し、実験器具で荷重をかける。テストピースがせん断した荷重、または用意できる最大荷重になったところで実験を終了とする。

実験結果

実験結果は、表の通りである。

表6. 実験結果

接着剤	可使時間 (分/25℃)	接着時間 (時間)	最大荷重 (kg)
アクリルエマルション下地剤+ エポキシ樹脂系接着剤	5	2	23.74
アクリルエマルション下地剤+ 常温硬化型二液性エポキシ樹脂接着剤	70	10	23.77
膠40%水	— ²	24	17.18
膠30%水	— ³	24	14.06
膠20%水	— ⁴	24	12.48

7. 充填剤の選定

本体と岩座の矧ぎ目の緩み部分は、解体による処置が困難である。そのため、充填剤による充填を行い、本像の安定化を図ることを目的とする。この実験では、作業性、塗布乾燥後の表面の様子から充填剤の選定を行う。

使用充填剤

水性アクリル樹脂系充填剤 アクリル系充填剤
エポキシ樹脂系充填剤

使用器具

実験器具(ヒノキ材 エポキシ樹脂) マスキ

ングテープ ヘラ 竹串

実験方法

各充填剤を実験器具の隙間に塗布した。各充填剤が硬化したのち、塗布部分表面を目視で確認した。

実験結果

本像の矧ぎ目の緩みの周囲は彩色がなされており、マスキングテープを貼ることは不可能である。そのため、塗布部周囲に充填剤が付着する水性アクリル樹脂系充填剤、アクリル系充填剤は使用が困難だと判断した。エポキシ樹脂系充填剤は処置部周囲に付着しにくく、また、付着しても除去が可能であるため、充填剤はエポキシ樹脂系充填剤を使用した。

アクリルエマルション下地剤＋エポキシ樹脂系接着剤、アクリルエマルション下地剤＋常温硬化型二液性エポキシ樹脂接着剤ともに、接着強度が大きい。その2つのうち、可使時間が長い常温硬化型二液性エポキシ樹脂接着剤のほうが作業性は良いと判断した。

接着処置では、アクリルエマルション下地剤で保護膜を形成したのち、常温硬化型二液性エポキシ樹脂接着剤で接着した。

実験結果は、以下の表の通りとなった。



写真10. 本体（正面）充填後



写真11. 本体（正面）補彩後

表7. 充填剤選定事前実験結果

充填剤	表面	作業性	所感
水性アクリル樹脂系充填剤 ⁵	弾力がある。充填剤を入れた当初の状態に固まっている。	悪い	非常に柔らかく、処置部分に入れにくい。処置部周囲に貼ったマスキングテープに大量に付着する。
アクリル系充填剤 ⁶	弾力がある。半円状にへこんでおり、充填剤を入れた当初よりも体積が減っている。	悪い	非常に柔らかく、処置部分に入れにくい。処置部周囲に貼ったマスキングテープに大量に付着する。

エポキシ樹脂系充填剤 ⁷	弾力がない。爪で押すとカツカツと音がする。充填剤を入れた当初の状態に固まっている。	良い	手でこねられる程度の硬さがあり、処置部分に入れやすい。処置部周囲に付着しにくい。また、付着した際は、除去できた。
-------------------------	---	----	--

8. 善寶寺五百羅漢堂羅漢像の修復処置について

以上で、羅漢像158番、框台37番に対する修復処置はすべて完了した。

今回の修復を終えて、今後の善寶寺五百羅漢堂内の羅漢像の修復活動で気を付けるべき点が2つ挙がった。

まず、すべての羅漢像に同じ処置は行えない、という点である。すべての羅漢像が同じ損傷状態であるとは限らない⁸。2%膠液で剥落が止まるものもあれば、6%膠液を注入しなければならないものもある。それぞれの羅漢像の損傷状態に応じた修復方法を、処置者が考える必要があった。

2つ目は、羅漢堂内の像（本体）と付属品（岩座、框台、光背、持物）がその墨書きの番号どおりに整理されていない点である。今回、羅漢像158番とともに発見された框台は墨書きが37番であり、本体、岩座、光背とは違うものであった。また、これに伴い羅漢堂内の墨書きの調査を行った結果、そのほとんどが番号の違うもの同士でまとめられていた。すべての墨書きを調査したうえで、番号が同じもの同士でまとめ、整理を行うには膨大な時間がかかり、さらに作業する人間や場所の確保も難しい。今の状態のまま修復処置を行うのであれば、手の届くものから処置を施し、処置をしたものの中で墨書き番号が同じものをまとめていく必要がある。

注

- 1 プライマルAC2235、ローム・アンド・ハース・ジャパン（株）
- 2 3 4 お湯で温めながら使用する。
- 5 商品名：木部シール（コニシ株式会社）
- 6 商品名：ウッドシール（セメダイン株式会社）
- 7 商品名：ウッドエポキシ（コニシ株式会社）
- 8 参照：山崎遙『平成28年度卒業論文』

重要文化財「鳥居」 冬季養生の効果検証及び周辺環境調査

石崎武志 ISHIZAKI, Takeshi／文化財保存修復研究センター研究員・教授

1. 調査の概要

平成28年12月10日（土）に、石鳥居の簡易養生を行った。養生の様子を写真1に示す。この養生の際に、養生内部および、石材表面の温度を笠木部分上面、額束部分、北柱部分で測定した。また、石鳥居周囲の気温、湿度を測定するためのデータロガーを設置した。3月13日（月）に装置の撤去を行うまで、約3ヶ月間の観測を行った。



写真1、石鳥居の冬季養生の様子

笠木部分の養生表面の様子を写真2に示す。ここで、笠木部分の養生内部の温度および鳥木部分の石材表面温度を測定した。これを写真2に示す。



写真2、笠木養生内部と鳥木石材表面の温度センサー設置状況

また、額束部分で、貫養生内部および額束石材表面の温度測定を行った。これを写真3に示す。



写真3、貫養生内部と額束石材表面の温度センサー設置状況

また、北柱部分で、養生内部および石材表面の温度測定を行った。これを写真4に示す。



写真4、北柱部分の養生内部の石材表面と養生表面の温度センサー設置状況

また、石鳥居の積雪状態を観測するためのタイムラプスカメラおよび、シールド内に設置した気温、湿度の測定のためのセンサーを設置した（写真5）。



写真5、タイムラプスカメラおよび、シールド内に設置した気温、湿度の測定のためのセンサーの様子

2. 観測結果

1) 石鳥居周辺の温度

測定された気温変化を図1に示す。12月、1月、2月、3月と気温が零下になる日が続いているのが分かる。また、平年よりも比較的暖冬であったので、気温の最低は -8°C 程度であった。

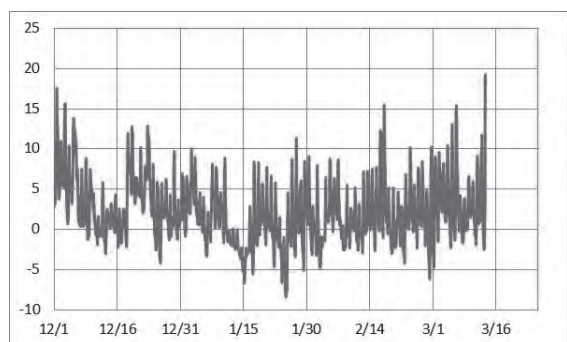


図1. 石鳥居近くの気温変化（最低気温 -8°C 程度になっている）

図2には、笠木養生内部の石材表面に設置した、温度センサーによる石材表面の温度を示す。12月から3月までの測定期間中、最低温度は -1°C 程度であり、8日程度 0°C 以下の日は見られるが、ほとんどの期間石材表面温度は、 0°C 以上であり、石材の凍結劣化リスクがないことが分かった。このような、簡易な冬季養生でも、冬期間の、石材の凍結劣化を防止する上で十分な機能を果たしている。これらの観測に合わせて、石鳥居上部の積雪の状況をタイムラプスカメラにより撮影した。降雪の有った際に、石鳥居上部に積雪が見られたが、これも、断熱材として働き、石鳥居上部の石材表面の温度低下を防いでいる役割を果たしているものと考えられる。

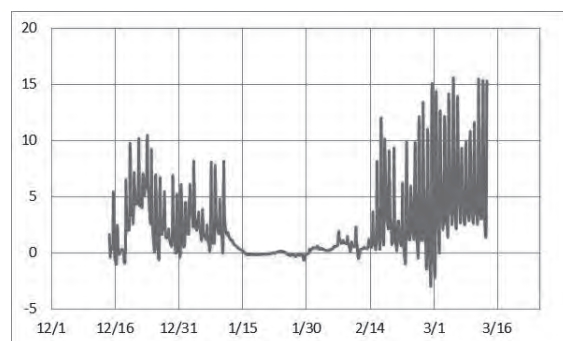


図2. 笠木養生内部の石材表面温度（ほとんど 0°C 以下には下がっておらず、養生が有効に働いている様子が分かる）

図3には、額束部分の石材表面の温度変化を示す。気温変化と同様に大きく変動し、 -5°C 程度を示している日もある。

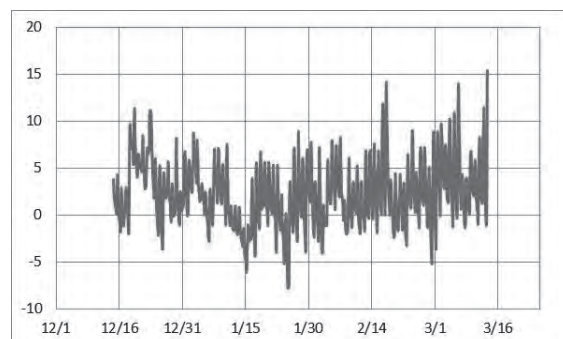


図3. 額束部分の石材表面温度（ほとんど外気の温度変化と同様に変化している。最低温度は、 -8°C である。）

図4には貫部分の養生内部の石材表面温度を示している。養生は薄い断熱シート1枚なので、養生が有効に働かず、ほぼ気温と同様な温度変化を示している。

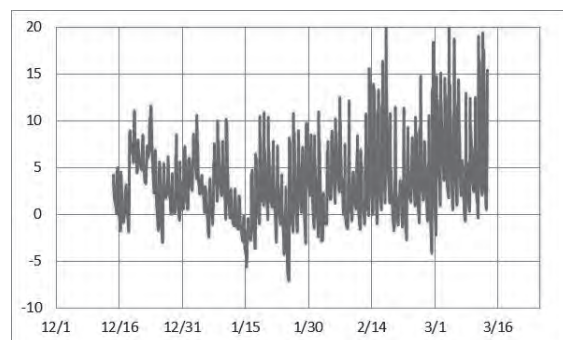


図4. 貫部分の養生内部の石材表面温度（養生部分は、ブルーシート1枚で薄いため、ほとんど外気の温度変化と同様に変化している。最低温度は、 -7°C である。）

図5には、北柱部分の養生内部の石材表面温度を示している。気温変化と同様に大きく変動し、 -5°C 程度を示している日もある。最低温度が、

気温より高くなっており、若干の養生の効果はあるが、やはり養生のシートの厚さが薄いため、養生の効果がほとんど見られない結果となっている。

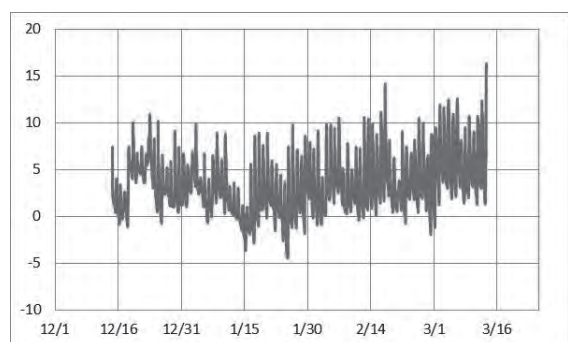


図5. 北柱部分の養生内部の石材表面温度(養生部分は、ブルーシートで薄いため、ほとんど外気の温度変化と同様に変化している。最低温度は、 -5°C である。)

図6には、北柱部分の養生シートの表面温度を示している。気温変化と同様に大きく変動し、 -7°C 程度を示している日もある。

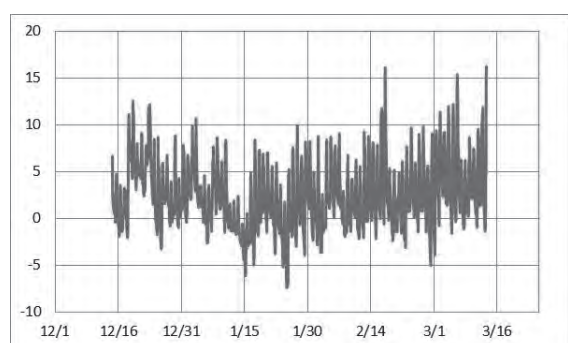


図6. 北柱部分の養生シートの表面温度(ほとんど外気の温度変化と同様に変化している。最低温度は、 -7°C である。)

まとめ

平成28年12月10日(土)に、石鳥居の簡易養生を行った。養生の様子を写真1に示す。この養生の際に、養生内部および、石材表面の温度を笠木部分上面、額束部分、北柱部分で測定した。また、石鳥居周囲の気温、湿度を測定するためのデータロガーを設置した。3月13日(月)に装置の撤去を行うまで、約3ヶ月間の観測を行った。これらの観測結果から、笠木部分のように、シート、ムシロ、シートの様に三層構造として養生した部分の断熱効果は見られ、石材表面の温度低下をうまく押さえているように思われる。しかし、貫の部分や、北柱部分の養生に関しては、養生層の厚さが薄いせいか、断熱効果があまり見られなかった。また、笠木の部分には、冬季に積雪があるため、積雪による断熱効果も大きな要素であると考えら

れる。今後は、これらの観測結果をもとに、熱解析などの手法を用いて、石鳥居の冬季の温度変化について検討を進めていく予定である。

三内丸山遺跡「南盛土」保存処理

石崎武志 ISHIZAKI, Takeshi／文化財保存修復研究センター研究員・教授

1. 現場の状況

平成29年3月7日の、三内丸山遺跡「南盛土」の全景を写真1に示す。遺構面表面には、白く塩類が析出している状況が見られる。また、遺構面に見られる土器が土埃、白色の析出物、カビなどで汚れている状況が見られた。また、土嚢表面や、コンクリート表面には、塩類の析出が見られた。コンクリート表面の塩類は、成分分析ができるほどの量のサンプルを採取できたので、成分分析を行う予定である。



写真1. 南盛土の全景写真

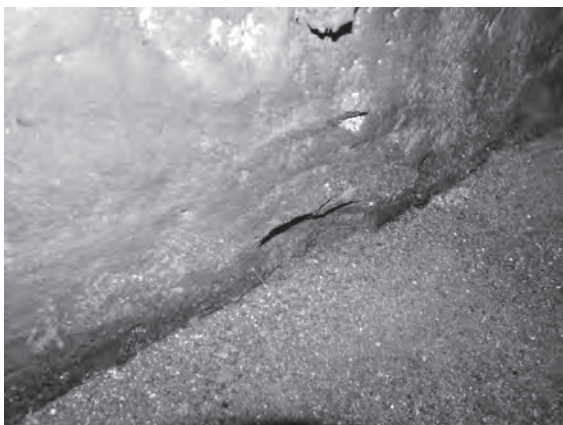


写真2. 遺構表面の塩類の析出状況

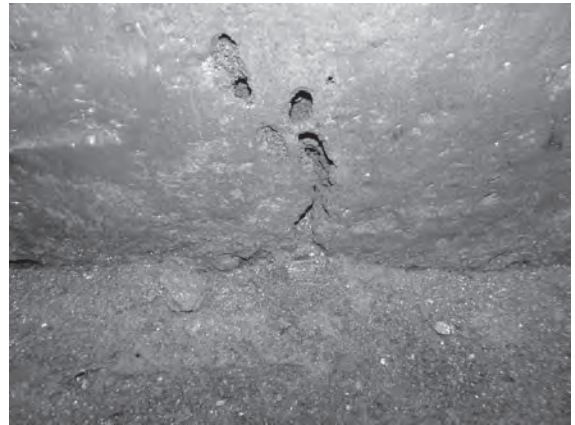


写真3. 遺構面下部の壁面の欠損状況



写真4. コンクリート面に塩類が析出している状況



写真5. 土嚢部分に塩類が析出している状況

2. 遺構面の清掃、塩類の析出部分の除去

遺構表面の白い析出物を刷毛、ブラシ等による清掃を行った。作業は、タイベックス（防護服）を着用し、白い作業靴を履いて行った。除去した塩類を含む土壌は、脱塩した後、遺構面の外観調整のため使用する。この作業は、狭い隙間での作業となるため、2人1組として作業にあたり、1人が作業を行い、他の1人は、作業者が遺構面に触れないように注意深く監視し作業を行った。



写真6. 遺構面の清掃状況



写真7. 遺構面の塩類を除去する様子

3. 遺構面の作業時の環境変化の測定

遺構面清掃作業において、南盛土の展示施設内の温湿度がどのように変化するかについて、温湿度データロガー（米国、オンセット社製、HOBO PRO）を用いて、30分ごとに定期的に、温湿度の測定を行った。測定結果から、温度は4℃～5℃、湿度は、80%～90%で、遺構面の作業時に大きな温湿度環境の変化が小さいことが分かった。



写真8. 南盛土内の温湿度変化を測定するための温湿度データロガー設置状況

4. 強化・修復処置

遺構面の下部に、水の浸透によると思われる欠損や、虫の活動によると思われる欠損が見られた。遺構面の保存のために、これらの欠損部を補修する必要があると思われたため、土にエポキシ樹脂を混合させた擬土を作成し、欠損部の補修を行った。



写真9. 擬土作成のため、土を乾燥している様子



写真10. 擬土を作成している様子



写真11. 擬土を用いて欠損部分を補修している様子

5. 南盛土施設の覆屋の鉄骨基底部の防錆処置

覆屋基底部の鉄骨の塗料が剥げ落ち、さびが激しい。これについては、金ブラシ等でできる限りさびを落とす。さび落としをした鉄骨等については、商品名「インクララック」を吹き付けて塗装する。なお、錆落としの際に、錆等が遺構面にかからないよう、遺構面を養生シートで覆う作業を行った。



写真12. 遺構面上部に、養生シートを設置している様子



写真13. 覆屋基底部の鉄骨の錆落としをしている様子

5. 南盛土覆屋基底部の欠損部分の修理

覆屋の基底部にはいくつかの欠損部があり、覆屋内部の環境保全に悪影響を与えている。これを補修することで、覆屋内部の環境を保全する。欠損部の修復のためには、吹きつけ式のウレタン樹脂を利用する。大きめの欠損部に関しては、あらかじめ覆屋内部から布を張ってふさぎ、外側からウレタン樹脂を吹き付ける。



写真14. 覆屋基底部の壁面欠損状況



写真15. 覆屋基底部の壁面欠損部に硬質ウレタンを吹き付けている様子



写真16. 覆屋基底部の壁面欠損部の修復後の状況

毛越寺庭園遣水の景石周辺環境に関する調査

石崎武志 ISHIZAKI, Takeshi／文化財保存修復研究センター研究員・教授

1. 調査の概要

平成27年11月3日（火）に、毛越寺庭園遣水の景石周囲の気温、湿度を測定するためのデータロガーを設置したので、平成28年度も継続してデータを取得した。データロガーの設置状況の写真を図1に示す。現在も継続して計測を行っている。また、景石の表面および、地表面を、遣水下流部分（図2）、遣水上流部分（図3）で測定した。測定間隔は30分である。なお、本年度より、タイムラプスカメラを設置し（図1）、1日に一回、遣水上流部分の積雪状況を観察した。なお、図4に示したように遣水下流部分の地表面温度測定センサーのコードが小動物により切られていたため、データの欠測があった。



図1. 温湿度測定装置およびタイムラプスカメラの設置状況



図2. 遣水下流部分の景石表面および地表面温度測定



図3. 遣水上流部分の景石表面および地表面温度測定



図4. 遣水下流部分の地表面温度測定センサーのコードが小動物により切られていた様子

2. 観測結果

2-1. 気温測定結果

2016年11月1日から2017年3月30日の測定期間での日平均気温の測定結果を図5に示す。赤線は、現地での測定結果、青線は、一関の気象庁のアメダス地点の測定結果である。一関のアメダス地点は、現地よりほぼ7kmの距離にある。現地の測定結果とアメダス地点の測定結果とはほぼ対応している。現地のデータに関しては、1月28日より、2月14日まで、装置の不具合により欠測となっている。

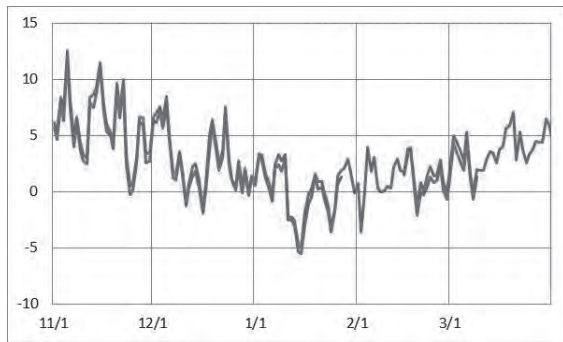


図5. 日平均気温の測定結果(2016年11月1日から2017年3月31日)

また、図6には、30分ごとの気温データを示している。測定結果から、最低気温は、1月15日(日) 早朝5:00に記録された -10.7°C である。

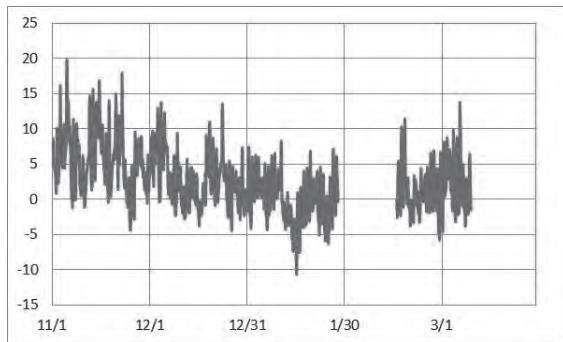


図6. 気温の測定結果(2016年11月1日から2017年3月10日、なお1月28日より、2月14日まで、装置の不具合により欠測)

2-2. 積雪量測定結果

2016年11月1日から2017年3月31日の測定期間での一関の気象庁のアメダス地点の積雪測定結果を図7に示す。降雪量の冬期間の積算値は、105cmであった。

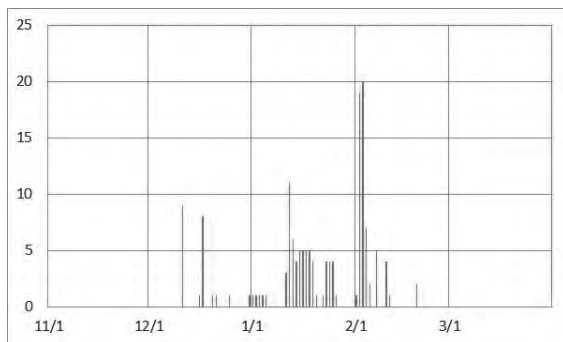


図7. 積雪深の測定結果(2016年11月1日から2017年3月31日)

2-3. 遣水下流部分での景石の表面および、地表面温度測定結果

2016年11月1日から2016年3月10日の測定期間

での景石の表面温度の測定結果を図8、地表面温度の測定結果を図9に示す。また、日平均温度を、図10に示す。図8から、景石表面の温度は、 -6°C 程度まで下がっているのが分かる。

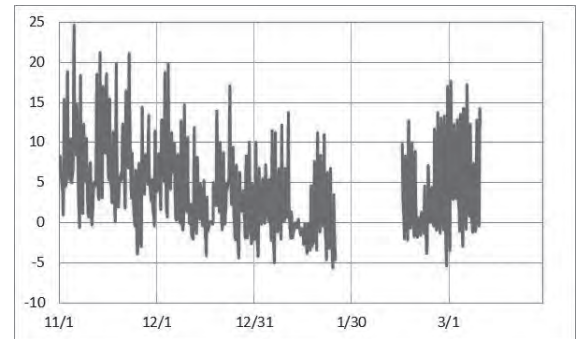


図8. 景石の表面温度の測定結果(2016年11月1日から2017年3月10日、なお1月26日より、2月14日まで、装置の不具合により欠測)

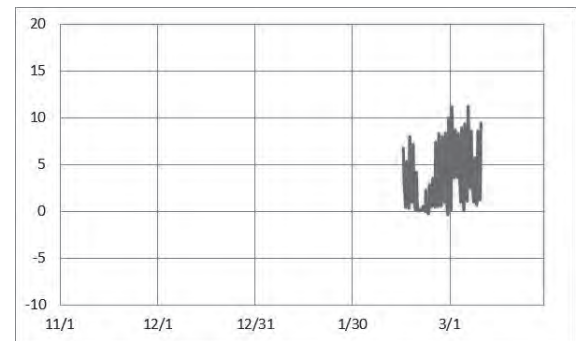


図9. 地表面温度の測定結果(2016年2月13日までは、地表面温度測定センサーのコードが小動物により切られていたため、データの欠測)

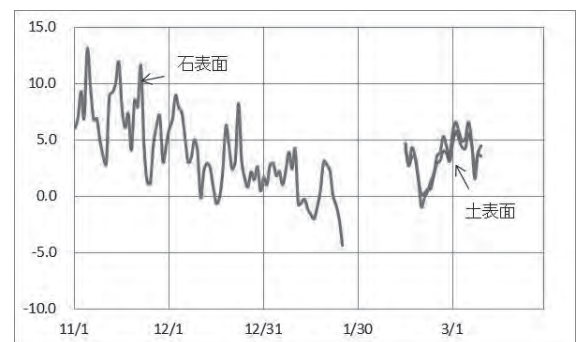


図10. 景石の表面温度および地表面温度の日平均温度の測定結果(2016年11月1日から2017年3月10日、なお1月26日より、2月13日まで、装置の不具合により欠測)

2-4. 遣水上流部分での景石の表面および、地表面温度測定結果

2016年11月1日から2017年3月31日の測定期間での景石の表面温度の測定結果を図11、地表面温度の測定結果を図12に示す。また、日平均温度を、図13に示す。景石表面での最低温度は、 -3°C 程

度になっているので、遣水上流部分の方が、遣水下流部分より若干高くなっていると考えられる。これは、上流部の背後に、木があり、放射冷却しにくい状況になっているためと考えられる。

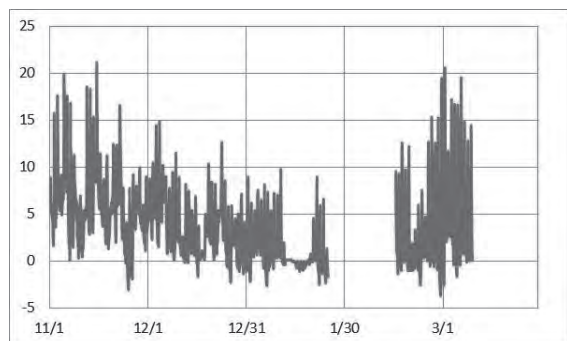


図11. 景石の表面温度の測定結果（2016年11月1日から2017年3月10日、なお1月25日より、2月13日まで、装置の不具合により欠測）

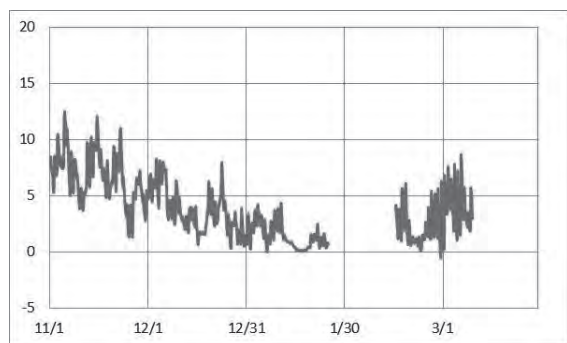


図12. 地表面温度の測定結果（2016年11月1日から2017年3月10日、なお1月25日より、2月13日まで、装置の不具合により欠測）

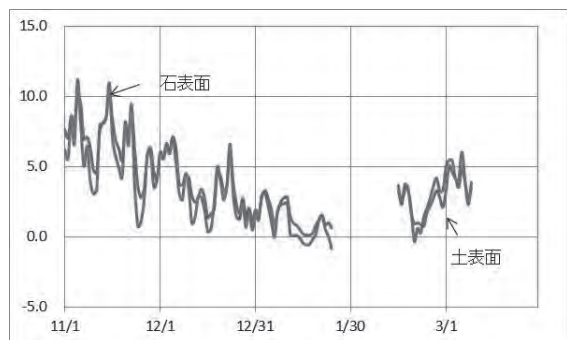


図13. 景石の表面温度および地表面温度の日平均温度の測定結果（2016年11月1日から2017年3月10日、なお1月25日より、2月13日まで、装置の不具合により欠測）

3. タイムラプスカメラによる画像

12月15日にタイムラプスカメラの撮影を開始した。12月15日～19日までの様子を図14～図18までに示す。遣水上流部での積雪の様子がよく分かる。



図14 遣水上流部の様子（12月15日）



図15 遣水上流部の様子（12月16日）



図16 遣水上流部の様子（12月17日）



図17 遣水上流部の様子（12月16日）



図18 遺水上流部の様子（12月18日）

なお、タイムラプスカメラの画像から、積雪の状況が分かったのは、12月15, 16, 17, 18日, 1月11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28日, 2月2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 19, 20, 21, 22, 23日, 3月8日の合計40日であった。この結果は、一関の気象庁のアメダス地点の降雪観測状況と良い一致が見られた。

4. まとめ

昨年度の観測データと同様に、景石表面温度の30分間隔の観測データとしては、下流側の景石で -6°C 程度になっており、上流側の景石で -3°C 程度になっているため、冬季に凍結・融解の繰り返しにより、劣化するリスクが高いことが分かった。また、下流側の景石表面の温度が、夜間に上流側より下がっているのは、下流側では、周囲に遮るものがないため、夜間の放射冷却の度合いが大きいと考えられる。

全国石工サミットinたかはたの開催 —寒冷地における地域文化資源の保存と活用—

北野博司 KITANO, Hiroshi／東北芸術工科大学文化財保存修復研究センター研究員・教授

山形県高畠町は江戸時代から続く石材産業の町である。山から採掘された凝灰岩（高畠石）は戦前・戦後、地域の身近な資源として建築、土木、生業、生活、信仰など、この地に暮らす人々のあらゆる活動に利用され、その遺産が町内各所に顔をのぞかせる。

かつて全国に普及した軟質系石材の手掘り採掘は、戦後の機械化やセメント系資材の普及によって一気に消滅した。しかし、この高畠町は近年まで生業としての手掘り採掘が行われてきた稀有な土地であり、現在も技術を伝承する元職人が健在である。

この二つの事実に加え、寒冷地にありながら、住民たちの石材資源を持続的に利用する習慣や修理技術をもった石工の存在によって、凝灰岩がふんだんに使われた往時の町並み景観が維持されてきた。

東北芸術工科大学文化財保存修復研究センターでは平成23年度から、町のあらたな文化資源として高畠石に関わる有形・無形の遺産を調査し、その保存と活用策を模索してきた。これまで、『高畠石の里をあるく』『高畠町の鳥居』を刊行するとともに、その価値を町内外の方々に知っていただくために「石工サミット」や講演・展示などの活動を行ってきた。

その一方で、寒冷地にあるこれら石造物は凍結破砕によって急速に劣化、破損が進行している。石鳥居や石塔、石祠等では修理に現代的な材料が使われ始め、新材では花崗岩が搬入されるようになった。高畠石が作り出す歴史的景観はこれまで地元石工たちの修理技術と、冬場に適切な養生を施す住民たちの知恵・習慣に支えられてきた。しかし、近年では住環境の近代化や石材産業の衰退に伴って、住民らの高畠石への関心も薄れつつある。

地域固有の景観や伝統技術を伝えていくためには保存対策とともに、その活用をはかり地域資源としての高畠石に対する関心を高めていく必要がある。来場者や住民たちが石切りの伝統技術や石

の町の景観の価値について学び、寒冷地における石造文化財への関心と保護意識を高めてもらうことが必要である。

これまで文化財保存修復研究センターは、地元の協力を得ながら三度にわたり「たかはた石工サミット」を開催してきた。その活動が県外の関係者にも知られるようになり、今回は広く全国の石工らに参加を呼びかけ「全国石工サミットinたかはた」と銘打って開催することとした。過去3度の石工サミットは、瓜割石庭公園（石切丁場跡）にて講演、石工対談、パネル・道具展示に加え、石切の実演と体験を行ってきた。今回は城郭石垣の修理などに携わる関係者の団体「文化財石垣保存技術協議会（国選定保存技術保存団体、事務局・姫路市）」の協力を得て、各地の職人たちが参加し、地元石工や住民たちと交流した。

さらにイベントを有意義なものとするため、ワークショップや交流会、エクスカージョンなどもジョイントした。開催要項記載の関係機関および団体から多大なるご支援、ご協力をいただくことができた。

開催要項

日 時：2016年10月1日（土）

場 所：高畠町瓜割石庭公園 高畠町安久津地内

参 加：無料



写真1 展示会場入り口



写真2 全国石工サミットチラシ



写真3 石材技能士会によるワークショップ



写真4 ポスター・石工道具の展示

主 催：東北芸術工科大学文化財保存修復研究センター

後 援：高畠町教育委員会、山形県教育委員会、文化財石垣保存技術協議会

協 力：安久津二井宿振興会、高畠町石材工業組合、山形石工組合、山形県石材技能士会、高畠石の会

プログラム

10月1日（土）

○ワークショップ（山形県石材技能士会主催）

9：00～12：00 「高畠石で椅子を作る」

○全国石工サミットinたかはた（東北芸術工科大学文化財保存修復研究センター主催）

13：00 開会 あいさつ

13：10 手掘りによる石切実演・体験

14：30 石引き・石おろし実演

指 導：引地兼二、阿部富弥、引地道晴、森 一
会場内にて石切道具の展示、石切作業の映像上映、高畠石の町並みポスター展示

○石切山の夕べ（安久津二井宿振興会主催）

15：00～15：30 石切山コンサート（高畠中学校吹奏楽部ほか）

15：30～16：30 石工・見学者交流会 山形名物「芋煮」・飲み物

17：00 閉会

.....
10月2日（日）には「文化財石垣保存技術協議会」関係者を対象にスタディ・ツアー「山形の近代化遺産をめぐる－石工職人の技に触れる旅」（東北芸術工科大学主催）を企画し、マイクロバス等で石造文化財を巡った。参加者は17名であった。

8：30JR高畠駅集合・8：35出発→8：50旧高畠駅舎（石造建築・高畠町）→9：30吉田橋（アーチ橋・南陽市）→9：55堅磐橋（アーチ橋・上山市）→10：20硯橋（アーチ橋・上山市）→10：30新橋（アーチ橋・上山市）→11：25元木の石鳥居（石鳥居・山形市）→12：00国分寺薬師堂（丸石積み・山形市）→12：55文翔館（レンガ積み石貼建築・山形市）→15：00山形駅



写真5 ホツキリ実演



写真9 石下ろし実演



写真6 ホツキリ体験



写真10 石下ろし実演



写真7 ホツキリ体験



写真11 高畠中学校吹奏楽部の演奏



写真8 ノミ焼き実演



写真12 瓜割石切場跡（大正12～平成22）

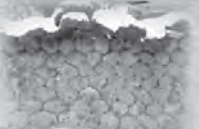


東北芸術工科大学

文化財マネジメント・スタディツアー

やまがたの近代化遺産をめぐる

職人の技に触れる旅


2016年10月2日(日)

8:30~15:00




※ 参加：定員制（無料）貸し切りにして実施します。
 定員 奥山町史跡 1500 日原町史跡

主 催：東北芸術工科大学文化財保存修復センター

お問い合わせ先
 〒981-8505 仙台市青葉区文化財保存修復センター 3
 2 階 202 号室 ☎022-255-7173 又は
 022-255-7174
ファクス 022-255-7274

写真13 スタディ・ツアーのチラシ

[illegible]

日本石材工業新聞 1 面・2 面
2016 年 10 月 5 日付

は、地城の人たちが伝統的に培ってきた知恵も、一緒に検証しながら、この高岡町に残る豊かな石の景観を残していきたい」と抱負を述べた。

2面に続く

[illegible]

文化財保存修復研究事業



I 平成28年度「寒冷地域における文化財の保存修復に関する研究」 ●活動報告

石崎武志 ISHIZAKI, Takeshi／文化財保存修復研究センター研究員・教授

平成28年度「積雪寒冷地域における石造文化財の諸問題と対策」の活動として、平成28年8月20日（土）、21日（日）の日程で、専門家会議「積雪寒冷地域における屋外展示の諸問題と対策」を、小樽市総合博物館本館、小樽市手宮洞窟保存館、旧手宮鉄道施設機関車庫、余市町フゴッペ洞窟等で開催した。次に、平成29年1月14日（土）に公開講演会「遺跡における微生物の問題と対策」を東北芸術工科大学で開催した。また、平成29年1月15日（日）に専門家会議「寒冷地域における遺跡の保存に関する諸問題と対策」を東北芸術工科大学で開催した。遺跡調査に関しては、北海道のモヨロ貝塚（網走市）、北海道開拓の村（札幌市）、大船遺跡（網走市）、青森県の三内丸山遺跡（青森市）、秋田県の伊勢堂岱遺跡（北秋田市）、毛越寺（平泉町）、山形県の元木の石鳥居（山形市）等で、観測機器を設置し、冬季の環境調査および劣化調査を行った。それぞれの活動について以下に報告する。

1. 専門家会議『積雪寒冷地域における石造文化財の諸問題と対策』

主 催：東北芸術工科大学文化財保存修復研究センター

協 力：小樽市教育委員会、余市町教育委員会、北海道・東北保存科学研究会

開催日：平成28年8月20日（土曜日）13：00～8月21日（日曜日）14：30

会 場：小樽市総合博物館本館、小樽市手宮洞窟保存館、旧手宮鉄道施設機関車庫、余市町フゴッペ洞窟、余市蒸留所

プログラム

8月20日（土曜日）

13：00 小樽市総合博物館に集合

13：10～14：30 手宮洞窟および旧手宮鉄道施設機関車庫のレンガ等構造物の劣化状況調査および保存対策についての専門家討論、（小樽市・

石神 敏、手宮洞窟および旧手宮鉄道施設にて）

14：30～14：40 小樽市総合博物館へ移動

14：40～15：00 専門家会議要旨説明、挨拶（澤田正昭・東北芸術工科大学）

15：00～15：30 講演1；フゴッペ洞窟の保存に関する諸問題と対策（浅野敏昭・余市町教育委員会）

15：30～16：00 講演2；カップパドキア岩窟教会外壁の劣化と保存対策（伊庭千恵美・京都大学大学院）

16：00～16：30 講演3；寒冷地域における遺跡の水に関する諸問題と対策（石崎武志・東北芸術工科大学）

16：30～17：30 総合討議（進行：澤田）

17：30 閉会

8月21日（日曜日）

9：00 小樽市総合博物館運河館前集合（マイクロバスに同乗してフゴッペ洞窟へ移動）

10：00～12：00 フゴッペ洞窟の劣化状況調査および保存対策についての専門家討論（余市町・浅野、フゴッペ洞窟にて）

13：00～14：00 余市蒸留所レンガ造建物の保存調査

14：30 小樽駅前着 解散

8月20日（土）は、まず、小樽市、教育委員会の石神敏氏が、国指定史跡の手宮洞窟の保存施設で、陰刻画の保存状況について説明を行った（写真1）。この陰刻画は、発掘調査により今からおよそ1,600年前頃の縄文時代中期～後半の時代のものと考えられている。ここでは、陰刻画のある岩盤背後の山からの浸透水が、保存施設へ流れ込むため、水の対策が大きな課題であるとのことであった。次に、重要文化財旧手宮鉄道施設を見学した（写真2）。この施設は、日本近代史上における北海道の役割や、北海道の産業形態を考え

る上で貴重なものである。この保存において、レンガの凍結劣化対策などについて、保存を担当した石神氏より説明を受けた。



写真1. 手宮洞窟の説明をする石神敏氏



写真2. 重要文化財旧手宮鉄道施設の様子

これらの見学の後、専門家会議を行った。まず、本学文化財保存修復研究センター澤田正明センター長より、開会の挨拶があった（写真3）。ここでは、本学の特別プロジェクトとして進めている「寒冷地域における文化財の保存修復に関する研究」の概要説明がなされた。



写真3. 専門家会議で挨拶をする澤田正昭センター長

次に、余市町教育委員会の浅野敏昭氏より、「フゴッペ洞窟の保存に関する諸問題と対策」というテーマで報告がなされた。ここでは、フゴッペ洞窟の保存に関して、発見から保存調査、第一次保存調査事業、第2時保存調査事業等で、今までに検討してきたことについて説明がなされた。ここでは、藻類等の微生物発生の問題や、近くを鉄道が走っているため、その振動の問題など様々な問題を抱えていた。それらの対策手法などが大変参考になった。

次に、京都大学大学院の伊庭千恵美氏より、「カッパドキア岩窟教会外壁の劣化と保存対策」というテーマで報告が行われた。このカッパドキアは、1985年、ユネスコの世界遺産（複合遺産）に、「ギョレメ国立公園とカッパ土器壺の岩石遺跡群」として指定された。ここでは、冬季に、気温が0℃以下となるため、岩石の凍結による劣化の問題もあるため、そのために行われた、気象環境調査および撥水剤処理実験などについても報告された。

次に、本学文化財保存修復センターの石崎より「寒冷地域における遺跡の水に関する諸問題と対策」というテーマで報告がなされた。ここでは、青森市の三内丸山遺跡の子供の墓周辺の水分移動調査および秋田県鹿角市の大湯環状列石での環境調査に関して、測定した結果を中心に報告した。

8月21日（日）は、余市町史跡フゴッペ洞窟の見学を行った（写真4）。ここでは、余市町教育委員会の浅野敏昭氏が、施設内の状況を詳しく説明した。また、フゴッペ洞窟の劣化状況調査および保存対策についての専門家同士で議論を行った。その後、余市蒸留所レンガ造建物の保存調査を行い解散した。



写真4. フゴッペ洞窟の説明をする浅野敏昭氏

2. 公開講演会『遺跡における微生物の問題と対策』

主 催：東北芸術工科大学文化財保存修復研究センター

共 催：北海道・東北保存科学研究会

開催日：平成29年1月14日（土曜日）13：30～17：00

会 場：東北芸術工科大学本館301講義室

プログラム

- 13：30－13：40 開会挨拶
- 13：40－14：30 特別講演：カンボジアのアンコール遺跡における生物被害と対策（片山葉子、東京農工大学）
- 14：30－15：00 講演1：高松塚古墳壁画、キトラ古墳壁画のカビ等微生物の問題（石崎武志・東北芸術工科大学）
- 15：00－15：10 休憩
- 15：10－15：40 講演2：日本の装飾古墳でのカビ等微生物の問題と対策－石室石材の表面状態の保存－（佐藤嘉則・東京文化財研究所）
- 15：40－16：10 講演3：遺跡等文化財施設での環境管理と生物対策の実例（川越和四、環境文化創造研究所）
- 16：10－17：00 総合討論
- 17：00 閉会

山形のある東北地方、その北に位置する北海道では、冬季に気温が零度以下になり、また降雪もあり、屋外の遺跡や石造文化財は、凍結・融解の繰り返しによる劣化現象が起こる。東北・北海道地域における文化財の保存は、過酷な環境条件に対応する保存材料や技術の開発が重要な課題となっている。本学文化財保存修復研究センターでは、これらの地域の文化財保存の担当者と共同で、寒冷地域における文化財の保存対策の構築に取り組んでいる。本年度は、文化財施設の、カビの問題など微生物の専門家を招聘し、公開講演会を企画した。寒冷地の遺跡の微生物に関する問題は、寒冷地以外の遺跡とも共通する点がある。そこで、東南アジアの遺跡の保存に関わっておられる専門家を招聘し特別講演をお願いした（写真5）。



写真5. 公開講演会の会場の様子

まず、本学文化財保存修復研究センター澤田正明センター長より、開会の挨拶があった。

次に、東京農工大学の片山葉子教授が「カンボジアのアンコール遺跡における生物被害と対策」というテーマで、報告を行った（写真6）。ここでは、片山先生が長く取り組んでこられた、アンコール遺跡での調査に関して報告された。着生微生物の遺伝子解析などによる詳細な調査結果を基に、劣化の原因を解明し、保存対策を構築していくという手法は、大変参考になるものであった。



写真6. 質問に答える東京農工大学、片山葉子教授

次に、本学文化財保存修復センターの石崎より「高松塚古墳壁画、キトラ古墳壁画のカビ等微生物の問題」というテーマで報告がなされた。ここでは、石崎が、東京文化財研究所在任中に、取り組んだ、高松塚古墳壁画、キトラ古墳壁画のカビ等微生物の問題に関して、フランスのラスコー洞窟でのカビの大発生と関係づけて報告を行った。洞窟や古墳内の環境では、相対湿度がほぼ100%である。このような環境で、カビ等微生物を発生しないようにする対策に関しては、様々な研究がなされてきたが、現在でも解決策は見つかっていない。今後の課題であると考えられる。

次に、東京文化財研究所の佐藤嘉則氏が、「日本の装飾古墳でのカビ等微生物の問題と対策－石

室石材の表面状態の保存－」というテーマで報告を行った（写真7）。ここでは、茨城県ひたちなか市にある虎塚古墳における微生物調査に関して説明した。特に、扉石の調査から、保存のためには、継続して微生物群の変化をモニタリングして、微生物の成育が認められれば、増殖を支えている環境因子を測定し、それを制御していくような管理体制を継続していくことの重要性について述べた。



写真7. 東京文化財研究所の佐藤嘉則氏

次に、環境文化創造研究所の川越和四氏が、「遺跡等文化財施設での環境管理の実践」というテーマで報告を行った（写真8）。ここでは、総合的有害生物管理（IPM：Integrated Pest Management）の考え方を基に、公開保存施設における除菌メンテナンスの方法について説明が行われた。また、実際に、茨城県ひたちなか市にある虎塚古墳公開保存施設での除菌メンテナンスを実施した事例を説明した。カビ等微生物の問題は、文化財の保存に関わる学芸員にとっては、大変重要な問題であるので、質疑応答が活発に行われた。



写真8. 環境文化創造研究所の川越和四氏

3. 専門家会議「寒冷地域における遺跡の保存に関する諸問題と対策」

主 催：東北芸術工科大学文化財保存修復研究センター

開催日：平成29年1月15日（日曜日）9：30～12：00

会 場：東北芸術工科大学文化財保存修復研究センター

プログラム

- | | |
|-------------|--|
| 09：30 | 開会 |
| 09：30－09：40 | 開会挨拶（澤田正昭・東北芸術工科大学） |
| 09：40－10：00 | 英国グラスゴーで開催された石造文化財の保存に関する国際シンポジウム参加報告（石崎武志・東北芸術工科大学） |
| 10：00－12：00 | 寒冷地域の遺跡の保存に関する諸問題と対策に関する討論 |
| 12：00 | 閉会 |

まず、本学文化財保存修復研究センター澤田正明センター長より、開会の挨拶があった。ここでは、本学の特別プロジェクトとして進めている「寒冷地域における文化財の保存修復に関する研究」の概要説明がなされた。

次に、本学文化財保存修復センターの石崎より、昨年英国グラスゴーで開催された石造文化財の保存に関する国際シンポジウムの参加報告を行った。この会議は、ICOMOS（世界遺産会議）のISCS（石造文化財の保存に関する科学委員会）が中心になり3年に1回開催される国際会議で、石造文化財の保存に関わる多くの専門家が参加する重要な会議である。日本からも16名の参加があり、とても有意義な会議であった。

次に、本専門家会に出席した専門家同士で、遺跡を保存する上での問題などに関して話題提供をして頂き、その保存対策の提案などに関して、活発な意見交換がなされた（写真9）。



写真9. 専門家会議の様子

東北芸術工科大学文化財保存修復研究センター

●専門家会議『積雪寒冷地域における石造文化財の諸問題と対策』

主 催：東北芸術工科大学文化財保存修復研究センター

協 力：小樽市教育委員会、余市町教育委員会、北海道・東北保存科学研究会

開催日：平成28年8月20日（土曜日）13：00～8月21日（日曜日）14：30

会 場：小樽市総合博物館本館、小樽市手宮洞窟保存館、旧手宮鉄道施設機関車庫
余市町フゴッペ洞窟、余市蒸留所

プログラム

8月20日（土曜日）

13：00 小樽市総合博物館に集合

13：10～14：30 手宮洞窟および旧手宮鉄道施設機関車庫のレンガ等構造物の劣化状況調査および保存対策についての専門家討論（小樽市・石神 敏、手宮洞窟および旧手宮鉄道施設にて）

14：30～14：40 小樽市総合博物館へ移動

14：40～15：00 研究会要旨説明挨拶（澤田正昭・東北芸術工科大学）

15：00～15：30 講演1：フゴッペ洞窟の保存に関する諸問題と対策（浅野敏昭・余市町教育委員会）

15：30～16：00 講演2：カッパドキア岩窟教会外壁の劣化と保存対策（伊庭千恵美・京都大学大学院）

16：00～16：30 講演3：寒冷地域における遺跡の水に関する諸問題と対策（石崎武志・東北芸術工科大学）

16：30～17：30 総合討議（進行：澤田）

17：30 閉会

8月21日（日曜日）

9：00 小樽市総合博物館運河館前集合（マイクロバスに同乗してフゴッペ洞窟へ移動）

10：00～12：00 フゴッペ洞窟の劣化状況調査および保存対策についての専門家討論（余市町・浅野、フゴッペ洞窟にて）

13：00～14：00 余市蒸留所レンガ造建物の保存調査

14：30 小樽駅前着 解散

フゴッペ洞窟の保存に関する諸問題と対策

浅野敏昭 ASANO, Toshiaki／余市水産博物館

（１）発見から保存調査へ

1950年（昭和25）に発見されたフゴッペ洞窟は、縄文時代（弥生～古墳時代に相当）の遺跡で、800以上の岩面刻画を持つ（写真1）。1953年、フゴッペ洞窟は国指定史跡となり、1955年に最初の保護施設として木造の覆屋が完成した。しかしこの覆屋は外気が遮断される構造ではなかったため凍結や融解による環境変化が著しく、また見学者の接触が容易な構造であって、岩体の剥落や崩落などの破壊が危惧された。これを受けて1968年、最初の保存事業が開始され、基礎調査の結果環境制御を行ないつつ公開の両立を目指したカプセル方式による新保存施設が1972年に完成した。

1998年から第2次の保存調査事業が開始、3年間にわたった基礎調査の手法は、1968年に開始されたフゴッペ洞窟の保存工事業が手宮洞窟保存修理事業を経て、フゴッペ洞窟にフィードバックされたかたちとなった。

（２）第1次保存調査事業（1968～1970）

露出前の内部環境と類似の環境を人工的に再現することを目的とし、内部の温湿度変化の把握のための温度記録計を設置した。冬季の凍結融解による岩石破砕が、もっとも岩面刻画へ悪影響があると推定し、露岩採取、凍結破砕の影響を見積もる実験を実施した。洞窟横の函館本線通過の列車による震動の影響を見積もる計測も実施した。



写真1 発見直後のフゴッペ洞窟南壁の刻画群

表1 洞窟の気温

名称と調査期間	調査数値	目標数値	備考
フゴッペ洞窟 68・6月～ 69・3月	洞窟内気温 0℃（3月） 岩壁表面温度 1.5℃（3月） 洞窟内気温及び 岩壁温度 19℃（夏期）	洞窟内部 5～15℃ 洞窟前室 17～18℃	凍結と苔類 の発生防止

表2 洞窟の湿度

名称と調査期間	調査数値	目標数値	備考
フゴッペ洞窟	未調査（第1次調査の報告書では測定対象であったがデータは未掲載）	未設定	密閉空間の冷房機能によるある程度の除湿を期待する

以上をうけて第一次保存調査の基本方針が策定された。

- ①フゴッペ洞窟保存工事に先立って洞窟内床面の発掘調査
- ②洞窟内外の写真測量－陰刻面を正確に記録するための写真測量による基礎図作成
- ③洞窟構成基盤岩石の調査－凍結・融解による破砕実験と外壁からの剥落量の測定
- ④洞窟内部の温湿度測定－凍結・融解出現頻度の確認
- ⑤洞窟内部の振動測定－隣接する鉄道線路を走行する列車振動影響評価
- ⑥洞窟覆屋の設計－カプセル方式による保存法と覆屋の設計

（３）第2次保存調査事業（1998～2004）

それまで実践してきた「公開しながらの保存」を新たな保存施設でも継続するべく、新たな手法、新たな空調方法の採用、屋根防水と外壁の断熱機能の改善であり、微生物の成育を抑制させる光源をラボ試験及び現場での試験により確定させた。

①微生物の繁茂対策としての照明影響調査

1980年代以降、洞窟最奥部上段、北側壁面などにおいて緑色の生物繁茂が問題視されてきた。壁

画を覆う緑色生物は、1970年代以降の旧保存施設での公開環境下、蛍光灯などの照射により顕著になってきたと考えられた。

現場で緑色生物を採取し同定した結果、糸状体の形態を持つ植物は藍藻植物（Cyanophyta）と、明緑色の生物は緑藻植物（Chlorophyta）であることが認められた。室内実験（単離後の生物への制御光照射、その増殖速度観察）、現地実験による検証の結果、まず、室内実験の結果から、照射時間、照度、波長の優先順位で照明環境を制御する方針が示された（図1）。

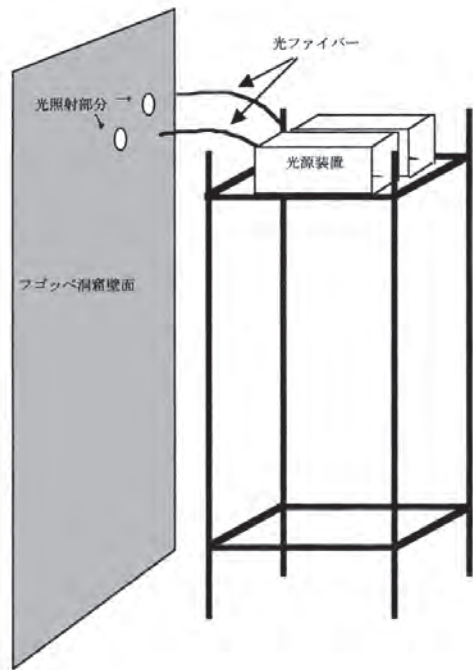


図1 光の照射実験概念図（『国指定史跡フゴッペ洞窟保存調査事業報告書』2004）

②洞窟内外の岩体変化比較のための測量調査

フゴッペ洞窟内の内部壁面及び外部の保存対策工法の基礎資料とするための洞窟周辺現況図、洞窟内壁面全体図、壁面内刻画立面の図面作成を実施した。測量調査の手法は非接触による写真測量技術技法を採用し、1969年時の写真測量の資料との比較検証、カラー写真やデジタル画像データを得る事により、将来の展示資料への活用も視野に入れた。

③岩体劣化対策の基礎調査としての地質解析調査

フゴッペ洞窟を構成する丸山の地質解析調査では、最終的に崩落危険度を評価するために、壁面地質調査（地質スケッチ）、壁面打診調査、表層および岩体崩落危険度評価を行なった。結果は保

存調査報告書（山岸、2004）で次のようにまとめられた（抜粋）。

- ・フゴッペ洞窟が存在する丸山の地質は新第三紀中新世後期の凝灰質砂岩および角礫岩から構成され、地質は層状に分布し南西にゆるく傾いている地質構造を示す。凝灰質砂岩は岩表面の鉱物粒子が分離しやすい様相を呈しており風化（寒暖・乾湿繰り返し等）に対する抵抗が高くないと判断される。
- ・丸山の断層系は大きく3系統に区分されるがそのうち2系統は、おおむね東西方向で急角度な傾斜角を示す。
- ・内壁面の岩相は、マッシュ（塊状な）砂岩層、平行葉理が発達する砂岩層、角礫岩層、軽石のはさみ層などに区分されるが、全体的に凝灰質である。
- ・丸山の外壁における崩落岩塊は、東西方向北向き斜面である外壁B面（A面北端含む）およびC面で多く、全体の約8割を占めている。

④岩面刻画の劣化対策としての経年変位調査

刻画面前後方向の変位、および壁面の亀裂幅の変位について各種変位計を設置して測定を行った。また、変動に影響する要因と考えられる覆屋外・洞窟内の温度と湿度についてもあわせて測定を行った（図2）。

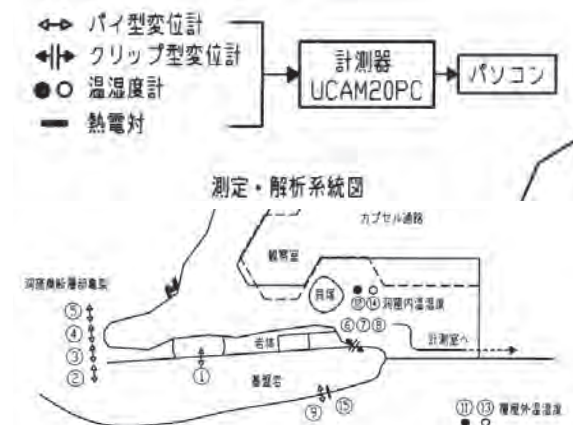


図2 測定機器設置位置図（平面、部分）（『国指定史跡フゴッペ洞窟保存調査事業報告書』2004）

測定結果から、岩体の挙動は洞窟の環境下で温度と湿度の変化に依存し、刻画面は春から夏にかけて後退し、秋から冬にかけて手前に押し出る方向に動いていた。亀裂幅も春から夏にかけて縮小し、秋から冬にかけて拡大していることがわかった。結果は保存調査報告書（内田、2004）で次のようにまとめられた（抜粋）。

- 1) 刻画面のある洞窟を構成する基盤岩では、温度変化は表層から内部の刻画面に向って伝わる。内部にいくにつれて、温度の変動幅（外気温度：46℃、刻画面付近：12℃）は小さくなり、位相は順次遅れてあらわれる。
- 2) 刻画面の前後方向、及びその周辺の亀裂の開閉の挙動は、四季をひとつの周期として、一定の振幅で挙動している。刻画面は春から夏にかけて前後に傾きつつ後退し、秋から冬にかけては元に戻る傾向がある。亀裂の開閉でも同じく、春から夏にかけて閉じ、秋から冬にかけて開く。
- 3) 逆に、基盤岩の表層では、春から夏にかけて膨張し、秋から冬にかけて収縮する。
- 4) 内部が空洞（洞窟）状の基盤岩では、温度変化による「応力変形」は、表層が膨張するとき、岩体の「岩殻」を介した内壁は収縮する挙動を示す。
- 5) 岩体に設置した変位計は、温湿度などの環境の変化に対し、変位量として敏感に反応するので、モニター機器として有効である。

⑤水対策としての岩体水分量調査

洞窟内の温度、壁面温度、外気温及び湿度、蒸発量などを計測した。凍結がないこと、湿度変化が最低限に押さえられている状況は評価されたが、水のコントロールでは、内部結露が定期的に土壌含水率を上昇させており、保存施設の構造上の問題が指摘された。また、融雪水の供給量が夏季の雨水よりも大きいとの指摘があり、融雪水対策が一つの課題であることが判明した。

（４）内部環境の数値目標

以上、調査委発足当時から行われてきた議論や各委員の報告から、次の点が導き出された。

数値目標を決定するには、事前に水の侵入経路を探ること（丸山の地質構造調査）、緑色微生物の成育を抑制する照明条件を検討すること（照明影響調査）、刻画の劣化自体を探ること（地質解析調査）により、外部からの水を遮断すべきかどうかの決定が可能となることが予見され、出来るだけ長い期間のモニタリングの結果をもって数値目標が設定されるべきとの意見が委員会から出された。現在もモニタリングは継続中である。

洞窟内部の気温については、1997年までに蓄積されたデータから、洞窟北壁東側の季節変動が少なく、洞窟奥部と南壁東側ではゆるやかな季

節変化があることが指摘され、密閉状況を保持した環境ではあるが、洞窟内部の各場所によって相違があることが指摘された。

調査委発足当時に観測された内部気温（13～20℃）は、第1次保存工事報告書において内部温度を5～15℃、すなわち10℃を中心とした数値目標があったことから適当ではないとの指摘もあり、内部温度の目標値は洞窟が閉塞されていた当時の条件が再現可能な数値（余市町の年平均気温±2℃程度＝10℃程度）と提案された。

湿度については1997年までに蓄積された90%台後半の数値が高過ぎるのではないかという指摘もあったが、発見まで閉塞されていた洞窟遺跡においては、土中の水分率がゆるやかな季節変化を持ちつつも概ね飽和状態であったものと考えられることから、内部湿度については飽和状態に近い数値であっても、岩体表面を流れるような水でなければ許容出来るものとされた。

2001年には、内部設定温度を凍結せず微生物の繁殖しない気温、すなわち5～15℃を設定数値とし、除湿は行なわず冷房された空気によりある程度の除湿を期待する空調方式が提案された。これは第1次の保存調査工事と同様の手法であったが、この手法に加え、洞窟前室を外影響を緩衝させる調整区域とし、そこには洞窟とは別の空調装置の設置と、洞窟と類似の温湿度環境を維持する空調方式が目指された。

あわせて施設の外壁を冷暖房効果の向上と日射の影響を減じる為に断熱性を高めることとした。また、内部への直接的な空調は通常の遺跡保存では行なわれていないことから、急激な内部環境の変化が見られる事態にのみ空調を稼働させることもとされた。

2001年には、地質関連の調査から壁面グリッド毎の危険度評価が報告され、水分率の低い岩体が剥落などの危険度が高いものと指摘された。岩体水分率の高低は、背後からの水の供給量に左右されるものと考えられたが、岩体表面からの水分の蒸発は避けねばならず、その判断基準として、洞窟内部湿度80%以下を危険数値とし、湿度制御の面からも外部の影響がない施設を目指した。

2002年には、照明条件が提示された。照射時間を出来るだけ短縮し、内部を必要最低限の照度とし、白色光の光源（白色LED光及び白色蛍光灯）を採用することとした。設置前には使用する光源のスペクトル測定やラボ試験を可能な限り行なう

ことが提案された（写真2）。

保存計画の基礎となった環境設定の検討項目を次に示す。



写真2 照明条件設定後の施設内部

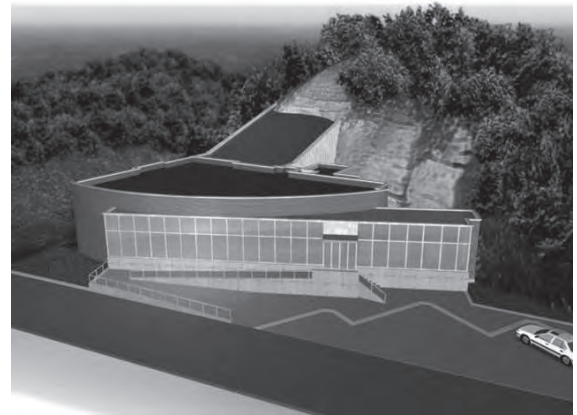


図3 新たな保存施設完成図

表3 基本計画にかかる環境設定の検討表 『国指定史跡フゴッペ洞窟保存調査事業報告書』2004

調査項目	調査経過と結果	設定値	新計画での位置付け
照明条件	・室内実験での条件制御の優先順位は照射時間、照度、波長の順となった。 ・現場実験では遮光、白色光、波長制御光のどの条件下も a * 値が上昇（緑色減少）	・照射時間を極力短いものとする ・照度は必要最低限（20ルクス） ・波長制御光の適用は最終的な手段とする	・照射時間を短くするために人感センサー採用 ・最低照度を20ルクスとする ・白色光（LED光と蛍光灯）による刻画照明
土壌水分量（外部）	・丸山外表面では冬から春にかけて高く、夏場は低い値を示した。 ・同部分では夏季の急激な降雨により水分率が上がることもある。 ・融雪期の侵入水の影響が顕著である。	・設定せず	・融雪など急激な水の侵入は防ぎ、モニタリングを継続する。
土壌水分量（内部）	・洞窟入口付近の水分率上昇は結露水によるものであった。 ・洞窟海側の施設接合部からは水の浸入が続いている。 ・壁面は含有する水分率が高いほどよい	・設定せず	・融雪など急激な水の侵入を防ぎ、モニタリングを継続する。
内部温度	・8月後半～9月前半 18～20℃（外気温25～30℃） ・1月後半～2月前半 最低温度約9℃（外気温約-10℃）	・内部 10℃（5～15℃） ・前室 17～18℃	・カプセルの結露対策を踏まえた内部外部の適切な温度設定。
内部湿度	・7～10月 97%（内温度は18～20℃） ・2月初旬 90%前後（最低温度観測の時期） ・97～99年度へ、年を追って低い値を示す。（2001/2/13の81%が最低値）	・密閉度向上により、湿度の急激な変化を防ぐ。 ・80%以下は危険数値	・90～97%の現在の湿度環境を維持し、モニタリングを継続する。除湿器は設置しない。
岩体変位量	・±0.4～0.8mm ・南壁の変位計が季節的な振幅が大きく、9月が最高値。 ・地震で変位を観測した不安定岩体あり。	—————	・不安定岩体の固定・除去を行わず、モニタリングを継続する。

カッパドキア岩窟教会外壁の劣化と保存対策

伊庭千恵美 IBA, Chiemi / 京都大学大学院 工学研究科建築学専攻

■プロジェクトメンバー

* 谷口陽子（筑波大学）、小泉圭吾（大阪大学）、渡辺晋生（三重大学）、佐野勝彦（㈱ディ・アンド・ディ）、朴春澤（ハイテック㈱）、伊庭千恵美・吉岡瑞穂（京都大学）

1：研究の背景と目的

カッパドキアは1985年、ユネスコの世界遺産（複合遺産）に「ギョレメ国立公園とカッパドキアの岩石遺跡群」として指定された¹⁾。この地域には、ビザンティン時代に彫られた、歴史的価値の高いレリーフと壁画を内部にもつ数多くの岩窟教会があるが、それらの支持体となる教会の構造体は、環境要因や地震による深刻な劣化と崩壊を生じている。

カッパドキアの独特の風景は軟らかく脆弱な凝灰岩によって構成される。この凝灰岩は、風雨による侵食と日射による熱応力を受け、表面の粉状化や剥離、その他の劣化を生じている。特に冬期間は、かなりの量の降雨と降雪があり、凍結融解やその他の深刻な表面劣化を生じさせる可能性がある。Ergular²⁾によると、表面の急速な風化は0.4～2.5mm/年という速さにもなると報告されている。

これまで、実際に適用可能な撥水剤が提案されてこなかったため、凝灰岩表面上の深刻なひび割れや侵食は、一般にライムセメントベースの被覆材で処理されてきた³⁾。被覆材と凝灰岩の境界に鋼製のメッシュを使った試みも行われたが、界面への水の浸透や日射による熱衝撃などによりしばしば界面での剥離が生じている⁴⁾。いったん過度な処置を行うと将来的に再処置をすることが不可能となり、継続的な保存活動を行うことが困難になるため、凝灰岩の侵食を遅らせる効果的な表面処理や被覆の方法が見つからないのが現状である。

本プロジェクトは、カッパドキアの貴重な遺構を保存するため、脆弱な凝灰岩の構造の寿命を延ばす適切な方法を提案することを目的としている。オリジナルの凝灰岩と化学的に親和性が高い材料を適用し、少なくとも10年周期で「再処置可能」な方法することによって、侵食速度を遅らせるこ

とが期待される。

本報では、レッドバレー内に単体で建っている岩窟教会であるウズムル教会（聖ニキタス聖堂）（図1）を対象としたケーススタディについて報告する。本教会では、環境や、岩質、地殻運動および生物活動や継続的なヴァンダリズムのような人間活動によって生じた、深刻なひび割れ、表面の崩壊や剥離という劣化現象が見られる。ウズムル教会の構造体はこれまで一度も保存処置をされたことがないため、本プロジェクトの目的に合致している。

岩石の風化メカニズムと岩窟教会構造の保存を考えるためには、岩石内の熱と水分の移動を知る必要がある。そのため、ウズムル教会の基礎部分の土壌と岩石内の温度と水分挙動、および教会内外の微気候が観測された。12か月にわたる測定結果に基づき、アルキルアルコキシシランベースの撥水強化剤（Permeate HS-360）が選択され、現地でその効果と経年による特性の変化を把握する試験施工が行われたので、その様子もあわせて紹介する。

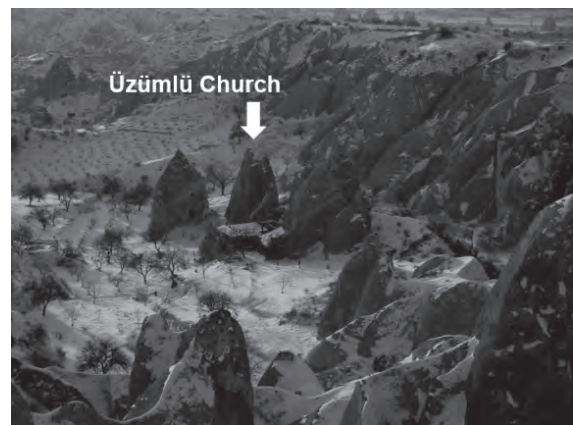


図1 レッドバレーに位置するウズムル教会

2：ウズムル教会付近の環境測定

2.1 測定概要

ウズムル教会周辺の外気温度、相対湿度、降水量、風向・風速と日射量を測定するため、気象ステーション（Onset HOBO U30-NRC）を設置した（図2）。また、教会内の温湿度を測定するため、入口付近（図3：入口側）と最奥の室3（図3：

室奥)の2か所のアルコーブに温湿度データロガー(HOBO U23)を設置した。土壌内の温度と水分の測定を行うため、教会の南側(日向)と北側(日陰)の2か所に15cm角の小さな穴を掘り、図3に示すように、地表から



図2 気象ステーション

深さ方向50、100、300mmの3か所に土壌含水率計(Decagon 5TE)と水ポテンシャル計(Decagon MPS2)を地盤に水平に挿入した。その後、穴は元の土壌で埋め戻した。各測定において、データの記録インターバルは10分とした。

2.2 外気・室内・地盤の温度

図4に、外気・室内・地盤(日向・300mm深さ)の温度と全天日射量(直達・天空日射を含む)を示す。外気温の日変動は約10℃と大きい。教会内温度の日変動は1~3℃であり、非常に小さくなっている。入口付近の室温は外気の流入・流出により外気温の影響を受け、かつ外壁が強い直達日射に曝されるため、北側にある室3よりも変化

が大きい。室3では岩窟の熱容量が大きいため、年間の温度変動も小さい。

福田による既往の研究⁵⁾では、岩石が飽水状態で温度が-4℃を下回ると、凍結による破壊が生じやすいとされている。凍結が生じやすい夜間、岩石表面温度は放射冷却のため外気温よりも低下する傾向にあるが、仮に外気温が-4℃を下回る状況を凍結破碎が生じやすい条件とすると、2014~2015の冬期間、ウズムル教会付近の外気温がその条件を満たした回数は予想を大きく下回り、わずかに4回であった。一方、地中温度は、最寒期の日陰であっても、地中50mmより深い部分で0℃を下回ることとはなく、地中300mm深さでは、日向の方が図4に示した日陰よりも平均して2~3℃温度が高くなった。このことから、地盤内での凍結はほとんど生じないといえる。

2.3 風向と風速

図5は、夏を除く各季節の方位ごとの風向頻度を示す風配図である。日中(6時から18時)と夜間(18時から6時まで)に分けて示している。特に秋と春では、日中と夜間で風向に大きな差がある。興味深いことに、気象ステーション設置以来(2014年9月~2015年5月)、南か北かのどちらかの卓越風向が記録されている。1日の中で風

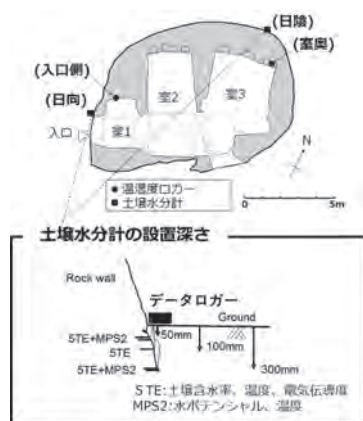


図3 センサー類の設置位置

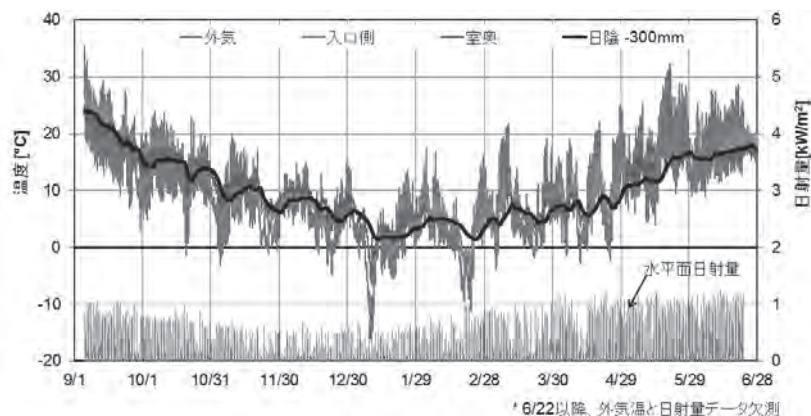


図4 外気・室内・地盤温度(2014年9月~2015年6月)

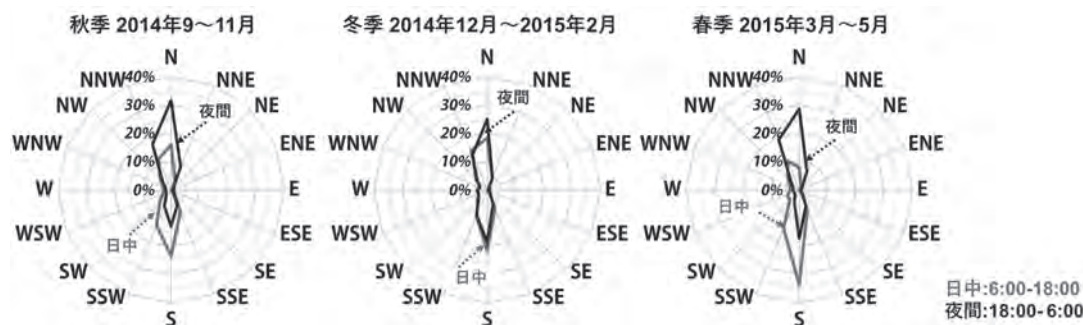


図5 ウズムル教会付近の風向・風速(2014年9月~2015年5月)

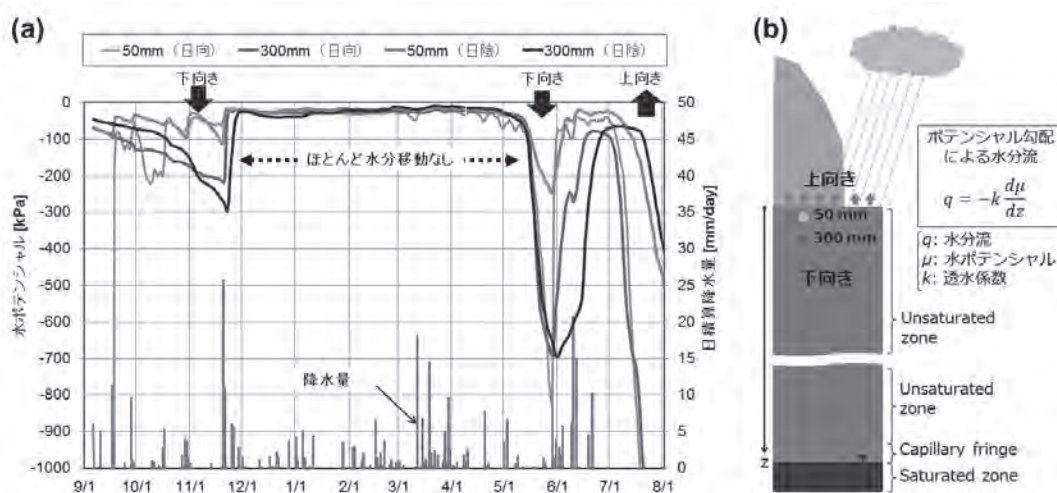


図6 地中の水ポテンシャル
(a) 2014年9月～2015年7月の経時変化 (b) ポテンシャル勾配による水分移動の模式図

向が変化する理由の一つとして、レッドバレーの地形の影響によるものと考えられる。日中はウズムル教会背後（北側）の斜面が日射により暖められ上昇気流が生じ、南側からの風を誘発する。夜間は放射冷却によりその逆の現象が起こる。この地域ではたいてい風速は穏やかで、時々日中に南から比較的強い風が吹く。秋から冬にかけてやや強い雨（2.0mm/10min.）が降る時にも風速は大抵1.5m/s以下である。したがって、風向・風速が降水による土壌や岩石の浸食および凍害に与える影響は無視できるといえる。

2.4 地盤の水分と温度

図6（a）は、日向と日陰における、地表面からの深さ50mmと300mmの土壌の水ポテンシャルと、気象ステーションで観測された10分間積算降水量を示したものである。土壌が乾燥していると、水ポテンシャルは負の大きな値を示す。土壌内の水分移動はポテンシャル勾配により生じる（図6（b））ため、地中の水分移動の方向は地表面からの深さ50mmと300mmでの水ポテンシャルの差から推測できる。

2014年11月の終わりまで、日向・日陰ともに水分移動は下向きであったと推定される。11月終わりに大量の降雨があった後、すべての測定点において、水ポテンシャルは急激に上昇した。冬期間（12～2月）、各深さにおける水ポテンシャルは、定期的な少雨により高い値で維持されており、深さ方向でのポテンシャル勾配はほとんど0であった。4月以降は、地表面からより深いところでポテンシャルが低下し始め、下向きの水分移動が生

じたと推定される。6月には激しい降雨のため50mm深さのポテンシャルが急激に上昇し、遅れて300mmでもゆっくりと上昇した。夏の間、地表面付近では蒸発が支配的となり、水分移動は上向きとなった。日向でも日陰でも同様の傾向がみられた。これらの結果から、この地域では日射強度に関係なく、教会を構成する岩石は継続的に多量の地下水を吸い上げることはなく、逆に、この地域では時々激しい降雨・降雪が見られ、これが脆弱な凝灰岩の浸食を引き起こしていると考えられる。したがって、撥水性を与える材料を塗布し、構造物への水分浸透を抑制することが、劣化対策として効果的であると考えた。

3：撥水剤の小岩体への試験施工

環境計測の結果に基づき、凝灰岩への撥水剤施工効果と耐久性を検証するため、現地での暴露試験を開始した。

3.1 撥水剤の特徴

本試験施工においては、これまでの凝灰岩の保護に適した薬剤の研究結果から、撥水剤としてPermeate HS-360（D&D Corp.）⁶⁾を選択した。Permeateはメチル基およびフェニル基を含むアルキルアルコキシシランを基剤としている。アルキルアルコキシ基が大気中の水分を取り込んで加水分解することによって重合していく。重合した後、3次元のSi-O-Si構造をとり、対象物内の隙間を強固に固めることで、体積強度を向上させる。さらに、重合後もメチル基またはフェニル基は残存する。これらの基は疎水性なので、養生後の物

質は撥水性をもつ。このアルキルアルコキシシランベースの撥水剤は多孔体の表面に膜を形成せず、数ミリ深さまで浸透して層を成して固まる。水蒸気は撥水層を透過できるが、液水は浸入できない。加水分解による硬化が終了するには24時間以上の時間が必要である。

3.2 試験体と試験方法

ウズムル教会の近くで2つの小岩体を選択し、試験に供した。図7の(a)は何も塗布しないものの、(b)はPermeate HS-360を全面に塗布したものである。

凝灰岩体の風化の度合いを定量化するために、図7(a)に示すように岩表面にステンレス釘を打ち込み、岩から出ている部分の長さを定期的に測定することとした。岩体の各方位に2か所ずつ(上部と下部)とさらに上面の計9か所に釘を打ち込んだ。岩の表面から出ている釘の長さについては、図8(b)のようにデジタルノギスで釘の左右を測定した。

岩体の表面は非常に粗いため、釘を打ち込んだ直後に4人が同じ測定を行い、測定誤差の確認を行った。平均値に対する相対誤差は概ね10%以内に収まった。

この測定は、現地の協力者によって数週間ごとに行われている。施工後8カ月が経過し、無塗布の試験体においては、岩体の足元に風化した凝灰岩の粉が堆積し、9本中6本の釘が抜け落ちてしまったが、撥水剤処理した岩体においては、風化堆積物は非常に少なく、釘の抜け落ちは見られない。ただし、処理された岩体では、ある厚さを伴った剥離が数か所見られた。局所的に水分が蓄積した部分で、冬期にこのような劣化が生じたものと考えられる。一方で、HS-360と凝灰岩粉末を練ってパテ状にして亀裂を充填した個所については、いずれも1年経過時に状態、色調ともに良好な結果を示している。さらに、現地協力者からの定期報告によると、撥水処理後1年を経過しても濡れ色が残りに、時間とともに濡れ色が強くなっていることがわかった。そこで、1年経過後に行われた現地調査においては、HS-360を改良したHS-390を、新たな小岩体に試験的に施工した。施工後24時間経過してもHS-390で処理した岩体では濡れ色はあまり見られなかった(図9)。日本国内での実験と比較しカッパドキアでの実地試験で濡れ色が強い理由については、現地の岩の温度や気温に

よって有効成分の蒸散速度が異なるなど現象との相関関係と施工方法の改善策を検討する必要がある。新たに追加した岩体にもステンレス釘を計10本打ち込み、新たに測定を開始した。

今後も継続的に測定観察を実施し、色の変化とともに凍害等の劣化抑制効果について検証を行う。

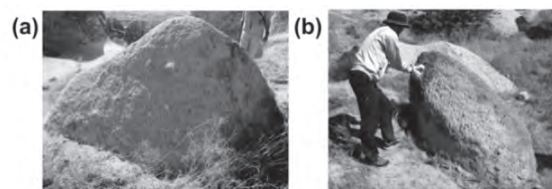


図7 屋外暴露試験体 (a) 無処理 (b) 撥水処理あり

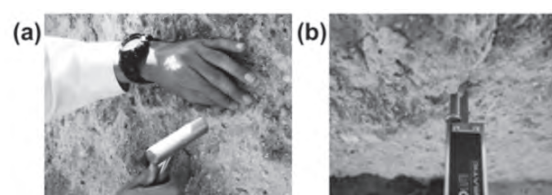


図8 風化の度合いの定量化
(a) ステンレス釘の打ち込み (b) 釘の出の長さ測定

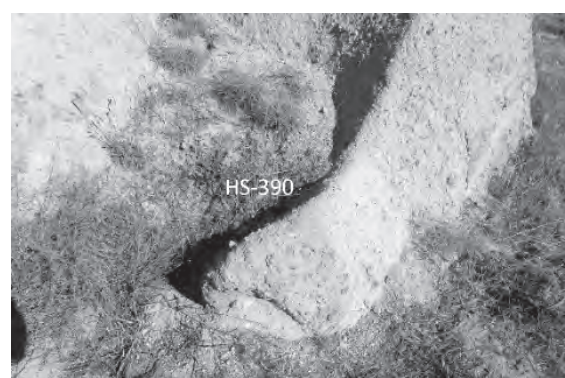


図9 施工後24時間経過したHS-390の様子

4：まとめと今後の課題

カッパドキアにおける非常に脆弱な凝灰岩の急速な風化の原因と要因を知るために、特に岩体と地中の熱と水分の移動に着目し、環境測定を行った。外気温から凍結融解サイクルはそれほど頻繁には生じないこと、冬期間は地下水の吸い上げによる構造体への水分供給はほとんどないことから、外部から構造体への降雨水と融雪水の浸透を抑制することが、本プロジェクトにおいて最も適切な対策であると結論付けた。

水分浸透抑制の手段として撥水剤の使用を考え、その効果と耐久性を検証するため、現地でも屋外暴露試験が開始された。今のところ、撥水剤は少なくとも劣化を遅らせる効果があるといえるが、

今後も引き続き風化の度合いを定量的に評価していく。

さらに、処置をすることによって、別の損傷を引き起こしたり、劣化を促進したりしないよう注意深く検証する必要がある。頻繁にではないとはいえ、この地域では凍害も生じうる。数値解析を用いて、詳細な熱水分移動を今後検討する予定である。

ウズムル教会におけるケースはこれまでとは技術的に異なったチャレンジであり、カッパドキア地域全体においても新しいアプローチの劣化抑制策を提供できる可能性がある。

謝辞

本研究の一部は、JSPS科研費（課題番号：24101014；研究代表者 谷口陽子）の助成を受けた。また、現地での調査にあたってはトルコ及び日本の数多くの研究者・実務者の協力をいただいた。特に、ネブシェヒル地域保存修復研究所長のHatice Temur氏、研究所のAyça Baştürkmen氏、Uğur Yalçınkaya氏、Mustafa Toptepe氏、ネブシェヒル博物館Murat Ertuğrul Gülyaz館長、ニード博物館Fazıl Açıkgöz館長、Ibrahim Sakınan氏とそのご家族には多大なるご協力を頂いた。ここに、記して謝意を表します。

引用・参考文献

- 1) UNESCO, 1985, Structural conservation of Göreme. Göreme, land of fairy chimneys. Ministry of Culture and Tourism, Turkey. General Directorate of Antiquities and Museums.
- 2) Erguler, Z.A., 2009, Field-based experimental determination of the weathering rates of the Cappadocian tuffs, Engineering Geology, 105, 186-199.
- 3) Idil, A. Ç., 1995, Testing three products in Göreme valley, Cappadocia, In The Safeguard of the Rock-Hewn Churches of the Göreme Valley (Proceedings of an International Seminar, Ürgüp, Cappadocia, Turkey, 5-10 September 1993), 143-149. Rome: ICCROM, 1995.
- 4) Yorulmaz, M., Ahunbay, Z. 1995, Structural Consolidation of El Nazar Church, In The Safeguard of the Rock-Hewn Churches of the Göreme Valley (Proceedings of an International Seminar, Ürgüp, Cappadocia, Turkey, 5-10 September 1993), 135-142. Rome: ICCROM, 1995.
- 5) 福田正巳, 1985, 小樽手宮洞窟壁面遺跡の凍結破損防止にかかわる基礎研究, 低温科学 物理編, 43,171-180.
- 6) Sano, K. and Mizukoshi, S., 2015, II-5 Preliminary aging tests(outdoor environment) of consolidants for tuff rock samples, in Scientific Studies on Conservation for Üzümlü Church and its Wall Paintings in Cappadocia, Turkey, Taniguchi, (ed.), Annual report on the activities in 2014, University of Tsukuba, 37-41.
- 7) Taniguchi, Y., Koizumi, K., Iba, C., Porter, J., Açıkgöz, F., Gülyaz, M. E., 2015, Scientific research for conservation of the rock hewn church of Uzumlu, Cappadocia, (Proceedings of International Symposium of Excavations, Surveys and Archaeometry, Erzurum, Turkey, 11-15 May 2015), 361-378.

寒冷地域における遺跡の水に関する諸問題と対策

石崎武志 ISHIZAKI, Takeshi／東北芸術工科大学 文化財保存修復研究センター

1. はじめに

北海道、東北地方などの積雪寒冷地域では、冬季に積雪があり、外気温が高くなると積雪が解け、遺跡の中に水が浸透する。このような条件では、遺跡内部の水分状態が変化し、遺跡の劣化に繋がると考えられる。今年度は、三内丸山遺跡、大湯環状列石、鷲ノ木遺跡、伊勢堂岱遺跡等で、遺跡周囲の気象観測を行い、合わせて地中の温度変化、積雪状況の変化などの観測を行った。以下に観測結果について報告する。

2：三内丸山遺跡の子供の墓周辺の環境

三内丸山遺跡の子供の墓では、周囲環境の温湿度を測定するために、子供の墓ドーム外に温湿度データロガーを設置すると共に、ドーム内には、南北に温湿度データロガーを設置し、30分ごとにデータを取得した。また、ドーム内には、遺構内の水の浸みだし状況を見るためにタイムラプスカメラを設置し、1日に1回撮影を行った。青森市気象台での平均気温、三内丸山遺跡子供墓ドーム外部の気温測定結果を図1に示す。三内丸山遺跡の方が、若干低くなっているが、変化傾向は、ほぼ対応している。

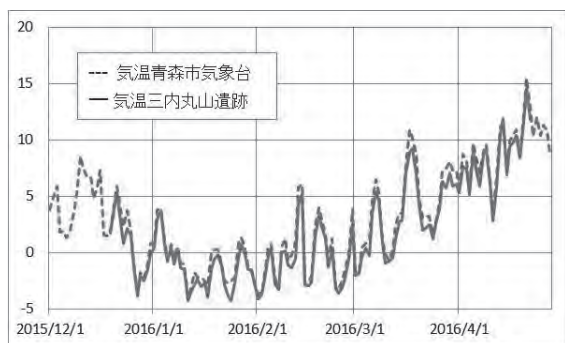


図1. 青森市気象台での日平均気温測定結果（点線、2015/12/1～2016/4/30）、子供の墓外部の日平均気温測定結果（実線、2015/12/19～2016/4/22）

青森気象台で観測された最深積雪量の測定結果を図2に示す。

また、図3に、青森市気象台での降水量、図4に青森市気象台での降雪量の測定結果を示す。

なお、図3での降水量は、降雪による水分量も含んでいる。また、一般に降雪1cmで、ほぼ降雨量1mmに相当している。そのため、降雨量から、

降雪による水分量を差し引きすれば、実際に、雨として降った量と考えられる。

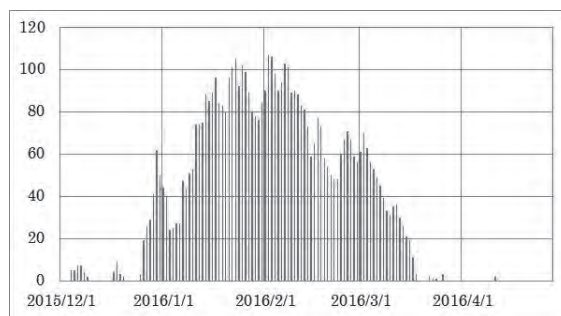


図2. 青森市気象台での最深積雪量測定結果 (2015/12/1～2016/4/30)

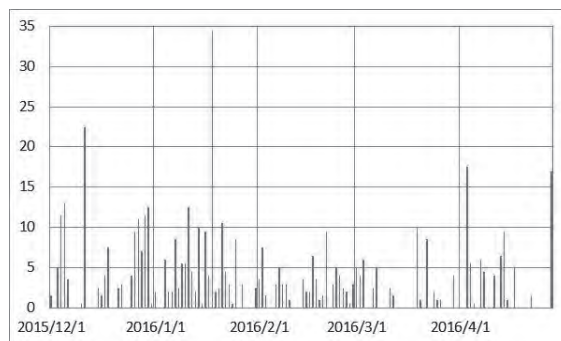


図3. 青森市気象台での降水量（単位mm） (2015/12/1～2016/4/30)

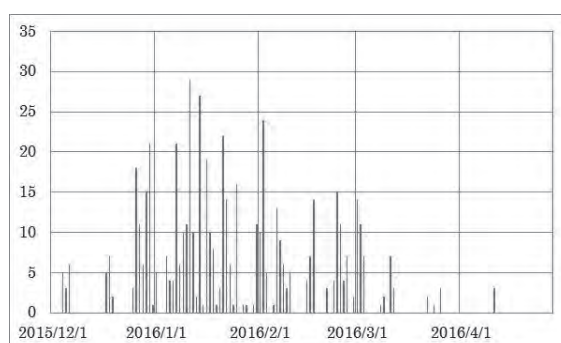


図4. 青森市気象台での降雪量（単位cm） (2015/12/1～2016/4/30)

下記の期間は、気温も高く、降雨があったと記録されているため、融雪水とともに、子供の墓ドーム周辺で、地面に水が浸透したものと考えられる。その水が、徐々に子供の墓内部に浸透し、子供の墓の遺構部分に出てきたものと考えられる。

2016/1/2 (3.8℃)、2016/1/3 (3.9℃) 降雨

2016/2/13 (5.8℃) 降雨、2016/2/14 (6.1℃) 降雨

2016/2/19 (4.0℃) 降雨、2016/2/20 (3.0℃) 降雨、
 2016/2/21 (1.5℃) 降雨
 2016/3/6 (4.6℃) 降雨、2016/3/7 (6.5℃) 降雨、
 2016/3/8 (5.3℃)
 2016/3/16(7.8℃)、2016/3/17(10.9℃)、2016/3/18
 (10.2℃) 降雨
 2016/3/19 (8.7℃) 降雨

3：タイムラプスカメラによる遺構の撮影

タイムラプスカメラでは、1日に1回、2月26日までは、午前9時33分、その後は、午前10時06分に撮影を行った。



写真1. 2016/1/2 (平均気温3.8℃、最高気温5.6℃、気象台データ) 降雨



写真2. 2016/1/3 (平均気温3.9℃、最高気温4.8℃、気象台データ) 降雨



写真3. 2016/2/13 (平均気温5.8℃、最高気温11.1℃) 降雨



写真4. 2016/2/14 (平均気温6.1℃、最高気温14.7℃) 降雨



写真5. 2016/2/15 (平均気温-2.7℃、最高気温1.3℃) 降雪



写真6. 2016/2/16 (平均気温-2.6℃、最高気温0.2℃) 降雪



写真7. 2016/2/17 (平均気温-2.1℃、最高気温0.6℃) 降雪



写真8. 2016/2/18 (平均気温2.4℃、最高気温7.2℃) 降雨



写真13. 2016/2/23 (平均気温1.2℃、最高気温6.0℃) 降雪



写真9. 2016/2/19 (平均気温4.0℃、最高気温8.3℃) 降雨



写真14. 2016/2/24 (平均気温-3.0℃、最高気温0.7℃) 降雪



写真10. 2016/2/20 (平均気温3.0℃、最高気温5.5℃) 降雨



写真15. 2016/3/6 (平均気温4.6℃、最高気温10.5℃) 降雨



写真11. 2016/2/21 (平均気温1.5℃、最高気温5.6℃) 降雨

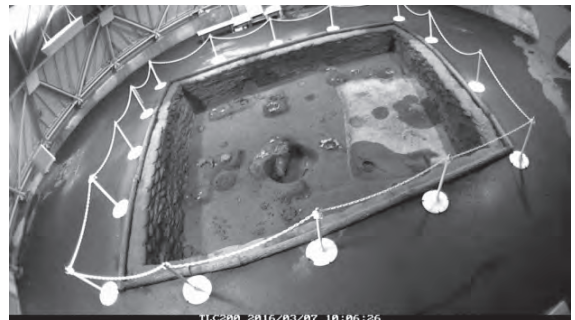


写真16. 2016/3/7 (平均気温6.5℃、最高気温10.3℃) 降雨



写真12. 2016/2/22 (平均気温-0.7℃、最高気温1.5℃) 降雪



写真17. 2016/3/8 (平均気温5.3℃、最高気温12.5℃) 降雨

4：子供の墓遺構内の水の浸透と気温の関係

子供の墓ドーム内で、2015/12/19～2016/4/22の期間、温湿度測定を行うと共に、1日に1回（2/26まで9：33、その後10：06）子供の墓遺構の写真をタイムラプスカメラにより撮影した。写真により、子供の墓中央部の窪みに水が出てきた日は、下記の通りであった。

Case1 2016/2/15～2016/2/17

Case2 2016/2/20～2016/2/22

Case3 2016/3/7～2016/3/10

Case4 2016/3/17～2016/3/20

それぞれの期間の前後の子供の墓ドーム外部の日最高気温、平均気温、最低気温および青森市気象台による降水状況結果は、下記の通りである。

Case1 2016/2/15～2016/2/17

	最高温度	平均温度	最低温度	昼	夜
2016/02/12	6.6	-0.5	-8.9	薄曇一時晴	曇後一時雨
2016/02/13	8.9	4.3	0.1	曇時々雨	雨時々曇、霧を伴う
2016/02/14	13.1	5.2	0.7	雨時々曇一時霧、大風を伴う	雪時々雨後一時曇
2016/02/15	0.6	-2.8	-5.6	雪一時曇	雪時々曇
2016/02/16	-0.2	-3.0	-6.4	雪一時曇	雪一時曇
2016/02/17	0.9	-2.6	-4.1	雪一時曇	雪時々曇、あられ
2016/02/18	8.5	1.4	-4.3	晴時々雨一時曇、みぞれ	雨時々曇

この結果から、13日、14日の気温が高かったため、融雪水、雨が浸透し、子供の墓の遺構に水が浸透してきたものと考えられる。融雪してから子供の墓遺構に水が出てくるまで2日ほど遅れがある。

Case2 2016/2/20～2016/2/22

	最高温度	平均温度	最低温度	昼	夜
2016/02/17	0.9	-2.6	-4.1	雪一時曇	雪時々曇、あられ
2016/02/18	8.5	1.4	-4.3	晴時々雨一時曇、みぞれを伴う	雨時々曇
2016/02/19	7.8	3.3	-0.8	曇時々雨一時晴	曇時々晴
2016/02/20	4.9	2.4	-2.2	曇時々雨	雨時々みぞれ
2016/02/21	4.3	1.2	-1.5	雪時々雨一時みぞれ、あられ	雪時々曇
2016/02/22	1.1	-1.3	-6.8	曇一時雪	曇一時晴
2016/02/23	5.3	0.3	-7.2	曇時々雪一時雨	雪一時みぞれ
2016/02/24	0.2	-3.2	-5.6	雪	雪
2016/02/25	1.2	-3.6	-6.7	雪時々曇一時晴	雪
2016/02/26	1.4	-3.1	-7.5	雪時々曇一時晴	曇時々晴一時雪

この結果から、18日、19日、20日の気温が高かったため、融雪水、雨が浸透し、子供の墓の遺構に水が浸透してきたものと考えられる。融雪してから子供の墓遺構に水が出てくるまで2日ほど遅れがある。

Case3 2016/3/7～2016/3/10

	最高温度	平均温度	最低温度	昼	夜
2016/03/05	6.5	-0.2	-8.3	晴	晴後曇一時雨
2016/03/06	9.1	3.5	-3.1	曇時々雨	雨後一時曇
2016/03/07	9.7	5.4	0.0	曇時々晴	曇一時晴
2016/03/08	11.5	4.6	-0.3	曇時々晴一時雨	曇一時雪
2016/03/09	4.3	0.8	-1.8	雪時々曇	曇時々晴一時雪
2016/03/10	3.6	-1.0	-6.1	曇一時雪	雪時々曇一時晴
2016/03/11	3.1	-0.7	-5.0	雪時々晴一時曇	雪時々曇

この結果から、6日、7日、8日の気温が高かったため、融雪水、雨が浸透し、子供の墓の遺構に水が浸透してきたものと考えられる。融雪してから子供の墓遺構に水が出てくるまで1日ほど遅れがある。

Case4 2016/3/17～ 2016/3/20

	最高温度	平均温度	最低温度	昼	夜
2016/03/12	4.8	-0.4	-5.4	曇時々晴一時雪	晴一時曇
2016/03/13	8.0	1.2	-7.9	曇後一時雨	曇後晴
2016/03/14	11.4	2.8	-4.2	晴後曇一時雨	曇時々晴
2016/03/15	6.5	2.9	-1.6	晴時々曇	曇時々晴
2016/03/16	11.0	7.0	2.9	晴一時薄曇	晴
2016/03/17	15.6	8.9	2.1	快晴	晴後薄曇
2016/03/18	17.7	9.2	0.9	曇	曇後雨
2016/03/19	9.9	7.0	4.0	雨後一時曇	曇後一時雨
2016/03/20	7.9	4.3	-1.2	雨時々曇一時晴、あられ	晴時々曇
2016/03/21	7.3	2.0	-4.4	晴一時雪	曇時々晴

この結果から、13日～18日の気温が高かったため、融雪水、雨が浸透し、子供の墓の遺構に水が浸透してきたものと考えられる。ただし、この期間は、積雪量が少ないため、融雪水の量が少なく、子供の墓に水が浸透するまで時間がかかったものと考えられる。融雪してから子供の墓遺構に水が出てくるまで4日ほど遅れがある。

5. 子供の墓遺構内の水の浸透に関するまとめ

子供の墓内部の水の浸透と気温の関係を調べたところ、気温の高い日の1日、2日後に、子供の墓内部に水の浸透が見られ、窪み部分に水がわき出てくる様子が見られた。これは、冬季に、気温の高い日に融雪や降雨により水が地面に浸透し、ドーム周辺からこの浸透水が流入し、子供の墓の遺構部分に出てくるものと考えられる。今後は、ドーム周辺の土の水分特性や透水係数などを測定し、水の流れを定量的に把握し、保存対策手法の構築に結びつけていきたいと考えている。

たので、これらのデータがほぼ対応していることが分かった。



図5. 大湯環状列石での観測機器の設置状況

6. 秋田県、鹿角市、大湯環状列石での調査

秋田県鹿角市大湯環状列石の野中堂環状列石および万座環状列石の周囲環境条件を調べるために、2015年11月4日に、温湿度測定装置および地中温度の測定装置、また、周囲の積雪状態を記録するために、タイムラプスカメラを設置した。計測は、2016年4月4日まで行った。野中堂環状列石周辺の地中温度は、地表面の他、10.5cm、21cm、46cmの深さで測定した。野中堂環状列石の観測機器の設置状況を図5に、タイムラプスカメラで撮影した2016年1月24日11時の積雪下の野中堂環状列石の様子を図6に示す。積雪の無いときの画像と、積雪のあるときの画像を比較することにより、積雪深を計算したところ、36cmとなった。一方、現地から7km離れた場所に、気象庁の鹿角市アメダス気象観測点があり、その積雪深は、34cmであっ



図6. タイムラプスカメラで測定した日時計状組石周辺の積雪状況 (2016年1月24日)

7. 積雪深、気温、地中内温度測定結果

大湯環状列石周辺での気温の測定結果を、図7に示す。1月中旬に-7℃程度まで気温が低下しているのが分かる。この観測結果も、7km離れた

場所の鹿角市アメダス気象観測点の結果とはほぼ一致した。アメダス気象観測地点で観測された積雪深を図4に示す。12月末から3月中旬まで、積雪があり、最大45cmであった。図8には、10.5cm、21cm、46cmの深さの地温を示す。また、図9には、地表面での温度変化を示した。積雪の無い状態では、地表面温度が激しく変化しているが、積雪の有る状態では、ほとんど変化せずほぼ0℃になっていることが分かる。

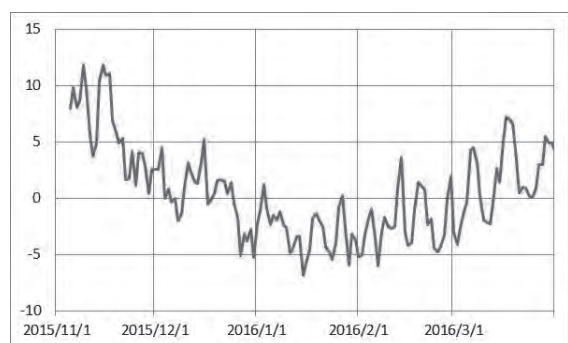


図7. 大湯環状列石周辺の気温の変化

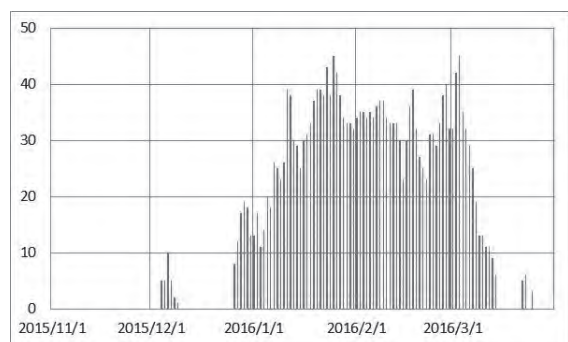


図8. 鹿角市アメダス地点の積雪量の変化

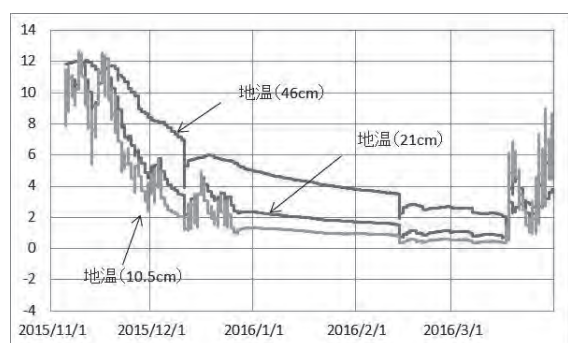


図9. 大湯環状列石周辺の地中温度の変化

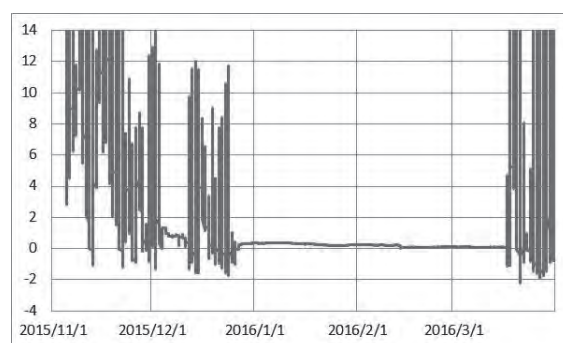


図10. 大湯環状列石周辺の地表面温度の変化

8. 地中温度分布に関するシミュレーション解析

観測結果から、積雪があるときは、地表面温度がほぼ0℃になり、地盤が凍結しないことが分かった。ここでは、積雪が無いと仮定したときに、地盤内の温度を、気象観測地点のデータを用いてシミュレーション解析を行った¹⁾。気温、風速に関しては、鹿角市のアメダスデータ、日射量、雲量、気圧のデータは、秋田県気象台のものを使用した。解析方法は、気象条件から平衡地表面温度を計算し、地盤凍結を計算していくものである²⁾。結果を、図11に示す。

積雪が無い状態では、12月末から地盤が凍結することが分かる。これらの結果から積雪は、断熱材として働き、積雪下にある組石の凍結を防いでいるのが分かる。

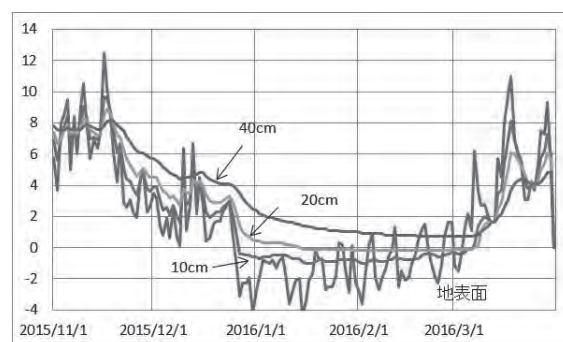


図11. 積雪が無い状態での地温変化

9. 全体のまとめ

東北芸術工科大学の文化財保存修復研究センターでは、現在「寒冷地域における文化財の保存修復に関する研究」というテーマで、プロジェクト研究を行っている。北海道では、モヨロ貝塚、北海道開拓の村の歴史的建造物、鷲ノ木遺跡などを調査対象としている。また東北地方では、三内丸山遺跡、大湯環状列石、伊勢堂岱遺跡、史跡志

波城復元築地堀、元木の石鳥居などを調査対象としている。

これらの遺跡を取り巻く環境について調査を行い、また遺跡内部の温度変化、水分状況の変化などを、調査可能な場所では、温度データロガーやタイムラプスカメラを用いて測定を行った。ここでは、三内丸山遺跡の子供の墓での調査事例および大湯環状列石の野中堂日時計状組石周辺の環境の調査事例を示した。ここでの調査において、特にタイムラプスカメラは、三内丸山遺跡の子供の墓の遺構においては、遺構内に水が浸透してくる状態を的確に捉えることができ遺構内の水分移動に関して解析する上で大変重要な結果が得られた。また、大湯環状列石の日時計状組石の所では、積雪の状況を捉えることができ、日時計状組石およびその下の地盤の温度状況に与える積雪の影響を的確に捉えることができた。

今後は、三内丸山遺跡の埋め戻し土の水分特性曲線や不飽和透水係数などの物性値を測定し、融雪水がどの様に遺構に浸透していくかに関して定量的な評価を行う予定である。また、降雪の有る状態での地盤内の温度変化に関しては、森町の鷲ノ木遺跡、北秋田市の伊勢堂岱遺跡等のデータを整理すると共に、降雪の有る状態での地盤凍結に関するシミュレーション解析も行っていく予定である。

謝辞

調査にあたっては、三内丸山遺跡の濱松優介氏、折登亮子氏、鹿角市教育委員会藤井安正氏をはじめ皆様に協力頂きました。心より感謝申し上げます。

引用・参考文献

- 1) 気象庁：過去の気象データ検索(<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>) (2016)
- 2) 福田正己、石崎武志（1980）平衡地表面温度による土壌凍結深推定モデル、雪氷、42、71-80.

東北芸術工科大学文化財保存修復研究センター
●公開講演会『遺跡における微生物の問題と対策』

主 催：東北芸術工科大学文化財保存修復研究センター

共 催：北海道・東北保存科学研究会

開催日：平成29年1月14日（土曜日）13：30～17：00 参加無料

会 場：東北芸術工科大学本館301講義室（山形市上桜田三丁目4番5号）

実施要項

13：30－13：40 開会挨拶（澤田正昭、東北芸術工科大学）

13：40－14：30 特別講演；カンボジアのアンコールワット遺跡における生物被害と対策
（片山葉子、東京農工大学）

14：30－15：00 講演1；高松塚古墳壁画、キトラ古墳壁画のカビ等微生物の問題
（石崎武志、東北芸術工科大学）

15：00－15：10 休憩

15：10－15：40 講演2；装飾古墳における生物劣化と対策－石室石材の表面状態の保存－
（佐藤嘉則、東京文化財研究所）

15：40－16：10 講演3；遺跡等文化財施設での環境管理の実際
（川越和四、環境文化創造研究所）

16：10－17：00 総合討論

17：00 閉会挨拶

カンボジアのアンコール遺跡における生物被害と対策

片山葉子 KATAYAMA, Yoko／東京農工大学大学院農学研究院 物質循環環境科学部門

1：アンコール遺跡

石材は丈夫な素材というイメージが強いが、長期にわたる環境ストレス、例えば太陽光線、寒暖の差、降雨、風、空気中に含まれる大気汚染物質など、物理化学的作用によって少しずつではあるが風化され、徐々にその強度が低下する。石材表面に着生生物が繁茂することも、着色などの景観上の問題にとどまらず、石材の強度に対しても無視できない程のダメージを与えることがある。このような着生生物による石造文化財の劣化は、ヨーロッパの古城や教会などの建造物についてこれまで主に調査が行なわれてきており、熱帯に位置する東南アジアの石造文化財についてはその情報は限られている。

インドシナ半島に8世紀から14世紀にかけて栄えたクメール王朝は、首都アンコールを中心とする陸路および水路を巡らせた壮大な古代都市を造成し、その遺構は現在のカンボジア各地に広く点在している。アンコール・ワットに代表されるアンコール遺跡は、そのクメール王朝の美術を伝える貴重な文化遺産であるとして、各国が支援の手を差し伸べ保存・修復の作業が行なわれている。筆者らは、1994年にスタートした日本国政府アンコール遺跡救済チームに1998年より参加し、微生物生態学の視点からアンコール遺跡の微生物劣化について調べる機会を得たので、その調査結果を交えながら、寒冷地とは異なる地域にある石造文化財の生物劣化について紹介する。

2：石造文化財の生物被害

アンコール遺跡の中で最も有名なアンコール・ワットとバイヨン寺院は、共に長大な回廊に囲まれ、その壁面にはクメールの神話、歴史、当時の人びとの生活を伝える精緻な浅浮彫りが彫刻されている（図1）。これらの遺跡で見られる生物による被害としては、大型植物の根が石材の間に入り込むことや、蟻が土砂を運搬することによって引き起こされる石組みの移動などがある。微生物による被害のメカニズムはより複雑であり、微生物が代謝の過程で生成する無機酸や有機酸による石材成分の溶脱や、それに伴い形成される結晶に

よる破壊などがある。また、真菌類の菌糸体そのものが石材内部に侵入することで劣化を促進することも知られている。

バクテリアの仲間であるシアノバクテリアや、微細藻類、地衣類などの石材表面に付着して光合成を行う生物は、それによって生産された有機物の一部を周囲に分泌するため、それを利用する従属栄養微生物の生育を促す。その結果、更に複雑な微生物群集の形成を促進し生物劣化に繋がると考えられる。したがって、どのような環境要因が微生物の生育を可能としているのかを特定することは極めて重要である。



図1：回廊壁面の浅浮彫り バイヨン寺院外回廊

3：剥離劣化

アンコール・ワットは寺院全体の管理が行き届き、壁面の浅浮彫りに関しては保存状態も比較的良好である。一方、回廊の柱が床面に接する部分や塔の外壁などには大きく侵食されたような状態の場所がしばしば見られる（図2）。これは雨水に溶解した塩類が毛細管現象によって砂岩表面に浸透し、石材に含まれるカルシウムなどと反応し結晶化する際に引き起こされる塩類風化と考えられており¹⁾、似たような現象はヨーロッパの砂岩建造物でも確認されている²⁾。この塩類の起源は石材由来や石材表面の付着生物由来のものなど、いくつかの可能性が考えられ、その特定は容易では無いが、硫黄画分については安定同位体比の値の比較から、遺跡内に生息するコウモリ由来であることが明らかとなっている³⁾。近年は遺跡内の清掃が行き届くようになったためコウモリの排泄



図2：アンコール・ワット回廊の柱の剥離劣化

物を見かけることは少なくなったが、10数年前までは至るところに厚く堆積していたと云われている。このような場所ではその堆積物の表面と内部では酸素の供給が大きく異なるために、表面は好氣的、内部は嫌氣的となり、嫌氣的環境では硫酸イオンを利用する硫酸還元が進行しやすく、その結果硫化水素が生成されやすい。それが好氣的な表層部分に移動すると好氣的な硫黄酸化微生物によって酸化され、その過程で生産される硫酸イオンが剥離に寄与していた可能性がある。

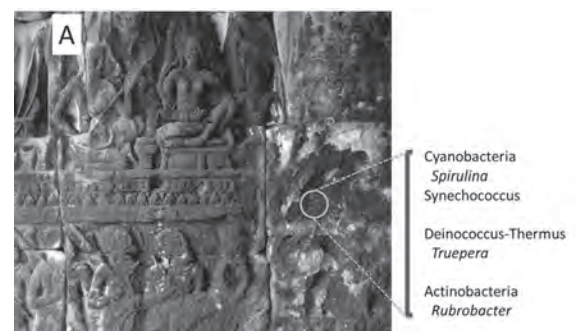
4：着生生物の影響

バイヨン寺院はアンコール・ワットよりも後年に建造されたにも拘らず、その保存状態はアンコール・ワットよりも著しく劣り、回廊の屋根は多くの箇所で崩落するとともに、建物の歪みによってと思われる石材の亀裂や石材間の隙間が見られる。そのため雨水が、浮彫りのある回廊壁面の背部から滲出したり、その上部あるいは塔の上部などから流下し、特に雨季にはそれが顕著である。このように水分が恒常的に供給される環境は微生物の生育にとって最も基本的なものであり、しかも高い湿度・高い気温という熱帯の気候と相まって、周囲の砂岩表面に暗紫色、暗緑色、緑色、黒色、赤色など、多彩な色調を呈する着生生物（バイオフィーム）の形成を可能にする（図3）。



写真3：浅浮彫り表面に発生したバイオフィーム

このようなバイオフィームの特徴を理解するには、それぞれの色調のバイオフィームにどのような種類の微生物が生息するかを理解することが必要である。貴重な浮彫りにダメージを与えることなくバイオフィームを採取するために、我々は予め滅菌処理を施した粘着性テープを用い寺院の壁面表面のバイオフィームを採取した。そのバイオフィームから全DNAを抽出後、PCR法によって16S rRNA遺伝子の特定領域を増幅し、更に変性剤濃度勾配ゲル電気泳動（DGGE）法によってバイオフィーム中の微生物叢を比較した。その結果、赤色からオレンジ色を呈するバイオフィームからは、カロチノイド色素を含有し放射線・紫外線、更に乾燥に対して高い耐性をもつ事が知られる*Rubrobacter*属や*Roseomonas*属に比較的近縁な細菌が検出された。これらのグループの細菌は赤色～オレンジ色の色素を合成しコロニーも同様の色調を呈することが知られており、石材表面で見られる赤色バイオフィームの形成とそこに生息する微生物間に相関が見られることが明らかとなった。暗紫色系のバイオフィームでは、シアノバクテリアのOscillatoriales科、Chloroflexi門に近縁の細菌などが検出されている。表層が黒色を呈するバイオフィームでは、*Truepera*属、*Rubrobacter*属などの細菌が検出されている。同じ場所のバイオフィームを、粘着シートを順次新しいものに交換しながら、位置を変えずに採取することで、表層から石材表面に向かって立体構造に合わせたサンプリングを行なうこともできる。その結果、表層では主要なバンドとして確認された*Rubrobacter*属に近縁の細菌が、砂岩表面に最も近づくにつれて大きく減少していることが確認された。一方、*Truepera*属近縁の細菌はバイオフィームの表面から内部に向かってその分布にほとんど変化が見られないという、バクテリアの鉛直分布についても明確に示すことが可能となった（図4）。



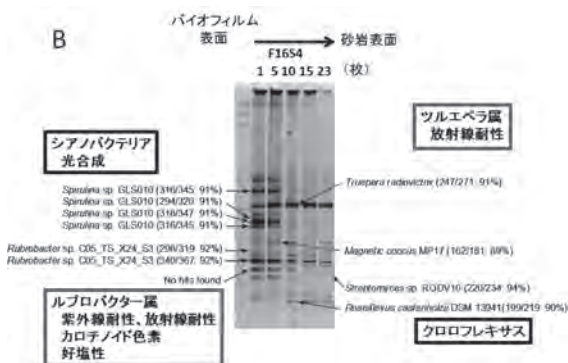


図4：PCR-DGGE法によるバイオフィルム中の細菌叢の解析
A、暗緑色バイオフィルム；B、バイオフィルム表面から砂岩表面に至る細菌の分布

断面にしたバイオフィルムでの微生物の分布を見てみると、緑色植物と同様の光合成を行なうシアノバクテリアは光を受けやすい表面に繁茂することで効率よく有機物を生産し、同時にそれをより内層に生息する従属栄養性の微生物へ供給する。また、バイオフィルムの表面付近の赤色の細菌は、熱帯地域特有の強力な日差しの影響をこの色素によって軽減している可能性がある。さらに、これらの細菌の間には紫外線や放射線によって誘発されるDNAの損傷に対して、強力な修復機能を発揮させることによりその影響から回避することが知られている。このことから、紫外線などに対する耐性を持ち合わせない微生物に対して生育の場を提供しているという、熱帯地域特有の微生物の生態が明らかになった（図5）。

砂岩表面に形成されたバイオフィルムの微生物叢を調べることは、生物劣化とそれに関わる微生物について情報をもたらすと共に、バイオフィル

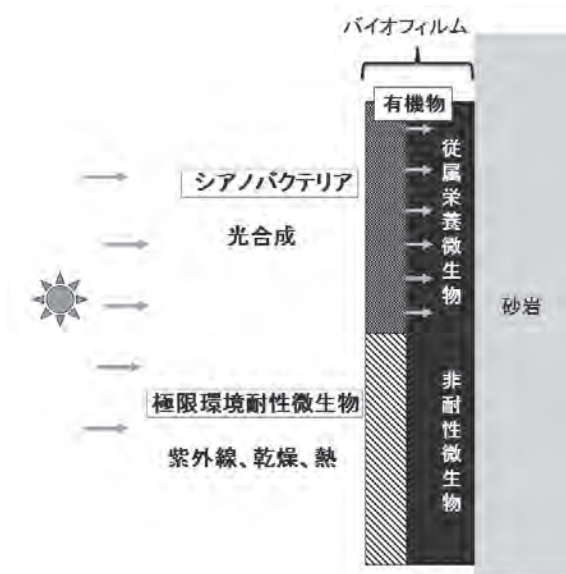


図5：熱帯地域のバイオフィルムを構成する微生物の分布

ム形成の抑制に繋がる性状について得ることも可能性な、大事な作業であると云える。また、これらの近縁種検索では比較的近縁とされた分類群であっても、その相同値は多くの場合は90%台前半の低いものでしかないため、熱帯地域の石材表面の微生物はこれまでに明らかにされることのなかった未知の微生物群の宝庫でもあるといえるであろう⁴⁾。

5：コウモリの影響

バイヨン寺院のいくつかの塔はコウモリの休息場所となっており、その内部には彼らの排せつ物が堆積している。排せつ物に含まれるアンモニアは、土壌環境であれば微生物による硝化作用を受けて硝酸イオンが生成されることから、コウモリが多く生息する場所では硝酸塩の存在も予想される。このような場所の濃度を測定すると予想以上の硝酸塩が検出され、さらに塔周辺の回廊壁面にも滲みだしている場所が確認された。その濃度は浮彫り表面に形成されたバイオフィルムの乾燥重量1グラム当りに換算して10～15mgにも相当し、砂岩のカルシウムなどと反応し結晶を生成すれば、それによって剥離が発生する可能性もある。

硝化作用を行う微生物には好気性の化学合成無機栄養性細菌が知られているが、系統的に異なるグループであるアーキアの中にこの活性を持つ菌が数多く見出され、近年注目を集めている。アンモニアから亜硝酸イオン生成の反応を触媒するアンモニアモノオキシゲナーゼ（AMO）の遺伝情報を使い、アンモニア酸化アーキア（AOA）とアンモニア酸化細菌（AOB）の分布をアンコール遺跡について調べたところ、多くの場所でAOAが検出され、特にバイヨン寺院の床の堆積物から採取した試料にはAOBをはるかに凌ぐAOAが生息していることが明らかとなり、窒素循環へのAOAの寄与が明らかとなってきた（図6）⁵⁾。

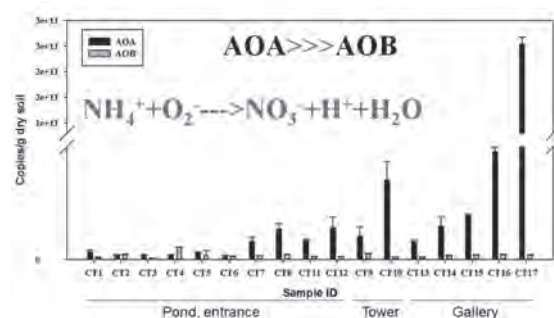


図6：バイヨン寺院のアンモニア酸化に関与する細菌（AOB）とアーキア（AOA）の分布

6：今後に向けて

アンコール遺跡のバイヨン寺院の多くの浅浮彫り表面には様々な色調のバイオフィームが見られ、石材に影響を与える代謝産物の影響を考慮してバイオフィームをクリーニングする試みも行われている。一方、寺院の塔内部がコウモリの休息を許すような構造になっている限りは、その周囲には微生物が生産したであろう硝酸塩の蓄積が予想される。建物の石組みが緩むことなどによって隙間ができたりすれば、熱帯地域特有のスコールに伴う雨水の浸入が続き、その結果、砂岩表面に保持される水分は微生物の生育にとって最も重要な生育環境を与えることになる。石材表面の分厚いバイオフィームは、回廊壁面の背部からしみ出してきた硝酸塩を保持する場にもなり、さらなる剥離発生に拍車を与えかねない。このように、周辺環境に微生物の生育を育む、あるいはそれに連なる要因が残されている限り、バイオフィームの発生は継続するであろう。野外に置かれた石造建造物の微生物被害を防ぐには、その微生物の性質を把握すると共に、遺跡を取り巻く環境全体を注意深く調べることによって微生物を取り巻く生息環境がどのようなになっているかを理解することが重要であり、その意味でも問題解決に向けた異なる分野の専門家による協働的作業の構築が極めて重要である。

謝辞

本研究は日本国政府アンコール遺跡救済チーム及び科学研究費補助金の支援のもとに行なわれ、カンボジア王国環境省及びAPSARA機構の許可のもと試料採取並びに国外への持ち出しを、また農林水産省横浜植物防疫所の許可のもと研究を実施している。

引用・参考文献

- 1) 内田悦生、下田一太. 石が語るアンコール遺跡 - 岩石学からみた世界遺産 -. 早稲田大学学術叢書12 早稲田大学出版部、東京、2011
- 2) Hirsch, P., Eckhardt, F. E. W., and Palmer, R. J. Jr.: Methods for the study of rock-inhabiting microorganisms - a mini review. *J. Microbiol. Meth.*, 23, 143-167 (1995)
- 3) Hosono, T., Uchida, E., Suda, C., Ueno, A., and Nakagawa, T.: Salt weathering of sandstone at the Angkor monuments, Cambodia: identification of the origins of salts using sulfur and strontium isotopes. *J. Archaeol. Sci.*, 33, 1541-1551 (2006)
- 4) Kusumi, A., Li, X.S., Osuga, Y., Kawashima, A., Gu, J.D., Nasu, M., Katayama, Y.: Bacterial communities in pigmented biofilms formed on the sandstone bas-relief walls of the Bayon temple, Angkor Thom, Cambodia. *Microb. Environ.* 28, 422-431 (2013)
- 5) Meng, H., Luo, L., Chan, H. W., Katayama, Y., Gu, J. D.: Higher diversity and abundance of ammonia-oxidizing archaea than bacteria detected at the Bayon Temple of Angkor Thom in Cambodia. *Int. Biodeter. Biodeg.* 115, 234-243 (2016)

高松塚古墳壁画、キトラ古墳壁画のカビ等微生物の問題

石崎武志 ISHIZAKI, Takeshi／東北芸術工科大学 文化財保存修復研究センター

1：はじめに

奈良県にある高松塚とキトラ古墳はいずれも7～8世紀の飛鳥時代に建設された。両方の古墳は、石室の壁上の漆喰に直接描かれた美しい壁画で有名である。高松塚古墳壁画は1972年3月、奈良県明日香村で発見された。古墳は1973年4月に特別史跡に指定され、1974年4月には壁画が国宝に指定された。2001年に壁の漆喰に菌類が広く発見された。文化庁は、2003年に高松塚古墳壁画の緊急保存対策検討会を組織し、2004年に恒久保存対策検討会を設置し、古墳の生物学的問題に対する保護対策を検討した。委員会は様々な防護措置を検討したが、最終的には2005年に現地で壁画を保存することは困難であり、壁画の修復のため石材を取り出すことを決めた。この決定に続いて、石室が解体され、壁画が2007年に修理施設に移された。

フランスと日本の情報交換を通じて、高松塚古墳とラスコー洞窟壁画の状況が共通認識された。どちらの場合も、長い間、壁画は湿度の高い環境にあった。

高松塚古墳壁画とラスコー洞窟壁画の重要な違いは、その大きさである。高松塚の石室は非常に小さく、幅が約1.0m、奥行きが2.6m、高さが1.1mであり、作業が難しい場所である。その他の違いは、高松塚壁画の顔料や支持層はラスコーのものと異なることである。高松塚古墳の石室は、角礫凝灰岩の長方形の石でできている。非常に薄い漆喰層を内面に塗布し、その上に様々な顔料を用いて絵を直接描いている。

キトラ古墳の壁画は、1983年11月に奈良県明日香村で発見された。古墳は2000年に特殊史跡に指定された。文化庁は2001年にキトラ古墳の保存・活用等に関する調査研究委員会を組織した。漆喰壁がすぐにでも落下するように見えたため、2004年に委員会は壁画を取り出し修復することを決定した。この作業の間に、石室においてゲルおよび真菌の劇的な増加が見られた。微生物学的な活動のために壁の漆喰に小さな穴が現れたことも分かった。

2：高松塚古墳

高松塚古墳（図1）は、小さな丘の南側斜面にある。これは土層を層状に突き固め（版築）で2層のドーム型の古墳を形成することによって作られた。下部ドームの直径は23m、上部ドームの直径は17.7mである。



図1. 高松塚古墳の発掘前の外観

高松塚古墳壁画（図2）は1972年に発見された。その時、この美しい壁画の保存政策の検討がなされた。史跡保存の専門家がフランスとイタリアから招待された。



図2. 高松塚古墳壁画（飛鳥美人）

フレスコ画に使われているストラッポ法のような方法で壁画をはぎ取ることも提案されたが、漆喰が脆弱なため、漆喰を石材から切り離すことは非常に難しいと考えられた。このような状況下では、壁画を現地で保管し、石室を完全に閉鎖しなければならないと結論づけられた。人が石室内の状況を定期的に点検するために、石室内へ入る

ようにし、石室内の環境を乾燥から保護するための保存施設が建設された。

図3には、1976年に建設された保存施設の模式図を示す（文化庁、1987）。

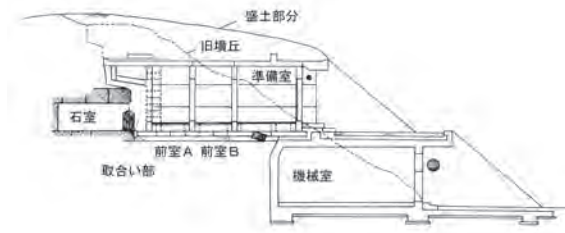


図3. 保存施設の模式図

図4は、石室の内部を示す。高松塚古墳の石室は、凝灰角礫岩でできている。内径は幅103cm、奥行き265cm、高さ113cmである。



図4. 石室内部の状況

壁と天井には厚さ3～5mmの漆喰を塗り、比較的平らな壁の漆喰表面に壁画を描いた。南の壁石には、12～13世紀に泥棒によって作られた大きな盗掘口があります。穴から内部を見ると、北の壁が正面、西が左、東の壁が右に見える。このような小さな空間の環境は、外部に直接開いた場合、容易に影響を受ける可能性がある。したがって、そのような影響を防ぐための施設が建設された。図5は、前室の内部の写真である。写真中心部に見えるのが石室である。また、石室の中央の白い帯が盗掘穴を覆う蓋である。保存施設の目的は、発掘される前の環境と同じように石室環境を維持することであるので、石室の前に2つの小さな前室と準備室があるように設計された（図3）。

石室内の環境を確認するために石室内に入る場合は、前室の相対湿度を高く保ち、温度は、石室の近くの土壌で測定されたものと一致するように調整した。したがって、施設は、石室内の点検の際に、隣接する前室の状態を一時的に調整できるように構築された。前室の壁、天井および床に沿っ

て一連の銅パイプを設置し、パイプ内に水を循環させた。パイプ内の水の温度を石室の周りの地面の温度と同じになるようにし、古墳の発掘前の周囲環境と同様の熱条件になるように調整した。この保存施設が完成後30年以上経過している。元々の環境に近い内部環境を維持するために多大な努力が払われてきたが、周囲環境の大きな変化が起こった時に、壁画表面に微生物の発生が多く見られた。

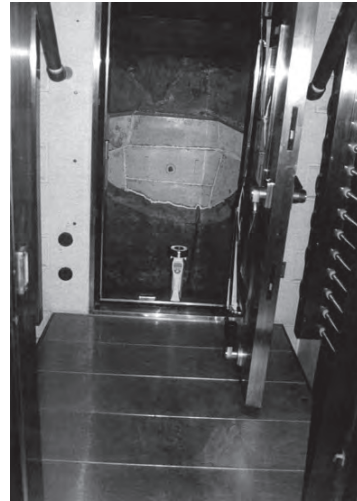


図5. 前室から石室を見たところ、中央部に白く見えるのは、盗掘口の蓋

2.1：高松塚古墳の石室内温度と湿度

保存施設は1974年から1976年までの間に建設された。施設完成後、定期的に様々な環境データが記録された。記録されたデータは、石室内の底部、中間部および上部の場所、取合部、および前室における温度ならびに地温および気温である。保存施設の建設の前に、石室の内部温度も記録された。最低気温は1972年4月中旬に記録された11℃であり、最高気温は11月中旬に記録された16℃であった。1973年の気温は $13.6 \pm 2.8^\circ\text{C}$ であったが、1976年から77年にかけては $16.3 \pm 1.9^\circ\text{C}$ 、1978年には $16 \pm 2^\circ\text{C}$ であった。

1979年3月から2005年10月までの石室内の温度変化を図6に示す。

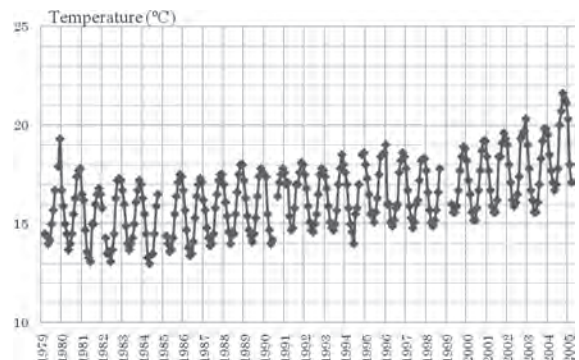


図6. 石室内の温度変化（1979年3月～2005年10月）

最高温度と最低温度が時間とともに徐々に増加することが分かる。しかし、毎月の変化があるため、図6から、年間の温度変化を評価することは困難である。年間の気温変化を評価するために、石室内の年間平均気温と3年移動平均気温を計算し、奈良地方気象台で測定された年平均気温を示した(図7、三浦他、2005)。

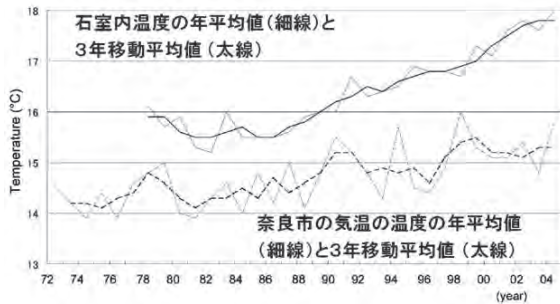


図7. 石室内の年平均温度変化および3年移動平均 (1979年3月~2005年10月)

この図から、石室の年平均気温は25年間で約2℃上昇し、奈良の年間平均気温は30年で約1℃上昇した。したがって、石室の1℃の温度上昇は、外気温の変化によると考えられる。また、残りの1℃の温度増加は、その後の調査により、保存施設の稼働によるものと考えられた。

石室に人がいない時は、95%から100%の内部湿度であったが、人が石室内に入ったときに90%程度まで減少した。カビの成長の条件には、温度、湿度、酸素濃度、栄養素、pHなど多くの要因がある。しかしここでは、相対湿度に注目した。100%の相対湿度の条件は、カビや細菌の成長にとって、好条件であるからだ。

2.2: 墳丘土と石室石材の水分特性

石室内の相対湿度は、土壌および石室石材の水分量および水分特性に依存する。したがって、土壌と石材の両方の水分特性曲線を得ることが重要である。水分特性曲線を得るために、吊り下げ法、加圧版法、および飽和塩法の3つの方法の実験を行った (Magdi, et al., 2007)。これらの実験に基づいて、相対湿度と体積含水率との関係が得られた (図8)。

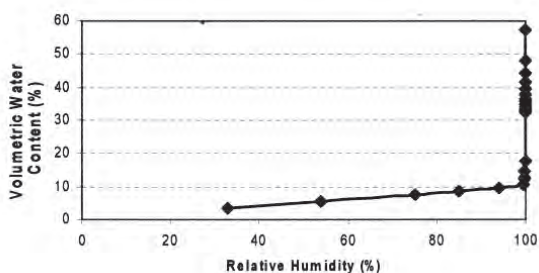


図8. 高松塚古墳墳丘土の水分特性曲線

このグラフは、体積含水率が10%を超えると、これと平衡になる相対湿度がほぼ100%であることを示している。高松塚古墳の版築土の体積含水率は約30%なので、土壌の平衡相対湿度は100%である。これは、石室内で測定された高い相対湿度とよく一致している。

体積含水率と計算された相対湿度の関係を図9に示す。

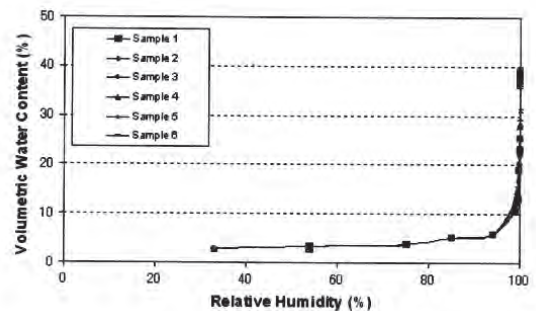


図9. 高松塚古墳石室に使われている角礫凝灰岩の水分特性曲線

このグラフは、体積含水率が10%を超えると平衡相対湿度が、ほぼ100%であることを示している。石室解体時の壁石の大きさと重さのデータを用いて、石室の体積含水率は約20%と計算されているため、石室の平衡相対湿度は約100%と考えられる。これも、石室内で測定された高い相対湿度とよく一致した (Magdi et al., 2008)。

2.3: 保存の基本概念

ラスコー洞窟の場合は、自然な環境バランスを達成することが試みられた。高松塚古墳でも同様の考え方が採択されたが、高松塚古墳の県境状況が厳しかったため、高松塚古墳壁画の保存は深刻な問題であった。

当初、埋葬環境には微生物のための豊富な栄養素が含まれており、微生物の活動が多かったと考えられる。その後、微生物活性は明らかに平衡状態にまで低下した。しかしながら、例えば有機物など栄養となるものが入った場合や周囲環境が変化した場合など、そのバランスの変化は、より多くの微生物活動の引き金として作用した。

2.4: 高松塚古墳の過去の事象

高松塚古墳には歴史上、石室内の静的な微生物活動のバランスを乱したいくつかの出来事があった。例えば、12世紀または13世紀には、泥棒が盗掘のため、石室の破壊を行った。その結果、環境バランスはかなり変化したと考えられる。また、

1972年に考古学的発掘が行われた。この時、環境は大きく変わり、もう一度環境バランスが崩れたと考えられる。発掘後、壁画は現地で保存されることになった。しかし、壁画の一部に剥落する危険性が見られたため、必要な修復作業が行われた。

修復には1976年から1981年にかけての長期にわたる集中的な作業が必要であった。この必要な作業のために石室内の環境バランスはさらに変化した。この間、最初のカビの発生が見られた。合成樹脂Paraloid B-72は、剥離した壁の部分に塗布された。これらの部分のいくつかでは、菌類の発生が見られた。カビが著しく成長し、カビ汚染を防止するための集中的な処置の時期に、壁画の線の一部が不明瞭になった。エタノール：ホルマリン、9：1、およびチアベンダゾール（TBZ）の溶液を使用した、それほど効果的ではなかった。1981年からパラホルムアルデヒド燻蒸が採用され、石室への人の出入りは、さらに制限された。その後、カビの発生が減少し、2001年までバランスが回復したように見えた。

2001年2月、第2の危機が発生した。壁画のある石室に隣接する取合部では、改装工事が行われた。保存施設が老朽化していたため、土壌の降下や雨水の漏れが発生した。その対策のため、取合部周りの土壌の固化が行われた。その過程は、環境バランスの変化の別の引き金になったと考えられる。この工事後、取合部や石室内にアスペルギルス属、クラドスポリウム属、ペニシリウム属、フザリウム属などの広範な真菌コロニーが発生した（図10）。

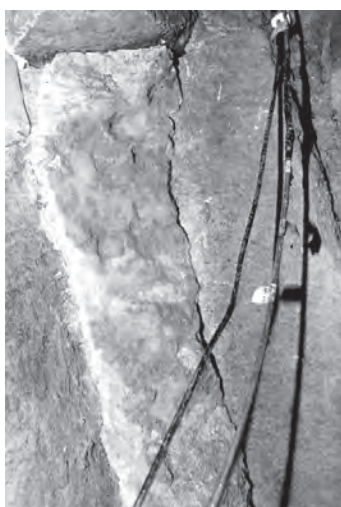


図10. 石室前の取合部の壁土に発生したカビの状況

石室内の壁画の年1回の点検は、隣接する取合部が完全に清掃されるまで延期されていた。6ヶ

月後、2001年9月に石室が開かれ、壁画の近くに真菌が見つかった（図11）。



図11. 東壁の青龍の近くに発生したカビの状況

当時、菌類はペニシリウム（*Penicillium*）であり、3ヵ月後には2001年12月までに菌類コロニーを発見した区域が拡大した（図11）。さらに、その時の温度は、地下の石室の自然年変化の曲線の最も高い部分であった。それは、地下の温度変化が外気温に3～4ヶ月遅れているからである。また、初めて黒いカビが観察され始めた。翌年の2002年には、より深刻な黒染みが見られた（図12）。



図12. 東壁の青龍の近くに初めて黒いカビが観察され始めた。

2004年には、定期検査や清掃消毒作業が行われたにもかかわらず、菌類だけでなく細菌や酵母などのバイオフィルムも見られるようになった。2004年9月、温度が20℃以上に上昇すると、壁画の一部を覆う真菌の広範な白い菌糸が発見され、それらとともにダニが発見された。石室の内面は明らかに食物連鎖になっていた。それは栄養豊富な状

況だと思われたので、そのまま放置することはできなかった。

この対策として、主にエタノールを使用して殺菌剤を噴霧した。これは、使用された顔料に関して最も影響が少ないものと考えられていたからである。しかし、物理的な清掃が壁画の顔料を傷つける可能性があったので、壁絵から菌糸を拭き取ることができなかった。2005年以降、バイオフィルムの問題をさらに検討した後、イソプロパノールを消毒剤として使用した。しかし、このような消毒剤はそれほど有効ではなかった。いろいろな可能性が議論されたが、化学物質を用いた対策、低酸素雰囲気による対策、低い温度による対策などは、実現可能とは考えられなかった。

この様に、カビが大発生した時に、壁画の著しい劣化を引き起こした。このような劣化は非常に高いレベルに達し、現地で壁画を保存し続けることは危険であると考えられた。壁画をさらに劣化から守るための方法が考慮され、最後に石室を解体し、壁画のある石材を修理施設へ移動し、壁画の修理を行うことが決まった。

3：キトラ古墳

キトラ古墳は、2層のドーム状の古墳を形成するため版築により造成された。下部ドームの直径は13.8m、上部ドームの直径は9.4mである。キトラは2004年に発掘された。

予備調査の結果、高松塚古墳とのいくつかの相違点が発見された。キトラ古墳でも壁画は非常に漆喰層の上に描かれている。しかし、漆喰の亀裂が顕著であり、漆喰が壁石に緩く保持されていたので、わずかな力で、容易にはぎ取ることができた（図13）。



図13. キトラ古墳の漆喰壁の状況

そのため、絵画を切り離してすぐに修理施設へ移動することが決定された。このように、高松塚古墳とキトラ古墳は、同じ時期に作られ、非常に似ているが、その保存対策には異なった方法が用いられた。

3.1：キトラ古墳壁画の保存対策

2004年1月、キトラ古墳の発掘が行われ、2004年8月に壁画の移動が開始された。しかし、人が古墳に入ってから、菌類の成長が見え始めた。エタノールは、主に壁画に使用されている顔料に関して最も影響の少ない殺菌剤の1つであると考えられていたので、そのようなコロニーを殺して除去するために使用された。2005年の初め、粘性ゲルの小さなコロニーが壁画の一部に現れた。2005年の夏に、粘性ゲルが突然発達して壁画の上にバイオフィルムを形成した（図14）。

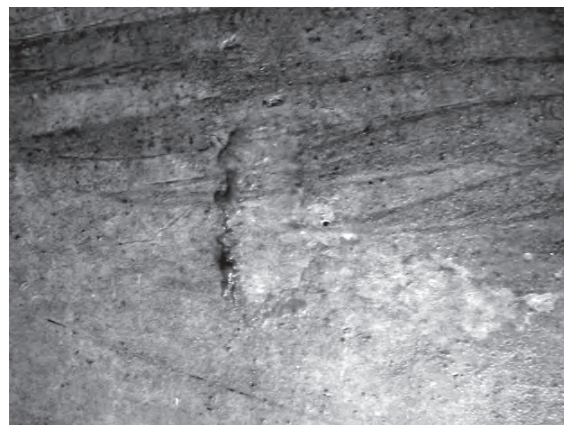


図14. キトラ古墳の漆喰上に発生したバイオフィルムの状況

ゲルは細菌と真菌の混合物であった。処置が可能である所で、低濃度の過酸化水素溶液でバイオフィルムを除去した。また、その領域を約70%のイソプロピルアルコールで処理した。この方法は、漆喰が比較的頑丈で丈夫ないくつかの領域で有効であったが、漆喰が非常に脆い場所には適用できなかった。2005年の秋に、漆喰の壁に黒い物質が入った小さな穴が明瞭になった。穴は漆喰の奥部分に発達したようだった。コンクリート中の微生物に関する専門家の調査は、このような穴が微生物の活性によっても引き起こされた可能性があることを示唆した。

2008年末までに、壁の泥の薄い層によって隠されていたものを除いて、天井の側壁や星図のほぼすべての壁画が、保護用のフェーシングと切り取りによって修理施設へ移動された。

4：結論

2001年2月と3月には、1972年に壁画が発見された高松塚古墳の版築土や石材の一部が、広範な真菌群に覆われていたことが判明した。2001年9月に壁画の近くに菌類が発見された。文化庁が主催する高松塚古墳の壁画保存対策検討会が、石室における生物活動の原因と防護対策について検討した。真菌の成長の主な原因は、墳丘内部の土壌を強化するために行われた改修工事のため、古墳内部の湿度と温度の上昇と環境バランスを変化させたことが原因と考えられる。委員会は最終的に、現地で壁画を保存することは難しく、修理施設に壁石を移動し修理することを決定した。この移動は、2007年に行われた。

キトラ古墳の壁画は1983年に発見された。石室内壁の漆喰が部分的に剥がれ落ちる危険性があったので、調査研究委員会は壁画を修理施設に移動することを決定した。2008年末までに、天井の側壁や星図のほとんどすべてが修理施設に移動された。

高湿度条件下で石室内の微生物活性の静的バランスが崩れると、微生物活性が誘発される。真菌やバクテリアなどの微生物の活動を制御することは非常に困難である。この困難な問題に対処するためには、異なる科学分野の専門家の間で協力しながら研究を進めていくことが重要であると考えられる。

謝辞

この論文に用いられた、写真は、文化庁ホームページ（文化財、高松塚古墳・キトラ古墳）の検討会等の報告資料より引用させて頂いた。多くの報告資料を公開している文化庁に感謝いたします。

なお、本論文は、2009年にフランスで開催された、ラスコー洞窟壁画の保存に関する国際シンポジウムの予稿集の原稿（T. Ishizaki and R. Kigawa, 2009）を元に、一部改変したものである。

参考文献

文化庁：『国宝高松塚古墳壁画 ―保存と修理―』，第一法規出版（1987）pp. 78.

Ishizaki, T. and R. Kigawa (2009) , Conservation of the Mural Paintings of the Takamatsuzuka and Kitora Tumuli in Japan, Lascaux and

Preservation Issues in Subterranean Environments, Éditions de la Maison des sciences de l'homme, 105, pp. 261-274. 2010.

Khalil Magdi and T. Ishizaki (2007), Moisture characteristic curves of the soil of Takamatsuzuka Tumulus. *Science for Conservation* 46, pp. 13-20.

Khalil Magdi and T. Ishizaki (2008), Moisture characteristic curves of tuff breccia. *Science for Conservation* 47, pp. 11-19.

三浦定俊・石崎武志・赤松俊祐（2005） 高松塚古墳における30年間の気温変動、保存科学、44、pp. 141-147.

装飾古墳における生物劣化と対策

－石室石材の表面状態の保存－

佐藤嘉則 SATO, Yoshinori／東京文化財研究所 保存科学研究センター

1：はじめに

藻類、地衣類、菌類や細菌類のような固体表面に付着して生育する生物群は、屋外にある遺跡や石造文化財などの表面にしばしば群落を形成する。こうした生物が群落を形成すると、その種類によっては物理的・化学的風化作用を促進し、表面構造の変化を引き起こし、生物劣化を起こす場合がある。微生物などは、その細胞の小ささゆえに大きな生物と比べると甚大な影響を及ぼすとは考えにくい。しかし、遺跡や石造文化財の中には、表面にごく僅かな量の顔料（彩色）、非常に繊細で脆弱な文様（浮き彫り、線刻など）や制作当時の加工痕（ノミ痕、朱線など）を有するものもあり、表面材料の微細な損失であっても時としてその文化財の持つ本質的な価値を大きく損なう場合がある。あるいは、公開に視点を向けると、表面での生物群の繁茂は、人々が色であったり文様であったり文字情報であったりと表面に存在する文化的価値の鑑賞を妨げる存在となり、直接的には物理化学的風化を促進していなくとも、本来認識できるはずの価値を認識し難くするという意味において、広義の生物劣化として位置付けることもできるだろう。

表面に生物群が繁茂しているとき、その生物群がそこで生育するために必要な環境因子が整っていることを意味する。生物群の生育を支える環境因子には、光、温度、湿度、有機物、無機塩類などがある。表面の生物群集の制御を考えると、薬剤による処理や物理的な除去などがよく選択されるが、環境因子を制御した後で処置を行わないと、処置後も同様の生物群が再発生する可能性が高い。度重なる処置は、人為的な劣化を引き起こす危険を孕んでいる。また、薬剤による処置も生物が多様な屋外環境においては、薬剤に耐性を持ったり、薬剤そのものを資化したり出来る生物群の集積が起こり、次第に薬剤の効果が薄れてくる場合もある。

このようなことを鑑みると、表面に着生した生物群集を制御しようとするとき、まずはそこに生息する生物群集を同定し、その生物種の既知情報

をもとにして、生育に必要な環境因子を推定し、新たな環境管理によってその環境因子を制御した上で、その生物群を物理的あるいは化学的に処理するような保存管理体制が理想的であると考えている。

本発表では、茨城県ひたちなか市にある虎塚古墳の石室を構成していた石材の一部である凝灰岩の扉石（閉塞石）の表面に形成された微生物群集の解析とその制御に関する研究結果について報告したい。

2：調査地点概要

虎塚古墳は茨城県ひたちなか市（旧勝田市）中根にある前方後円墳であり、横穴式石室内に白色下地層のうえにベンガラで描かれた彩色壁画を有する装飾古墳である¹⁾。虎塚古墳の壁画は、公開を前提とした保存管理を行うことが基本方針であり、昭和55年に竣工した公開保存施設で保存が行われている。虎塚古墳の公開保存管理施設の平面図を図1に示した¹⁾。公開保存施設は、屋外であるアプローチから前々室、前室、観察室があり、

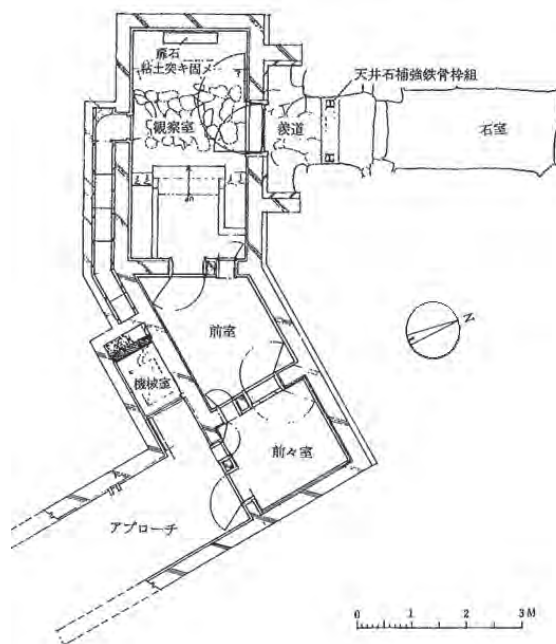


図1：虎塚古墳の公開保存施設の概略図

ペアガラス観察窓（通常はその外部にステンレス製の扉で2重扉になっている）を隔てて石室空間がある構造となっている。これは、石室内の装飾を保存するために、温湿度の急激な変化を石室内部に影響させないことや外部環境から侵入してくる小動物、微生物などの生物群や塵埃などの有機物を石室内部に到達し難くする緩衝空間としての役割を意図して設計されている。また、毎年春と秋に実施されている一般公開時には、見学者が安全にかつ良好に石室内の装飾を観察するための公開施設としての役割も考慮されている。施設は、前々室から観察室の入口手前まではコンクリート製の床面であり、観察室の入り口前方は埋没する羨道を保護するように粘土系土質材料が敷かれている。その上には川砂が全面に敷かれている。調査の対象とした扉石は、観察室の砂と粘土に1/3程度が埋めた状態で置かれている。

2011年以前は、公開保存施設内の微生物管理として春と秋の一般公開後に観察室の壁面と扉石に防黴剤（JEI-120、日本文化財環境研究所調整）を散布することで微生物制御が行われてきた。

3：扉石の表面に分布する微生物解析

2011年11月14日の点検時に、観察室にある扉石表面に、多量の黒色粘性物質と白色のカビ様物質が認められた。黒色粘性物質は微生物バイオフィームである可能性が高く、そのバイオフィーム中や表面に白色のカビが発生していると予想された。そこで、黒色粘性物質の採取と微生物調査を行った。試料採取箇所は閉塞石から3箇所（正面中央中部、試料①；正面中央下部、試料②；右側面上部、試料③、図2）を選び、滅菌したスパチュラで石材表面を傷つけないよう黒色粘性物質のみを採取した。採取した試料は滅菌したガラスバイアルにて持ち帰った。試料①～③は、少量を滅菌水に懸濁した後、光学および蛍光顕微鏡下で観察した。蛍光顕微鏡観察時には試料を緑色・赤色2種類の蛍光色素で細胞の生死を染め分けるLive/Dead kitを用いて染色した後に観察した。

試料①および試料②は光学顕微鏡観察の結果、多くのカビの菌糸が確認された（図3左）。扉石で観察されたカビ様の白色物質はカビであると考えられる。一方、試料③は光学顕微鏡観察では、カビの菌糸は少なかったが、蛍光顕微鏡観察を行ったところ、多くの菌糸と細菌の細胞が観察された（図3右）。



図2：扉石と試料採取箇所：①正面中央中部、②正面中央下部、③右側面上部

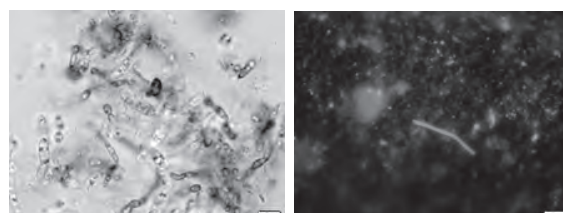


図3：扉石試料の光学顕微鏡写真（左）と蛍光顕微鏡写真（右）

試料③については、非培養法のひとつであるクローニング法によって細菌および菌類の群集構造解析を行った。すなわち、試料を一定量秤取し、Extrap Soil DNA Kit Plus Ver.2（日鉄環境エンジニアリング）を用いて、DNAを抽出後に精製し、これを鋳型DNAとして、細菌を標的とした16S rRNA遺伝子および菌類（カビ）を標的としたITS領域配列のPCR増幅を行った。得られた各PCR増幅産物をDNAベクターに組み込んで組換えDNAを作成し宿主である大腸菌へ導入して形質転換後に、目的のDNA断片を組み込んだ大腸菌（クローン）を選出して、特定のDNA断片を単離した。細菌および菌類でそれぞれ96クローンを選抜し、導入されたDNA断片の塩基配列解析を実施した。解読したDNA塩基配列は公共のデータベースと照合して相同性検索（BLAST検索）を行い、クローン毎に近縁な微生物種を予測した。

細菌を対象とした解析では、96クローンのうち、80クローンで塩基配列を解読することができた。BLAST検索により特定された近縁細菌の種類は35属であり、*Chryseolinea*属に近縁な塩基配列（全クローンの約14%）、*Sphingomonas*属（約9%）、*Methylobacillus*属（約9%）などが主要であった。また、菌類（カビ）を対象とした解析では、96クローンのうち、95クローンで塩基配列情報を得ることができた。BLAST検索により特定され

た近縁種は4属に集約され、*Exophiala*属に近縁な塩基配列(全クローンの約95%)と*Cladophialophora*属に近縁な塩基配列(約7%)という群集構造であった。

菌類の群集構造解析で検出された*Exophiala*属は、人に対して病原性を示す種が含まれている。最も近縁であった*Exophiala* sp. LX M8-6には、病原性を持つことは知られていない。しかし、本属が扉石表面で旺盛な発育をしていることは、表面に制作当時の加工痕を残す石材への生物劣化が懸念されるだけでなく、一般公開時に見学をする人々の健康被害についても悪影響が懸念された。こうしたことから、扉石の殺菌処理について検討が行われた。

4：扉石の殺菌処理と効果

扉石の殺菌処理は、紫外線照射による方法を採用した²⁾。具体的には、水中用紫外線殺菌灯(GL-10)を用いて1晩UV-Cを照射することにより、扉石に付着している微生物を殺菌し、処理後に水洗して死菌体の除去を行う方法である²⁾。本処理によって微生物が殺菌されたことを確認するために、処理の前後で黒色付着物質の二酸化炭素生成速度(呼吸速度)を測ることで評価した。黒色付着物試料は滅菌したスパチュラで採取し、一定量を秤取した後、すみやかに密閉容器に加え、容器内の二酸化炭素量濃度の変化をハンディタイプCO₂計(GM70, VAISALA)にて測定した。室温で15分間静置し、増加した二酸化炭素濃度から1分間当たり1g湿重量の呼吸速度を算出した。

その結果、扉石の表面から採取した試料でUV-C照射1晩後の呼吸速度が、同じ箇所の照射前に採取した試料の呼吸速度を上回った(図4)。この原因について、仮説としてUV-Cによる殺菌処理によって死滅した菌体が、生残した微生物の栄養源となり呼吸速度が上がるという、いわゆる「部分殺菌効果」による現象ではないかと考えた。殺菌処理前より呼吸速度が上がってしまったため、UV-C照射を予定より延長し、さらに1晩(累積2晩)の処置とした。そして呼吸速度を測定すると、2晩のUV-C照射後は処理前よりもごく僅かに減少した。目視観察では2晩の処理によって黒色付着物の乾燥が非常に進んでおり、乾燥の結果として呼吸速度が低くなったことも考えられるため、2晩のUV-C処置は黒色付着物の殺菌にほとんど効果がなかったと考えられる。一連のUV-C

照射後に水洗処置を行い、死菌体を除去した後に残った黒色付着物の呼吸速度を測定したところ、UV-C照射処置後のいずれの測定時よりも高くなった。これは水分供給と部分殺菌効果による呼吸速度の増加であると考えられた。

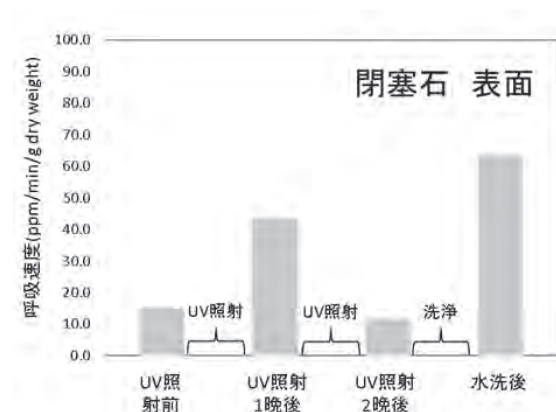


図4：UV-C照射および水洗後における黒色付着物の呼吸速度

5：扉石の表面状態の保存にむけて

虎塚古墳の石室の一部である扉石について微生物制御方法として、長らく薬剤散布による処置が行われてきたが、2011年頃には表面を黒色付着物が覆い、さらに白色のカビが発生する状況となっていた。微生物群集構造解析によって、*Exophiala*属の菌類で優占していることが示された。本菌の薬剤耐性など分離株を用いた調査は必要であるが、仮説としては、これまでの薬剤処理によって本菌あるいは検出された微生物群集が薬剤に対する抵抗性を有するようになり、あるいはもともと耐性能力を有していたものが選択的に生残した結果として、石材表面に分布していたと推察した。このような薬剤による逆効果を防ぐために、薬剤の影響が残らない処置として紫外線照射を選択したが、呼吸速度の調査からは石材表面に発達した微生物群集の殺菌には完全な処置でなかったといえる。しかし、処置後に採取した試料の呼吸速度から殺菌効果について評価したものであり、紫外線照射と水洗の効果も栄養源の除去という観点から考えると、大量の黒色付着物を除去できた点では効果的な処置であったと考えられる。

現在では、薬剤の散布は中止し、石材表面を傷つけないように手作業によって黒色付着物の除去を行っているが、目視での観察では黒色付着物の新たな発生はなく、表面の状態は徐々に良好になっている(図5)。虎塚古墳の石材表面に分布する微生物群にとって、生育に必須な環境因子の

ひとつである有機物（栄養源）の供給が、薬剤そのものによってもたらされてきたと仮定すると、その供給が断たれたために増殖が収束へと向かい、さらに物理的な除去によって良好な状態になっていると考えられる。



図5：扉石の現在の状態

6：おわりに

屋外環境において表面に着生した生物群集を制御するには、生物群集を同定し、その生物種の既知情報をもとにして、生育に必須な環境因子を推定し、その環境因子を制御した上で、対象となる生物群を物理的あるいは化学的に処理するような保存管理体制が理想的であるとはじめに述べた。虎塚古墳の扉石においても表面状態をより良く長く保存していくために、継続して微生物群集の変化をモニタリングして、微生物の生育が認められれば、増殖を支えている環境因子を特定し、それを制御していくような管理体制を継続することができれば理想的である。

謝辞

現地調査および本研究を実施するあたり、多大なるご協力を賜りました公益財団法人ひたちなか市生活・文化・スポーツ公社の稲田健一氏、ひたちなか市教育委員会の斉藤新氏、栗田昌幸氏に深く感謝申し上げます。本研究は、明治大学の矢島國雄氏が代表のJSPS科研費23300326「虎塚古墳の保存科学的研究」の助成を受けたものです。東京文化財研究所の犬塚将英氏、森井順之氏、九州国立博物館の木川りか氏には本研究を共同で進めていただきました。ここに記して感謝申し上げます。

引用・参考文献

1) 住谷光男編：史跡虎塚古墳保存整備報告書、

茨城県勝田市教育委員会（1981）

2) 矢島國雄編：虎塚古墳の保存科学的研究(2014)

遺跡等文化財施設での環境管理の実際

川越和四 KAWAGOE, kazushi／一般財団法人 環境文化創造研究所

1. はじめに

近年まで、文化財施設では、生物被害から文化財を守るために化学薬剤によるガス燻蒸消毒に頼っていたが、保存の手法が見直されている。古くから曝涼・曝書「目で見る・日にあてる・風にあてる」にて行なわれてきた長年の保存手法に基づいて、化学薬剤だけに頼ることなくヒトの健康・文化財資料にやさしく・地球環境への負荷を小さくするための手法の取り組みがなされている。この手法は、文化財を取り扱う場所に文化財害虫がいないことや目に見えるカビがいないことなどの予防化を主体としている。いわゆる総合的有害生物管理（IPM：Integrated Pest Management以下「IPM」）である。このIPMの考え方を取り入れた、茨城県ひたちなか市にある虎塚古墳公開保存施設（以下「公開保存施設」）での除菌メンテナンスを実施した事例を紹介する。

2. 公開保存施設における除菌メンテナンスの手法

博物館等で行なわれていた文化財保存におけるカビ被害対策を振り返ると、文化財への微生物被害（カビ）の発生に伴い1950、1956年に中尊寺の藤原氏3代の遺体（ミイラ）では、ホルムアルデヒドにてガス燻蒸消毒が報告されている。カビ被害対策の手法には、①ガス燻蒸消毒（ホルムアルデヒド・酸化エチレン）、②殺菌剤の噴霧・散布による方法、③殺菌灯による方法、④オゾンによる方法がある。公開保存施設におけるカビ対策は、①、②、③の方法が適用できると考える。①のホルムアルデヒドは、酸化エチレンに比べるとギ酸の問題・浸透力の問題・刺激臭の問題などを考慮すると利用範囲は限られる。②の殺菌剤の噴霧・散布による方法は、文化財への直接噴霧は厳禁であることを考える必要がある。③の殺菌灯は、文化財の劣化要因を考えると使用に限りがある。また、①の酸化エチレンは、日本において1963年に酸化エチレンの実用化が始まっている。酸化エチレンは、非常に燃焼しやすく毒性を有し、空気がなくても3～100vol%で火花や静電気で爆発するので、扱

いにくいとされていた。しかし、代替フロンや炭酸ガスと混合して欠点を克服し、現在は、酸化エチレンと代替フロンの混合剤（商品名：エキヒュームS）で小規模的な文化財のカビ被害対策として使用されている。そして、酸化エチレンと炭酸ガスの混合剤は、医療器具の消毒・滅菌装置に使用され、広域施設でも実験室や実験動物施設などの消毒・滅菌を対象として安全に使用された実施例がある（斉藤寛1976、川越ら1979、川越ら1980）。一定条件を確立（安全性を確実に考慮できる施設）すれば、遺跡等文化財施設におけるカビ被害を対象とした場合にも使用できると考える。しかし、今回の公開保存施設の除菌メンテナンスにおいては、敢えて②の殺菌剤の噴霧・散布の手法を選び、殺菌剤の噴霧・散布ではなく、飛散させることなく、残留も極力少なくする「殺菌剤による拭き取り」の手法を選択した。公開保存施設の概略を図1に示した。

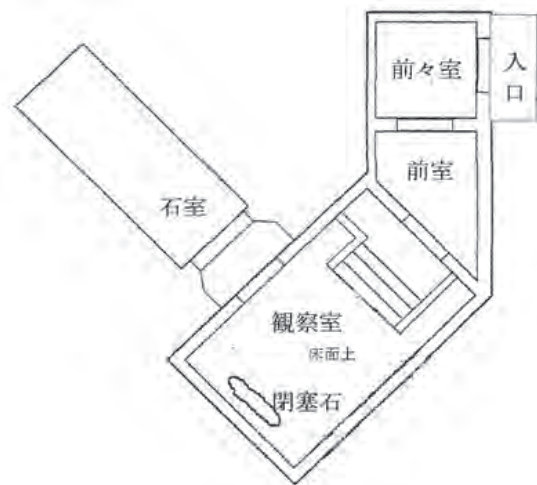


図1：虎塚古墳公開保存施設の概略図
（佐藤ら2015引用）

3. ゾーニングの必要性

公開保存施設は、公園内に建てられ、沢山の生物や土・ホコリが存在する自然環境のなかにあり、その生物や土・ホコリと闘いながら、公開と保存を両立させることに尽力されている。そこで、これまで博物館等で行なってきたIPMの考え方に基づいたゾーニングの事例に、公開保存施設のゾーニングをあてはめて考えることとした。通常、博

博物館等であれば、生物・土・ホコリが館内に侵入しないような予防対策を講じながら防御を実施する。一方、防御する手法としては、博物館等施設全体を一律に考えることは難しく、段階的に侵入を抑えて、文化財を保存する区域にまで到達しないような工夫をし、次に館内は、施設外周、付帯・管理区域、研究区域、保存区域に分けて文化財を守るためのゾーニング（区域分）をしている。そしてゾーニングは、いったん生物・土・ホコリが侵入したとき、壁・ドアなどで区切ることにより内部への侵入を邪魔して段階的に軽減し、保存区域まで到達させないようにしている。公開保存施設は、入口・前々室・前室・観察室・石室に分かれていて（図1）、博物館のゾーニングにあてはめると、保存区域：石室、研究区域：観察室・前室、付帯・管理区域：前々室、外周：入口（床コンクリート部分）のようになる。そのゾーニングの例を表1に示した。

表1：ゾーニング

場 所	保存 区域	研究区域		付帯・管理区域			外周
	収蔵庫 石室 保管庫	展示ロビー 観察室 展示室	撮影室 荷解室 研究室 前室	学習室 講堂 前々室 管理事務所	喫茶・レストラン エントランスホール 休憩室・トイレ	電気室 ボイラー室 空調機械室	シャッター 非常口 入口 扉

太字：公開保存施設

4. IPMの考え方における環境づくり

IPMでは、文化財施設での資料や資料に関係するところなどに、文化財害虫やカビによる被害およびカビが目に見えないことを目指すとされている。公開保存施設の周りは、限りなくカビの存在が疑われる土が広がっている。土に生えるカビは、空気、植物、動物、ヒト、モノなどに付着して伝播されている。空気中（自然界）には、たくさんのカビの胞子が散在していると考え、このカビの公開保存施設内への持ち込みを阻止できれば、一定のレベルまで予防することができると考えた。しかし、すべてを遮断するのは不可能である。カビは、空気中では繁殖できず、何かモノに付着し

てカビの生えやすい一定の条件がそろったときに生えてくる。その一定条件とは、温度（約10～30℃）・湿度＝水分（約30～80%）・酸素・モノの表面・吸湿素材ホコリ＝栄養などである。この条件の一つが欠けてもカビは生えてこない。そこで、公開保存施設は、カビの生えやすい条件をつくらないような施設改善や定期的管理を徹底する必要が生じる。その一步として入口でカビを掃う工夫が必要になり、踏み込み層を設置した。履物の履き替え・粘着マットの設置などを行なうことでホコリの持ち込みが少なくなり、カビ発生予防に繋がると思われた。今後、公開保存施設での維持管理には、次の項目の定期的なモニタリングが必要と思われる。

- ①ゾーニングの活用（IPMの考え方にに基づく）
- ②日常的な監視体制の徹底（気づき）
- ③温湿度の現状把握と点検
- ④出入口の維持管理（ホコリの持ち込み軽減）
- ⑤5S（整理・整頓・清掃・清潔・躰）の実施
- ⑥定期的な検査（空中浮遊菌・付着菌・塵埃）
- ⑦維持環境管理

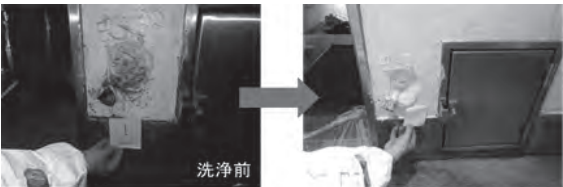
5. 公開保存施設での環境づくりの実際

公開保存施設では、近年になり観察室にカビが発見されるようになっていた。観察室には、閉塞石（石室の蓋）が半埋設され、床の2/3には粘土層が敷き詰められ、その上に砂が敷かれている状態であり、観察室の1/3・前室・前々室・入口の床と壁・天井は、すべてコンクリートになっている。そして各部屋の間仕切りは、ステンレス製のエアータイトな扉が設けてあり、特に、観察室と石室との扉は、ステンレス製の扉とペアガラスで完全に密閉され、石室内にカビや薬液による顔料への影響が出ない構造になっている。対策委員会では、これまでに物理的カビ除去手法として、観察室粘土表面に敷かれている砂の敷き直しと一般公開時に見学者の安全とカビの除去を目的とした空気清浄機の設置、紫外線（UV-C）による殺菌等を実施していた。今回は、入口（床コンクリート部分）・前々室・前室・観察室における除菌メンテナンスを実施した。この除菌メンテナンスは、食品製造工場のクリンルームで行なわれる消毒・殺菌の技術手法を応用した。

先ず、入口から観察室まで土足での出入りが可能となっているのに対しゾーニングを行い、入口から観察室に至るまでの清潔度を向上させる計画

とし、部屋ごとに閤門を設け、床にすべてビニールフィルムを敷き詰め、観察室の閉塞石はビニールシートで覆うこととした。入口には木製のスノコを敷き、閤所として外履物と内履物の履き替え場所を設けた。そして、使用する次亜塩素酸ナトリウム水溶液（以下「薬液」）は、金属を腐蝕させるため、照明器具と金属部分はアルコールで清拭を行ったのち、目張りを施した。

次に、作業工程は、①天井・壁・扉・床の順に薬液（600～1000ppm程度に希釈）を用いて、拭き取り作業を2～3回の頻度で実施した。②カビ被害の多い場所においては、薬液の濃度を濃くして拭き取りを重ねた。③床は外部の土壌の持ち込みもあるため、薄く希釈した薬液で洗浄しながら薬液をバキュームで吸い取ることを繰り返し、清浄化にしてから拭き取り作業を実施した。④施設内には、薬液が残留しないようにカラ拭きを施した。⑤閉塞石のシートや目張りを取り外し、仕上げ工程を施し終了とした。この一連の作業工程は、入口から観察室まで繰り返し行なった。また、除菌メンテナンスの効果確認は、作業前・後における同じ場所の写真で判定をした（写真）。また、佐藤ら（保存科学No54 2015）が「虎塚古墳公開保存施設の管理方法変更による微生物汚染状況の推移」と題して報告されている。



写真：除菌メンテナンス前後の比較写真

表2：除菌清掃前後の付着菌数の変化
（佐藤ら2015引用）

場 所	付着菌数（CFU/cm ² ）								
	観察室					前室		前々室	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
除菌 清掃 前	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
除菌 清掃 後	0.08	<0.04	0.12	0.16	0.04	<0.04	<0.04	0.04	<0.04

NC：計測不能（>50CFU/cm²）

6. 終わりに

公開保存施設での環境管理において、環境づくりと除菌メンテナンスを試行錯誤しながらIPMの

考え方を取り入れたひとつの手法として紹介した。まず気づいたこととして、土足で入口からそのまま観察室まで入っていたことに注目して改善を行なうことを試行した。この公開保存施設では、湿度も高くカビの生える条件を満たしているため、外部より生物や土・ホコリを持ち込まないことが重要と考え、IPMの考え方のゾーニングを取り入れ実施した。各部屋の床には、外部からの土が内部に堆積した状態であったが、除菌洗浄とメンテナンスにより取り除くことができた。仕上げとして壁・天井・床・扉などを薬液で拭きあげて終了とした。その後、環境改善においては、点検・調査および一般公開の際、入口でスリッパ等に履き換えて土足で侵入しない方針で管理されている。この遺跡等文化財施設での除菌メンテナンスとIPMの考え方に基づく環境管理の実施が、今後の微生物対策の一助となれば幸いである。

謝辞

除菌メンテナンスにあたっては、虎塚古墳施設保存対策委員会および東京文化財研究所の関係者の皆様に甚大なるご協力をいただき、ここに深くお礼申し上げます。

引用・参考文献

1) 森八郎ら：わが国における文化財の生物劣化に関する研究史（1）文化財の虫菌害 第4号 p23-31（1982）
2) 齊藤實：スペース（室内）滅菌消毒法について 空中浮遊菌に関する講演会集p85-91（1976）
3) 川越和四ら：酸化エチレンガスによる建築物内殺菌消毒について 防菌防黴学会第6回年次大会要旨集 p75-77（1979）
4) 川越和四ら：高度な微生物管理を必要とする施設に対する殺菌方法の検討 日本農芸化学会福岡大会講演要旨集 p493-494（1980）
5) 文化庁文化財部：文化財の生物被害防止に関する日常管理の手引き p1-7（2001）
6) 本田光子ら：博物館における木質系収蔵庫のメンテナンスその1 九州国立博物館のIPM活動 2 文化財保存修復学会大会発表要旨集（2006）
7) 山崎久美子ら：伝統行事公開展示等に伴う文化財害虫と付き合う 文化財保存修復学会大会発表要旨集 九州国立博物館のIPM活動 2（2008）
8) 川越和四：建物における有害生物管理について

て 文化財の虫菌害 第61号 p10-17 (2011)

9) 佐藤嘉則ら：古墳などの公開保存施設における微生物制御のとりくみCLEAN LIFE環境文化創造研究 p14-17 (2015)

10) 佐藤嘉則ら：虎塚古墳公開保存施設の管理方法変更による微生物汚染状況の推移 保存科学 No54 p121-132 (2015)

東北芸術工科大学文化財保存修復研究センター

●専門家会議『寒冷地域における遺跡の保存に関する諸問題と対策』

主 催：東北芸術工科大学文化財保存修復研究センター

開催日：平成29年1月15日（日曜日）10：00～12：00

会 場：東北芸術工科大学文化財保存修復研究センター

実施要項

1月15日（日曜日）

09：30 開会

09：30－09：40 開会挨拶（澤田正昭・東北芸術工科大学）

09：40－10：00 英国グラスゴーで開催された石造文化財の保存に関する国際シンポジウム参加報告（石崎武志・東北芸術工科大学）

10：00－12：00 寒冷地域の遺跡の保存に関する諸問題と対策に関する討論

12：00 閉会

Ⅱ センター公開講座

平成28年度文化財保存修復研究センター 連続公開講座「みんなで守っぺ！おらだの文化財」

東北芸術工科大学文化財保存修復研究センターでは、地域の文化財をいかに守り、その活用の技術的課題について地域の方々とともに考え、語り合う場として、「連続公開講座」を開講しています。地域の生活・文化を守り、地域とともに歩むことを目指して、地域に根差した文化財の保存・活用について考えます。

平成28年度では、研究センターの研究員が様々な分野について全5回の講座を開催いたしました。

公開講座一覧

回	講演日	題目	演者
第11回	平成28年6月12日（日）	震災で崩壊した石垣の復旧 －熊本城跡と白河小峰城跡－	教授 北野博司
第12回	平成28年7月16日（土）	正倉院宝物をまもる	客員研究員 成瀬正和
第13回	平成28年10月15日（土）	ラスコー洞窟壁画と高松塚古墳壁画の カビ問題と周辺環境	教授 石崎武志
第14回	平成28年11月26日（土）	資料調査と応急処置について －山形県立博物館「よみがえる古の大寺院『寶幢寺』 至宝展」への取り組みから－	講師 大山龍顕
第15回	平成28年12月17日（土）	日本における油彩画の歴史 －修復事例を中心に－	講師 中右恵理子



第14回 講演会の様子 大山講師

● 第11回 平成28年6月12日（日）

「震災で崩壊した石垣の復旧－熊本城跡と白河小峰城跡－」 教授 北野博司

この度の熊本地震では熊本城跡の石垣や建造物が大きな被害を受けた。城下町の中にあり地域のシンボルでもある城跡の被災は住民の心にも少なからぬ影響を与えている。熊本城跡の現在や東日本大震災からの復旧が進む白河小峰城跡の石垣修理現場を紹介し、歴史遺産としての城郭石垣の価値や修理技術、復旧への道筋を解説した。

● 第12回 平成28年7月16日（土）

「正倉院宝物をまもる」 客員研究員 成瀬正和

正倉院は756年、光明皇太后が聖武太上天皇の遺愛の品を奉獻したことが始まりである。正倉院宝物にはシルクロードで結ばれた国々で作られた美術品が多く含まれ、当時の外国との交流を示す重要な資料でもある。1250年以上にわたって宝物を守るために伝えられてきた伝統的な点検作業（曝涼）や、今日行われている科学調査に基づく正倉院宝物保存の取組みを紹介した。

● 第13回 平成28年10月15日（土）

「ラスコー洞窟壁画と高松塚古墳壁画のカビ問題と周辺環境」 教授 石崎武志

高松塚古墳の壁画は、1972年、奈良県明日香村で発見された。その後、フランスのラスコー洞窟などの保存に関わってきた研究者などの意見を参考にし、現地に保存施設を作り環境管理を行った。2001年に壁画にカビの発生が見つかり、専門家の検討会での議論により、石室の解体、修理が決定した。フランスのラスコー洞窟でも、同じ年の2001年にカビの大発生が見られ、その対策が検討される。これらの遺跡での環境条件、保存対策の違いなどについて解説した。

● 第14回 平成28年11月26日（土）

「資料調査と応急処置について－山形県立博物館「よみがえる古の大寺院『寶幢寺』至宝展」への取り組みから－」 講師 大山龍顕

最上義光の祈禱寺であった寶幢寺は、明治の神仏分離の中で廃寺となった大寺院である。山形県立博物館に寄贈された新出資料には、奈良時代の古写経をはじめとした様々な資料が含まれている。現在、山形県立博物館で開催中の展覧会（9月24日～12月4日）に向けて当センターの東洋絵画保

存修復室が行った、博物館での展示における作品調査と応急処置などによる取り組みについて説明した。

● 第15回 平成28年12月17日（土）

「日本における油彩画の歴史－修復事例を中心に－」

講師 中右恵理子

これまで修復作業に関わった油彩技法の作品を中心に、歴史的に概観しながら技法・材料の特徴や変遷を解説した。また、西洋からの影響や、明治以降、日本で油彩画が描かれるようになってから、日本的な影響が見られる油彩画など、相互の影響についても取り上げた。

著者略歴

森田早織 Saori Morita

現職／東北芸術工科大学文化財保存修復研究センター(役職) 客員研究員

学歴／東京藝術大学大学院 美術研究科 博士後期課程 文化財保存学専攻保存修復日本画 修了 博士
(文化財)

専門／日本画 古典絵画 模写 東洋絵画修復

著者・論文／

「走査型顕微鏡による各種絵絹の表面及び断面観察」文化財保存修復学会第37回大会研究発表要旨集
(共著)、2015年6月、pp.258-259.

「絹本着色古典絵画における基底材に関する研究―描画実験による在来製糸製織技術絵絹の性質検証―」
『東北芸術工科大学紀要第22号』(共著)、2015年3月、pp.10, 68-77.

佐々木淑美 Juni Sasaki

現職／東北芸術工科大学文化財保存修復研究センター(役職) 客員研究員

学歴／筑波大学大学院 人間総合科学研究科 博士後期課程 世界文化遺産学専攻 修了 博士(世界遺産学)

専門／西洋建築史 文化財科学

著書・論文／

佐々木淑美、小椋大輔、安福勝、水谷悦子、石崎武志、「ハギア・ソフィア大聖堂内壁修復に伴う壁材および修復史の調査―北西エクセドラと北ティンパヌムを例に―」、『平成27年度東北芸術工科大学文化財保存修復研究センター紀要No.6, 2016』、2016年5月、pp.8-18.

佐々木淑美、「ハギア・ソフィア大聖堂北ティンパヌム壁の修復史」、*The Journal of Center for the Global Study of Cultural Heritage and Culture, Volume* 4 (2016)、2017年3月.

佐々木淑美、犬塚将英、「煉瓦造文化遺産の保存環境と塩類析出に関する調査―INAXライブミュージアム「窯のある資料館」を事例に―」、『保存科学』第56号、2017年3月、pp.175-187.

石崎武志 Takeshi Ishizaki

現職／文化財保存修復研究センター研究員・教授

学歴／北海道大学地球物理学科修士卒業 理学博士

専門／保存科学、文化財科学、地盤工学

著書・論文／

「博物館資料保存論」講談社 2012

Deterioration of wall of historical stone building in cold region and its protective measures. Proc. 6th International Building Physics Conference, IBPC 2015, Torino, 2015.

Deterioration of Cultural Properties with Earthen Materials and their protective measures, pp.26-29, Proc 2015 International Symposium on Conservation of East Asia Cultural Heritage in Nara, 2015.

浅野敏昭 Toshiaki Asano

現職／余市水産博物館館長

学歴／北海道教育大学旭川校 教育学士 社会学専攻

専門／文化財保存 漁業史

著書・論文／

「北海道積丹半島の漁場遺構」『考古学が語る日本の近現代』小川望、小林克、両角まり編、同成社、2007年、pp.61-82.

「フゴッペ洞窟及び手宮洞窟研究史の概要について」『国指定史跡フゴッペ洞窟保存調査事業報告書』余市町教育委員会、2004年、pp.33-42.

伊庭千恵美 Chiemi Iba

現職／京都大学大学院 工学研究科 建築学専攻 助教

学歴／京都大学大学院 工学研究科 建築学専攻 博士後期課程修了 博士（工学）

専門／建築環境工学

著書・論文／

"Field survey on frost damage to roof tiles under climatic conditions", Chiemi Iba, Ayumi Ueda, Shuichi Hokoi, Structural Survey, Vol.34, No.2, pp.135-149, 2016.

"Effective use of a ground-source heat-pump system in traditional Japanese "Kyo-machiya" residences during winter", Kana Hagihara, Chiemi Iba, Shuichi Hokoi, Energy and Buildings, No.128, pp.262-269, 2016.

片山葉子 Yoko Katayama

現職／東京農工大学大学院農学研究院物質循環環境科学部門・教授

学歴／日本女子大学家政学部家政理学科卒業 農学博士（東京大学）

専門／環境微生物学

著書・論文／

Higher diversity and abundance of ammonia-oxidizing archaea than bacteria detected at the Bayon Temple of Angkor Thom in Cambodia. *Int. Biodeter. Biodeg.* 115, pp.234-243, 2016. Bacterial communities in pigmented biofilms formed on the sandstone bas-relief walls of the Bayon temple, Angkor Thom, Cambodia. *Microb Environ* 28, pp.422-431, 2013. アンコール遺跡の微生物被害 文化財の生物被害の現状と対策 7 日本防菌防黴学会誌 41, pp.255-261, 2013.

川越和四 Kazushi Kawagoe

現職／一般財団法人環境文化創造研究所主席研究員（イカリ消毒株式会社）

学歴／日本大学農獣医学部卒業

専門／文化財の生物劣化被害対策、文化財IPM

著書・論文／

「博物館への挑戦：民博における新しい虫害防止法への挑戦」（規矩地耕一郎と共著）（三好企画、2008年）、pp.113-124. 「SUPPORT OF IPM COMPANIES : PRESENT SITUATION OF METHODS OF MONITORING AND THE USE OF INSECT REPELLENTS FOR PREVENTIVE CONSERVATION : -Integrated Pest Management in Asia for Meeting the Montreal Protocol-」 Tokyo National Research institute of Cultural Properties（規矩地耕一郎と共著）1999年、pp.183-204.

佐藤嘉則 Yoshinori Sato

現職／東京文化財研究所 保存科学研究センター 生物科学研究室長

学歴／東京農工大学大学院 連合農学研究科 博士課程修了 博士（農学）

専門／微生物生態学、保存科学

著書・論文／

Microbial deterioration of tsunami-affected paper-based objects: A case study, pp.142-149, International Biodeterioration & Biodegradation, 2014.

「石人山古墳装飾石棺表面に形成した着生生物群集の構造解析」『保存科学』東京文化財研究所（共著）、2017年、pp.1-14.

研究員一覧

平成29年4月1日現在

○センター長

澤田 正昭 教授／文化財保存修復研究センター／保存科学

○センター研究員

石崎 武志 教授／文化財保存修復研究センター／保存科学

北野 博司 教授／歴史遺産学科兼任／日本考古学

米村 祥央 准教授／文化財保存修復学科兼任／保存科学

柿田 喜則 教授／文化財保存修復学科兼任／古典彫刻修復

杉山 恵助 准教授／文化財保存修復学科兼任／東洋絵画修復

中右恵理子 専任講師／文化財保存修復学科兼任／西洋絵画修復

大山 龍顕 専任講師／文化財保存修復研究センター／東洋絵画修復

長峯 朱里 嘱託研究員／文化財保存修復研究センター／西洋絵画修復

○客員研究員

河崎 衣美 榎原考古学研究所／保存科学

笹岡 直美 古典彫刻修復

佐々木淑美 保存科学

藤原 徹 立体作品修復

森田 早織 東洋絵画修復

和田 浩 東京国立博物館 学芸研究部保存修復課環境保存室

脇谷総一郎 奈良文化財研究所埋蔵文化財センター 保存修復科学研究室

平成28年度
東北芸術工科大学 文化財保存修復研究センター紀要

平成29年5月31日発行

東北芸術工科大学
文化財保存修復研究センター

〒990-9530 山形県山形市上桜田三丁目4番5号

TEL 023-627-2204

FAX 023-627-2303

E-mail iccp@aga.tuad.ac.jp

ホームページ <http://www.iccp.jp>