

エジプト西方砂漠ハルガオアシス、 アル・ザヤーン神殿遺跡の保存調査

Conservation of El-Zayyan Temple Site in Kharga Oasis, Egypt

塚本 敏夫 (公益財団法人 元興寺文化財研究所 総括研究員)
TSUKAMOTO, Toshio Chief Researcher, Gangoji Institute for Research of Cultural Propertie

1. はじめに

アル・ザヤーン神殿遺跡は、エジプトアラブ共和国ニューバリー県西方砂漠ハルガオアシスに位置する。2001年度から継続的に調査が進められている¹⁾²⁾。本調査は遺跡探査によって、新たに神殿の西側で見つかった遺跡の発掘調査を主目的とし、神殿遺跡の保存調査や2遺跡の有機的な関係や当時の土地利用を含めた周辺の景観復元をも視野にいたした総合調査を行っている。現在エジプトの政情不安のため中断しているが、本報告では発掘調査と並行して進めているアル・ザヤーン神殿の保存調査の概要について報告する。

2 保存調査の構成

本調査での保存調査は大きく3つの調査からなっている。①アル・ザヤーン神殿遺跡の保存調査②発掘調査で発見されたアル・ザヤーン西遺跡の保存調査③遺跡周辺の古環境の復元の3つを大きな柱に調査を実施している。

3 第一期の保存調査の概要 (2003~2006) とアル・ザヤーン神殿遺跡の問題点

アル・ザヤーン神殿遺跡は保存状態が悪く、日乾煉瓦の外壁は特に劣化し、一部破損しており、崩壊寸前の状態である。記録に残っている範囲で2度の修復が行われているがその修復履歴は明らかではない。日本隊の調査前には神殿の一部の平面プランの模式図が存在するのみで、正確な図面がない状況であった。そこで、第1期の調査ではアルザヤーン神殿遺跡の保存調査として、神殿の3Dデジタルアーカイブを行い、現状の正確な記録保存を行った¹⁾。その結果、現在の神殿のプランの構成での問題点が明らかになった。

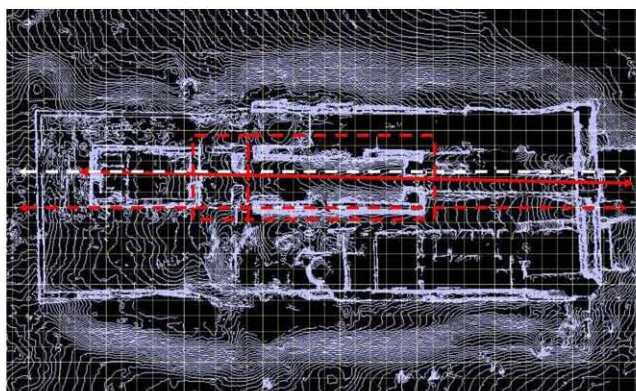


図1 神殿軸 (実線) と外壁軸 (点線) のズレ

その問題点として4点があげられる。①周壁と内部の神殿遺構の基準軸がずれている (図1)。②至聖所が周壁の塔門より低い位置にある。③遮壁を伴うプロナオスが至聖所及び前室の手前に存在したのか明らかでない。④前室または前廊の構造が後世の改変のため不明である。

修復上の問題点としては①列柱材が残っているのに、至聖所手前の前室に柱が存在しない。②至聖所の天井石の構成がおかしく、平面プランが正しいかの検討が必要。③前室または前廊の塔門の石材が確認できるが門が存在しない等の問題点が指摘できる。また、1980年代の修復の際に集められたと思われる石材が周壁の北側に大量に集積放置されている。その他細かい石材が神殿内外に散在しており、不完全な修復であったことが伺われる。

以上の問題意識から神殿の保存修復計画を立案する上で、最初の神殿プランがどのように増改築を経て変遷していったのかを明らかにすることが保存調査の課題となった。

4 第二期の保存調査の概要 (2007~2010)

第2期の神殿の保存調査では①オリジナルの神殿の解明、改修履歴の解明と②神殿遺跡の保存対策のための基礎データの収集を主目的として調査を行った²⁾。

4-1 神殿の改修履歴の解明

① 神殿内部のレーダー探査

神殿の修復履歴の解明のため、神殿内部のレーダー探査を実施した。その結果、至聖所に向かって一段下がるスロープ状の箇所が確認された。このことは現在南側を向いている神殿の向きに問題があるか、下層に別の神殿跡が存在する等の新たな問題点が見つかった。

② 神殿のC¹⁴年代測定

日乾煉瓦に含まれる藁に着目して、C¹⁴年代測定による日乾煉瓦の製作年代の解明を目的に、3箇所からサンプリングを行った(図2)。併せて、発掘調査で見つかった石灰を焼いている可能性が指摘されている窯状遺構が神殿の変遷のどの段階で造られたかを解明する目的で西遺跡から出土した土器に付着した炭化物のサンプリングを行った³⁾。

内壁の日乾煉瓦は大きく分類すると3層以上に分類でき、最下層が藁を含まない煉瓦、中層が藁を少し含む煉瓦、最上層が藁を多く含む煉瓦で構成されている。モルタルは最上層の多く藁を含む煉瓦に伴って塗装されたと思われる。その中で、モルタルのC¹⁴年代測定の結果は1748±28BP(1σ)、更正暦年代(2σ)はcalAD230~384(100%)で、窯状遺構出土の土器の年代観とほぼ一致する。

現在残っているモルタル塗装の壁はコプト期の改築に伴って改築された可能性が高まった。正確な測定結果を待たなければ確定はできないが、中層がローマ皇帝アントニウス・ピウス(在位138-161AD)により修復された記録が残る時期の修復である可能性が高く、ローマの穀倉地としての農地開発により、麦畑化が進んだことが泥煉瓦の藁の存在からも裏付けられよう。

現在、サンプリング箇所を増やして測定中であり、今後の測定結果に期待したい。



図2 C¹⁴サンプリング箇所

4-2 神殿の保存環境調査

神殿遺跡は砂漠地域における強い日照と寒暖差に加えて、強い強風を受ける物理劣化しやすい環境にある。降雨はほとんどなく、低湿度であるが、オアシス地域特有の湧水地の縁辺に立地し、地下水位が高く周辺には塩析も見られることから、温湿度の日較差により、結露が想定された⁴⁾。そこで、神殿を構成する石材および日乾煉瓦壁の保存対策のため①神殿遺跡が受ける日照や風力を把握するため、気象ステーション(気象ステーション: HOBO マイクロステーションロガー、日射スマート センサー、風向・風速スマート センサー)を隣接する民家屋上に設置して15分間隔で記録を行った。また、②神殿の部位による温湿度の変化の状況を把握する目的で、2007年から温湿度計(温湿度記録計: LASCAR ELECTRONICS LTD. EL-USB-2)を12箇所に設置して3年間にわたる温湿度データを得た。さらに、③泥レンガおよび石材の表面温度変化を赤外線サーモグラフィ(Thermo Shot F30: NEC Avio製)を用いて調査を行った。

① 遺跡周辺の環境調査

遺跡周辺の環境状況（風向、風速と日照など）を把握するため、2008年12月気象観測ステーションを設置し、調査を開始した。15分間ごと半年間にわたる結果を記録し、解析した。気象観測ステーションには、HOBO製のマイクロステーションロガー、日射スマートセンサー、風向・風速スマートセンサー、温湿度計（後述：1時間ごと1年間計測）を用いた。なお、風速は1分後ごとに計測した値の平均値と最大値を15分ごとに記録する設定とした。設置箇所の条件としては、遺跡周辺で風向を妨げるものがなく、地面からの高さで遺跡最上部と同程度以上が望ましい。そのため、他の建造物や木などの影響が少ない神殿の南東にある民家屋上を選択した（図3）。



図3 気象ステーション

環境調査結果

日照 冬季の日照は600~700 w/m²であったが、4月以降1000 w/m²を超える非常に強い日照を受けることがわかった。また、日照時間は8時間から12時間であった。

温湿度 強い日照に伴い、温湿度は大きく変化する。2009年では、最高温度52.5度、最低温度3.0度、平均温度27.6度、最高湿度79.5%RH、最低湿度1.5%RH、平均湿度25.9%RH、1日の中での変動（日較差）の最大値は31.5度、54.5%RHであった。

風速・風向き 遺跡周辺の平均風速は、2.2 m/sであったが、主に午後10 m/sを超える突風がたびたび発生していた。砂嵐（ハムシーン）の時期である3-5月には15 m/sを超える突風が発生した。突風は砂嵐時期以外でも常時発生することが明らかとなった。また強風の風向は、主に北から東北で、遺跡周辺の木が南側に傾いている事象と整合性を得た。

② 神殿の温湿度調査

遺跡周辺の環境調査により、遺跡は強い日照、大きな温湿度変動、強風で大きな影響を受けていた。一方、遺跡は複雑な形状をしており、周辺環境がもたらす影響は遺跡各所で異なると予測される。そこで遺跡各所の温湿度変動を把握するため、2007年12月温湿度記録計を設置し、1時間ごと3年間にわたる結果を記録解析した。

温湿度計 温湿度計はUSB型温湿度計（LASCAR ELECTRONICS LTD）型式：EL-USB-2 温度測定範囲：-35~+80度、0.5度湿度測定範囲：0~100%RH, 1%

計測地点 計測地点は計12箇所を計測箇所を図4に示す。

設置箇所の環境条件はNo.11, 17は砂上に、No.12, 13, 14, 19は石材上に、No.15, 16, 18, 20, 21, 22は日乾煉瓦上に設置し、砂や石材で周辺環境を再現した。尚、井戸内に設置したNo.17に関しては回収のため、プラスチック袋に入れて計測した。

計測結果 12箇所の温湿度記録の最大・最小・平均値を表1に示す。

温湿度調査から温度は平均温度が約28度、最大温度58.5度、最小温度2.5度で、最大日較差35度、最小日較差7.5度であった。湿度は平均湿度が約27%、最大湿度91%、最小湿度5.5%で、最大日較差48.5%、最小日較差12.5%であった。

日較差は年間を通じて大きい、高湿度になる時期は限られており、1年中で最も寒い1月中旬頃である。予想通り直接日照を受ける箇所は大きな日較差となっている、しかし、No.14とNo.15の比較では石材に比べて日乾煉瓦の方が大きな日較差を示した（図5）

日較差は年間を通じて非常に大きい、高湿度になる時期は少なく、高湿度状態は最も寒い1月頃に発生した。一方、データから露点はその日の最低温度を下回る日は年に数回で、他の砂漠地帯の遺跡環境調査⁵⁾で報告される結露が毎日発生している状況と本遺跡環

境はやや異なる。この傾向は水分供給の豊富な河川流域の遺跡環境⁶⁾と異なるオアシス特有の遺跡環境に由来する可能性もあり、砂漠地域の河川流域とオアシス流域で異なる遺跡環境に対応した保存処理を構築する必要性を示唆する。

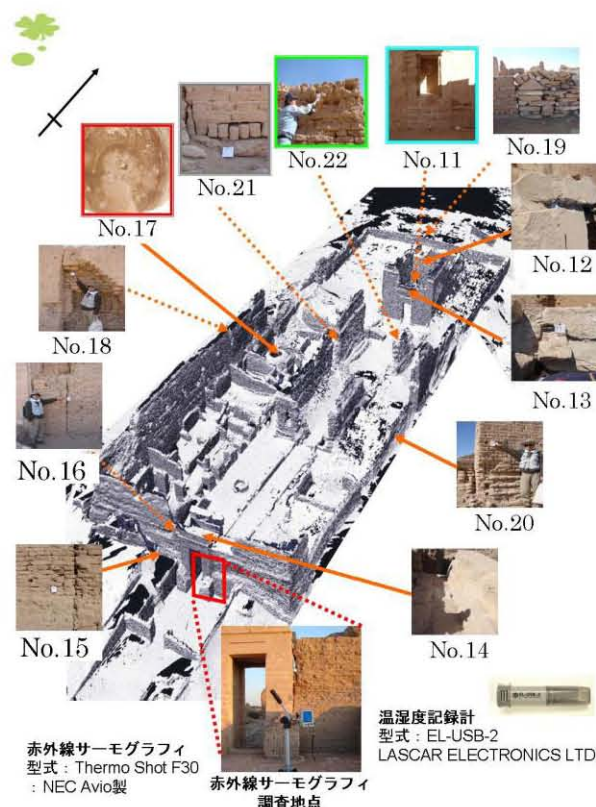


図4 温湿度計・赤外線サーモグラフィ計測地点

表1 温湿度の最大・最小・平均値

	Temperature/°C			Humidity/%		
	Max	Min	Avg	Max	Min	Avg
No.11	41.5	11.5	28.0	48.5	14.0	26.9
No.12	53.0	4.5	27.6	88.5	5.5	27.6
No.13	48.5	3.5	26.6	90.0	5.5	28.9
No.14	44.5	6.0	27.3	84.0	8.0	27.7
No.15	49.5	10.5	31.0	62.0	8.0	20.6
No.16	44.5	7.0	26.2	69.0	10.5	29.3
No.17	77.5	8.5	26.2	89.5	7.5	32.9
No.18	44.5	9.0	28.7	69.5	9.0	25.9
No.19	47.0	2.5	25.8	91.0	6.5	30.3
No.20	46.0	6.5	29.0	66.0	9.0	23.8
No.21	49.5	9.0	28.8	70.0	8.0	24.9
No.22	58.5	4.5	28.1	84.5	5.5	27.2

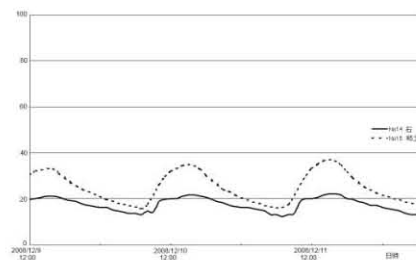


図5 No.14とNo.15の温度変化

温湿度計回収を行うためにポリエチレン製の袋に入れた No. 17 では、非常な最高温度が観測された。透明な袋の集光作用による高温と考えられるが、表面で集光する可能性がある保護剤（樹脂等）の使用は、遺構の部材を高温とし劣化を進める可能性を示唆される。

No. 11 の測定箇所は砂漠地帯であるため 40℃を越す最高温度を示しているが、日較差は最も小さく、最高湿度も 50%を下回る箇所であった。日較差が小さい要因として周囲を石材で囲まれ、日照の影響を最も受けていないためと考えられる。遺跡に当たる日照をどのように減少させるかが、遺跡保存にとって重要な指針である。

直接日照を受ける箇所では、南側に遮蔽物がある No. 14、16、18 や日照を受けない No. 11 に比べて大きな日較差（グラフの縦軸変動）となっており、強い日照が大きな日較差の原因といえる。同じ南壁の日照側 No. 15 と日照を受けない側 No. 16 の平均温度は、日照により 5℃程度の温度差が生じた。

方角による違いでは日照条件や設置場所の条件が完全に同一にでないが、平均温度で北<東<西<南と一般的な方角と日照強度の関係が成立した。設置箇所の高さによる違い (No. 21、22) は、先に述べた日照の影響を受けるため、最高温度で 9℃の差があるにもかかわらず、平均温度は同じ程度の値を示した。遺跡への日照の影響による温湿度変動は一様でないが、遺跡の南側や日照を受ける遺跡の上部構造における劣化進行は、日照を受けにくい部分より早くなると考えられる。

③サーモグラフィーによる神殿の表面温度測定

保存修復の方法や修復材料の選定の基礎データとして温湿度計による点的な計測調査結果だけでなく、赤外線サーモグラフィによる面的な表面温度の測定を気温変化の激しい夏と冬にそれぞれ計測を行った。計測は直接日照を受け、日乾煉瓦と石材の表面温度の日較差を比較できる外壁入口門の定点観測を行った（図4）。

赤外線サーモグラフ（Thermo Shot F30：NEC Avio製）を用いて2009/12/10と2010/09/06に日出から1時間間隔で日没まで記録を行った（図6,7）。

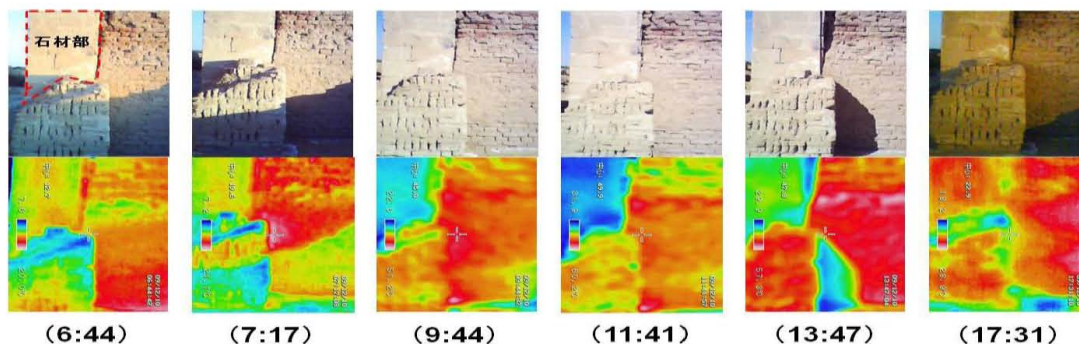


図6 外壁入口門での石材と日乾煉瓦部分の表面温度分布の経時変化（09/12/10）
（上段：RGB画像、下段：面温度分布）

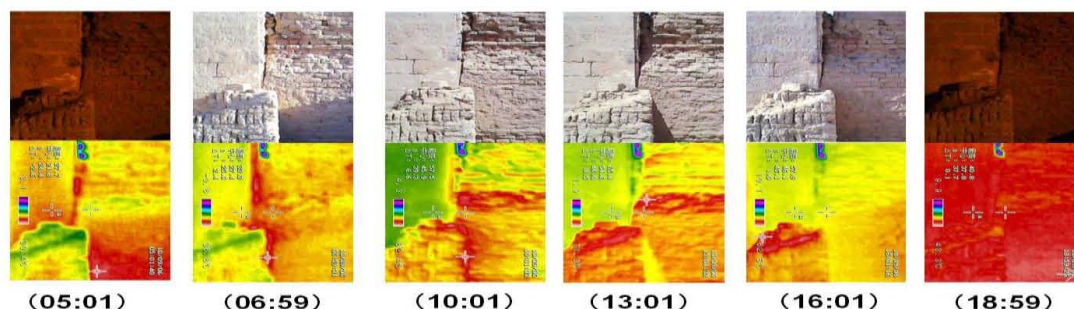


図7 外壁入口門での石材と日乾煉瓦部分の表面温度分布の経時変化（10/09/06）
（上段：RGB画像、下段：面温度分布）

測定結果

冬季の12/10において温湿度計で最高気温に達する11時40分前後では日乾煉瓦部の最高で約60度、石材部で約32度と約30度に較差を生じている（Fig. 5-16）。最低気温に達する7時17分前後では日乾煉瓦部と石材部では約15度の較差を生じており、日照の影響でも15度前後の較差を生じている（図6）。

夏季の09/10で最高気温に達する13時前後では日乾煉瓦部の最高で約71度、石材部で約46度と約25度の較差を生じている。最低気温に達する5時前後では日乾煉瓦の最高で約30.5度、石材部で約24.5度は約6度の較差を生じているが、場所により日乾煉瓦が石材部より低い値を示し逆転している箇所がある。日没後の19時前後では日乾煉瓦と石材はほぼ40℃前後では較差がなくなっており、日没後は日乾煉瓦と石材は較差が少なく徐々に温度が下がっていく傾向である。日照の影響でも40度前後の較差を生じている（図7）。

赤外線サーモグラフィーの結果から夏季も冬季も石材部に対して日乾燥瓦部が温度較差が大きく劣化し易いことが判明した。砂漠地帯においては建築材料としては日乾燥瓦より石材が非常に優れていることが測定結果から見て取れる。このことはアルザヤーン神殿の劣化状況でも石材製の至聖所や門に較べて日乾燥瓦製の外壁等の劣化崩壊が著しい状況から窺い知れる。ギザやルクソールなどの中心部の神殿が全て石材で造られていることには気候的な条件から最も適した材料を選定していることが窺える。それに対して、オアシス地帯では石材の確保がままならないために重要な部分以外は日乾燥瓦をベースに化粧としてモルタル塗装を施しており、そのモルタル塗装が高温化対策としても機能していたと推定される。しかし、割れやすいモルタルはメンテナンスが必要であり、使用されなくなった神殿は劣化して崩壊して行くであろう。

したがって、赤外線サーモグラフィーの結果から日乾燥瓦の保存修復での劣化対応策として、表面温度の上昇を抑える比熱の大きな材料でのコーティングと日照を抑える覆い屋等の保護施設が必要と考えられる。

5. おわりに

砂漠地域の遺跡は日較差が大きく、現状では埋め戻しが最善の保存処理方法とされている。しかし、埋め戻しは遺跡の再考や活用にとってオリジナルでなく写真や実測などのデジタルアーカイブズを用いる制限を加える。オリジナルをより活用するためにも、砂漠地域の保存処理方法が求められている。

本遺跡における温湿度調査結果は、石材にたいして日乾燥瓦が劣化し易いことが明らかになった。高湿度状態の期間が年間を通してではなく冬季に発生していることや表面の保護剤が悪影響を与える可能性を示唆する。この結果を受けて、次のクールでは本格修理に向けた修復方法や修復材料の選定のためにテストピースによる暴露試験や神殿各部の詳細な劣化状況調査を行いその結果を総合的に判断して保存修復計画案を立案したい。

本遺跡における保存調査は、まだ始まったばかりであり、環境調査も温湿度調査結果及び気象観測データの更なる蓄積と解析が必要である。得られる様々な環境調査の結果を砂漠（オアシス）地域における遺跡保存に結び付けていくことが今後の課題である。

参考文献

- 1) Hiroyuki Kamei and Katsura Kogawa, *El-Zayyan 2003 - 2006* (Tokyo 2007)
- 2) Hiroyuki Kamei and Tomoaki Nakano, *El-Zayyan 2007 - 2010* (Tokyo 2012)
- 3) 塚本敏夫・山田卓司・中村俊夫・亀井宏行、第16回西アジア発掘調査報告会発表要旨集、p. 16-19 (2009)
- 4) Jian-Jun Qu, Guo-Dong Cheng, Ke-Cun Zhang, Jia-Cheng Wang, Rui-Ping Zu and Hai-Yan Fang, "An experimental study of the mechanisms of freeze/thaw and wind erosion of ancient adobe buildings in northwest China", *Bull. Eng. Geol. Env.*, **66**, 153-159 (2007).
- 5) 西浦忠輝・松本健・藤田浩明、文化財保存修復学会 第28回大会研究発表要旨集 p. 264 - 265 (2006)
- 6) 西浦忠輝・内田悦生・西坂朗子・吉村作治、文化財保存修復学会 第28回大会研究発表要旨集 p. 48-49 (2006)