

エジプト砂漠地域の気象環境と文化遺産の保存

西浦 忠輝 *

The Weather Environment in Egyptian Desert Areas and Conservation of Cultural Heritage

Tadateru NISHIURA*

[Abstract]

The environmental conditions of two archaeological sites in Egypt were discussed. One site is the excavating site which is located on the top and side of a hill in Abusir. Air temperature, air humidity, sunshine strength, precipitation, wind direction, wind velocity, and temperature of the surface and inside of stone were measured by a computerized measuring system.

Since the site is located in typical desert area, it rains little and average humidity is low. However, diurnal variation of temperature and humidity is very large, and they are in inverse proportion. In such a condition, an extreme dew condensation occurs, which causes very rapid deterioration of the remains.

In general, water is the greatest factor of deterioration of every material. Therefore, ancient remains can be well preserved in the underground of desert area where almost no water is supplied. Once the site is excavated, however, the remains are exposed to the atmosphere and suffer from the penetration of dew condensation water, which leads to rapid deterioration of the remains.

The other site is the burial chamber of the mastaba of Idout in Saqqara.

The burial chamber, in which ancient mural painting of the 24 century B.C. remains with fresh color, is fifteen meters under the ground. Temperature and humidity have been measuring at four points (outside and inside of the chamber) by using data loggers.

It reveals that the temperature and humidity inside the burial chamber are extremely stable, which makes it possible for the mural painting to remain in a good condition.

1 はじめに

エジプトに限らず砂漠地帯(乾燥地域)において遺跡を含む埋蔵文化財が良い状態で遺されてきたのは、その乾燥した環境によるのである。一般にほとんどの物質の劣化には水が大きく関与するので、水分のほとんどない砂漠地帯の地中に埋もれていた古代遺跡が今まで遺されてきたのである。水こそ生命の根源である。逆に水の無い世界はあらゆる生命が絶え、時間が止まり、そして古代が眠っているのである。しかし、いったん遺跡が発掘されて大気にさらされると、永い眠りから覚め、急速に劣化が進行する。その原

* 国士舘大学イラク古代文化研究所 (Kokushikan University, The Institute for Cultural Studies of Ancient Iraq)

因はもちろん水である。その水はどこから来るのか。雨も確かに降るが、それはきわめて少ない量である（だから砂漠なのだ）。ではどこからか？それは空気からである。砂漠地域では1日の中で気温が大きく変化する。夏、冬で気温に差はあるものの、毎日20℃以上の温度差を年中繰り返している。この温度の変化に伴って、湿度が大きく変化する。夏では特に差が大きく、最高が90%以上、最低が5%以下となる。晴れの日が続く砂漠地帯では放射冷却により遺構表面が大気以上に冷却されるため、湿度が高い早朝に結露が起きて水が供給されるのである。

さて、それでは地下埋葬室などではどうであろうか？砂漠であっても湿度はかなり高くなり、その影響が見られる。しかし、温度は極めて安定しているので、湿度が高くない場所では理想的な環境となり、古代壁画が色鮮やかに残される。サッカラのイドウトの地下埋葬室の壁画はその典型例といえることができる。

ここでは、エジプト、カイロ郊外の、アブシール南丘陵遺跡ならびにサッカラのイドウトのマスタバの地下埋葬室における、環境計測結果について報告する。

2 アブシール南丘陵遺跡における環境計測

2.1 アブシール南丘陵遺跡

エジプト、カイロ郊外のアブシール南地域（サッカラ北地域）にあるアブシール南丘陵遺跡の発掘は早稲田大学の調査隊により1991年から行われており、この丘陵が古代エジプト王朝時代から極めて重要な「聖なる丘」であったことが明らかとなっている。遺跡からは世界最古級（紀元前26世紀頃）の大型石積み遺構やシャフト（竪坑）、中王国時代（前19世紀頃）の岩窟遺構、第18王朝中期の王・アメンヘテプ2世（前1431～1405年）およびトトメス4世（前1405～1395年）に関わる日干煉瓦建造物遺構と、第19王朝・ラメセス2世（前1279～1213年）の第4王子・カエムワセトに関係した石造建造物ならびにその付属施設（日干煉瓦家屋）の遺構などのほか、多くの貴重な遺物が発掘されている。また、発掘調査と併行して、発掘された貴重な遺構、遺物の保存、修復、整備、活用についての調査研究が行われている。

遺跡は完全な砂漠地域にあり、周囲より30mほど高い丘の頂部および斜面にある。岩盤を砂が覆っている状態で、草、木などの生育は全くない。強い太陽光と風をまともに受ける状況にある（Fig.1、2）。



Fig.1 アブシール南丘陵遺跡

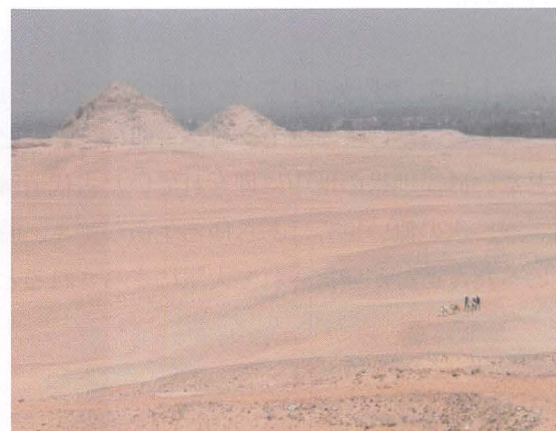


Fig.2 アブシール南丘陵遺跡周辺

2.2 計測方法

コンピュータ制御無電源(電池稼働)連続自動環境計測システムにより、1時間毎に自動計測し、データはデータロガー(データ記憶装置)のメモリーに集積される。一年に一度データを吸い上げ、それを解析、考察する。計測項目は下記のとおりである。

外気温度(°C) 外気湿度(%) 日照強度(kw/m²)

雨量(mm/h) 石表面温度(°C) 石内部温度(°C)

風向(deg) 風速<1時間毎の最大風速(m/s)>

計測システムは、遺跡内の監視小屋の屋上に設置した(Fig. 3)。なお、本計測における石表面/内部の温度とは、実際には監視小屋の屋上セメントモルタル層の表面および内部2cmの温度である。



Fig. 3 環境計測装置(センサー部)

2.3 計測結果

主な計測結果を Fig. 4-9 に示す。本計測結果から得られた知見は下記の通りである。

- ・外気温度は概ね季節変化に伴って変化するが、一時的に急上昇することがある(Fig. 4)。
- ・石表面温度は、年変化は外気温度と一致するが、日変化は大きく、その幅は外気温度の約2倍で、特に高温部で大きい。これは強い太陽の直射による(Fig. 5)。

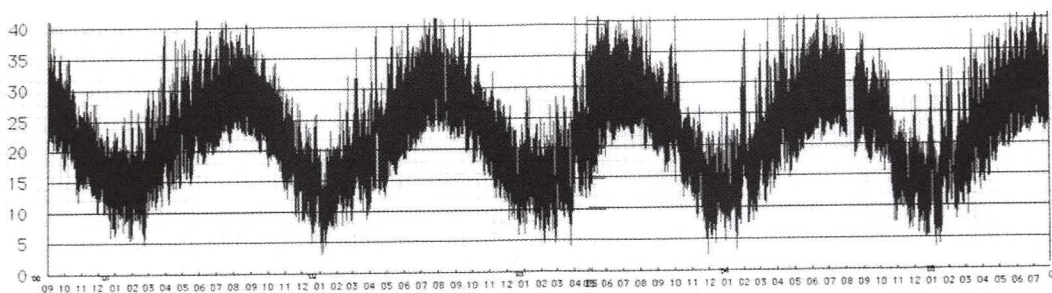


Fig. 4 外気温度

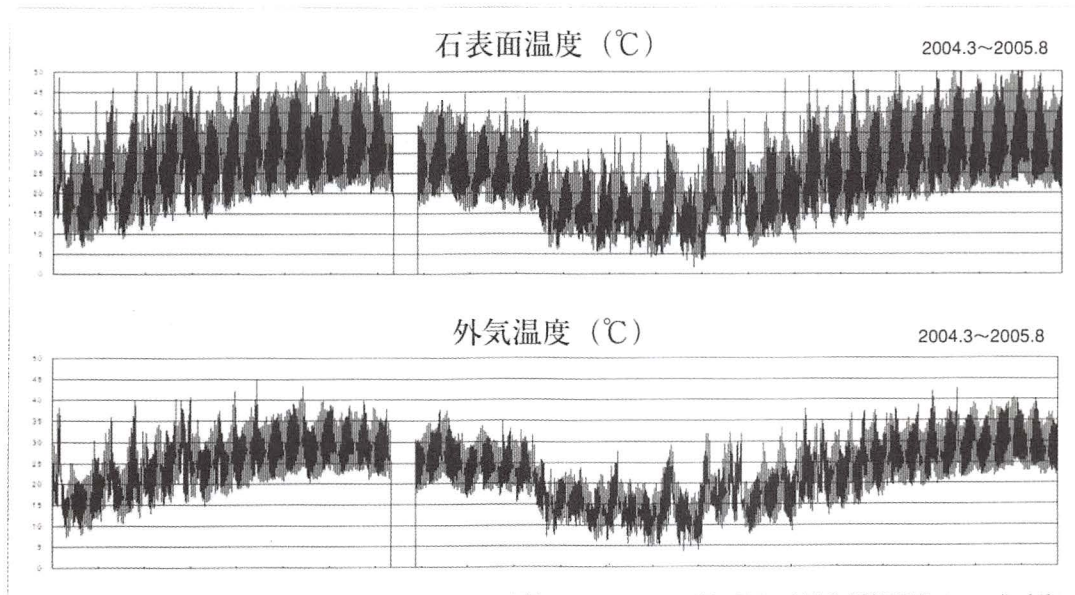


Fig. 5 石表面温度と外気温度の比較

- ・外気湿度の年変化は、外気温度とちょうど逆の形で季節変化している。しかし、日変化がきわめて大きく、遺構に対しては日変化の影響がはるかに大である。湿度の大きな日変化は結露現象をもたらすからである。外気湿度の日変化は外気温度と完全に逆比例しており、温度の上昇が大きいと湿度は大きく低下する。また、温度の低下が大きいと湿度は大きく上昇する。このような環境下では、きわめて大きな結露現象が起こる (Fig. 6)。Fig. 7 は 1 日の温度、湿度の変化と岩石表面層の含水率の変化を示したものである (含水率測定は内田悦生氏 (早稲田大学) による)。早朝に結露水が岩石に浸透し、昼間に急激に蒸発していることがわかる。
- ・日照量については、曇天の少ない砂漠地帯であるため、概ね日照時間の差が日照量の差として反映されている。

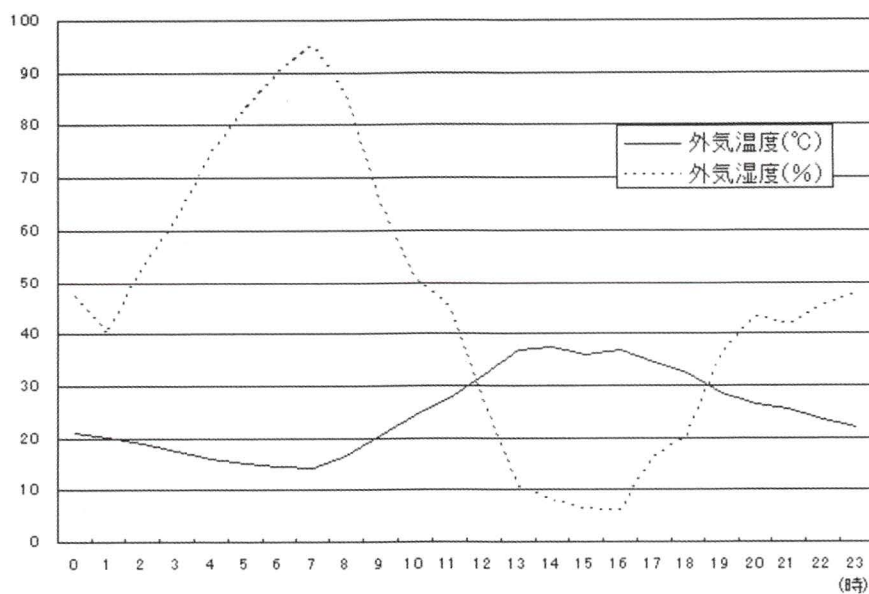


Fig. 6 外気温度と外気湿度の日変化

- 0.5mm以上の降雨があったのは年間わずか4日間で、総雨量も9mmときわめて少ない。カイロ空港の年間降雨量は26.7mm（1971～95年の平均値。5～11月はほぼ0mm<理科年表2003より>）である。遺跡に設置した雨量センサーでは0.5mm未満の降雨は測定不能であることから考えて、年間9mmで、12～2月の4日間のみ降雨という計測結果は妥当である（Fig. 8）。
- 降雨量が少ないということは、遺跡の保存の観点からは大変な好条件である。しかし、近年雨量は増加傾向にあるといわれている。今後、気象変動の影響を受けて急激に雨量が増加したりすると、きわめて危険な状態となろう。

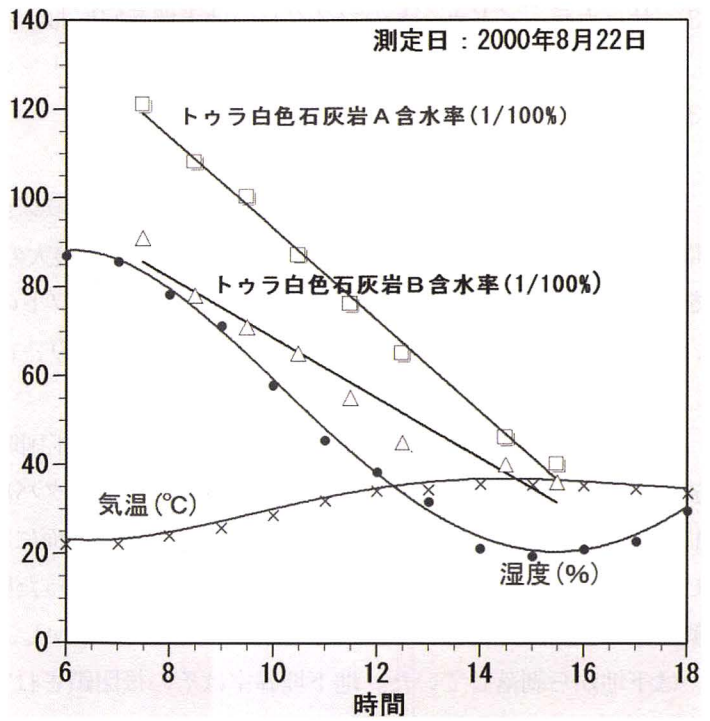


Fig. 7 1日の温度、湿度変化と岩石表面含水率の関係

- 風向は基本的には北西～北であるが、冬場には南からの風も吹く。東からの風はほとんど吹かない。月間最大風速は年間を通して10～20 m / 秒と決して小さくはないが、丘の頂部という環境を考えれば、特に大きいということはない（Fig. 9）。

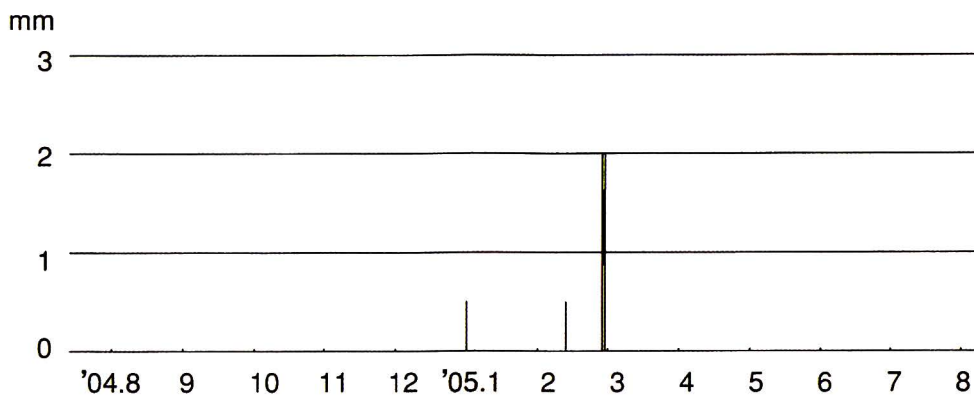


Fig. 8 雨量

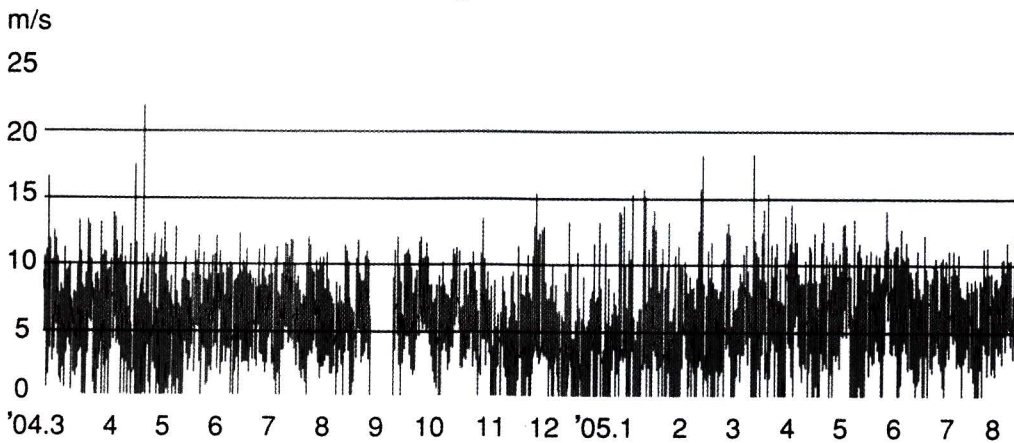


Fig. 9 風速

3 サッカラ、イドウトのmastabaの地下埋葬室における環境計測

3.1 イドウトのmastabaの地下埋葬室

サッカラには、最古のピラミッドとされる第3王朝のジョゼル王の階段ピラミッドをはじめ、初期王朝時代から末期時代までの多くの墓があり、エジプトで最大の墓域である。mastabaとは、腰かけ（ベンチ）を意味するアラビア語で、形が似ていることからエジプトの墓がそのように呼ばれている。イドウトというのは、mastaba墓の所有者（埋葬者）の名前であり、古王国第5王朝最後の王ウニスの娘といわれている。

このmastabaは、紀元前2360年ごろとされる。古王国時代では、ピラミッドが王の墓、mastabaが貴族や王の家族などの墓であった。地下埋葬室は、mastaba墓の天井部より約13mの地下にあり、南北約10m半、東西約4m半、高さ約3mの空間である。壁面に石膏プラスターで下地を作り、そこに、肉、鳥、ビールなどの供物や供物リストなど被葬者の安寧を願った壁画が描かれている。1935年に発掘され、色鮮やかな壁画が発見されて、大きな注目を集めた。しかし、発掘時点ですでに、壁画面が母岩ごと、あるいは下地から剥落していた。地下埋葬室はその後閉鎖されていたが、2003年の調査で剥落が更に急速に進んでいることが明らかとなり、2005年からその保存を進めているところである（Fig. 10-12）。

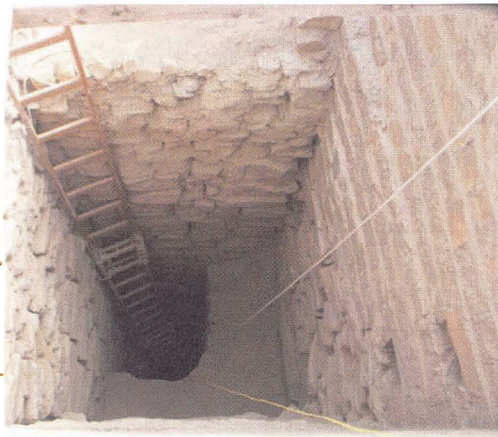


Fig. 10 地下埋葬室に至るシャフト

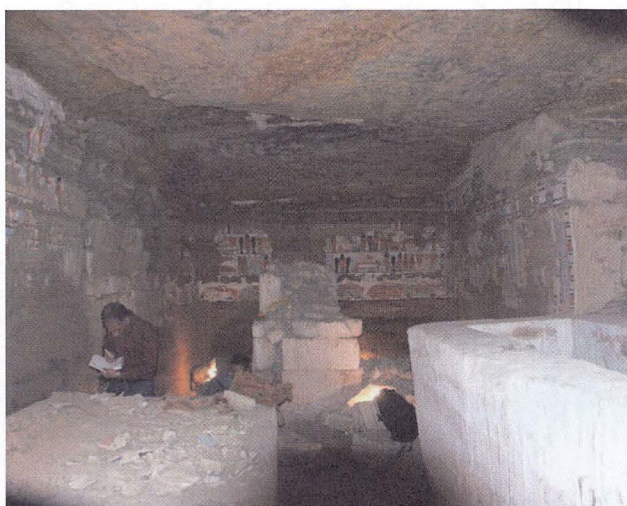


Fig. 11 地下埋葬室

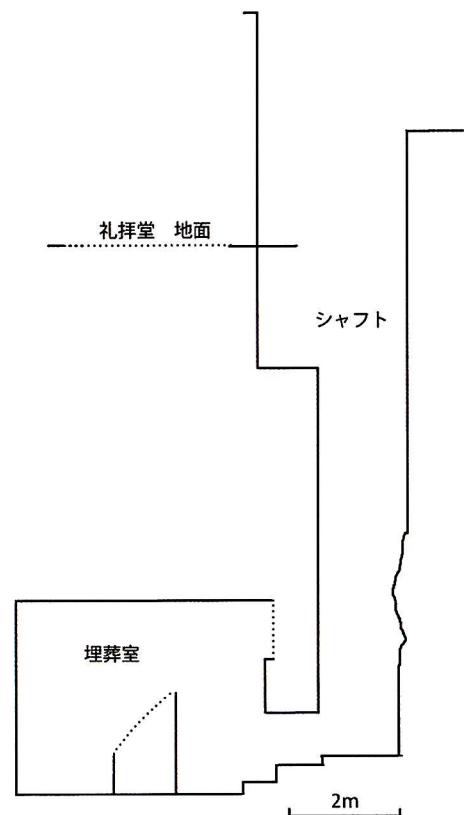


Fig. 12 断面図

3.2 計測方法

温度、湿度環境を調べるために、外部、シャフト（地下埋葬室に通じるたて坑：上部約3m四方、底部1.3m×1.2m、深さ約12.5m）の底部（地下埋葬室の外側）、地下埋葬室内（入口）、地下埋葬室内（最奥部）の4か所に、温度・湿度計測器（データロガー）を置き、1時間ごとの自動計測を継続している（Fig. 13）。

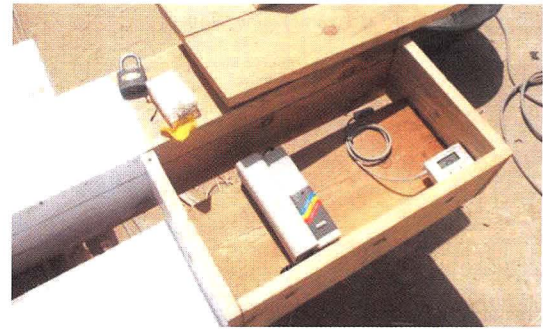


Fig. 13 データロガー（木箱内右下隅）

3.3 計測結果

ここでは、外部（外気）と地下埋葬室内（最奥部）における計測結果を Fig. 14、15 に示す。

サッカラ地域は砂漠地帯であり、温度、湿度の日較差がきわめて大きい。屋外では最高温度と最低温度の差は20℃近くある。温度の下がる早朝には湿度は90%前後にまで上がり、強い日照によって温度の上がる日中には10%前後まで下がる（Fig. 14）。夜間は放射冷却によって岩体などの表面温度が外気温度より下がるため、早朝に結露現象が起こる。

一般に地下埋葬室内では温度、湿度は日較差、年較差ともに小さくなるが、イドウトのマスタバの地下埋葬室の場合はそれがきわめて顕著で、温度は年間を通して $23 \pm 1^\circ\text{C}$ 、湿度も $55 \pm 7\%$ となっており、まさに理想的な環境である（Fig. 15）。この環境こそが、4400年もの間、新鮮な壁画の色を保ってきた要因と考えることができる。

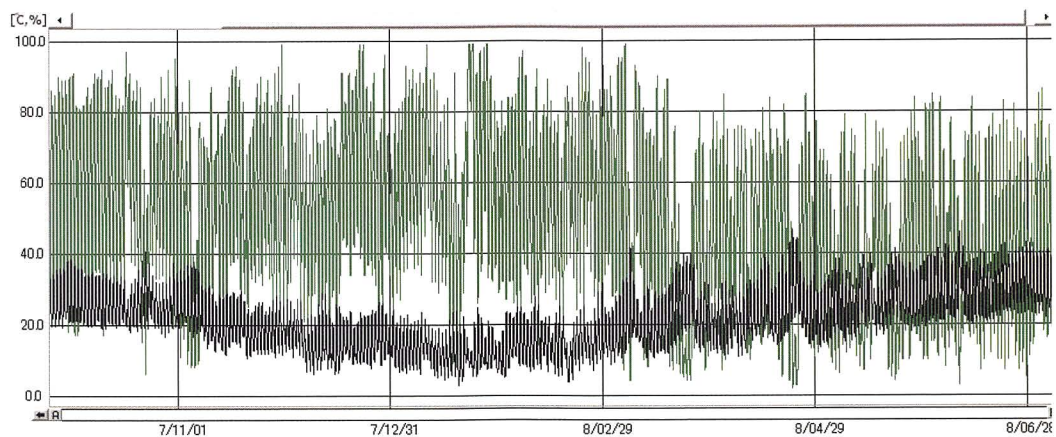


Fig. 14 外気の温度と湿度

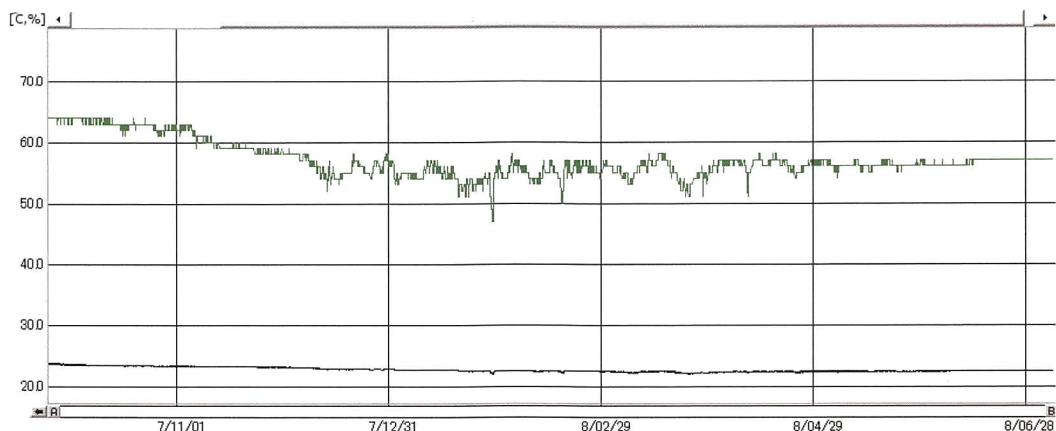


Fig. 15 地下埋葬室内の温度と湿度

エジプトの多くの地下埋葬室では、温度は安定しているものの、湿度が比較的高いのが一般的で、ネフェルタリ王妃の墓（ルクソール）などでもカビの問題があることが知られている。砂漠地帯であっても、地中にはかなりの水分があり、その影響を受けるのが普通であるが、イドウトのmastabaの地下埋葬室の場合は、幸いにも地中水の影響をあまり受けていないということができよう。今後、今の壁画の色の新鮮さを保つためには、この環境を維持することが必要である。

4 おわりに

砂漠地域の乾燥した埋蔵環境下では、遺構、遺物がきわめてよく保存され、貴重な文化遺産が発掘される。しかし、発掘直後から急速に劣化し、崩壊、消滅の危機にさらされる。

単純に保存の観点だけから見れば、発掘した遺跡をそのまま再び埋め戻すのが最適の方法であり、更に言えば、そもそも発掘しないのが最善の保存方法ということになる。しかし、文化遺産は、その存在が認識され、評価され、人類の貴重な財産として共有されることによって、初めてその価値を有すると考えるべきであって、遺跡を発掘調査、研究して人類の歴史を解明し、また遺跡を広く人々に公開して活用することは人類の文化活動そのものということができる。

発掘された遺跡を保存するということは、発掘時の状態を維持すること、すなわち、劣化を防ぐ（遅らせる）ことである。そのためには、劣化要因を除去（縮小）することが基本である。したがって、まず、劣化要因、過程を知ることが必要である。環境面からそれを探ることがきわめて重要であり、今後、より詳細な調査、研究を進めていきたい。

本研究には、「文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業（平成20年度～平成24年度）」によって行われた成果の一部が含まれています。