

高松塚古墳における 30 年間の気温変動

三浦 定俊・石崎 武志・赤松 俊祐*

1. はじめに

1972年に発見された高松塚古墳壁画は、1974年から75年にかけて石室前に保存施設が建設され、石室内の気温などが記録されてきた。空調設備の設計とその後の定期点検に携わってきた東洋熱工業がこれまでの測定記録を保管しており、このほど整理したデータの提供を受けたので、それをもとに解析した結果を報告する。測定された記録は、石室内（上、中、下）気温、石室内露点温度、取り合い部における地中温度、前室（A）気温、前室（A）露点温度、準備室内気温、パネル系冷水温度で、提供を受けた記録は1979年3月からであったが、文献1）にある1973年と1978年の石室内（下）気温を合わせて検討対象とした。

2. 保存施設建設の経緯

保存施設の空調設備は前室（前室A、Bおよび準備室）のみを空調して石室内は直接空調しないシステムとなっている。また空調設備は、取り合い部の土中温度と等温に制御された水を前室の天井・壁・床面に張り巡らした銅管パネルに常時流す「パネル系」と、保存施設内に人が立ち入るときにのみ高湿度の空気を前室に送り込む「空調系」の二つの系からなっている（図1）。

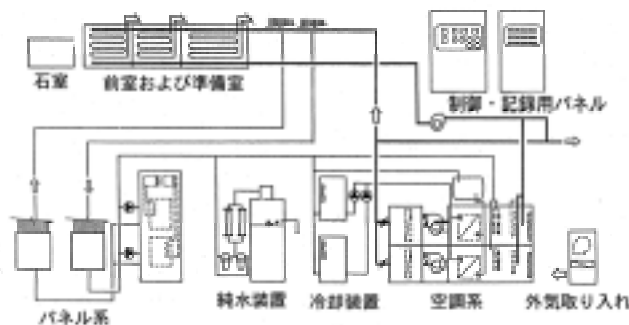


図1 高松塚古墳の空調設備¹⁾

文献（1）によれば保存施設完成までの経緯は次の通りである。

1972年3月	壁画の発見
同年9月末	仮保護施設（木骨造り、前室A、B）の設置
同年12月	保存施設設計方針の決定（高松塚保存対策調査会）
1973年5月	保存施設の検討（同保存施設部会）
1974年3月	保存施設基本設計案
同年7月～12月	保存施設工事

*東洋熱工業株式会社技術部

同年12月～75年2月 換気設備工事

1975年1月～2月 盛土工事

同年10月～76年1月 空調設備工事

その後、1976年前半は空調設備の運転状況等を調査し、必要な手直し工事等を行って9月から壁画の剥落止めなど修理作業が開始された。

3. 測定結果

提供された記録を下に、1978年1月から2004年10月までの石室内（下）気温の月平均値の変化を示したものが図2である。温度センサを取り付けた架台は、石室内で作業するときには分解して外に持ち出すので、作業が多い頃の記録には乱れが生じている。

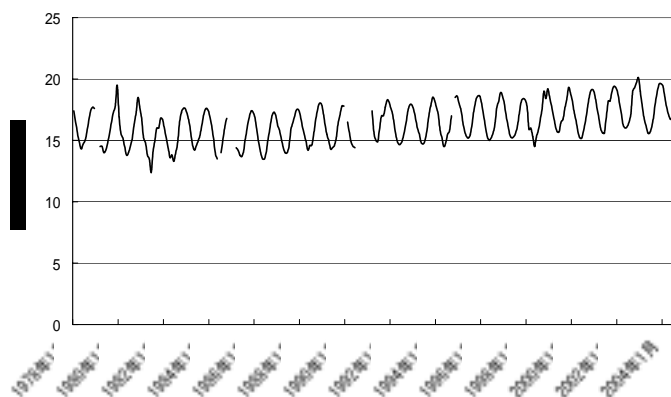


図2 高松塚古墳石室内（下）気温の変動

図2では月ごとの変動があって、全体の傾向が読みとりにくいので、年ごとの年平均気温を算出し（欠測値については他の測定値等から補間、2004年については10月までの値）、奈良地方気象台で測定した1972年からの外気温の年平均値とともに示したのが、図3である。太い線は3年ごとの移動平均値で、長期間の変動をより把握しやすいと思われるので、あわせて示した。

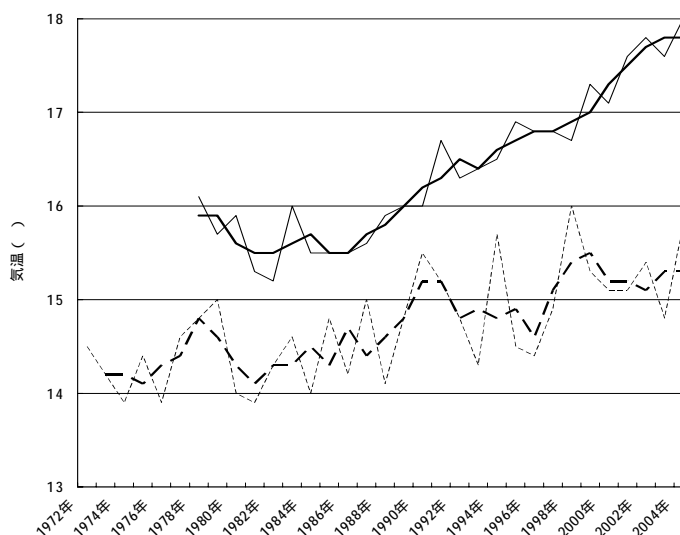


図3 高松塚古墳石室内年平均気温の経年変化
 実線：石室内における年平均気温（細線）とその3年移動平均（太線）
 破線：奈良地方気象台における年平均気温（細線）とその3年移動平均（太線）

4. 考 察

図3で、高松塚古墳における石室内気温は25年間で約2℃上昇しているが、奈良における外気温も30年間で約1℃上昇している。また文献1)によると、保存施設完成前の仮保護施設時代の石室内床面での年平均温度は、1973年で13.6℃と推定されている。そこでここでは次の三点について考察する。

- (1) 保存施設が完成して後の石室内気温が、それ以前より高くなった理由
- (2) 外気温が上昇した理由
- (3) 石室内気温が上昇した理由

4 - 1 . 保存施設完成時の温度上昇

図4に橿原における気温と地温の変化を示した。日照による入射エネルギーと反射エネルギーの差から、地温は気温に比べて高くなるのが普通で、橿原では気温14.4℃、地温(深さ3m)16.1℃と、年平均値は地温の方が1.7℃も高い。このことを考えると、保存施設完成前に14℃前後であった石室内気温が施設完成後に15～16℃になったことは、仮保護施設では断熱が十分でなかったために外気の影響を強く受け、石室内の気温が外気にほぼ等しくなっていたが、保存施設完成後には埋蔵されていた時と同じ環境に戻って、周囲の地温の年変化に等しくなったからであると解釈できる。

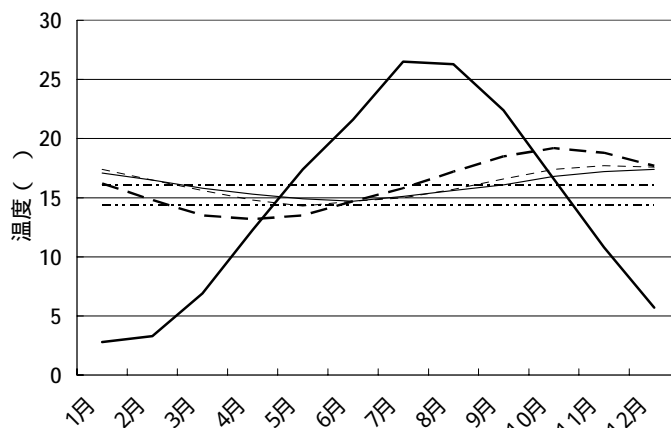


図4 橿原における気温と地温の変化
 太実線：橿原における気温(昭和11～15年の平均)
 二点鎖線：気温の年平均値
 太破線：深さ3mの地温(昭和6～24年の平均)^{2,3)}
 細点線：深さ5mの地温(昭和7～24年の平均)^{2,3)}
 一点鎖線：地温の年平均値
 細実線：高松塚古墳石室内気温(1978年)

4 - 2 . 外気温の上昇

次に(2)について考察する。奈良における外気温の年平均値の1972年から2003年までの32年間の平均値を求めて平年値とし、平年値と各年平均値の差を平年差として、その経年変化を示したものが図5である。図5には日本の年平均気温の平年差の経年変化も重ねて示した。日本

の年平均値は、地球温暖化などの地球全体の気候変動が日本にどのように現れているか調べるために、地理的な分布も考慮しながら都市化の影響が小さい17地点（表1）を選んで、気象庁が算出している。

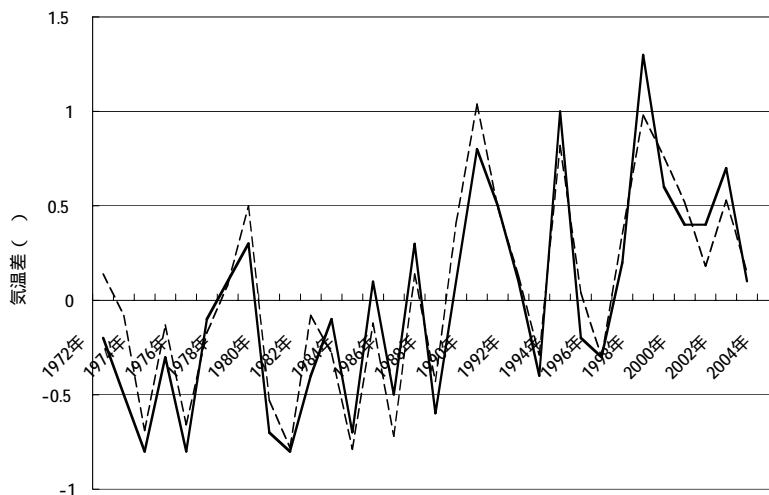


図5 気温の年平均差の経年変化（奈良，日本）
 実線：奈良（1972年から2003年までの32年間の平均値を平年値とした年平均差）
 破線：日本（1971年～2000年間の30年間の平均値を平年値とした年平均差）

表1 日本の年平均気温を算出するのに用いられる地点

地域	地点
北日本	網走，根室，寿都，山形，石巻
東日本	伏木，長野，水戸，飯田，銚子
西日本	境，浜田，彦根，宮崎，多度津
南西諸島	名瀬，石垣島

奈良における気温の年平均差は日本全体の年平均差の動きと良く一致していて、ここには示さないが、北半球全体の動きもほぼ同じである。すなわち30年間で外気温が1℃上昇した理由は、地球全体の気候変動に関係したものであると推定できる。

4 - 3 . 石室内気温の上昇

最後に高松塚古墳における石室内気温の上昇について考察する。まず上に述べたように1978年から25年間の温度上昇の内、一部については気候変動の影響が疑われる。図6に、フランスでの測定データ⁴⁾から、1978年から98年までの平均値を平年値として、ラスコー洞窟（牡牛の間）における年平均差の経年変化を示した。図6には、同じ時期の高松塚古墳における年平均差を重ねてある。ラスコー洞窟の方が高松塚古墳より地表面からずっと深い位置にあるので、年ごとの変動は少ないが、変動のパターンは類似し、長期的に見るとラスコー洞窟においても高松塚古墳と同様、やはり約1℃の温度上昇がある。温度が上昇すればそれだけカビが生育しやすくなることはよく知られている⁵⁾。ラスコー洞窟も地球の気候変動の影響を受けて、洞窟内の温度が上昇し、近年のカビの発生⁶⁾が起きているのではないかと考えられている。

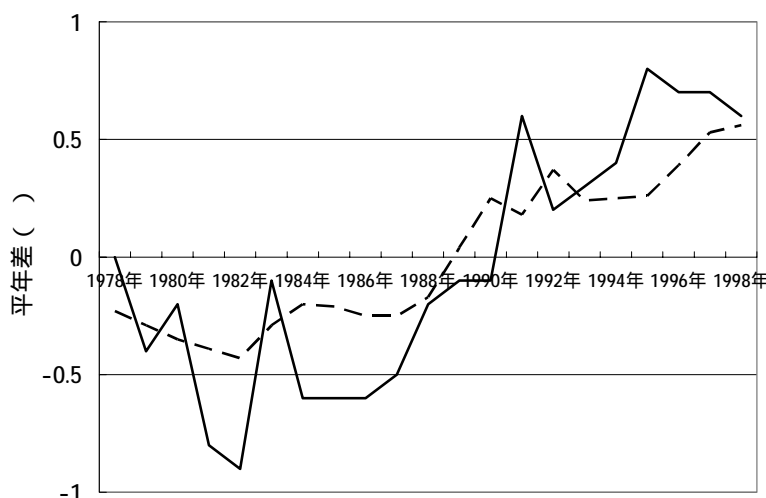


図6 高松塚古墳とラスコー洞窟における年平均差の推移
 実線：高松塚古墳（1978年から98年までの平均値を年平均値とした年平均差）
 破線：ラスコー洞窟（同上、文献4）を基に算出）

この様に考えると残り1の温度上昇が、高松塚古墳に固有のものであると考えることができる。そこで図3を改めて検討すると、1978年から90年頃までは石室内気温は外気温にほぼ追従した形で動いているが、1990年頃から外気温に比べて温度上昇がやや大きくなり、2000年を過ぎた頃からさらに上昇しているように見受けられる。

1990年頃は石室内の環境が比較的安定した時期で、この当時、図3に見られる温度上昇を起こすような特別な原因は見あたらない。なお1979～85年頃に発生したカビ¹⁾については、図3でわかるように、この時期、石室内気温が低かったこともあって、その発生を抑えることができたと考えられる。

2000年以降の温度上昇については、2001年春に取り合い部でカビが発生し、その後石室内に広がったが、その殺菌処置のため普段は停止している空調設備を運転して、頻繁に石室内に立ち入らざるを得なかったために、人体からの発熱などによる影響のために石室内の温度が上昇したのではないかと考えられる。なお1978年から2003年までの間、年平均気温は15℃から17℃へ上昇しているが、年変化幅は±2℃でほとんど変わっていない。

5. まとめ

これまでの高松塚古墳の温度記録を下に、30年間の石室内気温の経年変化について考察した。その結果、次のようなことが考えられた。

- (1) 発掘直後は外気の影響を強く受けて年平均気温は外気と等しかったが、保存施設完成後は周囲の地温とほぼ等しくなった。
- (2) 気候変動によると思われる近年の外気温の上昇の影響を受けて、石室内気温は約1℃上昇した。
- (3) 1990年頃から2000年頃までに0.5℃程度の温度上昇が見られる。2000年以降はさらに、カビ処理や点検のための頻繁な立ち入りによると思われる温度上昇が見られる。すなわち外気温の上昇がなければ、2000年頃までの高松塚古墳石室内の温度上昇は0.5℃程度

で、気温の高くなる季節でも月平均気温は19 程度にとどまっていたと思われる。この温度帯における1 の気温上昇はカビの生育速度に大きく影響するので、気候変動による外気温の上昇は、2001年以降のカビの発生に強く関与していたと考えられる。

文 献

- 1) 文化庁：『国宝高松塚古墳壁画 —保存と修理—』(1987)
- 2) 農林水産省・気象庁：農業気象資料 第3号 地中温度に関する資料(1972)
- 3) 中央气象台：累年気候表（日本および極東地域）(1954)
- 4) Brunet, J. Vouve, J. and Malaurant, P.: Re-establishing an underground climate appropriate for the conservation of the prehistoric paintings and engraving at Lascaux, *Conservation and Management of Archaeological Sites*, 1, 33-45 (2000)
- 5) Michalski, M.: Guidelines for humidity and temperature for Canadian archives, Canadian Conservation Institute (2000)
- 6) Allumand, L.: Qui sauvera Lascaux?, *La Recherche*, 363, 26-33 (2003)

キーワード：高松塚古墳(Takamatsuzuka tumulus), 壁画(wall painting), 気温(temperature), 気候変動 (climatic change)

Temperature Changes in 30 Years at Takamatsuzuka Tumulus

Sadatoshi MIURA, Takeshi ISHIZAKI and Toshihiro AKAMATSU*

In 1972, paintings were found in a stone chamber of Takamatsuzuka Tumulus. After the excavation, in 1976, three antechambers equipped with a thermo-controlled water supply system and an air-conditioning system were constructed in front of the stone chamber for conservation. Since then the stone chamber has been controlled to the same temperature as that of the surrounding soil by the thermo-controlled water supply system. The air-conditioning system supplying humid and thermo-controlled air to the antechambers is used only when someone enters the stone chamber for inspection. In the spring of 2001, molds were found at the entrance of the stone chamber and spread to the walls inside in the autumn. Although fungicide (ethanol, formaldehyde, etc.) were applied repeatedly, the growth of molds has not yet ceased. The authors examined the temperature change of 30 years and found a trend of increasing temperature inside the stone chamber after the 1980's. They conclude that the increase is one of the main reasons of mold growth. This increase is probably caused by a global climate change and also by recent frequent entrance to the small stone chamber for treatment after 2001.

*TONETS Corporation

