

過去の高松塚古墳石室内の温湿度について

東京文化財研究所 石崎 武志

1. 石室内の温湿度の測定

石室内の温湿度記録に関しては、下記のものがある。

昭和47年4月～11月 (温度) ¹⁾

昭和48年1月～12月 (温度) ¹⁾

昭和53年1月～12月 (温度) ¹⁾

昭和54年3月～平成17年8月 (温度) 空調点検時の記録

ここでは、温度は石室内中央部、上中下の位置でサーミスター測温抵抗体で測定した。

平成13年12月～平成17年1月 (温度、湿度)

温湿度データロガー(A社製)を用い、石室内中央部、上中下の位置で温湿度を測定した。相対湿度の測定値は、ほぼ100%であった。測定値が100%を越えた場合は、100%とした。

平成16年11月～平成19年8月 (温度、湿度)

温湿度センサー(B社製)を用いて床より20cm程度の高さの所で測定した。

2. 石室内の温湿度の測定結果

図1, 図2, 図3に、高松塚古墳石室内で測定された温度の記録が示されている。昭和47年は石室床上で、最低気温は、4月中旬で11℃、最高気温は11月中旬で、16℃であった(図1)。昭和48年は $13.6 \pm 2.8^\circ\text{C}$ (図2)、昭和51～52年には $16.3 \pm 1.9^\circ\text{C}$ であった。昭和53年には、 $16 \pm 2^\circ\text{C}$ であり、これは橿原市での地中3～5mで測定した地温の年平均値にほぼ等しい(図3) ¹⁾。

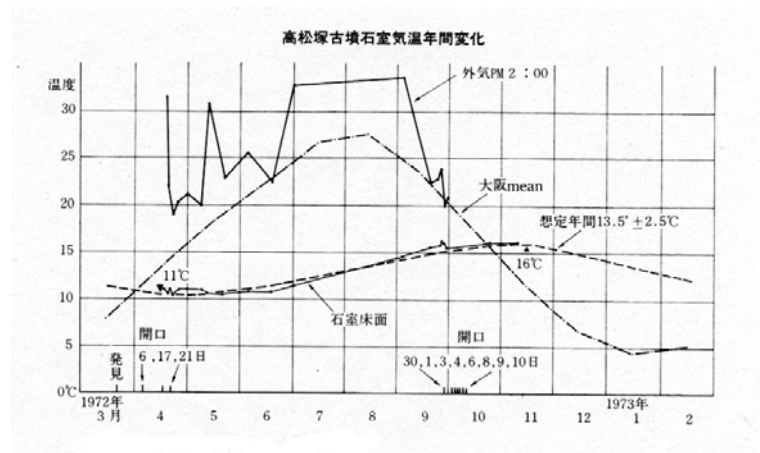


図1. 石室内温湿度(昭和47年4月～11月)

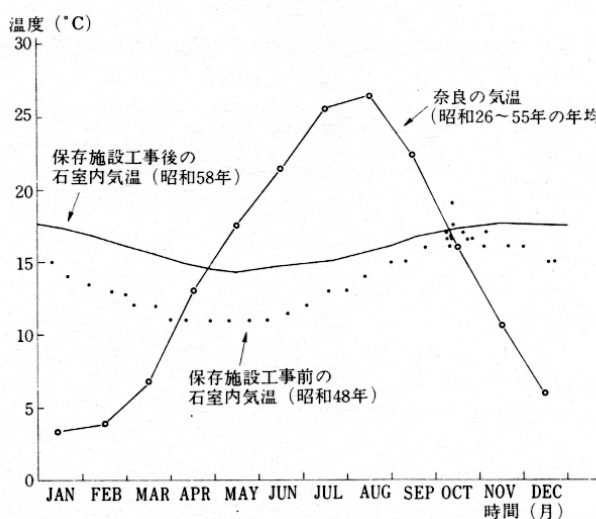


図2. 石室内温湿度(昭和48年1月～12月)

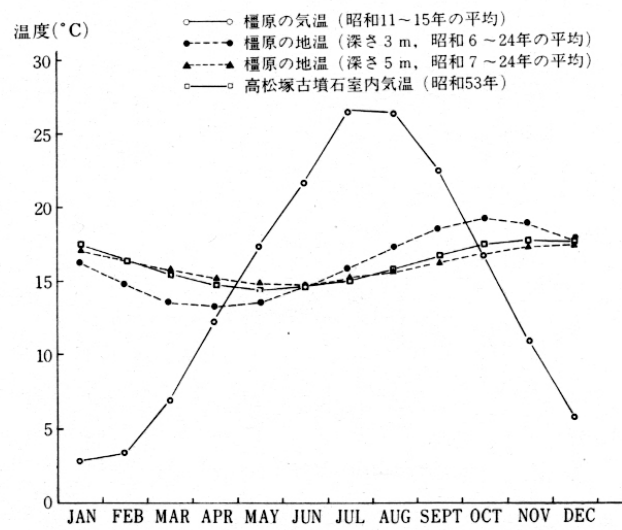


図3. 石室内温湿度(昭和53年1月～12月)

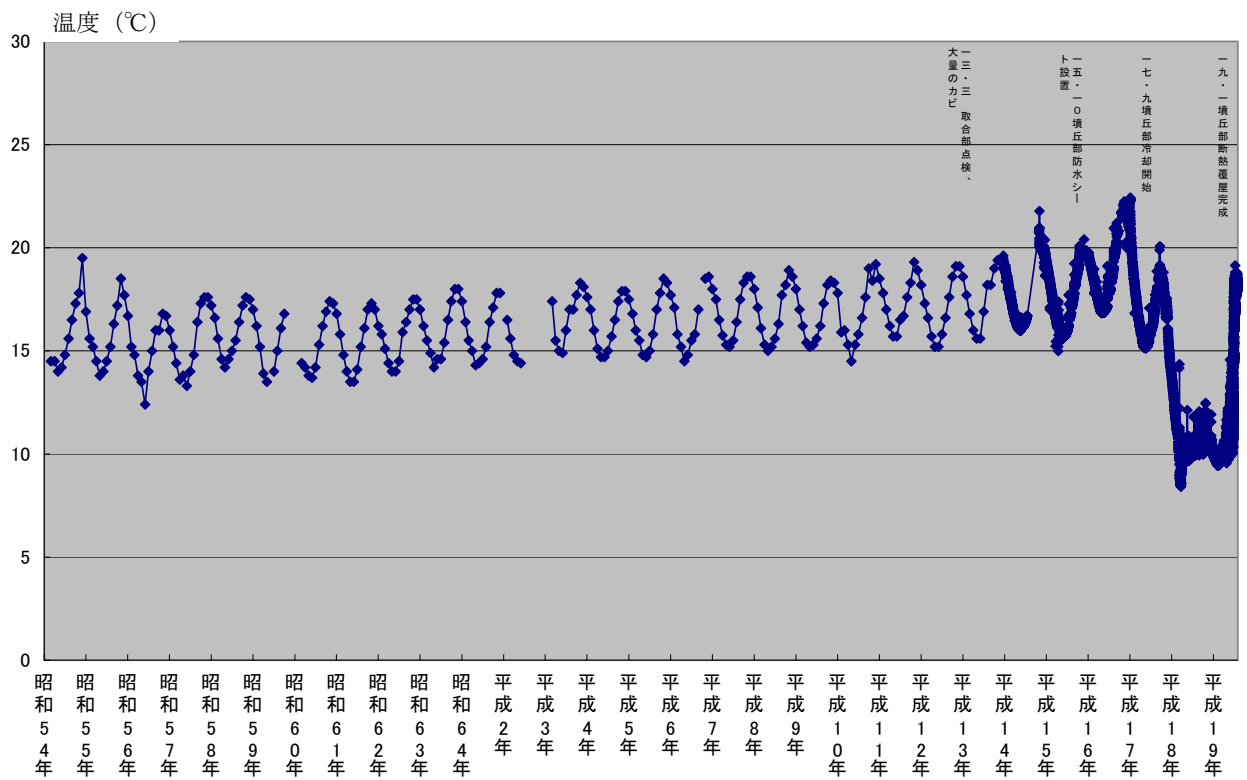


図4. 石室内温度の変化 (昭和54年3月～平成19年8月)

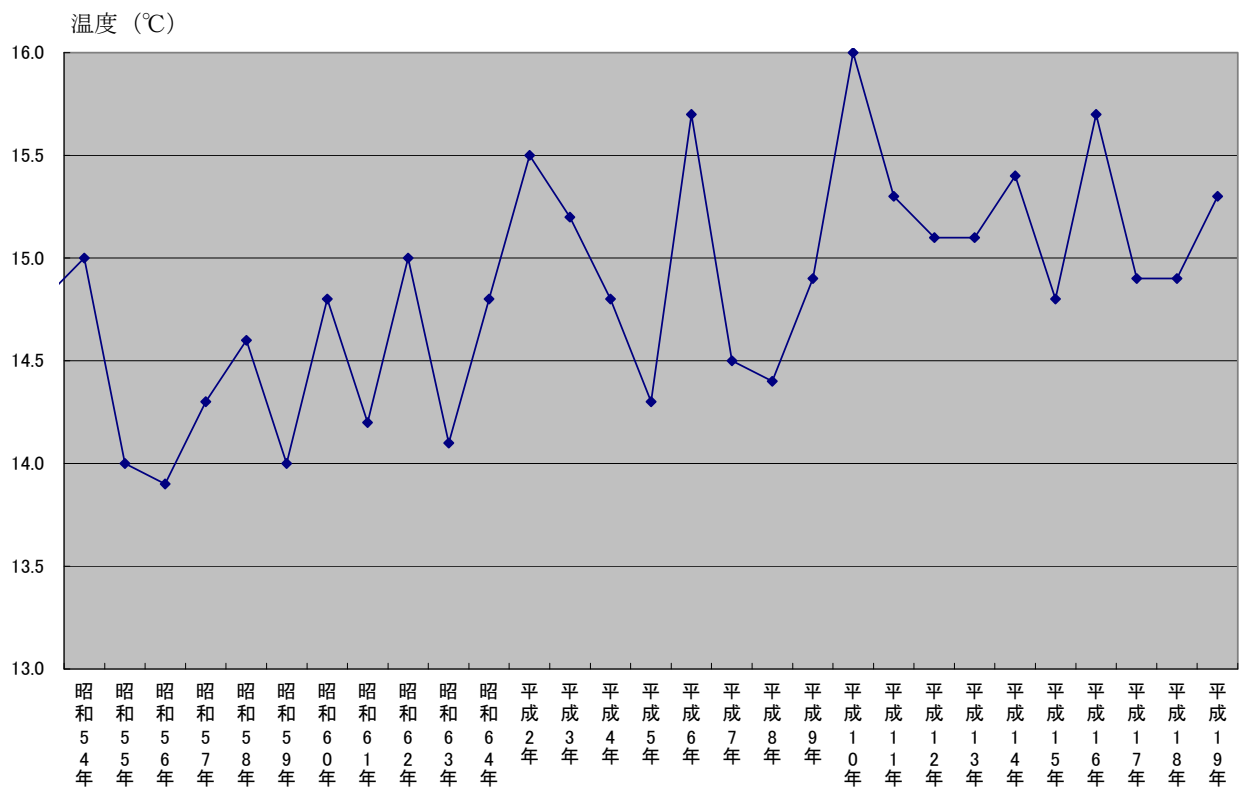


図5. 奈良市年平均気温の変化 (昭和54年～平成19年)

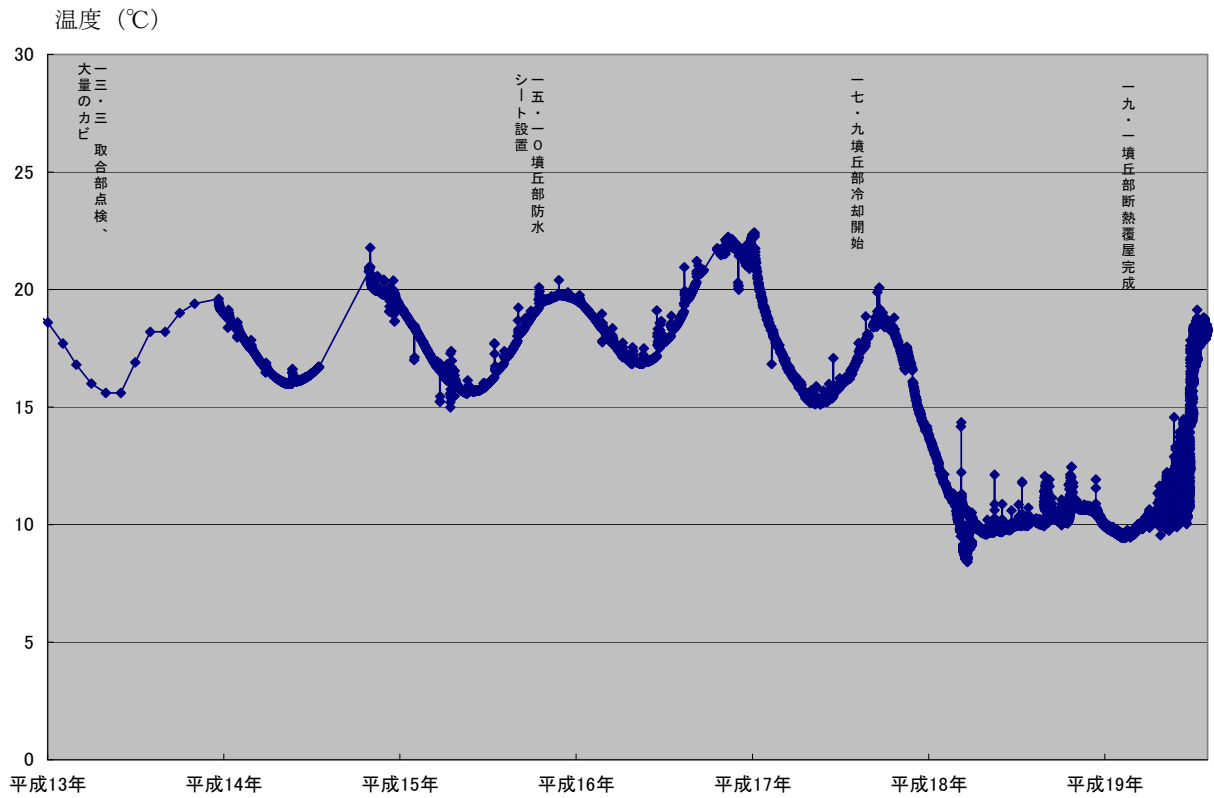


図6. 石室内温度の変化 (平成13年3月～平成19年8月)

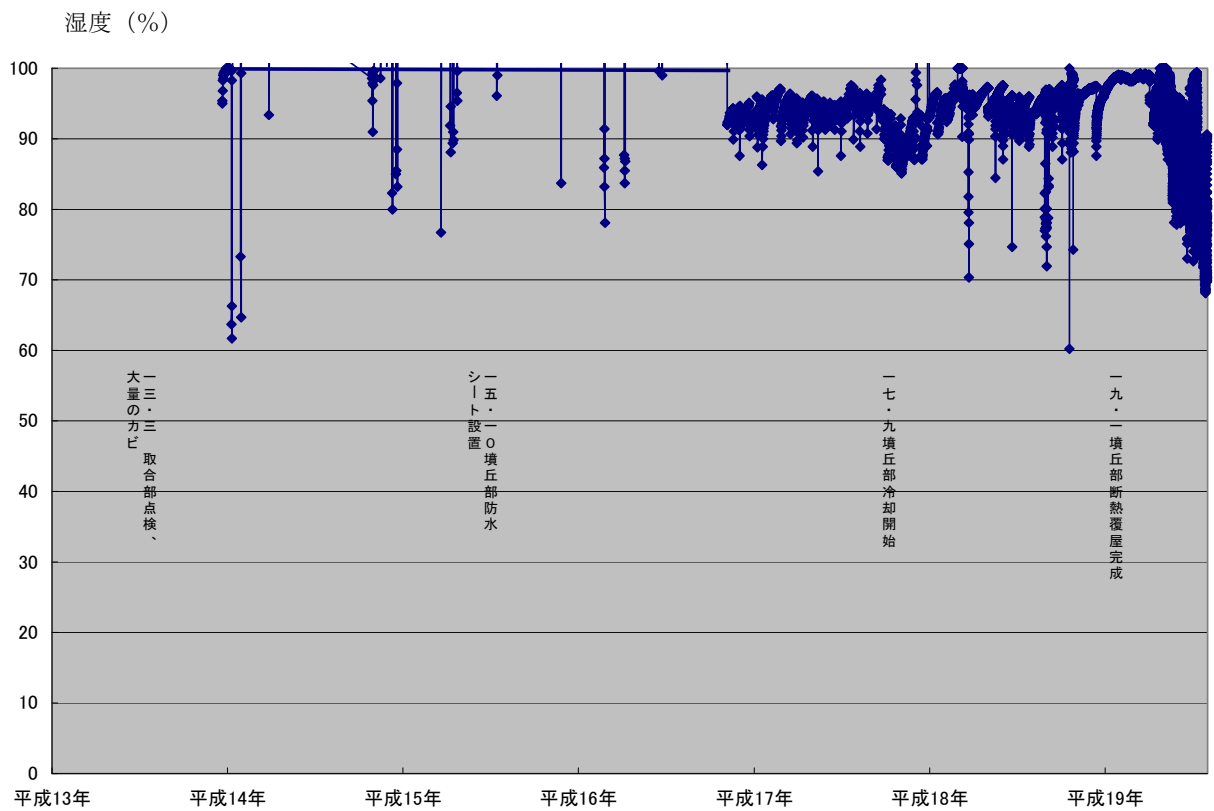


図7. 石室内湿度の変化 (平成13年3月～平成19年8月)

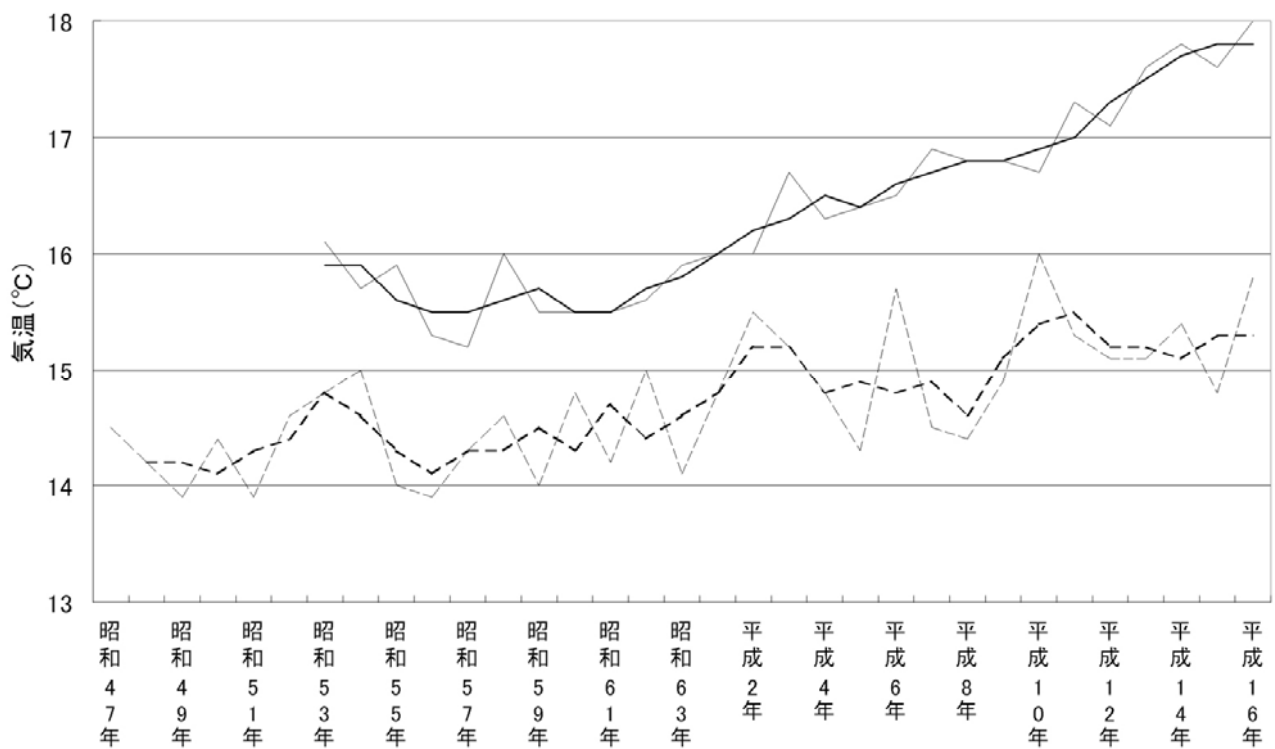


図8 高松塚古墳石室内年平均気温の経年変化

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）

高松塚古墳各種温度（昭和54年～平成2年）

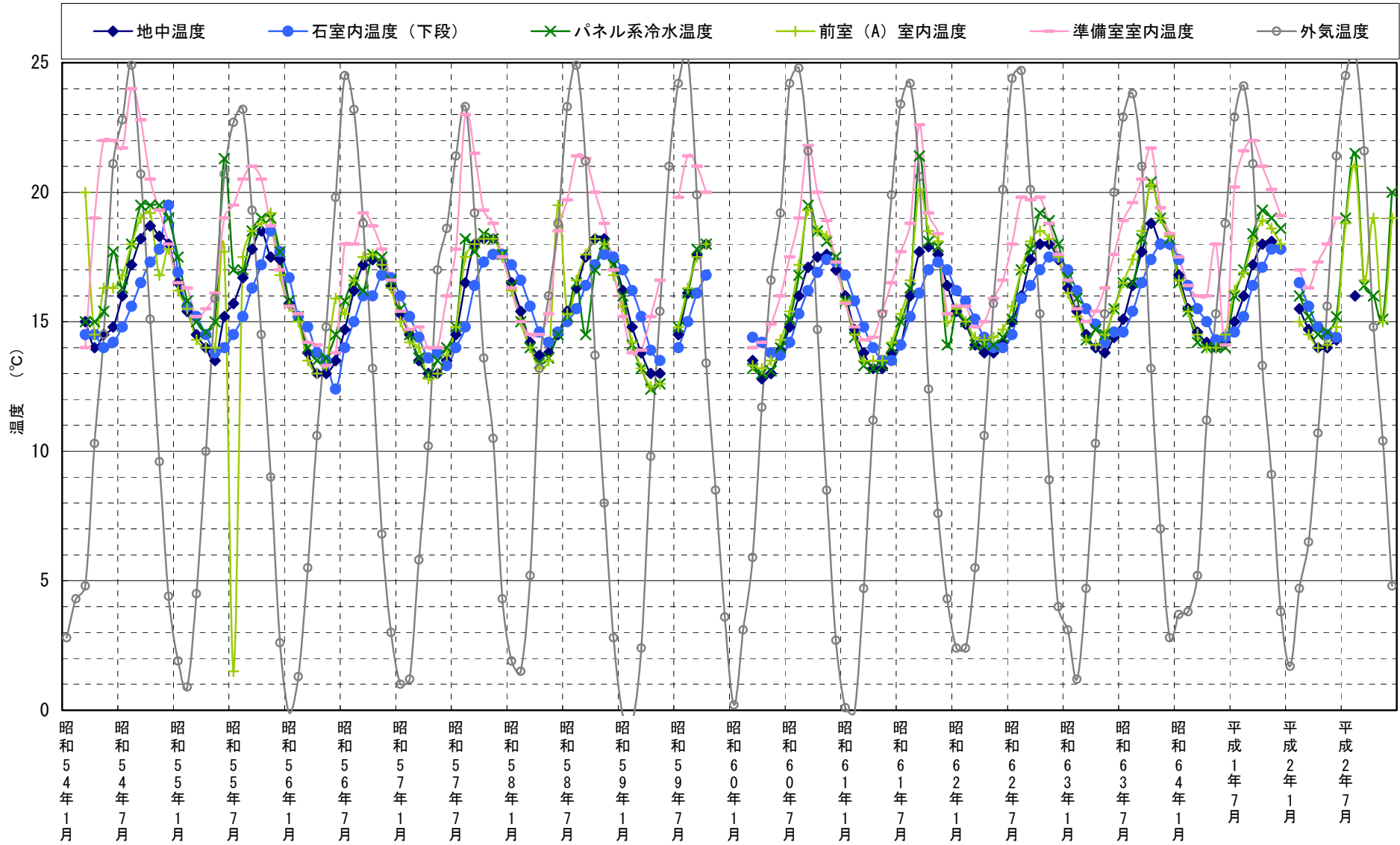


図9. 地中温度、準備室温度等の変化（昭和54年3月～平成2年12月）

高松塚古墳各種温度（平成3年～平成17年）

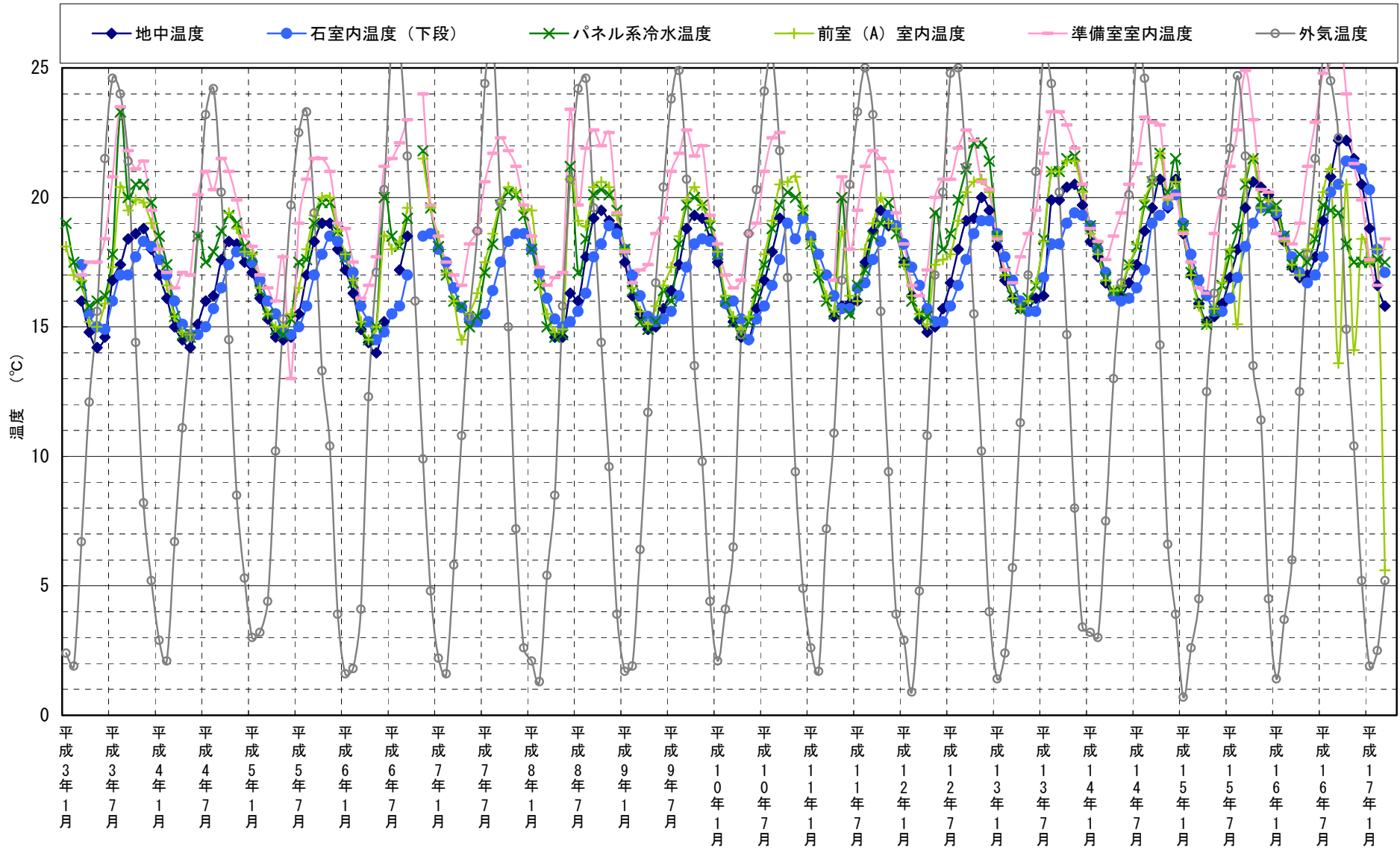


図10. 地中温度、準備室温度等の変化（平成3年1月～平成17年8月）

図4に、石室内で測定された温度データを示している。測定は、石室中央部の上中下の場所で行われた。ここでは、下部の測定値を用いた。温湿度データロガー（A社製）の上中下部分の温度データは、ほぼ一致していたため、石室内中央部の高さ方向の温度差は小さいものと考えられる。温度データとしては、定期点検時の記録はほぼ1ヶ月ごと、A社のデータロガーは30分ごと、B社製のセンサーによるものは1時間ごとに得られている。図4では、平成13年12月からはA社のデータロガーによるデータ、平成16年11月からは、B社製のセンサーによる測定値を示している。平成13年12月から、温度グラフの曲線が太くなっているのは、温度の日変化等も記録されているためである。ただ、所々、温度データが大きく変化しているのは、点検の際に、石室より外へ出したことや、センサーの接続不良によるものである。温度変化のグラフから、石室内の温度が徐々に上昇していることが分かる。

図5に、奈良市の気象観測所で観測された年平均気温の変化を示す。奈良市の平均気温も徐々に上昇しているのが分かる。図8は石室内気温変化と対比したグラフである。石室内の温度上昇の原因としては、気温の上昇²⁾の他に、パネル系冷水温度の制御の問題も考えられる。昭和54年から平成2年までの地中温度、石室内温度、パネル系冷水温度、前室（A）室内温度、準備室室内温度、外気温の変化を図9に、平成3年から平成17年までの変化を図10に示す。ここで、地中温度は、取合部土中部分で測定している。昭和56年から平成2年までの地中温度の最大値は、ほぼ18℃、平成3年から平成11年までは、ほぼ19℃、平成12年以降は20℃以上になっている。また、地中温度により制御されるパネル系冷水温度も徐々に上昇している。保存施設の前室の温度制御は、天井・床・側壁に設置された銅チューブパネルに、土中温度とほぼ同じに制御された水によって行われるシステムになっているが¹⁾、図10では、パネル系冷水温度は夏季に、石室温度、地中温度より高くなっており、これらの温度上昇も石室内の温度上昇に寄与している可能性があると考えられる。

図6に、平成13年から平成19年までの石室内温度測定結果を示す。平成15年10月に、高松塚古墳壁画保存のための緊急対策として、雨水の浸透を防ぐために墳丘部に防水シートの設置を行った。平成16年末に、石室内の温度が最大で22℃まで上昇しているが、これは、この年の夏の気温が平年値より1℃以上高かったことに加え、墳丘部の竹を伐採し、防水シートを設置したことにより墳丘上部の状況が変わったことも一因と考えられる。なお、平成16年10月からは発掘調査に伴い、墳丘上に覆屋を設け、直射日光、雨水を遮った。平成17年9月に墳丘部の冷却を開始したため、その後の石室内の温度は低下し、平成18年4月には墳丘部の温度が10℃になった。平成19年1月には、墳丘部に断熱覆屋を設置した。断熱覆屋内の空調は6月末までは10℃に保ったが、床石のみになったので、温度を6月26日に15℃、7月2日に18℃に変更したため、石室内の温度も上昇した。

図7に、平成13年から平成19年までの石室内湿度測定結果を示す。平成13年12月から平成16年11月までは、湿度の値はほぼ100%を示した。所々、湿度が下がっているのは点検のためにデータロガーを石室の外に置いたためである。平成16年11月に、湿度が95%程度まで下がっているのは、測定装置を高湿度領域でも感度のあるB社製のセンサーに替えたためである。これ以降は、湿度の変化が見られる。これは、点検等で人が入室した時に湿度が下がり、その後、盗掘口を閉じた時に湿度が上がることに対応している。断熱覆屋内の空調は平成19年6月末までは90%に保ったが、床石のみになったため、発掘作業者の作業性を考慮して、湿度を、6月26日に80%、7月2日に70%に変更した。そのため石室内の湿度もそれに伴い低下した。

3. まとめ

石室内温湿度の測定結果から、次のことがわかった。

- a. 石室内気温変化は外気温変化に比べて3～4ヶ月遅れて連動している。
- b. 石室内の相対湿度は人が立ち入らない時は95%以上で、人が立ち入ると90%程度に低下した。
- c. 昭和55年頃から外気温が1℃程度上がったことにより、石室内気温は昭和60年頃から一貫して上昇する傾向にあった。
- d. 詳細に調べると石室内気温の上昇勾配は外気温の上昇勾配よりも大きく、その要因としてはパネル系冷水温度の制御に問題があったこと等が考えられる。

参考文献

- 1) 文化庁：「国宝高松塚古墳壁画―保存と修理―」（1987）
- 2) 三浦定俊・石崎武志・赤松俊祐：高松塚古墳における30年間の気温変動 「保存科学」44号、pp. 141-147 (2004)
参考資料11、高松塚古墳における30年間の気温変動、国宝高松塚古墳壁画恒久保存対策検討会（第3回）(2005)