

過去の高松塚古墳石室内の温湿度変動とその要因について

～ 保存施設稼働時の気象条件の影響と、発掘直後の仮保護施設の影響 ～

京都大学大学院工学研究科 小椋大輔、銚井修一、李永輝
東京文化財研究所 石崎武志、三浦定俊

1. 目的と検討方法

過去の高松塚古墳の石室周囲の環境や内部作業などが、石室内の温湿度変動にどのような影響を与えてきたのかについて、高松塚古墳石室内の温湿度変動の測定値¹⁾や記録²⁾などを元に、影響を与える要因を取り上げて、数値シミュレーションを用いて推定する。検討にあたって墳丘、保存施設等を考慮した石室の温湿度解析モデルを作成し、それぞれの要因について条件を設定する。なおモデル化や境界条件などの設定には、過去の石室周囲の環境や内部作業などに関する測定値、記録を可能な範囲で考慮し、不明な点は推定を行う。

2. 検討を行う過去の保存環境

以下の二つの期間の石室内の温湿度変動について検討を行う。

2.1 古墳発掘から保存施設の稼働までの石室内の温湿度変動（1972年～1976年）

1972年の発掘に伴う壁画発見から、1976年の保存施設の空調設備の稼働まで、石室は南側の封土の多くが取りのぞかれ、そこを覆う仮保護施設や保存施設の前室に露出される状況に置かれていた。この間における石室内の温湿度変動を検討する。前室に露出されている石室の南端は、調査時以外は覆土で覆われていたが、石室の乾燥が懸念されたため、覆土の散水や、入室時の湿度低下に抑制するための前室の高湿環境維持のための対処が行われた³⁾。

本報告では、まず発掘前と発掘後の石室の南側に仮保護施設が設けられた後の石室内温湿度について推定を行う。なお今回は調査に伴う石室の入室は考慮しておらず、現在記録の収集を含めて検討を進めており、今後、報告したいと考えている。

2.2 保存施設の稼働から石室解体前までの石室内の温湿度変動（1976年～2005年）

1976年の保存施設の稼働から、2005年の石室解体が決定し地盤冷却が行われる前までの石室内の温湿度環境について検討を行う。まず過去の石室内の温度測定値の特徴について把握し、主たる検討課題を明確にする。

図1に、保存施設を設置している期間の外気、石室内、前室の温度測定値¹⁾の年平均値の変動を示す。図中に外気、石室内及び前室の温度変動の線形近似曲線も示している。外気と石室内の温度は、線形近似曲線から求めた勾配を比べると、石室内は外気より大きく約2倍である。線形近似曲線の傾きから求めた1979年から2004年の26年間の温度上昇は、外気は約1.2℃、石室内は約2.9℃である。また前室の温度も、石室と同様に約3.1℃上昇している。つまりこの期間における石室内の温度上昇は、外気温の上昇より約1.7℃大きい。この要因について検討を行うことを主たる課題とする。石室内の温度上昇に影響を与える要因としては、以下が考えられる。

- 1) 気象条件の影響
 - ・外気温の上昇など。
- 2) 前室・準備室の温度制御の影響
 - ・パネル系冷水温度が夏期に、石室や地中温度より高かったこと¹⁾など。
- 3) 保存施設の躯体熱移動の影響
 - ・躯体の南側は外気に露出し、そこに日射が直接あたることなど。
- 4) 機械室内の温度変動の影響
 - ・空調の廃熱や、夏期の高温の外気と換気を行っていることなど。
- 5) 石室の入室の影響
 - ・入室時の石室内温度の上昇など。

6) 墳丘の被覆状況の影響

・竹林など植物の墳丘被覆状況の変化や、竹林の伐採、遮水シートの設置など。

本報告では、まず、1) 気象条件の影響 について検討を行う。その他の要因については、現在、記録の収集を含めて検討を進めており、今後、報告したいと考えている。

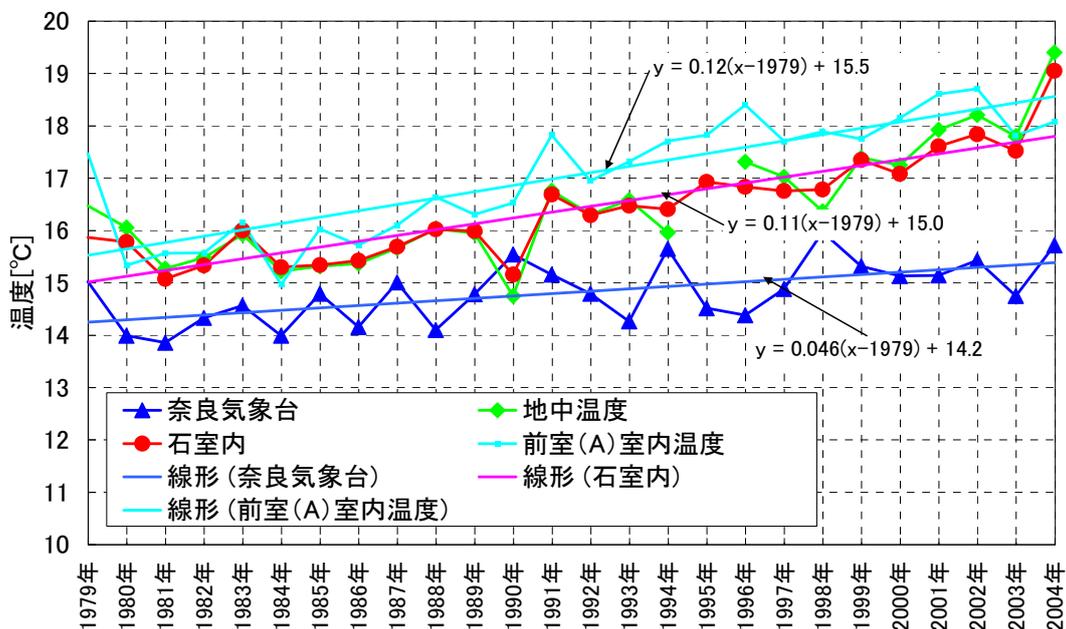


図1 石室内と外気の温度の年平均値の変化(1979年～2004年)

3. 保存施設の稼働から石室解体前までの石室内の温湿度変動 (1976年-2005年)

3.1 解析方法

用いる基礎方程式、気象条件、計算期間等は表1に示すとおりである。解析モデルは、図2に示す様に、石室の南北方向の断面を取り出した2次元系として取り扱う。保存施設では、前室の温度は設計方針どおりに石室内温度と等しくなるように制御されるもの⁴⁾とし、機械室の排熱や石室内の入室はないものとした。表2に保存施設等の設定条件を示す。

表1 解析方法

基礎方程式 ⁵⁾	材料内部：熱水分同時移動方程式 室内：室空気を1質点で代表させる熱水分収支式
気象条件	奈良気象台観測値(1975年～2005年) ⁶⁾ 外気温、外気相対湿度、水平面全天日射量 ^{*1} 、降雨量、雲量 ^{*2}
熱・水分物性値	地盤：版築土 高松塚古墳墳丘の版築土の平衡含水率 ⁷⁾ を元に推定 ⁸⁾ 地表面近傍は砂質土 ⁹⁾ とし、地表面境界で竹林を想定した簡易な植生モデルを考慮 ¹⁰⁾ 。 凝灰岩：文献値 ^{11),12),13)} を元に推定 ⁸⁾ 漆喰：文献値 ¹⁴⁾ を使用 保存施設コンクリート：文献値 ¹⁵⁾ を使用 保存施設断熱材：押出発泡ポリスチレンフォーム 文献値 ¹⁶⁾ を使用 (非透湿)
計算方法	前進型有限差分法
計算期間	1979年1月1日から2005年12月31日 (1975年から4年間の助走計算)
<p>※1：水平面全天日射量は、直達日射量 (Bouguer の式)、天空日射量(Berlage の式)に分離して、墳丘の南側、北側の斜面では、斜面の勾配を考慮して与えた¹⁷⁾。 ※2：夜間放射量は、Brunt の式に雲量補正を行った式を用いた¹⁷⁾。</p>	

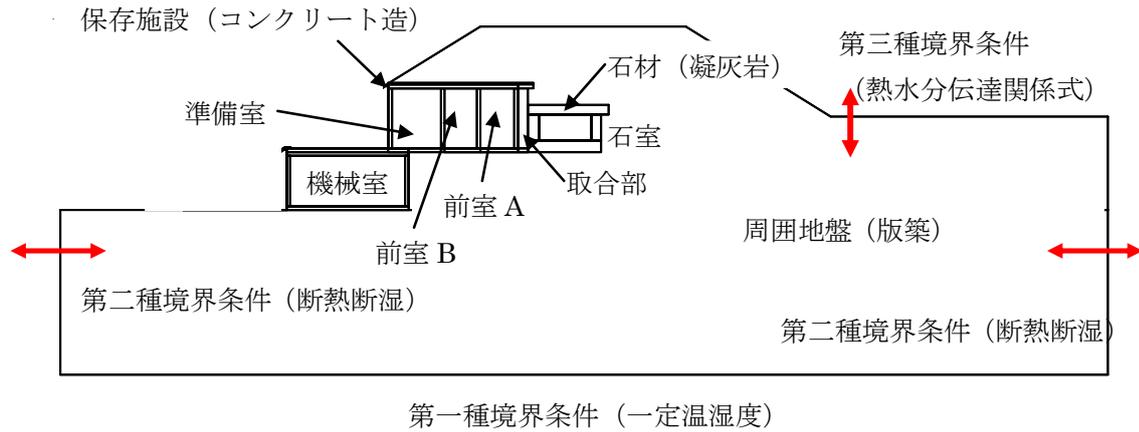


図2 解析対象

表2 保存施設等の設定条件

前室・準備室の温度制御	機械室	石室の入室	墳丘表面
<ul style="list-style-type: none"> 石室温度と等しくなる様に制御 取合部との換気はなし 	<ul style="list-style-type: none"> なし（熱水分発生なし） 外気との換気はなし 	<ul style="list-style-type: none"> なし（熱水分発生なし） 石室と取合部との換気はなし 	<ul style="list-style-type: none"> 植生を一様に分布 時間的に変化なし

3.2 気象条件の影響の検討

図3～6に、石室内の温度変動の解析結果と測定結果の比較を示す。図3は1979年から2005年、図4は1979年から1987年、図5は1988年から1997年、図6は1998年から2005年の結果である。

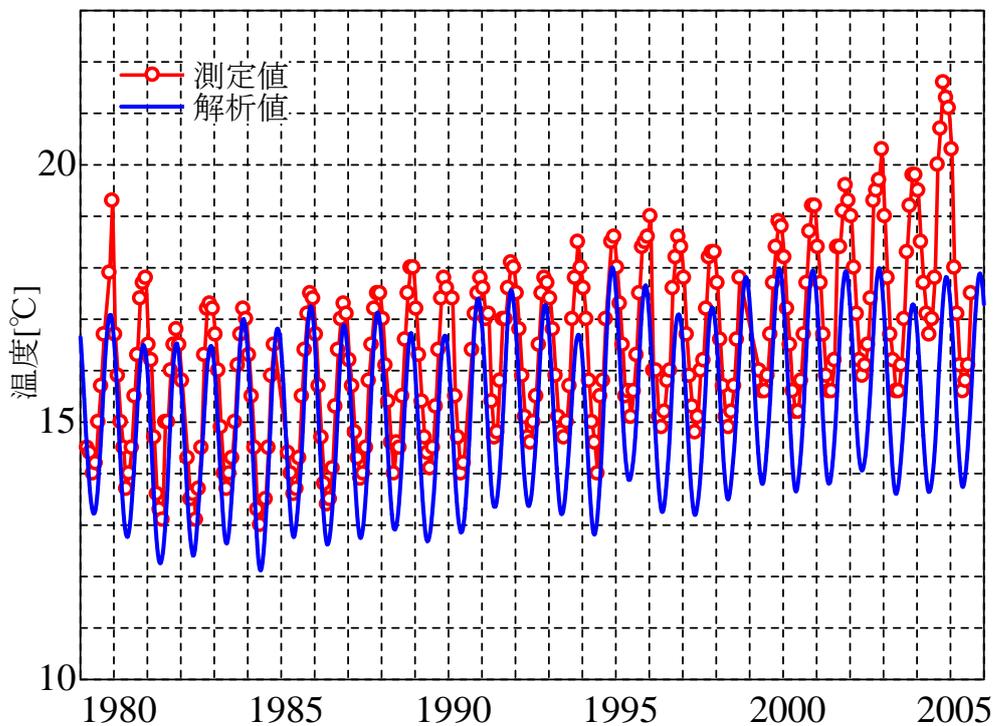


図3 石室内の温度変動（1979年から2005年）

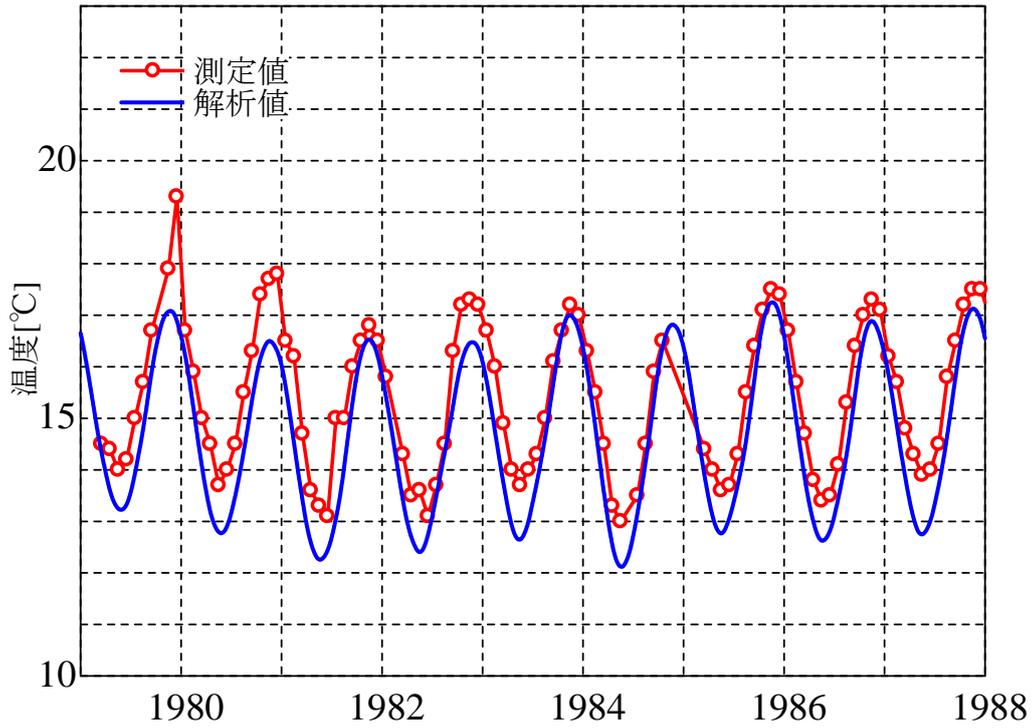


図4 石室内の温度変動（1979年から1987年）

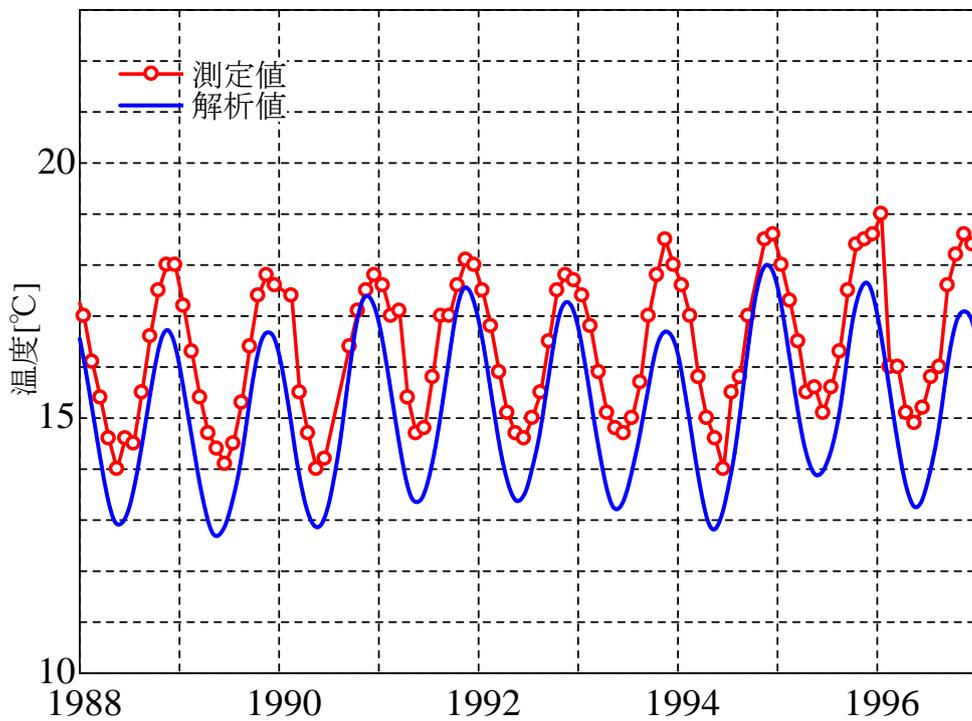


図5 石室内の温度変動（1988年から1996年）

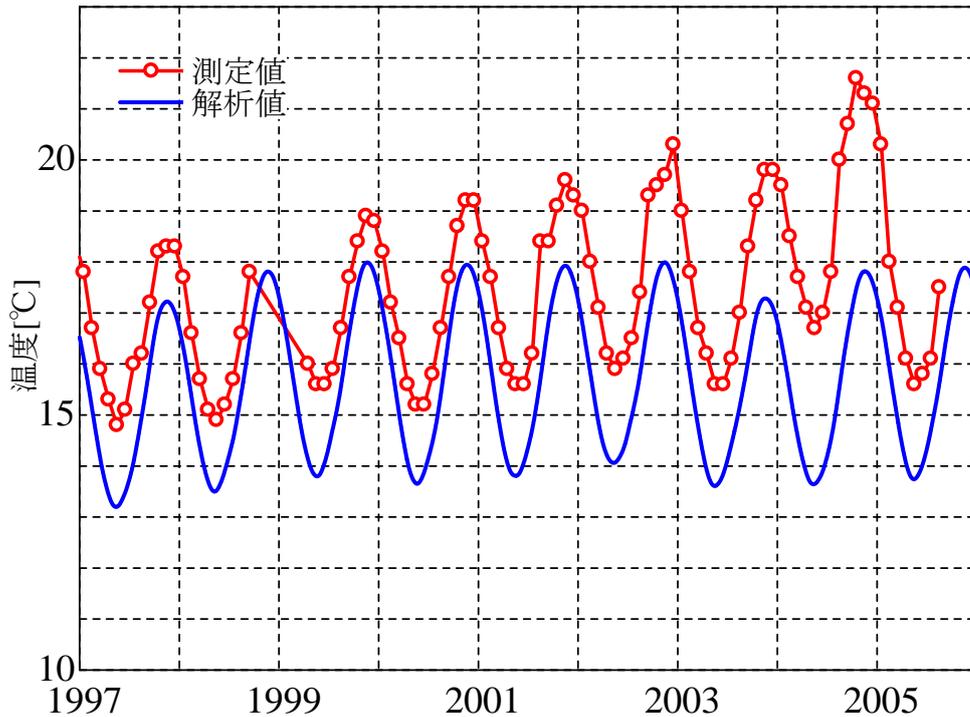


図 6 石室内の温度変動（1997 年から 2005 年）

図 4~6 より、石室内温度の解析値は、1980 年代中頃までは年最高値を除いて測定値に近い値で変化をしているが、1980 年代後半から、測定値ほど温度上昇をせず、両者の値の差が徐々に大きくなり、2005 年頃にはその差は最も大きくなる。全期間で見ると図 3 より、測定値の 26 年間の温度上昇に対して、解析値の上昇は緩やかである。また解析値の年平均値に対して線形近似曲線を求めて 26 年間の変化を求めると約 1.4°C の上昇であった。これは前述の外気温の年平均値の上昇幅の約 1.2°C とほぼ等しく、石室内の温度上昇幅の約 2.9°C より小さい。

このことから、気象条件の変化のみが、石室内の温度の上昇に寄与したとはいえない。これ以外の要因としては前節で述べた、1) 前室・準備室の温度制御、2) 保存施設の躯体熱移動、3) 機械室内の温度変動、4) 石室の入室、5) 墳丘の被覆状況 といったことが考えられる。

4. 古墳発掘から保存施設の稼働までの石室内の温湿度変動（1972 年～1976 年）

4.1 解析方法

用いる基礎方程式、計算方法は前節と等しい。気象条件は、1972 年の奈良気象台観測値が毎年繰り返されるものとして用いる。解析モデルは、図 7 に示すように発掘前、発掘後の墳丘の状況を考え、前節と同様の石室の南北方向の断面の 2 次元系とする。発掘後は、石室南側が仮保護施設に露出する場合（以後、覆土がない場合）と石室南側が覆土 50cm で覆われた場合（以後、覆土がある場合）を考える。仮保護施設は、内部での熱水分の発生は考慮せず、石室内の入室もここでは考慮しない。表 3 に発掘後の条件の概要を示す。なお計算結果は、発掘前では周期的定常状態の結果を、発掘後では発掘前を初期条件として 3 年目の結果をそれぞれ示す。

表 3 発掘後の条件

仮保護施設	石室の入室
<ul style="list-style-type: none"> ・内部での熱水分発生なし ・石室と仮保護施設の間での換気を考慮 ・仮保護施設と外気の間での換気を考慮 (5 回/h) ・屋根、壁は 1 次元の熱移動 (非透水、非透湿) 	<ul style="list-style-type: none"> ・なし (熱水分発生なし)、 ・石室と仮保護施設の間での換気を考慮 (0.5 回/h)

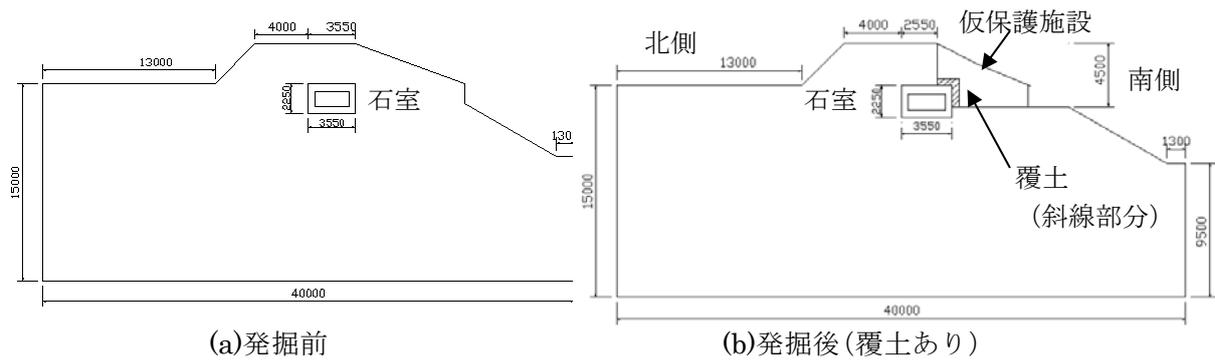


図7 解析対象

4.2 発掘直後の仮保護施設の影響の検討

図8,9にそれぞれ発掘前と発掘後の石室内の年間の温湿度変動を示す。図8より、発掘前の石室内の温度は、年間変動が小さく安定しているが、発掘後では年間の振幅がやや大きくなっている。これは、発掘により石室南側の封土が取り除かれたことにより、外気の影響を受けやすくなったためと考えられる。また覆土がある場合より、ない場合の方が、振幅が大きく、変動の位相は外気に近づく。図9より石室内の相対湿度は、発掘前では年間を通じて100%に近い値で維持されているが、発掘後では覆土がない場合は約98%、覆土がある場合は約99%まで若干低下している。これは、石室の南側が乾燥することと仮保護施設との換気があることによると考えられる。石室の調査時には覆土を取りのぞき、それ以外では覆土していたことを考えると、同様の現象が起きていた可能性は高いと考えられる。

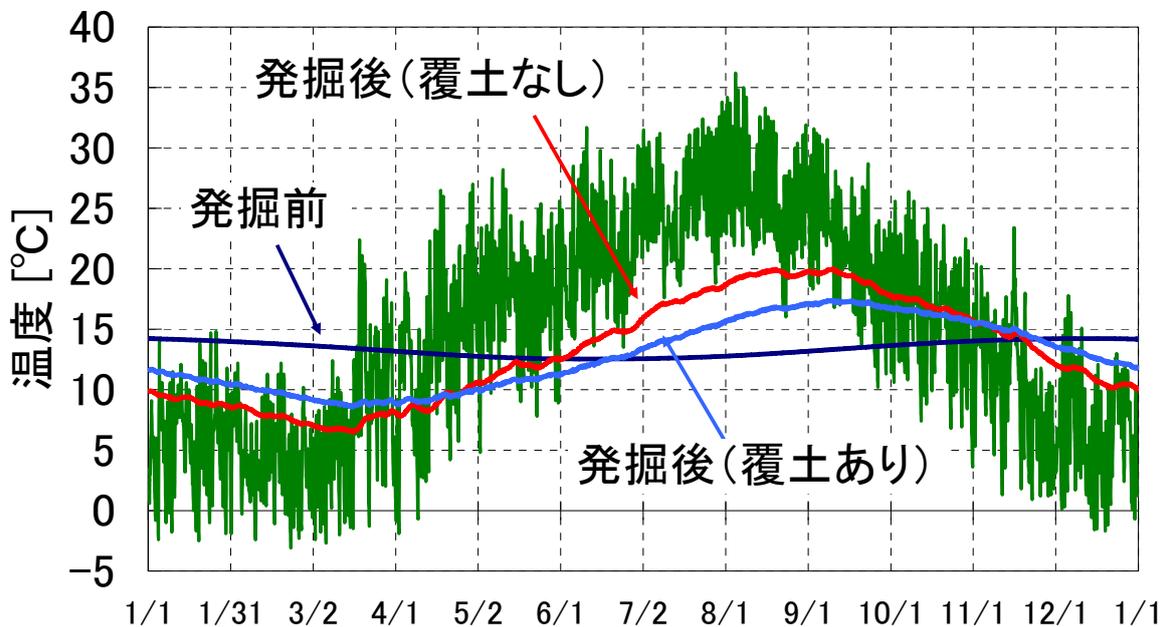


図8 発掘前と発掘後の石室内の温度変動

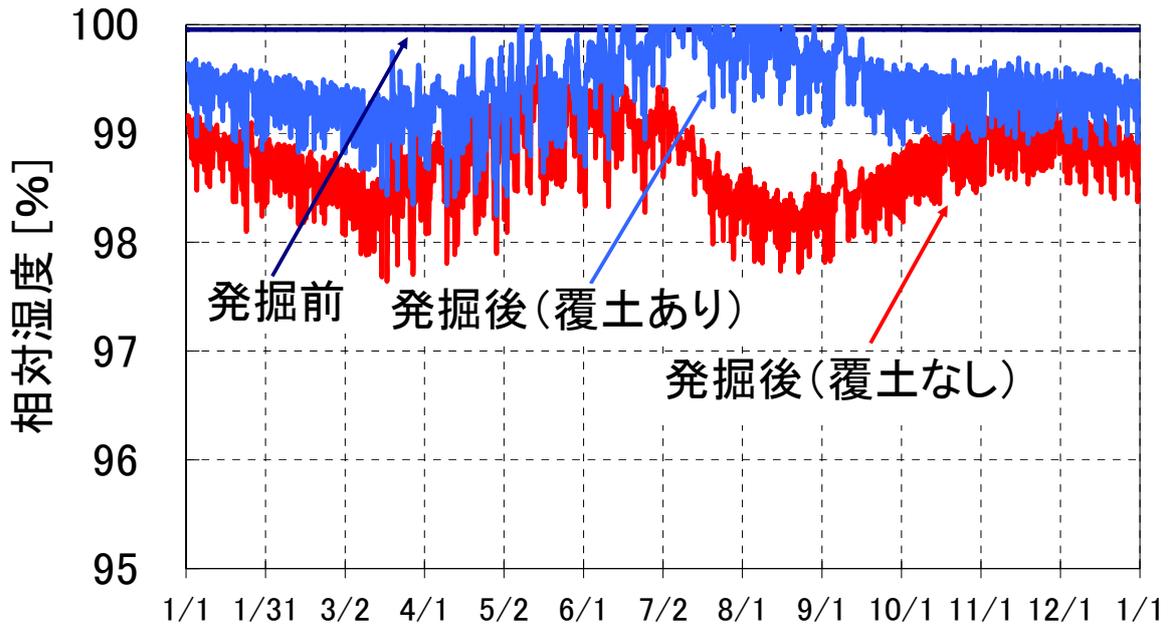


図9 発掘前と発掘後の石室内の相対湿度変動

次に、図 11～13 にそれぞれ発掘前と発掘後（覆土なし、覆土あり）の石室内表面の相対湿度分布を示す。図は北側天井隅角を原点として図 10 に示すような方向で、石室の室内側表面の分布を示したものである。図 11 より発掘前の石室内表面の相対湿度はいずれの部位、またいずれの時期も 100%に近い状態である。一方、発掘後は、図 12 より、冬期から春期にかけては全面で 98%以上であり南側壁面とその近くの天井付近の湿度が 100%近くになるが、夏期には、南側壁面とその近くの天井付近の湿度が 90%まで低下している。これは、石室南側が外気に近い状態にある覆屋内に面しており、その影響を受けて、夏期には、石室南側が他の部位より温度が高くなるため湿度が低下し、冬期には、同じ部位が他の部位より温度が低くなるため高湿となっていると考えられる。図 13 より、覆土がある場合は、夏期の湿度低下は同様に生じているものの低下が抑制されている。

以上の結果をまとめる。発掘前は、石室内相対湿度は年間を通じて 100%近くを維持し、石室内表面も同様であったと考えられる。発掘後の仮保護施設が設けられた状況で、石室内の温湿度は、発掘前より温度の振幅がやや大きくなり、湿度は 100%に近い値から若干低下したと考えられる。また石室の南壁とその近くの天井付近で夏期に室内側表面の湿度が 100%に近い値から低下し、乾燥していた可能性がある。調査時以外に行われていた石室南側の覆土は湿度低下の抑制効果があったと考えられる。

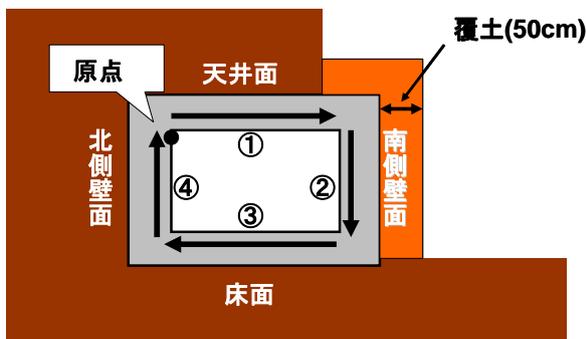


図 10 石室内表面の分布図の補足

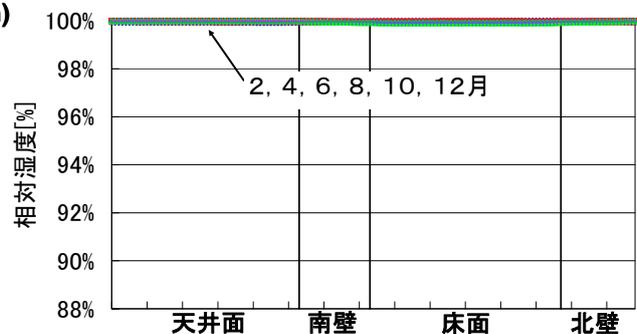
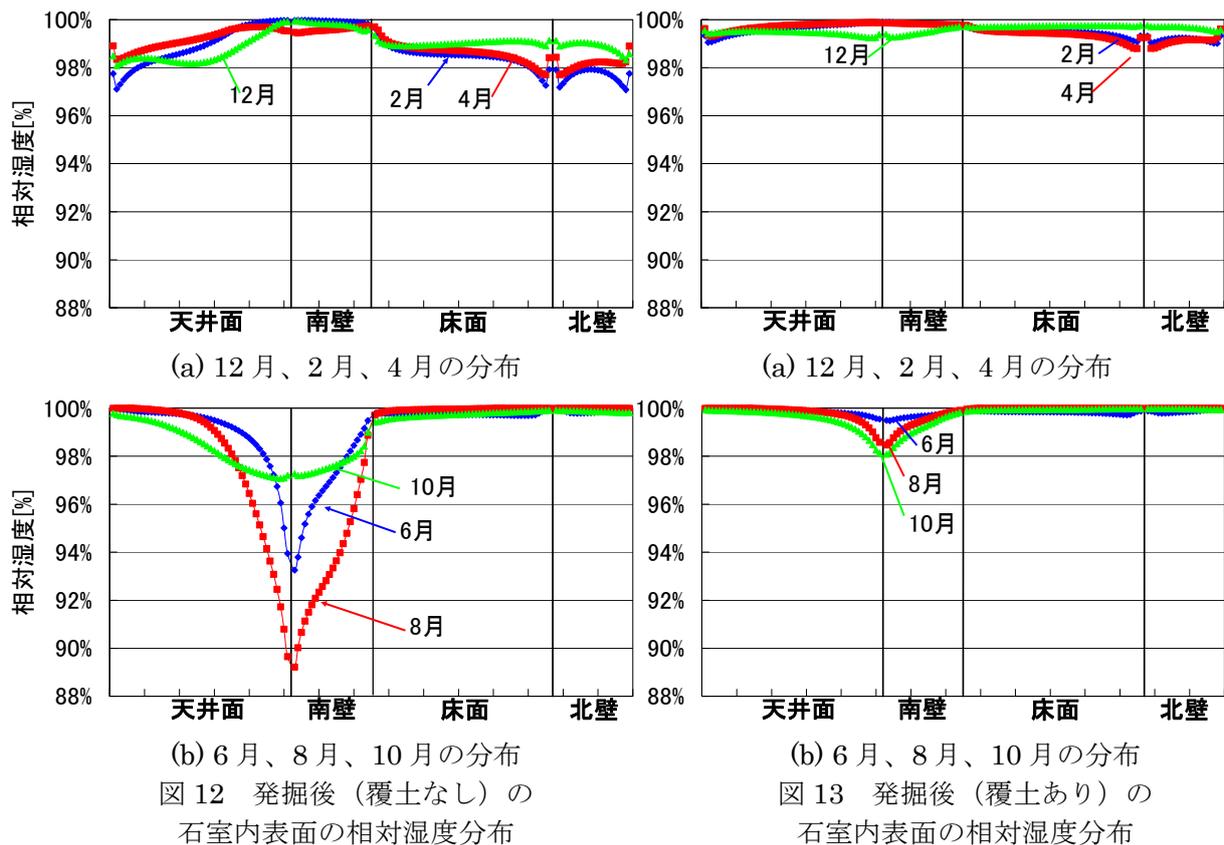


図 11 発掘前の石室内表面の相対湿度分布



5. まとめ

過去の高松塚古墳の石室周囲の環境が、石室内の温湿度変動に及ぼす影響について測定値や記録などを元に、影響を与える要因を取り上げて数値シミュレーションを用いて推定を行った。検討は、1) 保存施設稼働から石室解体前までと、2) 発掘から保存施設稼働までの二つの期間に対して行うこととした。1) については、まず石室内の温度測定値の分析を行い、この期間の石室内の温度上昇は、外気温の上昇より大きいことを確認し、この要因の検討を行うことを主たる課題とした。

本報告では、まず保存施設稼働時の気象条件の影響と、発掘直後の仮保護施設の影響について検討を行った。以下に結果をまとめる。

5.1 保存施設の稼働から石室解体前までの期間における気象条件の影響

- 1) 保存施設稼働後の約30年間の気象条件の変化は、この間の石室内の温度上昇の一因といえるが、それだけでは温度上昇を説明することはできない。
- 2) 石室内の温度上昇に影響を与える他の要因としては、①前室・準備室の温度制御、②保存施設の躯体熱移動、③機械室内の温度変動、④石室の入室、⑤墳丘の被覆状況が考えられる。

5.2 古墳発掘から保存施設の稼働までの期間における仮保護施設の影響

- 1) 発掘前は、石室内相対湿度は年間を通じて100%近くを維持し、石室内表面も同様であったと考えられる。
- 2) 発掘後の仮保護施設が設けられた状況で、石室内の温湿度は、発掘前より温度の振幅がやや大きくなり、湿度は100%に近い値から若干低下したと考えられる。
- 3) 発掘後の仮保護施設が設けられた状況で、石室の南壁とその近くの天井付近で夏期に室内側表面の湿度が100%に近い値から低下し、乾燥していた可能性がある。
- 4) 調査時以外に行われていた石室南側の覆土は湿度低下の抑制効果があったと考えられる。

参考文献

- 1) 石崎武志：過去の高松塚古墳石室内の温湿度について、高松塚古墳壁画劣化原因調査検討会、第4回、資料4(2008)
- 2) 文化庁：国宝高松塚古墳壁画 ー保存と修理ー、第一法規出版(1987)
- 3) 前掲2)、pp.23, pp.28-32
- 4) 前掲2)、pp.96
- 5) 松本衛：新建築学大系10「環境物理」3.湿気、彰国社(1983)
- 6) (財)気象業務支援センター：気象データベース地上観測、CD-ROM(2007)
- 7) Magdi KHALIL and Takeshi ISHIZAKI: Moisture Characteristic Curves of the Soil of Takamatsuzuka Tumulus, 保存科学46号(2006)
- 8) 多羅間次郎：古墳壁画保存に関する研究 ー石室解体時の墳丘部の形状変化が石室の熱水分性状に与える影響ー、京都大学大学院工学研究科建築学専攻 修士論文(2008)
- 9) Jury, W.: Simultaneous transport of heat and mass through a medium sand, Ph. Thesis, University of Michigan(1973)
- 10) 多羅間次郎, 鈴木修一, 石崎武志, 小椋大輔：古墳壁画保存に関する研究 ー石室内温湿度と結露性状の検討ー, 日本建築学会大会学術講演会, pp.427-428(2006.9)
- 11) 林為人, 高橋学, 水銀圧入式ポロシメータおよび岩石内の内部空隙寸法分布の測定への適用, 地質ニュース, 549, pp.61-68(2000)
- 12) 小鯛桂一, 岩盤透水係数性のグラフ表示, 地質調査所月報, 第35号, 第9号, pp.419-434(1984)
- 13) 北野晃一, 新晃一, 木下直人, 奥野哲夫：高温岩石の力学特性、熱特性に関する文献調査、応用地質、Vol.29、No.3、pp.242-253(1988)
- 14) 日本建築学会編：建築設計資料集成I環境、丸善、pp.176(1978)
- 15) 小椋大輔, 三野誠士, 松下敬幸, 水畑雅行, 松本衛：完全埋設型地下室及び周辺地盤の熱・湿気性状の解析、日本建築学会計画系論文集、第539号、pp.15-21(2001)
- 16) 日本熱物性学会編：熱物性ハンドブック、pp.218(2000)
- 17) 田中俊六, 武田仁ほか共著：最新建築環境工学改訂2版、井上書院、pp.91-99(1999)
- 18) 橿原考古学研究所編：壁画古墳高松塚 調査中間報告、奈良県教育委員会・奈良県明日香村発行(1973)

過去の高松塚古墳石室内の温湿度変動と その要因について

～ 保存施設稼働時の気象条件の影響と、
発掘直後の仮保護施設の影響 ～

京都大学大学院工学研究科 小椋大輔、鉾井修一、李永輝
東京文化財研究所 石崎武志、三浦定俊

発表内容

- 目的と方法
 - 検討を行う過去の保存環境
 - 保存施設稼働時の気象条件の影響
 - 発掘直後の仮保護施設の影響
 - まとめ
-

目的

- 過去の高松塚古墳の石室周囲の環境や内部作業などが、石室内の温湿度にどのような影響を与えてきたのか？



壁画劣化の要因、今後の保存環境を考える上で大変重要であり、これらを、可能な限り明らかにしたい。

方法

- 墳丘、保存施設等を考慮した石室の温湿度解析モデルを作成し、**数値シミュレーションによる推定を行う。**
 - 石室内の温湿度変動の測定値、記録
 - 石室周囲の環境、内部作業等に関する測定値、記録
を出来る限り考慮する。 不明な点は推定する。
-

検討を行う過去の保存環境 (1)

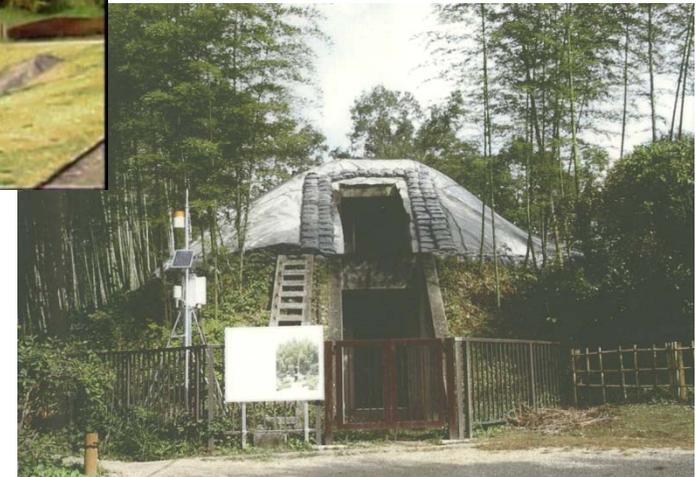
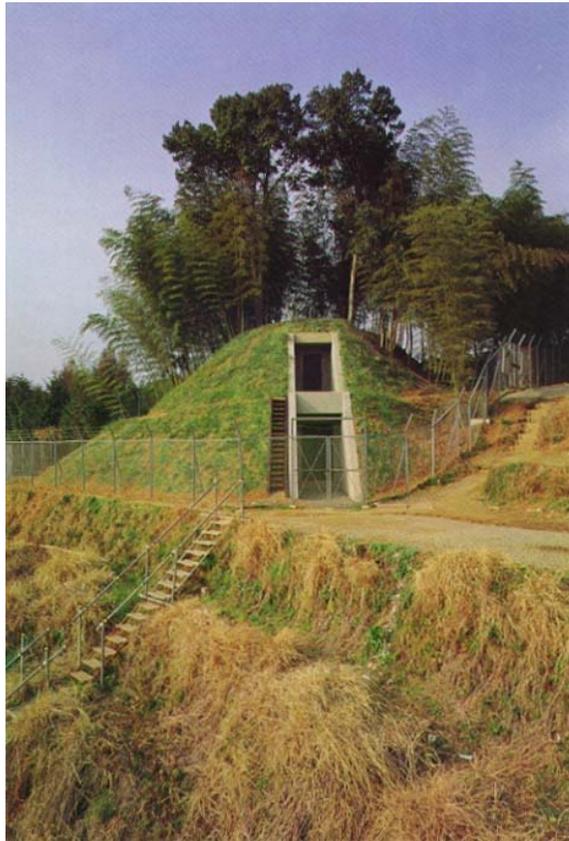
- 古墳発掘から保存施設の稼働まで(1972～1976年)



写真出典: 奈良文化財研究所 飛鳥資料館

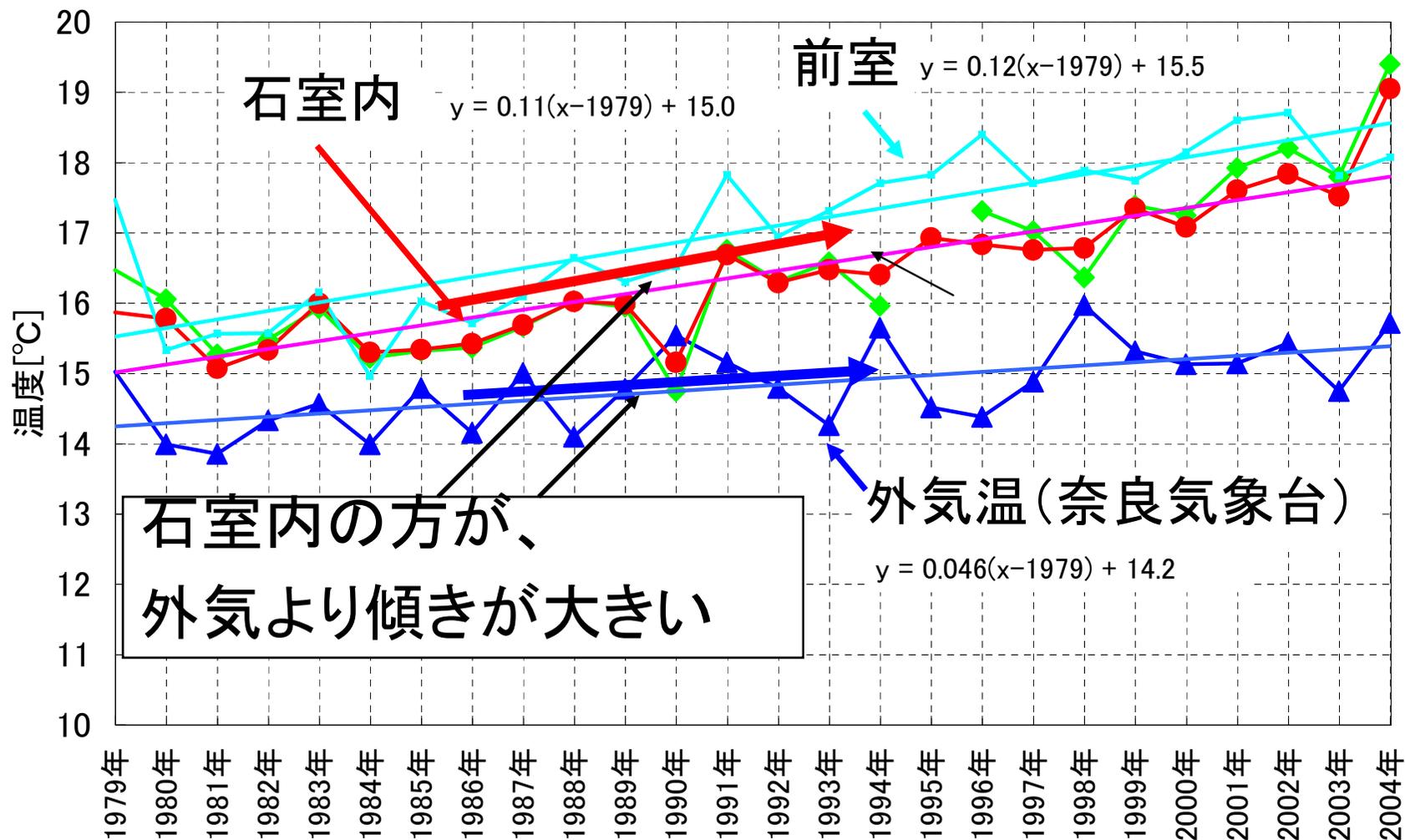
検討を行う過去の保存環境 (2)

- 保存施設の稼働から石室解体前まで(1976-2005年)



写真出典: 奈良文化財研究所 飛鳥資料館、文化庁

保存施設稼働後の石室内の温度測定値の 26年間の変化



測定値の分析から導かれる問題

- 測定値の線形近似曲線を用いた
- 26年間の年平均値の温度上昇は、

外 気: 1.2°C

石室内: 2.9°C

前 室: 3.1°C



温度差1.7°C



温度差1.9°C

なぜ石室内の温度は、外気温より、
その上昇幅が大きいのか？



保存施設の稼働以降の主たる検討課題とする。

石室内温度の上昇の要因

1) 気象条件の影響

外気温の上昇など。

本報告で検討。

それ以外は検討中であり今後報告したい。

2) 前室等の温度制御の影響

パネル系冷水温度が夏期に、石室温度、地中温度より高いなど。

3) 保存施設の躯体熱移動の影響

躯体の南側は外気に露出しており、直接日射があたるなど。

4) 機械室内の温度変動の影響

機械室での空調廃熱、夏期の高温外気と換気があることなど。

5) 石室の入室の影響

入室時に石室温度の上昇など。

6) 墳丘の被覆状況の影響

竹林や他の植物の墳丘の被覆状況の経時変化、竹林の伐採。

保存施設稼働時の気象条件の影響

目的

気象条件の変動は石室内の温度上昇に
どの程度、寄与したのか？

解析方法

基礎方程式：熱水分同時移動方程式

気象条件：奈良気象台観測値(1975-2005)

外気温、相対湿度、日射量、降雨量、雲量

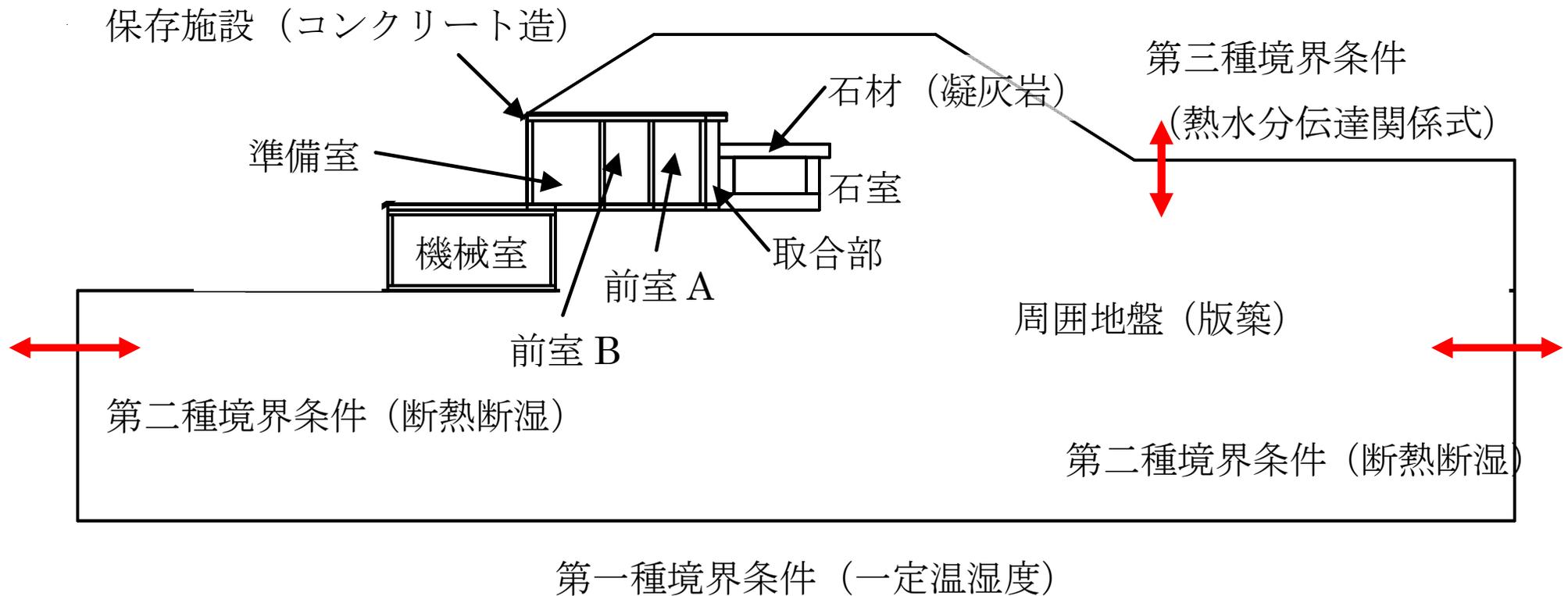
熱水分物性値：版築：現地測定値を元に決定

他は文献値による推定

計算方法：前進型有限差分法

計算期間：1979年1月1日～2005年12月31日

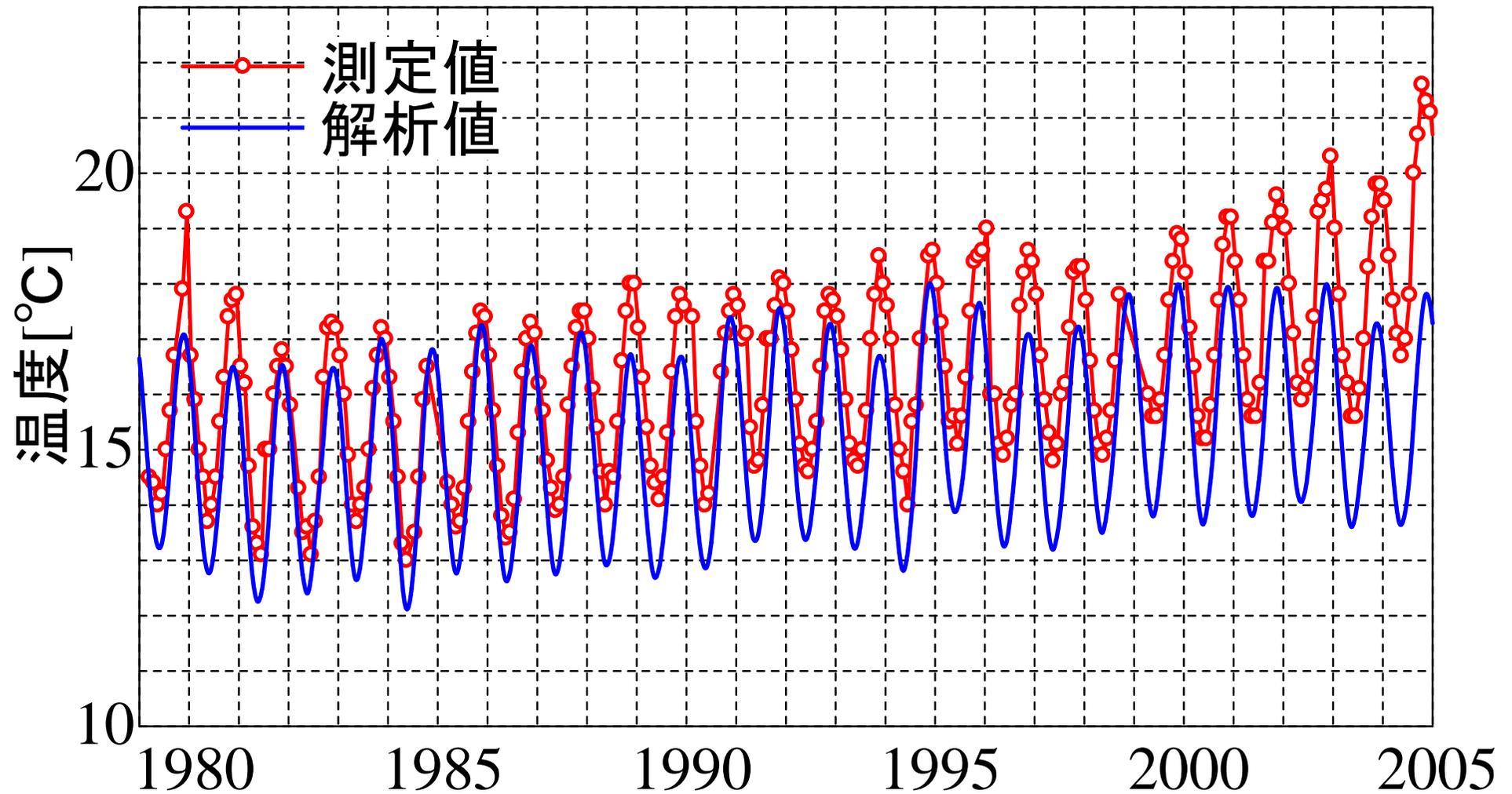
保存施設稼働時の解析対象のモデル化



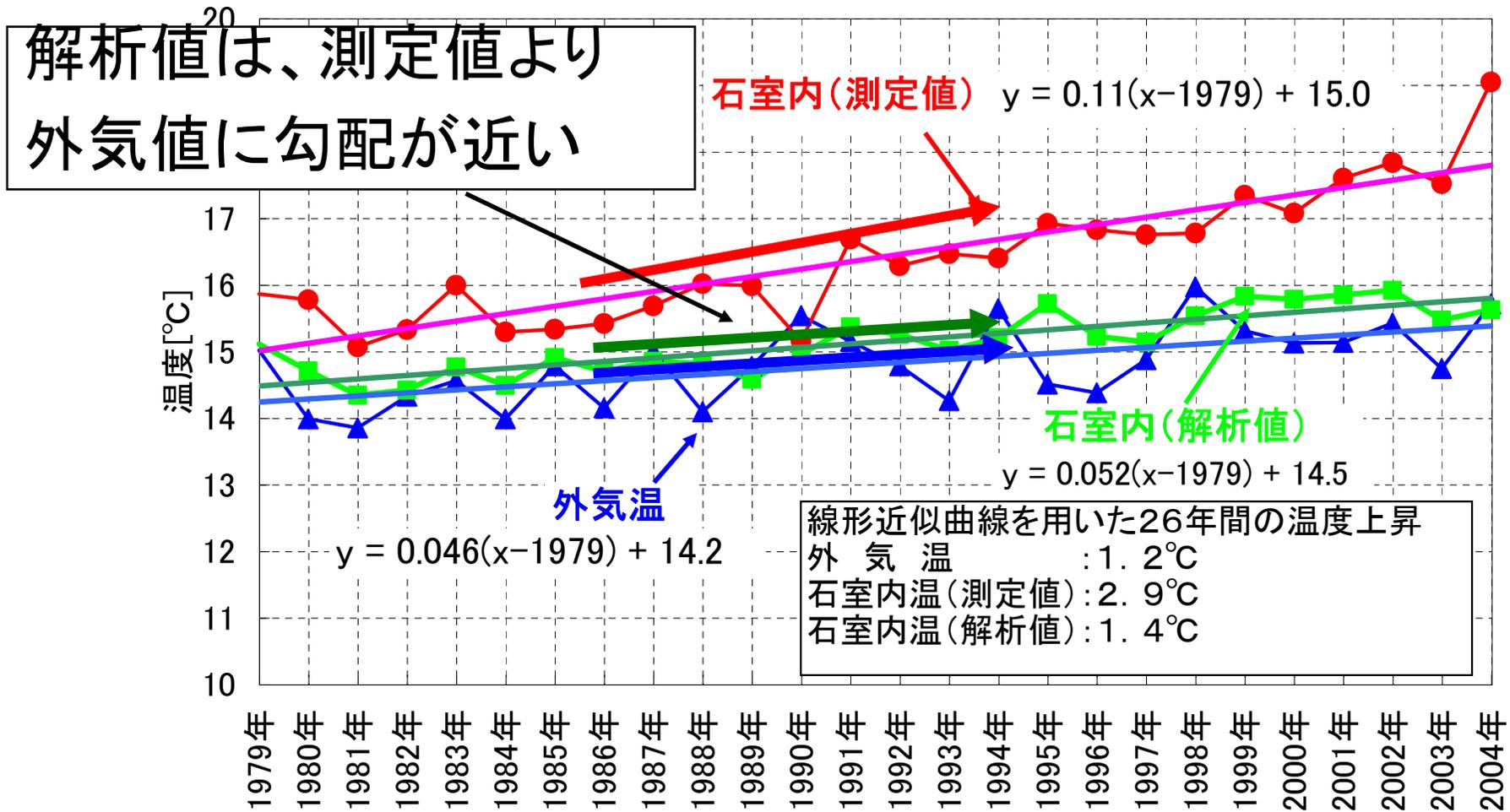
保存施設等の設定条件

前室・準備室の 温度制御	<ul style="list-style-type: none">・石室温度と等しくなる様に制御・取合部との換気はなし
機械室	<ul style="list-style-type: none">・なし(熱水分発生なし)・外気との換気はなし
石室の入室	<ul style="list-style-type: none">・なし(熱水分発生なし)・石室と取合部との換気はなし
墳丘表面	<ul style="list-style-type: none">・植生を一様に分布・時間的に変化なし

石室内の温度変動(1979~2004)



石室内の年平均値の変動(1979~2004)



気象条件の影響に関するまとめ

- 線形近似曲線を用いた26年間の温度上昇
 - 外気温 : 1.2°C
 - 石室内温(測定値) : 2.9°C
 - 石室内温(解析値) : 1.4°C
- 温度差1.5°C

気象条件の影響のみでは

石室内温度上昇の説明ができない。

他の要因: ①前室・準備室の温度制御、②保存施設の躯体熱移動、
③機械室内の温度変動、④石室の入室、
⑤墳丘の被覆状況

古墳発掘から保存施設の稼働までの状況 と今回の検討内容

- 発掘直後(1972年)、仮保護施設を石室南端に設置
- 発掘から2年後から、保存施設・設備の設置工事。
(1974年7月～1976年1月)
- 調査時以外は、石室南端は、覆土を設けた。
- 調査時には、入室のため覆土が取りのぞかれ、
封土斜面の散水や、石室の高湿環境維持のための対策あり。

本報告では、まず発掘前と発掘直後の仮保護施設が設けられた頃の石室内温湿度について推定を行う。

それ以外は検討中であり、今後報告したい。

発掘直後の仮保護施設の影響

目的

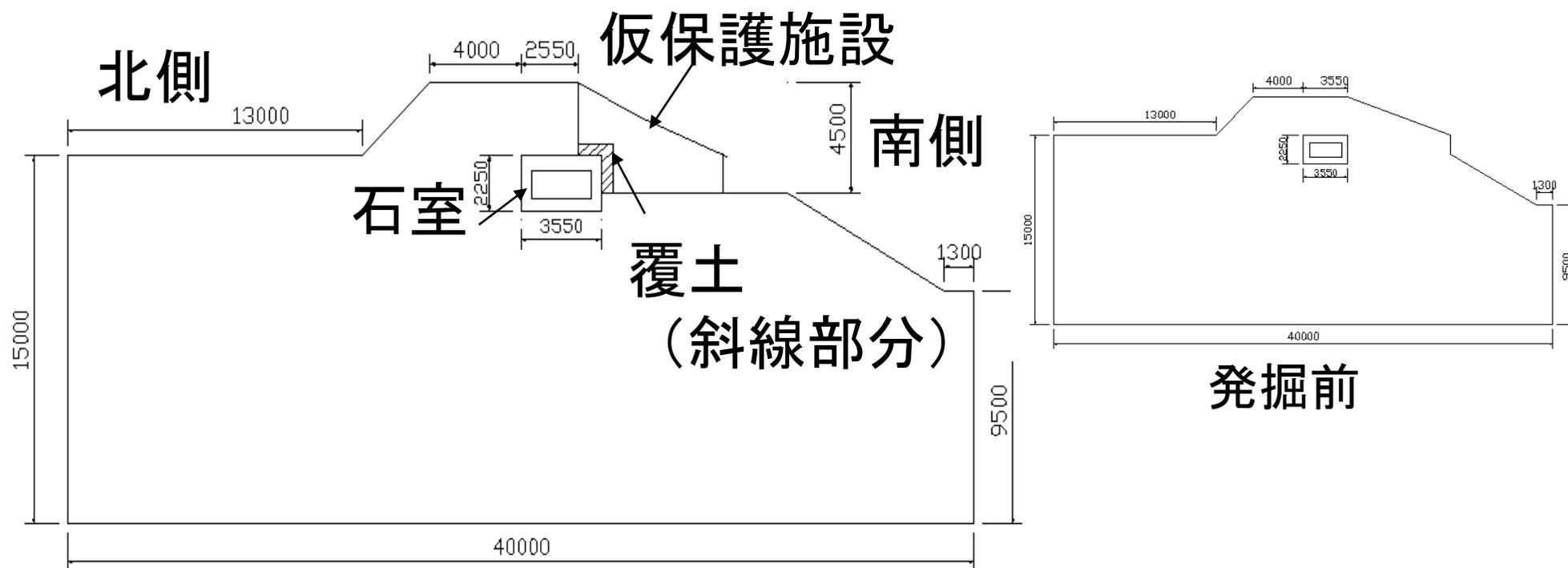
発掘後、仮保護施設が設けられた頃の石室内温湿度はどのようになっていたのか。

解析方法

基礎方程式、計算方法は、保存施設稼働時と同じ。
気象条件：1972年の奈良気象台観測値（繰り返す）

- 発掘前後の墳丘形状を考慮
- 仮保護施設、石室南端の覆土を考慮
- 石室の入室及びその時の対策は**考慮せず**。←今後の課題

発掘前後の解析対象のモデル化

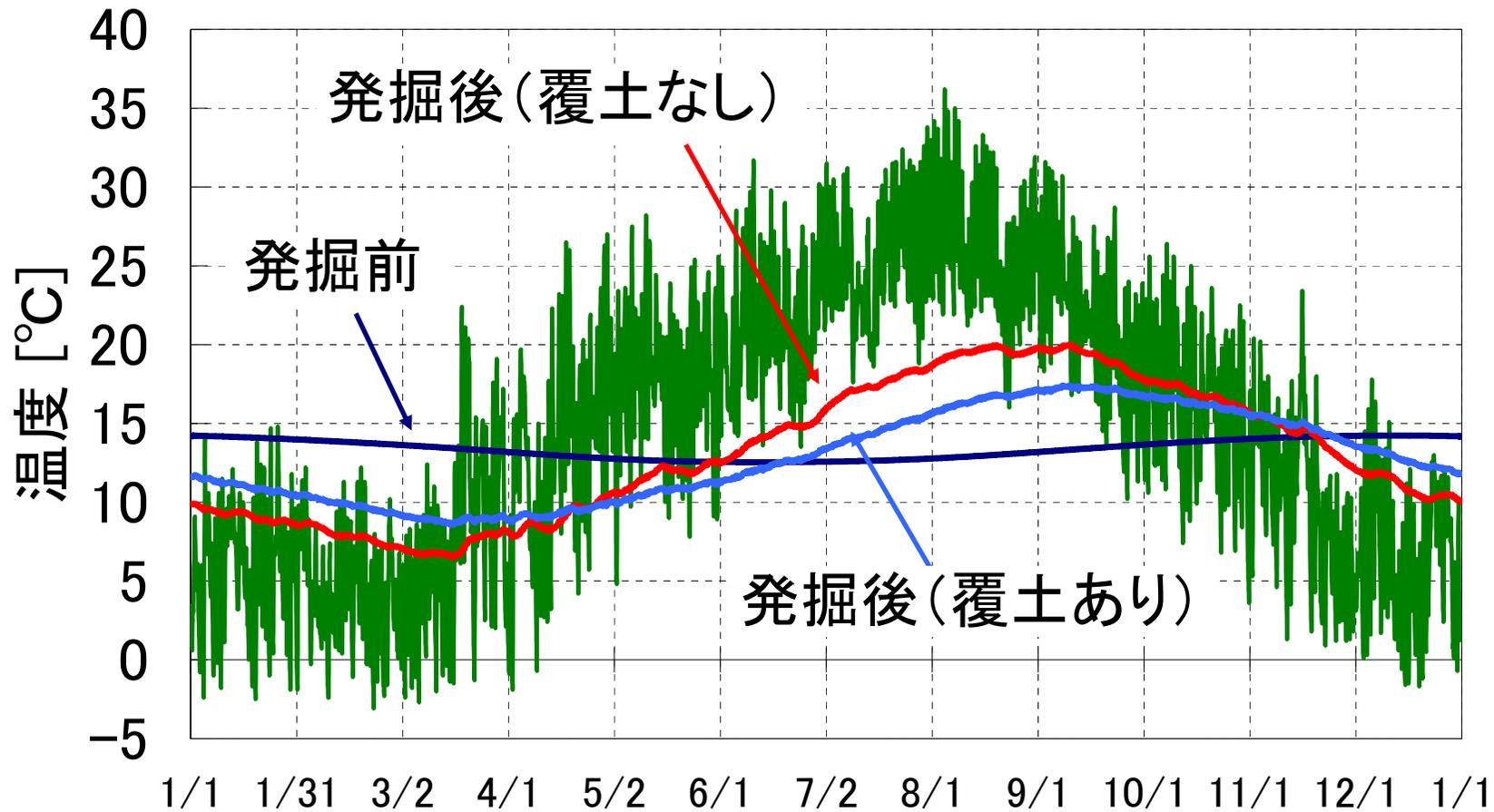


発掘後の仮保護施設がある状況
(※石室南側の覆土がある場合)

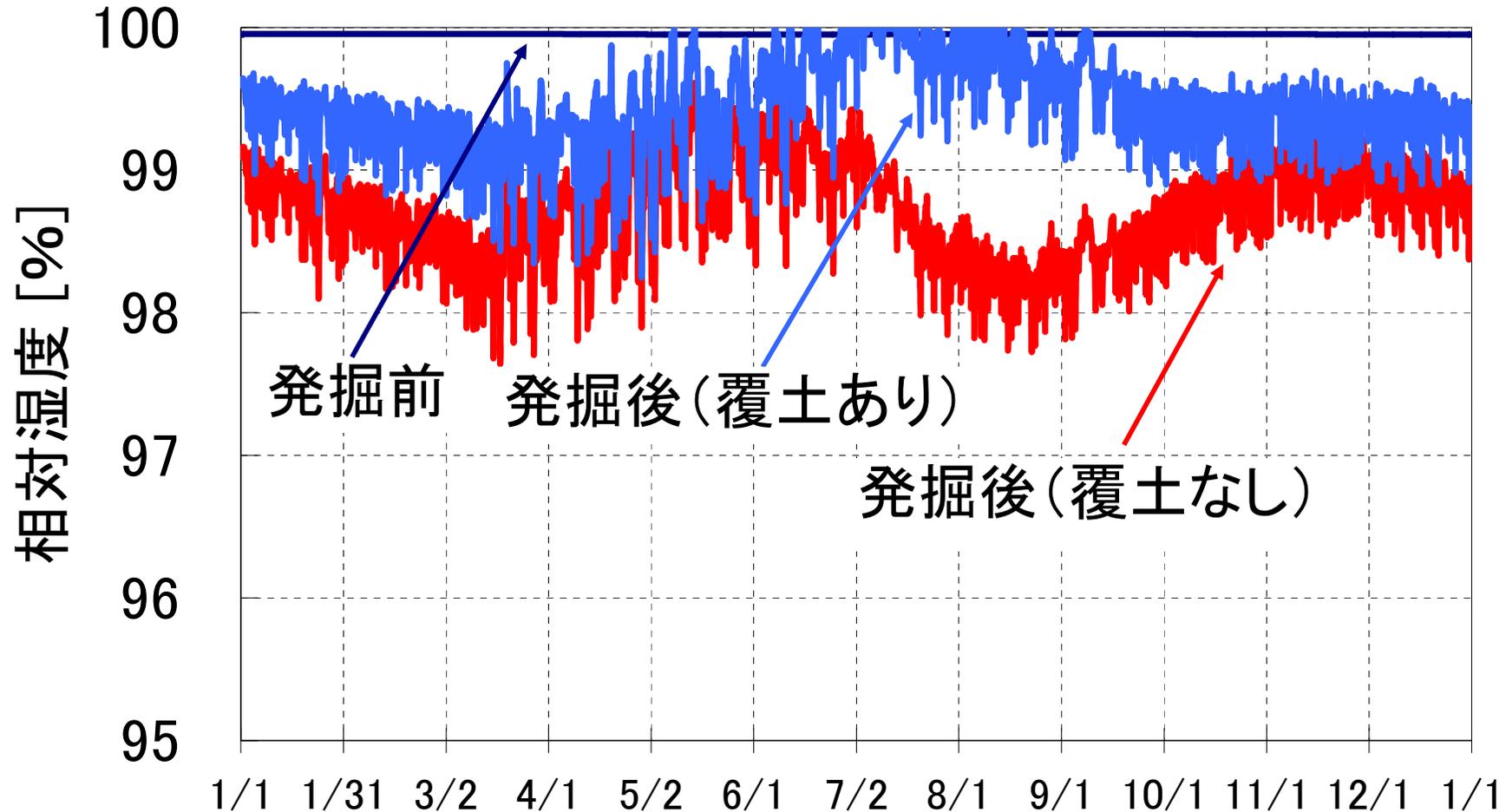
発掘後の仮保護施設等の条件

仮保護施設	<ul style="list-style-type: none">▪ 内部での熱水分発生なし▪ 石室と仮保護施設の間での換気を考慮▪ 仮保護施設と外気の間での換気を考慮 (5回/h)▪ 屋根、壁は1次元の熱移動 (非透水、非透湿)
石室の入室	<ul style="list-style-type: none">▪ なし（熱水分発生なし）、▪ 石室と仮保護施設の間での換気を考慮 (0.5回/h)

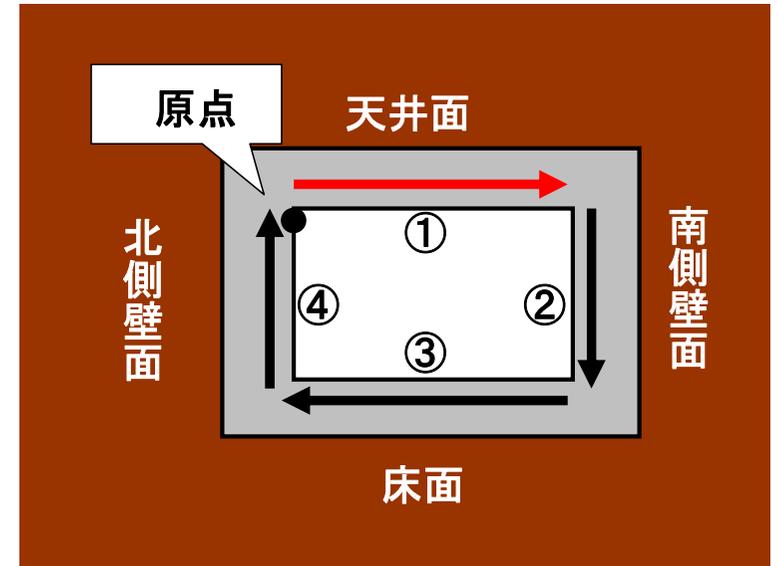
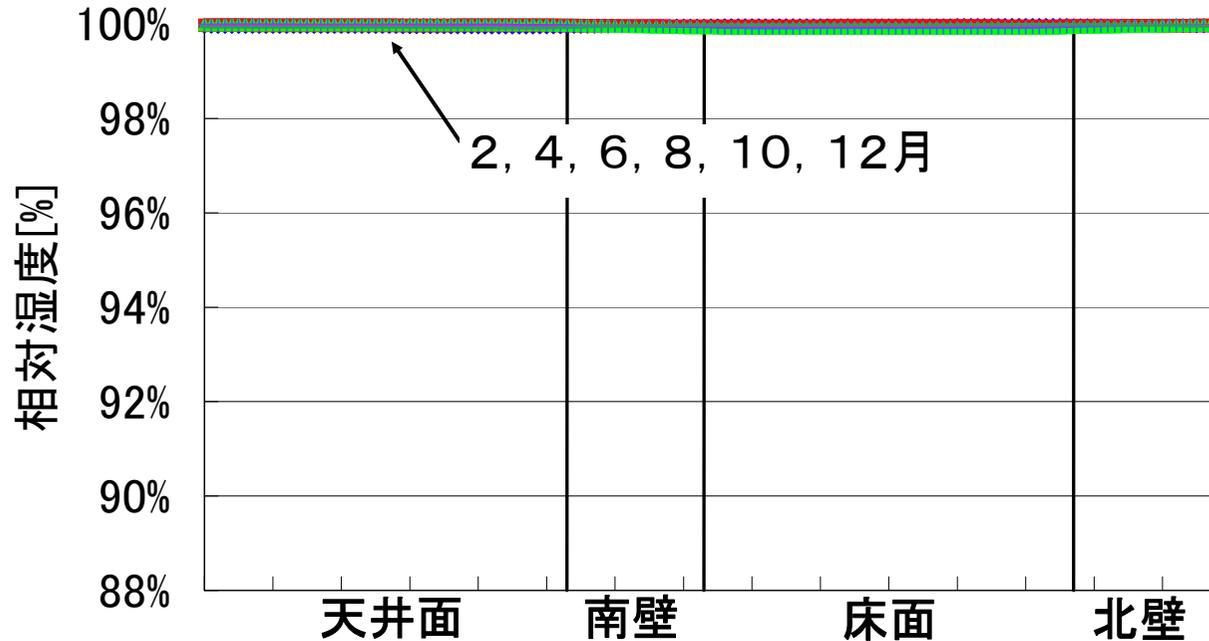
発掘前後の石室内の温度変動



発掘前後の石室内の相対湿度変動

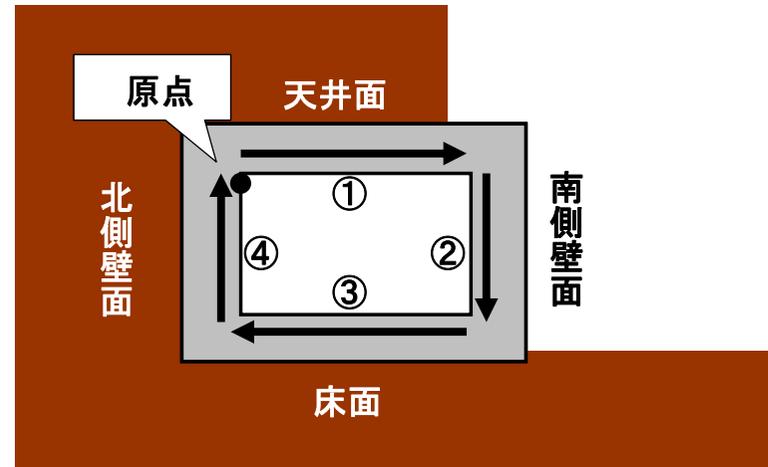
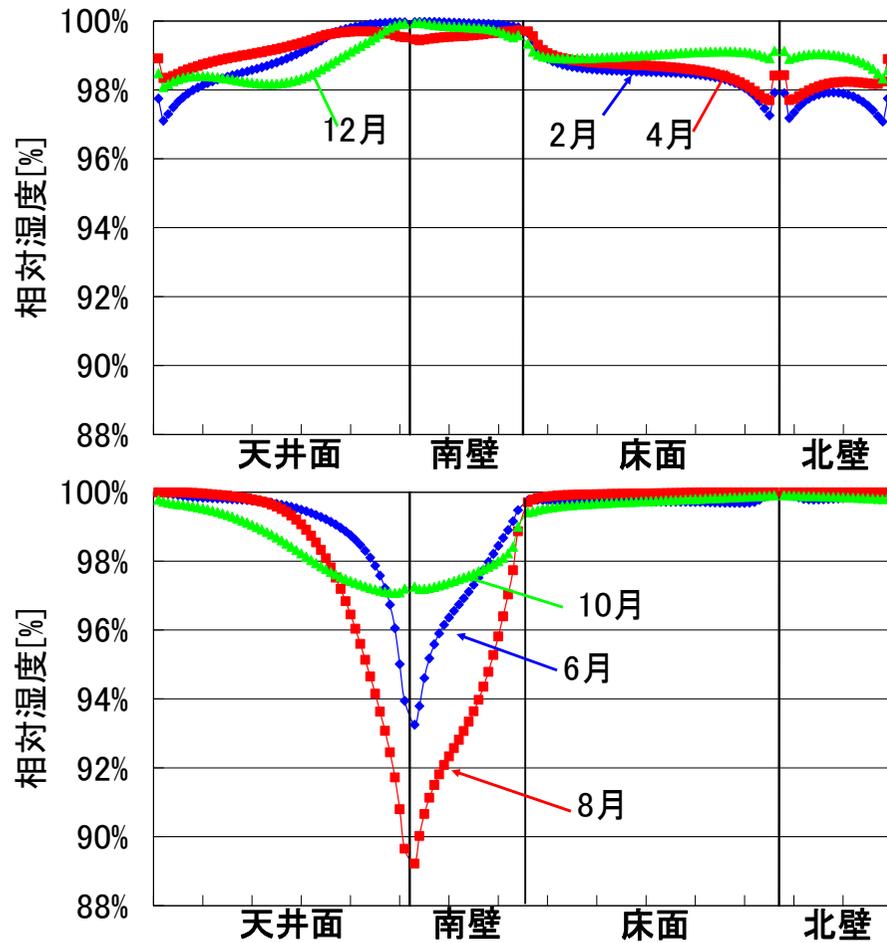


発掘前の石室内表面の相対湿度分布



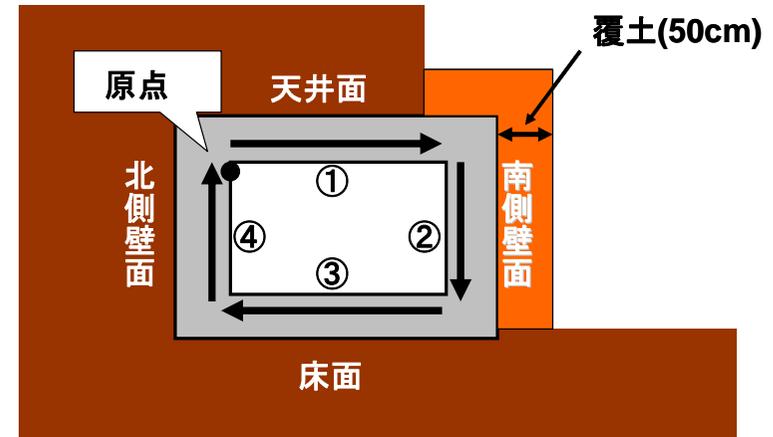
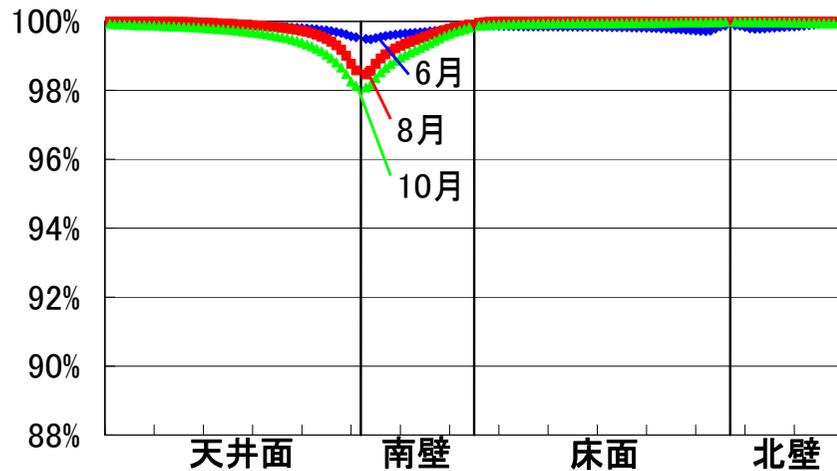
いずれの部位、いずれの時期も100%に近い状態

発掘後の石室内表面の相対湿度分布 (覆土なし)



冬期から春期: 全面で98%以上
夏期: 南側壁面と南側天井付近が
90%まで低下

発掘後の石室内表面の相対湿度分布 (覆土あり)



覆土がある場合：
夏期の湿度低下は
覆土がない場合より抑制

発掘直後の仮保護施設の影響の検討結果 のまとめ

発掘前

- 1) 石室内相対湿度は年間を通じて100%近くを維持し、石室内表面も同様であったと考えられる。

発掘直後の仮保護施設が設けられた状況

- 2) 石室内の温度は、発掘前より振幅がやや大きくなり、湿度は100%に近い値から若干低下したと考えられる。
- 3) 石室の南壁とその近くの天井付近で夏期に室内側表面の湿度が100%に近い値から低下し、乾燥していた可能性がある。
- 4) 調査時以外に行われていた石室南側の覆土は湿度低下の抑制効果があったと考えられる。

まとめ(1)

過去の高松塚古墳の石室周囲の環境が、石室内の温湿度変動に及ぼす影響について測定値や記録などを元に、影響を与える要因を取り上げて数値シミュレーションを用いて推定を行った。

1) 保存施設稼働から石室解体前まで

2) 発掘から保存施設稼働まで

1)については、まず石室内の温度測定値の分析を行い、この期間の石室内の温度上昇は、外気温の上昇より大きいことを確認し、この要因の検討を行うことを主たる課題とした。

まとめ(2)

保存施設の稼働から石室解体前までの期間における 気象条件の影響

- 1) 保存施設稼働後の約30年間の気象条件の変化は、この間の石室内の温度上昇の主たる要因の一つといえるが、それだけでは温度上昇を完全に説明しきることはできない。
 - 2) 石室内の温度上昇に影響を与える他の要因としては、①前室・準備室の温度制御、②保存施設の躯体熱移動、③機械室内の温度変動、④石室の入室、⑤墳丘の被覆状況が考えられる。
 - 3) 今後は、これら諸要因の実験的な寄与の度合などについて更に検討を加える必要がある。
-

まとめ(3)

古墳発掘直後の仮保護施設の影響

「発掘前」

- 1) 石室内相対湿度は年間を通じて100%近くを維持し、石室内表面も同様であったと考えられる。

「発掘直後の仮保護施設が設けられた状況」

- 2) 石室内の温湿度は、発掘前より温度の振幅がやや大きくなり、湿度は100%に近い値から若干低下したと考えられる。
- 3) 石室の南壁とその近くの天井付近で夏期に室内側表面の湿度が100%に近い値から低下し、やや乾燥していた可能性がある。
- 4) 調査時以外に行われていた石室南側の覆土は湿度低下の抑制効果があったと考えられる。