

〔報文〕過去の高松塚古墳石室内の温湿度変動解析 (2) 墳丘部表面の植生等の変化が石室内温度変動に与える影響

著者	小椋 大輔, 鉾井 修一, 李 永輝, 石崎 武志
雑誌名	保存科学
号	49
ページ	73-85
発行年	2010-03-31
URL	http://id.nii.ac.jp/1440/00003765/

〔報文〕 過去の高松塚古墳石室内の温湿度変動解析（2） — 墳丘部表面の植生等の変化が石室内温度変動に与える影響 —

小椋 大輔*・銚井 修一*・李 永輝*・石崎 武志

1. はじめに

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。

前回の報告³⁾では、保存施設稼働時の気象条件の影響について検討を行い、以下の結果を得た。

- 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石室への入室、⑤墳丘の被覆状況が考えられる。

本報告では、墳丘の被覆状況の変化が石室内温度変動に与える影響について検討を行った内容について述べる。

2. 解析方法と解析条件

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、地表面被覆を除いて、前回報告したものと等しい。地表面被覆については、竹林^{註1)}、防水シート、仮設覆屋で覆われている場合の3種類の条件を考慮する。竹林で覆われている場合は、植生の熱・湿気抵抗、日射遮蔽などが考慮可能な竹林と地表面の2層に分けた植生モデルを導入する^{付録A}。また防水シートは、実際使われたシートの日射反射率の測定を行い、その結果を用いる^{付録B}。解析対象は、前回と同様の図1に示す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。ただし防水シートについては、当時の図面及び写真を参考にして、図中の墳丘上部を覆う位置に設置し、仮設覆屋は防水シートと同じ領域に防水シートを撤去して設置する。

表1 解析方法⁴⁾

基礎方程式	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） 外気温、外気相対湿度、水平面全日射量、降雨量、雲量
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を元に推定 地表面近傍は砂質土 凝灰岩：文献値を元に推定 漆喰：文献値を使用 保存施設コンクリート：文献値を使用 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)

*京都大学大学院

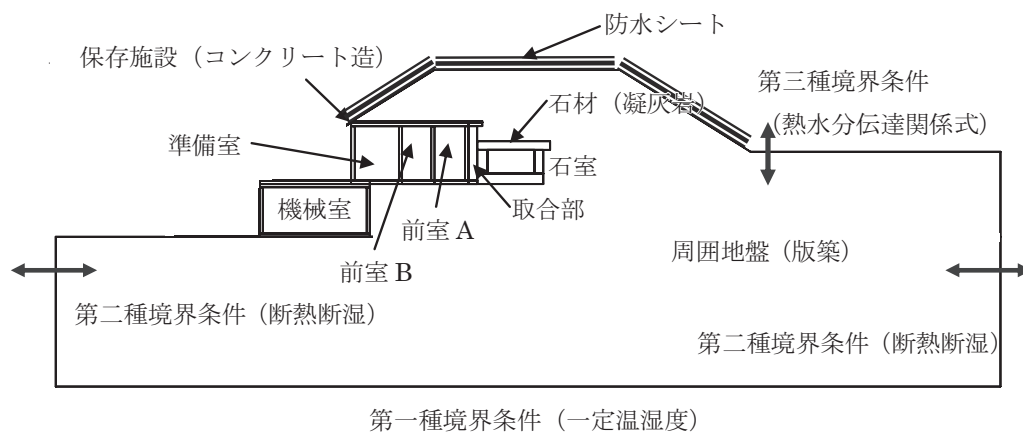


図1 解析対象 (防水シート設置時)

解析は、主に、2003年から2005年の間の墳丘の被覆状況の変化が、石室の温度変動にどのような影響を与えたのかを検討する。ただし、墳丘の植生を含めた地表面境界について、前回の報告におけるモデルに変更を加えているため、その結果を考察した上で、被覆状況の変化について検討を行う。

表2に、実際の墳丘の被覆状況の変化を示す。これを元にして解析では、表3に示すような墳丘の被覆条件を考える。それぞれの計算ケースは以下の通りである。

Case 1 : 実際の墳丘の被覆状況の変化を考慮した場合

(Case 1 b : 防水シートの汚れによる日射吸収率の上昇を考慮した場合)

Case 2 : 墳丘の竹林を伐採しなかった場合

Case 3 : 竹林を伐採した後、墳丘上段に防水シートを設置し続けた場合

竹林を伐採し防水シートを設置した影響の検討は、Case 2とCase 3を比較することにより行う。防水シートを撤去して仮設覆屋を設置した影響の検討は、Case 1とCase 3を比較することにより行う。保存施設では、前回の報告と同様に、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²⁾とし、機械室の排熱や石室内への入室はないものとする(表4)。

表2 墳丘の被覆状況の変化⁶⁾

期間	墳丘の被覆状況
1976年～ 2003年9月	竹林が墳丘表面を覆っている。
2003年9月～ 2003年10月	墳丘上段の竹の伐採、墳丘上段に防水シートを設置。
2004年9月中	墳丘下段の竹を伐採し、墳丘上段の防水シートを撤去。 発掘調査(平成16年度)用仮設覆屋を建設・完成。

表3 解析における墳丘の被覆条件

Case 期間	Case 1	Case 2	Case 3
1975.5.1～ 2003.9.30	竹林が墳丘を一樣に覆う ^{*1}	竹林が墳丘を一樣に覆う	竹林が墳丘を一樣に覆う
2003.10.1 2004.9.15	竹林を伐採し、 墳丘上段に、 防水シートを設置 ^{*2} (Case 1 b: 防水シートの日射吸 収率を20%増加した場合)		竹林を伐採し、 墳丘上段に、 防水シートを設置
2004.9.15 2005.12.31	墳丘に 仮設覆屋を設置 ^{*3}		

※1：竹林に関するモデル化は付録Aに示すとおりであり、パラメータは、文献5)を参考に、試行錯誤により決定した。用いた主なパラメータ：植生の日射透過率 $a = 0.1[-]$ 、植生の熱抵抗 $R_t = 0.43[m^2 K / W]$ 、植生の日射吸収率 $At = 0.9[-]$ 。

※2：防水シートの日射吸収率は、測定値（0.42[-]）を用いる^{付録B}。熱抵抗は十分小さいものとして無視し、透湿抵抗はカタログ記載値（0.2296[$m^2 s Pa / \mu g$]）を用いる。

※3：仮設覆屋設置により、墳丘への日射、降雨は遮蔽され、覆屋内温湿度は十分換気があると仮定して、外気と等しい値とする。なお2004年度の発掘と、2005年9月より行われた墳丘部冷却は考慮していない。

表4 保存施設等の設定条件

前室・準備室の温度制御	機械室	石室への入室
・石室温度と等しくなる様に制御 ・取合部との換気はなし	・熱水分発生なし ・外気との換気はなし	・なし（熱水分発生なし） ・石室と取合部との換気はなし

3. 解析結果と考察

3-1. 解析値と測定値の比較

まず保存施設稼働後の長期間の石室内の温度変動について、解析値と測定値について比較を行う。図2に、1979年から2005年の石室内の温度変動の解析値（Case 1）と測定値の比較を示す。図より、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2℃以上も生じ最も大きくなる。これは前回の結果³⁾の傾向と一致しており、植生モデルの変更により、解析値の傾向は変わらない。解析値の年平均温度の上昇が、測定値より小さい理由としては、1章で述べた、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石室への入室の4つの要因が考えられ、これらを考慮した検討が必要である。以下ではこの年平均値の差以外の変動についてのみに注目し、墳丘部の被覆状況の大きな変化があった2003年から2005年までの期間について検討を行う。

図3に、2003年から2005年の石室内の温度変動の解析値と測定値の比較を示す。図より、測定値は、2003年末に最大20℃まで上昇し、2004年末に22℃近くまで上昇しており、2004年末の方が、最大値は2℃近く高い。Case 1の解析値は、2003年末に最大16.8℃だが2004年末に最大17.7℃となり、最大値は1℃程度高くなっている。またCase 1 bの解析値から、防水シートの日射吸収率が上昇することで、2004年末の温度は18.0℃になり、Case 1より0.3℃上昇する。解析値（Case 1）は、測定値に比べて温度上昇はやや小さいものの、変化の傾向はよく一致

している。解析値（Case 1）と測定値の差については、汚れによる防水シートの日射吸収率の増加の他、上記の4つの要因なども考えられる。一方、2005年中頃の温度低下は解析値では十分再現できていない。この理由としては、発掘調査により石室上部の地盤厚さが薄くなったことで外気温が低下する時期に石室の温度が低下しやすくなったことなどが考えられる。以上から、石室内温度の解析値は、年平均値の差や2005年中頃を除き、測定値の変動の傾向によく一致しているといえる。

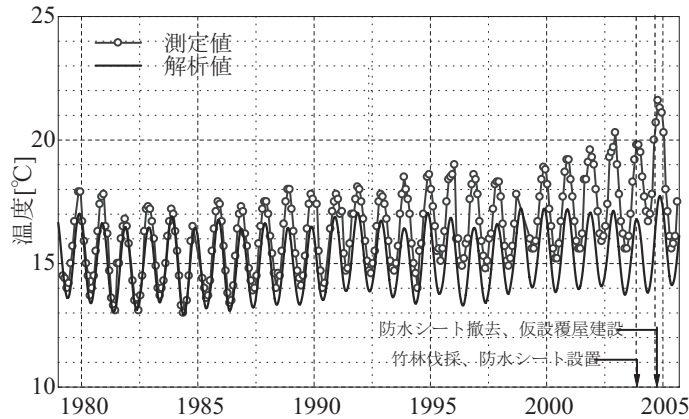


図2 石室内の温度変動の解析値と測定値の比較（1979年から2005年）

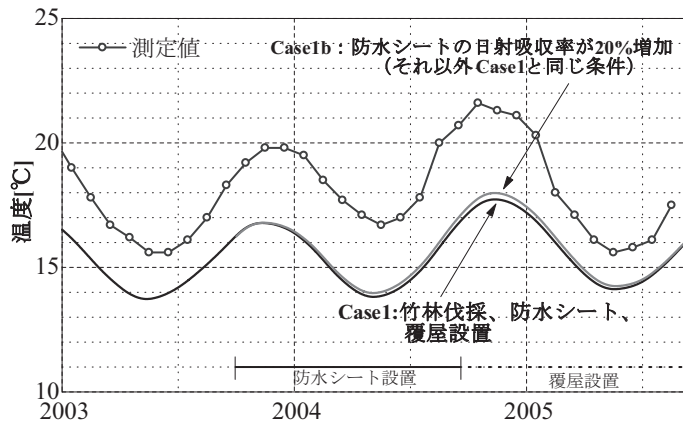


図3 石室内の温度変動の解析値と測定値の比較（2003年から2005年）

3-2. 竹林を伐採し、防水シートを設置した影響の検討

2003年9月に、竹林を伐採し、防水シートを設置した影響について検討を行う。墳丘の竹林を伐採しなかった場合（Case 2）と、竹林を伐採した後、墳丘上段に防水シートを設置し続けた場合（Case 3）の比較から、防水シートの影響を検討する。

図4に石室内温度のCase 2とCase 3の解析値を計測値と併せて示す。

図より、防水シート設置後から2004年前半にかけて、Case 2はCase 3よりやや遅れて変化し、一時的に、Case 3の方がやや下まわがるが、その後は、常にCase 3の方がCase 2より、温度が高めに推移している。特に2004年末頃には、Case 3はCase 2より0.7℃高くなっている。この理由として、防水シートの設置によって日射吸収が小さくなることより、竹林の伐採による竹林の日射遮蔽効果と、竹林、土壌からの蒸散・蒸発による冷却効果がほとんど無くなるこ

との方が、大きく影響して、温度上昇が大きくなったと考えられる。以上から、2004年末頃の石室内の温度上昇の要因の一つとして、2003年9月に、竹林を伐採し、防水シートを設置したことが影響している可能性が高い。

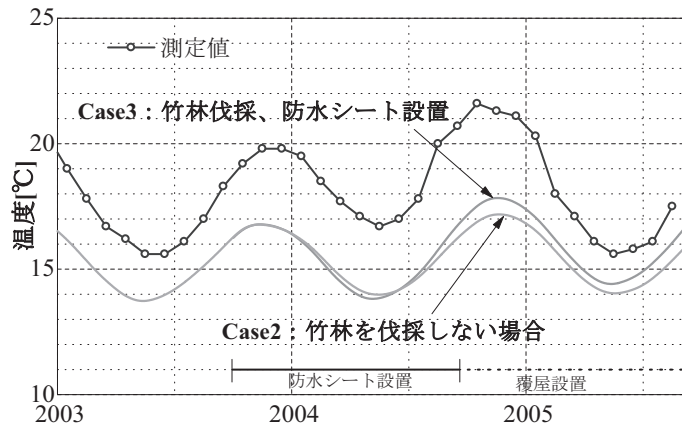


図4 Case2 と Case3 の石室内の温度変動の比較（2003 年から2005 年、）

3-3. 仮設覆屋を設置した影響の検討

2004年9月に、防水シートを撤去し、仮設覆屋を設置した影響について検討を行う。

実際の墳丘状況の変化を考慮した場合（Case 1）と、竹林を伐採した後、墳丘上段に防水シートを設置し続けた場合（Case 3）の比較から、仮設覆屋を設置した影響を検討する。

図5に石室内温度のCase 1とCase 3の解析値を計測値と併せて示す。図より、2004年9月の覆屋建設後から、Case 3よりCase 1の方が石室内の温度が低く、防水シートを撤去し、覆屋を設置することにより、石室温度が低下する傾向にあることが分かる。これは、覆屋設置による日射遮蔽効果が大きいと考えられる。

以上から、2004年9月の仮設覆屋の設置は、防水シートの設置を継続するより、石室内の温度を低くする要因の一つとして影響していたと考えられる。

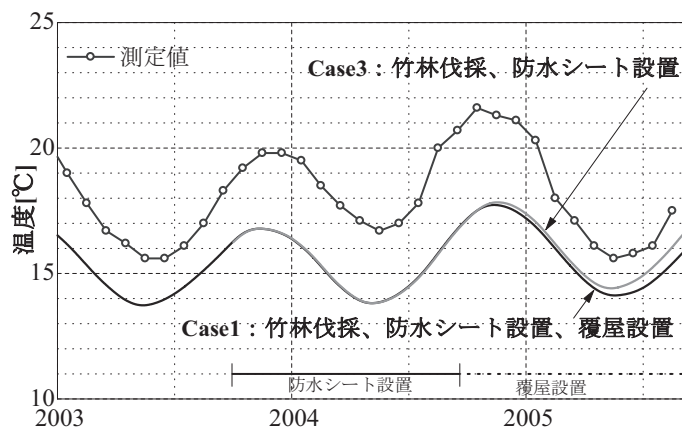


図5 Case1 と Case3 の石室内の温度変動の比較（2003 年から2005 年）

4. まとめ

本報告では、墳丘の被覆状況の変化が石室内温度変動に与える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。

数値解析において、被覆条件の変化を適切に評価するため、植生の日射透過率や熱・湿気抵抗等を考慮したモデルを新たに導入し、防水シートの日射反射率（アルベド）として測定値を用いた。得られた結果は以下の通りである。

- 1) 2004年末頃の石室内の温度上昇の要因の一つとして、2003年9月に、竹林を伐採し、防水シートを設置したことが影響している可能性が高い。
- 2) 2004年9月の仮設覆屋の設置は、防水シートの設置を継続するより、石室内の温度を低くする要因の一つとして影響していたと考えられる。
- 3) 保存施設稼働時の年平均的な石室の温度上昇について気象条件の影響や被覆条件の変化だけでは十分説明できず、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石室への入室の影響が考えられ、これらの寄与の程度について今後、明らかにする必要がある。

注1) 竹林以外にモチノキ等があるが、墳丘上の植生は竹林と総称する。

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 —保存と修理—』、第一法規出版（1987）
- 3) 小椋大輔、銚井修一、李永輝、石崎武志、三浦定俊：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、高松塚古墳壁画劣化原因調査検討会 第5回、資料5、（2008.12.11）
- 4) 小椋大輔、銚井修一、李永輝、石崎武志、三浦定俊：過去の高松塚古墳石室内の温湿度変動解析 —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—、保存科学、48、1-11（2009）
- 5) 近藤純正編著：『水環境の気象学 —地表面の水収支、熱収支—』、朝倉書店、pp.208-239（1996）
- 6) 文化庁ホームページ：国宝高松塚古墳壁画保存管理の経緯（昭和47年～平成18年9月）

キーワード：高松塚古墳（Takamatsuzuka tumulus）；温度（temperature）；湿度（relative humidity）；壁画（mural painting）；数値解析（numerical analysis）；植生（vegetation）；防水シート（waterproof sheet）

付録

付録 A. 植生を含めた地表面境界の熱水分移動モデル

A.1 モデルにおける仮定

植生を含めた地表面境界の熱水分移動について、植生の熱・湿気抵抗、日射遮蔽などが考慮可能なモデルを作成した。

植生のモデル化を行うにあたって、以下の仮定を置く。

1. 植生は、鉛直方向に1次元かつ定常的な熱水分の流れが生じるものとして、熱及び水分の蓄積の効果は考慮しない。
2. 植生及び地表面は、植生頂部と地表面の2質点とする。

3. 蒸散及び降雨時の遮断蒸発は植生頂部で生じる。
 4. 入射する日射は一部が植生頂部で吸収され、一部が地表面に到達し吸収され、それ以外は大気中に反射される。
 5. 植生の密集度が比較的高いことを想定し、夜間放射は、植生頂部のみ考慮する。
 6. 植生の蒸散に用いられる水分は墳丘地盤から一様に吸水される。
- 上記仮定の元で、植生を有する地表面の熱流及び水分流を求める。

A.2 植生及び地表面の熱移動

図 A.1 に植生を含めた地表面境界層の熱移動の概要を示す。

植生頂部の代表点における熱流 q_t [W / m²] は以下の様に表される。

$$\begin{aligned} q_t &= \alpha_t(T_o - T_t) + J \cdot (1-a) \cdot A_t - \varepsilon_t \cdot q_{nr} - r \cdot (E_t + E_p) \\ &= \frac{1}{R_t}(T_t - T_g) \end{aligned} \quad \dots (A.1)$$

ここで、 α_t : 植生頂部の総合熱伝達率 [W / m² K], J : 日射量 [W / m²], a : 植生の日射透過率 [-], A_t : 植生の日射吸収率 [-], ε_t : 植生の放射率 [-], q_{nr} : 夜間放射量 [W / m²], r : 蒸発潜熱 [J / kg], E_t , E_p : それぞれ植生の蒸散量, 降雨の遮断蒸発量 [kg / m²s]。

(A.1) 式で、 $q_{jget} = J \cdot (1-a) \cdot A_t - \varepsilon_t \cdot q_{nr} - r \cdot (E_t + E_p)$ と置き、 T_t を消去すると、

$$\begin{aligned} q_t &= \alpha_t(T_o - T_t) + q_{jget} \\ q_t &= \frac{1}{R_t}(T_t - T_g) \\ \therefore q_t &= \frac{1}{1/\alpha_t + R_t} \left(T_o + \frac{q_{jget}}{\alpha_t} - T_g \right) \end{aligned} \quad \dots (A.2)$$

地表面の熱流は下式で表される。

$$\begin{aligned} q_g &= \frac{1}{R_t}(T_t - T_g) + J \cdot a \cdot A_g - r \cdot E_g \\ &= -(\lambda + r\lambda'_{r_g}) \frac{\partial T}{\partial x} - r\lambda'_{\mu_g} \frac{\partial \mu}{\partial x} \end{aligned} \quad \dots (A.3)$$

ここで、 R_t : 植生の熱抵抗 [m²K / W], A_g : 地表面の日射吸収率 [-], E_g : 地表面の蒸発量 [kg / m²s], λ : 地盤の熱伝導率 [W / mK], λ'_{Tg} : 地盤の温度勾配に関する気相水分伝導率 [kg / msK], $\lambda'_{\mu g}$: 地盤の水分化学ポテンシヤル勾配に関する気相水分伝導率 [kg / ms (J / kg)]。

(A.3) 式の $\frac{1}{R_t}(T_t - T_g)$ に、(A.2) 式を代入し、 $q_{jgeg} = J \cdot a \cdot A_g - r \cdot E_g$ と置くと、

$$q_g = \frac{1}{1/\alpha_t + R_t} \left(T_o + \frac{q_{jget}}{\alpha_t} - T_g \right) + q_{jgeg} \quad \dots (A.4)$$

ただし、 E_t , E_p , E_g はそれぞれ以下の式を用いる。

$$\begin{aligned} E_t &= \rho\beta C_H U \cdot (\partial s / \partial p) \cdot (p_{sat}(T_t) - p_o) \\ E_p &= (1 - F_r) \cdot J_p \\ E_g &= \frac{1}{1/\alpha'_m + R'_t} \cdot (p_g - p_o) \end{aligned} \quad \dots (A.5)$$

ここで、 ρ : 密度 [kg/ m³], β : 蒸発効率 [-], C_H : バルク移動係数 [-], U : 風速 [m], s : 比湿 [kg/kg], p : 水蒸気圧 [Pa], p_{sat} : 飽和水蒸気圧 [Pa], p_o : 外気水蒸気圧 [Pa], p_g : 地表面の水蒸気圧 [Pa], F_r : 降雨の植生透過率 [-], J_p : 降雨量 [kg/ m² s], a'_m : 植生頂部の湿気伝達率 [kg/ m² sPa], R'_i : 植生の湿気抵抗 [m² sPa/kg],

解析では、(A.4) 式を、植生を含めた地表面の境界条件として与える。

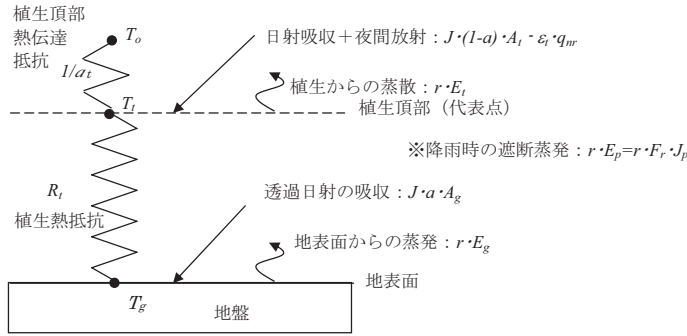


図 A.1 植生を含めた地表面境界層の熱移動の概要

A.3 植生及び地表面の水分移動

図 A.2 に植生を含めた地表面境界層の水分移動の概要を示す。

水分流については、地表面境界では植生全体の湿気抵抗と降雨の透過量と地盤へ浸透を考慮し、以下の条件式を用いる。

$$\frac{1}{1/\alpha'_m + R'_i} \cdot (p_o - p_g) + F_r \cdot J_p = -\lambda'_\mu \left(\frac{\partial \mu}{\partial x} - g \right) - \lambda'_r \frac{\partial T}{\partial x} \quad \dots (A.6)$$

解析では、(A.6) 式を、植生を含めた地表面の境界条件として与える。

なお植生頂部の蒸散は、墳丘全体で積分し、墳丘地盤から一様に吸水されるものとする。

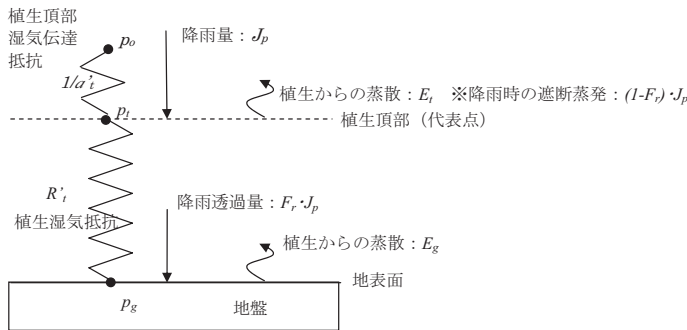


図 A.2 植生を含めた地表面境界層の水分移動の概要

表 A.1 に、文献値を参考に、試行錯誤の上決定した熱・水分に関する各パラメータに用いた数値を示す。

表 A.1 解析で用いるパラメータと数値

解析で用いるパラメータ	数値
α_t : 植生頂部の総合熱伝達率 [W / m ² K]	23.3
α : 植生の日射透過率 [-]	0.1
A_t : 植生の日射吸収率 [-]	0.9
ε_t : 植生の放射率 [-]	0.9
R_t : 植生の熱抵抗 [m ² K / W]	0.43
A_g : 地表面の日射吸収率 [-]	0.83
ρ : 空気密度 [kg/ m ³]	1.2
β : 蒸発効率 [-] ⁵⁾	0.2
C_H : バルク移動係数 [-] ⁵⁾	0.01
U : 風速 [m]	1.5一定
F_r : 降雨の植生透過率 [-]	1.0
α'_m : 植生頂部の湿気伝達率 [kg/ m ² sPa]	1.14 e - 7
R'_t : 植生の湿気抵抗 [m ² sPa/kg]	8.78 e + 7

付録 B. 防水シートの日射反射率（アルベド）の測定について

B.1 アルベドの測定概要

高松塚古墳の墳丘部に用いた防水シートの日射反射特性を調べるため、防水シートへの入射日射量と、同シートからの反射日射量の測定を行い、日射反射率（アルベド）を求めた。測定は、水平な裸地に防水シートを敷いた状態で行った。なお、防水シート以外の面（裸地）からの日射反射量が存在するため、その影響を取り除く方法を用いた。

B.2 測定原理と方法

あらかじめ機器間の補正を行った小型日射計2台を用いて、防水シートへの入射日射量と反射日射量の測定を行い、そこからアルベドを算出する。

ただし、シートの大きさが有限なため、シート以外の地表面（ここでは裸地）からの反射日射量が存在する。これらを考慮した入射日射量 J_{in} [W / m²] と反射日射量 J_{ref} [W / m²] の関係は下式となる。

$$J_{ref} = J_{in} \cdot R_s \cdot \phi_s + J_{in} \cdot R_g \cdot (1 - \phi_s) \quad \dots (B.1)$$

ここで、 R_s 、 R_g : それぞれ防水シートと裸地のアルベド [-]、 ϕ_s : 反射日射量測定用の日射計位置における防水シートの立体角投射率 [-]。

(B.1) 式から、防水シートのアルベド R_s 、日射吸収率 A_s は、下式となる。

$$R_s = \frac{J_{ref} / J_{in} - R_g \cdot (1 - \phi_s)}{\phi_s} \quad \dots (B.2)$$

$$A_s = 1 - R_s \quad \dots (B.3)$$

(B.2) 式から、入射日射量、反射日射量、他、防水シート以外の地表面（裸地）のアルベドと、防水シートの立体角投射率が得られれば、防水シートのアルベドが得られる。日射吸収率は (B.3) から得られる。

B.3 測定結果

B.3-1 裸地のアルベドの測定

2009年6月19日の10時から13時にかけて測定を行った。測定場所は、京都大学桂キャンパス内の空地である。日射量の測定には、小型日射計（小糸工業製 IKS-37）を用いた。測定時間帯は晴であった。図B.1に測定の様態を、図B.2、B.3にそれぞれ裸地への日射量の変動と、日射反射率の変動をそれぞれ示す。地表面のアルベドの変化は小さく、測定時間内での平均値は、0.14であった。

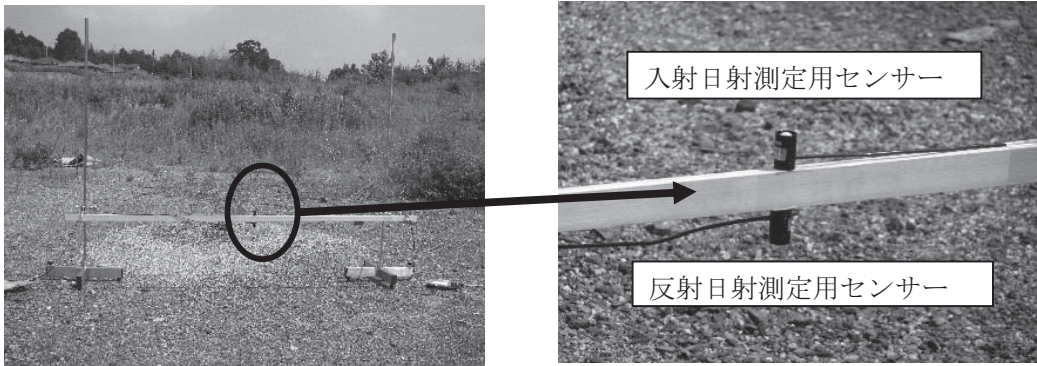


図 B.1 裸地のアルベドの測定の様態

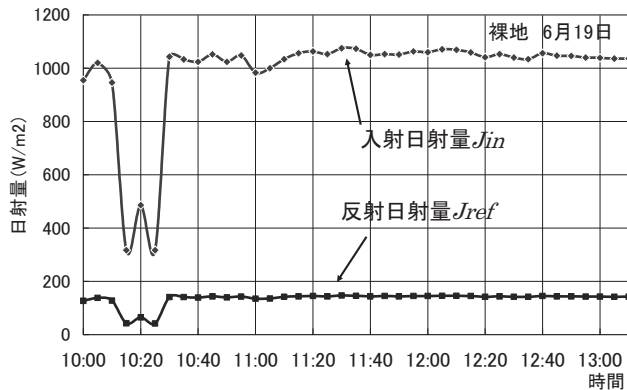


図 B.2 裸地への日射量の変動

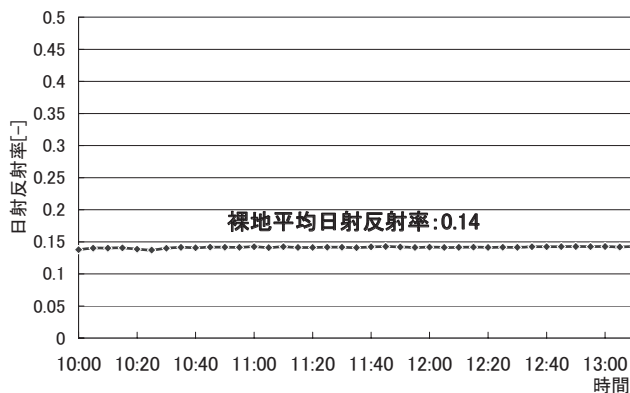


図 B.3 裸地の日射反射率

B.3-2 防水シート設置時のアルベドの測定

測定は、裸地に防水シートを被せた状態で行い、防水シートの大きさは3 m × 3 mである。2009年6月18日の10時から13時にかけて測定を行った。測定時間帯は薄曇であった。小型日射計の設置後に、反射日射量測定用センサの位置で、シート面と向かい合うように魚眼レンズを用いて写真を撮影した。写真から求めたシート面の立体角投射率は0.70であった。図B.4に測定の状態を、図B.5に防水シートへの日射量の変動をそれぞれ示す。

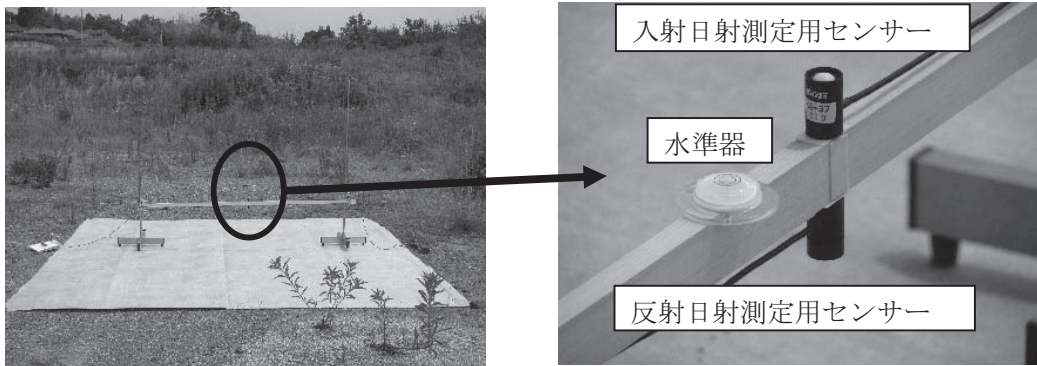


図 B.4 シートのアルベドの測定の状態

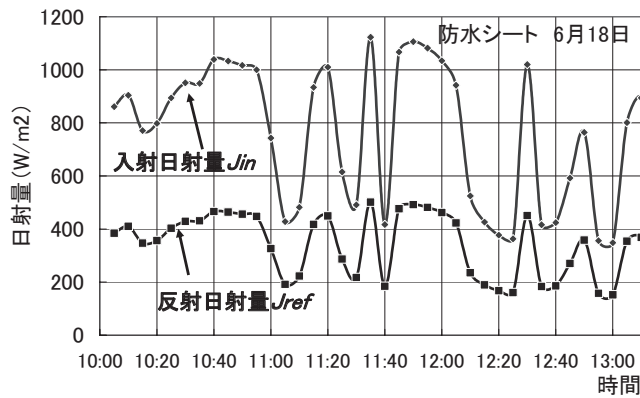


図 B.5 防水シートへの日射量の変動

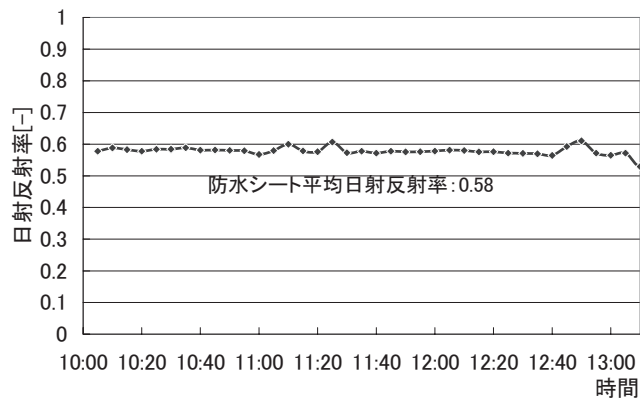


図 B.6 防水シートの日射反射率

B.3-3 アルベドの算出

B.2で述べた算出方法により、防水シートのアルベドの時間変化を求めた結果を図B.6に示す。図より、変動は小さく、ほぼ一定と扱える。測定における平均値は0.58であり、日射吸収率は0.42である。植生の一般的なアルベドは0.1-0.2程度であり、防水シートは日射反射率が高い材料であることがわかる。この値を防水シートのアルベドとして、解析的検討で用いる。

Analysis of Temperature and Humidity Variation in the Stone Chamber of Takamatsuzuka Tumulus from Its Discovery until Its Dismantlement: Part 2 - Effect of Different Mound Covering Conditions during the Operation of the Conservation Facility -

Daisuke OGURA* , Shuichi HOKOI* , Yonghui LI* and Takeshi ISHIZAKI

In order to investigate the causes of deterioration of the mural paintings of Takamatsuzuka Tumulus, it is very important to clarify temperature and humidity variation in the stone chamber. We estimated how the environmental conditions surrounding the stone chamber and the internal works affect temperature and humidity in the stone chamber by making use of numerical simulation. The simulation was based on the measurement data and records of Takamatsuzuka Tumulus in the past. We made an analytical model taking into account the mound and the conservation facility and set up each condition in terms of factors which influence temperature and humidity in the stone chamber. We considered records of the past as far as possible to make the model and set up the boundary conditions.

In this study, we investigated the effect of different mound covering conditions — vegetation, waterproof sheet and temporary shelter — on temperature and humidity in the stone chamber during the operation of the conservation facility. The obtained main results are as follows.

1. Cutting vegetation and putting waterproof sheet on the mound in September 2003 was one of the main causes of temperature rise in the stone chamber around 2004.
2. Setting up the temporary shelter on the mound was one of the main causes of temperature fall in the stone chamber after the removal of the waterproof sheet in September 2004.