

# 史跡虎塚古墳彩色壁画保存に関する調査研究

## (受託研究報告 第51号)

江本 義理, 門倉 武夫, 見城 敏子, 新井 英夫

### I はじめに

虎塚古墳は、勝田市南東部の東中根台地にあり、那珂川に注ぐ、中丸川、本郷川の2つの川にはさまれた海拔25mの平坦な台地の東南端の部分に位置し、勝田市内には多くの古墳群があるが、それらを代表する前方後円墳として注目されていた<sup>1)</sup>。地名は勝田市大字中根字指浜である。

昭和48年8月16日、明治大学、大塚初重教授を調査団長とする明治大学考古学教室によって発掘が開始された。同月31日未開口石室内の保存科学的調査を当保存科学部で行うことができた。9月12日、石室扉右が開かれ、凝灰岩の切石の上に白土下地にペンガラで描かれた彩色壁画があることが発見された。考古学的調査の終了後一般公開が行われ、翌日埋戻された。7世紀中葉の古墳と推定され、昭和40年1月23日、国の史跡指定の告示がなされた。

埋戻しの時点で、埋戻し後も古墳の外から石室内の温湿度、空気組成、微生物因子等の環境を測定できるように、ヒューム管を埋設した。

これによって調査時に乱された石室内の環境が、閉塞後開口前の状態にどのように安定して行き、その後の推移を適時測定出来るようになった。彩色壁画の保存環境を知り、保存施設の環境条件、断熱等に関する基礎データをとる目的で49年度より頭書の課題名で当研究所受託研究が開始された。

#### 分担

##### 保存科学部

江本義理	総括
門倉武夫	空気組成測定研究、公開時の環境整備
見城敏子	温度、湿度測定研究
新井英夫	微生物調査研究

52年3月までの調査研究に関しては、発掘調査時、および埋戻し後の石室内の環境安定状況の調査結果は下記のように勝田市編纂の報告書<sup>1)</sup>(勝田市史 別編 虎塚古墳)にまとめた。

1. 温度：年間平均 15°C 変動±2°C
2. 湿度：最低92% RH 最高 98% RH  
いずれも変動は小さく安定しており、封土の断熱性、防水性も良好と判断された。
3. 空気組成：地下空間の空気組成は均

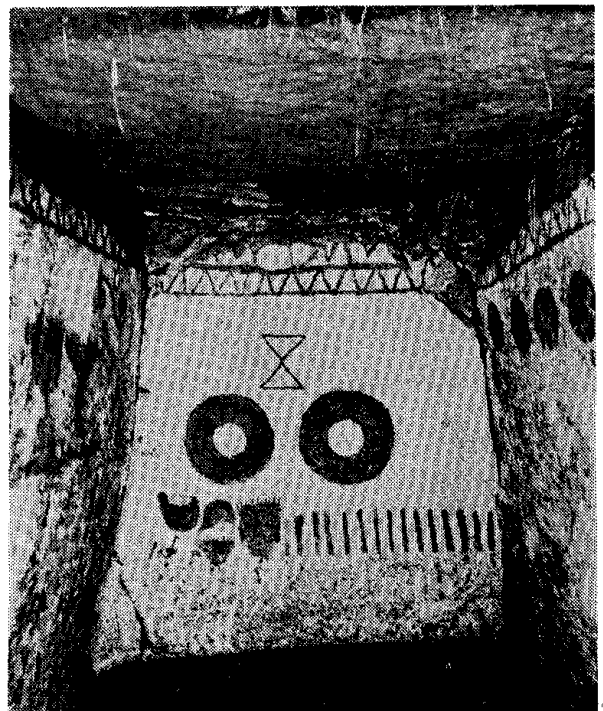


図1 女室奥壁の壁画「勝田市史 別編 虎塚壁画古墳」より

一でないこともあり、測定値は調査時により変動があるが閉塞後42カ月（52年3月）経過した時点で、右室内は窒素、酸素は標準大気組成より低い値を示し、炭酸ガスは約100倍の濃度で、安定している。

4. 微生物：調査時にほぼ2倍に増加した微生物数は、閉塞8カ月目に減少、横ばいとなり15カ月目に更に減少し、未開口時とほぼ同等になった。糸状菌の増殖の傾向も見られず、42カ月目も微生物数の増減がなく安定している。

かねて、壁画の保存活用のため、公開保存施設建設の構想が市当局保存対策会議により検討されていたが、53年度より3カ年間に保存整備事業として、公開保存施設を建設することになった。設計に先だち、昭和53年10月に前庭部、羨門部の調査を行う必要上、石室内外の保存科学、考古学、建築工学上の諸調査および土質調査が実施された。石室が単室の石室であるので従来の他の古墳での経験を活かし、石室の前面に木造の仮設保護室を作り、石室内への外気の影響を最少限に止めるよう努力した。またこの仮施設を利用して一般公開が実施されることになったので、この一連の作業の期間中、石室への影響、保存科学的環境調査およびその制御

を行った。特にペアガラスの効果の検討を行った。

再び閉塞され、昭和55年6月保存施設の建設工事が開始された。工事期間中も土嚢等で閉塞した外から数回の定常測定がなされた。玄門部との結合時には、慎重を期し石室内への影響を考慮し、取合部の環境を測定し調整を行いながら、土嚢の除去が行われた。

施設については、市当局が公開に積極的であるため、観察室が広くとられており、公開時の空調対策および照明は羨門部が長く、石室の側面への照明を考慮して、玄門内床面に蛍光灯を設置することになった。発熱源を石室内に入れることには抵抗があったが、その対策として空冷方式をとることにした。

仮設保護室による調査、公開および保存施設建設中の石室内環境に関する測定結果は、保存整備報告書<sup>2)</sup>（勝田市教育委員会）に報告した。

昭和55年10月、施設の完成を期し、このような機能を備えた公開保存施設により一般公開が

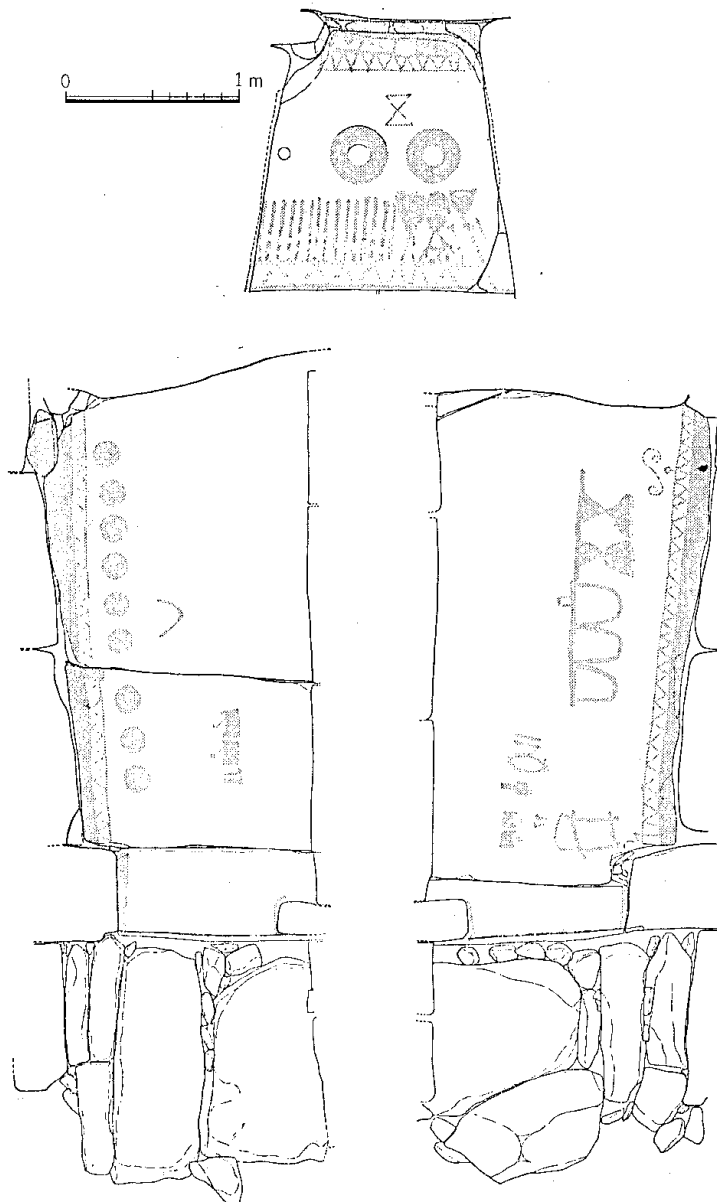


図-2 玄室壁面 上：奥壁，右：東壁，左：西壁

行われた。大規模な公開であり、それぞれの設備の運用と効果の検討を行いながら、公開期間見学者の人数および時間の制限、等を市当局と協力して試行措置を続けた。公開後も石室への影響の有無の総合的な調査が行われた。

われわれは王塚古墳(福岡)<sup>3)</sup>、高松塚(奈良)<sup>4)</sup>、中田横穴<sup>5)</sup>、羽山古墳(福島)、田代太田(佐賀)<sup>6)</sup>、マルコ山古墳(奈良)、馬絹古墳(神奈川)<sup>7)</sup>等で、装飾古墳の埋蔵保存環境の調査、保存施設による石室内環境の保全について研究を行って来て、それらの経験を基に虎塚古墳の発掘時点からの保存対策に当たった。

52年度より、保存施設による公開が石室内保存環境に及ぼす影響に関する調査および彩色壁画の保存管理のための環境に関する基礎資料の収集を目的として研究が行われている。

本報告は、埋戻しから各時点で種々の問題にぶつかり保存科学上の対応を行って来たが、それらの問題点をどのように調査し、解析、処理を行って来たかを各担当者の調査報告の形でまとめたものである。

内容は、①発掘調査時の石室内環境制御のための仮施設、②古墳の彩色壁画の公開時の環境制御と影響および照明装置の検討。③埋め戻しの封土の効果判定。④調査および公開後の生物汚染対策と管理などである。

## おわりに

長年の調査に毎回協力して頂いた明治大学大塚初重教授、小林三郎教授をはじめ考古学教室の方々、勝田市当局、また種々御助言を頂いた、中部工業大学伊藤平左衛門教授、東京国立文化財研究所名誉研究員登石健三氏に厚く御礼を申し上げる。

## 文 献

- 1) 勝田市史 別編 I 虎塚壁画古墳 勝田市 1978
- 2) 虎塚古墳 保存整備報告書、勝田市教育委員会 1981
- 3) 特別史跡王塚古墳の保存、福岡県教育委員会 1975
- 4) 壁画古墳 高松塚 調査中間報告、檀原考古学研究所編著 1972  
高松塚拾年 奈良国立文化財研究所 国立飛鳥資料館 1982
- 5) 中田横穴保存状態調査研究報告書、福島県いわき市教育委員会 1975
- 6) 田代太田古墳調査および保存工事報告書、佐賀県教育委員会
- 7) 川崎市高津区 馬絹古墳保存活用計画調査報告書、川崎市教育委員会 1978

(江本 義理)

## II 彩色壁画古墳の一般公開

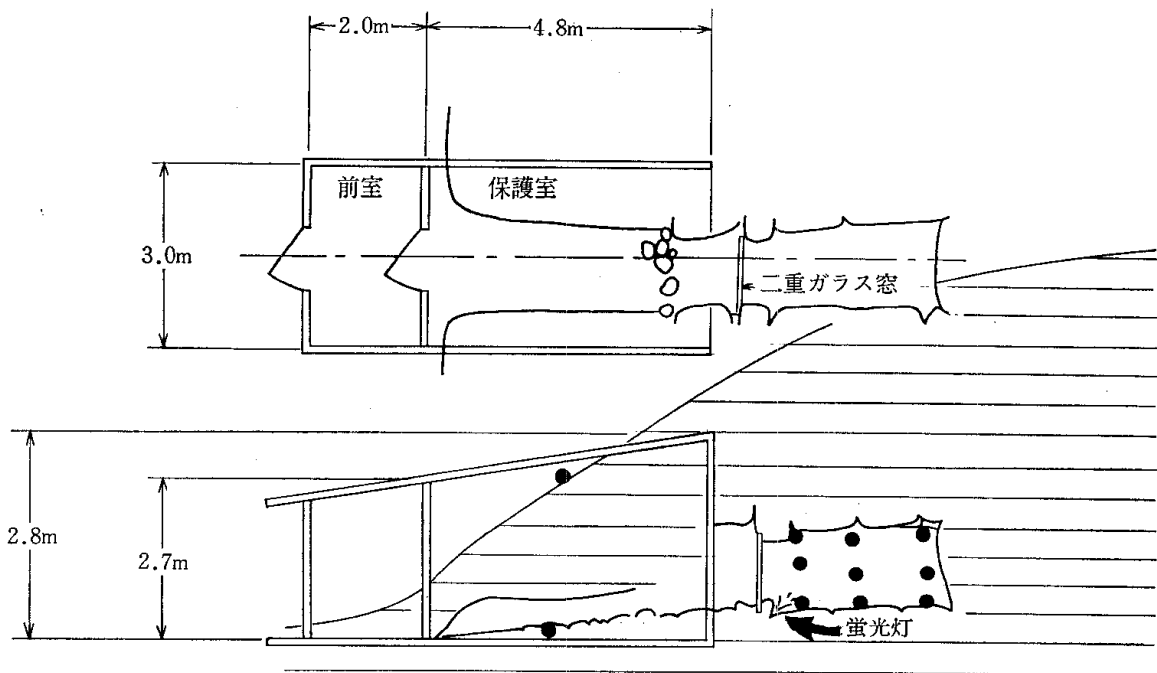
### 1. 仮設保護室による一般公開

虎塚古墳保存対策委員会で、再発掘を実施するに当たり、石室内の保存環境を維持するための注意事項を検討した。その結果、次に述べるいくつかの項目が上げられた。

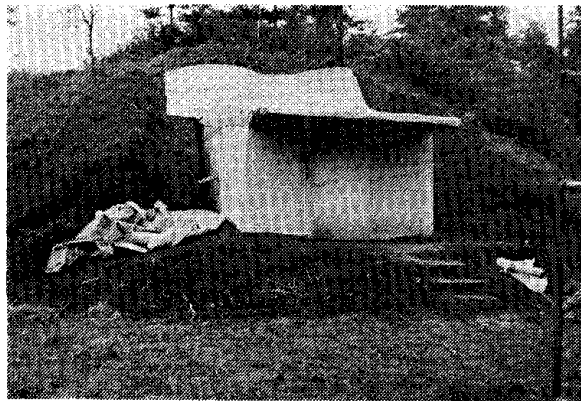
a) 再発掘の時期は、埋め戻し後、断続調査を行ってきた石室内の温度と外気温の差が最も接近している10月<sup>1)</sup>に行うこと(135頁図-2)。

b) 外気の影響を少なくするため、石室入口に石室内の公開ができる仮保護施設(仮公開施設)を設置すること、できれば、クーラー、加湿機を用意する。

c) 開口後、石室内の環境条件は、温度 20°C 以下、湿度 90% RH 以上を維持すること



図一 仮設保護室平面図



図二 仮設保護室全景

(高松塚古墳でこの数値を採用している)。

d) 照明には、無紫外線蛍光灯または懐中電灯を用意する。

e) 人の呼気から出る炭酸ガス除去用ソーダライムを用意する。

### 1.1 公開を前提とした仮設保護室

石室前庭部の石室主軸を中心に左右 1.5 m幅、長さ石室羨道部入口から墳丘の裾まで 6 m (昭和48年埋め戻しの際石室閉鎖用発泡スチロール板—厚さ 30 cm—および土

囊設置位置直前) の土を排除し、ここに仮設保護室を建設した。

仮設保護室は、厚さ 1 cm のベニヤ板で断熱材をサンドイッチにした断熱壁を用い、人の出入による外気の影響を少なくするため、観察室を前室と扉で区切って 2 室とし、観察室には家庭用のクーラーと加湿機、炭酸ガス吸収装置 (自製) 等を用意した。石室入口に 3 cm の間隔を開けて 2 板のガラス板 (80×100 cm) を合せた簡易ペアガラス窓を取り付け観察室と遮断した (図一 1, 2)。

公開に当たり、環境保全面で最も心配される事項は、見学者から排泄される炭酸ガスおよび見学者の体温による温度上昇である。いずれも石室が密閉されているため直接の影響は少ないと思われる。

#### 1) 炭酸ガス

人体に対する炭酸ガスの許容濃度は、滞在する施設によって多少異なるが、東京都の興業場条例に上げられている 0.15% を用いて観察室の必要換気回数を算出すると下の式<sup>2)</sup> から

$$Q = \frac{(K_t - K_0)R/n}{M/n}$$

ただし、

$Q$  = 換気回数

$M$  = 炭酸ガス発生量 ( $\text{m}^3/\text{m}^3$ ) =  $0.046 \text{ m}^3/\text{h}$  (軽作業時)

$Kt$  = 許容濃度 ( $\text{m}^3/\text{m}^3$ ) =  $0.15\%$

$K_0$  = 大気中の炭酸ガス濃度 ( $\text{m}^3/\text{m}^3$ ) =  $0.04\%$

$k$  = 室の体積  $\text{m}^3$  =  $39.58 \text{ m}^3$

$n$  = 滞在人数 (8人とする)

1人当りの換気回数は約1回/hとなる。

観察室にはかなり頻繁に人の出入りが予想されるのでこの式をそのまま当てることは出来ないが大量の換気は必要としない。公開に当っては、適宜炭酸ガス濃度を測定し、必要に応じてソーダライム炭酸ガス除去装置を運転することにした。炭酸ガス濃度の測定は、石室内の中央下(床上5cm)および中央上(床上80cm)にシリコンチューブを取り付け観察室まで引き出し、また観察室内は、床上約130cmを測定点と定め、石室内および観察室内の計測を行った。炭酸ガスの測定は北川式検知管法によった。

炭酸ガス吸収装置は手造りで直径20cm、高さ25cmの円筒缶に小形ファンを取り付けたもの、 $30 \times 45 \text{ cm}$ のバットにそれぞれソーダライムを入れて用意した。

## 2) 温度

温度に関しては、二重ガラス窓で石室と遮断してあるため直接の影響は少ないが、見学者の体温による温度上昇を温度を基準とする換気量の式<sup>2)</sup>から算出すると、

$$H = WQ \times 0.24(T - t)$$

ただし、

$H$  = 発熱量 =  $116 \text{ Kcal/h}$  (軽作業時)

$W$  = 空気の比重  $\times$  容積 =  $1.25 \times 39.58 \text{ m}^3$

$Q$  = 換気量

$T - t$  = 温度差

により、 $Q=0$ とすると温度差すなわち上昇温度は1人当 $9.75^\circ\text{C/h}$ となるが、仮公開のためこの計算に合せたクーラーを用意することが出来ず家庭用の古いクーラーを調達した。必要に応じて氷柱を用いることにした。

一般公開に当っては、石室内の奥、中央、入口部のそれぞれ上、中、下部、照明蛍光管とその天井壁面、石室側ガラス面、観察室のガラス面、天井、床および外気等に自動温度測定機(サーモダック 江藤電気KK)のセンサーを取り付けた。

## 3) 照明

石室内照明は、当初懐中電灯によりガラス窓の観察室側から採光することにしてしたが、ガラス面に反射すること、側壁面が見にくいなどの理由から発熱源のチョークを石室の外に出した蛍光灯(20W 無紫線)を石室の入口部に設置し、フィラメント周辺部を粘土で覆い熱の発散を少なくするよう配慮した。(図-3)

### 1.2 一般公開の実施

昭和53年10月28日、石室内の諸調査が行われた。この時の石室および観察室の温度、炭酸ガ

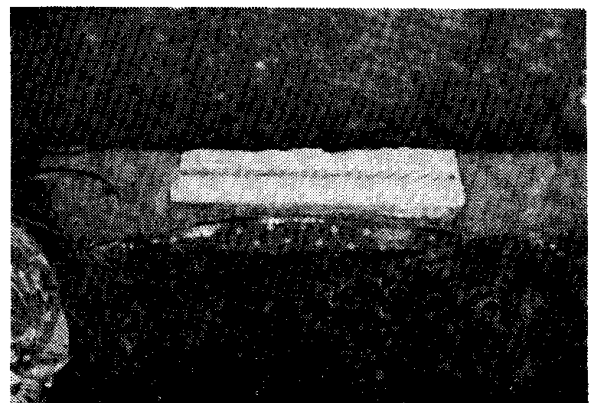


図-3 蛍光灯

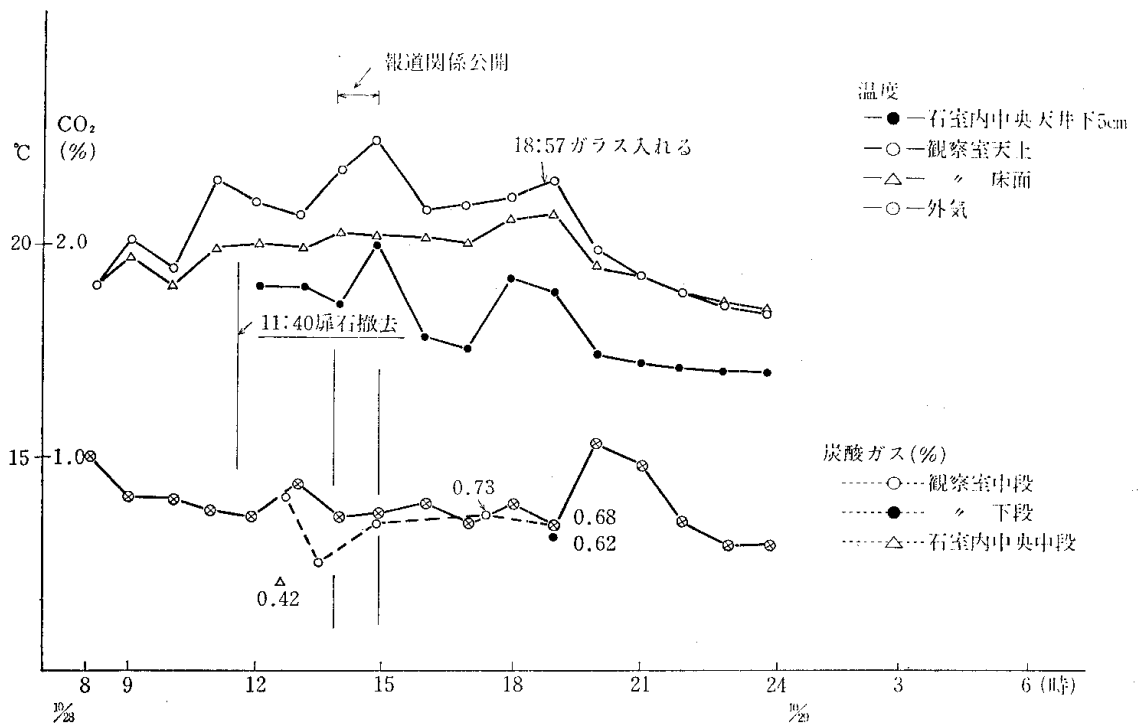


図-4 公開準備時の環境測定結果



図-5 公開風景 (ガラス窓)



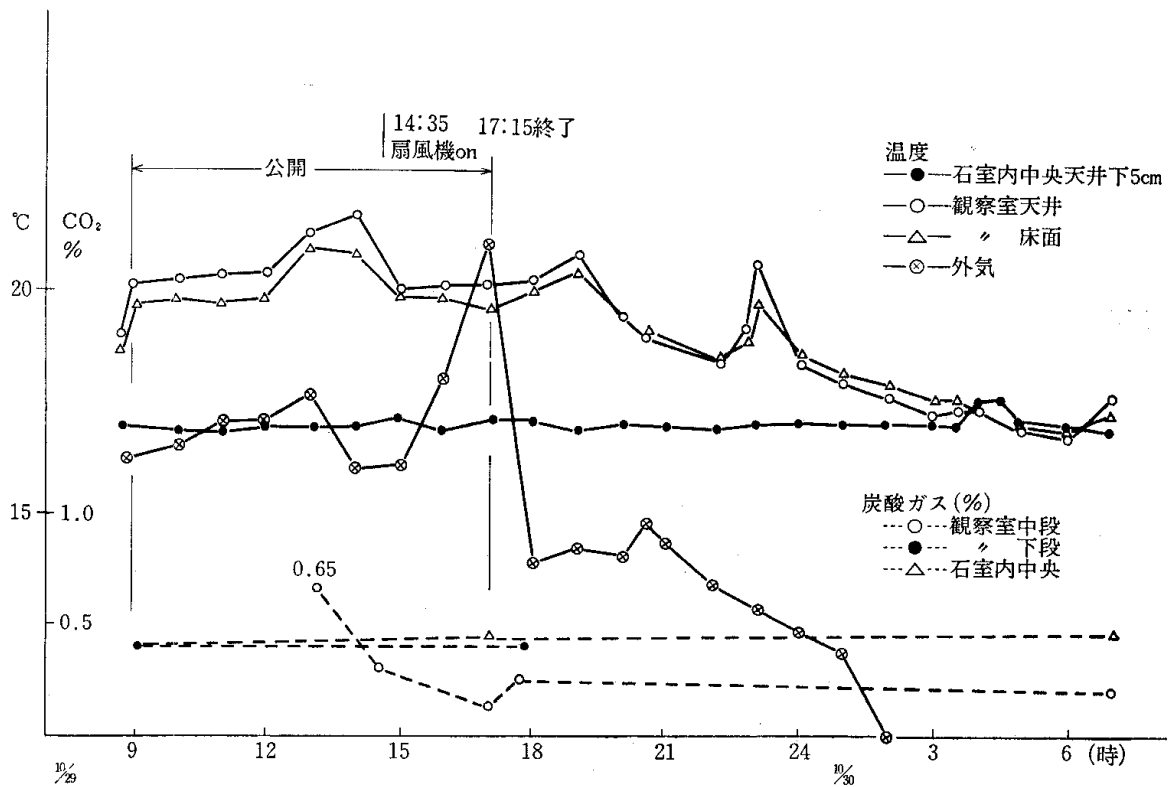
図-6 一般公開風景 (順番を待つ見学者)

まだガラス窓が取り付けられていなかったため、石室内で最高 20°C に上昇した。16時から約 1 時間石室を仮閉鎖し、温度の降下を待ち、18時からガラス窓の取付け作業を行った。この時やや石室内温度が上昇 (19.2°C) したが作業終了後 (19時) は次第に下り、24時には 17.4°C となった。観察室もほぼ同じ割合で降下し、4 時間後 (24時) に 18.5°C、24時の外気温度は 13°C であった。

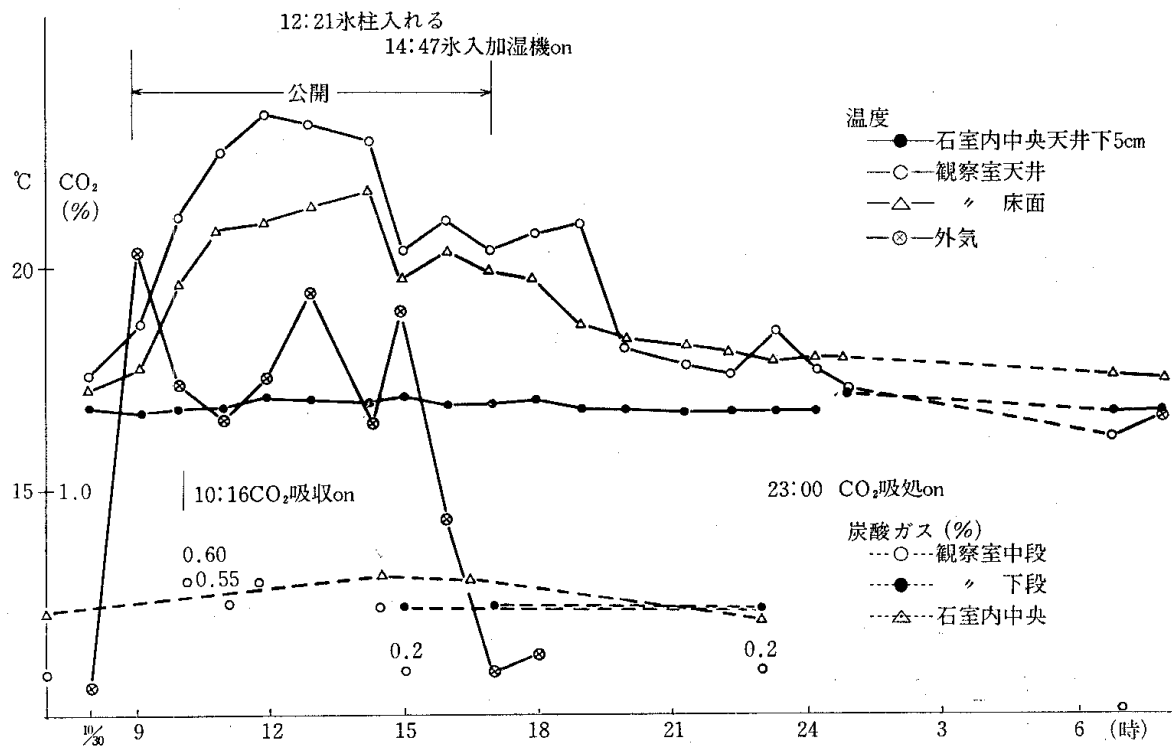
炭酸ガス濃度は、朝 8 時に 0.1% であったが、扉石の撤去作業、報道関係の取材のため観察室に多数の人が入った 15 時に石室内中段で 0.65% に上昇、ガラス窓取付け作業時に短時間であったが 0.73% に達したが翌朝は 0.4% (石室中段) であった。10月 29、30日の公開風景を図-5、

ス測定結果を図-4 に示した。

壁面の点検、写真撮影、センサーの設置等を行った。15時頃から約 1 時間後に観察室温度が 22.6°C となった。この時点では、



図一七 一般公開時の環境測定結果



図一八 一般公開時の環境測定結果

6, 温度経過を図一七, 八に示した。

10月29日, 午前8時の測定値は, 観察室天井面 17.5°C 床面 16.7°C, 石室内 17.1°C, 外気 9.1°C であった。午前中は主として考古学関係者の見学により一時的に観察室天井で

23.9°C まで上昇したが10分程度で22.2°C になった。午後の公開は、1組を5～8人、1分間のサイクルで実施した結果、観察室温度は17時の終了時までほぼ20°C で、石室中央天井部で17.5～17.8°C と大きな変化は認められなかった。

炭酸ガス濃度は、13時に0.65%を記録した。この時の外気温度が16°C であったので、加湿機を作動させながら扇風機で外気を送り込んだ結果、1時間後には0.3%、17時の公開終了時では0.3%まで低化した。この日1日で約4,000人の見学者が訪れた。

10月30日、8時の外気温10.7°C、観察室の天井17.6°C、床面17.2°C、石室内天井17.2°C であった。

9時16分、小学生に対する公開が開始された。12時に観察室の天井で23.3°C まで上昇したので16kgの氷柱2本を観察室に入れたが2時間で22.7°C までしか下がらなかった。14時47分加湿機に氷水を入れて運転した結果、1時間で20°C に下がった。

この日の見学サイクルは1組30～40秒、5人組を10組、10人組を10組のサイクルで実施した。その結果、見学を開始して約1時間後に炭酸ガス濃度が0.6%となった。そこでソーダライムを用いた炭酸ガス吸収装置を運転して、温度、炭酸ガス濃度を測定しながら見学サイクルを変えた。その後、加湿を停止した結果、炭酸ガス濃度は再び0.5%まで上昇した。炭酸ガス除去には吸着装置より、加湿機の運転が効果的であった。

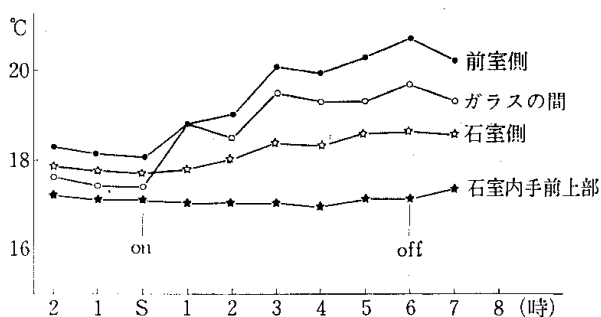
以上のような環境保全の結果、石室内の温度は終日17.5°C 程度で大きな変化はなかった。

### 1.3 結 果

2日間の一般公開は、前述のような経過のうちに終了した。公開は石室内中央部の天井下の温度を基準としたが、二重ガラスにより石室と遮断した結果、公開による石室内温度への影響はほとんど認められなかった。

公開中外気温があまり高くなく、施設の断熱壁が有効であった。施設内で発生した熱は床面温度までは急速に降下し、外気が低い場合でも床面温度以下には極度に下らなかった。

これは、床に土面を広く取ったため、人の活動により発生した熱は地面に吸収されてしまうものと思われる。



図一 9 二重ガラスによる断熱効果

二重ガラス窓については、応急的にガラス2枚を適当な空隔(3cm)を開けて重ねたものであったが、それでも約26.6%程度の効果があった(図一9)。

照明光源は、石室の構造上石室内に設置したが、粘土を通じて床面に熱が吸収された結果、最高24°C程度で、直接石室内に影響は少なかった(図一10)。しかし、これは石室内の土中温度を上昇しているためその影響については今後の解明を待つ。

観察室の冷却法として家庭用クーラーを用意したが、対象温度が23°C以下であったため、温度調節機の自動制御が働き使用できなかった。これを補うため、氷水を用いた加湿はかなり有効であった。

炭酸ガスに関しては、2日間を通して最高0.72を記録したが、観察者の出入が頻繁に行われたためか、平均0.5%程度であった。これを除去するためソーダライムを使用した。その効果については検討出来なかった。しかし、人体に対する影響は、滞在時間が短かったためほとんどなかったと思われる。



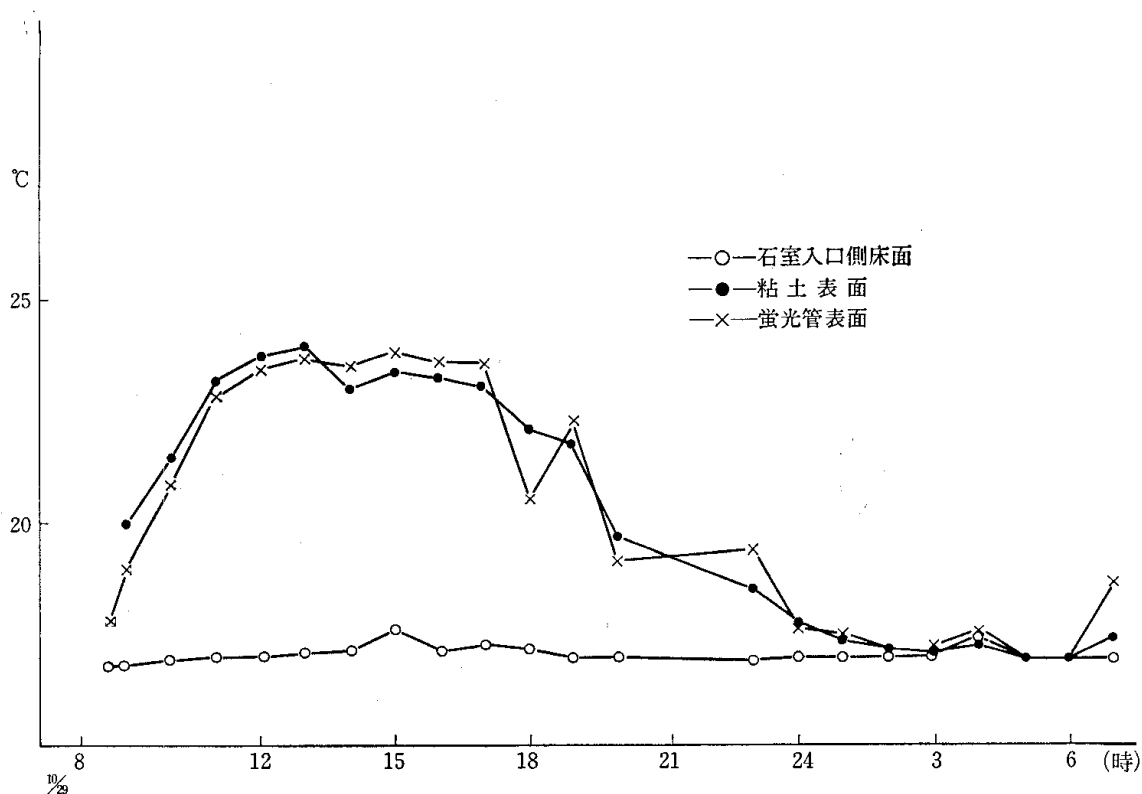


図-10 蛍光灯の発熱に対する粘土の熱吸収結果

以上仮設保護室による古墳石室内の一般公開に当り環境保全に務めた結果、石室内環境があまり変化せず目的を達することができた。

## 2. 公開保存施設による一般公開

昭和55年10月に竣工した公開保存施設による一般公開は、当分の間施設の適応性を検討するため、春季(4月)および秋季(10月)の一定期間に限り一般公開を実施している。

公開に当っては、勝田市教育委員会で作成した『虎塚古墳史跡公園観察室一般公開実施要領』について虎塚古墳等保存対策委員会で検討を加え実施している。

### 2.1 公開保存施設

公開施設の内部は、観察室、前室、前々室の3室および入口部(アプローチ)から成る鉄筋コンクリート造りで、内部の天井、壁は、防水、断熱材が使用されている。それぞれの室は、断熱材を使用したステンレス製の扉によって区切られ、見学者の出入や外気の影響を軽減するための配慮がされている(図-11, 12)。

石室と観察室とは公開により観察室の影響が直接石室におよばないように観察窓によって遮断され、観察窓は、断熱材を用いたステンレス製の枠に1m×1mのペアガラスが取り付けられてある。(図-13)

#### 1) 照明

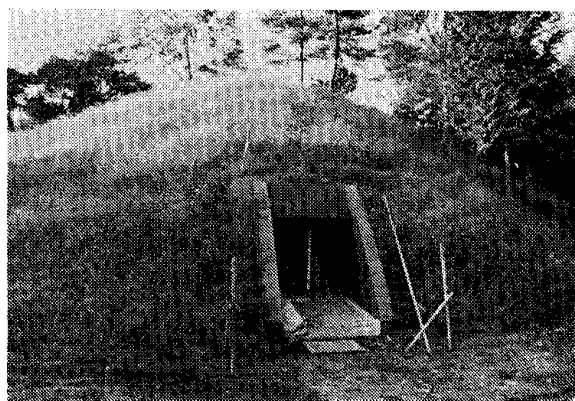


図-11 虎塚彩色古墳公開保存施設正面

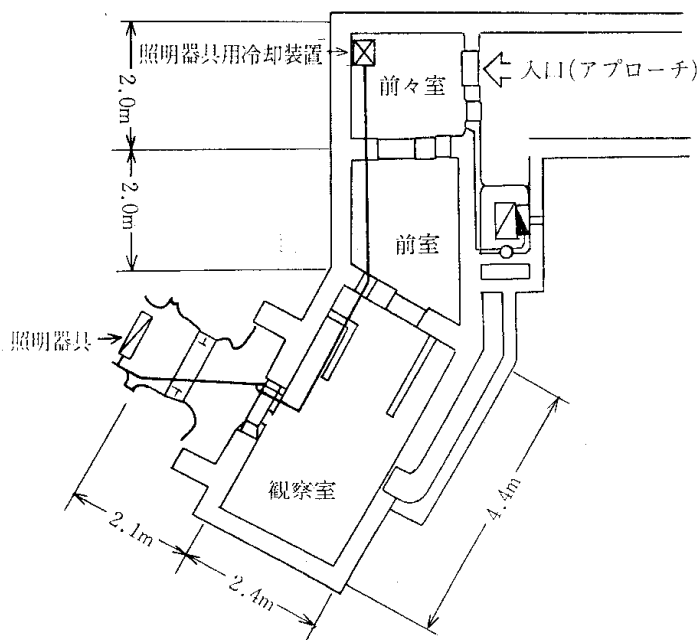


図-12 保存公開施設平面図

石室内の照明は、当初プロジェクターにより観察室側からの採光を予定していたが、羨道部が長く、側壁面の観察に不都合であること、ガラス面に光が反射して内部が見にくいことなどの理由により、照明光源を石室内に設置した。光源は20Wの無紫外線蛍光灯を紫外線吸収ガラスを備えたFRP製のカプセル内に収めたもので(図-14)前々室に設置された熱交換機と接続し(図-12参照)冷却空気を送ってカプセル内に発生した熱と交換し、石室内に熱を発生させないようにした。このような照明方法を用いた古墳公開施設は他に例がないので注目されている。

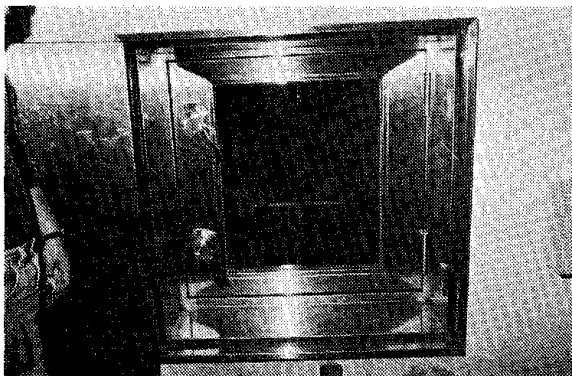


図-13 観察窓

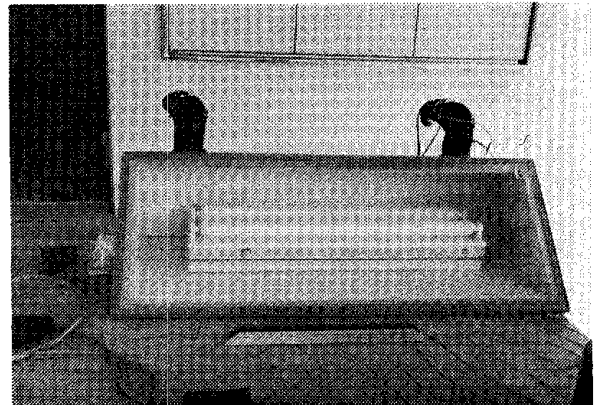


図-14 照明蛍光灯を入れたFRPカプセル

## 2) 温度の計測

石室は観察窓によって外気(観察室を含めて)から遮断されているため、石室内環境に影響を与える因子は温度と地中水が考えられる。短期間の公開では温度の影響が大きい。

温度計の扱いは、比較的容易であるため、今回の環境保全は、主に温度測定の結果により管理した。

常設の温度センサーは、石室内部に6カ所(石室奥の上下、中央の中段、手前部の上下、取合部土中)、観察室、外気の合計8カ所に置き、それぞれの測定値は、墳丘より約100m離れた管理棟で記録され、石室や観察室の環境温度を外部から監視するようになっている。

## 3) 空調機

観察室内には、機械室に設置されたスポットエアコンから送風孔を通して冷風を送り込むことができる。これは同時に観察室の換気も兼ねている。

## 2.2 一般公開の実施

公開は、10月および4月に行っているが、日程は土、日曜日の前後に1または2日入れた第1期と2、3日後の金または土曜日から4~5日間の第2期と2回に分け、途中で2、3日調制または点検のための日程が組み込まれ、石室内異状事態発生時の予備日としてある。

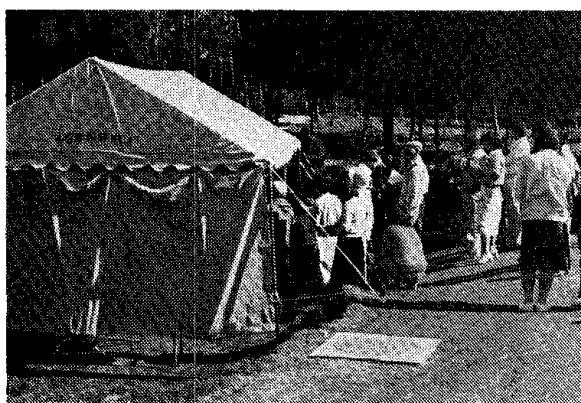


図-15 順番を待つ見学者

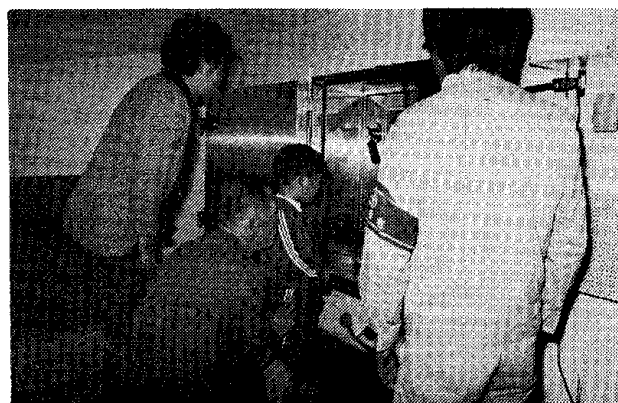


図-16 係員の説明を聞く見学者

公開は、朝9時から16時30分までとし、日中の高気温帯である13時～14時の間を昼休みおよび調整タイムとした(図-15, 16)

見学人数は、観察室の床面積から1組3～5人とし、1人当たり1分の見学時間を割当て入口の時計係りが観察室内の説明者にブザーで知らせ、入れ替える順序で行われた。

以上の公開要綱により、公開を実施している。当初かなり混雑したが次第に近郷在住の見学者が少なくなり、時間にもある程度余裕が出てきたようである。公開時の環境管理の結果について述べる。

公開実施に当っては定常測定の外、施設の適応性についてのデータを収集するため多点温度測定機(サーモダック)の温度センサーを石室内部、観察室に設置し、公開による施設の状態、諸機械の働きおよび観察室の条件設定のための資料収集等を行った。

### 2.3 結果

前述の要領で行った公開時の石室取合部、観察室、外気の温度測定値を図-17に示した。

公開時に換気のため外気を送風したので観察室にその影響がみられるが、観察窓に最も近い取合部の温度はほとんど変らなかった。4月9日18時にみられる取合部の温度上昇は、後で述べる照明装置の点検のため観察窓を開けた結果である。

#### 1) 照明装置

石室内におよぼす影響因子として照明装置の働きが注目されたので、照明カプセルのガラス面とその天井壁、カプセルに近い床面(カプセルから約30cm離れた位置)の温度の測定結果を図-18-a, 18-bに示す。図-18-aで照明点灯時のノコギリ状に表われた温度変化

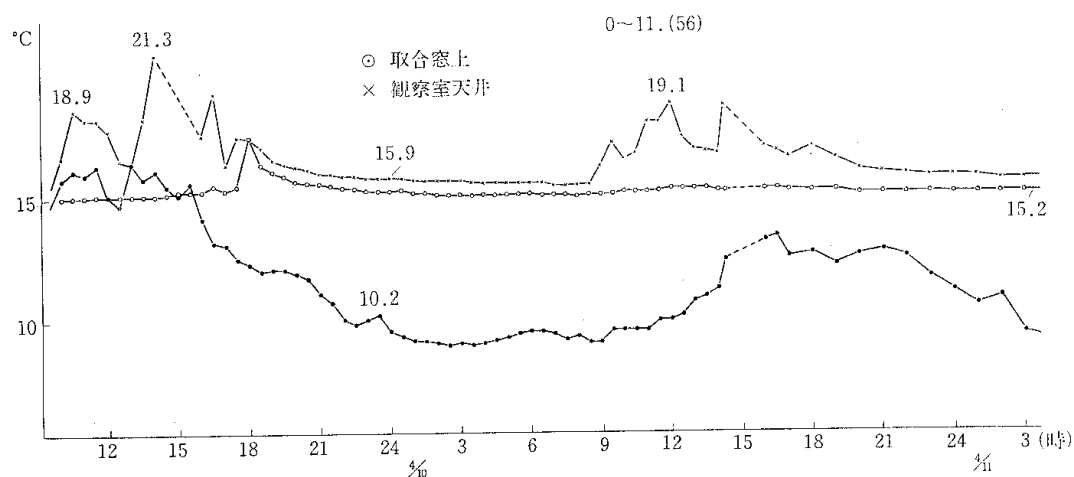


図-17 一般公開時の石室取合部、観察室および外気温(・)の変化(昭和56年4月9日・10日)

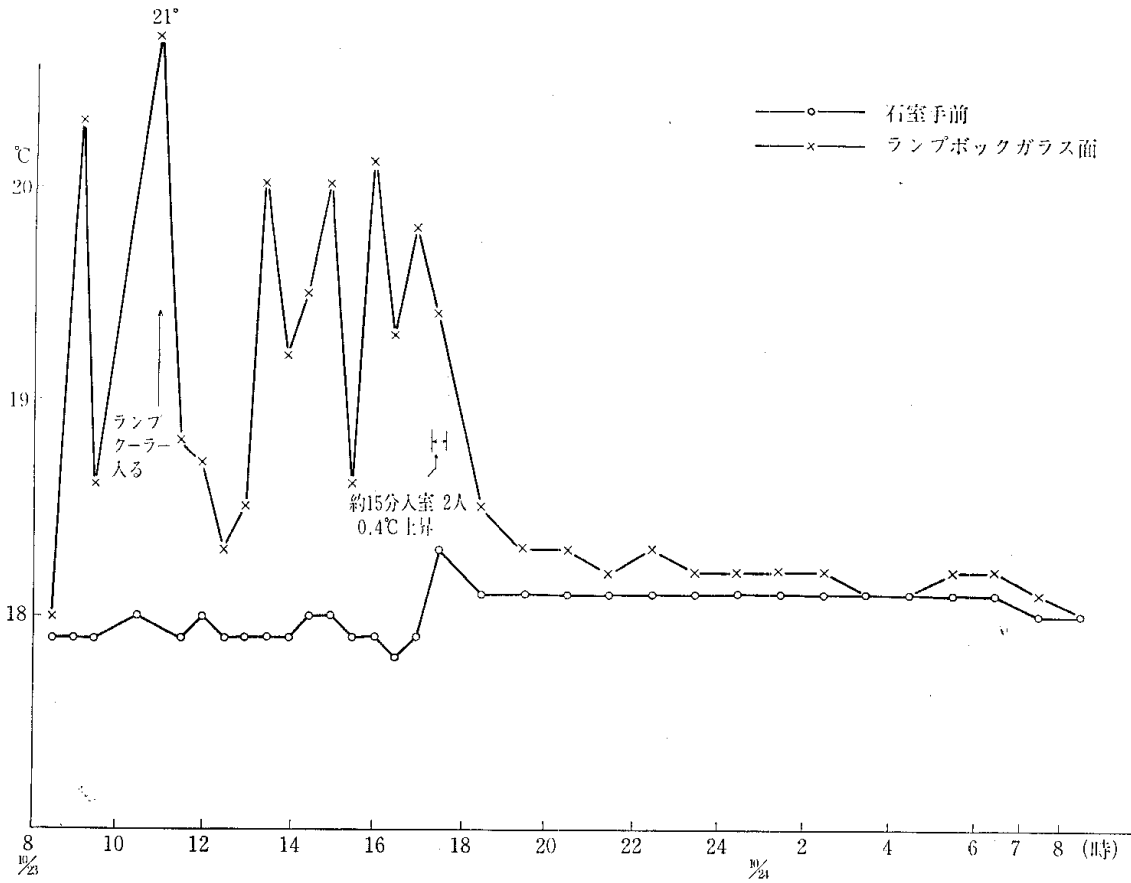


図-18-a 照明カプセルの空気洩れ (昭和56年10月23日・24日)

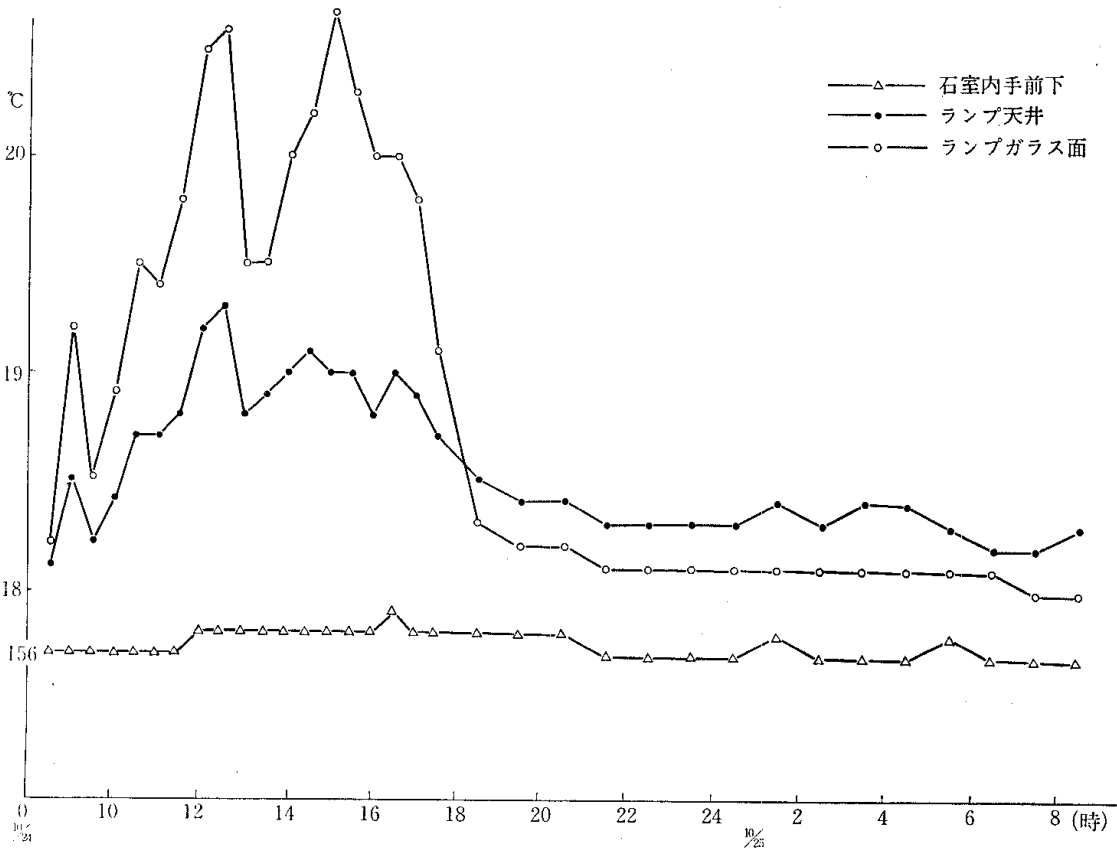


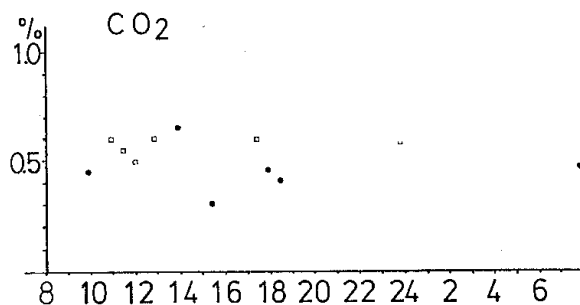
図-18-b 照明カプセルの空気洩れ (昭和56年10月24日・25日)

は、カプセル内に取り付けられた冷却機の制御スイッチにより冷却機が稼動するためである。図一18-aで石室床面の温度に変動がみられ、この原因を調べた結果、カプセルの空気洩れが発見された。これを応急修理した結果、図一18-bに示すように石室内の変化は $0.2^{\circ}\text{C}$ 程度であった。

## 2) 観察室内炭酸ガス濃度

公開中適宜炭酸ガス濃度を測定し、観察室内の衛生管理に務めた。その結果は図一20の通りであった。

公開は、温度面から管理してきたため、外気の送入による換気も行われたので系統的なデータではないが、結果的には高い時で、 $0.66\%$ であった。環境基準は $0.15\%$ （東京都興業場条例）であるが、通常環境基準はその環境に8時間滞在する場合の濃度で、この場合、人体への影響はなかったものとする。



図一19 炭酸ガス濃度測定結果（昭和56年10月）

## 3. ま と め

以上、古墳石室の公開時の環境保全について、その結果をまとめた。

昭和48年8月に初めて発掘された虎塚古墳は、その時点から一般公開を前提に調査を行い、仮施保護室での公開を経て、本施設による一般公開を実施してきたが、現在公開による彩色への影響は認められていない。

本施設については、いくつかの問題が残されている。ここでは取り上げなかったが、石室内の環境条件を変えない施設として重要な空調機について、見学者の滞在に対し今後はコンピューター等の制御方式も考えて行きたい。

照明装置について、発熱の少ないものが必要であり、カプセル方式を採用しているが、ケミカルライトも使ってみた結果、明るさが足りないこと、連続使用が出来ないことで不適當であった。

現在実験中のものは、最も発熱する光源を他室に置き、ここからガラスファイバーのガイドで光を取り入れる方式で結果は良好である。いずれその結果について報告する機会があると思う。

仮施保護室、本公開施設による一般公開時における前述の処置により環境の保全に務めたが、このような対処は、保存科者のみで出来るものではなく、考古学者、地元教育委員会等の協力によって成功するものである。

## 文 献

- 1) 見城敏子：石室内の温湿度；勝田市史別編「虎塚古墳」p. 170 (1978)
- 2) 建築学大系編集委員会：室内空気の理学的要素の悪化 改訂増補 建築学大系 22 pp. 448~457 (1965)

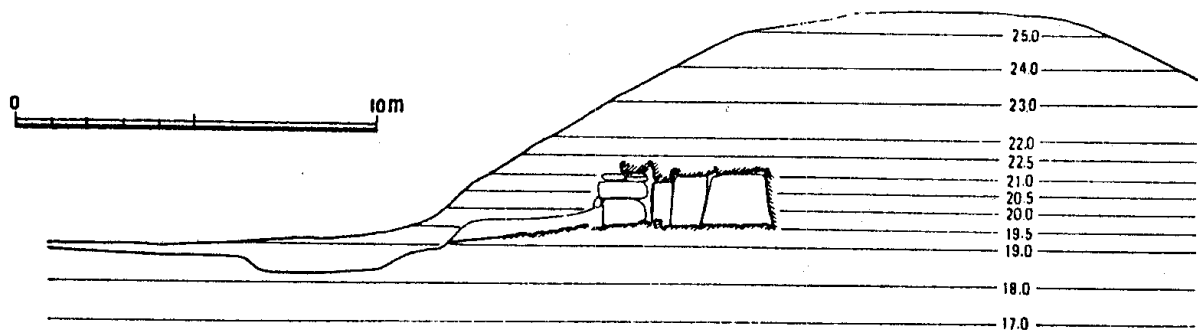
(門倉 武夫)

### Ⅲ 公開による石室内温度への影響

石室内壁画の公開に当たり、公開前の環境をできるだけ、みださないようにする。すなわち壁画と雰囲気との間の平衡をくずさないことが重要である。そのため、石室内の環境を調査しながら、公開施設の工事を進めた。また、公開の前後には必ず調査し、石室内状況を知るため石室内各所の温度の測定を行い年間の温度曲線をつくった。この結果、石室内の熱源になるもの、照明器具の温度もれ、人間の入室などの影響を今回の2年間の温度曲線から知ることができ、それによってよりよい石室内環境保全の方策への指針が得られた。

#### 1. 開口前の石室内の温湿度について

図一1のように、石室は後門部南側に開口する両袖型玄門付横穴式石室である。



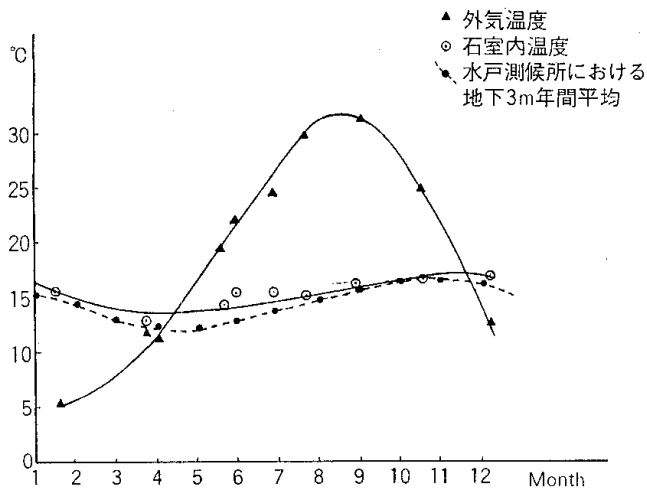
図一1 虎塚古墳石室構造図

玄室は長さ約3 m、奥壁の幅1.5 m、玄門部の幅13.8 m、高さは中央部1.4 mで、奥から玄門にかけて、やや傾斜している<sup>1)</sup>。

温湿度年間変化を追えるよう各シーズンの日中、同一時間に予め埋蔵しておいた石室に通じるヒューム管を通して測定を行った。

昭和48年8月31日石室内の温湿度測定を開始して以来、昭和55年9月30日まで延べ14回測定を行った。これらの測定値から石室内の温湿度の連続的変化の様子を完全に把握することは出来なかったが、石室内温度の最低は14.5°C、最高は17.0°Cで温度差は3.5°Cに過ぎず、これに対して外気温は最高32°C、最低8°Cで温度差は24°Cである。従って、石室内の年間温度変動は極めて少ないと考える。これは石室の密閉がよく保たれており、石室周囲の土質を通しての熱伝導による外部温度の影響のみによる変動とみられる。

一方、湿度に関しても、測定期間の外気の変動が最高68.2%、最低45%、湿度差23.2%に対して、石室内は最高98%、最低92%で湿度差は6%に過ぎず極めて少ないといえる。そこで、7年間にわたる温度のデータを1年間のデータとして図示すると、図一2のようになる。石室内の温度は4月下旬に最低となり、10月下旬に最高になる。因みに、古墳に近い水戸測候所における地下3 mの平均年間温度変化を図示すると、図一2に示すように最低4月下旬、最高10月初旬で石室内の温度変動が地下の変動に似ていることがわかる。



図一 2 未開口石室内の温度曲線（昭和48年～昭和55年）

2. 公開施設をつくるための予備実験

公開保存施設を設計するための石室前庭部，羨門部の調査の際，一般公開が行われた。

われわれは未開口の石室内の状態をできるだけ変えないように公開することを目的として，まず，図一3のように石室前庭部を覆うための仮設の保護室を合板により設置した。保護室は前室の2室を扉によって区分し，断熱材による壁面をかこつた。なお，石室羨道部にはビニール

シートによる小室（観察室）を設備し，保護室と石室とをさらに遮断するように工夫した<sup>2)</sup>。

1. 石室内の環境

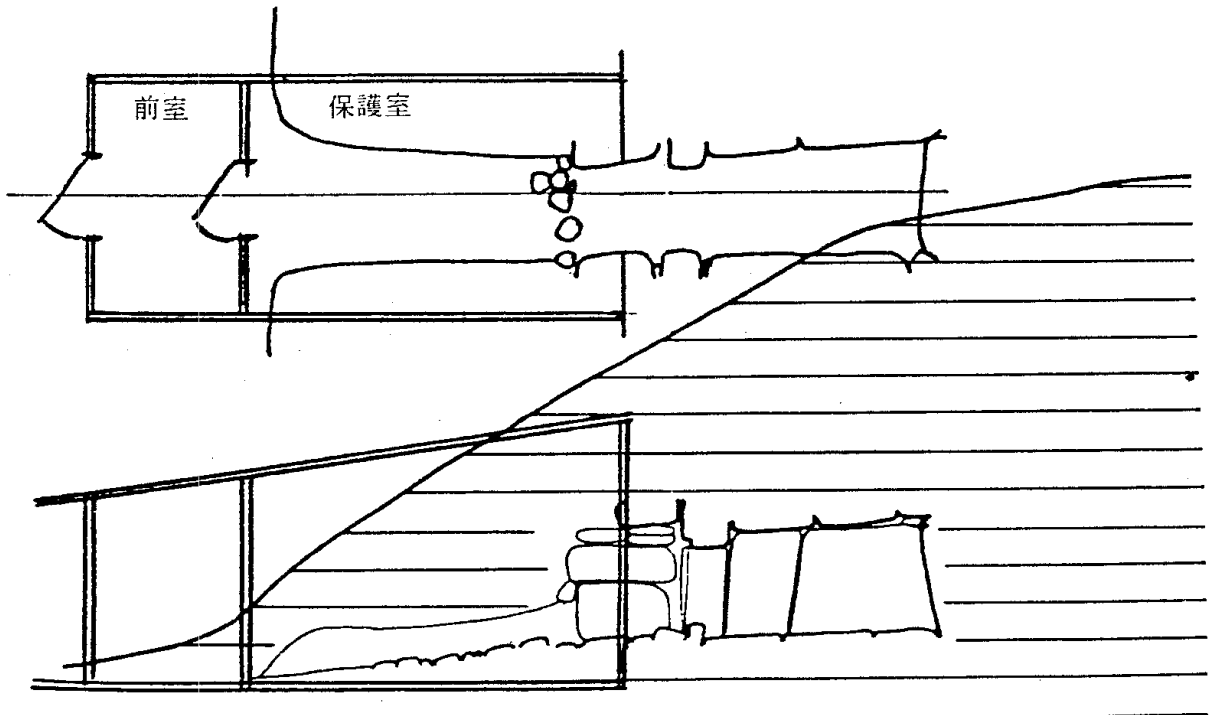
石室の入口付近で報道陣がフラッシュをたいて写真撮影をしたため開口前 16.4°C であった石室内の温度は石室内全体にわたって，10°C～20°Cまで上昇し，石室入口，中央，奥の上下の温度差は3°C位になった。

2. ペアガラスの効果

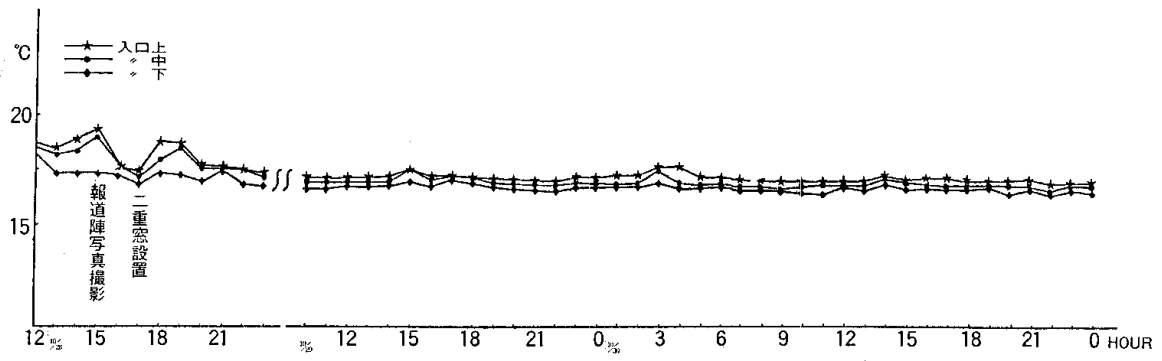
石室入口にペアガラスを設置し，石室内を密閉した。

この結果，石室入口，中央，奥の上中下の温度差は3時間位で1°C程度となり，ほぼ定常状態に近づいた（図一4，5，6）。

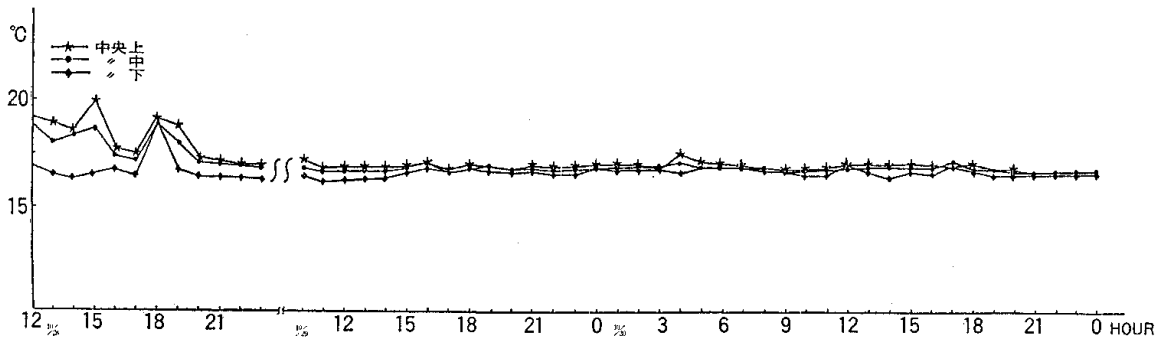
ペアガラス設置後，観察室（図一7）の温度が最高 23.2°C，最低 17.2°C で差が6°Cで



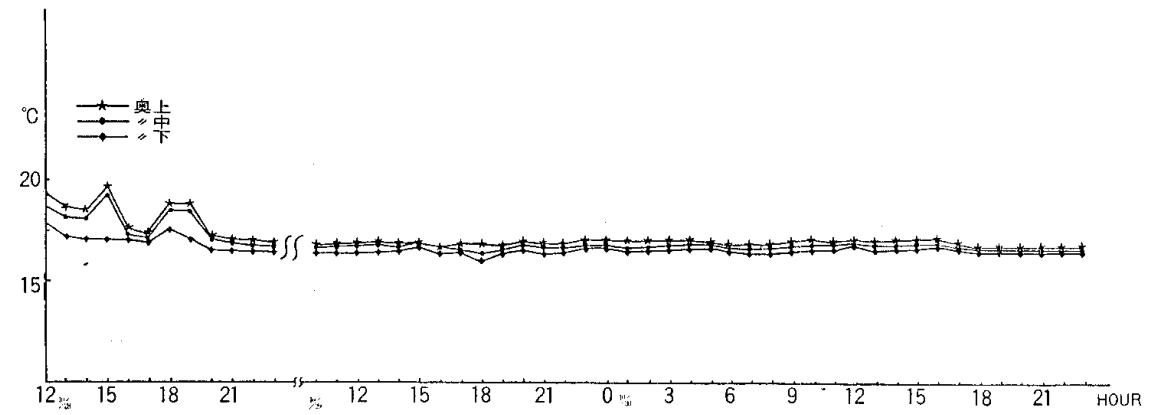
図一 3 仮設保護室図



図一4 石室内（入口）温度曲線（仮施設）



図一5 石室内（中央）温度曲線（仮施設）



図一6 石室内（奥）温度曲線（仮施設）

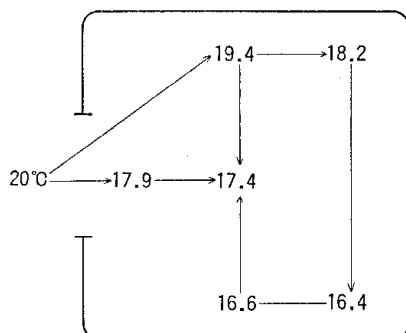


図一7 観察室温度曲線（仮施設）

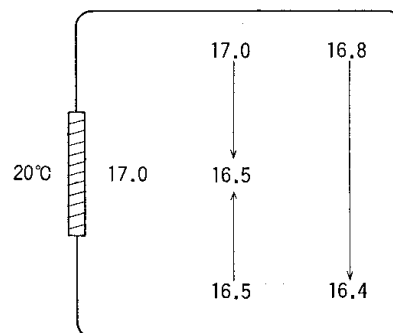


表一 石室内平衡温度（上中下）

位 置	温 度		
	上	中	下
石室入口	17.0°C	16.7°C	16.5°C
“ 中央	16.8°C	16.8°C	16.7°C
“ 奥	16.5°C	16.4°C	16.4°C



図一A



図一B

あるにもかかわらず、石室内では最高 17.2°C、最低 16.4°C で、差が 0.8°C であり、変動は比較的lowく、表一のように石室入口の方が温度が高く、奥になるに従って低い。また、天井と床の温度差も入口の方が大きい、全体的にみてほとんど差がないといってよい。

石室内壁面と石室内空気との間に水分の授受がないと仮定し、石室内温度の小変動による水蒸気圧の変化を無視して考えると、温度が 16.4°C（開口前）で、相対湿度 100% の空気の温度が 20°C に上がると（ペアガラスが入る前、図一5、6）、相対湿度は約 80% に下がるが、温度 17.2°C（ペアガラス設置後）に上がった場合には相対湿度は 97.5% で変動はかなり少なくなる。このことから、ペアガラスの効果はでていていると考えられる。

### 3. ペアガラスの開閉時の温度状況

ペアガラスを開けると、観察室の温度の方が高いために、石室内へ空気が流れ、図一Aのような温度分布となり、石室の天井の近くは急激に乾燥することがわかる。また、ペアガラスを閉めることによって、石室内の温度分布は一様になり、温度も落ち着いてくる。（図一B）。

### 3. 公開後の石室内の温度状況

公開保存施設が竣工して、昭和55年10月18日から公開することになった。

仮施設の場合と同じように、石室内に温度センサーを設置し、図一8-1～4のデータを得た。

便宜上、昭和55年10月の公開から昭和56年10月の公開までを第1期、昭和56年10月から昭和57年10月までを第2期とする。第1期の石室内温度曲線（図一8-1～3）を、公開前（図一2）と比べると、石室内の年間平均温度 16.8° は開口前の平均温度 15.2°C よりも 1.6°C に上昇している。これについて検討する。

a. 外気温（図一9）、観察室（図一8-4）、石室（中央下（図一8-2））の年間の最低温度と最高温度の時期およびその温度差は表一2のようになる。

表一2のように、観察室は外気から1.5～2ヵ月遅れて最低、最高となり、石室内では観察室

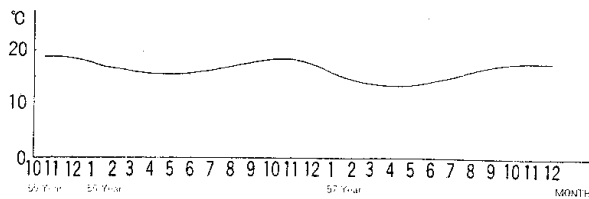


図-8-1 虎塚古墳石室内（中央上）温度年変化

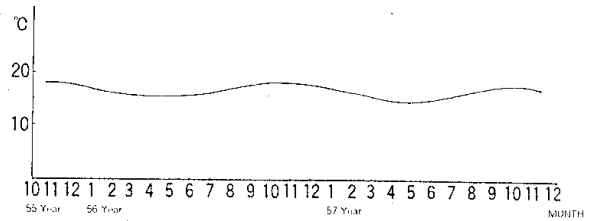


図-8-2 虎塚古墳石室内（中央下）温度年変化

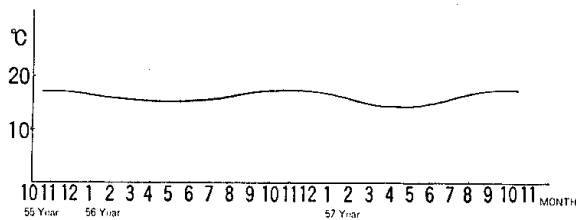


図-8-3 虎塚古墳石室内（奥上）温度年変化

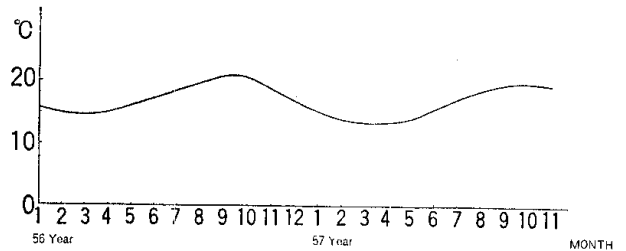


図-8-4 虎塚古墳観察室温度年変化

からさらに 1~1.5 カ月遅れ、最低、最高の温度差も観察室で外気の約 1/3、石室内では観察室の約 1/2 になる。従って、観察室は外気から、石室は観察室からさらによく断熱されている。しかし、外気温の変動が遅れて石室内に伝わってくることから、外気の影響が考えられるが、図-9 の水戸の最近 4 年間の平均気温の推移から平均気温の上昇はほとんどないので、石室内平均温度の上昇は外気温の影響によるものではない。

b. 昭和57年11月より図-10、表-3 のように温度センサーを設置し、公開施設内、墳丘の土盛りなどの温度分布を調査した。（但し、観察室にあるダクトは封鎖）

1) 墳丘の土盛りについて

公開施設をつくる時に一部墳丘の土を剝がし、後で土盛りして、土をかためたが、土盛りの状態が石室におよぼす影響を調らべる目的で、地表から 40 cm, 90 cm, 140 cm の深さの温度および石室内各部の温度を測定した。図-11には昭和57年11月18日から昭和58年1月5日までのデータを示す。図からわかるように、地表に近い深さ 40 cm の温度変化が最も大きく、深

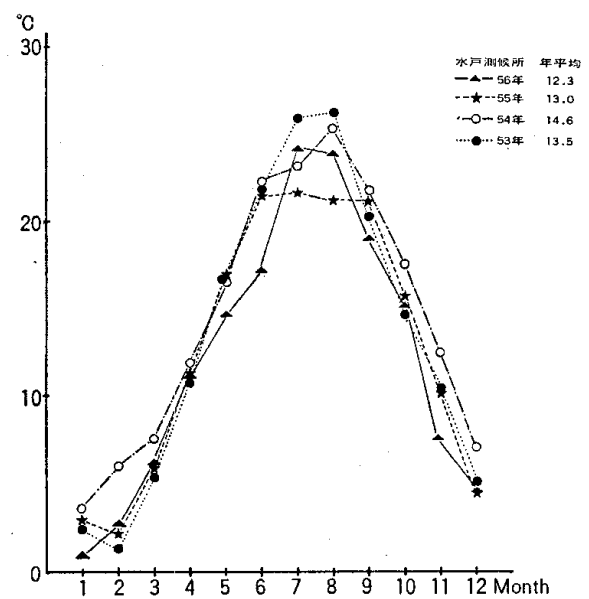


図-9 外気温度年変化（昭和53年~56年）

表-2 施設公開後の温度（最低、最高、温度差）

位 置	最低温度	最高温度	温度差
外 気	1月中旬	7月下旬	24.0°C
観 察 室	3月上旬	9月下旬	7.3°C
石室中央（下）	4月下旬	10月下旬	4.0°C

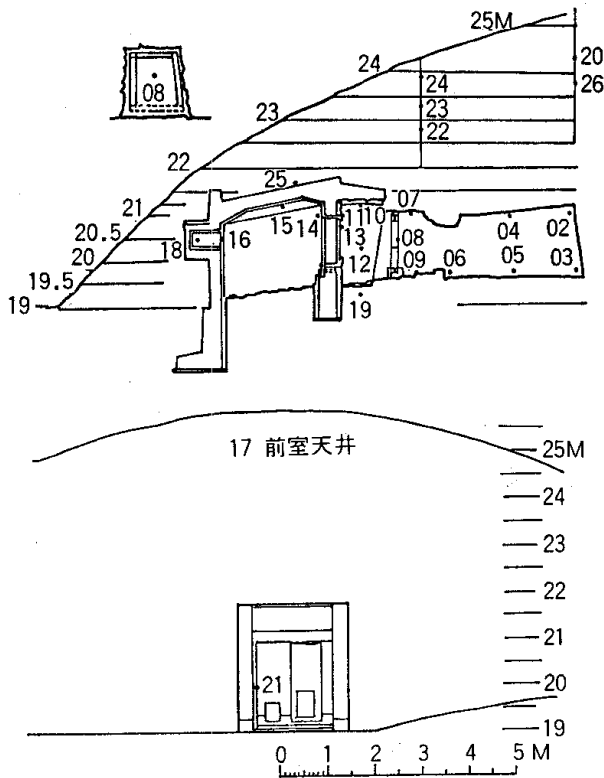


図-10 虎塚古墳温度センサーの設置位置

さが増すにつれて、温度変化は次第に小さくなる。試みに、この期間の平均温度変化日を計算すると表-4、5の結果が得られる。

表-2から、外気温に比べ石室内の温度変動は1/10以下であり、保温状態は極めてよく、外気温の影響がほとんどないことがわかる。

なお、深さ40cmの所の温度変化が地表に比べて10%未満であることは、地表付近の土盛りの密度が低いことによると想定されるので、より完全な土盛りを行えば、地表との断熱がさらに改善されるであろう。

2) 観察室、前室について

観察室、前室についても、図-11と同様に温度変化のデータが得られ(図-12)、平均温度変化(°C/日)は表-5のようになる。観察室(深さが地表下ほぼ1mに相当)、前室(地表からほぼ40cmの深さに相当)は共に地表から90cm、40cmの平

表-3 温度センサーの設置位置

No.	温度センサーの位置	No.	温度センサーの位置
01	外気(杉の木)	15	観察室天上
02	石室奥上	16	吹き出し口
03	石室奥下	17	前室天井
04	石室中央上	18	吹き出し口奥
05	石室中央下	19	とりあい土中
06	石室手前下	20	前方部墳頂土中(-50cm), 11月2日14時より後円部石室奥墳丘土中(-100cm)
07	ライトボックス天井	21	送風器取り入れ口(公開中のみ有意)
08	ライトボックス上中	22	入口上墳丘土中(-140cm)
09	ライトボックス床面	23	入口上墳丘土中(-90cm)
10	取り合い天井	24	入口上墳丘土中(-40cm)
11	ペアガラス直上	25	観察室天井外壁(-120cm)
12	取り合い中央部	26	後円丘石室奥墳丘土中(-150cm)
13	ペアガラス内側	27	後円部北側土中(-140cm)
14	観察室ペアガラス上		

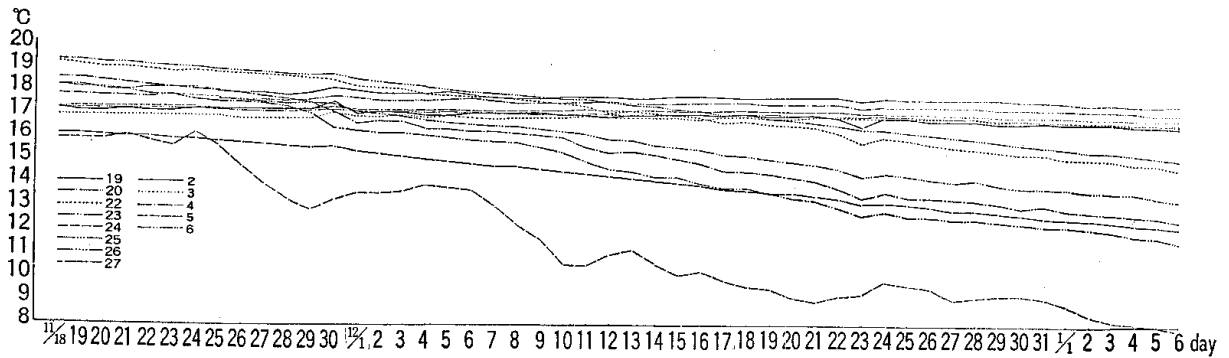


図-11 土中、石室の温度変化（昭和57年11月18日～昭和58年1月5日）

表-4 土中の平均温度変化（昭和57年11月8日～昭和58年1月5日）

位 置	温度 (°C/日)
とりあい土中	0.012
観察室天井外壁 (-120 cm)	0.095
入口上墳丘土中 (-140 cm)	0.092
入口上墳丘土中 (-90 cm)	0.140
入口上墳丘土中 (-40 cm)	0.165
後門丘石室奥墳丘 土中 (-150 cm)	0.085
後門丘石室奥墳丘 土中 (-100 cm)	0.127
後門部北側土中 (-140 cm)	0.075

表-5 石室内平均温度変化（昭和57年11月8日～昭和58年1月5日）

位 置	温度 (°C/日)
石室内奥 (上)	0.015
石室内奥 (下)	0.002
石室内中央 (上)	0.012
石室内中央 (下)	0.007
石室内入口 (下)	0.010

表-6 前室、観察室、平均温度変化（昭和57年11月8日～昭和58年1月5日）

位 置	温度 (°C/日)
ペアガラス石室内側	0.027
ペアガラス観察室側	0.048
観察室天井	0.052
吹き出し出口	0.067
吹き出し奥	0.077
前室天井	0.077

均温度変化（表-4）に比べて約1/2以下である。また、ペアガラスの内外でさらに温度変化は1/2になっている。これからみても石室内の温度の影響は外気から二重、三重に遮断されているといえる。

3) 石室内の照明ランプの影響

一般公開に際し、石室内の環境を保持するために、照明ランプの真上の天井の温度が20°Cになれば冷却送風の運転を開始し、また取合部（中央）に設置してある温度センサーが20°Cになれば公開を一時中止するという基準を決めた。

予備実験として、送風冷却を運転しないで、天井の温度が20°C近くなった時、照明を消し、元の温度まで下がった時に照明を点灯した。これを何回か繰り返して得た温

度変化（図-13）をみると、照明器具の下の土面の温度は、ガラス面、天井の温度のピークより遅れてピークになる。天井の温度が元に戻って点灯すると、土面は元の温度に戻るのに時間がかかるので、元に戻らぬまま温度が上昇して、次のピークは元との温度差だけ高くなり、かつ元の温度に戻る時間は長くなる。また、天井の温度が20°Cに上がると図-14のように石室内の温度にも影響が出てくる。

このように、石室内での照明（冷却を使用しないとき）は、石室の温度に影響を与えるが、

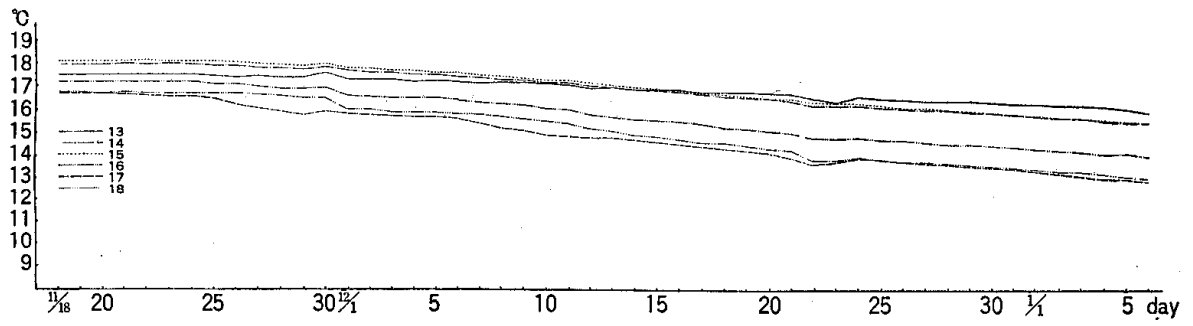


図-12 前室, 観察室の温度変化 (昭和57年11月18日~昭和58年1月5日)

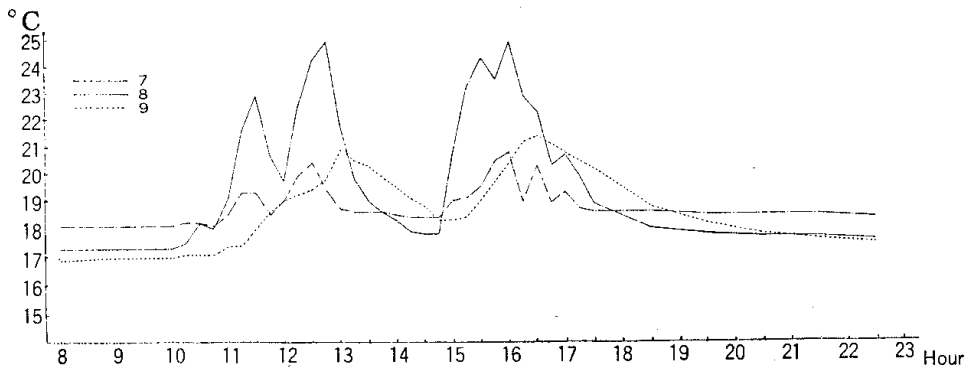


図-13 照明点滅時における照明器具付近の温度変化

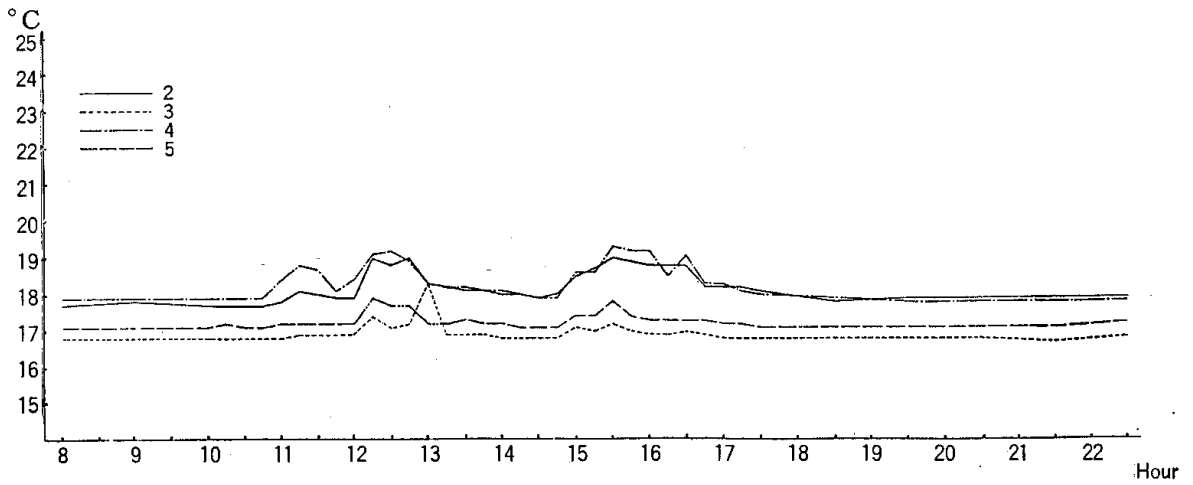


図-14 照明による石室内温度変化

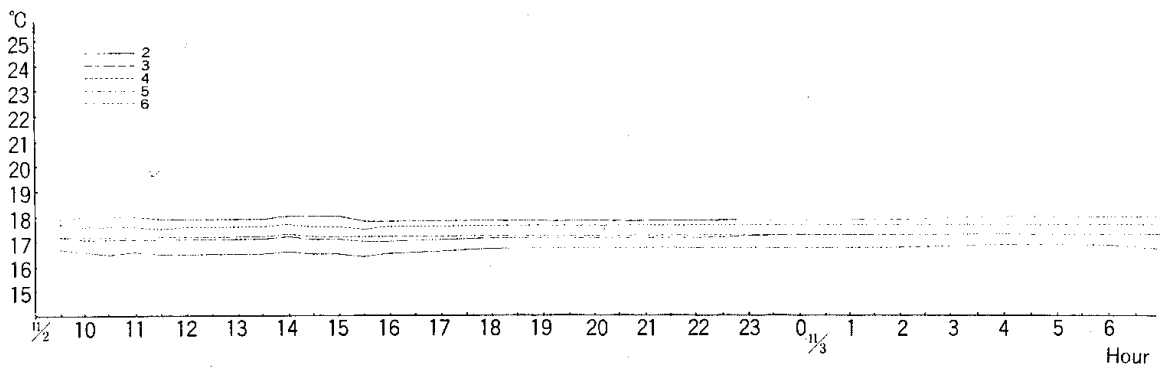


図-15 観察室から照明した場合の石室内温度変化

このことは実際の公開後の温度曲線図—8—1～3にみられるように、石室内温度は11月中旬頃から下るがべきところ、あまり下がらず、1月上旬から徐々に下がって、5月頃から上昇する。このため第1期（昭和55年10月～昭和56年10月）の石室内年間平均温度は $16.8^{\circ}\text{C}$ で公開前の平均温度 $15.2^{\circ}\text{C}$ より $1.6^{\circ}\text{C}$ 高かった。第2期（昭和56年10月～昭和57年10月）は照明器具などを改良したため、石室内の温度曲線（図—8—1～3）は開口前の温度曲線（図—2）にかなり近くなり、年間平均温度は $16.0^{\circ}\text{C}$ で公開前（ $15.2^{\circ}\text{C}$ ）との温度差は $0.8^{\circ}\text{C}$ になった。

さらに昭和57年11月の公開には照明器具を石室内から取り出して、観察室から照明し、壁画をみせることにした。この結果、図—15にみられるように石室内の温度（上中下）はほとんどみだれることなく一直線になった。

#### 4. お わ り に

1970～71年坂上によって行なわれた王塚古墳の石室内温度調査<sup>3)</sup>においては地表下2.42mから深さ3.75mの石室で年間の温度振幅が $5.2^{\circ}\text{C}$ であり、外気温の振幅（ $26.9^{\circ}\text{C}$ ）の1/5で、かつ石室内の位相の遅れは70～80日であった。今回のわれわれの調査では地表下3.3mから深さ1.4mの石室を対象としたものであり、地表から石室中央までの深さは今回および王塚古墳共に約4m位で、今回の年間振幅 $3.5^{\circ}\text{C}$ （地表の振幅の約1/7）、および位相差90日（約3カ月）はかなり良い結果であると考えられる。

石室内に温度変動があると、石室壁画表面からの水分の蒸発や結露を起こす原因となり、石室の壁画を保存する観点から、温度変動がなるべく小さいことが望ましい。

また、石室内の環境変化をみるには、年間の温度曲線と未開口の年間温度曲線を比較し、次に公開するか、休むか検討する目安になった。

つぎに石室内、観察室にペアガラスを設置した事は前室から観察室に入る時に、外気の浸入をペアガラスでふせぎ、直接石室内への影響がない。また、非公開時はガラス窓手前に断熱材入りステンレスドアを設置して、石室内への温度の影響を考慮したことは石室内壁画の平衡をみださない処置であると考えられる。

墳丘の土盛りについて、固めがわるいと、降雨量が200ミリを越えた場合は土中に滲透し、壁面をよごすといわれている。台風時期にビニールシートで墳丘を覆って、石室内への雨水の滲透をふせいだことはよい処置だと考えている。

#### 文 献

- 1) 虎塚古墳「保存整備報告書」p. 7, 茨城県勝田市教育委員会 1981. 3
- 2) " " " p. 35, " "
- 3) 特別史跡王塚古墳の保存 p. 3～5 福岡県教育委員会 1975.

（見城 敏子）

## IV 石室内微生物の動態

### 1. 発掘前後から仮設保護室設置まで

筆者は、密閉度のよい多湿な未発掘古墳石室の壁面等に微生物の被害が認められない理由を、石室内が無菌状態であるかまたは酸素欠乏状態にあるかのどちらかではないかと推定した。しかしながら、虎塚古墳で未発掘古墳内の空気を初めて調査すると、これらの推測は全て誤りであった。すなわち、未発掘古墳内の空気中に、糸状菌  $400\sim 700/m^3$ 、細菌  $200/m^3$  を計測し、酸素は20%存在していることが判明した<sup>1),2),3)</sup>。

虎塚古墳発掘調査団は、筆者らの未発掘古墳の埋蔵環境調査が終了すると、ただちに考古学的調査を開始した。このとき、石室前に発泡スチロールの遮蔽板を置いて直射日光を避ける等細心の配慮をして、石室内温湿度ならびに雰囲気の変化を極力防ぎながら調査が進められた。この調査中の石室内微生物の動態をみると、糸状菌が  $900\sim 1,060/m^3$ 、細菌が  $400\sim 500/m^3$  と急激に増加した。これは、調査に伴う人間の移動によるものである。このときの顕著な現象として、*Cladosporium* 様糸状菌が、未発掘時の  $40\sim 60/m^3$  から  $500\sim 600/m^3$  と約10倍にも達していたことであった。これより、*Cladosporium* 様糸状菌の動態が、外部空気の流入や人間の出入り等を示す1つの指標とすることができた。

考古学的調査が終了すると、石室は直ちに埋もどされた。このとき  $10\text{ cm}\phi$ 、長さ  $6\text{ m}$  のヒューム管で石室内部と墳丘の外とを結び、埋めもどし後の石室内環境を墳丘外から測定できるようにした(図-1)。埋めもどしが完了した時点で、ヒューム管から石室内にパラホルムアルデヒドを  $10\text{ g}/m^3$  の割合で吊し、調査等で増加した微生物を殺菌する手段を講じた。そして、8, 15, 40, 42ヶ月目の石室内微生物数を測定すると、糸状菌は  $180\sim 250/m^3$ 、細菌は  $150\sim 330/m^3$  という値を示し、発掘調査で増加した微生物数は、発掘前の状態に復帰していた<sup>1)2)</sup>。

### 2. 仮設保護室設置と再発掘の前後

勝田市虎塚古墳保存対策会議は、昭和53年度に公開保存施設の設計および設計に伴う石室内外の調査の実施を決定し、昭和53年10月21日～11月4日にかけて虎塚古墳石室を再発掘した。このとき、石室内部への外界の影響を極力防ぐために、墳丘に密着して石室前方部に仮設保護室を設置することになった(図-2)。

筆者は、再発掘の3个月前(53.3)、仮

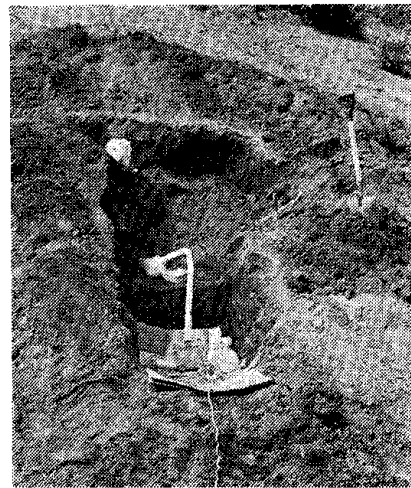


図-1 墳丘の外側から石室内の微生物を採集(55.5.22)

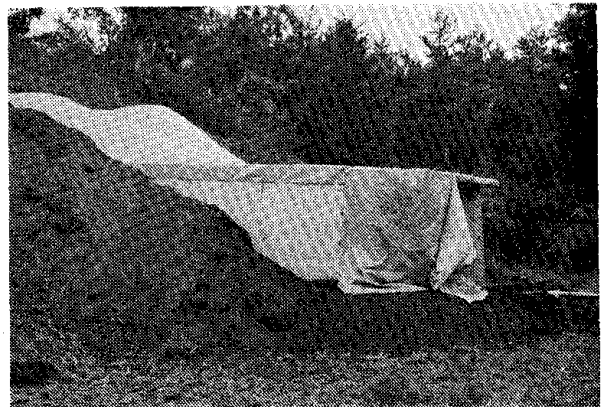


図-2 公開保存施設設計の調査のために設置した石室内部の仮設保護室(53.10.26)

設保護室設置直前(53. 10. 21), 石室開口直前(53. 10. 27)および石室開口直後(53. 10. 28)に石室内の微生物を調査した。その結果, 糸状菌  $180\sim 350/m^3$ , 細菌  $150\sim 400/m^3$  が計測され, 石室内微生物の動態に大きな変化は認められなかった。このとき, 分離された微生物は, *Penicillium* 属が約50%を占め, その他 *Aspergillus* spp., *Alternaria* spp., *Actinomyces* 等であった。

石室開口後, 考古学者や建築家等による調査ならびに写真撮影が実施された(53. 10. 28~10. 31)。それぞれの調査ならびに作業終了時に石室内の微生物を計測すると, 糸状菌は $285\rightarrow 650/m^3$ , 細菌は  $700\rightarrow 900/m^3$  に増加した。したがって, 調査が終了したときパラホルムアルデヒドを  $10 g/m^3$  の割合で石室内に吊し, 石室は直ちに埋めもどされた。その33日後(53. 12. 4)に再度石室内の微生物数を計数すると, 糸状菌  $113/m^3$ , 細菌  $380/m^3$  で, 微生物に関しては再発掘前の環境に復帰していた。

### 3. 公開保存施設本体の工事期間

公開保存施設本体の工事は, 昭和54, 55年度に実施された。この期間中は, 石室内部に影響の生ずる可能性のある工事が行われる場合に限って, その前後の石室内の環境を調査した。

この種の工事としては, 石室内部と墳丘外とを連結したヒューム管を切断する必要が生じたとき, ヒューム管切断の前後の微生物を計測したが, 糸状菌  $132\sim 190/m^3$ , 細菌  $100\sim 282/m^3$  で著しい変動は認められなかった。

昭和54年度の工事が終了した時点で(図-3)同様に計測すると, 糸状菌  $150/m^3$ , 細菌  $190/m^3$  で, とくに異常はなかった。そして昭和55年度の工事が終了し, 落成式ならびに第1回公開が実施される前日(55. 10. 13)に計測すると, 糸状菌  $85/m^3$ , 細菌  $70/m^3$  が計数された。したがって, 公開保存施設の建設工事に伴う石室内の埋蔵環境への影響は, 微生物学的観点からはほとんど認められなかった。

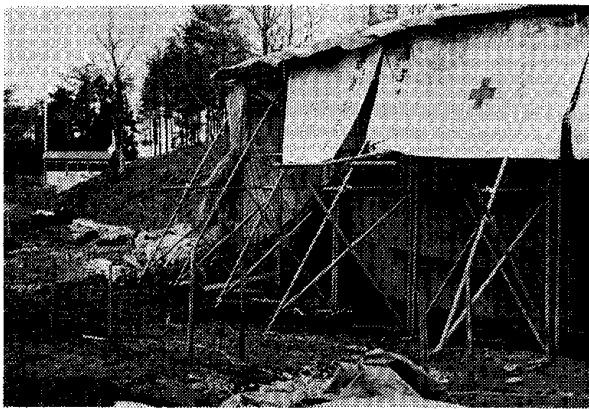


図-3 公開保存施設の設備工事(55. 3. 29)

の施設が設備され, 昭和55年秋の一般公開以来, 昭和56年度春秋, 昭和57年度春秋に一般公開してきた。筆者らは, 公開保存施設が完成して間のない施設であり, かつ公開期間中地元および全国各地から訪れる多数の見学者があるので, 昭和56, 57年度の一般公開の前後に石室内の埋蔵環境を調査し, 壁画等の保存状態に留意した(図-4)。その結果, 微生物については, 昭和57年春までは, 糸状菌  $127\rightarrow 256/m^3$ , 細菌  $123\rightarrow 161/m^3$  と計測され, 微生物学的には保存状態が良好と判断した。

### 4. 一般公開の前後

虎塚古墳は, 公開保存を前提として種々

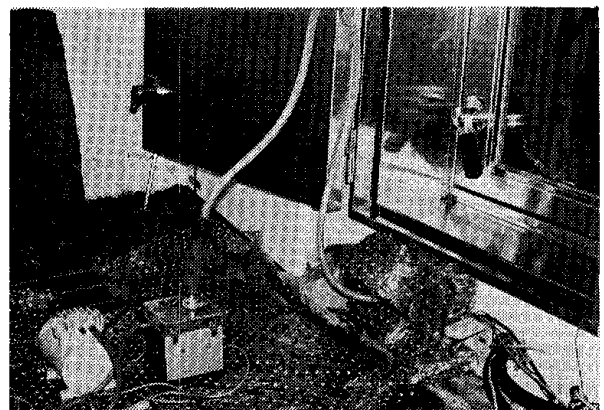


図-4 一般公開前後に実施する石室内埋蔵環境調査(55. 10. 24)



しかし、昭和57年度秋の一般公開に先だって調査した結果によると (57.10.19), 糸状菌および細菌が著しく増加していることが判明し、かつ取合部の土壌表面に糸状菌 *Trichoderma* spp., が発生した。これは、パラホルムアルデヒドによる殺菌効果が減退したのか、または石室内の埋蔵環境に何らかの変化が生じた等の理由が考えられる。取合部分に繁殖した *Trichoderma* spp., は、未だ石室内部に及んでいないので、早急に原因を究明し対策を講ずる必要があると考える。

#### 文 献

- 1) 新井英夫：未発掘古墳の微生物学的研究，考古学雑誌，59，328～336（1974）
- 2) 新井英夫：文化財の微生物による劣化—古墳の微生物学的問題について—，微生物の生態4，143-157（1977），東京大学出版会発行
- 3) 新井英夫：勝田市史 別編I，虎塚壁画古墳，163—165，175—176，勝田市発行，（1978.3.25）

（新井 英夫）

### Surveys Related to the Preservation of Murals in the Torazuka Ancient Burial Mound

Yoshimichi EMOTO, Takeo KADOKURA, Toshiko KENJO  
and Hideo ARAI

In August 1973 a survey was conducted on the environment of a sealed stone chamber discovered at the Torazuka Ancient Burial Mound in the city of Katsuta, Ibaragi Prefecture.

After the chamber was opened and archeological studies of its contents, including mural paintings, were completed, the entrance was once again sealed up. However, a pipe leading into the chamber was also laid down in order to measure environmental changes inside.

As a result, it was found that the annual average temperature in the chamber was  $15 \pm 2^\circ\text{C}$ , and that the humidity ranged between 92-98% RH. Forty-two months after closure, the composition of the air was slightly lower in oxygen and nitrogen than that of outside air, and the content of carbon dioxide was 100 times normal level. Five months after closure the presence of microorganisms was at the same level as before the opening of the chamber.

Next, the Committee for the Preservation of the Torazuka *Kofun* discussed the problem of constructing facilities for the exhibition of the mural paintings to the public.

In 1978 the chamber was reexcavated to conduct a survey to determine proper architectural designs, and the stone chamber was exhibited to the public for a while.

In order to keep environmental conditions unchanged a temporary facility was constructed in front of the chamber entrance, and inside conditions were constantly monitored. Approximately 8,000 people visited the chamber during a two day period, but no significant changes in the chamber's environment took place.

After this exhibition period the chamber was once again closed. Construction of the exhibition preservation facilities started in 1979, and was completed in October 1980.

The exhibition building, made of ferro-concrete, consists of three rooms—an observation room, and two successive anterior rooms. A double-layer glass wall at the entrance to the chamber permits people to look at the inside. Instruments for measuring temperature and humidity are located in the stone chamber, in the observation room, and outside the exhibition building, and the data they collect are recorded in an office building 100 meters away.

Lighting in the stone chamber consists of ultraviolet-free fluorescent lamps placed in FRP capsules connected to airconditioners located outside, which prevent the lamps from giving heat off.

This facility is open to the public only during fixed periods in spring and autumn. Furthermore, air in the observation room is supplied by a special airconditioner to minimize effects on the stone chamber.

As a result of scientific measures taken from the time of excavation, the following points are noted.

1) Using the annual temperature curve obtained by continuous measurements from the start of our work the temperature setting needed for exhibition purposes was determined. Annual temperature changes in the observation room are 1/3 that of exterior temperature changes, while changes in the stone chamber are 1/6, thus demonstrating the effectiveness of the double-layer glass wall.

Other studies showed that moving earth on the top of the burial mound during construction had almost no effect on the stone chamber's temperature.

2) Biological factors were also measured before, during and after excavation, as well as during closure. The number of fungi were counted and analyzed, and their growth and decline observed. Finally, fungicide and germicide measures were taken to prevent the murals from damage by microorganisms.