

## 〔報告〕虎塚古墳公開保存施設の管理方法変更による微生物汚染状況の推移

著者	佐藤 嘉則, 犬塚 将英, 森井 順之, 矢島 國雄, 木川 りか
雑誌名	保存科学
号	54
ページ	121-131
発行年	2015-03-26
URL	<a href="http://id.nii.ac.jp/1440/00003893/">http://id.nii.ac.jp/1440/00003893/</a>

# 〔報告〕 虎塚古墳公開保存施設の管理方法変更による 微生物汚染状況の推移

佐藤 嘉則・犬塚 将英・森井 順之・矢島 國雄\*・木川 りか

## 1. はじめに

虎塚古墳は茨城県ひたちなか市（旧勝田市）中根にある前方後円墳であり、横穴式石室内に白色下地層のうえにベンガラで描かれた彩色壁画を有する装飾古墳である<sup>1)</sup>。虎塚古墳壁画保存の基本方針には、保存にあたっては公開を前提とすることが明記されており、それに基づいて施設設置の基本構想が策定され、昭和55年に公開保存施設が竣工している<sup>2)</sup>。公開保存施設は、石室内の装飾を保存するために、温湿度の急激な変化を石室内部に影響させないことや外部環境から侵入してくる小動物、微生物などの生物や塵埃などの有機物を石室内部に到達し難くする緩衝空間としての役割を担っている。また、毎年春と秋に実施されている一般公開時には、見学者が安全にかつ良好に石室内の装飾を観察するための公開施設としての役割もある。乳幼児から高齢者まで見学に参加することもあるため、「安全」の意味には、怪我など起きにくい施設であることに加え、微生物汚染による健康被害などが起こらない衛生的に適切な施設であることも含まれるであろう。しかし、石室は土中にあり石室内部は相対湿度が100%に近い高湿度環境であるため、緩衝空間である観察室も石室内部に近い高湿度環境に維持する必要性があり、高湿度を好む微生物の発育には最適な環境となっている。また、後述するが、観察室内には扉石が置かれ、墓道の敷石を保護するための粘土が敷かれており、これが微生物制御をより困難にする要因となっている。

本研究の背景には、これまで微生物抑制のための処置として、春と秋の一般公開後に観察室等の壁面や扉石等に防黴剤が散布されてきたが、防黴剤を散布しても扉石を中心に粘性のバイオフィルム様の物質が表面に広がり、そこでカビの発生が起こる状況となっていた。この要因として推定したことは、防黴剤に対する薬剤耐性菌が集積された可能性、薬剤で死滅した死菌体が有機物として蓄積していった可能性、防黴剤に含まれる成分が微生物の栄養源となった可能性、などである。そこで、2011年以降から、大きな変革として防黴剤の散布を一旦中止し、除菌清掃と紫外線(UV-C)照射等による微生物制御に切り替えることを提案し、ひたちなか市史跡保存対策委員会（以下、対策委員会と省略）で承認された。

本報告では、これらの保存対策が微生物の分布状況にどのような影響を及ぼしてきたかを評価することを目的とし、2011年11月から2014年3月まで定期的に行ってきた微生物調査：①浮遊粒子、浮遊・付着微生物の測定、②除菌清掃による処置を行った際の微生物の動態、について報告したい。

## 2. 公開保存施設の構造と管理の経緯

虎塚古墳の公開保存管理施設の平面図<sup>3)</sup>をもとに概略図を作成した（図1）。横穴式石室の開口部に設けられた公開施設内部は、ペアガラス入りのエアータイトサッシの観察窓（その外部

\*明治大学

にステンレス製の扉で2重扉の構造になっている)によって石室と隔たれた観察室があり, 屋外の入口部(アプローチ)に向かって前室, 前々室の3室から成る<sup>3)</sup>。各部屋の室境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ている。前々室, 前室および観察室の入口付近はコンクリート製の床面であり, 観察室の中央から奥は埋没する墓道の敷石を保護するために粘土が敷かれている。観察室の奥には, 石室を構成する石材の一部である凝灰岩の扉石が粘土に1/3程度が埋められる形で置かれている<sup>3)</sup>。

表1に観察室での微生物調査, 一般公開日および主な保存対策に関する情報を時系列にまとめた。2011年以前は春と秋の一般公開後に観察室の扉石や壁面等に防黴剤(JEI-120; 日本文化財環境研究所製)を散布することで微生物制御が行われてきた。しかし, 観察室の壁面や扉石表面に顕著なカビの発生が認められた<sup>4)</sup>ため, 2011年12月に高温蒸気と次亜塩素酸による除菌清掃を提案し, 対策委員会の承諾を得て作業を実施した。このときの意図は, 殺菌処理後に有機物源とならない殺菌方法(高温蒸気殺菌と次亜塩素酸ナトリウムを使用)と同時に乾湿両用掃除機によって殺菌後の死菌体を除去する方法で, 有機物源を壁面等から取り除いて微生物の栄養源を減らしていくことで発育を制御していこうというものである。しかし, 観察室壁面のカビ等は目視観察で大幅に除去されたものの, 扉石の粘性バイオフィーム様物質はほとんど除去されなかった。また, その後も床面に敷かれた粘土表面にもカビ等の発生が認められ, 扉石のバイオフィーム様物質と床面の粘土が主な有機物の供給源であり微生物の発生源となっていると考えられた。そこで, かつて粘土表面に敷かれていたという砂を再度敷き直すことを提案し, 対策委員会での決定を経て, 2012年3月に砂が敷かれた。また, 同年以降, 観察室内の浮遊微生物の影響を見学者に与えないことと, 見学者が観察室に持ち込んだ微生物を除去することを目的として, 一般公開期間中に観察室内で空気清浄機の稼働と公開前後に観察室内で紫外線(UV-C)照射による殺菌処理が行われている。2013年10月と2014年3月には, 扉石のバイオ

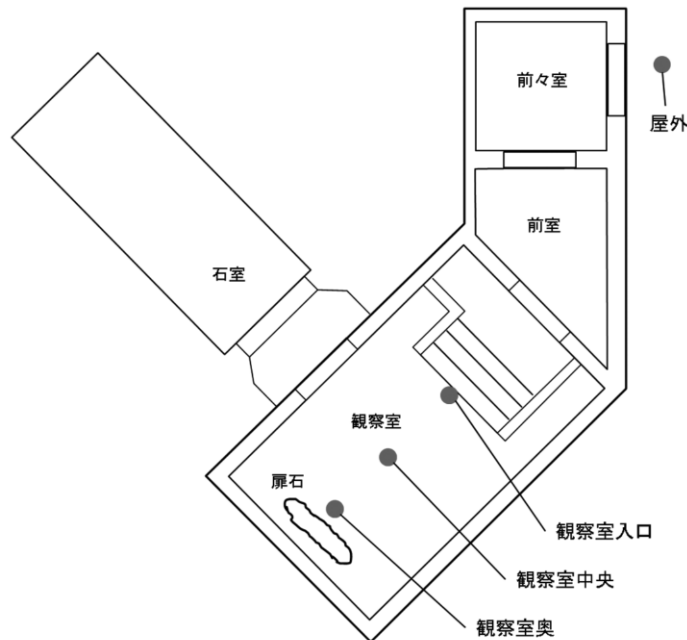


図1 虎塚古墳の公開保存施設の概略図

フィルム様物質を竹べらなどで丁寧に除去し、観察室、前室、前々室の壁面とコンクリートの床面の全面を対象とした除菌清掃を行った。なお、除菌清掃の具体的な方法については3-2で述べる。2013年10月の除菌清掃以降、対策委員会により観察室を含む公開保存施設は点検・調査および一般公開の際に、スリッパ等を着用し、土足で侵入しない方針に変更されている。

### 3. 空中浮遊粒子および微生物の測定方法

#### 3-1. 定期測定

浮遊粒子および浮遊菌の測定地点は、観察室内の3地点（扉石に近い地点：観察室奥、観察室の中央部：観察室中央、観察室入口の階段付近：観察室入口）と対照地点（公開保存施設の外、墳丘下：屋外）の4地点を選定した（図1）。

浮遊粒子数測定には、パーティクルカウンター（APC ErgoTouch Pro, Merck Milipore 社製）を用いて測定した。測定粒子サイズは0.5 $\mu\text{m}$  サイズ、1 $\mu\text{m}$  サイズ、3 $\mu\text{m}$  サイズ、5 $\mu\text{m}$  サイズ、7 $\mu\text{m}$  サイズ、10 $\mu\text{m}$  サイズとし、10.05Lの空気を通過させて得られた計数値から1 $\text{m}^3$ 当たりの粒子数（particles/ $\text{m}^3$ ）を算出した。浮遊粒子数は、細菌細胞やカビの胞子などの微生物由来の粒子だけでなく、非生物である微粒子も計数され、空間の清浄度をモニタリングすることができる。また、一般的に微生物は単独では存在せず、浮遊微粒子に付着して存在しており、浮遊微粒子と浮遊微生物とは比較的に有意な比例関係が認められる場合もある。

浮遊菌調査は、遠心衝突式のエアースンプラー（RCS High Flow, Merck Milipore 社製）を用いて行った。空気採取量は50から200Lとし、ポテトデキストロース寒天培地（PDA 培地）およびジクロラン・グリセロール（DG-18）寒天培地（DG18培地）で捕集した。培養は23 $^{\circ}\text{C}$ にて4から10日間行い、培地上に現れた菌集落（colony forming unit; CFU）を計数して浮遊菌数（CFU/ $\text{m}^3$ ）を算出した。測定時期は、原則として春と秋の一般公開の前後とし、2011年11月から2014年3月までの期間で測定を行った（表1）。

付着微生物数の測定は、PDA 培地を用いたスタンプ法を採用した。本法は測定点に直接培地を接触させ、培地に付着し発育した微生物を計数する方法である。1点の測定面積は25 $\text{cm}^2$ で、23 $^{\circ}\text{C}$ にて7日間の培養後に得られた菌集落数から面積当たりの付着菌数（CFU/ $\text{cm}^2$ ）を算出した。測定点は、観察室、前室および前々室の壁面や扉から合計9点選抜した（A～E、観察室の5点；F・GとH・I、前室および前々室の各2点；図2）。測定後は培地成分の残留を防ぐため精製水と消毒用エタノールでの拭き取り処置を行った。

文化財公開施設での浮遊菌、付着菌測定に関しては先行研究<sup>5,6)</sup>を参照されたい。なお、浮遊粒子数、浮遊菌数、付着微生物数の定期測定は、調査や除菌清掃作業など人為的な攪乱要因が大きいと考えられる清掃等の作業前に行うこととし、作業後に行った測定結果については定期測定の結果から割愛した。

#### 3-2. 除菌清掃前後の観測

2011年11月から2014年3月までの期間中に公開保存施設の除菌清掃作業が2回（2013年10月と2014年3月）行われた。作業は、最初に半日ほど観察室内で紫外線（UV-C）照射による壁面等の殺菌処理を行い<sup>4)</sup>、続いて前々室、前室および観察室の3室を対象とし、室内の天井、壁、床、扉、照明器具等に次亜塩素酸ナトリウム水溶液（600ppm程度に希釈）を用いた拭き取りである。次亜塩素酸ナトリウムは金属部位の腐食を起こすため、扉などの金属部位は消毒用エタノールを使用した拭き取りを行った。

除菌清掃による微生物制御効果を評価するために、作業の前後で浮遊粒子、浮遊・付着微生物

表 1 観察室の微生物調査, 一般公開および主な保存対策に関する時系列

年	日付	微生物調査			一般公開日	観察室の状況と主な保存対策
		①浮遊粒子測定日	②浮遊菌測定日	③付着菌測定日		
2011	11	14			3-6, 10-13	14日: 扉石表面に顕著なカビの発生と粘性のあるバイオフィルム様物質を確認。プラスチック等で擦りながら水洗して除去する 16日: 防黴剤 (JEL-120: 日本文化財環境研究所) の散布する 29日: 床面 (粘土露出) の広範囲に緑色のカビが発生する 5日: 扉石と観察室壁面を高温蒸気と次亜塩素酸によって除菌清掃
		5	23	23		24-25日: 露出していた粘土表面 (床面) に砂を敷き詰める 期間中: 観察室のUV照射 (公開前後)・空気清浄機稼働 期間中: 観察室のUV照射 (公開前後)・空気清浄機稼働
		23			29-31	
		22	22	22	1, 5-8	
		4	22	22		
2012	6	4	4	4		
		28	28			
		14	14		1-4, 8-11	期間中: 観察室のUV照射 (公開前後)・空気清浄機稼働
		26	26		28-31	期間中: 観察室のUV照射 (公開前後)・空気清浄機稼働 期間中: 観察室のUV照射 (公開前後)・空気清浄機稼働
2013	5	7	7	7	4-7	期間中: 観察室のUV照射 (公開前後)・空気清浄機稼働
		26	26	26		
		29	29	29		27-28日: 除菌清掃作業*
		16	16		1-4, 7-10	期間中: 観察室のUV照射 (公開前後)・空気清浄機稼働・土足禁止
2014	3	15	15	15		16日: 除菌清掃作業*
		16	16	16		
		27-30	27-30	27-30	27-30	期間中: 観察室のUV照射 (公開前後) と空気清浄機稼働・土足禁止 期間中: 観察室のUV照射 (公開前後) と空気清浄機稼働・土足禁止
2014	4	3-6	3-6	3-6		

\*除菌清掃の作業内容詳細は本文中に記載

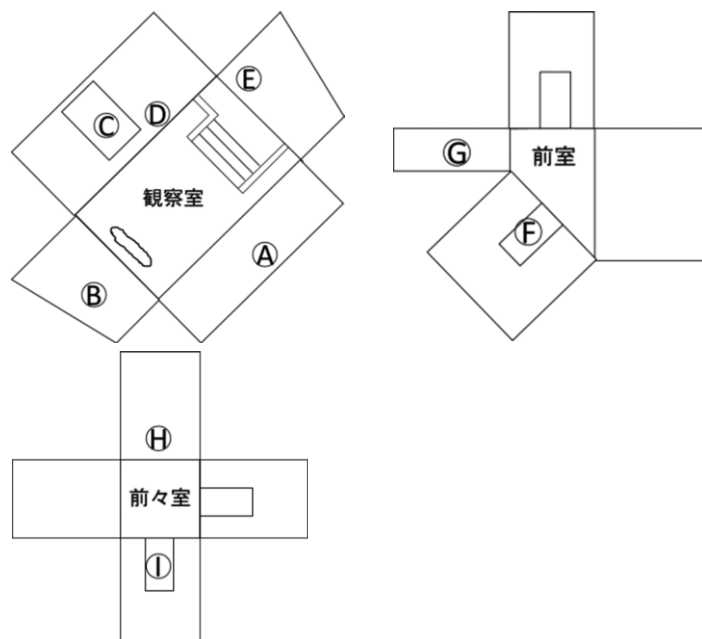


図2 虎塚古墳観察室（左上），前室（右上）および前々室（左下）内の付着菌測定地点（A～I）

物の菌数を測定した。浮遊粒子数，浮遊菌数および付着微生物数の測定地点および測定方法は，3-1で述べた方法で行った。

## 4. 空中浮遊粒子および微生物の観測結果

### 4-1. 定期観測結果と考察

図3に2011年11月から2014年3月まで合計11回の浮遊粒子数測定の結果をまとめた。浮遊粒子数は1, 3, 5, 7, 10 $\mu\text{m}$ の各サイズの粒子数を積算した値を1 $\mu\text{m}$ サイズ以上の浮遊粒子数として図示した。なお，サイズ毎の粒子数については本報告からは割愛し，別に記載<sup>4)</sup>したので参照されたい。2011年から2012年では，測定毎の変動の幅が大きい傾向にあるが，2013年から2014年は比較の変動の幅が小さく推移した。浮遊粒子は，風で舞い上がった土壌粒子や燃焼で生じた煤や花粉や微生物など様々な種類がある。そのため観察室内の浮遊粒子数に変動を与える因子としては，点検や一般公開等での屋外から外気とともに流入することや，観察室内部での作業や移動等による粉塵の巻き上げ，または微生物等の発生など様々である。それを踏まえて2011年11月と12月，2012年6月と11月を見ると，屋外と観察室内部を比較して屋外よりも内部の浮遊粒子数が高いため，観察室内部で微生物発生のような浮遊粒子数を増加させる原因があったのではないかと推測される。2014年3月の観察室内の浮遊粒子数は奥，中央，入口のいずれの地点でも最も低い値となったが，2013年10月に行われた除菌清掃の効果であったと結論するには季節変動も含めた今後の浮遊粒子数のさらなる調査が必要である。2012年3月，11月，2013年5月の合計3回のみ石室内部の浮遊粒子数の測定を行った。石室内は約30,000から1,200,000particles/m<sup>3</sup>と測定ごとに大きな変動が見られた。

図4は2012年3月から2014年3月まで合計9回の浮遊菌測定の結果で，上図はPDA培地，下図はDG18培地で捕集した浮遊菌の推移を示した。PDA培地は好湿性カビの生育に適した培地として，DG18培地は耐乾性カビの生育に適した培地として選択した。PDA培地で捕集された

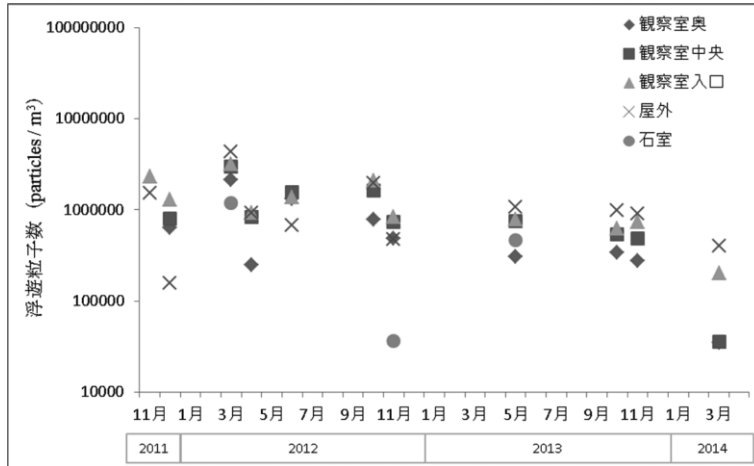


図3 観察室、石室および屋外の浮遊粒子数の推移

浮遊菌数は、2012年3月は高く、その後2012年4月に大きく減少したものの、それから2013年5月まで徐々に増加していく傾向にあった。そして2013年10月に再び減少している。2013年10月から2014年3月までは、ほぼ横這いとなっている。DG18培地で捕集された浮遊菌数は、PDA培地で捕集された浮遊菌数の推移とおおむね同じ傾向にあったが、PDA培地での浮遊菌数は2013年5月が最も高かったのに対し、DG18培地での浮遊菌数は2012年10月と11月が最も高く、それ以降徐々に減少傾向にあった。

PDA培地とDG18培地で捕集した浮遊菌数が、2012年3月から2012年4月にかけて大きく減少した期間に、観察室の床面に新しい砂を敷く処置（2012年3月24日・25日）が行われている。粘土表面には目視で確認できるカビの発生が起こっていたが、砂を敷くことによって粘土表面の露出がなくなり、カビの菌体や胞子が埋没したために浮遊菌数が大きく減少したのではないかと推察された。しかし、結論を得るには砂を敷く前後でより詳細な浮遊菌調査を実施し、効果について評価する必要があると考えられる。なお、除菌清掃作業後に行った測定結果については除菌清掃前後の比較のために用いることとし、定期測定の結果（図3、4）からは割愛した。

付着微生物の定期測定は、2012年3月、4月、6月と2013年10月と2014年3月に行った。2012年4月の測定で、観察室入口付近の2地点の値がそれぞれ0.08cfu/cm<sup>2</sup>と0.16cfu/cm<sup>2</sup>であったが、他のすべての調査時期・地点で菌数が非常に多く、計数不能であった。なお、付着菌数が50CFU/cm<sup>2</sup>より多い場合は、正確な菌集落の計数ができていない可能性が高いと判断して計測不能とした。

#### 4-2. 除菌清掃前後の観測結果と考察

公開保存施設の除菌清掃作業が2回（2013年10月と2014年3月）行われ、その前後の浮遊粒子数、浮遊菌数、付着菌数を測定した。表2は2013年10月に行われた除菌清掃前後の結果である。浮遊粒子数で「サイズ以上」の表記は0.5, 1, 3, 5, 7, 10 $\mu$ mの各サイズの粒子数で対象サイズ以上の大きさの粒子数の積算値を表している。まず、浮遊粒子数についてみると、粒子サイズが0.5 $\mu$ mサイズ以上と1 $\mu$ mサイズ以上の数は、除菌清掃前より後の方が高くなっていた。これは、清掃作業によって空中に塵埃が舞い上がったためと考えられる。しかし、粒

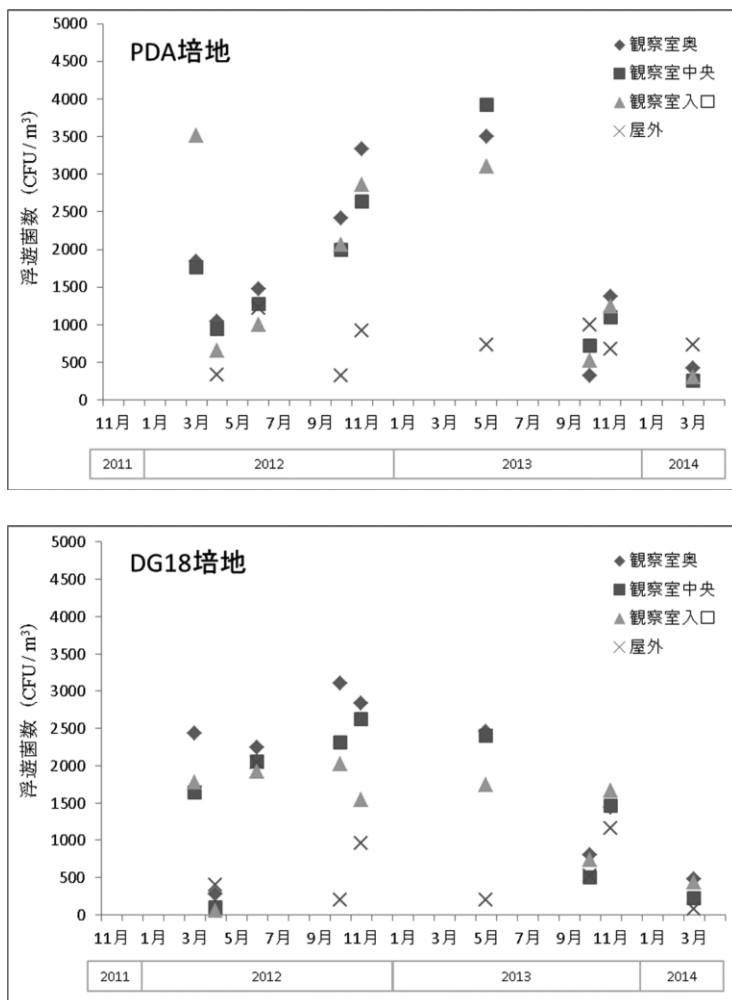


図4 観察室、石室および屋外の浮遊菌数の推移(上図：PDA培地で捕集された菌数；下図：DG18培地で捕集された菌数)

子サイズがより大きい $7\mu\text{m}$ サイズ以上と $10\mu\text{m}$ サイズの数に除菌清掃後に減少していた。浮遊菌数はPDA培地とDG18培地の両方とも、除菌清掃後に減少した。

2014年3月に行われた除菌清掃前後の観測結果を表3に示した。浮遊粒子数は、2013年10月の結果と同様に除菌清掃後に高い値となった。しかし、 $7\mu\text{m}$ サイズ以上と $10\mu\text{m}$ サイズの数に除菌清掃後も高い結果となった。浮遊菌数は、2013年10月の結果と同じくPDA培地とDG18培地の両方とも、除菌清掃後に減少した。

壁面や扉の付着菌数の測定結果を表4と表5に示した。2013年10月の除菌清掃前はほとんどの測定箇所、非常に菌数が多く、計測不能であった。しかし、除菌清掃後は、いずれの測定点でも付着菌の大幅な減少が認められた(表4)。2014年3月の除菌清掃前後の付着菌数の変化を表4に示した。2013年10月の結果では、除菌清掃前の付着菌数は、全測定箇所計測不能であったが、2014年3月は除菌清掃前でも観察室のC地点、前室のF、G地点、前々室のH、I地点では、除菌清掃前でも付着菌数が $0.08\text{--}0.40\text{CFU}/\text{cm}^2$ であり、付着菌数が比較的強く保たれ



表2 除菌清掃前後の浮遊粒子数、浮遊菌数の変化 (2013年10月)

測定地点	浮遊粒子数 (particles/m <sup>3</sup> )							浮遊菌 (CFU/m <sup>3</sup> )	
	0.5 $\mu$ m サイズ以上*	1 $\mu$ m サイズ以上*	3 $\mu$ m サイズ以上*	5 $\mu$ m サイズ以上*	7 $\mu$ m サイズ以上*	10 $\mu$ m サイズ	PDA 培地	DG18培地	
除菌清掃 前 2013.10.26	1,712,981	338,970	150,396	36,466	22,061	11,987	320	800	
	2,902,802	534,515	227,841	44,394	24,785	12,641	720	500	
	2,868,263	626,885	267,755	52,655	28,965	13,338	520	740	
除菌清掃 後 2013.10.29	190,730,205	10,771,612	261,185	38,222	18,813	7,963	140	180	
	153,548,898	6,669,686	256,806	38,819	18,414	7,863	140	220	
	108,808,142	2,562,385	254,218	41,706	21,898	8,660	220	160	

\*サイズ以上は測定した0.5, 1, 3, 5, 7, 10 $\mu$ mの各サイズの粒子数で対象サイズ以上の大きさの粒子数の積算値を示す

表3 除菌清掃前後の浮遊粒子数、浮遊菌数の変化 (2014年3月)

測定地点	浮遊粒子数 (particles/m <sup>3</sup> )							浮遊菌 (CFU/m <sup>3</sup> )	
	0.5 $\mu$ m サイズ以上*	1 $\mu$ m サイズ以上*	3 $\mu$ m サイズ以上*	5 $\mu$ m サイズ以上*	7 $\mu$ m サイズ以上*	10 $\mu$ m サイズ	PDA 培地	DG18培地	
除菌清掃 前 2014.3.15	390,683	34,639	19,410	6,769	3,583	995	420	480	
	392,475	35,435	14,532	4,479	2,488	995	260	220	
	606,480	200,368	111,283	27,572	15,030	6,470	300	440	
除菌清掃 後 2014.3.16	76,598,915	1,476,932	237,993	24,586	13,438	4,977	280	60	
	65,873,986	1,467,078	272,135	25,681	12,243	5,076	240	160	
	49,026,328	1,182,402	223,461	15,826	6,171	2,588	160	120	

\*サイズ以上は測定した0.5, 1, 3, 5, 7, 10 $\mu$ mの各サイズの粒子数で対象サイズ以上の大きさの粒子数の積算値を示す

ている箇所もあった。これは2013年10月の除菌清掃によって壁面に付着する汚れなどの有機物やカビなどが除去されたためと考えられた。2014年3月においても除菌清掃によって付着菌は大幅に減少し、除菌清掃が付着菌の減少に有効であると結論された。

除菌清掃前後の効果を総括すると、作業にともない粉塵が舞うため浮遊粒子数は増加するが、浮遊菌は減少させる効果が認められた。これは除菌清掃によって壁面等の付着菌が大幅に減少したことにより、壁面等からのカビ胞子の飛散が抑えられたためと推察される。

表4 除菌清掃前後の付着菌数の変化 (2013年10月)

測定日	付着菌数 (CFU/cm <sup>2</sup> )								
	観察室					前室		前々室	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
除菌清掃前 2013.10.26	NC*	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC	NC
除菌清掃後 2013.10.29	0.08	<0.04	0.12	0.16	0.04	<0.04	<0.04	0.04	<0.04

\*NC, 計数不能 (>50 CFU/cm<sup>2</sup>)。

表5 除菌清掃前後の付着菌数の変化 (2014年3月)

測定日	付着菌数 (CFU/cm <sup>2</sup> )								
	観察室					前室		前々室	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
除菌清掃前 2014.3.15	NC*	NC	0.08	NC	NC	0.08	0.40	0.08	0.28
除菌清掃後 2014.3.16	0.72	0.60	0.08	0.04	0.48	0.04	0.36	0.08	0.64

\*NC, 計数不能 (>50 CFU/cm<sup>2</sup>)。

## 5. おわりに

本研究では、管理方法の変更に伴う公開保存施設内の微生物状況変化を把握すること目的とし、2011年11月から2014年3月まで定期的に微生物調査を行った。このモニタリングに加えて、除菌清掃作業のような微生物抑制のための処置を行った際にどの程度効果があったかを定量的に評価するための微生物調査も実施した。

防黴剤を中止してから2013年5月頃までは、浮遊菌数が徐々に増加していく傾向にあったが、2014年現在は浮遊菌数が減少してきている。この間、環境改善のための処置としては、2012年3月に観察室の床面に砂が敷かれ、粘土の露出がなくなっている。また、2013年10月と2014年3月に除菌清掃作業が行われた。除菌清掃の前後では浮遊菌数と付着菌数の減少が認められ、壁面等の殺菌処置により付着菌が大幅に減少した結果、空中の浮遊菌数も減少したのではないかと考えられた。他の環境改善のための処置としては、観察室に置かれている扉石の表面に微生物のバイオフィルム様の物質が形成していたが、2013年10月と2014年3月に扉石へのUV-C照射と物理的な除去処理が行われている<sup>4)</sup>。

また2012年3月から一般公開期間中の公開前後に壁面へのUV-C照射を行う、公開中は空気清浄機を稼働させる、2013年11月から見学者は公開保存施設の入り口でスリッパに履き替えて

土足での侵入をしない、といった対策も新たに加えられている<sup>4)</sup>。これらの対策が公開保存施設内の微生物の動態にどのような影響を及ぼしたかについて、今後さらに検証していく必要が有るだろう。

防黴剤についても、防黴剤に対する薬剤耐性菌が集積された可能性、薬剤で死滅した死菌体が有機物として蓄積していった可能性、防黴剤に含まれる成分が微生物の栄養源となった可能性、などによって効果が減少したことを推測したが、観察室の壁面や扉石の粘性バイオフィームから分離した微生物に薬剤耐性能や分解能、自然分解した防黴剤（共存成分も含む）の資化性などの検証も今後必要であると考えられる。

観察室の床面は砂が敷かれたものの現時点でも粘土層には多くの微生物が生残しているため、砂中の微生物も徐々に増加していくものと考えられる。また、粘性バイオフィームの物理的な除去により、扉石の微生物は大幅に減少したと考えられるが、未だ微生物が多く分布していると考えられ、観察室の微生物発生の温床となっている可能性が高い<sup>4)</sup>。そのため今後も時間経過とともに付着菌や浮遊菌が増加していくことが予想される。

公開保存施設の環境を良好に保っていくために、定期的に除菌清掃作業を実施して、微生物とその栄養源となる有機物を除去していくとともに、付着菌や浮遊菌の定期的なモニタリングを継続して、微生物の増加傾向が認められた場合には、追加的に除菌清掃を行うことなどの対策を講じていくことが重要であると考えられる。

## 謝辞

現地調査および本研究をまとめるにあたり、多大なるご協力を賜りました公益財団法人ひたちなか市生活・文化・スポーツ公社の稲田健一氏、ひたちなか市教育委員会の齊藤新氏、栗田昌幸氏に深く感謝申し上げます。本研究は、JSPS 科研費23300328「文化財展示収蔵施設の実状に即したカビ調査技術と制御に関する研究」および23300326「虎塚古墳の保存科学的研究」の助成を受けたものです。記して感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 勝田市史：別編 I 虎塚古墳，勝田市（1978）
- 2) 史跡 虎塚古墳，勝田市教育委員会（1985）
- 3) 史跡虎塚古墳保存整備報告書，勝田市教育委員会（1981）
- 4) 虎塚古墳の保存科学的研究，矢島國雄編（2014）
- 5) 間瀬創，小鷲悠，篠原史彦，岩田利枝，木川りか，佐野千絵：文化財公開施設内生物調査における浮遊菌測定手法の検討，保存科学，**45**，195-204（2006）
- 6) 間瀬創，佐野千絵：コンクリート壁面における付着真菌の累積挙動，保存科学，**47**，197-202（2008）

キーワード：虎塚古墳 (Torazuka Tumulus)；公開施設 (exhibition facilities)；浮遊粒子 (airborne particles)；浮遊菌 (airborne microbes)；付着菌 (surface colonized microbes)

## **Monitoring and Controlling Microbial Contamination in the Exhibition Facility of Torazuka Tumulus**

Yoshinori SATO, Masahide INUZUKA, Masayuki MORII,  
Kunio YAJIMA\* and Rika KIGAWA

The exhibition facility of Torazuka Tumulus constructed in October 1980 was recently contaminated by microbial colonization on the walls and ceiling even though periodic fungicidal treatment had been performed. Although there is no clear scientific research about the cause of the microbial contamination, it can be inferred that the increase of fungicide-resistant microbes may have been associated with the long-time use of fungicide.

Because of this unfavorable situation, the committee for the conservation of historic sites in Hitachinaka city decided to change the fungicidal treatment for controlling microbes to exhaustive cleaning in November 2011 according to the concept of integrated pest management. In the present study, we aimed to monitor the changes of microbial contamination, more specifically of air-borne fungal concentration, in indoor air at the exhibition facility of Torazuka Tumulus.

The culturable air-borne fungal concentration in indoor air of the facility gradually increased until March 2013 after discontinuing fungicidal treatment. However, air-borne fungi decreased in October 2013 and were lowest in March 2014. Exhaustive cleaning was performed two times (October 2013 and March 2014) and air-borne fungal concentration significantly decreased after the cleaning.

From these results it is considered that periodic cleaning for removing the microbes and organic substances supporting microbial growth is one of the effective countermeasures for controlling microbial contamination in the exhibition facility of Torazuka Tumulus although further monitoring of the microbial contamination is still necessary.

---

\*Meiji University