

〔報告〕 博物館施設におけるバイオエアロゾル測定の活用について

間瀬 創*・佐藤 嘉則

1. はじめに

博物館施設における従来の微生物モニタリングでは、浮遊菌サンプラと培地を用いた浮遊菌測定が一般的である。浮遊菌サンプラにより一定量の空気をサンプリングし、培地に吹き付け、この培地を数日間培養した後、コロニー数の計数と菌種同定を行う¹⁾。この時対象とするのは、文化財等の資料や施設・什器で生育し、直接被害を与える「カビの生菌」(本稿ではこれを浮遊菌と表記する。)であり、各区画の単位体積当たりの菌数や菌叢によって微生物被害のリスク評価と対策の検討を行う。具体的には、文化財等が収蔵・展示・仮置き、または通過するような各区画について浮遊菌測定を行い、区画間の浮遊菌濃度を比較することにより、濃度が高い区画では文化財や展示什器等を保管しないことや、露出展示・ケース内展示などの展示方法の選択、また施設運用面においては、ゾーニングや空調設定の変更を行うなどが挙げられる。また場合によっては浮遊菌測定を応用し、多点的・継続的な浮遊菌測定により、浮遊菌濃度の推移や菌叢を比較することで、カビの発生源や館内での拡散方向の推定を行うこともある²⁾。ただし浮遊菌測定には培養が必要なため、結果を得るまでに数日を要することや、微生物操作に伴う専門性や設備が必要となる。

近年、空気中を浮遊する微生物粒子(本稿ではこれをバイオエアロゾルと表記する。)の濃度を測定する機器が開発されてきている³⁻⁵⁾。この手法はバイオエアロゾルに含まれる物質の自家蛍光や、処理により生成される蛍光を検出し、この強度を一定の係数により菌数に換算するものである。なお微生物ではないが同じく蛍光を発する花粉、はがれた皮膚片、ダニ等の死骸などの生物由来微粒子及び、紙片などの蛍光を発する非生物粒子については、各メーカーの測定器とも偽陽性として判別・除去・低減するような機能を備えている。この生体蛍光を用いたバイオエアロゾル測定による微生物モニタリングは、衛生学の分野や、食品・医薬品の製造現場などにおいて、HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point: 危害分析重要管理点) やGMP (Good Manufacturing Practice: 適正製造規範) といった品質管理の一環として用いられ始めている。培養を必要としないためリアルタイムの自動連続計測が可能であることや、短時間でバイオエアロゾル濃度の変化・異常を検出できることが利点である。

この生体蛍光を用いたバイオエアロゾル測定が、博物館における浮遊菌サンプラと培地を用いた従来の手法の代替として利用できれば、測定に要する期間が短縮でき、また簡易に測定が行えるようになる。さらに自動連続測定が可能なことから、浮遊菌測定では大変手間のかかる短時間的な状況変化の検出が容易に行えるようになる。

ただし現時点で利用できるバイオエアロゾル測定器は、クリーンルームや食品・医薬品の製造現場など、高い清浄度が求められる環境(クリーンルームの規格 ISO 14644-1 Cleanroom Standards において ISO Class 8以上)でのモニタリングを想定して開発されており、生物・非

*東京文化財研究所、三重県総合博物館

生物にかかわらず、浮遊微粒子が非常に多い環境での測定は保証されていない。博物館等では文化財等が収蔵・展示・仮置き、または通過するような区画が測定の対象となる。これらの区画は、収蔵庫などの比較的清浄度が高いと思われる環境だけでなく、不特定多数の人が出入りする展示室や、夏季に浮遊菌濃度が高くなり、また塵埃等の非生体微粒子を多く含む外気が流入するエントランスといった環境 (ISO Class 9) が含まれる。このような清浄度の低い環境で、実際に使用が可能であるかの検証が必要である。

また生体蛍光を利用したバイオエアロゾル測定と浮遊菌測定との大きな違いは、バイオエアロゾル測定で対象となるのは、文化財等へ直接被害を与える浮遊菌だけでなく、博物館等の環境において文化財や資料の基質上で生育すると考えにくい細菌・酵母も含まれ、また生菌とともに、培地上での生育が困難な培養不能菌・損傷菌・死菌などからの蛍光も同時に検出する点である。同一の測定区画内での浮遊菌濃度とパーティクルカウンタによるバイオエアロゾルを含む $5\mu\text{m}$ 以上の浮遊微粒子濃度に相関があるとの報告^{6,7)}や、バイオエアロゾル測定器の機種によっては同一区画であれば浮遊菌濃度とバイオエアロゾル濃度に相関があるとの報告³⁾はあるが、多様な環境におけるバイオエアロゾルに含まれる浮遊菌の存在比がどの程度であるかのまとまった報告はない。バイオエアロゾルに含まれる浮遊菌の存在比が大きく異なる環境同士を比較する場合、バイオエアロゾル測定による蛍光強度が同程度であっても、浮遊菌濃度は異なる可能性がある。この点について、博物館等で測定対象となる諸区画の微生物環境は多様であると推測され、これらの区画においてバイオエアロゾル測定を用いて前述のような文化財等への微生物被害のリスク評価と対策を行うためには、区画間の浮遊菌濃度の比較が必要である。そのためには施設内の区画によらず、バイオエアロゾルとそこに含まれる浮遊菌の存在比が大きく異ならないことが前提となる。

そこで本研究では、博物館施設の諸区画においてバイオエアロゾル測定が可能であるか、またこれらの区画のバイオエアロゾルに含まれる浮遊菌の存在比の範囲について基礎的な試験を行い、今後博物館等においてバイオエアロゾル測定をどのように活用できるかについての検討を行った。

2. 機器と測定原理

現在一般に利用できる生体蛍光を利用したバイオエアロゾル測定器は数機種ある。機種を選定では、博物館等での活用を目指していることから、クリーンルーム等での利用とは測定条件・状況が異なることを考慮する必要がある。博物館等における諸区画はクリーンルームなどと比較すると、区画内に流入・堆積した塵埃等による非生体微粒子が多いと考えられ、これらにより生体からの蛍光の検出が阻害・干渉されたり、蛍光を発する非生体微粒子によって偽陽性が検出されたりしやすい。また食品衛生等での固定設置によるモニタリングと異なり、館内各所へ可搬であることも重要となる。

そこで本研究では、還元糖とアミノ化合物 (アミノ酸、ペプチド及びタンパク質) が加熱によりメラノイジンを生成する際 (メイラード反応) の蛍光を検出する、微生物センサ BM-300C (シャープ社製、約20cm 立方) を用いた。NADH や ATP など生菌にのみ存在する物質の自家蛍光を検出する機種は、死菌を判別できることがメリットであるが、本機種は加熱蛍光増大法を用いることで、NADH などの自家蛍光の約50倍程度の蛍光強度が得られることから³⁾、非生体物質や干渉物質の多い博物館施設のような環境において蛍光検出が有利であると考えられる。また蛍光を発するような非生体微粒子については加熱によって蛍光増大しないことから、選択的にバイオエアロゾルの蛍光のみを検出する。ただし還元糖とアミノ化合物から生成され

る物質の検出であるため、生菌と死菌を区別することはできない。

本機種は空気を一定量サンプリングし、サイクロンにより花粉やダニ等の死骸・糞など、蛍光を発する大きな粒子を遠心分離により除去し、 $10\mu\text{m}$ 以下の微粒子のみを静電集塵法によりプレートに捕集する。捕集された微粒子を加熱(200°C)によりメイラード反応を促進させ、蛍光物質であるメラノイジンを増大させた後、励起光(レーザーダイオード： 405nm)により発生した生体蛍光(約 540nm)を検出しその強度を測定する。本機種も前述のとおり、細菌・酵母・カビといった区別、好湿性・好乾性・難培養性といった特性、生菌・死菌・損傷菌といった状態に関わらず、全てバイオエアロゾルの蛍光として検出する。ただし、*Fusarium* sp.や*Alternaria* sp.が形成する大型分生子のような $10\mu\text{m}$ を超えるような粒子⁸⁾が仮に浮遊していた場合には検出できない可能性がある。また、 $10\mu\text{m}$ 以上の微粒子に微生物が付着している場合も遠心分離されてしまい検出できない可能性がある。

3. 実験

微生物センサ BM-300C を用いて清浄度の低い博物館等の諸区画において測定が可能であるか、また各区画のバイオエアロゾルに含まれる浮遊菌の存在比が大きく異ならず、各区画の浮遊菌濃度の比較が可能であるかについて試験を行った。なおいずれの測定も2015年11月下旬に行った。

測定は三重県総合博物館の諸区画(図1)において行った。清浄区画として①収蔵庫、緩衝区画として①と隣接した②荷解室及び③トラックヤード、③に隣接した④外気において、微生物センサ BM-300C による測定が可能であるか試験を行った。なお本測定は固有の博物館施設で行っているが、文化財等が屋外から搬入・仮置き・収蔵される区画の関係性は他施設であっても概ね同様であり、また収蔵庫扉・シャッターなどの設備についてもそれぞれ一般的な仕様であることから、ある程度汎用性のある測定環境であると考えられる。

また上記各区画のバイオエアロゾルに含まれる浮遊菌の存在比を検証するために、微生物センサ BM-300C による測定と同時に浮遊菌サンプリング装置 BIOSAMP MBS-1000(ミドリ安全社製)による浮遊菌測定を行い、バイオエアロゾルによる単位体積あたりの蛍光出力値($\text{V}/\text{sec}/\text{m}^3$)と浮遊菌濃度(CFU/m^3)の比を求めた。

微生物センサ BM-300C の測定は床からおよそ 60cm の高さで行い、空気サンプリングは $20\text{L}/\text{min}$ 固定で、①収蔵庫においては 10min 、それ以外では最小設定値である 5min で行った。浮遊菌測定は床からの高さおよそ 80cm で測定を行い、使用培地は高湿性カビを多く含む外気の測定も行うことから、多くの菌種のカビに対応⁹⁾した PDA 培地を選択した。

4. 結果と考察

4-1. 博物館施設の諸区画におけるバイオエアロゾル測定

各区画における微生物センサ BM-300C による測定結果を図2に示す。横軸が測定日時、縦軸が微生物センサ BM-300C を用いたバイオエアロゾル測定による蛍光強度(V/sec)である。なお縦軸・横軸のスケールは図によって異なる。

図2の①から③の各区画(施設内部)においては、室内作業や人の往来に伴う瞬間的な蛍光強度の増加であっても $10\text{V}/\text{sec}$ を超えることはなかった。本機種の蛍光強度の測定上限値は $50\text{V}/\text{sec}$ とされており、施設内部の環境では検出器が飽和することはなく、十分に測定できる範囲であった。

図2の④外気について、最大蛍光強度は $11.4\text{V}/\text{sec}$ であり測定上限値以下であった。しかし、

外気の浮遊菌濃度は季節的に変化し、夏季に高濃度となることが知られており⁸⁾、夏季においては蛍光強度がさらに高くなると考えられる。このことについて、4-2.で後述する11月に行っ

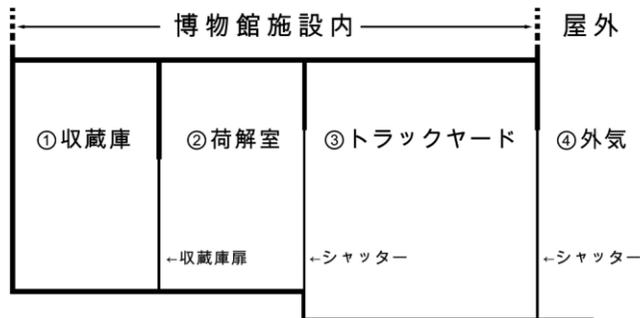


図1 三重県総合博物館における測定区画の配置図（断面図）

た外気の浮遊菌測定における平均浮遊菌濃度が841CFU/m³であったのに対して、これまでにやってきた同じ浮遊菌サンプラ BIOSAMP MBS-1000・PDA 培地を用いた夏季の外気の浮遊菌測定²⁾では、6000～15000CFU/m³程度、また2012年から2013年にかけて当該館周辺で調査した夏季の外気における浮遊菌濃度は5000CFU/m³程度、同調査で最も浮遊菌濃度が高くなった山中の森林で行った測定では7000CFU/m³程度であった。これは本測定の外気の浮遊菌濃度の6～18倍程度となる。夏季と冬季でバイオエアロゾルにおける浮遊菌の存在比が異なることも考えられるので単純に比較はできないが、本測定の最大蛍光強度を6～18倍すると、夏季の外気での最大蛍光強度は68～205V/sec 程度になる可能性がある。測定上限値50V/sec を大きく超えるため、検出器の飽和や機器内の汚染の可能性も考えられる。ただし本機種製品版の最小サンプリング時間は5 min であるが、メーカー個別対応として最小サンプリング時間を1 min にまで短く設定できるようになる。これにより夏季の最大蛍光強度は1/5の14～41V/sec となり測定上限値を下回ることができる。

以上のことから、本機種の場合、クリーンルーム等に比べて清浄度が低いと考えられる博物館等の諸区画の測定において、施設内では通年の測定が可能であると考えられるが、夏季の外気を含めた測定を行う場合には、サンプリング時間設定の改良が必須であることが分かった。

また本機測定の推奨清浄度区分はISO Class 8相当であるが、現在利用できる他機種も同等である。従って他機種を用いる場合であっても、外気やその影響が強いと思われる区画での測定については、検出器の飽和や検出上限、機器内部汚染について考慮する必要がある。

4-2. バイオエアロゾルに含まれる浮遊菌の存在比

従来法と微生物センサ BM-300C による測定を同時に行った結果を図3に示す。横軸は測定日時、縦軸左を単位体積当たりの蛍光強度 (V/sec/m³)、縦軸右を浮遊菌濃度 (CFU/m³) とした。

いずれの区画においても、バイオエアロゾルによる単位体積あたりの蛍光強度と浮遊菌濃度は概ねパラレルに推移した。それぞれの相関係数 (r) は①0.92 (N=10)、②0.80 (N=11)、③0.74 (N=11)、④0.58 (N=14) となった。外気の影響が大きくなると両者の相関が弱くなる傾向が見られるものの、いずれの区画であっても同一区画内での測定において、浮遊菌とバ

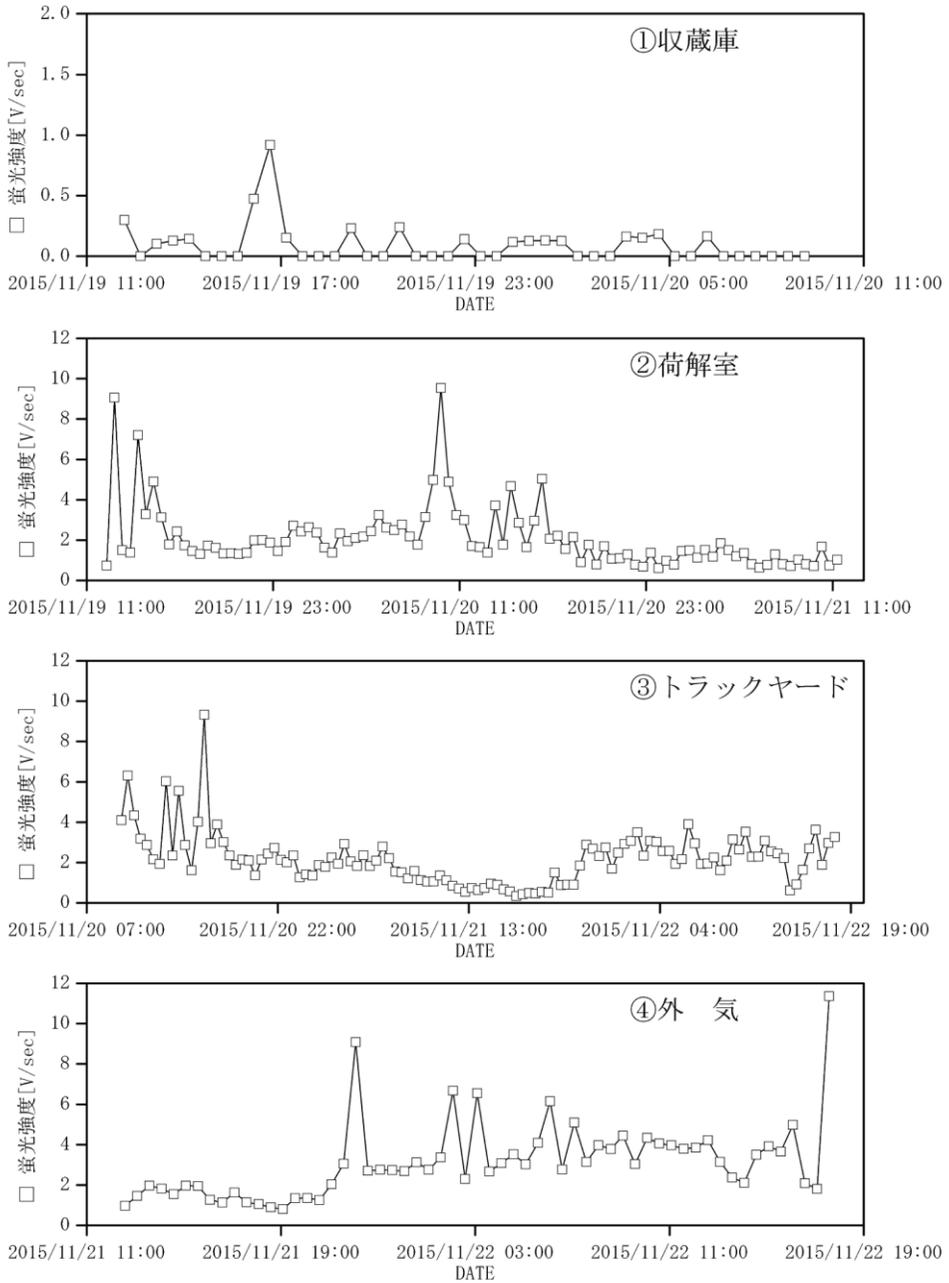


図2 各区画におけるバイオエアロゾル測定
横軸は測定日時，縦軸は微生物センサ BM-300C による蛍光強度 (V/sec)。

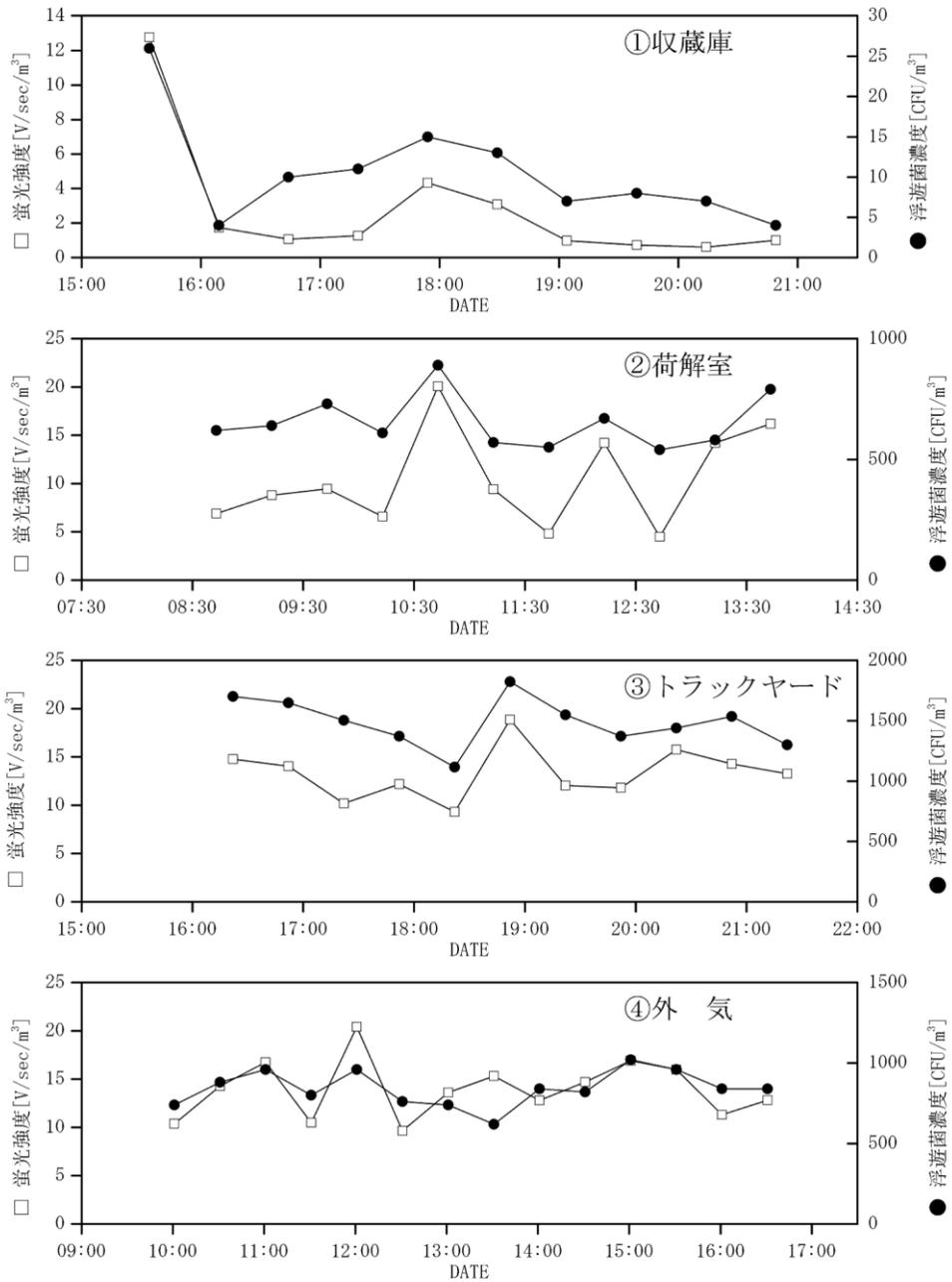


図3 各区画におけるバイオエアロゾル測定と浮遊菌測定

横軸は測定日時，縦軸左は微生物センサ BM-300C による単位体積当たりの蛍光強度 (V/sec/m³)，縦軸右は浮遊菌濃度 (CFU/m³)。

バイオエアロゾルとの間に相関がみられ、既往の研究・報告と整合するものであった。外気の影響が強くなると相関が弱くなることについて、本機種が $10\mu\text{m}$ 以上の浮遊微粒子をサイクロンにより除去することが影響している可能性が考えられる。屋外を由来とする土壌・砂塵・植物片等の塵埃には微生物が付着していることもあり^{1,8)}、外気にはこれらが多く浮遊している。これらの塵埃等の有効径が $10\mu\text{m}$ 以上であった場合、浮遊菌測定ではこれらを検出するが、微生物センサ BM-300C では除去されることになるため、相関が弱くなると考えることができる。

また②荷解室においてバックヤードツアー（40名程度）により空気が攪拌され、その後定常状態に戻るまでの短時間的な変化を両方法で測定したものを図4に示す。いずれの測定方法であっても短時間の状況変化が検出され、単位体積あたりの蛍光強度と浮遊菌濃度の相関係数は $r=0.91$ ($N=10$)と強い相関がみられた。定常状態と攪拌時の差は浮遊菌で1.6倍、バイオエアロゾルで3.5倍となり、微生物センサ BM-300C による検出が顕著であった。

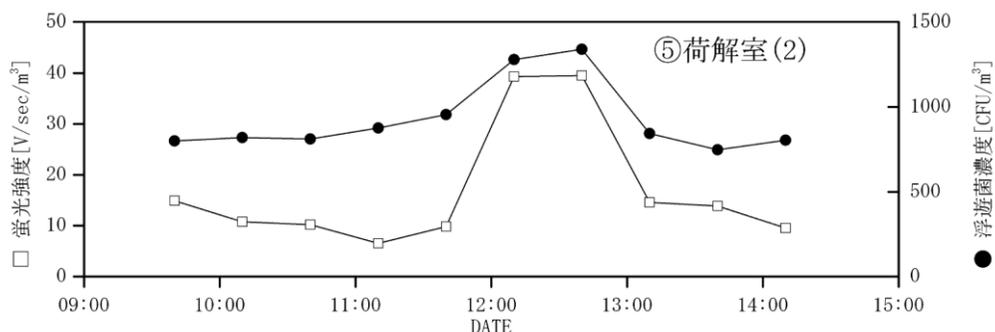


図4 ②荷解室におけるバイオエアロゾルと浮遊菌の短時間的な変化

横軸は測定日時、縦軸左は微生物センサ BM-300C による単位体積あたりの蛍光強度 ($\text{V}/\text{sec}/\text{m}^3$)、縦軸右は浮遊菌濃度 (CFU/m^3)。

各区画でのバイオエアロゾルに含まれる浮遊菌濃度の存在比について、図3、図4で示した測定データを、横軸に単位体積あたりの蛍光強度、縦軸に浮遊菌濃度としてプロットし直したものと、その近似直線・決定係数 (R^2) を図5に示す。①収蔵庫では近似直線の傾きが小さく、バイオエアロゾルに含まれている浮遊菌の割合が少ないことを示した。これに対して③トラックヤードでは、近似直線の傾きが非常に大きく、バイオエアロゾルに含まれる浮遊菌の割合が多いことを示した。この①収蔵庫と③トラックヤードの結果を例にとると、同じ蛍光強度 $1.0\text{V}/\text{sec}/\text{m}^3$ であっても、トラックヤードの浮遊菌は収蔵庫よりも約106倍多いことになる。博物館の各区画におけるバイオエアロゾルとそこに含まれる浮遊菌の存在比は大きく異なる場合があることが分かった。

また測定期間中の⑤荷解室(2)の単位体積あたりの蛍光強度の平均は $17.0\text{V}/\text{sec}/\text{m}^3$ 、③トラックヤードは $13.3\text{V}/\text{sec}/\text{m}^3$ となり、⑤の方が平均的にバイオエアロゾルが多く検出されているが、平均浮遊菌濃度は⑤が $928\text{CFU}/\text{m}^3$ 、③が $1487\text{CFU}/\text{m}^3$ となり逆転している。

なお本測定は1日程度の短い期間での測定であったが、博物館施設の外気接点付近においては、季節や天候、場合によっては風向きによって流入する外気の微生物環境が異なることも考えられるため、同じ区画であっても測定条件や測定日によってもバイオエアロゾルに含まれる浮遊菌の存在比が変わることもありうる。

以上のことから、多様な微生物環境のある博物館施設における本機種によるバイオエアロゾル

ル測定では、浮遊菌の多寡が判断できず、例えば、どの区画に展示什器を保管することが安全性が高いかや、どの区画を緩衝区画・汚染区画に設定するかといった、浮遊菌を指標とした直接的な微生物被害のリスク評価や対策が難しいことを示している。

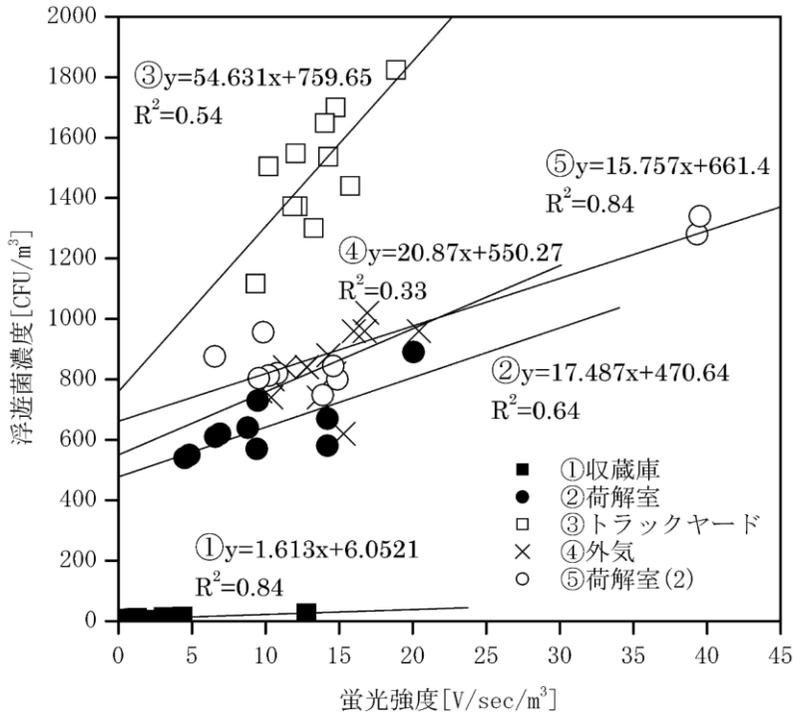


図5 三重県総合博物館各区画のバイオエアロゾルに含まれる浮遊菌の存在比
横軸は単位体積当たりの蛍光強度 (V/sec/m³)、縦軸は浮遊菌濃度 (CFU/m³)、図中の数式は近似直線と決定係数 (R²)。

4-3. 博物館におけるバイオエアロゾル測定の実用

本試験により、一般的と考えられる博物館施設での本機種によるバイオエアロゾル測定の実施は可能であるが、外気については設定変更が必要であることと、博物館施設の諸区画においてはバイオエアロゾルに含まれる浮遊菌の存在比は大きく異なる場合があり、直接的な微生物被害のリスク評価は難しいということが分かった。また同一区画で、特に外気の影響の少ない区画では、バイオエアロゾルと浮遊菌は平行に推移すること、外気の影響が強い区画ではバイオエアロゾルと浮遊菌との相関が弱くなること、短時間的な微生物環境の変化の検出にはバイオエアロゾル測定が有利であるということも分かった。これらのことは、本試験に用いた固有の施設・機種についてであるため、他館での測定、他機種や今後開発される同様のバイオエアロゾル測定機器による測定においても、本試験と同様の検証が必要となると考えられるが、「博物館施設には多様な微生物環境の区画があり、またバイオエアロゾルに含まれる浮遊菌の存在比が大きく異なる区画が存在する」ということは汎用的にいえるのではないかと考えられる。

以上をもとに、博物館におけるバイオエアロゾル測定について以下の活用が考えられる。

(1) 外気の影響が少ない同一区画ではバイオエアロゾルによる蛍光強度と浮遊菌濃度の相関が強く、パラレルに推移することから、収蔵庫等の外部から比較的隔離された区画における常時モニタリングとして、バイオエアロゾルの変化・異常の検出に利用できるものと考えられる。これは食品・医薬品の製造現場などと同様の利用方法である。

(2) 短時間的な微生物環境の変化の検出に有利であることから、展示室等の短時間で微生物環境が変化しやすい区画についての特徴把握として利用できると考えられる。例えば、特定の展示室が来館者の有無や、エントランス扉等の開閉でバイオエアロゾルが大きく変化するような区画であることが特徴として把握できれば、その区画は塵埃等が巻き上がりやすく、また外気や隣接区画の影響を受けやすい構造であることが推定できる。その区画での夏季の露出展示を控えることや、多くの来館者が訪れる企画展での清掃頻度を検証すること、陽圧管理のために空調の給気・排気量の設定を変更するといったゾーニングに反映させることなどができると考えられる。

(3) バイオエアロゾルを浮遊菌と異なる指標として扱うこともありうると考えられる。バイオエアロゾルに含まれる浮遊菌以外の微生物や死菌・損傷菌・難培養性菌なども浮遊菌と同様に、文化財や壁面などに沈降・付着し、堆積・蓄積するものと考えられ、これらは基質上で生育しないものの、カビ生菌の養分（特に炭素源）となる可能性がある。このことからバイオエアロゾルの濃度が高ければ、潜在的な微生物被害のリスクが高いと考えることもでき、IPMの基礎となる清掃についての効果・頻度の検証などに利用できる可能性がある。ただし大型粒子や非微生物粒子を除去するような機構を備えた機種においては、同じく潜在的なリスクとなりうる花粉やダニ等の死骸・糞、皮膚片、植物片などを除外する可能性について考慮する必要があると考えられる。

5. おわりに

本稿では、実際の博物館施設においてバイオエアロゾル測定の実験を行うことで、その活用方法の検討を行った。一般的な博物館施設の諸区画では、クリーンルームや食品・医薬品の製造現場などと同様の活用は困難であったが、試験結果をもとにいくつかの活用方法を提示することができた。今後、他施設等での測定事例を増やしていくことで、汎用性について検証していきたい。

なお第1章で言及した多点的・継続的な浮遊菌測定による、浮遊菌の発生源と拡散方向の把握へのバイオエアロゾル測定の実用性については、今後研究を進めていきたいと考えている。

謝辞

本研究は、平成27年度 学術研究助成基金助成金 若手研究(B)「リアルタイム浮遊菌測定を用いた自然共生型博物館におけるゾーニングについての研究」(課題番号:15K16277)による成果の一部である

参考文献

- 1) 山崎省二編：環境生物の測定と評価、オーム社(2001)
- 2) 間瀬創：文化財公開施設等における微生物の予防と制御に関する研究、学位論文、東京芸術大学大学院文化財保存学専攻保存科学領域(2011)
- 3) 藤岡一志、山田翔太、富永大河：微生物センサ BM-300C を用いた空中浮遊菌の迅速測定、日本

- 防菌防黴学会誌、43(11)、557-562 (2015)
- 4) TSI Inc. : BIOTRAK(R) REAL-TIME VIABLE PARTICLE COUNTER PRINCIPLE OF OPERATION, APPLICATION NOTE CC-101 (2012)
 - 5) 入江香成美：微生物迅速測定 空中浮遊菌のリアルタイム検出装置とそのバリデーション、PHARM TECH JAPAN、30(4)、645-649 (2014)
 - 6) NHB5340.2: NASA Standards for Clean Rooms and Work Stations for The Microbially Controlled Environment (1976)
 - 7) 松長正見、角田智良、城斗志夫、伊東章、渡辺敦夫：浮遊微生物と浮遊微粒子の濃度相関に関する考察、日本食品工学会誌、6(3)、197-204 (2005)
 - 8) 宇田川俊一、椿啓介ほか：「菌類図鑑」、講談社 (1991)
 - 9) 間瀬創、岩田利枝ほか：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 (2005)

キーワード：カビ (mold)；浮遊菌 (air-born mold)；バイオエアロゾル (bioaerosol)；生体蛍光 (biofluorescence)；博物館 (museum)

Application of Bioaerosol Measurement in Museums

Hajime MABUCHI* and Yoshinori SATO

Microbial air monitoring in museums is usually conducted by applying airborne mold samplers and agars to detect the presence of viable mold that directly poses risks for mold growth on cultural properties. Recently, bioaerosol measuring devices that detect biofluorescence have been developed. These devices provide results immediately with easy operation than if airborne mold samplers are used because there is no need for cultivation.

In the present study, bioaerosol measurement detecting biofluorescence and airborne mold measurement using a sampler were tested at various zones in a museum (ISO14644-1 Class 9) to ascertain how bioaerosol measurement can be applied for microbial air monitoring in museums.

From the results of bioaerosol measurement using Microbe Sensor BM-300C (Sharp Manufacturing Systems) at the storage, unpacking space, and truck yard of Mie Prefectural Museum, it was found that bioaerosol measurement using this device is practicable inside museum facilities. However, for measuring outside air, which may be a major source of airborne mold that flows into the truck yard, it is necessary to modify the device for summer because bioaerosol concentration will exceed the permissible concentration that the device can measure.

Other results obtained through simultaneous measurements of bioaerosol and airborne mold (BIOSAMP MBS-1000, PDA) at the previously mentioned zones showed that bioaerosol and viable airborne mold shifted almost parallel in each zone but that the ratio between bioaerosol and viable airborne mold was specific in each zone. Therefore, it is not possible to compare and evaluate viable mold concentration among zones in museums from the results of bioaerosol measurement alone.

From the above, it may be said that bioaerosol measurement cannot be a direct substitute for airborne mold measurement for microbial air monitoring in museums although it can be applied for (1) fixed point monitoring in museum storages to detect abnormal bioaerosol concentration changes, which are equal to contamination events, (2) monitoring dusts fluttered by visitors in exhibition rooms to evaluate floor cleaning accomplishment and its frequency, and (3) evaluating underlying risks of accumulated bioaerosol on cultural properties becoming nutrients (carbon source) for viable mold.

*National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo; Mie Prefectural Museum