

文化財周辺気中の塵埃に関する研究〔I〕

奈良国立博物館に於ける収蔵庫，陳列室，ケース内塵埃の調査

門 倉 武 夫

1. はしがき

一般に、塵埃とか煤塵と呼ばれている物質は、近年の大気汚染の研究により細分化され、複雑になってきている。塵埃は、粉塵、煤塵、粒子状物質、ダスト、その他いろいろな文字で表わされているが、それらは対象物質の大きさ、生成過程、測定法などが基本となる専門的な分類と、従来の習慣からはっきり区別せずこれらを総称して適宜呼んでいる場合とがある。又、同一物質でも異なった用語で表現されていることもある。国の環境基準では、粒子の大きさから粒径 10μ ($1\mu=1/1000\text{ mm}$) 以下の物質を微粒子状物質と総称している。又、現在審議中のコンタミネーション・コントロール用語、——汚染管理用語（日本工業規格案）——でも一般的用語として粒子状物質を用い、更に“微”あるいは“極微”を付けて細分類している。詳しくは専門書にゆずり、本報告は、用語の混乱を防ぐため一般に使用されている“塵埃”を採用し、空気中の粒子状物質を現わすものとして進める。

昭和 46 年に、全国の博物館、美術館を対象として、公害による文化財の被害調査¹⁾を行なった。この調査で、“被害を受けている”と回答した1.7%のうち半数が塵埃を取り上げていた。

これは直接文化財の管理、取扱いに従事している担当者が公害によると判断した結果の回答であって、公害の専門家による判定ではなかったが、いずれにしても文化財の環境に於いては、土砂の微粉末が風によって飛来し、保存施設の隙間から侵入するもの、取扱い者自身の被服から落下するもの、展示場などでは観覧者の衣服の摩擦によって生ずる繊維質、靴に付着して運び込まれる土砂、黴等が文化財を汚染していることは事実である。

大槻ら²⁾は塵埃が文化財に及ぼす影響として次の3点を上げている。

- (イ) 塵埃の小粒子が紙本、陶器あるいは刀剣等の表面に付着して汚染を作り、特に紙や布の繊維中に残った塵埃の除去は非常に困難である。
- (ロ) 付着した粉塵に対し、生物因子が関与して黴の発生をまねき色素を造成して文化財を汚損する。
- (ハ) 粉塵の色素が溶出し、文化財を汚染し、高湿度の時に水を凝集し汚染を増大する。

など有機材質に対して塵埃は発黴、虫害、材質劣化の大きな原因となる。これらの他に、塵埃が空気中を浮遊している間に水あるいは空気中のガスを凝集し、文化財の上に推積して金属器などの場合にはサビを生ずる原因となることを忘れてならないであろう。

一般に空気中の塵埃を生成機構から分類すると表一1の様になる。これらの物質は発生過程により性質が大きく異なる。

空気中の塵埃は、単一物質のみで存在することは少なく、いくつかの物質が共存又は複合体を作っている。

表一 塵埃（粒子状物質）の分類

名 称	相	生 成 機 構
粉じん (dust)	固	固体の破碎によって生じたもの
ヒューム (fume)	固	蒸発, 昇華を経て凝縮したり, 化学反応により粒子化した固体の粒子状物質
ミスト (mist)	液	液体の分散によって生じたもの
霧 (fog)	液	過飽和蒸気の凝縮したもの
煙 (smoke)	固-液	燃焼で生じた不完全燃焼物と液状物の共存したもの

本間 分析化学 Vol. 21 p. 1669 (1972)

塵埃が文化財に対し直接, 間接に悪影響を及ぼしているにもかかわらず, その研究は, 大槻ら²⁾³⁾が東京国立博物館陳列室で調査した例, 森田⁴⁾が万国博覧会美術館で測定した入館者と塵埃について, Beecher⁵⁾によるロンドン・ピクトリア・アルバート美術館において行なった陳列ケース内に侵入する 1μ 以下の粒子を除去する実験

などの他にはほとんどみられない。

近年, 各地の博物館, 美術館あるいは社寺などで収蔵庫の建設が進められているが, 空調設備を保持しているものは少なく, 防災, 損傷防止が主な目的で空気汚染や観覧者による環境の汚染に対する施策はほとんど行なわれていない。

以上の観点から文化財の展示場, 保存施設に於ける塵埃の実態を調査した。

2. 測定方法

塵埃の測定方法には, 浮遊中の粒子を数える方法, 重量を求める方法, 濾紙で空気を濾過し濾紙上に生じたスポットの濃度を比較して相対的濃度を求める方法, あるいは化学分析を行なうための捕集方法などがあり, それぞれ目的に応じて使い分けている。

文化財の環境は汚染されているとはいえ, 一般の事務所, 工場の作業場の環境と比較すると通常の状態では清浄と思われるが, 収蔵庫や資料室, 展示場など人の出入あるいは移動時に舞上る塵埃, 陳列室に団体の入場, 特別展などの多数の観覧者等による塵埃の急増は屋外を上廻る程の汚染である。

この様な文化財の汚染環境を究明する場合, 塵埃粒子の沈降速度, 粒子の大きさ, 分布, 空調効率などを検討する必要がある。従って測定法, 測定器に要求されることは, 塵埃の測定濃度範囲が広いこと, 連続測定が可能なこと, 粒度分布が測定出来ること, これに合わせて陳列室の場合などでは測定器の大きさ, 重量, 運転時の音の小さい事等が上げられる。

以上の事柄を考慮し, 測定器を検討した結果, 現在クリーンルームの管理に広く使用されているパーティクルカウンター（微粒子測定器）が上げられた。この測定器は光学系に一定のスピードで試料空気を導入し, 試料中の粒子状物質が光散乱の原理によって生じた光量変化を電氣的に粒子の表面積に換算し, 指定された大きさの粒子を計測して一定体積中の個数として表わすもので測定時間は最小 36 秒から任意の時間を選ぶことが出来, 測定粒子径は 0.5, 1, 2 及び 5μ である。この測定器は病院で手術中に室内の塵埃量を測定したり, 精密工場, 電子工業（宇宙開発）, 製薬工場等の管理に使用されている。本報告はこの測定器を使用して調査した結果である。

3. 奈良国立博物館の収蔵庫等に於ける調査

昭和 47 年 11 月に竣工した新館の収蔵庫, 陳列室, ケース内について空調による塵埃の除去率, 観覧者による陳列室, ケース内の汚染状況等を調査した。

同館の空調システムは、収蔵庫、陳列室、講堂等それぞれ独立している。除塵関係のフローシートを図一に示した。

1. 収蔵庫に於ける塵埃の濃度

測定器：パーティクルカウンター Climet Controlled Environment Monitor Model CI-250

粒径：1 μ (1/1000 mm)。一般に塵埃粒子は1 μ 以上の大きさでは沈降速度が速く、風の影響が小さい。1 μ 以下では沈降速度が遅く、風によって移動するとされているため、両者を考慮して中間の1 μ を選んだ。

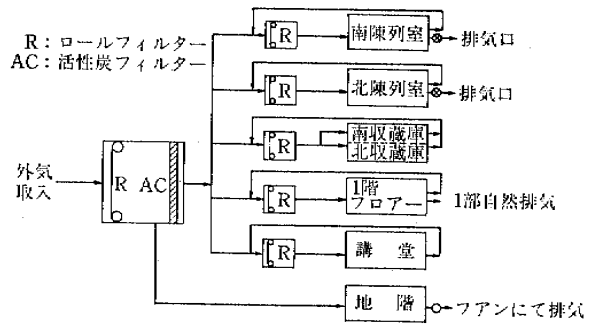
単位：塵埃個数/283ml 空気……2.8 l の空気を6分間で吸引した値を他の測定値と比較するため 1/10 (283 ml/36 sec) の数値で示した。

測定場所：収蔵庫内は南収蔵庫の中央やや南側、内径 10 mm、長さ 1.5 m のテフロンチューブを用いて床面より 1.2 m の高さの空気を採取した。又、屋外は地階の空調用外気取入口で収蔵庫内と同様に高さ 1.2 m で採取した。

測定時間：濃度変化の現われやすい夕方から翌朝まで連続測定（6分毎に記録）を行なった。内外で同時測定をすべきであったが、測定器の都合で2日間に分けて同じ時間帯に測定した。

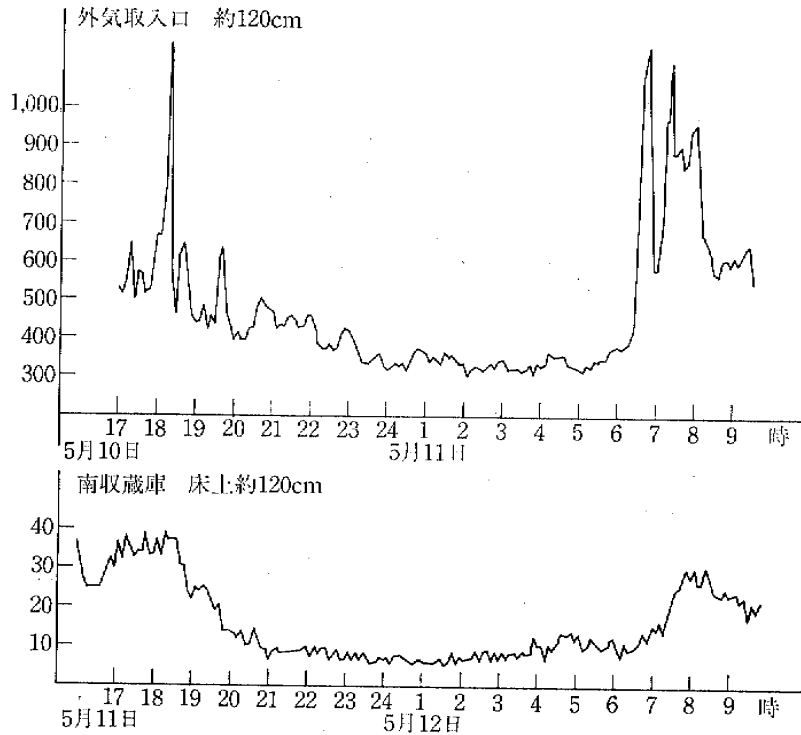
測定結果

図一に収蔵庫及び外気取入口に於ける塵埃濃度の経時変化を示した。日中の測定結果及び風向、風速の資料がないため、十分な比較は出来なかったが大体の傾向は把握出来た。



図一 奈良国立博物館除塵フローシート

陳列室に観覧者が多くなった場合汚染空気を直接外気に排出できる様になっている。この場合は新鮮空気のみ送風される。



図二 収蔵庫内及び外気中の塵埃の経時変化 個数/283ml

図一2から次の事項が考察される。

- a. 外気中の塵埃は、朝6時半頃から約2時間濃度が高く、その後次第に減少した。
- b. 低下しても、もとの濃度まで下らず、夜間の清浄時の約3倍程度まで下って平衡となった。以後、この値がベースラインとなり日中はこれに汚染が加わるものと予想される。
- c. 夕方は朝程はっきり変化がみられないが、17時半頃から18時半の間が高く、以後、24時頃まで緩やかに減少し、平衡となった。
- d. 収蔵庫内においては、総体的濃度からみて最も汚れているときで外気の1/10、夜間の清浄時で1/100程度の濃度であった。
- e. 収蔵庫内の濃度変化は、外気と比較して測定期日が異なるにもかかわらずよく類似していた。

上記の測定結果から、外気では朝の通勤、通学等、人の活動（自動車も含めて）開始と同時に汚染され始め、夕方これらの人々が帰宅した後に清浄となる。即ち人間が活動している間は常に汚染されている。その推移は、早朝急激に上昇し、勤務あるいは授業についた頃一応降下するが夜間の清浄ラインまでは下らずに平衡となる。一般に日中の最低ラインはこの点となり汚染が生ずればこのラインに加算される。夕方は帰宅時間が朝程短時間に集中せず従って緩やかな減少となっていると考えられる。

一方収蔵庫内は非常に清浄でわずかに外気の影響を受けてはいるもののフィルターによる除塵効果がよく表われていると思われた。

2. 陳列室内の塵埃

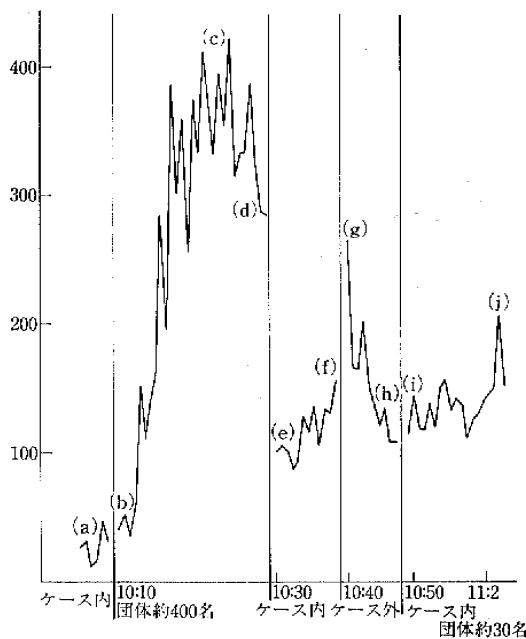
観覧者により陳列室内がいかに汚染されるかを調査した。

測定場所：二階北陳列室及び同室中央大ケース内。

測定法：ケース内は径10mm、長さ1.5m、テフロンチューブを用い、ケース内床面より高さ約50cmで内部空気を採取した。

室内は同ケース前面で床上1.2mで空気を採取した。

測定粒子径： 1μ 、36秒毎に記録



図一3 入館者による陳列室内及びケース内の塵埃濃度変化（個数/283m³）

測定結果

陳列室の空調は収蔵庫と系統は異なるが同一方式で除塵した空気が送風されているため（図一1参照）開館前は収蔵庫内の塵埃量と同程度であると考えられる。

測定は室内とケース内を交互に計測した。その結果を図一3の様にまとめた。

開館後比較的入館者の少ない10時前ではケース内及び室内共塵埃量は少なく、図一3の(a)及び(b)の値はこの時間のバックランドに近い値と思われる。

測定中団体約400名が入館したのでケース内から室内に切変えて測定した結果(b)→(c)に急上昇し、約10倍の汚染量となった。この時の観覧者の推移は、先頭集団として30~50名が比較的速度で通過し、他は適当に分散して3~5人のグループで観覧していた。1つのケース前に於ける停止

時間は5~10秒で長くても1分30秒~2分程度であり、測定ケース付近で団体の入場と感じられたのは15分間ぐらいであった。

観覧者がほとんど通過した時点でケース内を測定した結果(e)のごとく団体入場以前の濃度の約3倍に汚染され、次第に上昇の傾向がみられた(e)→(f)。この時点で室内は(d)から(g)に降下していたと予想される。又、上昇したケース内の塵埃量は室内と同程度となり(h), (i), 上昇は平衡となったが、再び30名の団体により上昇が認められた(j)。

3. 収蔵庫及び陳列室内、ケース内の塵埃粒子

測定場所、測定法は前項の収蔵庫、北陳列室及びケース内で、それぞれの経時変化測定中にレンジを切変え0.5 μ , 1 μ , 2 μ , 5 μ の粒子を測定し、汚染空気が移動した場合の塵埃量と粒度との関係を求めた。

測定結果

各々の測定点で同一塵埃粒子について5~7回計測し、その平均値を表一2に、個々の粒子径に対して外気と収蔵庫、収蔵庫と陳列室、収蔵庫とケース内の比を図一4に示した。

(1) 外気—収蔵庫内塵埃粒度分布

南北両収蔵庫は、同一空調機により浄化された空気が送風されているため、両庫内の空気中の塵埃には粒子径による相違が少なく、収蔵庫内には外気中の0.5~2 μ 程度の微粒子まで除去された空気が送られていた。5 μ の大きい粒子が小さい粒子より高い値を示していたが、表一2でわかる様に計測値が外気5に対し庫内で2と小さいため、測定誤差が影響している可能性が大きく、このような汚染の少ない場合測定時間の延長、大量空気の導入による測定が必要であり再検討する予定である図一4-(a)。

(2) 収蔵庫—陳列室内塵埃の粒度分布

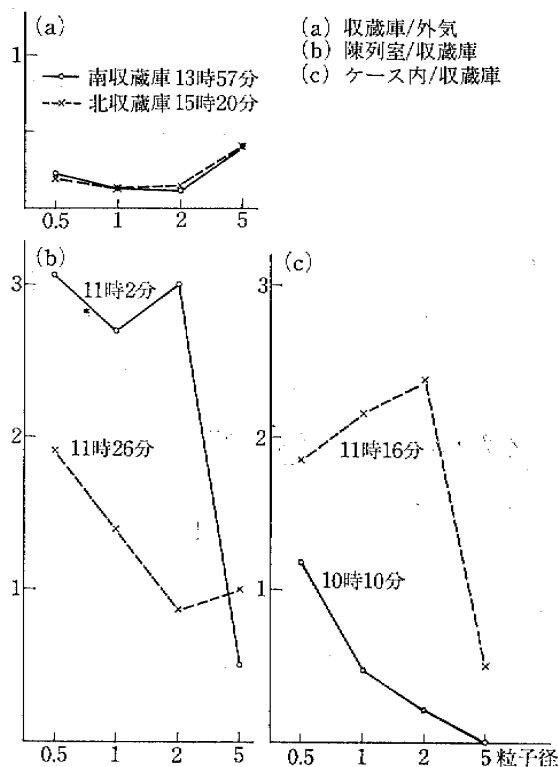
陳列室には収蔵庫と同様な方法で処理された空気が送入されているため(図一1参照)開館前の入館者等で汚染される以前は、収蔵庫と同様な環境状態と予想されるため、収蔵庫内と陳列室内を比較して入館者により汚染された空気の粒度分布を検討した。

測定結果

図一4-(b)は前記(1)と同様収蔵庫—陳列室

表一2 粉度分布の測定結果

測定場所	測定時間	空気 283 ml 中の粒子数			
		0.5	1.0	2.0	5.0
外気取入口	16:00	1593	492	105	5
南収蔵庫	13:57	333	59	12	2
北収蔵庫	15:20	295	59	15	2
収蔵庫平均		314	59	14	2
二階北陳列室	11:02	961	159	42	1
"	11:26	601	82	12	2
ケース内	10:10	372	28	3	0
"	11:16	584	128	32	1



図一4 収蔵庫、陳列室、ケース内の塵埃粒子の粒度分布 10時15分400人入館、館内汚染される。

内の比を表わしたものである。

10時15分と10時55分にそれぞれ約400名、30名の団体が入館し、図4-(b)の11時02分は30名の団体が測定点付近を通過した時間であり、 $0.5\sim 2\mu$ の塵埃粒子は収蔵庫に対し2.7から3.1に達していた。団体通過約20分後には 0.5μ 粒子が1.9、 1μ が1.4、 2μ が0.8となった。 $(5.0\mu$ 粒子については再検討の必要があるので説明をはぶく)

陳列室内が汚染された場合、 2μ 以下の粒子(1μ 、 0.5μ)はほとんど同じ割合で増加し、汚染源の消失により速い速度で清浄化された。この浄化は大きい粒子程、速やかであった。

(3) 収蔵庫—陳列ケース内塵埃粒子の分布

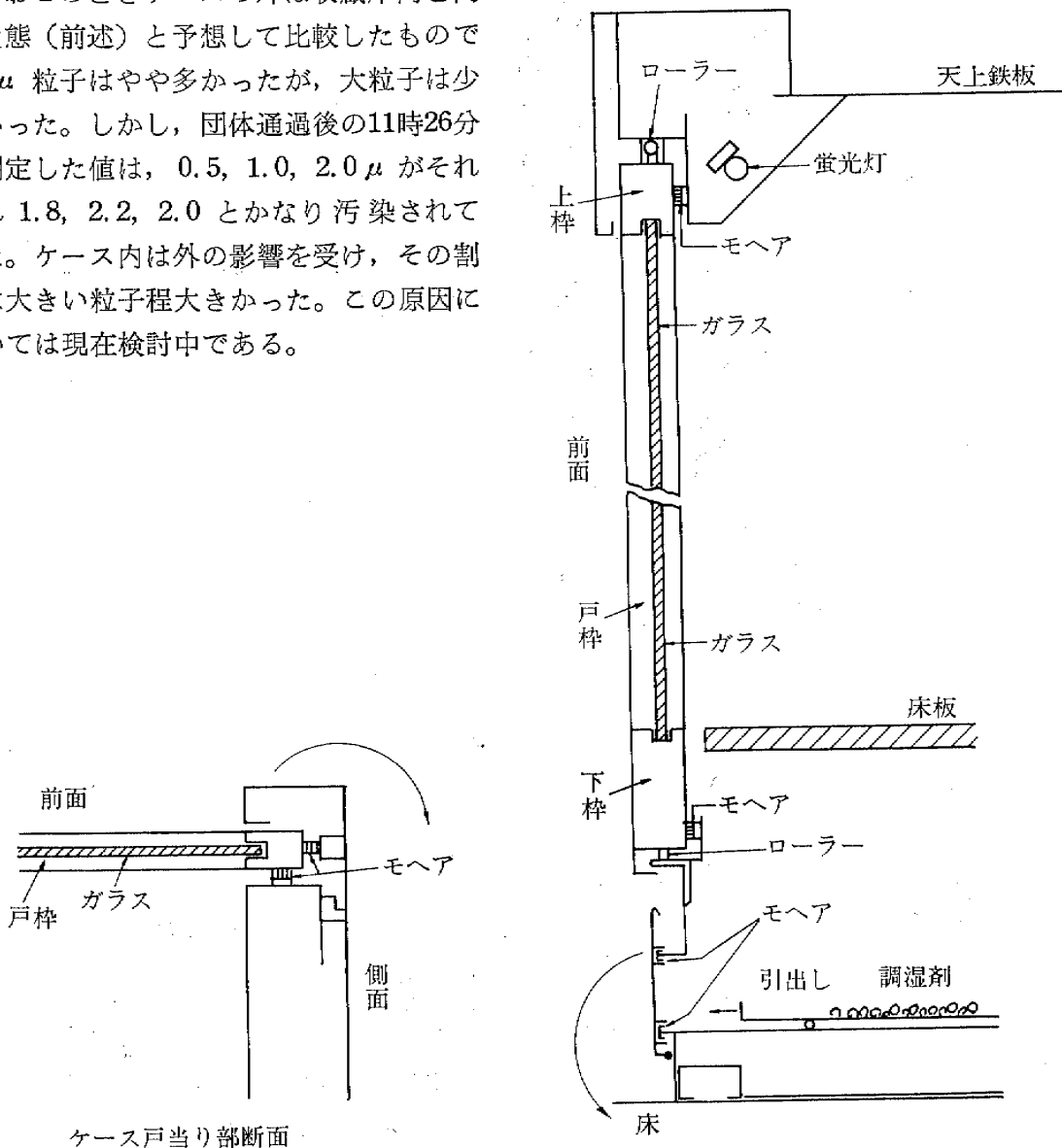
(2)と同様に収蔵庫内と陳列ケース内の粒子を比較して図4-(c)に示した。

この陳列ケースは密閉施工とされている(図5参照)。

測定結果

団体入館(10時15分)以前の館内はほとんど観覧者がみられず、団体入場直前の10時10分に測定した値は収蔵庫に対し、 0.5μ が1.2、 1.0μ が0.4、 2.0μ が0.2であった。

なおこのときケースの外は収蔵庫内と同じ状態(前述)と予想して比較したもので 0.5μ 粒子はやや多かったが、大粒子は少なかった。しかし、団体通過後の11時26分に測定した値は、 0.5 、 1.0 、 2.0μ がそれぞれ1.8、2.2、2.0とかなり汚染されていた。ケース内は外の影響を受け、その割合は大きい粒子程大きかった。この原因については現在検討中である。



図—5 陳列ケースの構造

4. ま と め

1. 収蔵庫

収蔵庫内には浄化された空気が送風されていたため非常に清浄であった。これは竣工直後で庫内に収蔵物が全くなく、出入りする人も少ない状態での測定結果であり、今後、庫内に物が収蔵された場合、塵埃が収納品に付着して運び込まれたり、調査や資料整理のために入室する人の被服から落下したりして庫内が汚染されることも予想される。又、収蔵物が本来の空気の流れを妨げ、室内の隅や物の陰などに空気の停滞個所をつくり、いつまでも空気が浄化されず、やがて塵埃が器物の上に落下して汚染する恐れも生ずる。従ってこの調査結果が、物品収納後も再現されるか今後調査を必要とする。

2. 陳列室

開館前あるいは入館者の少ない場合は、収蔵庫内と同様清浄であったが約400名の団体の入館により陳列室内の塵埃量は3倍となった。その粒子の大きさは 2μ 位までのものが大半で、それ以上の大きい粒子は少なかった。観覧者が通過した後は直ちに汚染度は降下の傾向をみせた。その浄化速度は、大粒子程急速であったがこれは粒子の自重によるものか、換気によるものかを究明するには至らなかった。

特別展のごとき、観覧者が連続した場合の汚染状況や浄化速度などは換気能力との関係もあり、今後検討を要する。

陳列室内部が汚染された場合、露出展示品に対しては当然塵埃の付着が考えられるが、次に述べるケース内にも影響を及ぼしていた。

3. 陳列ケース内

ケースの透き間はモヘヤを当て直接内部に空気が侵入しない構造に作られていたが、ケース外の環境が変化した場合、内部に相当影響を及ぼしていた。即ち、室内が清浄な場合は、 0.5μ の極微粒子は内外共同程度の濃度であったが、これより大きい粒子は外の半分以下と非常に少なかった。ケースの外が汚染されると内部の濃度も上昇した。この時の粒度分布は外の汚染状況とは異なり、 0.5μ 、 1μ 、 2μ の順に高くなっていた。この理由については検討中である。

ケース内の汚染理由として、団体の入館により短時間にケース付近の温度が上昇し、内外に温度差を生じたため、空気の対流が起り、僅かな透き間あるいはモヘヤを通して空気の移動があり、内部の冷い空気が外に出ると同時に汚染空気が塵埃を運び込んだものと考えられる。従って直接空調とは関係なくこの様な場合は浄化に比較的長い時間がかかることが予想される。

室内の汚染状況、例えば特別展のごとき入館者が連続した場合、ケース内部の塵埃粒子の挙動については今後検討すべき必要がある。

以上、空調設備を備えた博物館の塵埃の測定結果の1例を述べたが、測定手順、調査時間等が充分でなく完全な結果はみい出されなかったが、塵埃に関する今後の研究方針を決める手がかりはある程度つかめた。

塵埃の研究が緒についた程度であるが、今後更に寺院内や特別展会場、古墳内（調査のために入室した時の汚染）の文化財環境に於いて調査を続行し、文化財に対する影響を追究し、同時にその防除対策を確立する計画である。

終りに本調査を行なうに当って、同館管理課、奥村専一課長、西 克課長補佐に種々御配慮頂き、ここに厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 門倉武夫：公害による文化財の被害調査，保存科学，第11号（昭48：1973），pp. 69~85.
- 2) 大槻虎男，岩崎友吉，江本義理，斎藤平蔵：陳列室に於ける塵埃の研究 I，古文化財の科学 第1号（昭26.1：1951），pp. 61~23.
- 3) 同上 II，古文化財の科学，第2号（昭26.9：1951），pp. 61~23.
- 4) 森田が万国博美術館に於いて調査した結果の概要が Masaru Sekino and Kenzo Toishi：Museum, Vol. No. 2, pp. 80~82 UNESCO 1972 に報告されているが詳細については発表されていない。
- 5) E. R. Beecher：Apparatus for keeping a showcase free from dust, Museums Journal, 70. NO. 2 (1970), pp. 69~71.

Résumé

Takeo KADOKURA：A Study on the Dust in the Air Surrounding Cultural Properties
〔I〕An Investigation on the Dust in Depositories, Exhibition Rooms, and Showcases
of the Nara National Museum

In this study, a survey is made of airborne particles in a museum equipped with air conditioners, in order to investigate into 1) how the air in the depositories compares with the air outside; 2) how the air inside the display rooms becomes polluted by visitors; and 3) how the air inside showcases is affected by the pollution outside.

So far as the air conditioning system at the Museum in question is concerned, the outdoor air first passes through a roll filter and an active carbon filter before being sent to air conditioners in depositories, exhibition rooms, halls, etc. for ventilation.

The survey was conducted with a particle counter of the Climet Controlled Environment Monitor Model C1-250.

1) The air sent into the depositories had sufficiently been cleaned by air conditioners. The concentration of contamination of the air in question was 1/10~1/100 of that of the air outside.

2) When a party of 400 visitors stayed in the exhibition rooms, the "cleanliness" rose 300 times with regard to 1μ particles, but dropped to one third 15 to 20 minutes after the party in question had left. The size of particles at the time was for the most part about 2μ or less.

3) In the showcases, provided that the air in the rooms was clean, about the same condition prevailed with regard to 0.5μ particles, 1/2 with respect to 1μ particles, and 1/5 in terms of 2μ particles. When these rooms were polluted by

a party of visitors, the contaminated air permeated into the showcases. The particles then were mostly 2μ large, with a very small amount of those of 0.5μ .

The conclusion reached from the above is that the cultural properties conservation environment at the Museum in question is on the whole satisfactory, that the presence of a large number of visitors in the exhibition rooms contaminates the air to a considerable extent, but that the air is restored to its cleaner state in a comparatively short time.

So far as the air inside the showcases is concerned, contamination seems to occur when a large number of visitors occasion a rise in temperature and convection currents caused by temperature discrepancies in and around the cases send contaminated air into these cases.