

# 文化財周辺気中の塵埃に関する研究〔Ⅲ〕

## 塵埃粒子の組成

門 倉 武 夫

### 1. はじめに

我々の生活環境には、塵埃で総称される各種の粒子状物質が存在し、物質の表面に付着して、直接また間接的に、器物に対して損傷をあたえている。これらの塵埃粒子の化学組成や物理的性質は、粒子の成生過程、存在する環境条件に大きく左右されるが、文化財に対しても、塵埃粒子の付着または沈着は、錆の発生をまねき、微生物の活動を促進させるなど汚損の原因となっている。

しかしながら、文化財に対する影響を考慮した防除対策はほとんど行われていない。

文化財周辺気中の塵埃粒子の大きさ、化学組成、その挙動を考察することは、影響や対策を検討する上で重要な資料となると考える。

環境中の塵埃粒子の研究には、発生源の追求や防除対策など、研究の目的により種々な測定器類が使用されている。塵埃粒子の粒度分布や化学組成の分析には、一般にアンダーセンサンプラーによる試料採取法が採用されているが、これによって化学分析を行えるだけの試料量を採取するには長時間(4~7日)の空気吸引が必要である。

文化財の環境は、生活環境と異り、測定器機や稼働時間に制約を受け、通常の測定器機をそのまま採用できない場合もしばしばみられる。

ここでは、塵埃粒子の大きさとその組成について検討する目的で、アンダーセンサンプラー

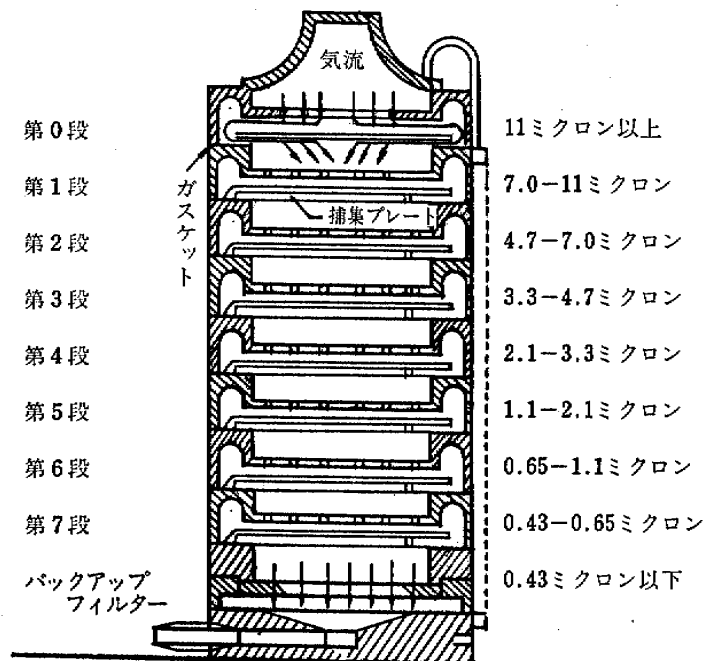


図-1 アンダーセンサンプラーの構造と粒度分布

を用いて分級採取した粒子についてX線マイクロアナライザによる分析を試みた。その結果、24時間以内の試料採取時間で、塵埃粒子径  $0.4\mu$  から  $3\mu$  まで4段階に分け、それぞれの粒子から鉄 (Fe)、チタン (Ti)、マンガン (Mn)、カルシウム (Ca)、カリウム (K)、塩素 (Cl)、イオウ (S)、ケイ素 (Si) を検出することができた。

この方法で、国宝蓮華王院本堂(三十三間堂・京都市)堂内部と外気および大樹寺(岡崎市)収蔵庫内で採取した塵埃粒子を測定した。試料採取法およびその結果について述べる。

## 2. アンダーセンサンプラー（ダイレック社）

空気中に浮遊する粒状物質の分級捕集用として考案されたもので、図—1に示した構造をもっている。すなわち、8段の耐蝕性アルミニウム合金製のステージを積み重ね、各段のステージには、下段になるにしたがって小さなジェットノズルがあり、それぞれのステージの下に捕集板が配置されている。最下部の吸引口から一定流量（1 cfm=28.3 l/min）で空気を吸引すると、上部の取入口から入った被検空気中の粒子は、慣性力の働きで特定の粒径範囲の粒子が捕集板上に捕集される。アンダーセンサンプラーの仕様を表—1に上げた。通常、沱紙、ガラス板、ステンレス板などを捕集板上にセットし、これに捕集された各段の粒子を顕微鏡下で計測するか、重量測定、化学分析などにより目的のデータを得ている。ここでは、捕集板にアルミニウム箔を使用した。

表—1 アンダーセンサンプラーの仕様

分級ステージ	ノズル径 (mm)	ノズル数 (個)	ノズル流速 (m/sec)	分級粒径範囲 ( $\mu$ )
0	1.20	800	0.55	11以上
1	1.20	600	1.10	7.0 ~11
2	0.90	600	1.75	4.7 ~7.0
3	0.70	600	2.95	3.3 ~4.7
4	0.50	600	5.55	2.1 ~3.3
5	0.35	600	12.40	1.1 ~2.1
6	0.25	600	24.00	0.65~1.1
7	0.25	200	48.00	0.43~0.65
フ ィ ル タ ー				0.43以下

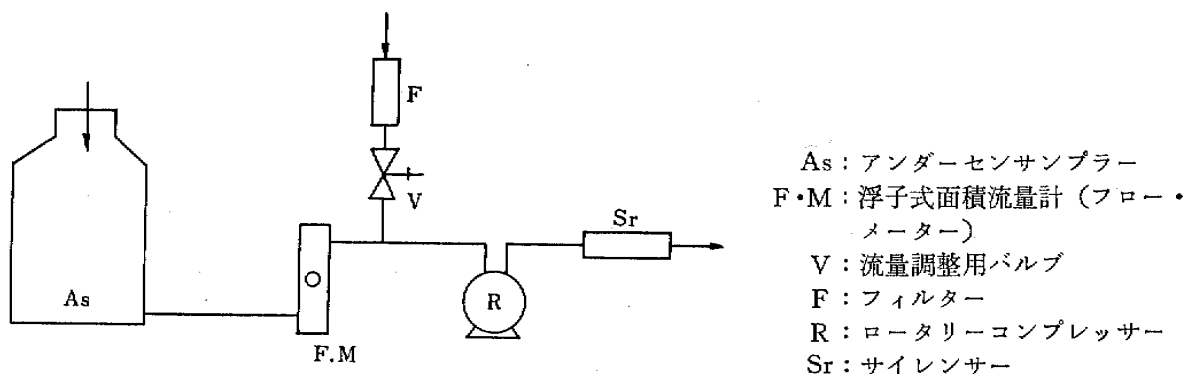
## 3. 試料採取および分析

X線マイクロアナライザは、微小試料の定性、定量分析に広く応用されている分析装置で、対象となる物質は、電気伝導性であればあらゆる種類の物質に適合され、非伝導性でも、カーボンや軽金属を真空蒸着することにより分析を可能にする。しかし、微量試料に対しては、可能なかぎり無処理のまま分析することが望ましい。

アンダーセンサンプラーの捕集板に、電気伝導性の材質を使用すれば、そのまま分析ができるので、本実験では、比較的含有元素が少なく、扱いやすいアルミニウム箔を用いた。

### 3—1 試料採取

厚さ 0.017 mm のアルミニウム箔を直径 8 cm に切抜いて捕集板上にセットした。空気取入口には、内径 6 cm のビニール管を取付けて床上 150 cm の空気を採取した。アンダーセンサンプラーの構成図



図—2 アンダーセンサンプラーの構成図

プラーの構成図を図-2に、塵埃粒子を捕集した捕集板の1例を図-3に示した。

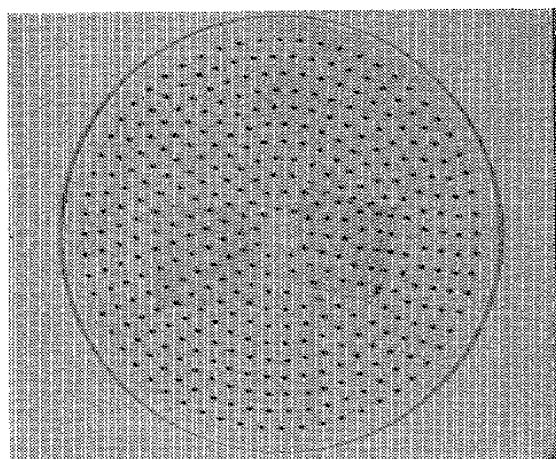


図-3 塵埃粒子を捕集した捕集板の1例

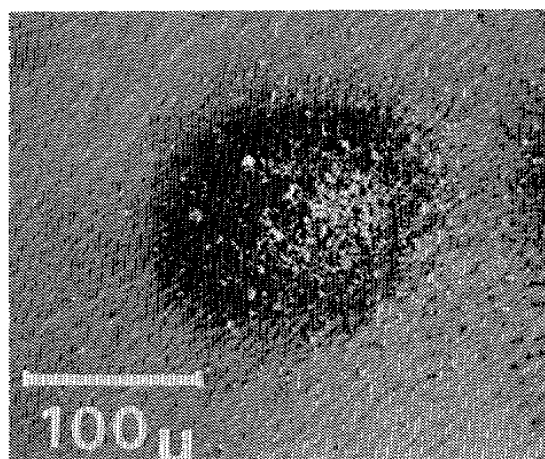


図-4 円錐形に捕集された塵埃粒子

### 3-2 分 析

捕集された粒子は、図-4にみられるような円錐形のスポットとして個々のノズルの下に堆積する。その底面の直径は、吸引時間と汚染度によって異なるが、24時間吸引しておよそ200~300 μであった。

スポットの付いたアルミニウム箔を試料台の大きさに切り取り(3~5個のスポット)薬包紙で覆いガラス板で押えて円錐の上部を100 μ程度の平面とし、この部分について分析した。

X線マイクロアナライザ装置および分析条件は次の通りである。

装 置：日本電子K. K. 走査電子顕微鏡

50A型 付属X線マイクロアナライザ

分析条件：加速電圧 15 kV

吸収電流  $5 \times 10^{-8}$

ビーム径 50 μφ

分光結晶 PET (Pentaerythritol)

図-5に捕集板に使用したアルミニウム箔、図-6に塵埃粒子のそれぞれ分析チャートを示した。

図-5でわかるように、アルミニウム箔には微量の鉄が含まれているので、今回は鉄に対す

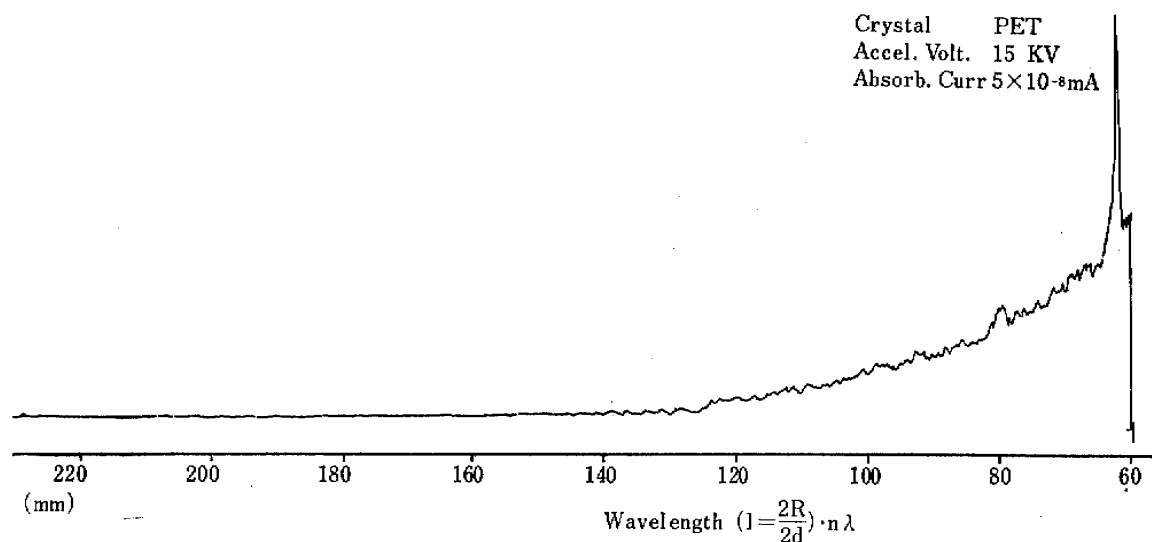
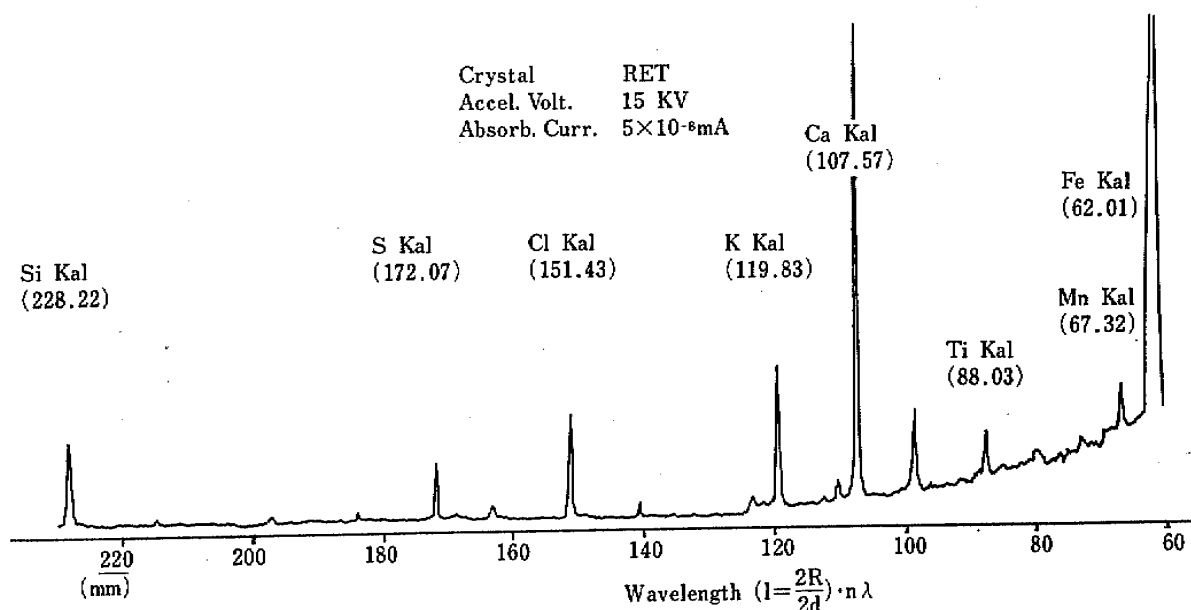


図-5 アルミニウム箔のX線マイクロアナライザ分析チャート



図—6 アルミニウム箔に捕集された塵埃粒子の分析例

る考察は避けた。分析結果は、同一条件下で行った各元素の検出強度を相対的に比較したものである。

#### 4. 分析結果および考察

##### 4—1 国宝蓮華王院本堂（三十三間堂・京都市）内外空気中の塵埃組成

試料採取 昭和53年3月27日 外気

28日 堂内

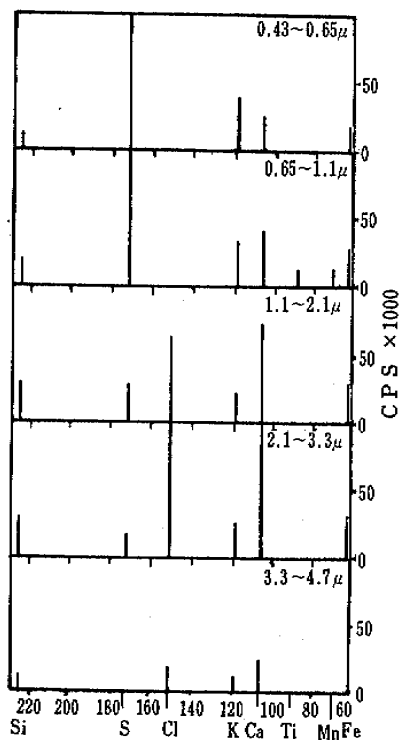
三十三間堂で知られる蓮華王院本堂は、我が国で有数の参拝者の多い寺院の1つである。建物の形体は、他に類例をみない独特の構造で、約120mの長い堂内は、終日参拝者が行列を作っている。したがって、塵埃による汚染も大きいと予想される。この堂内および外気の塵埃を測定し、比較検討した。

試料採取場所は、堂内では、正面に向って右側の雷神像横、外気は、本堂の裏縁（西側）の中央部で、それぞれ8時から17時まで連続9時間空気を吸引して試料を捕集した。外気の結果を図—7に、堂内を図—8に示した。

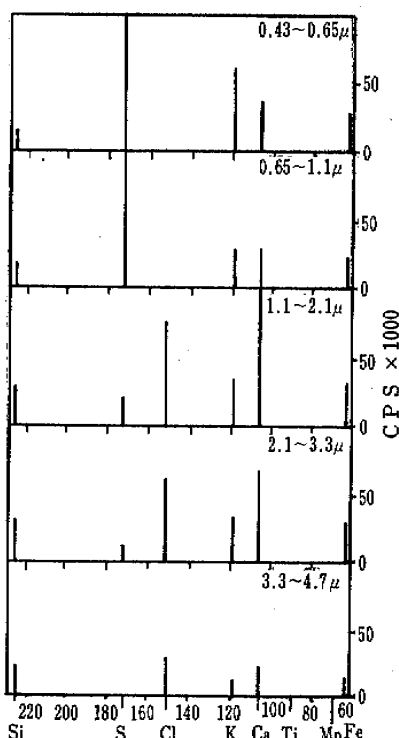
外気では、 $1\mu$ 以下の粒子中にSが非常に多く、 $1\mu$ より大きい粒子では急激に減少していた。これに対してClは、 $1\mu$ 以下ではほとんど検出されていないが、 $1.1 \sim 3.3\mu$ までの粒子中に高いピークが表われている。また、CaとKに関しては、 $1\mu$ を境にして小粒子では、ほぼ同程度検出されたが、これより大きい粒子程Caが高くなっていた。Siについては、各粒径粒子中に広く分布していた。 $3.3\mu$ 以上の大粒子は捕集量が少なく、分析結果は、総体的に低いピークパターンであった。

堂内に関しては、各粒径共外気とほとんど同じパターンで検出され、 $0.6\mu$ 以下の粒子については、外気より高い組成も表われている。 $2.1\mu$ 以上では、わずかであるが減少がみられた。

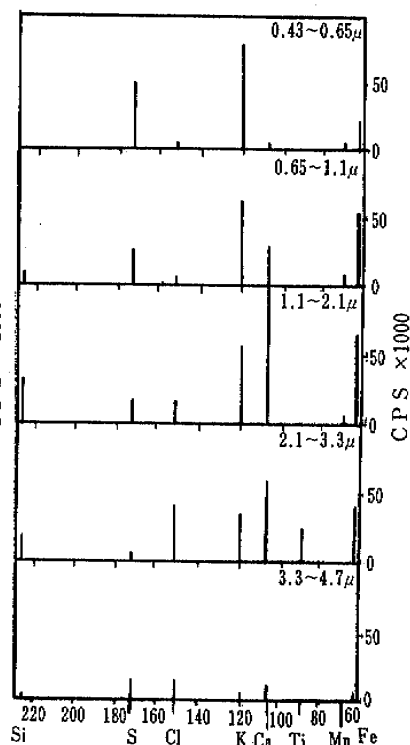
堂内外を比較して、注目されることは、堂内でもSとClが非常に高いことで、これは外気と全く同じパターンが表われていることから、外気がそのまま堂内に侵入していると思われる。S、Clは、器物に悪影響をおよぼす恐れのある元素で今後注目を要する。



図—7 蓮華王院屋外空気中の  
塵埃粒子の分析結果



図—8 蓮華王院本堂内空気中  
の塵埃粒子の分析結果



図—9 大樹寺収蔵庫内空気中  
の塵埃粒子の分析結果

#### 4—2 大樹寺収蔵庫内の塵埃粒子組成

試料採取 昭和 53 年 9 月 11 日～12 日

大樹寺収蔵庫は、昭和 50 年 10 月に竣工し、その後、枯しの期間を経て、52 年 4 月から本堂の障屏画を移し、公開している。見学者は多い方ではないが、収蔵庫内の環境因子の 1 つとして庫内に浮遊している塵埃粒子を測定した。試料は 24 時間吸引して採取した。

試料採取中は、空調機を稼働したままであった。また、時間の関係で外気の試料採取ができず、外気との比較はできなかった。

分析結果を図—9 に示した。検出元素は、図—6, 7 とほぼ同じであるが、それぞれの粒子に対するピークパターンはかなり変っている。最も高い山は、 $1.1\sim 2.1\mu$  の Ca で、続いて  $1.1\mu$  以下の K,  $2.1\sim 3.3\mu$  の S であった。

Ca, K を比較すると、 $1\mu$  を境に小粒子では、K が高く、大粒子では、Ca が高い傾向がみられた。これは、蓮華王院本堂のデータよりはっきり特徴づけられている。また、S と Cl では Cl が小粒子から大粒子へと次第に増加しているのに対し、S は逆に減少している。Si は、 $1.1\sim 2.1\mu$  粒子に最も多く、続いて  $2.1\sim 3.3\mu$  で、大粒子から小粒子まで広く分布していた。外気と比較するデータがないので十分な検討ができなかった。

### 5. お わ り に

文化財環境中に浮遊する塵埃粒子を分級採取し、それぞれの粒子について、X線マイクロアナライザによる分析を試みた。分析結果は、定性的であるが、同一条件で分析したので相対的な比較は可能と考え、蓮華王院（三十三間堂・京都市）の堂内と外気の比較および大樹寺（岡崎市）収蔵庫内で採取した塵埃の分析結果を述べた。各測定結果についての考察は、それぞれの項に記したが、24 時間以内の空気採取量で、塵埃粒子の大きさと組成についての特徴を比較検討することができた。アンダーセンサンプラーは、8 段階の分級が可能であるが、浮遊して

いた粒子のほとんどが、 $3\mu$ 以下で、これ以上の粒子については、試料量が少なく、比較するだけのデータは得られなかった。

それぞれの組成は、その時の環境を特徴づけているが、外気は、季節、気象に左右されるので、環境状態を評価するには、少なくとも各季節のデータの蒐集が必要である。測定法の簡易化により数多くのデータを蓄積することによって防除対策が可能になると考える。

この研究の1部は、科学研究費特定研究・古文化財「新設展示施設および収蔵庫内の汚染現象と収納文化財への影響とその防除法・代表者江本義理」の分担により行った。

終りに、本実験を行うにあたり、試料採取等に種々と御配慮戴いた三十三間堂本坊執事三崎義泉氏および大樹寺住職藤井實應氏に感謝するとともに財団法人美術院技術高橋俊夫氏の手をわずらはせた。ここに厚く御礼申し上げます。

### Studies on Air Dusts around Cultural Property [Ⅲ]

#### Chemical Components in Dust

Takeo KADOKURA

A simple method of analyzing airborne dusts around cultural properties was examined, using X-ray microanalyzer. Dust samples were collected by a 8 stage Andersen-sampler with aluminum collectors. The particle size ranges from 0.43 to 11 microns.

Result: In samples collected within 24 hrs. Mn, Ti, Ca, K, Cl, S and Si were detected. The author compared three kinds of airborne dust: dust sample from the inside of an environment controlled temple repository and dust samples from the inside and the outside of a non-environment controlled temple.

(I) Dust sample from the inside of an environment controlled temple repository ("DAIJUJI," Aichi prefecture)

Main elements were Ca, K, Cl, S and Si. In particles of over 1 micron Ca and Cl were predominant, while S and K were abundant in particles of below 1 micron. In particles of about 1 micron Si was most abundant. As the particle size decreased, more Cl and less S were found.

(II) Dust samples from the inside and the outside of a non-environment controlled temple (National treasure "SANJUSANGENDO," Kyoto prefecture)

The dust composition was almost identical for both samples. Main elements were K, Ca, Cl, S and Si. Sulfur was abundant in the dust of less than 1 micron, and Ca for the dust of more than 1 micron. Silicon was present in all samples.

Normally, it takes 100 hrs or longer to collect enough dust for ordinary chemical analysis but using X-ray microanalyzer, the time could be reduced to about 24 hrs, the quantity of dust being enormously minimized.