

東大寺金銅盧遮那仏・十輪院石造地藏菩薩の 大気汚染による損傷と防止の研究

西山 要一*

Yoichi Nishiyama

1 はじめに

日本の古代金銅仏を代表する東大寺盧舎那仏（大仏）は、天平勝寶4年（752）に完成し開眼供養が行われた。しかし、鎌倉時代・治承4年（1180）の平重衡の南都焼き討ちによる東大寺金堂（大仏殿）の炎上と重源による建久6年（1195）の再建、さらに室町時代・永禄10年（1567）の松永久秀の三好三人衆攻めによる再度の金堂炎上と江戸時代・元禄5年（1692）の公慶による再興と、2度にわたる被災と再建を繰り返してきた。大仏は被災のたびに像上部が失われ、再建のたびに消失部分を追加鑄造した結果、現在の大仏は蓮華座から膝までが天平時代、腹部が鎌倉時代、胸から頭部までが江戸時代の造作といわれている。

東大寺大仏のような金銅製の文化財の劣化は、大気（酸素）と雨（水）などによるゆるやかな酸化が原因とされてきたが、近年になって大気汚染の影響が加わり、急激に腐食損傷の進む例が多く見られるようになってきた。高德院阿弥陀像（鎌倉大仏）や東大寺八角灯籠がその例である。しかし、東大寺大仏は大仏殿内にあつて直接の風雨に曝されない事、そして毎年8月のお身拭いによって輝きが甦ることもあつて、腐食・劣化についてはあまり問題視されてこなかったが、詳細に観察すると、蓮華座下部や像の髷・隅の部分などさまざまな部位に黄緑色や緑色の錆の発生が見られる。

また、奈良市の旧市街・奈良町に所在する十輪院は、鎌倉時代の書院様式を思わせる落ちついた風格ある本堂と同時代の作とされる石造地藏菩薩と石仏龕で知られている。いまは東京国立博物館にある校倉造りの経蔵ももとは十輪院にあつたものである。十輪院石仏龕は本堂建物内にあつて直接の風雨に曝されることはなく、しかも、堅固な花崗岩で作られていることもあつて顕著な劣化・損傷は見られず、地藏菩薩立像をはじめ仏龕に彫られた釈迦如来・多聞天などの薄肉彫りと線刻の諸像も極めて良好な保存状態にあり、後者には彩色も残されている。しかしながら、細部を詳細に観察すると、持国天像・多聞天像や闕石などに白色の析出物が生じ、

僅かながら表面が剥落しているのを見ることができる。

東大寺金銅盧舎那仏と十輪院石造地藏菩薩はともに建屋内にあるものの劣化損傷が懸念され、早急な保存のための原因究明と対策が急がれるのである。

2 東大寺盧舎那仏（大仏）の大気環境

奈良大学保存科学研究室では、1989年から奈良盆地北部の東大寺（経庫）・春日大社・薬師寺など文化財所在地9地点・19カ所に簡易なシェルターを設置し二酸化硫黄（SO₂）・二酸化窒素（NO₂）・塩化物イオン（Cl⁻）の濃度を測定してきたが、2002年8月からは東大寺大仏殿の内外にもシェルターを設置し測定を開始した。

15年にわたる観測の結果、二酸化硫黄は工場排煙など、二酸化窒素は道路通行車両の排気など、塩化物イオンはゴミ焼却場排煙などが発生源で、奈良盆地の大気汚染濃度は大都市並であること、金属板と彩色板をサンプルとする影響調査では大気汚染濃度とサンプルの錆化・変色に因果関係のあることが判明し、校倉などの木造建造物や春日原始林などは大気汚染浄化機能の大きいことも明らかにした。

さて、東大寺大仏殿では建物内外で、温湿度と大気汚染濃度を観測し、観測値を東大寺経庫（校倉）と比較した（2003年8月～12月の値／図1・図2・表1）。

大仏殿の気温は、殿外気温の最高最低の較差は37℃、殿内気温の最高最低の較差は34℃、湿度は殿外湿度の最高最低の較差は66%、殿内湿度の最高最低の較差は65%で、大仏殿内外の温湿度はほとんど変わらない。これは、大仏殿正面の扉が毎日開扉され、四周の連子窓からは常に外気が流入するからである。常に閉じられている経庫の庫外気温の最高最低の較差は37℃、庫内気温の最高最低の較差は30℃、湿度は庫外湿度の最高最低の較差は69%、庫内湿度の最高最低の較差は33%で、建物内外に大きな差のあることがわかる。

大仏殿内の大気汚染濃度は殿外に比して、二酸化硫黄は15%の減少、二酸化窒素は17%の減

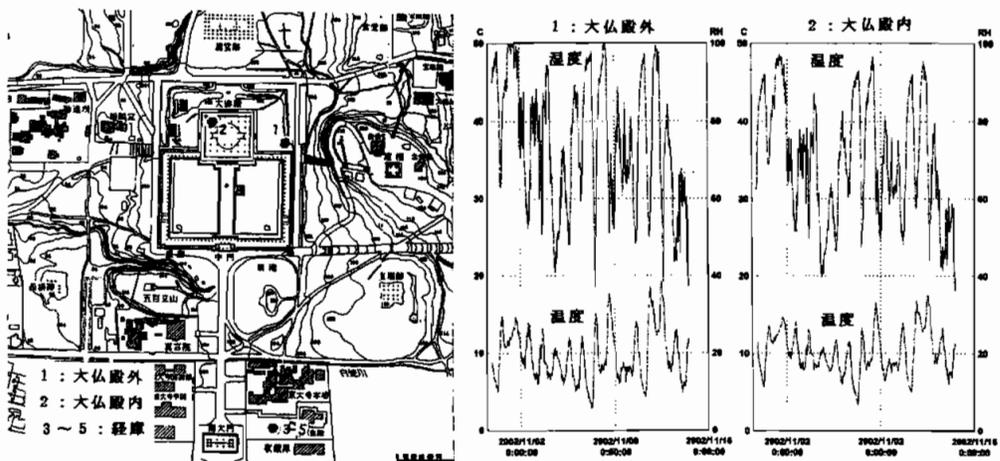


図1 大気環境測定位置と大仏殿内外の温度・湿度（2002年11月1～14日）

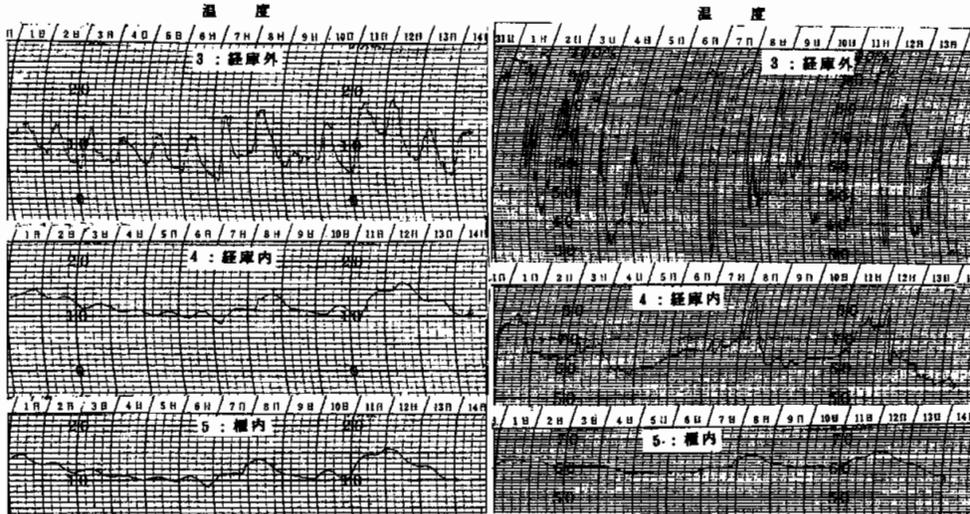


図2 東大寺経庫（校倉）の温度・湿度（2002年11月1～14日）

表1 東大寺大仏殿と経庫（校倉）の大气汚染濃度と温度湿度（2002年8～12月）

大气汚染物質	大仏殿内		経庫（校倉）			単位	
	外	内	外	内	櫃内		
二酸化硫黄 (SO ₂)	3.4	2.9	3.1	2.8	2.8	ppb/day	
二酸化窒素 (NO ₂)	10.4	8.7	9.4	5.5	3.4	ppb/day	
塩化物イオン (Cl ⁻)	3.9	1.3	3.2	0.1	0.9	μg/100cm ² /day	
温度	最高	34	32	35	31	31	℃
	最低	-3	-2	-2	1	2	
湿度	最高	100	99	98	88	74	%
	最低	34	34	29	50	55	

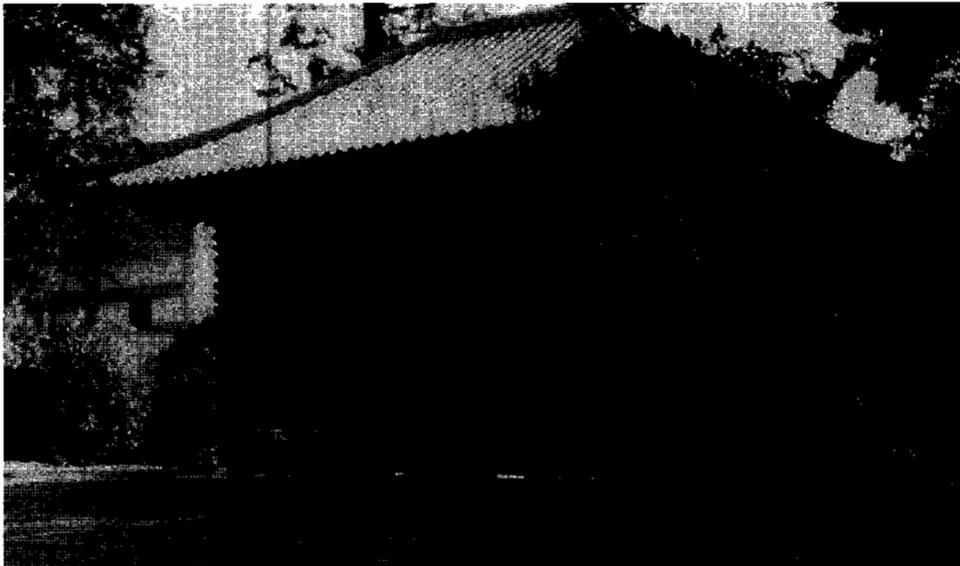


写真1 東大寺経庫（校倉造り）

少、塩化物イオンは66%の減少である。経庫内の大気汚染濃度は庫外に比して、二酸化硫黄は10%の減少、二酸化窒素は42%の減少、塩化物イオンは97%の減少である。大仏殿内には開扉と連子窓からの外気の流入とともに大気汚染物質が侵入していることがわかる。

毎年8月7日の東大寺大仏のお身拭いは、奈良の風物詩としてよく知られる年中行事である。この日、大仏は生まれ変わり再び輝きが甦える。筆者は2002年のお身拭いに参加し、桶一杯に集められた塵埃を、東大寺のご好意により採取することができた。

塵埃は大仏の頭上・膝上・蓮華座上・基壇上の4カ所に別けて採取した。何れの塵埃も、細

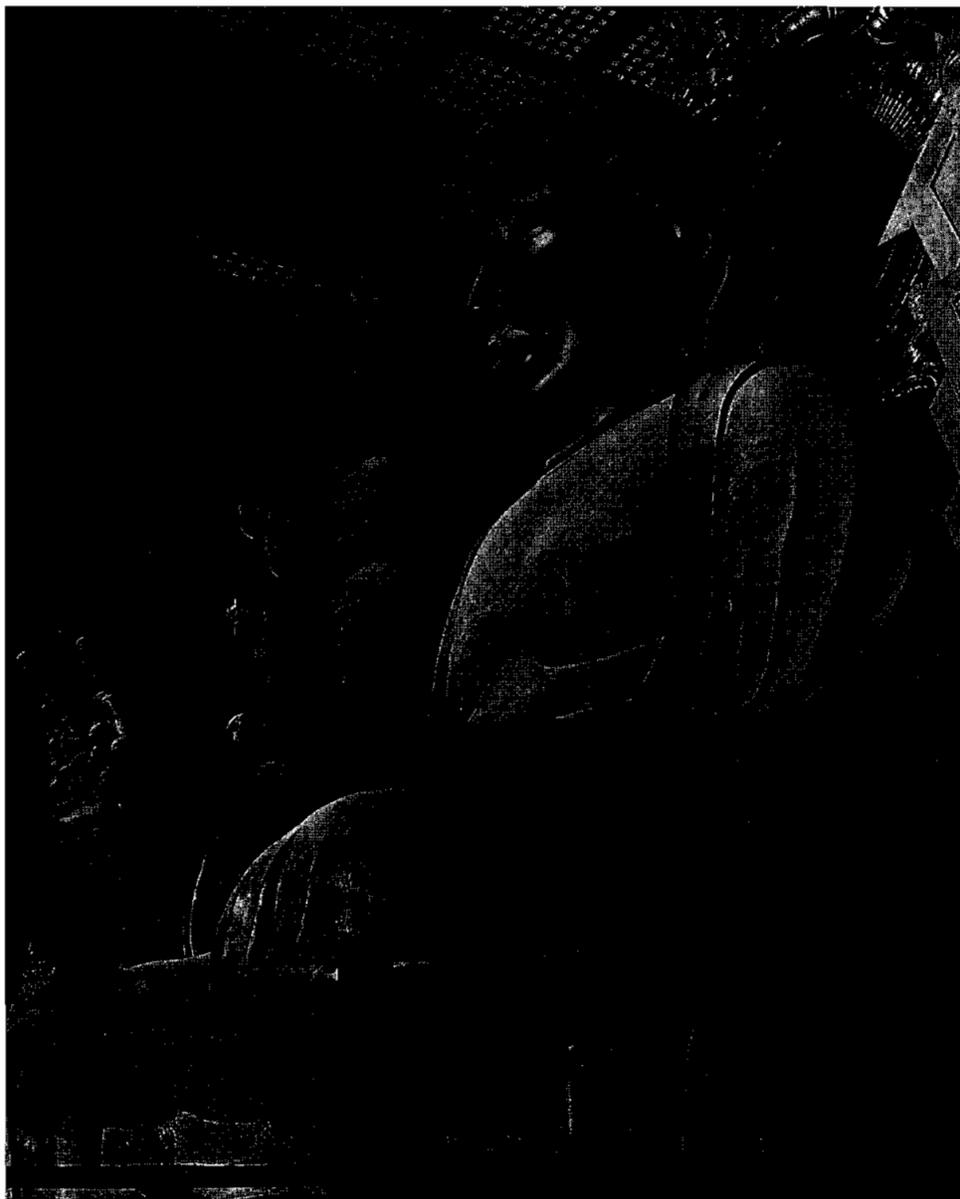


写真2 東大寺盧舎那仏（大仏）蓮華座下部や像の裳などに緑色の錆が発生している

表2 東大寺大仏の塵埃の分析

採取位置\検出イオン	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
1 頭上	○	○	◎	○	◎	◎	○	○	○	◎
2 膝上	○	-	◎	-	◎	◎	○	○	○	◎
3 蓮華座上	○	-	◎	-	◎	◎	○	○	○	◎
4 基壇上	○	-	◎	-	◎	◎	○	○	○	◎

かい土埃・綿埃、木葉・木小片・松の種、蛾・蝶・昆虫・小鳥の死骸、人工物としては金箔・朱塗木片・銅錆片などが含まれていた。

これらの塵埃のうち、細かい土埃と綿埃を採取箇所ごとに純水で化学成分を抽出し、イオンクロマトグラフィーで分析した(表2)。その結果、塵埃には金銅と化学反応して錆を発生させる陰イオン(Cl⁻・NO₂⁻・NO₃⁻・SO₄²⁻)が多く含まれること、通常の降下物に見られる陽イオン(Na⁺・NH₄⁺・K⁺・Mg²⁺・Ca²⁺)のほかに、大仏の頭上の塵埃にはリン(PO₄²⁻)が含まれていた。リンは線香や蠟燭が燃焼降下したものであろうか。

3 十輪院石造地藏菩薩の大気環境

十輪院本堂では1993年から大気環境測定を行ってきた(図3・写真3)。2002年の大気汚染濃度においては、本堂内は本堂外に比べて二酸化硫黄は24%の減少、二酸化窒素は30%の減少、

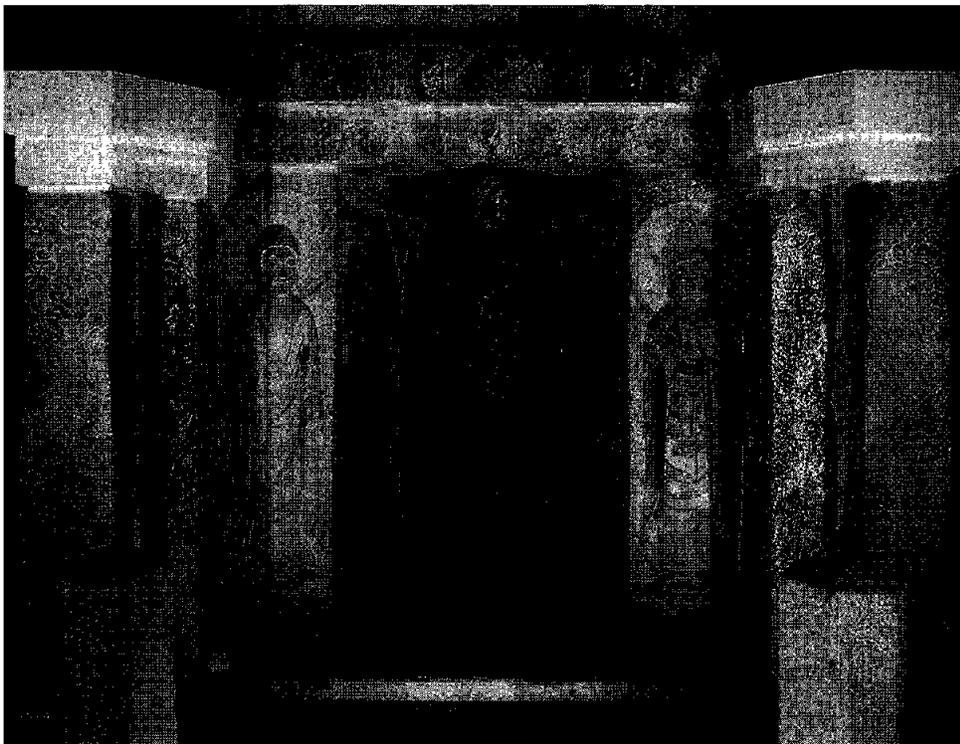


写真3 十輪院石造地藏菩薩と石仏龕 緑・赤・黒などの彩色が残っている

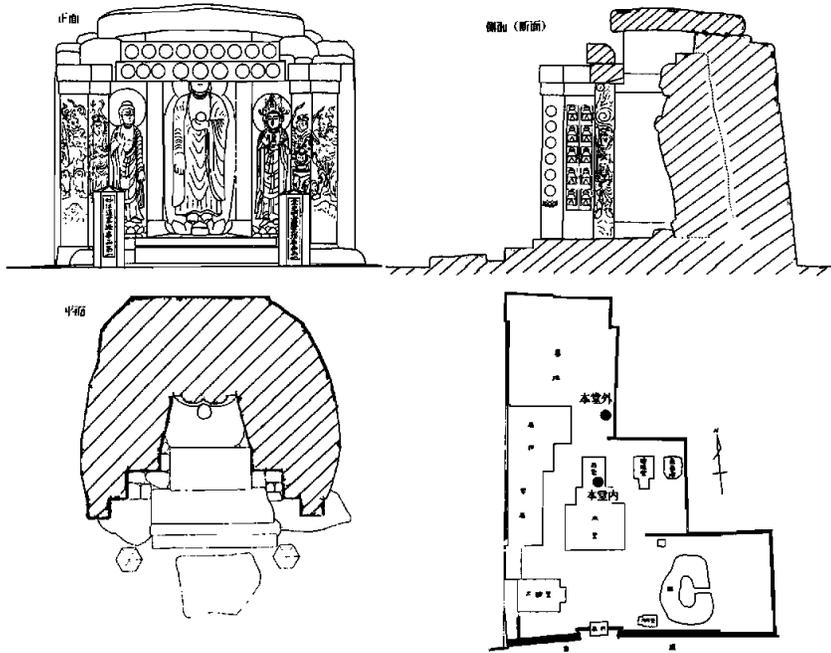


図3 十輪院における大気観測位置と石仏龕



写真4 十輪院での環境調査
左は大気汚染サンプラー 右上は石仏龕表面の塵埃の採取 右下は石材の劣化度測定

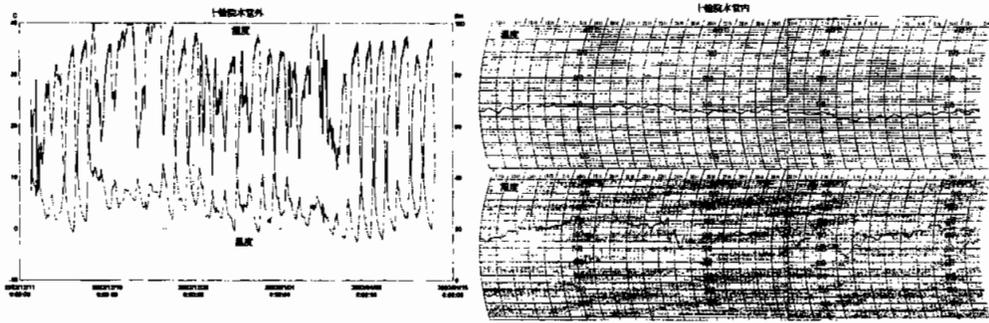


図4 十輪院本堂内外の温度と湿度（2002年12月11日～2003年1月13日）

表3 十輪院本堂の外部と内部の大気汚染濃度（2002年1月～12月）と温度・湿度

（2002年12月11日～1月13日）

	本堂外	本堂内
二酸化硫黄 (SO ₂)	3.8 ppb/day	2.9 ppb/day
二酸化窒素 (NO ₂)	12.5 ppb/day	8.8 ppb/day
塩化物イオン (Cl ⁻)	5.6 μg/100cm/day	1.4 μg/100cm/day
温度 最高 (°C) 最低	25.0°C 2.6°C (平均 5.0°C)	10.0°C 3.5°C (平均 6.8°C)
湿度 最高 (%) 最低	100.0% 34.0% (平均 74.9%)	79.0% 44.0% (平均 61.5%)

塩化物イオンは75%の減少であった。また、2002年12月11日～2003年1月13日の温湿度においては、本堂内は本堂外に比べて、温度の日較差は77%の縮小、湿度の日較差は47%縮小していることが判る（図4・表3）。また、2003年3月3日に行った石仏龕の東西南北面の照度と紫外線強度測定値も低く、彩色がよく保存されている要因の一つでもあろう。

また、石仏龕の表面のpH値、白色の析出物、石仏龕表面の塵埃の分析も行った。石仏龕表面4か所で地表からの高さを変えながらpH測定を行った。石仏龕東面では、上方に行くにしたがって酸性度が高まるが（表5）、他の3か所のpH値も同じ傾向である。白色の析出物は蛍光X線装置とX線回折装置で分析した。持国天線刻像の地表上122cmに発生している析出物はナトリウムと硫黄からなる硫酸ナトリウム、閻石の地表上8cmに発生している析出物はカルシウムと硫黄からなる硫酸カルシウムおよび硫酸ナトリウムであることが判明した（表6・図5）。石仏龕表面7か所に降下している細かい塵埃を採取し純水で化学成分を抽出し、イオンクロマトグラフィーで分析した（表7）。

その結果、陰イオンではF⁻・Cl⁻・Br⁻・NO₃⁻・SO₄²⁻、陽イオンではNa⁺・NH₄⁺・K⁺・Mg²⁺・Ca²⁺が検出された。

表4 石仏龕の照度と紫外線強度の時間変化

位置	時刻	照度(Lux)	紫外線強度
石仏龕南面 (正面)	10:30	580	1.7
	12:00	1510	4.7
	16:30	32	0.1
石仏龕東面	10:30	931	2.8
	12:00	3620	11.2
	16:30	89	0.2
石仏龕北面	10:30	821	2.5
	12:00	1375	4.7
	16:30	28	0.1
石仏龕西面	10:30	922	2.7
	12:00	3480	8.6
	16:30	75	0.2

表5 石仏龕東面の表面pH値

測定位置	pH
210cm	3.65
150	4.60
100	5.05
50	5.60
20	6.45
10	5.75
5	6.10
1	6.35
0	5.85
純水	6.15

測定位置は地表よりの高さ

表6 析出物の組成分析(蛍光X線分析)

元素	持国天像 (122cm)	多聞天像 (136cm)	閻石 (8cm)
Na	47.8	6.5	10.0
Al	0.0	9.0	2.9
Si	1.1	20.3	6.3
S	48.3	1.6	24.6
Cl	0.1	1.4	1.2
K	0.5	4.5	2.3
Ca	1.0	49.5	40.3
Ti	0.1	0.6	0.5
Fe	1.1	6.6	3.9

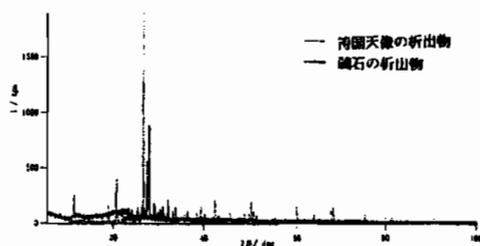


図5 析出物の組成分析(X線回折分析)

表7 十輪院石仏龕の塵埃と奈良市の粒子状物質の分析

十輪院石仏龕の塵埃の分析 (μg/ml)												
	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
龕上	0.05	0.83	0.00	0.00	1.46	0.00	14.17	1.03	0.28	0.52	0.47	6.22
2 m	0.06	0.53	0.00	0.00	0.53	0.00	1.49	0.32	0.07	0.12	0.06	0.82
1 m	0.06	0.86	0.00	0.00	9.03	0.00	4.81	2.10	0.03	1.05	0.21	5.70
地表	0.08	1.55	0.00	0.00	10.01	0.00	9.50	2.18	0.08	0.96	0.39	9.19
平均	0.06	0.94	0.00	0.00	5.26	0.00	7.49	1.41	0.12	0.66	0.28	5.48

奈良市における粒子状物質の年平均濃度 (μg/m ³)												
	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
	0.00	0.81	0.00	0.00	2.98	0.00	5.49	0.67	2.14	0.24	0.12	0.56



写真5 東大寺盧舎那仏のお身払い 1年に1度のこの行事は大仏の劣化を防いでいる

4 結 論

東大寺金堂盧遮那仏と十輪院石造地藏菩薩は大気汚染や温湿度変化・光などの外気環境から、木造建造物である大仏殿や本堂によって守られているとはいえ、汚染物質を含んだ大気は入り口や窓、建物の隙間などから容赦無く建物内に進入し、その影響は日々重なり徐々に文化財の劣化は進んでいる。

盧遮那仏の表面に積もった塵埃中の酸性物質は、湿度の高い梅雨時などに発生する盧遮那仏の表面結露に溶け込んで、塩酸・硫酸・硝酸の水溶液となって金銅の盧遮那仏を侵し錆を発生させている。この原因の一つである大気汚染物質を含む塵埃を一年に一度取り除くお身拭いは、盧遮那仏の腐食を防止する極めて効果の高い保存管理法である。

十輪院石仏の表面に発生している白色析出物は石材表面を剥落させている。地面近くにおいては地下水の上昇と溶出による石材中のカルシウム・ナトリウムと大気および塵埃中の硫黄酸化物が結合して硫酸カルシウムと硫酸ナトリウムとなり、上部では酸性物質を含む塵埃および大気水分の結露により石材中のナトリウムが溶出・結合して硫酸ナトリウムとなっている。

従来考えられているように、金銅盧遮那仏や石造地藏菩薩の保存には、基壇を上昇してくる地下水の道を断ち切ることとともに、結露の防止、塵埃の除去、大気汚染の軽減など総合的

な環境整備が必要である。

本研究を実施するにあたって、東大寺および十輪院のご協力をいただいたことに感謝します。

また、本学卒業生・峠美穂、保存科学研究室共同研究員・林國郎のほか、本学大学院生・学部生の協力があった。