

大気汚染が文化財に与える影響

― 石造文化財と金属製文化財の被害 ―

西山要一

一、はじめに

文化財とは、私達の祖先が、政治・経済・文化・生産・日常生活等の諸活動の場で創りだした作品や技術などの貴重な歴史的・文化的な遺産であるとともに、私達は文化財から歴史や、文化や、思想や、技術を学び、これを礎に現在の、未来の私達の社会や文化のあり様を考えるうえでも、欠くことのできないものである。

多種多様な文化財のなかでも、とりわけ建造物・工芸品・絵画・彫刻・古文書・考古資料・民俗資料などの有形文化財は、金属・石材・木材・繊維・紙・皮革など様々な素材を単一または複数組み合わせで製作されていて、年月の経過と共に黴・虫・温湿度変化・紫外線などが原因となって、腐食・錆化・褪色が徐々に進み、あるいは素材そのものの劣化によって、やがて消滅する。このような自然環境に起因する文化財の劣化は、伝統的修理技術や合成樹脂を使った科学的保存処

理技術によって防止し、修復・保存することが可能となってきた。

しかし、近年、文化財劣化の新しい要因として大気汚染が着目されてきた。しかし、そのメカニズムの完全な究明と防止策の確立されないうちに、大気汚染は文化財を腐食し、変褪色させ、劣化させている。汚染大気はあらゆる場所に侵入し、様々な文化財に悪影響を与え、多くの文化財が今まさに崩壊しつつあるように思われる(表1)。

さて、大気は、陰イオンの SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^- や陽イオンの Na^+ 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} などの多くの汚染物質を含むが、特に陰イオン物質を多く含むと強い酸性大気となる。雨が陰イオン物質を多く含む水素イオン濃度 (pH) 5.65 以下になると酸性雨と呼ばれる。中でも、硫酸酸化物 (SO_x)、窒素酸化物 (NO_x)、塩素イオン (Cl^-) 等の酸性因子が文化財劣化の主原因となっている(表2)。

大気汚染・酸性雨による文化財の顕著な被害例を、石造文化財と青銅文化財に見る。

表1 文化財に影響を与える主な大気汚染因子

文化財の種類	主な大気汚染因子	文化財の変化
石造文化財	酸性雨・酸性霧・SO _x ・NO _x ・Cl ⁻ 等	溶解・劣化
金属文化財	酸性雨・酸性霧・SO _x ・NO _x ・Cl ⁻ 等	腐食・変色等
木造文化財	酸性雨・酸性霧・SO _x ・NO _x ・Cl ⁻ 等	劣化・変色等
壁画・顔料	酸性雨・酸性霧・SO _x ・NO _x ・Cl ⁻ 等	剥落・変色等
油彩画	アンモニア	油劣化・ニス白濁
染織品	SO _x ・NO _x ・Cl ⁻ ・O ₃ 等	変色・褪色・劣化
紙・皮革	SO _x ・NO _x ・Cl ⁻ ・O ₃ 等	変色・褪色・劣化
ガラス	SO _x ・NO _x ・Cl ⁻ ・O ₃ 等	白濁

表2 各地の大気汚染濃度

地名	雨水pH	SO ₂	NO ₂	Cl ⁻
ギリシア・アテネ (*1, 2)	5.0	90.0 μg/d/m ³ 12.0ppb	120.0 μg/d/m ³ 30.7ppb	23.0 μg/d/100cm ³
イタリア・ローマ (*21, 2)	4.5	30~130ppb 5.3ppb	18.7ppb	29.3 μg/d/100cm ³
イタリア・フィレンツェ (*2)		17.7ppb	39.3ppb	42.3 μg/d/100cm ³
イタリア・パドヴァ		2.20mg/d/100cm ³		
イタリア・ベネツィア (*2)		4.0ppb	16.3ppb	24.0 μg/d/100cm ³
ドイツ・ケルン (*5)	4.6	125.0mg/d/m ³		
アメリカ・ニューヨーク (*17)	4.3	SO ₄ ²⁻ : 2.5 μg/ml	NO ₃ ⁻ : 1.5~2.0 μg/ml NH ₄ ⁺ : 0.2~0.3 μg/ml	
韓国・ソウル (*18, 28)	4.2		33~60ppb	
韓国・慶州	5台			
日本・奈良(東大寺) (*18)	4.7	18.2 μg/d/100cm ³ 3.6ppb	64.3 μg/d/100cm ³ 10.5ppb	6.1 μg/d/100cm ³
日本・大分 (*13)	4~5			

二、石造文化財の被害

ヨーロッパの石造文化財、とりわけ大理石や石灰岩・凝灰岩・砂岩で作られた建造物や彫刻に、酸性雨や汚染大気が大きな影響を及ぼして、石造文化財の表面を溶かして価値を半減させ、また、石造文化財そのものを消滅に至らしめる例も少なくない(表3)。

(1) パルテノン神殿の被害

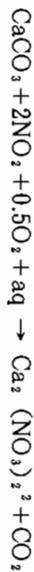
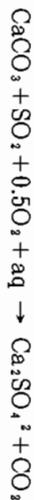
ギリシアの首都アテネ市の中心に聳えるアクロポリスの丘、市街のあらゆる位置から望むことのできるこの丘は、古代も現代もアテネの政治・文化・芸術の求心点である。丘の上には、パルテノン・アテナニケ・エレクティオン等の神殿、周囲には、劇場・アゴラ・図書館等の古代建造物が保存されていて、ギリシア文明の象徴をなしている。

紀元前五世紀ころに建設されたパルテノン神殿は古代ギリシア文明の象徴であると同時に、大気汚染と文化財保存の戦いの世界的象徴でもある。パルテノン神殿の建築材料は、アクロポリスの東約一〇キロメートルのペンテリコン山から切り出され、彫像類の材料はギリシア各地から採取された、共に良質の大理石である。

一九七〇年代から、酸性雨や酸性の大気の影響でパルテノン神殿の柱や彫刻の表面が溶け落ちてディテールが失われるに及んで、パルテノン神殿を解体して博物館に収容展示することが真剣に検討されたこ

ともあった。アテネ市には全土の人口の三分の一、自動車・工場の半ばが集中していると言われ、炭酸ガス・硫黄酸化物・窒素酸化物・塵埃等による大気汚染が著しい。一九八八年の雨水pHは年平均で5前後であるが、二酸化硫黄(SO₂)は90.0μg/day/μ³、二酸化窒素(NO₂)は120.0μg/day/μ³、一九九二年の筆者の測定では、二酸化硫黄は12.0ppb、二酸化窒素は30.7ppb、塩素イオンは23.0μg/day/100μ³を記録している²⁾。

アクロポリスの大理石の彫像や建築材の表面では、酸性雨や炭酸ガス・硫黄酸化物・窒素酸化物によって、化学変化が起こり、半透明の美しい大理石が白色不透明な石膏に変化し、かつ醜く黒く汚れ、剥離している部分もある。その化学反応は次の式であらわされる(写真1、2)。



一九七〇年代には、パルテノン神殿の黒く汚れた柱の表層(石膏層)をエアブラッシュで削り落として大理石本来の色を蘇らせる処置がなされてきたが、結果的にはオリジナルの表面を削ってしまうので、現在では行われていない。特に優美なパルテノン神殿のフリーズの彫刻やエレクティオン神殿の女神像柱は、オリジナルを博物館に収蔵展示し、レプリカを原位置に置くことにしている。さらには、彫像表面

を蒸留水で洗浄して汚れを落とすと同時に、表面に形成された石膏層 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) を再び CaCO_3 に戻す化学処理の実験・研究がされている。

(2) ケルン大聖堂の被害

ドイツ中西部のライン川沿いにあるケルン市はローマ時代から城砦都市として栄えた。市街の地下には広大な都市遺跡が埋蔵されている。ケルン大聖堂は、四世紀のキリスト教会を前身建物として九度の増改築を経て一四世紀に一五七メートルの尖塔をもつゴシック様式の重厚な大聖堂の現在の形ができあがった。その後も今に至るまで、付属の工房技術者によって建設・修理が行われている。大聖堂は増築・修復された時代、そして基礎部と尖塔部のような部位によって様々な石材が選択使用されている。砂岩・粗面岩・石灰岩・玄武岩等のドイツ産石材のほか、フランス産石灰岩も使われ、その種類は八種以上にのぼる。

ルール工業地帯の一角をなすケルン市は、冬季になるとヨーロッパ北部独特のどんよりした曇り空が続き、工場・家庭暖房・自動車等から出る排煙・排気ガスに覆われる。硫黄と塩素、フッ素が混在する汚染ガスや酸性雨・酸性霧は激しい化学反応を起こして石材の表面を侵し、方解石・白雲石の結晶を形成して、厚さ1cmほどの表面剝離やチョーキングをおこし、カリフラワー状の劣化を生じさせ、一五〜二〇cmもの大きな穴状の破壊をももたらしている(写真三・四)。ケルン大聖

堂ではスクライトドルフ砂岩がもつとも大きな被害を受け、風の強くあたる建物の高い部分ほど大きな被害を受けている。因みに一九八八年のケルン市での年平均の雨水pHは4.6前後、ケルン大聖堂周辺では一九七三年に、二酸化硫黄濃度 125.0mg/day/m^3 を測定している。

ケルン大聖堂の本格的な保存研究と修復は一九七二年に開始された。建物各所に配されている石造彫刻の黒い汚れは、樹液より抽出した自然薬品により徐々に溶かして蒸留水でクリーニングし、破損の著しい彫刻は同質石材によって二体のレプリカを作り、レプリカ一体はもと位置に設置し、残るレプリカ一体とオリジナルは将来の補修の原型用として保存する、破損の軽微な彫刻や劣化の激しい建物の壁はアクリル樹脂を塗布含浸して保存処理するなどの試みが行われている。基本はあくまでも天然素材の薬液や蒸留水によるクリーニングであり、伝統的の石工技術による修復である(写真五)。

(3) 日本および東アジアの石造文化財の被害

日本にも、石人、石馬、石碑、石塔婆、石仏から近現代の石像彫刻や石造建築まで、石材も凝灰岩・砂岩・安山岩・花崗岩・大理石・石灰岩など多岐にわたる膨大な石造文化財が存在している。

古代の難波と飛鳥・藤原京を結ぶ幹線道路であった竹之内街道が金剛葛城山系を二上山の南側で越える竹之内峠の傍らに、奈良時代創建の鹿谷寺がある。今は廃寺となり果てているが、残された高さ約五・二mの十二重層塔と浮彫りの仏像、門と思われる遺構が往時の伽藍の

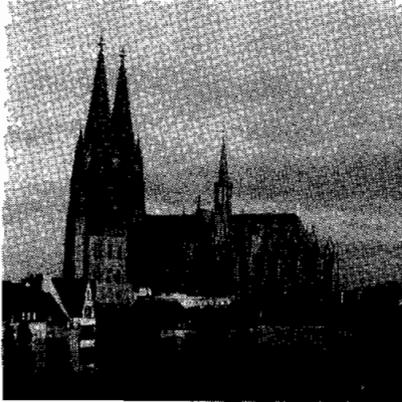


写真3

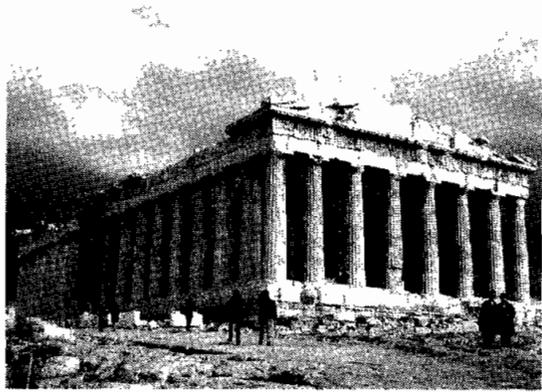


写真1

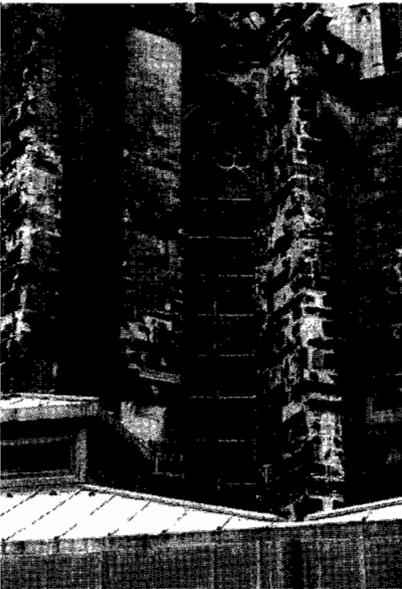


写真4

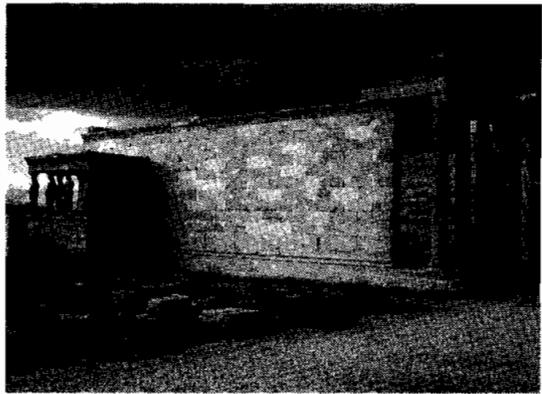


写真2

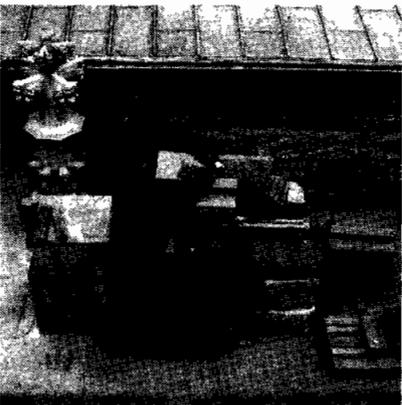


写真5

- 写真1 ギリシャ・アテネ・パルテノン神殿 フリーズの浮彫は表面を酸性大気に侵されて、その繊細さは既に失われている(1995年)。
- 写真2 ギリシャ・アテネ・エレクティオン神殿 カリアテッド(女神像の柱)は酸性大気に侵され、顔の表情すら判別し難くなった。今は博物館に収蔵されている。建物の修復にはレプリカが使われている(1995年)。
- 写真3 ドイツ・ケルン・ケルン大聖堂 建物全体が煤煙に汚れ、酸性大気に侵されてまるで黒い石材を使っているのかと見紛う(1995年)。
- 写真4 ドイツ・ケルン・ケルン大聖堂 砂岩の壁は酸性大気に侵されて10cmもの深さで剥落している(1995年)。
- 写真5 ドイツ・ケルン・ケルン大聖堂 痛みがひどく再使用不可能な部材は、オリジナルと同石材・伝統技法で造った精密なレプリカを修復に使用する(1995年)。



写真7



写真6

写真6 大阪府・鹿谷寺十三重層塔(左)と石仏(右)(1995年)。

写真7 大阪府・鹿谷寺十三重層塔 大気汚染に侵されて黒く汚れ、表面は層状に剥離している(1995年)。

写真8 奈良県・東大寺八角灯籠 現在保存処理が行われている(1992年)。

写真9 奈良県・東大寺八角灯籠細部 大気汚染に侵されて、傘の裏側や床部だけでなく、透し浮彫の音声菩薩にも緑青が現れている(1992年)。

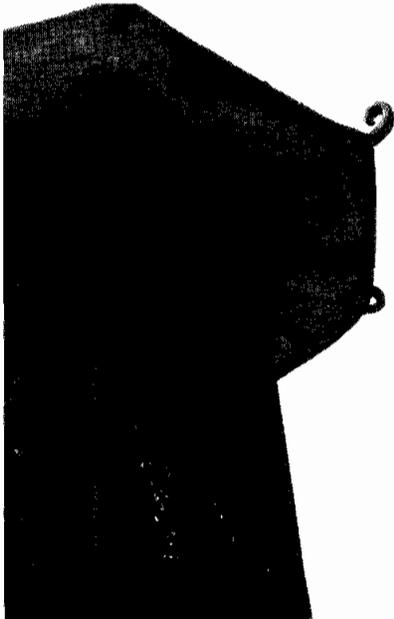


写真9

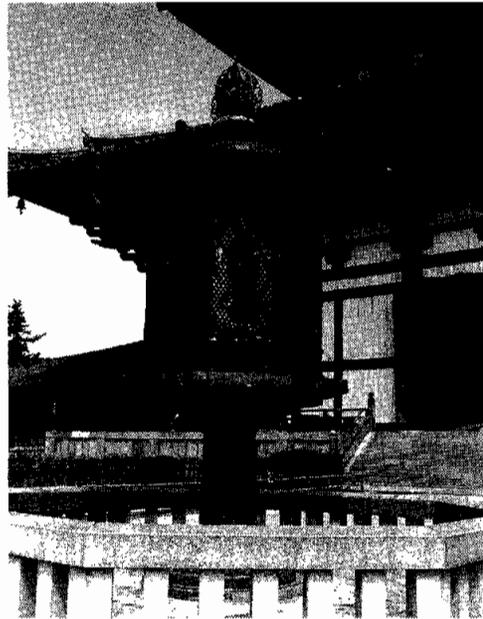


写真8

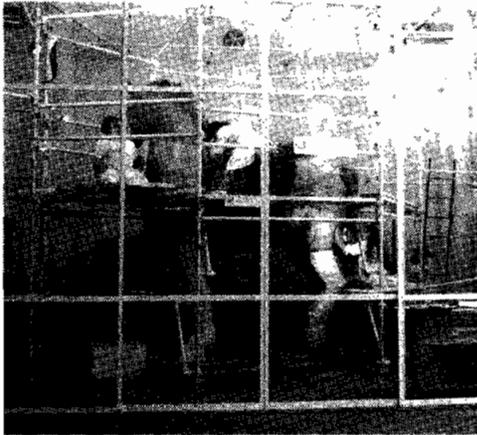


写真11



写真10



写真13

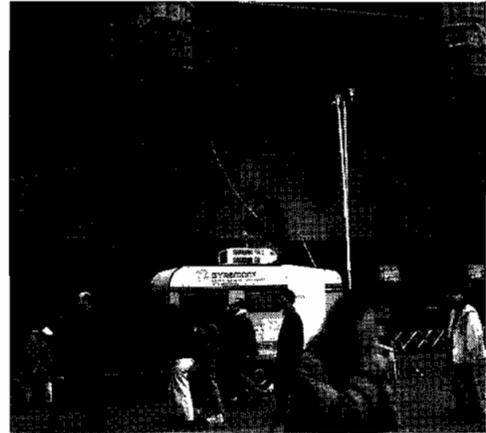


写真12



写真14

写真10 イタリア・ローマ・マルクス・アウレリウス騎馬像 修復を終えてカピトリノ美術館に展示されているオリジナル。大気汚染に再び侵されないように厳重なガラスケースに収められている (1995年)。

写真11 イタリア・ローマ マルクス・アウレリウス騎馬像のレプリカ製作。オリジナルを前にして寸分違わぬように丹念に整えていく。レプリカ製作作業はカピトリノ美術館参観者の目の前で進められている (1995年)。

写真12 イタリア・フィレンツェ シニョーリア広場の大気観測車 (1995年)

写真13 イタリア・フィレンツェ・メドーサの首をもつベルセウス像 ロジアの屋根の下にあるが、

汚染大気による錆が像を蝕くしている。現在は博物館に収蔵されている (1995年)。

写真14 イタリア・フィレンツェ シニョーリア広場のコジモⅠ世像には修復のための足場や覆い枠が取り付けられている (1995年)。

表3 大気汚染による石造文化財の被害

文化財の名称	大気汚染による生成物又は検出物
ギリシア・アテネ パルテノン神殿・エレクティオン神殿 ^(*)3,4)	硫酸カルシウム (Ca ₂ SO ₄)
イタリア・パドヴァ スクロベニ礼拝堂フレスコ画 ^(*)24)	硝酸カルシウム (Ca ₂ (NO ₃) ₂) ²⁾ 硫酸カルシウム
イタリア・ヴェネチア サンマルコ教会大理石像・壁	硫酸カルシウム
ドイツ・ケルン ケルン大聖堂 ^(*)5,6,7)	炭酸カルシウム (方解石・CaCO ₃)、白雲石
ドイツ・ウェストファリ 石製彫刻 ^(*)26)	硫酸鉄
インド・アグラ タージマハール大理石外壁 ^(*)24)	
中国・楽山市 石像大仏 ^(*)15)	
中国・北京 故宫博物院石樋 ^(*)26)	
韓国・ソウル市 国立博物館石塔	
愛知県・明治村聖ヨハネ教会堂煉瓦壁 ^(*)12)	テナルダイト (Na ₂ SO ₄)、 アフシタライト (K ₂ Na(SO ₄) ₂)、 トロナ (Na ₃ H (CO ₃) ₂ ・2H ₂ O)、 サーモナトライト (Na ₂ CO ₃ ・H ₂ O)
京都府・京都国立博物館石灰岩多宝千仏石櫃 ^(*)11)	硫酸カルシウム (CaSO ₄ ・2H ₂ O)
大分県・別府市美術館安山岩塔 (五輪塔等) ^(*)10)	NO ₃ , Ca 等
大分県・別府市国東塔・石製灯籠 (安山岩) ^(*)10)	SO ₄ ²⁻ , Na 等
大分県・普光寺不動明王磨崖仏 (凝灰岩) ^(*)10)	Ca, SO ₄ ²⁻ 等

賑わいを思い起こさせる。この付近の山塊は凝灰岩よりなり、十三重層塔と浮彫りの仏像は、岩盤の凝灰岩を彫り残して造られている^⑧。

鹿谷寺跡は疎林に囲まれて一見、大気汚染とは縁遠いように見えるが、塔は塵埃に汚れ、酸性大気と酸性雨に侵されて、傘は欠け落ち表面のいたるところで剥落や溶解が見られる(写真六・七)。因みに、鹿谷寺跡での大気汚染測定は行われていないが、西側の大阪府柏原市と富田林市では二酸化硫黄5～6ppb^⑨、二酸化窒素17～18ppb^⑨、東側の奈良県王寺町では二酸化硫黄5～11ppb^⑩、二酸化窒素20～40ppb^⑩を測定している。特に奈良県側では、大阪平野の大気汚染が西風によって、大和川の谷を吹き抜け、或いは金剛葛城山系の鞍部の竹之内峠を上昇して汚染濃度を濃縮させながら吹き抜け、奈良盆地に扇状に広がる様子が知られている。

京都国立博物館の中国・遼代の石灰岩多宝千仏石櫃(一一世紀)は、一九二〇年代前半に日本にもたらされ、一九二七年から一九七二年までの四五年間風雨に曝されて、しだいに表面が溶解し、銘文・文様の判読ができなくなった。表面の白色析出物を分析したところ、硫酸カルシウムが検出されて、硫酸化物を含んだ酸性雨と大気汚染の被害であることが確かめられた^⑪。また、愛知県犬山市明治村の聖ヨハネ教会堂の煉瓦壁が大気汚染・酸性雨に起因する硫酸ナトリウムなどの結晶の生成によって表面の剥落が進んでいる^⑫。同じように、大分県の安

山岩や凝灰岩の石塔・石仏も大気汚染・酸性雨に起因する硫酸ナトリウムや硫酸カルシウムなどの結晶の成長によって表面の剥落が進んでいる¹³⁾。

インド・タジマハールの大理石建造物は、現地が緑濃い自然に恵まれた環境にあるにも関わらず、地球規模での大気汚染・酸性雨に起因すると思われる激しい変色が見られ、中国・秦山市の石造大仏では、pH4台の酸性雨と大気汚染による硫酸鉄の析出等の被害が見られ¹⁴⁾、北京・故宮博物院の大理石製楹、天安門前の大理石製獅子像にも、層状剝離・溶解等の劣化が見られる¹⁵⁾。韓国・ソウルの国立中央博物館の庭にある三国時代、統一新羅、高麗時代の石灰岩や砂岩、花崗岩で作られた石塔、石像は、表面が塵埃に覆われて黒色に汚れ、表面剝離するとともに、隅部が欠け落ちたり、溶けるように丸まっている。ソウル大学では一九八五～八九年の雨水のpHは4.2～4.4¹⁶⁾、一九九四年四月の筆者によるソウル市内の二酸化窒素濃度は33～60ppbを観測している¹⁷⁾。酸性雨・大気汚染の被害であることは確実である(表3)。

三、金属製文化財の被害

金、銀、銅、青銅、鉄、鉛等様々な金属で文化財は作られる。中でも、銅と錫に少量の鉛・砒素などを加えた合金である青銅(ブロンズ)は、加工性・見目・保存性ともに良い。ブロンズは長く屋外において

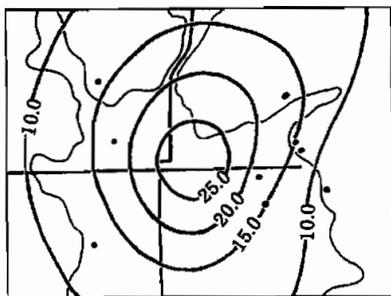
も、表面に黒灰色の塩基性炭酸銅の緻密な錆層がしだいに形成されて皮膜となり内部を保護して、それ以上錆が内部に進行しない。そうした性質を知って、人類はブロンズを建築や記念像や装飾品などに広く利用してきたのである。

しかし、幾百年・幾千年と保存されてきたブロンズの文化財も、酸性雨や大気汚染によって、表面の塩基性炭酸銅の皮膜が溶かされあるいは破られ、進行性の塩基性硫酸銅や塩基性塩化銅の錆にとってかわられて、鮮やかな黄緑色に変色してしまい、腐食・劣化が急速に進んでいる(表4)。

(1) 東大寺大仏殿金銅八角灯籠の被害

八世紀半ば、日本の国家事業として行われた東大寺大仏の建立と共に作られた灯籠は、銅と錫の合金すなわち青銅で鑄造され、金鍍金に輝く灯籠であった。以来、一二五〇年間風雨に曝されて表面の鍍金は失われたものの黒灰色の落ちついた姿を保ってきたが、最近二〇～三〇年ほどの間に、黄緑色に色調が変化し、大気汚染の影響ではないかと懸念されていた(写真八・九)。

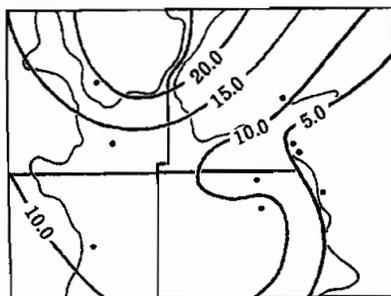
奈良大学文学部文化財学科保存科学研究室の筆者らは、一九八七年より奈良盆地の北部の東大寺を含む文化財密集地域で大気汚染の測定と文化財に対する影響の調査研究を行ってきた。この調査は、文化財所在地九箇所一九地点において二酸化硫黄、二酸化窒素、塩素イオンの濃度を測定すると同時に、五種の金属板・一色の彩色板・五色の



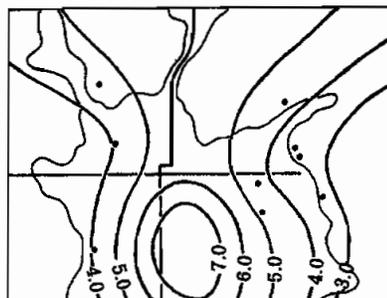
二酸化窒素 (NO₂) 単位: ppb



大気汚染とその影響観測点



塩素イオン (Cl⁻) 単位: μg/100cm³



二酸化硫黄 (SO₂) 単位: ppb

図1 奈良盆地北部における大気汚染濃度分布
(1990年4月~1992年3月の日平均値)

染色布をテストピースとして曝露して、定期的に色彩変化の計測や表面生成物の分析を行い、大気汚染と金属腐食、顔料・染色の変色の因果関係を調査するものである(図一)。

その結果、奈良市の雨水のpHは平均4.7、東大寺の大気中の二酸化硫黄濃度は18.2 μg/day/100cm³ (3.6ppb)、二酸化窒素濃度は64.3 μg/day/100cm³ (10.5ppb)、塩素イオン濃度は6.1 μg/day/100cm³と測定された。また、金属テストピースの腐食生成物からは硫黄と塩素が検出され、これらの大気汚染因子濃度の多少が金属腐食と顔料・染料の変色に寄与していること、特に、ゴミの焼却により発生する塩素イオンの影響の大きいことが判明した⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾。

その後、東京国立文化財研究所が行った金銅八角灯籠の錆の分析によると、汚染因子として硫黄と塩素が検出されるとともに、腐食生成物として塩基性硫酸銅(プロコクタイトCuSO₄・3Cu(OH)₂、アントレライトCuSO₄・2Cu(OH)₂)および塩基性塩化銅(アタカマイトCuCl₂・3Cu(OH)₂)が検出され⁽²⁰⁾、奈良大学の調査結果が証明されることになった。

(2) 海外の金属文化財の被害

イタリア・ローマの中心地の大気汚染は甚だしく、二酸化硫黄濃度は最低30~40ppb、最高120~130ppbに達する⁽²¹⁾。筆者の一九九二年の測定では、二酸化硫黄濃度5.3ppb、二酸化窒素濃度18.7ppb、塩素濃度29.3 μg/day/100cm³である⁽²²⁾。測定日が土・日曜日であったこと

表4 大気汚染による金属文化財の被害

文 化 財 の 名 称	大気汚染による生成物又は検出物
イタリア・ローマ マルクス・アウレリウス騎馬像 ^(*)22) イタリア・フィレンツェ コジモⅠ世騎馬像等 イタリア・ヴェネツィア サン・マルコ聖堂4頭の青銅馬など アメリカ・ニューヨーク 自由の女神像 ^(*)23)	塩基性硫酸銅 (CuSO ₄ ・3Cu(OH) ₂) 塩基性硫酸銅 (CuSO ₄ ・2Cu(OH) ₂) 亜酸化銅 (Cu ₂ O)
大韓民国・慶州 聖徳大王神鐘(エミレの鐘) 栃木県・東照宮御旅所本殿 銅板葺き屋根 ^(*)24) 東京都・東京国立博物館表慶館銅板葺き屋根 ^(*)24) 東京都・赤坂離宮 銅板葺き屋根 ^(*)24) 神奈川県・高德院(長谷大仏) ^(*)27)	塩基性硫酸銅 (CuSO ₄ ・3Cu(OH) ₂) 塩基性硫酸銅 (CuSO ₄ ・3Cu(OH) ₂) 塩基性硫酸銅 (CuSO ₄ ・3Cu(OH) ₂) 塩基性硫酸銅 (CuSO ₄ ・3Cu(OH) ₂) 硫酸鉛
京都府・平等院 銅鐘・阿弥陀堂扉金具 ^(*)24) 京都府・浄瑠璃寺三重塔 青銅製相輪・九輪 ^(*)24) 京都府・京都国立博物館 考える人	塩基性硫酸銅 (CuSO ₄ ・3Cu(OH) ₂) 塩基性硫酸銅 (CuSO ₄ ・3Cu(OH) ₂) 塩基性硫酸銅 (CuSO ₄ ・3Cu(OH) ₂) 水酸化銅 (Cu(OH) ₂)
奈良県・東大寺 青銅製八角灯籠 ^(*)24)	塩基性硫酸銅 (CuSO ₄ ・3Cu(OH) ₂) 塩基性硫酸銅 (CuSO ₄ ・2Cu(OH) ₂) 塩基性塩化銅 (CuCl ₂ ・3Cu(OH) ₂) 塩基性塩化銅 (CuCl ₂ ・3Cu(OH) ₂) 塩基性硫酸銅 (CuSO ₄ ・2Cu(OH) ₂) 塩基性塩化銅 (CuCl ₂ ・3Cu(OH) ₂) 塩化第一銅 (CuCl)
岡山県・宝福寺三重塔 ^(*)24)	
島根県・日御崎神社 銅製飾金具 ^(*)24)	

測定地点がテルミニ駅近くのホテルの七階であった為か、かなり低めの測定値である。

ローマの中心地、市役所前のミケランジェロ設計によるカンピドリオ広場にあるマルクス・アウレリウス騎馬像(ブロンズ、二世紀)は、一七〇〇年間露天におかれ雄々しい姿を見せていたが、近年、大気汚染による腐食が甚だしく、亀裂が入ったり部分欠失したり、美しい鍍金も多くが失われ、また、パーツごとに分解し始めたため、一九七九年より保存処理・修復が行われた。保存処理・修復は錆の進行を防止するために、界面活性剤EDTAや、精密グラインダー、マイクロハンマーを使った錆取り、防錆剤を使った処理、アクリル樹脂パラロイドB-12の三度の塗布、原形に調和した欠失部の復原、水性絵具による古色仕上げ、等によりおよそ一年を掛けた作業は一九九〇年に完了した。

しかし、こうした科学的保存処理を実施しても、なおかつ大気汚染から完全に守ることは難しいとの保存科学者・修復士の主張が受け入れられて、今はカピトリノ美術館に展示されている(写真一〇・一)。⁽²⁾そして、原位置には精巧なレプリカが設置されている。

ヴェニスでは地盤沈下による文化財の危機が叫ばれているが、大気汚染による文化財の劣化も同様に激しく、対岸のメストレやパドヴァからの大気汚染の飛来と海からの塩素の影響が大きい。筆者の一九九二年の測定では、二酸化硫黄濃度4.0ppb、二酸化窒素濃度16.3ppb、塩

素濃度 $24.0 \mu\text{g/day}/100\text{cm}^2$ である⁽³⁾。ローマと同様、ヴェニスに至る所で、建物・壁画・彫刻・絵画などの修理が行われている。ヴェニスの中心、サン・マルコ聖堂の四頭の青銅馬（紀元前三〜五世紀製作）、サン・ジョバンニ・エ・パオロ教会前のアンドレア・デル・ヴェロッキオ作コレオーニ將軍騎馬像（一四七九〜八八年）等も同様に激しく錆が進み、前者は前述のマルクス・アウレリウス騎馬像に先だって科学的保存処理が行われ、現在はサン・マルコ聖堂博物館に収蔵展示されている。聖堂ファサードにはレプリカの四頭の馬がおかれている。

フィレンツェはアルノ川中流の盆地にあって、大気の淀みやすい地形が大気汚染による文化財の劣化を著しくしている。大気汚染観測が臨時に行われている（写真二二）。筆者の一九九二年の測定では、二酸化硫黄濃度 17.7ppb 、二酸化窒素濃度 39.3ppb 、塩素濃度 $2.0 \mu\text{g/day}/100\text{cm}^2$ である⁽³⁾。フィレンツェの中心、ヴェッキオ宮殿前のシニョーリア広場にある、ジャンボローニャ作のコジモ一世騎馬像（一五九八年、写真一三）、ネプチューン噴水の河の女神たち、広場に面するロッジアにあるベンヴェヌート・チェッリーニ作のメドーサの首をもつペルセウス像（一五五三年、写真一四）などのブロンズ像の表面は、凹部は煤塵に黒く、凸部は鮮やかな黄緑色の錆に覆われて、痛ましい姿を曝している。コジモ一世騎馬像は保存処理が行われた後、原位置に置き、定期的な保存処置がなされている。また、メドーサの首をもつペルセウス像は博物館に収蔵展示されている。大気汚染状況調査にもと

ずいて、これらのブロンズ像は、放置しておけばいずれ消滅の危機に至るだろうとの判断からとられた措置である。

アメリカ・ニューヨークのマンハッタン島の先のリパティール島に立つ自由の女神像は、フランスがアメリカ建国を記念して一八八六年に贈ったものである。一九八〇年の調査によって鉄骨の本体に貼った銅板の腐食が著しく進み、分析調査の結果、亜酸化銅、塩基性硫酸銅が生成されていることが判明した。特にマンハッタンの方向すなわち風上側の北側より反対の風下側の南側に腐食生成物が多いという、大気汚染特有の影響が見られた。その腐食速度は $1 \mu\text{m/year}$ と測定されている。腐食の著しい鉄骨はステンレス鋼に交換し、銅板はクリーニングのちベンゾトリアゾールと樹脂を使った防錆処理が行われた。ちなみに、ニューヨーク市の一九八五年の雨水のpHは4.3、硫酸塩 (SO_4^{2-}) 濃度は $2.5 \mu\text{g}/\text{ml}$ 、硝酸塩 (NO_3^-) 濃度は $1.5 \sim 2.0 \mu\text{g}/\text{ml}$ 、アンモニウム塩 (NH_4^+) 濃度は $0.2 \sim 0.3 \mu\text{g}/\text{ml}$ を測っている⁽³⁾。

韓国・慶州市の国立博物館中庭にある聖徳大王神鐘（エミレの鐘）はその表面にも塩基性硫酸銅・塩基性塩化銅と思われる黄緑色の錆がみられる。慶州市ではpH5.5台前半の酸性雨が降っている。

四、終わりに

大気汚染の文化財への影響を見ると、主要汚染物質の濃度や雨水

「出」の高低だけではなく、すべての含有物質の種類や特性とそれらが文化財の素材に及ぼす影響の把握を含むトータルな影響評価が肝要である。その大気汚染が、いま、地球全体を覆い尽くしつつある。

本稿では、大気汚染に起因する石造文化財と金属製文化財の被害を取り上げたが、木製・布製・ガラス製など、いかなる素材からなる文化財であれ、様々なかたちで被害が顕著になっている。文化財は自らの回復力をもたず、大気汚染の影響は年々積み重なるばかり、都市の文化財も、豊かな自然環境に恵まれた文化財も、屋外の文化財も、屋内の文化財も、素材の違う様々な文化財も等しく被害を受けている。大気汚染による文化財の劣化速度は自然劣化速度の数十倍から数百倍に達する。すなわち、千年以上の間大切に保護されてきた文化財が、僅か数十年で消滅する危機的事態にあるというのが現状である。

大気汚染から文化財を保護するには、科学的保存処理を実施したり博物館に収蔵することなど、様々な保存方法を的確に選択すればよいが、根本的には大気汚染の削減を目指すべきであろう。あわせ文化財の保護のための環境基準を制定することも急務である。

「文化財の保存と継承が未来を創造する」これは人類共通の真理である。

「付記」私の奈良大学赴任以来、十三年間様々なご指導・ご助言をいただきました古原宏伸、岡田英男両先生に感謝申し上げますととも

に、今後とも健勝でご活躍されますことをお祈りいたします。

註

- (1) 一九九二年一月の Acropolis Study Center の展示パネルによる
- (2) 一九九二年のバッシブサンブラーを用いた筆者による測定。イタリア・ローマは二月三(土)～三(日)にホテル七階の窓外、フィレンツェは二月四(月)～五(火)にホテル四階の窓外、ベネツィアは二月六(水)～七(木)にホテル二階の窓外、ギリシア・アテネは二月七(木)～八(金)にホテル三階窓外でそれぞれサンブラーを曝露した。分析は松本光弘氏による。
- (3) Ministry of Cultural, Committee for the Preservation of the Acropolis Monuments "The Acropolis at Athens Conservation Restraint and Research 1975-1983" (1985)
- (4) Committee for the Preservation of the Acropolis Monuments "Conservation of the Acropolis Monuments" (1994)
- (5) Arnold Wolf "Cologne Cathedral in Polluted Air"
- (6) Arnold Wolf "Le conseguenze dell'inquinamento atmosferico nella Cattedrale di Colonia" (Armand Montanari, Pietro Petrarola "Citta inquinata i monumenti" 1989)
- (7) Dr. Arnold Wolf の教示による。
- (8) 大阪府教育委員会「大阪府の文化財」(一九六二年)
- (9) 大阪府「昭和六三年度大気汚染常時測定局測定結果」(一九八八年)

- (10) 奈良県「平成元年度環境調査報告書 大気編」(一九九〇年)
- (11) 井上 正「遠代多寶千佛石幢」(一九七三年)
- (12) 朽津信明「博物館明治村で観察された蒸発岩」(『岩鉱 第八七巻第九号』一九九二年)
- (13) 古賀文敏「石造文化財の保存に関する研究(第一報)―大気汚染が石材劣化に及ぼす影響―」(『文化財の虫菌害 No.23』一九九二年)
- (14) 古賀文敏「石造文化財の保存に関する一考察」(大分県立宇佐風土記の丘歴史民俗資料館『大分県内石造文化財の現状と課題―保存のための基礎調査概報―』一九九四年)
- (15) 前田泰昭・竹中規訓「地球規模での酸性雨の現状と材料劣化」(『材料と環境 Vol.40, No.9』一九九一年)
- (16) 溝口次夫他『東アジアの酸性雨原因物質等の総合化モデルの開発と制御手法の実用化に関する研究 (3)酸性雨の文化財および材料への影響評価に関する研究』(平成七年度国立公衆衛生院受託研究成果報告書、一九九六年)
- (17) 村野健太郎「酸性雨と酸性霧」(一九九三年)
- (18) 西山要一「文化財周辺地域の大気汚染測定とその影響」(『記録史料の保存と修復』一九九五年)
- (19) 西山要一「文化財周辺樹木の大气汚染防除効果―奈良公園一帯における二酸化窒素濃度測定調査から―」(『奈良大学紀要22』一九九四年)
- (20) 松田史朗・青木繁夫・川野邊渉「東大寺国宝金銅八角灯籠の表面に生成する腐食生成物の解析」(『保存科学 第36号』一九九七年)
- (21) M. Laurenzi Tabasso, M. Marabelli "Il Degrado die Monumenti in Rome in Rapporto all'Inquinamento Atmosferico" (1992)
- (22) Alessandra Melucco Vaccaro "The Equestrian Statue of Marcus Aurelius" (Edited by Andrew Oddy "The Art of the Conservator" 1992)
- (23) Richard G. Semonin "Wet Deposition Chemistry" ("Materials Degradation Caused by Acid Rain" 1986)
- (24) 江本義理「大気汚染の文化財に及ぼす影響」(環境庁『大気汚染による金属材料の腐食測定指針』一九八八年)
- (25) 芳住邦雄・柏木希介・斉藤昌子・門倉武夫「文化財保存に対する酸性雨の影響」(文部省「人間環境系」重点領域研究NII-OI「酸性雨」研究班「酸性雨が陸城生態系におよぼす影響の事前評価とそれに基づく対策の検討」一九九一年)
- (26) Tokyo National Research Institute of Cultural Properties "Cultural Property and Its Environment" (1995)
- (27) 松田史朗・青木繁夫「高徳院国宝銅像阿弥陀如来座像の表面に生成する腐食生成物の解析」(東京国立文化財研究所「保存科学 第35号」一九九五年)
- (28) 筆者が一九九四年四月にソウル中心地のホテル四階窓外に西都電子製 A P カプセル I 型(24時間曝露・二酸化窒素用)を使用し測定した。