

大気汚染・酸性雨が文化財に与える影響

Effects of Air Pollutants on Cultural Properties in NARA

西山 要一

Yoichi NISHIYAMA

1 はじめに

1950年に文化財保護法が施行されて40年余を経た今日、「文化財」という言葉がやっと日常語として用いられつつある。特に近年、発掘調査による埋蔵文化財新発見のニュースやハイテク機器による文化財の研究成果を耳にしない日がないと言っても過言ではない。

文化財とは、一口でいうならば、私達の祖先が政治・経済・文化・生産等の諸活動の場で、あるいは、日常の生活の中で創りだした製品・作品であり、技術・芸能である。その中のあるものは自然淘汰され、あるものは台風や地震などの自然災害によって失われ、あるものは戦争や技術革新などの人間自らの手で破壊し、幸運にも消滅から免れて数百年・数千年を経た今日、なお私達が目にしたり、触れることのできる文化財は真に貴重なものである。

また、文化財は、私達の先祖が残してくれた貴重な歴史的・文化的な遺産であるというにとどまらず、文化財から歴史や、文化や、思想や、技術を学び取り、これらを礎にして現在の、また未来の私達の社会や文化のあり様を考えるうえでも、文化財は不可欠なものである。

さて、文化財のなかでも、建造物、工芸品、絵画、彫刻、考古資料、民俗資料などの有形の文化財は、木・石・金属・繊維・紙など様々な単一の、または複数の素材によって作られているが、年月の経過と共に黴・虫・温湿度変化・紫外線などが原因して腐食・劣化・褪色が進み、放置すればやがて自然消滅してしまう。ゆえに、工芸品ならば1年～数年に1度の虫干し、絵画ならば30～50年に1度の打替え、建造物ならば20～30年に1度の部分修理と200～300年に1度の解体修理を繰り返し、保存されてきた。こうした自然環境に起因する文化財の劣化は、伝統的な修理技術や合成樹脂を使った新しい科学的保存処理技術によって、概ね対処し得るものであり、文化財の自然劣化を如何に最小限に食い止めるかが、文化財保存研究の課題であった。

しかし、ここ20数年来、新しい原因による文化財の劣化が全世界的に顕著になってきている。「酸性雨」に象徴される大気汚染がそれである。全人類の文化財であるギリシア・アテネのバルテノン神殿の大理石彫像が二酸化炭素・窒素酸化物・硫酸酸化物を含んだ雨に洗われて溶け落ちたり、イタリア・フィレンツェの諸寺院の壁画が窒素酸化物・硫酸酸化物を含んだ大気に

平成4年10月30日原稿受理

曝されて彩色の褪色が著しくなってきたり、中国・成都市の石灰岩磨崖大仏が硫酸酸化物を含んだ大気と雨に曝されて表面が溶けだすなどの衝撃的なニュースがもたらされている。日本においても、京都・宇治平等院阿弥陀堂の棟端を飾る金銅鳳凰像と国宝梵鐘が窒素酸化物・硫酸酸化物を含んだ大気の影響で腐食が著しくなり、いち早く宝物館に収蔵したり、東京国立西洋美術館・京都国立博物館両館中庭のロダン作「考える人」などのブロンズ像が硫酸酸化物を含んだ大気の影響で幾筋もの醜い緑と黒の錆筋ができるなどの、顕著な影響をみることができ

る。
 東京や大阪ほどには大気汚染が激しくない奈良、千数百年の歴史を誇る古都奈良においても、ここ数十年、大気汚染の影響と見られる文化財の腐食や変色等の劣化が現れ始めている。奈良の社寺や公園を散策していて、ふと見上げると、堂塔の銅製相輪や擬宝珠が黄緑色と黒色の鮮やかな縦縞模様彩られているのが目に飛び込んでくる。近代建築の銅板葺き屋根、雨樋、棟飾りもしかりである。凝灰岩製の石塔が溶け落ちた如く角が丸まり黒ずんだ姿を曝している。こうした文化財のいたましい姿をここかしこに見ることができる。酸性雨や大気汚染に直接曝される屋外の文化財ばかりでなく、堂塔内の仏像の腐食や彩色の褪しも確実に進んでいるものと思われる。大気に含まれている全ての文化財が大気汚染の影響をうけて、従来の自然劣化の何倍、何十倍の速度で崩壊しつつあるように思われる。

日本における大気汚染が文化財に与える影響についての調査・研究は、1955年頃の奈良・正倉院の環境調査に始まる。正倉院の西側と北側を通り若草山に登って、春日山・高円山へと周遊するドライブウェイの開通に伴い、自動車の排気ガスが正倉院校倉に収蔵されている宝物に悪影響を及ぼす恐れが生じたためであった。調査の結果、硫酸酸化物や窒素酸化物の宝物への悪影響が予測されたために、外気から隔離してより好条件で宝物を保存するために新宝庫が建設され、現在に至っている。

その後、東京国立文化財研究所が中心となって、東京・京都等の大都市に所在する博物館・社寺や、特に顕著な大気汚染源に近接する全国の博物館・社寺の文化財に与える影響の調査が行われてきた(註1)。

本稿は、文化財の密集する奈良盆地において、酸性雨に代表される大気汚染がどのように広がり、種々の素材より成る文化財にどの程度の影響を与えているかを明らかにしようとして、1987年に着手し現在も継続調査中の研究報告である。

2 奈良盆地における大気汚染・酸性雨の測定方法

1987年より継続している本調査・研究は、国宝・重要文化財をはじめ数多くの文化財の密集する奈良盆地北部において、大気汚染が文化財にどのような影響を及ぼしているのかを知ることを目的として行っている。盆地底・丘陵斜面・山裾等の地形の差異、市街地・森林等の植生の差異、交通量の多少の差異、屋内と屋外の差異、などの微地形・微気候が、大気汚染の分布や大気汚染の文化財への影響にどのような作用をもたらすのかを視野におき進めている。従って、可能な限り多くの文化財所在地に観測点を設けることとし、また、より簡便な大気汚染観測法

と、その影響測定法を採用することとした。

(1) 観測点

1987年、まず許可になった東大寺経庫より観測を開始し、その後、許可になった寺社に順次観測機器を増設し、現在、9箇所19地点でおこなっている。外気観測では百葉箱を設置することを原則としたが、景観を損なう恐れのある所では、それに替わる方法をとった。また、建物内においても同様に雰囲気を壊すことのない箇所を選んだ。

奈良大学 奈良市山陵町1500番地。奈良盆地の北を画する奈良山丘陵の南斜面に位置する。東方丘陵地には平城宮跡北方特別保存地区として山林が広がるが、北方・西方の丘陵地は全域が住宅地、南方には奈良盆地が広がる。年間を通じて南斜面を這い上がる風が多いが、同時に上空では、北よりの風が吹いて複雑な風の流れがある。観測点の北300mに交通量の多い市道がある。図書館の南側に百葉箱を設置して観測する他、図書館1階書庫、図書館2階展示室ガラスケース内でも観測している。1989年6月設置。雨水の観測は奈良大学でのみ1991年9月より開始した。

平城宮跡 奈良市二条町。奈良盆地北部の平城宮跡の北西端、平城宮跡資料館の北側に百葉箱を設置し観測している。周囲は史跡平城宮跡の芝地・草地と水田に囲まれている。観測点の西50mと北100mにやや交通量の多い県道が通る。1990年2月設置。

薬師寺 奈良市西の京町。奈良盆地北部の西端、西の京丘陵の裾近くに位置し、薬師寺本坊写経所の東側を観測地点として百葉箱を設置した。周囲は水田地帯であるが、観測点の西100m、北300m、南100mに比較的交通量の多い道路がある。1990年2月設置。

興福寺 奈良市登大路町。奈良盆地北部の東端、春日山にむかうゆるやかな傾斜地に位置する。興福寺国宝館の北側に百葉箱を設置し観測点とする他、国宝館東側駐車場、国宝館内展示場にも観測点を設けた。観測点は北・西・南の三方向を市街地に囲まれ、東方は奈良公園に面する。観測点の北200mには非常に交通量の多い県道が通り、また、東に接して興福寺境内を縦断する道路がある。国宝館北は1990年3月、国宝館内は1992年3月、駐車場は1991年4月設置。

東大寺 奈良市雑司町。奈良盆地北部東端、若草山裾に位置する。観測点は東大寺本坊経庫（校倉）の床下、経庫2階、経庫2階櫃内の3か所に設けた。観測点は広大な東大寺境内地にあって、疎らな樹木に覆われているが南西150mには大規模な駐車場があり、自動車の出入りが激しい。1989年6月設置。

正倉院 奈良市雑司町。奈良盆地北部東端、若草山裾に位置し、もとは東大寺正倉であった。観測点は正倉校倉の北側と、正倉校倉の西側150mの鼓坂門に設けた。観測点は樹木に覆われているが、正倉院の西と北は、若草山中腹の温泉街を経て若草山・高円山を周遊する若草山ドライブウェイの入口に通じる道路に囲ま

れ、自動車通行量も多い。1990年3月設置。

- 春日大社 奈良市春日野町。奈良盆地北部東端、春日山裾に位置する。観測点は春日大社本殿東側、春日大社宝物館収蔵庫内、宝物館収蔵庫北側の駐車場脇の3か所に設けた。ともに、春日大社境内地の樹木に覆われた環境下にあるが、本殿東側は原生林の中、宝物館収蔵庫北駐側場脇は自動車の出入りの激しい地点である。西1500mで市街地に達する。本殿東は1990年2月、宝物館収蔵庫および駐車場は1990年6月設置。
- 十輪院 奈良市十輪院町。奈良盆地北部の東端、春日山にむかうゆるやかな傾斜地に位置する。十輪院本堂北側の墓地と本堂内に観測点を設けた。江戸時代の黒い甍の町並みを残す奈良市街地のなかにあり、東200mに自動車交通量の多い県道が通る。本堂北は1990年6月、本堂内は1992年3月設置。
- 般若寺 奈良市般若寺町。奈良山丘陵の東端、奈良坂にあり、四季の花に彩られる花の寺である。本堂の南西に百葉箱を設置し観測点とした。境内には草樹が繁茂しているが、周辺は住宅が密集し、東100mには、自動車交通量の非常に多い奈良街道が通る。1991年11月設置。

(2) 観測の方法

文化財所在地における環境調査には種々の制約がある。特に火災や化学変化をもたらす機器・材料は言うまでもなく、周囲の景観を損なったり騒音を発する方法も不適切である。本調査では、観測点の多いこと、少なくとも10年間継続観測したいこと、文化財に強く影響を及ぼすと考えられるNO₂、SO₂、Cl⁻を測定したいこと、1日毎の濃度変化よりも1月毎の積算値を知りたいこと、そして何よりも取扱が簡便であること、等の条件を満たすものとしてトリエタノールアミン円筒濾紙法（TEA-CF法）を採用した（註2）。

TEA-CF法とは、表面積100cm²の円筒形セルロース濾紙に濃度29.6%のトリエタノールアミン（2,2',2''-ニトリロトリエタノール N(CH₂CH₂OH)₃=149.19）水溶液を含浸して、観測点に設置してある高さ1.8m、通風率20%のシェルターにセットして1月曝露して、大気汚染物質を吸着させる方法である（写真1）。1月後に回収し、吸着物を抽出してイオンクロマトグラフィーで分析・定量する。但しNO₂は温度補正を要するため、主要観測点には31日巻の自記温湿度計を併せ配置した。

また、雨水のpH値および雨水溶融物質の測定は、直径20cmの漏斗で1週間分の雨水を採取して、pH値はpHメーターで測定し、雨水溶融物質はイオンクロマトグラフィーおよび原子吸光分光分析器で分析・定量する環境庁の測定基準法に従った（註3）。

(3) 影響の測定

大気汚染が物質に及ぼす影響を確かめるには、物質そのものから資料を採取し化学分析または器機分析し、腐食や損壊の要因物質の存在と劣化のメカニズムと経歴を確認できれば、因果関係は明らかとなる。しかし、こと文化財となると、保存研究のためとはいえ、その一部をサンプリングすることは、文化財の破壊に等しい行為になりかねない。幸運にも文化財の保存修



写真1 観測機器（左側ポール上にTEA-CF，右側百葉箱内には金属板と顔料板を設置してある。興福寺国宝館北側）

理に出会って、ごく微量のサンプルを手にして分析の機会に恵まれ、貴重なデータを得ることができても、そのデータが、分析した文化財に固有なものなのか、あるいは普遍的なものか、あるいは何らかの作用により二次的に生成されたものかを判断しようとするれば、同一文化財から複数の分析試料をとる必要がある。文化財の科学的研究の難しさがここにある。

大気汚染が文化財に与える影響の研究では、文化財から多くの資料を採取することは不可能であり、かつ、曝露試験・促進試験等を行うためにも、同一素材の数多くの資料を必要とする。こうした条件を満足させるために、テストピースを作成、使用することにした。

そこで、本調査・研究では、金属板テストピースとして金属文化財の主要な素材である銀・銅・鉄・鉛・錫の長さ50mm×幅30mm×厚さ1mm（錫は厚さ2mm）の板を大気中に曝露し、6か月ないし12か月ごとに重量・色彩の変化と表面に生成した物質の器機分析を行い、また、顔料のテストピースとしては、長さ150mm×幅120mm×厚さ10mmの杉板の表面に藍・ウルトラマリンブルー・群青・緑青・コチニール・朱・丹・岱緒・藤黄・黄土・胡粉・膠のみを各々20mm角に色相が均一になるまで4～5回塗り重ね、1枚はそのまま、1枚は通気性の小さい二軸延伸ポリフィルムの袋に封入し、これらを1セットとして各観測点の百葉箱内において大気に曝露し、6か月ごとに現地において色彩変化を測定することとした。

表1 大気汚染測定機器と影響測定試料の設置

観測地点	大気汚染測定		影響測定	
	TEA-CF	自記温湿度計	金属板	顔料塗布板
奈良大学	図書館南百葉箱	○	○	○
	図書館1階書庫	○	○	—
	図書館2階展示ケース	○	○	—
平城宮跡	資料館北百葉箱	○	—	○
薬師寺	写経所東百葉箱	○	—	○
興福寺	国宝館北百葉箱	○	—	○
	国宝館内	○	—	○
	駐車場	○	—	—
東大寺	経庫床下	○	○	○
	経庫2階	○	○	○
	経庫2階櫃内	○	○	○
正倉院	校倉北	○	—	—
	鼓坂門	○	—	—
春日大社	本殿東百葉箱	○	○	○
	宝物館収蔵庫	○	○	—
	駐車場	○	—	—
十輪院	本堂北基地	○	—	—
	本堂内	○	—	○
般若寺	本堂南西	○	○	—

3 大気汚染測定と影響調査の結果

(1) 大気汚染と雨水の測定

TEA-CF法によって測定した二酸化硫黄(SO₂)、二酸化窒素(NO₂)、塩素イオン(Cl⁻)の濃度値の1990年4月から1992年3月までの日平均を算出した値が表2である。また、この値を奈良盆地北部の地図にプロットし、濃度分布を等高線で示したのが図1である。

二酸化硫黄と二酸化窒素の高濃度域は共に盆地中央部にある。これは、盆地中央部を県下有数の交通量をもつ二幹線道路、南北の国道24号線と東西の県道奈良生駒線の交差付近および、その南方の工場群と一致し、主として自動車の排気ガスと工場排煙が発生源であることを示している。塩素は奈良山丘陵付近を高濃度域としている。大気中の塩素は海面から泡沫として飛散する海塩粒子に起因するといわれるが、近年、塩化ビニールの焼却によっても発生することが確認されている。海岸から20数kmをへだて、四周を山に囲まれた奈良盆地では常時海塩粒子が飛来しているとは考え難く、ごみ焼却に起因するものであろうか。

かつて、奈良の大気汚染は隣接府県からのもらい公害であると言われていた。生駒山を越え、

西山：大気汚染・酸性雨が文化財に与える影響

大和川を遡って今も大気汚染物質が飛来していることは既に知られているが、現在では、奈良盆地内を発生源とする大気汚染が進行し、より深刻な状況であることが判る。

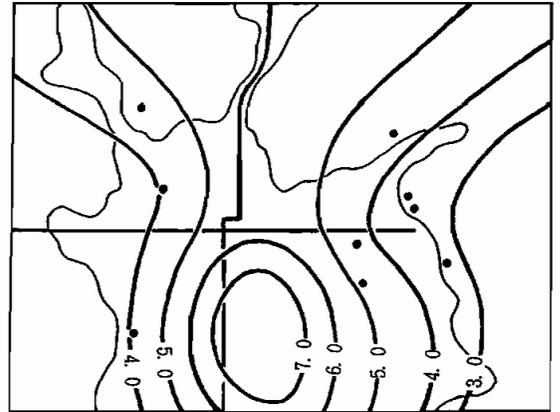
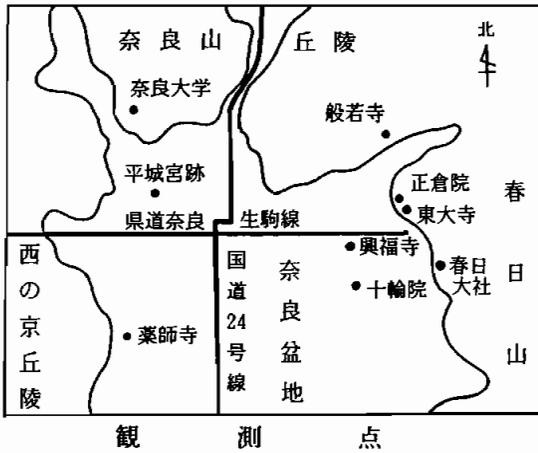
また、奈良大学における雨水のpH測定値を、比較のために県下の他地点の雨水pH測定値とともに表3に示した。雨水pH値の分布は、前述の大気汚染濃度の分布傾向とは必ずしも一致せず、より広域なバックグラウンドによっていることを示している。

表2 大気汚染物質の濃度測定値
(1990年4月～1992年3月の日平均値 上： $\mu\text{g}/100\text{cm}^3$ 、下：ppb)

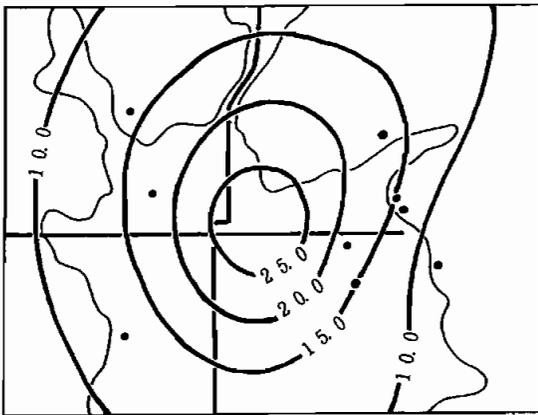
観測地点	二酸化硫黄 (SO ₂)	二酸化窒素 (NO ₂)	塩素 (Cl ⁻)		
奈良大学	図書館南百葉箱	46.6 4.8	103.3 14.9	18.8	
	図書館1階書庫	0.3 2.8	7.5 4.1	1.1	
		図書館2階展示ケース	0.3 2.8	1.0 3.4	3.2
	平城宮跡 資料館北		29.2 4.0	106.7 15.3	13.9
		薬師寺 写経所東百葉箱	27.4 4.0	89.5 13.3	10.7
	興福寺		国宝館北百葉箱	30.4 4.1	104.0 15.0
国宝館内		3.6 3.0	32.9 7.2	5.0	
		駐車場	52.6 5.1	132.4 16.6	13.5
東大寺			経庫床下	18.2 3.6	64.3 10.5
		経庫2階	0.8 2.8	32.7 6.8	1.8
			経庫2階櫃内	0.3 2.8	0.3 3.3
	正倉院	校倉北		16.6 3.5	66.4 10.8
		鼓坂門	17.3 3.6	70.6 11.6	4.3
			春日大社	本殿東百葉箱	13.1 3.4
宝物館収蔵庫	0.5 2.8	30.0 6.8		1.6	
	駐車場	24.8 3.9		71.2 11.7	5.9
十輪院		本堂北墓地		42.3 4.6	99.1 14.6
	本堂内	2.7 2.9		32.8 7.2	4.5
		般若寺 本堂南西		31.5 4.2	103.6 15.5

※ 興福寺国宝館内、興福寺駐車場、春日大社宝物館収蔵庫、春日大社駐車場、十輪院本堂北墓地、十輪院本堂内、般若寺の濃度測定値は、設置日時より1992年3月までの日平均値を表示した。

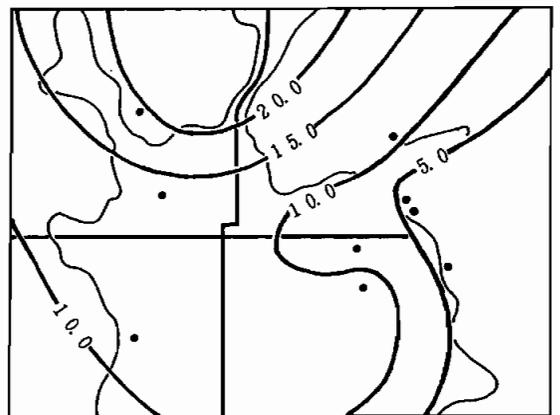
図1 大気汚染物質の濃度分布 (1990年4月~1992年3月の日平均値)



二酸化硫黄 (SO₂) の濃度分布 (ppb)



二酸化窒素 (NO₂) の濃度分布 (ppb)



塩素イオン (Cl⁻) の濃度分布 (μg/100cm³)

表3 雨水pHの測定値（1990年度）

観測点/月	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	平均
奈良大学	5.0	5.3	5.3	-	-	5.5	4.6	4.6	4.5	5.7	5.0	4.9	5.0
奈良市青山	4.3	4.6	5.0	5.1	5.4	4.8	4.5	5.1	5.0	5.2	4.8	4.6	4.8
奈良市大森	5.1	4.4	4.5	5.0	5.5	4.6	4.5	5.1	4.4	4.5	4.6	4.2	4.7
王寺町	4.7	4.4	4.5	5.0	4.9	4.5	4.5	5.0	4.6	4.3	4.6	4.2	4.6
橿原市	4.8	4.3	4.3	4.5	5.1	4.5	4.0	4.8	4.1	4.2	4.4	4.6	4.5
十津川村	4.7	4.6	4.8	5.4	5.4	5.6	4.7	4.7	4.3	4.6	5.0	4.9	4.9

※ 奈良大学の測定値は1991年9月から1992年6月までの測定値。奈良市青山・奈良市大森は、「奈良市の環境 平成2年度版」（1991年10月）、王寺町・橿原市・十津川村は、奈良県「平成2年度版 環境白書」（1992年3月）による。

(2) 大気汚染・酸性雨のテストピース（金属板・顔料）に与える影響

①金属板の表面分析と色彩の変化

金属製文化財の代替として各観測点に吊下した5種類の金属板のうち、銀・銅・鉛・錫の6か月曝露後に表面に形成された化合物（錆）中の硫黄と塩素について、蛍光X線分析を行った。鉄板は錆化が激しく粉状錆が多く落下し、定量できないために、除外した。

その結果は、表4・表5に示したとうりで、大気汚染濃度の高低と概ね一致している。

また、5種類の金属板の色彩変化については、曝露前の色彩と24か月曝露後の色彩を色彩色差計を用いてL a b系列で測定し、その間の変化を ΔE で表6に示した。その結果もまた、大気汚染濃度の高低と概ね一致している。

春日大社の銀・銅・鉄・錫板の色彩変化が、他の観測点と比較してやや大きいのは、観測点が原生林中にあって年平均湿度が80%台にも達するためである。また、東大寺経庫内・東大寺経庫櫃内は経庫外に比して前者は3分の2～12分の1、後者は2分の1～30分の1に減少し、日本古来の伝統的木造高床倉庫としての校倉が、金属製文化財に対する大気汚染の影響を緩和せしめていることが判る。ただし、櫃内の鉛板の表面には白い酸化皮膜様のものが生じ、大きく色彩を変化させているが、これは、櫃（桐）が原因しているものと思われる。なお、色彩変化 ΔE の値は下の視覚変化を示す。

- ΔE 0.0 ～ 0.5 極めてわずかに異なる。
- ΔE 0.6 ～ 1.5 わずかに異なる。
- ΔE 1.6 ～ 3.0 感知しうるほど異なる。
- ΔE 3.1 ～ 6.0 著しく異なる。
- ΔE 6.1 ～ 12.0 極めて著しく異なる。
- ΔE 12.1 以上 別の系統色になる。

表4 金属板に付着した硫黄(S)の量 (mg/100cm², 6か月曝露)

観測点 / 金属板	銀(Ag)	銅(Cu)	鉛(Pb)	錫(Sn)
奈良大学 図書館南百葉箱	2.3	7.1	11.1	0.4
平城宮跡 資料館北百葉箱	1.7	3.3	6.6	0.3
薬師寺 写経所東百葉箱	2.1	3.6	8.6	0.3
興福寺 国宝館北百葉箱	1.3	3.0	7.3	0.1
東大寺 経庫床下	2.0	5.4	7.7	0.1
春日大社 本殿東百葉箱	1.6	3.3	7.3	0.1

表5 金属板に付着した塩素(Cl⁻)の量 (mg/100cm², 6か月曝露)

観測点 / 金属板	銀(Ag)	銅(Cu)	鉛(Pb)	錫(Sn)
奈良大学 図書館南百葉箱	10.4	3.7	3.6	0.9
平城宮跡 資料館北百葉箱	8.1	3.6	3.4	1.0
薬師寺 写経所東百葉箱	7.1	2.6	2.7	0.9
興福寺 国宝館北百葉箱	5.1	1.7	1.6	0.6
東大寺 経庫床下	7.9	2.9	3.3	0.7
春日大社 本殿東百葉箱	4.1	0.9	1.1	0.4

表6 金属板の色彩変化 (曝露24か月後のΔE値)

観測点 / 金属板	銀(Ag)	銅(Cu)	鉄(Fe)	錫(Sn)	鉛(Pb)	
奈良大学 図書館南百葉箱	54.0	34.3	29.9	29.6	4.8	
平城宮跡 資料館北百葉箱	47.5	35.8	33.6	27.9	4.0	
薬師寺 写経所東百葉箱	45.0	32.8	31.2	21.4	1.2	
興福寺 国宝館北百葉箱	33.5	31.5	31.6	13.6	4.6	
東大寺	経庫床下	50.5	32.9	31.1	24.4	3.6
	経庫2階	31.9	17.7	15.1	4.2	2.0
	経庫2階櫃内	13.8	5.6	16.7	0.8	37.9
春日大社 本殿東百葉箱	39.4	31.3	32.4	25.4	0.5	

② 顔料の色彩変化

文化財の保存にとって原形を保存することと同時に、色彩を保持することも大切である。杉板に藍・朱・緑青・黄土等11種類の顔料・染料を塗布し曝露前と24か月曝露後の色彩の変化を求め、これより光曝露による色彩変化を差し引いて求めた ΔE 値を表7に示した。なお、色彩変化 ΔE の示す変化は金属板の場合と同じである。

奈良大学は観測点中最も汚染濃度が高く、顔料の色彩変化も大きい。薬師寺の大気汚染濃度は奈良大学や平城宮跡に比してやや低いが、ウルトラマリンブルー・群青・朱は観測値中最も大きな数値を示している。春日大社における藍は、比較的低い汚染大気下にありながら変色が大きいのは、高湿度が加速的に藍を褪色させるのであろう。春日大社の群青・緑青の色彩変化の大きいのも、同様の理由によるものであろう。

顔料毎に細かく検討してみると、顔料・染料のもつ特性がよく現れているのであるが、大局的には、大気汚染濃度に準じた色彩変化が見られる。したがって、自然大気中よりは建屋内、建屋内よりは建屋内のガラスケースや木箱内のほうが褪色が少ないのは、内部に進むにしたがってしだいに汚染大気の影響が少なくなる当然の帰結である。

表7 顔料の色彩変化（曝露24か月後、大気・光曝露の ΔE 値－光曝露の ΔE 値）

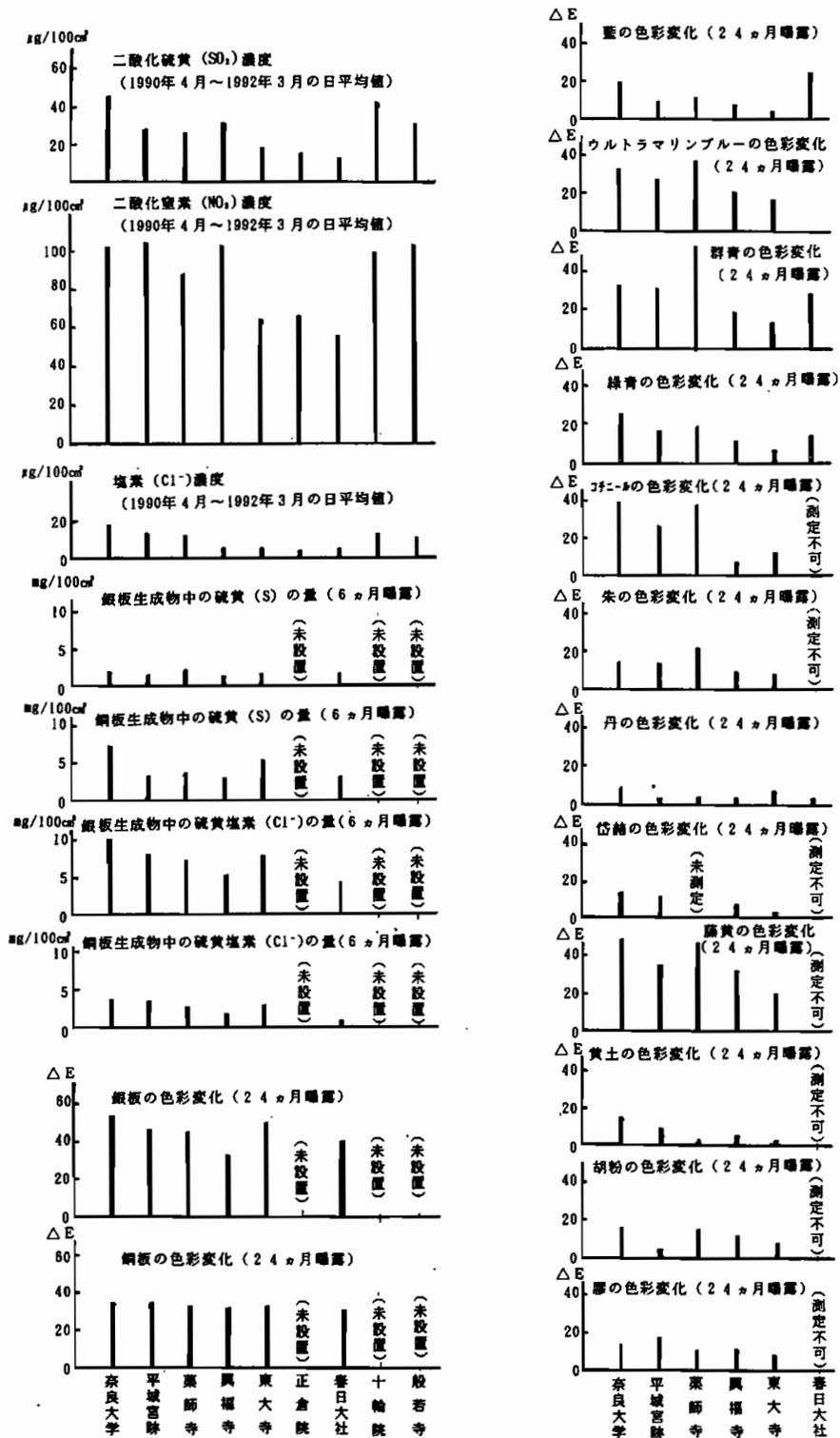
観測点 / 顔料	藍	ウルトラマリンブルー	群青	緑青	群青	朱	丹	岱結	藤黄	黄土	胡粉	膠
奈良大学 図書館南百葉箱	19.6	33.7	33.8	25.9	39.2	14.5	9.9	14.5	48.6	15.6	15.8	14.2
奈良大学 図書館1階書庫	1.4	3.0	3.4	0.7	1.1	1.9	未測	1.0	0.6	2.6	1.8	1.7
奈良大学 図書館2階展示ケース	0.0	0.8	0.6	0.2	1.7	0.7	2.1	0.5	1.0	0.4	0.3	0.5
平城宮跡 資料館北百葉箱	9.4	27.4	31.5	17.8	26.8	13.3	2.7	11.4	34.2	9.1	3.0	17.9
薬師寺 写経所東百葉箱	11.8	36.9	52.5	19.5	37.3	21.5	2.5	未測	46.6	3.4	14.0	11.6
興福寺 国宝館北百葉箱	7.3	20.1	19.3	10.9	6.1	9.8	6.2	7.4	31.1	5.7	11.0	11.9
東大寺 経庫床下	4.9	15.9	13.0	6.1	12.4	6.3	0.7	0.1	19.3	2.5	6.3	7.9
東大寺 経庫2階	2.0	5.3	7.0	2.0	1.9	2.5	2.5	1.0	4.6	1.6	3.8	4.1
東大寺 経庫2階櫃内	0.2	0.2	1.2	0.1	0.6	0.2	2.6	0.0	0.5	0.1	0.2	0.6
春日大社 本殿東百葉箱	25.4	*	29.3	14.3	*	*	3.3	*	*	*	*	*

*印は、虫の食害により顔料が消滅し、測定不可能となったものを示す。

4 大気汚染の文化財への影響

奈良盆地北部9観測点19カ所における大気汚染濃度と、文化財の代替としてのテストピースの変化について述べてきたが、これらの相関関係をまとめたのが図2である。表もあわせ検討すると以下のことが判明し、本研究のまとめとする。

図2 大気汚染とその影響の相関図



- (1) 奈良盆地北部における大気汚染は、二酸化硫黄・二酸化窒素については、奈良盆地を南北に縦貫する国道24号線と、大阪と奈良を東西に結ぶ県道奈良生駒線の交差する付近のやや南にあり、自動車と工場の排気が発生源である。
- (2) 塩素については、高濃度域が奈良山丘陵にあるが、発生源については確定出来ない。
- (3) 大気汚染物質として検出された二酸化硫黄・塩素は、文化財の代替としての金属板全てと化学反応して生成物（錆）を生じさせている。各観測点間における二酸化硫黄と塩素の濃度差は、金属板生成物中の硫黄と塩素の多少の差に一致する。金属製文化財にも、同様の化学変化（劣化）をもたらしているであろう。
- (4) 各観測点間における大気汚染濃度差は金属板の色彩変化の大小とも一致し、金属製文化財にも、同様の化学変化（劣化）をもたらしているであろう。
- (5) 各観測点間における大気汚染濃度差は顔料の色彩変化の大小とも一致し、木製彫刻や絵画の色彩にも同様の化学変化（劣化）をもたらしているであろう。
- (6) 春日大社では他の観測点に比して大気汚染濃度が低く金属板生成物中の硫黄と塩素の量も少ないにもかかわらず金属板・顔料の色彩変化が大きい。大気汚染濃度が低くても、金属や顔料の種類によっては、湿度が大きく影響することが考えられる。
- (7) 温湿度・光・微生物等の自然環境に起因する金属板・顔料の変化を差し引いたとしても、大気汚染が金属板と顔料の変化に影響している、即ち劣化を促していることは明白である。
- (8) 日本古来の伝統建造物である高床の校倉造り倉庫と木製箱は、日本の温度格差の大きい、高湿度の気象から文化財を保護するとともに、大気汚染から文化財を保護するのに博物館収蔵庫と同程度の効果がある。

本研究は、奈良盆地北部の文化財が密集する地域における大気汚染の現状を把握し、文化財の代替としての金属板・顔料にいかなる影響が及ぶかを分析することにより、文化財そのものに及んでいる影響を知ろうとするものである。奈良盆地北部に所在する文化財は多少の差はあれ、今回の観測結果と同様の影響を受けているものと推測される。今後も観測を継続し、影響の定量化・文化財保存のための環境基準の策定・保護方法の確立を目指したい。

なお、本稿は1989・1990年度の文部省科学研究費助成総合研究（A）「南都七大寺における大気汚染が文化財に与える影響の研究」の成果、および奈良大学特別研究「酸性雨・酸性霧が文化財に与える影響の研究」の成果を含み、肥塚隆保・成瀬正和・山口誠治・佐藤幸弘・松本光弘の各氏との共同研究の成果であり、山中幸子・峠美穂・中村陵子・瀬尾真由美・田林香織の各氏の協力を得た。

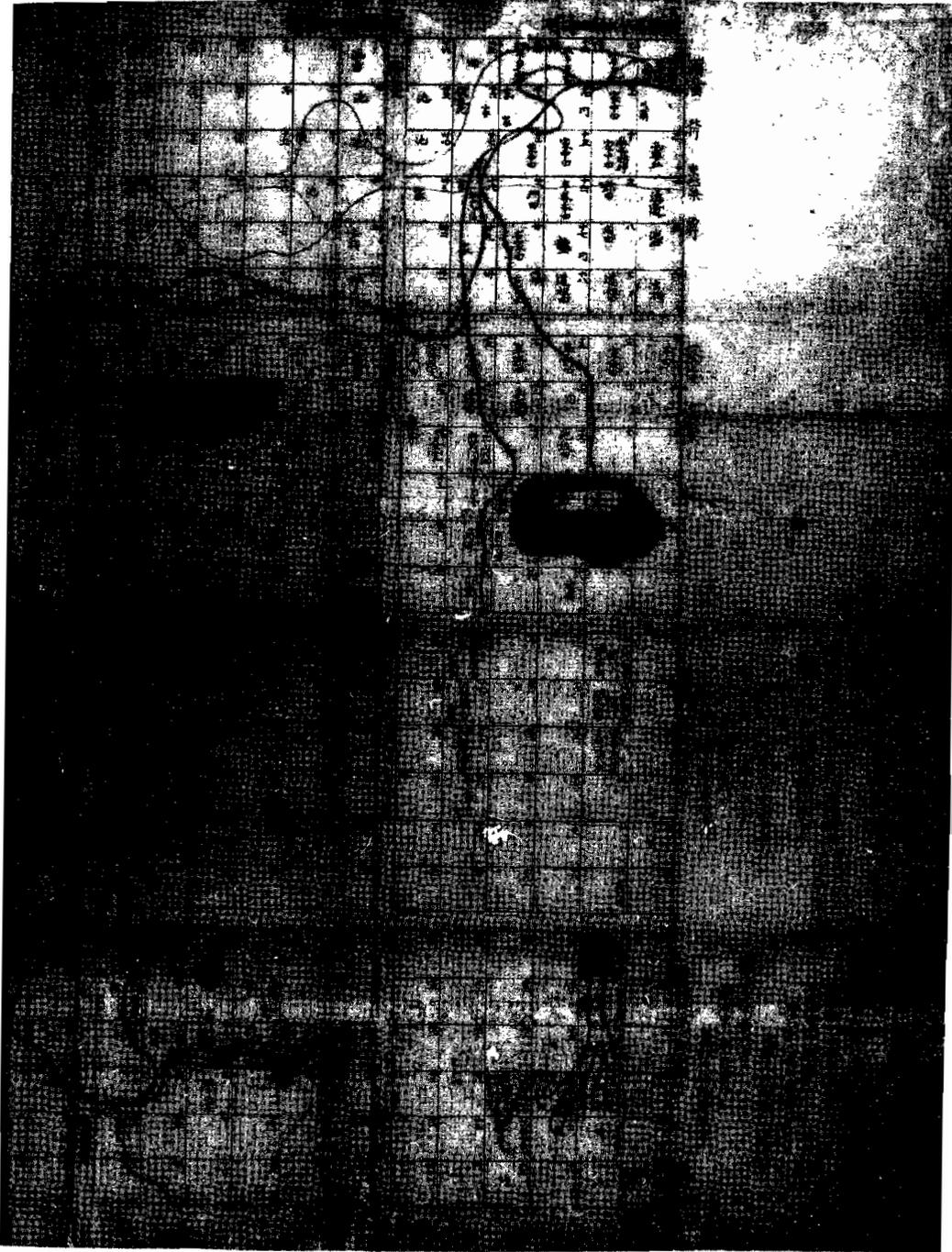
謝辞 本調査・研究を行うにあたって、主旨を御理解いただき観測器機設置を許可下さりました薬師寺、興福寺、東大寺、正倉院、春日大社、十輪院、般若寺の諸社寺・機関に対し、末筆ではありますが感謝申し上げます。

註

(註1) 江本義理「大気汚染の文化財に及ぼす影響」『古文化財之科学 17』1963年等

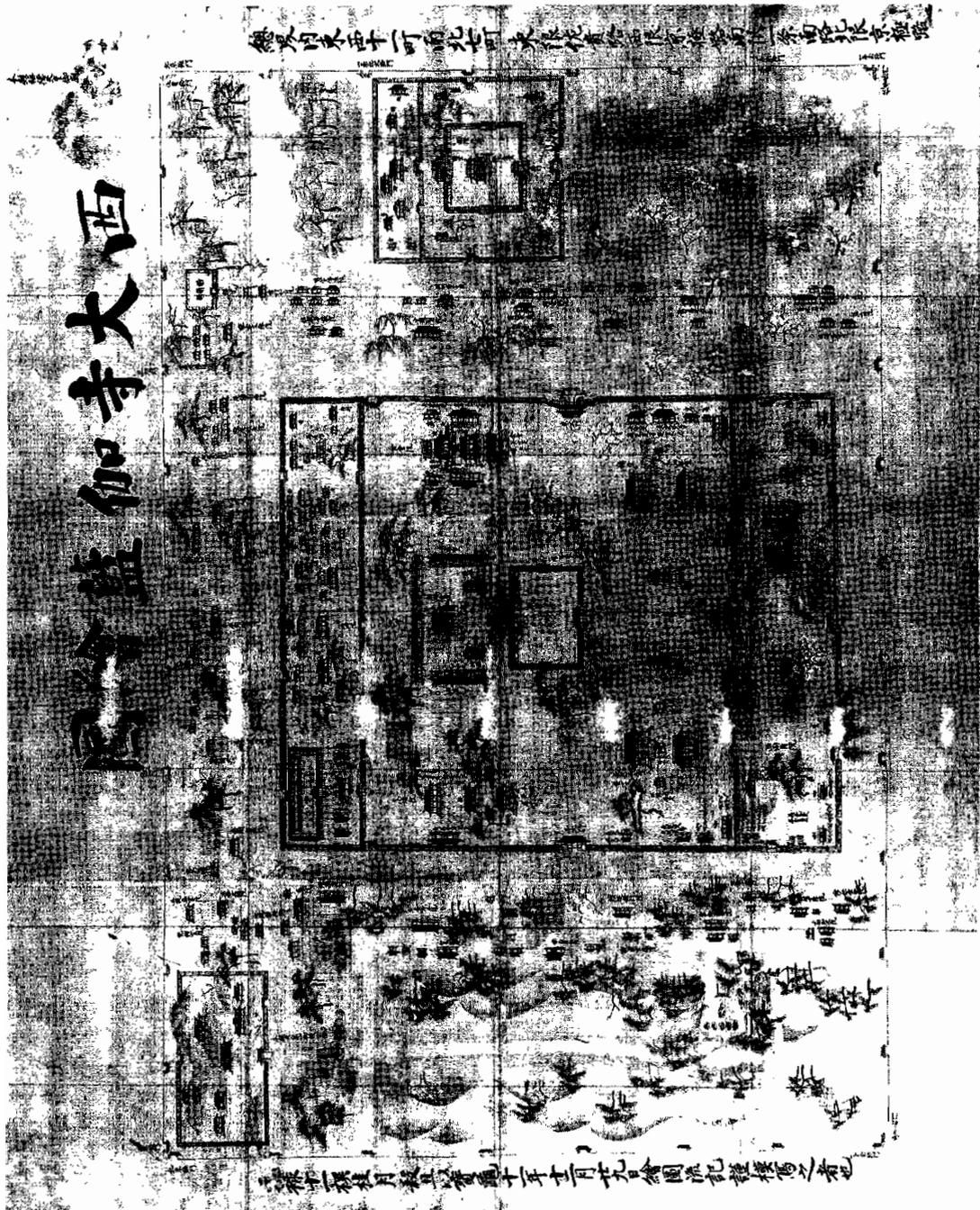
(註2) 松本光弘・溝口次夫「トリエタノールアミン円筒濾紙法による大気中の二酸化硫黄および二酸化窒素の簡易同時測定法」『大気汚染学会誌 23-2』1988年

(註3) 環境庁大気保全局大気規制課『大気汚染による金属材料の腐食測定法指針』1988年

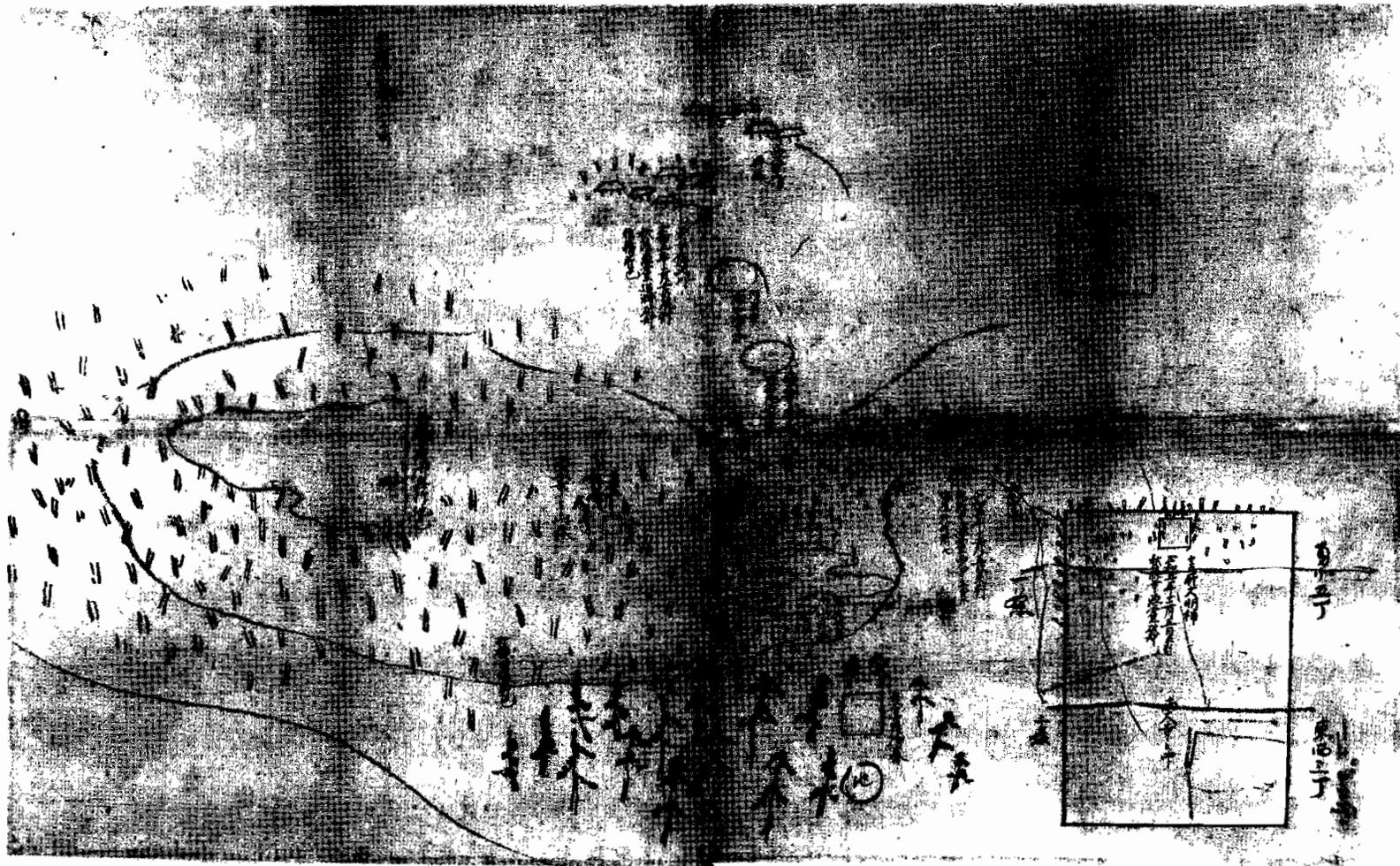


巻頭写真1 西大寺本京北班田図（部分）（西大寺所蔵、水野柳太郎本学教授撮影）

西大寺伽藍圖



卷頭写真 2 西大寺伽藍繪圖（西大寺所藏、水野柳太郎本学教授撮影）



巻頭写真3 西大寺・秋篠寺相論絵図(その3) (西大寺所蔵、水野柳太郎本学教授撮影)



巻頭写真4 押熊・中山・秋篠三村絵図（中山区有、水野柳太郎本学教授撮影）