

## 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 —

西山 要一\*

A Study on Virgin Forest's Ability to Protect Cultural Properties from Air Pollution  
— Investigation of Air Pollution (NO<sub>2</sub>) all over Nara Park —

Yoichi NISHIYAMA

## 要旨

1987年に始めた「北部奈良盆地における大气汚染が文化財に与える影響」の調査・研究は6年目を迎えた。そのデータの示すところ、奈良の大气汚染濃度（二酸化窒素・二酸化硫黄・塩素）は東京や大阪ほどに高くないにもかかわらず、資料として設置した銀・銅・鉄・鉛等の金属板、顔料塗布板の腐食・褪色は著しく、予想を越えるものである。実際に青銅製灯籠・梵鐘、石製塔婆などの文化財の腐食・劣化・褪色が目視できるほどに進み、また、杉・松・樺等の植物の衰退・枯死も目につくようになってきた。

本稿は、前記調査・研究の一部として、奈良公園一帯の1.6km四方・81カ所で二酸化窒素濃度を簡易測定して、二酸化窒素濃度の分布と地形・市街地建築構造物・植生（疎林・原生林）との関連、および文化財保存環境との関連を考察した。

その結果、自動車が発生源である二酸化窒素は、道路沿い・駐車場に高く裸地・芝地を覆いつつ公園内を拡散していくこと、植栽された疎林は流れきた二酸化窒素を87%に減少させ、原生密生林は流れきた二酸化窒素を58%にまで減少させることが判った。この減少率は、東大寺経庫（奈良時代の校倉造りの倉）の内外（65%）、春日大社宝物館の内外（58%）の減少率に匹敵する。

文化財、とりわけ金属製・石製・彩色木製の建造物等の文化財は、大气汚染を避けて博物館の屋内に収蔵する事は困難であるし、また、原位置に置かれているからこそ文化財としての価値が認められている。こうした文化財を原位置に置いたまま、屋内に収蔵するのと同等の大气汚染防除効果を図る方法として、文化財の周囲を樹木帯で囲むなど、樹木を利用した文化財保存環境造りを薦めたい。

## 1. はじめに

諸外国とりわけヨーロッパでは、半世紀以上前から、既に、文化財を大気汚染から保護するために様々な研究と対策がなされてきた。ギリシア・アテネのパルテノン神殿、イタリア・ローマやフィレンツェの諸寺院の壁画、ドイツ・ケルン大聖堂の彫像群など全人類の文化財に、現在に至るも幾度となく研究と修復がくりかえされている。

わが国においても、ここ二十数年来、文化財劣化の新しい要因として「窒素酸化物」・「硫黄酸化物」・「酸性雨」等の大気汚染が注目され、現状の把握と対策について研究が成されてきた。京都・宇治平等院阿彌陀堂の金銅鳳凰像と国宝梵鐘が窒素酸化物・硫黄酸化物等の影響で腐食が著しく、宝物館に収蔵したり、京都国立博物館中庭の中国・遼代石幢が硫黄酸化物等の影響で表面が溶融してきたため館内に移設したり、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」などのブロンズ像は硫黄酸化物等の影響で幾筋もの醜い緑と黒の錆筋ができるなどの、顕著な影響をみる事ができる。また、東京や京都ほどには大気汚染が激しくない奈良においても、東大寺・大仏殿八角灯籠や薬師寺・金堂薬師三尊仏等の腐食が懸念されている。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。

また、近年、奈良公園一帯では、杉・松の立ち枯れ、樺の枝先・葉枯れが急速に増加している。有形の文化財のみならず、天然記念物（植物・動物等）の衰退・死滅も懸念される。

さて、「北部奈良盆地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、1987年に開始し、しだいに観測地点を増加させつつ、現在6年目に入っている。国宝・重要文化財・史跡・名勝・天然記念物等数多くの文化財が密集する北部奈良盆地において、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たものである。過去5年間の調査の結果、北部奈良盆地における二酸化硫黄・二酸化窒素・塩素の発生源とその中心域を、ほぼ把握することができたが、それら汚染物質の拡散や文化財への影響は、盆地底・丘陵斜面・山裾等の地形の差異、市街地・芝地・植栽林・原生林等の植生の差異、周辺交通量の多少の差異、屋内と屋外の差異、さらに、それらがもたらす微地形・微気候の微妙な差異等によって、複雑な様相を呈することを示している<sup>1)</sup>。

本稿は、上記の諸要素が、大気汚染物質の拡散にどのように関わっているのかを解明するために行った「奈良公園一帯における大気汚染（二酸化窒素）の実態調査」の結果について報告と考察をするものである。

## II. 調査の方法

「北部奈良盆地における大気汚染が文化財に与える影響」の研究のために、従来より、9地点19箇所において1月曝露型トリエタノールアミン円筒濾紙法(TEA-CF)による大気汚染モニターを実施しているが、そのうち奈良公園一帯では、正倉院・東大寺・興福寺・春日大社の4地点11箇所を観測を行なっている。この観測による二酸化窒素( $\text{NO}_2$ )の日平均濃度分布(1990年4月～1992年3月)では、北部奈良盆地中央の国道24号線と県道奈良生駒線の交差付近に高濃度域があり、ここより東西南北に徐々に低濃度になる。奈良公園付近では濃度等高線はほぼ南北になり、その濃度は20～10ppbである(図2)。

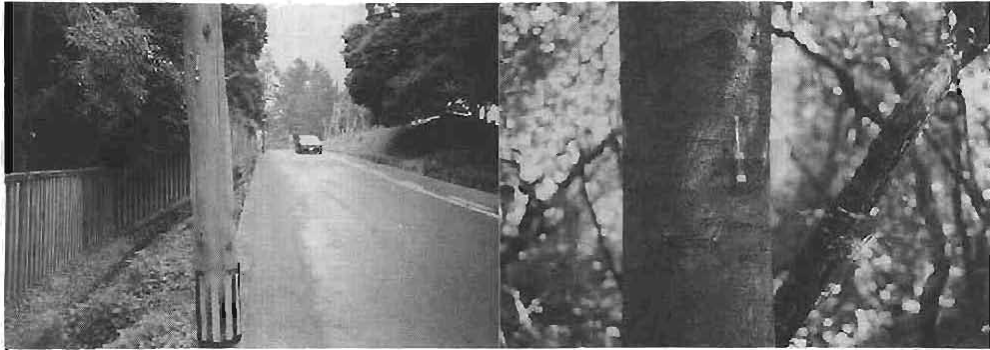
さて、奈良でもとりわけ文化財の密集する奈良公園一帯、交通量・建築物・地形・植生等の諸要素による二酸化窒素( $\text{NO}_2$ )の微妙な分布変化を知るために、今調査では1日曝露型トリエタノールアミン濾紙法とも言うべき天谷式二酸化窒素簡易測定法(有・西都電子製APカプセル1型)を採用した<sup>2)</sup>。捕集管は長さ4.5cm直径1.3cmという小型で、取扱い易く、測定も信

頼性高い比色法によること、安価であること等が調査計画の条件に合致したからである。

### (1) 観測点

春日大社・興福寺・大乗院跡・正倉院を東西南北とする約1.6km四方に200mメッシュの方眼を描き、その交点80余箇所にAPカプセルを設置した。春日大社・興福寺・東大寺の許可を頂いたが、交点が私有地・公有地・立ち入り禁止区域である場合、設置点をずらすか、設置しない地点もあった。各観測点では、APカプセルを樹木・建築物等の地上高1.5mにガムテープ・オシピンで固定した(写真)。

写真 APカプセルの設置状況(左：正倉院付近 右：春日大社原生林内)



### (2) 調査日

冬季は1992年12月4日(金)～5日(土)、夏季は1993年7月16日(金)～17日(土)の2回行なった。両調査ともに約20名の奈良大学学生の参加を得て、2～4のグループを編成し担当地区毎に、初日の午前中に設置し、2日目の午前中に順次回収した。80余箇所の多きため、曝露時間が24時間に達しないAPカプセル、24時間を超過したAPカプセルがあったが、これらは比色測定後24時間換算した。

### (3) 測定

APカプセル回収後はただちに密栓をして乾燥デシケーターに保管し、2日後に濃度測定を行なった。測定はAPカプセルにザルツマン試薬を加えたのちスポイト式比色計(有・筑波総合化学研究所製ユニメーター)で行いppbに換算した。

図1 奈良公園一帯における二酸化窒素濃度観測点 (A Pカプセル設置点)

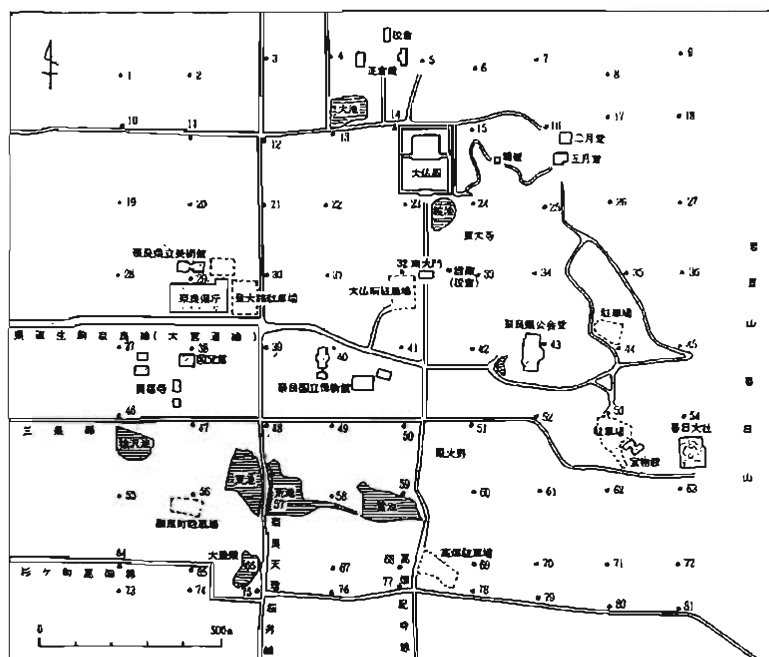


表1 奈良公園における二酸化窒素濃度測定値 (単位: ppb)

観測点	第1回測定 1992, 12, 04	第2回測定 1993, 7, 16
1	18.3	7.9
2	17.0	11.9
3	28.3	29.1
4	13.3	5.3
5	13.5	5.3
6	13.3	2.0
7	13.5	2.6
8	12.2	3.9
9	13.6	4.9
10	19.6	10.6
11	20.9	15.9
12	19.8	18.0
13	14.4	10.6

観測点	第1回測定 1992, 12, 04	第2回測定 1993, 7, 16
14	18.5	8.5
15	13.2	2.6
16	16.1	2.6
17	16.3	3.6
18	13.7	0.3
19	18.3	9.2
20	17.0	7.6
21	26.1	23.8
22	13.1	4.8
23	13.2	5.0
24	11.9	3.8
25	10.5	4.1
26	12.4	—

観測点	第1回測定 1992, 12. 04	第2回測定 1993, 7, 16
27	—	—
28	19.5	8.4
29	20.8	10.5
30	18.3	12.7
31	13.2	5.8
32	17.1	5.6
33	13.4	2.8
34	—	—
35	12.5	5.6
36	—	—
37	16.9	14.1
38	19.5	17.9
39	19.3	17.9
40	16.0	14.1
41	13.4	48.7
42	11.2	10.4
43	—	—
44	8.6	10.6
45	17.2	4.0
46	16.9	17.0
47	20.0	29.9
48	17.8	9.0
49	13.2	10.4
50	13.4	12.8
51	6.9	6.5
52	8.6	5.3
53	10.3	5.3
54	10.4	4.0
55	20.8	18.3

観測点	第1回測定 1992, 12, 04	第2回測定 1993, 7, 16
56	16.7	14.7
57	17.8	16.2
58	8.9	8.1
59	11.7	13.1
60	8.1	5.2
61	5.7	5.3
62	10.4	6.6
63	11.3	4.0
64	18.2	17.1
65	15.4	15.8
66	22.9	15.8
67	14.1	7.9
68	13.1	7.9
69	10.1	6.6
70	9.5	9.2
71	7.3	5.3
72	8.7	5.3
73	13.0	17.1
74	18.0	11.8
75	7.7	13.1
76	—	14.5
77	14.5	21.1
78	15.2	9.2
79	14.2	7.9
80	12.6	6.6
81	8.0	5.3

図2 北部奈良盆地の二酸化窒素濃度分布  
(1990年4月～1992年3月の日平均値、単位：ppb)

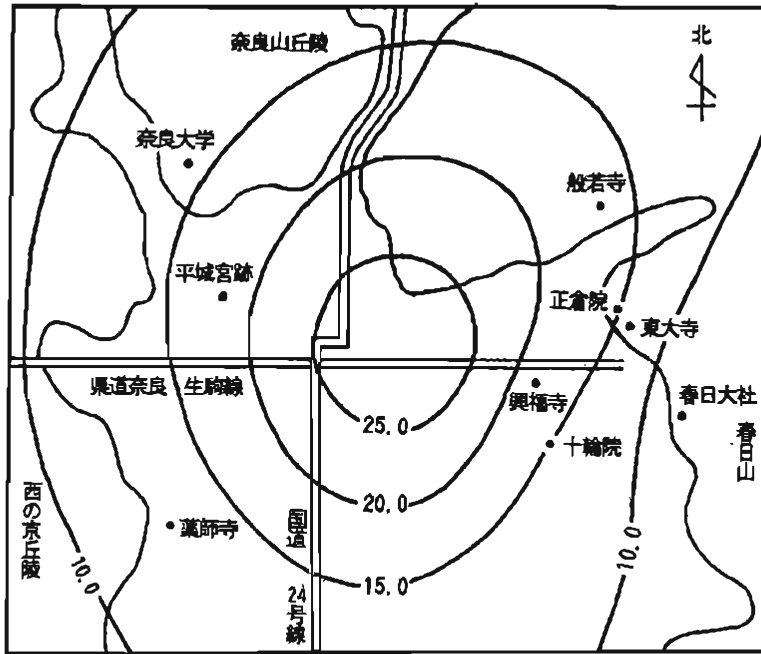


図3 奈良公園一帯の植生（菅沼孝之「春日大社境内の植生（予報）とナギの生態学的特性について」(助春日顕彰絵『昭和49年度春日大社境内原生林調査報告 — 動物・植物 — 』1975年 を参考に実地踏査し作成した。)

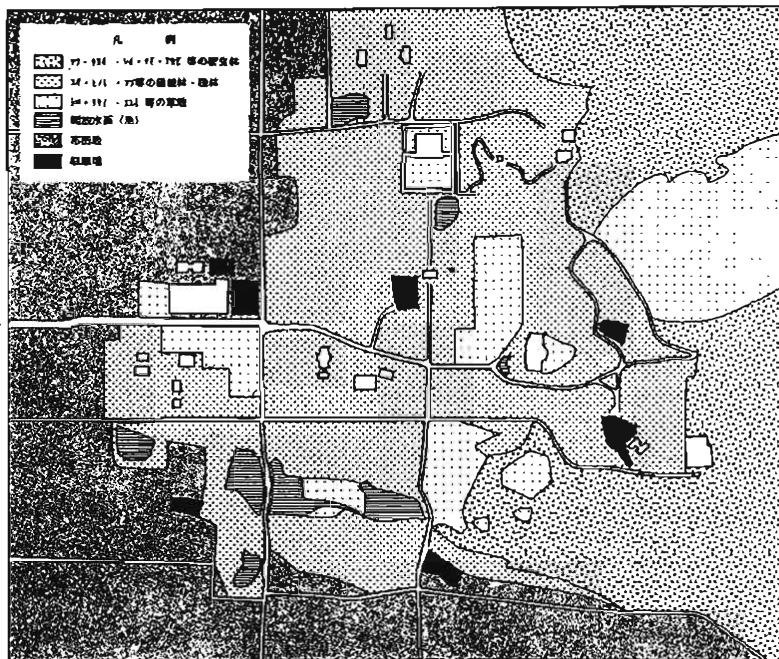


図4 二酸化窒素濃度の分布・冬季（1992年12月4～5日・単位：ppb）

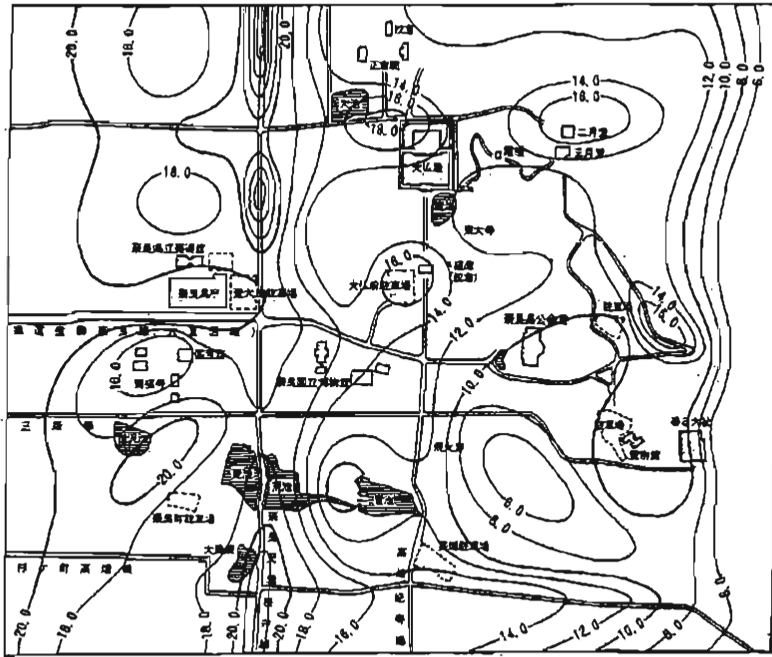
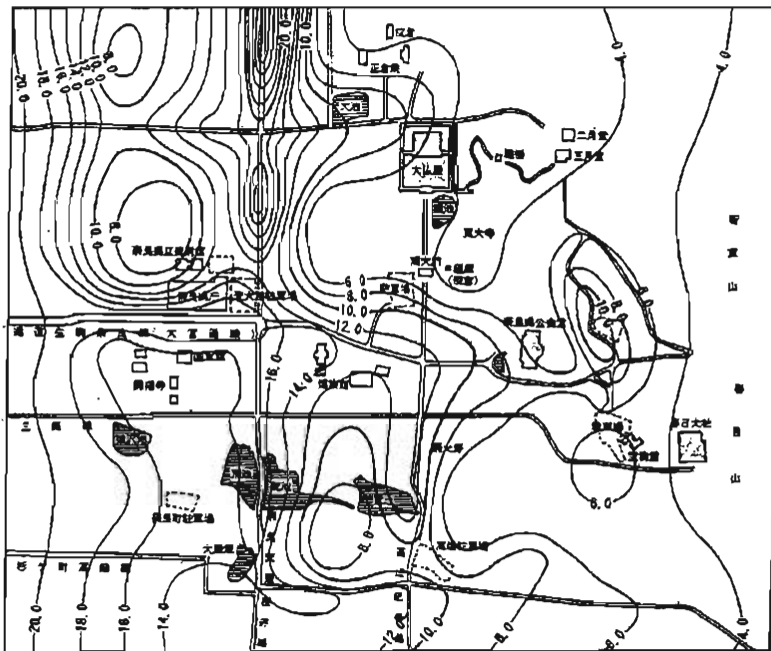


図5 二酸化窒素濃度の分布・夏季（1993年7月16～17日・単位：ppb）



### III. 調査の結果

各観測点（図1）における第1回（冬季）、第2回（夏季）の二酸化窒素濃度測定値（表1）を地図上にプロットし濃度分布を示したのが図4・図5である。

二酸化窒素濃度分布の特徴は、冬季・夏季の共通点として、西側の市街地方面は濃度が高く東側の若草山・春日山方面は濃度が低い、県道生駒奈良線・奈良天理桜井線・高畑紀寺線の主要幹線道路沿いは濃度が高く、比較的通行量の少ない道路沿いでも濃度の高い所がある、大規模駐車場は濃度が高く、樹木密生林・植栽林地域は濃度は低い、等が指摘できる。

また、冬季と夏季の濃度分布を比較すると、主要幹線道路沿いの二酸化窒素濃度はほぼ同じであるにもかかわらず、樹木密生林地域の二酸化窒素濃度は夏季に低くなっている。

このような二酸化窒素濃度分布の特徴は、交通量・地形・植生等の諸要素といかに関連しているのかを検討する。

#### (1) 自動車交通量・自動車駐車場利用量と二酸化窒素濃度分布の関係

奈良市の自動車保有台数の変遷、県道奈良生駒線県庁前・奈良木津線県庁東・奈良天理桜井線・高畑紀寺線の自動車交通量の変遷、及び奈良公園一帯の観光客専用自動車駐車場の利用台数の変遷は表2～表4のとおりである。

二酸化窒素の発生源は、主として自動車・工場・事業所で使用するガソリン・軽油・重油等の化石燃料の燃焼により発生する。特に、移動発生源である自動車（ガソリン車・ディーゼル車）からの排出が多い。県道奈良生駒線の自動車交通量は、奈良盆地中央を南北に縦貫する国道24号線の自動車交通量に匹敵する。奈良木津線・奈良天理桜井線の交通量もついで多い。それらに符号するように、二酸化窒素の高濃度域は道路沿いにある。東大寺大仏殿北側の道路、杉ヶ町高畑線の奈良公園南縁部分などは、自動車交通量の比較的少ないにもかかわらず高濃度の二酸化窒素が観測されている。

また、駐車場では、駐車中の乗用自動車・バスが冬季は暖房、夏季は冷房のためにエンジンをかけ放しにするためにガスを多量に排出している。そのために、駐車場における二酸化窒素濃度は周囲より高くなっている。

奈良公園一帯の二酸化窒素の濃度分布は、自動車交通量と駐車場利用自動車量によって決定づけられていると言える。表2～表4に示した如く、自動車交通量・駐車場利用自動車台数の最近10年間の伸率は10～40%にも達し、今後、さらに二酸化窒素の濃度が上昇するおそれがある。

表2 奈良市の自動車登録台数の推移（単位：台）

年 度	1982年	1984年	1986年	1988年	1990年	1992年	10年間 の伸率
登録台数	112,849	132,453	148,561	160,656	173,920	182,867	62.0%

奈良市『統計なら』（昭和61年版～平成4年版）より作成。各年4月1日現在。



表3 奈良公園一帯の自動車交通量の変遷（単位：台）

調査地点・路線／調査年	1980年	1983年	1985年	1988年	1990年	10年間の伸率
県道奈良生駒線県庁前	19,837	18,678	18,720	21,432	21,612	8.9%
県道奈良木津線県庁東	—	—	12,671	14,836	16,423	* 29.6%
奈良天理桜井線	13,143	13,374	12,668	11,879	15,136	15.2%
高畑紀寺線	4,262	3,946	4,560	4,767	5,492	28.9%
調査月日		10. 6.	7. 4.	10.26.	10.16.	—

奈良県土木部道路維持課『一般交通量調査表』（昭和58年度～平成2年度）により作成。  
午前7時～午後7時の昼間12時間における自動車通過台数。\*は5年間の伸率。

表4 奈良公園一帯の観光客専用自動車駐車場の年間利用台数の変遷（単位：台）

駐車場／年	1981年	1983年	1985年	1987年	1989年	1991年	10年間の伸率
登大路	208,097	163,399	134,307	69,835	116,162	173,545	-17%
一の鳥居	58,550	60,737	48,596	31,971	—	—	—
大仏前	101,828	73,988	81,714	77,592	63,621	67,142	-34%
高畑	19,478	22,129	24,986	34,190	27,461	35,225	81%
合計	387,953	320,253	289,603	213,588	207,244	275,912	-29%
*総数	387,953	320,253	289,603	443,719	474,890	559,820	44%

奈良市『統計なら』（昭和61年版～平成4年版）より作成。

\*1987年以降の総数には、上記4駐車場以外の駐車場利用台数が含まれている。何処の駐車場かは明記されていない。

## (2) 市街地・植生・地形と二酸化窒素濃度分布の関係

奈良公園は東に若草山・春日山を、西に市街地をひかえた東から西への傾斜地にあり、また、数条の谷が東から西に走っている。こうした地形が幸いして、北部奈良盆地中央に高濃度域の

ある二酸化窒素は、東方に徐々に高くなる地形とその上に建造された市街地低層建物が防壁となつて、奈良公園方面には同心円状の奇麗な拡散現象にはならない。若草山・春日山は、さらに、強固な障壁となつて二酸化窒素の拡散をせき止めている。

さて、奈良公園一帯の植生は、シバ・クサイ・ススキ等の草地、スギ・ヒノキ・マツ等の植栽疎林、マツ・クヌギ・シイ・ナギ・アセビ等の原生密集林に分類することができる(図3)。興福寺周辺、東大寺周辺、荒池周辺のスギ・ヒノキ・マツ等の植栽疎林は西からの、あるいは道路からの二酸化窒素拡散の防壁となっている。さらに、春日大社南西のナギ・アセビ等の原生密集林は、二酸化窒素拡散の防壁であると同時に、二酸化窒素を浄化して低濃度域を作りだしている。この植栽疎林と原生密集林の作用は、樹木の成長の遅い冬季でも二酸化窒素濃度を周囲よりも4~6 ppb下げ、さらに樹木の成長著しい夏季では6~8 ppbも二酸化窒素濃度を下げている。

表5 原生林、校倉、収蔵庫内外の二酸化窒素濃度の比較(単位: ppb)

観測地点	二酸化窒素濃度(NO <sub>2</sub> )	外気・高濃度地点との差異	備考	
奈良公園一帯 (冬季)	芝地	9.9	—	シバ・クサイ等
	植栽疎林	8.6	1.3(87%)	スギ・ヒノキ・マツ等
	原生密集林	5.7	4.2(58%)	シイ・ナギ・アセビ等
東大寺	経庫床下(外気)	10.5	—	奈良時代の校倉造りの建物
	経庫内	6.8	3.7(45%)	
	経庫木櫃内	3.3	7.2(31%)	
興福寺	国宝館北(外気)	15.0	—	鉄筋コンクリート造
	国宝館内	7.2	7.8(48%)	
春日大社	駐車場	11.7	—	春日山原生林
	本殿東(原生林内)	9.6	2.1(82%)	
	宝物館収蔵庫内	6.8	4.9(58%)	
十輪院	本堂北(外気)	14.6	—	鎌倉時代木造
	本堂内	7.2	7.4(49%)	
奈良大学	図書館南(外気)	14.9	—	鉄筋コンクリート造
	図書館1階	4.1	10.8(28%)	
	図書館2階ガラス内	3.4	11.5(23%)	

東大寺経庫以下の測定値は1990年4月~1992年3月の日平均値

#### IV. 樹木・校倉・収蔵庫の二酸化窒素防御の効果

今調査では、樹木が二酸化窒素の拡散を防ぎ、かつ浄化する効果の大きいことが判明した。この事実は文化財の保存環境整備の方法に示唆を与えるものである。従来、東大寺経庫校倉・春日大社宝物館収蔵庫・興福寺国宝館・十輪院・奈良大学等において行ってきた二酸化窒素測定の観測値と比較しながら考察し、本稿の結びとする(表5)。

奈良公園内高畑紀寺線から東約200mの等距離の芝地・植生疎林・原生密集林の冬季二酸化窒素濃度を表に示した。道路沿いでは13ppbであった二酸化窒素濃度は、約200m東に移動する間に9.9ppbに減衰するが、植生疎林に入ると8.6ppbに、原生密集林に入ると5.7ppbに減衰する。芝地と原生密集林での測定値の差は、東大寺経庫校倉の外と校倉内の差、春日大社宝物館収蔵庫の内外の差にほぼ等しい。すなわち、原生密集林は文化財保存収蔵施設と同等の二酸化窒素を防御・浄化する機能をもつことを示している。

文化財は収蔵・保存とともに活用されてはじめて文化財としての価値・機能が発揮される。大気汚染が著しくなり文化財を急速に劣化させている今日、文化財を大切にすあまり収蔵庫の奥深くにしまい込みがちである。逆に大気汚染に曝される屋外にあって、屋内に収蔵不可能な文化財は、「形あるものはやがて滅びる」と諦めにも似た思いのままに放置されていることが多い。また、文化財の置かれている経済的環境も必ずしも恵まれたものばかりではなく、保存と活用の意欲に反して何らの措置を執ることもできないことが多い。今調査の結果は、文化財を大気汚染から保護する一方法としての樹木の利用とともに、文化財周辺環境整備としての樹木の利用の有効なことを示している。

#### 付 記

奈良公園一帯における二酸化窒素濃度の調査では、春日大社・興福寺・正倉院・東大寺のご協力を賜りました。感謝申し上げます。

また、奈良大学学生の多くの協力を得て、調査を遂行することができました。下に氏名を記し感謝といたします。

##### 第1回調査(1992年12月4日～9日)

太田 浩 司	出 畑 順 子	鈴 木 聖 子
川 岸 美 幸	横 田 直 子	鈴 木 陽 子
木 村 健 治	池 田 吉 弘	立 花 るりこ
瀬 尾 真由美	市 村 慎太郎	馬 場 靖 子
田 林 香 織	河 野 千 春	山 上 博 明
太 田 朋 子	下 元 あゆみ	

##### 第2回調査(1993年7月16日～19日)

植 地 岳 彦	石 橋 明 子	浅 川 貴 宏
下 川 可容子	加 藤 和 歳	網 倉 邦 生
佐 藤 琴 絵	神 田 周 枝	金 田 拓 朗
中 村 晋 也	楠 部 博 世	徳 野 裕 昭
野 方 保 美	庄 司 雅 子	徳 本 悟
橋 本 由 加	前 田 和 子	成 瀬 憲 作
横 田 直 子	横 園 枝	松 田 英 之

## 註

- 1) 西山要一「大気汚染・酸性雨が文化財に与える影響」(『奈良大学総合研究所所報 創刊号』、1999)
- 2) 松浦公昭「二酸化窒素による大気汚染 — その実態と健康破壊 — 」(『人間と環境 Vol.2, No1』、1976年)

## Summary

The study on "Effects of Air Pollutants on Cultural Properties in Nara" was started in 1987, and demonstrated damage on metal and paint samples. Actually, bronze lanterns(青銅製灯籠), bronze temple bells(梵鐘), stone pagodas(石塔), paintings and many cultural properties were so fragile that damage could be recognized with the naked eye.

All over Nara Park, we chose 81 points within a 2.56 sq.km. area, and observed the density of nitrogen dioxide( $\text{NO}_2$ ) pollution. As a result, high levels of  $\text{NO}_2$  were measured on principal roads and parking places, and low levels of  $\text{NO}_2$  were measured in woods and in virgin forest areas.

According to the data,  $\text{NO}_2$  levels were 17% lower in wooded areas than in grassy areas equally distant from a principal road, and 42% lower in virgin forest areas.

The percentage of difference between  $\text{NO}_2$  levels measured on the grassy areas and in the virgin forest areas is about the same as between the outside and the inside of the Todaiji Temple's Kyoko Azekura (東大寺経庫校倉).

As one method of protecting cultural properties, we need to cultivate the wooded belts around them.