

# 植物群落の大気浄化効果に関する研究（第2報）

## Studies on the Role of Plant Communities as an Air Filter (II)

小川 和雄 高野 利一

### 要 旨

植物群落による大気浄化効果及び、その季節変動を明らかにするため、1985年6月から半年間平林寺近郊の雑木林内外で、NO<sub>2</sub>等濃度を自動測定機により連続測定した。その結果、①調査期間中N系風時の低減率はDUSTが17.9%、NO<sub>2</sub>が15.2%、NOが7.6%であった。②DUSTの低減率は季節により14%から23.2%と変化したのに対し、NO<sub>2</sub>は10.1%から21.3%で、夏季、冬季の差が著しかった。③夏季冬季の群落内外のNO<sub>2</sub>濃度経時変化には、植物による吸収や群落構造、対照汚染質濃度等の影響と考えられる変動がみとめられた。④群落内外の汚染質濃度差は、対照濃度とは正の、風速、日射量、気温とは負の相関を示した。⑤これは、植物が風や日射が強いほど、気温の高いほど汚染質を吸収するとしても、野外では同条件が大気拡散速度を速め、より影響の大きい対照濃度を低下させるため、群落内外の濃度差がどう変化するかはその時期、時刻の群落構造と植物の活性によるものと推察された。

### 1 はじめに

道路周辺の窒素酸化物による大気汚染は、数次にわたる自動車排出ガス規制の実施にもかかわらず、依然として高濃度で深刻な状態にあり、種々の対策が提言されているものの、改善の見通しはたっていない。こうした中では、「沿道環境の改善による対策」の一つとして、「緩衝緑地の設置」が考えられており、建設省が大規模道路周辺に「植樹帯」の設置を規定する等、注目され始めている。

植物は、自ら影響を受けながら大気汚染物質を吸収しており、その能力は気孔開度が大きいほど、葉面拡散抵抗が小さいほど大きいこと等が、<sup>1)2)3)</sup>国立公害研究所の人工気象室を用いた調査等で明らかにされている。

このことは、緩衝緑地の有効性を示唆するものであるが、野外で実際にどの程度の効果を持つのか、即ち、窒素酸化物等の大気汚染濃度をどれだけ低減させることができるのか、についての知見は極めて少ない。<sup>4)5)6)7)</sup>

筆者らは、このような沿道緩衝緑地の大気浄化効果を明らかにすることを目的に、まず、その前段として、数か所の都市域植物群落で調査し、前報では、ま

った植物群落は大気浄化効果を持つこと、その能力は群落構造に大きな影響を受けていることを示した。<sup>6)</sup>

本報ではこれに続き、同一植物群落を対象に実施した約半年間の調査結果をもとに、大気浄化効果の季節変動等を明らかにしたので報告する。

### 2 調査方法

調査は1985年6月1日から12月18日まで、埼玉県新座市の平林寺近郊緑地保全地区（以下、「群落」という。）で実施した。群落は南側に接する市道（交通量6,000台/日）を境界に、47haの広大な平林寺境内林に隣接した典型的な雑木林で、樹冠はほぼ連続している。北側はグラウンド、西側は畑、東側は住宅地である。対照は朝霞保健所新座支所内で、群落内の測定点から東側に約600m離れているが、両測定点とも北側の国道254号（同48,000台/日）と南側の市道からそれぞれ330m、65mの等距離にあり、対照としての有効性は簡易測定法<sup>6)</sup>で確認しており、対照が $188 \pm 32 \mu\text{g}/24 \text{ hr}/100 \text{ cm}^3$ なのに対し群落の北側は $187 \pm 33 \mu\text{g}/24 \text{ hr}/100 \text{ cm}^3$ （ $n = 3 \text{ 個} \times 3 \text{ 日} \times 4 \text{ 季}$ ）であった。測定方法及び測定地点の概要は表1に示したとおりで、あら

表1 調査方法及び調査地点の概要

場所、期間	項目	測定方法	群落規模と構成
平林寺近郊緑地保全地区 S 60.6/1-12/18 対照（朝霞保健所 新座支所）	NO <sub>2</sub> NO NO <sub>x</sub> DUST	ザルツマンNO <sub>x</sub> 計3台 （群落内 h = 2, 8, 13m、 対照 h = 2m）光散乱型 DUST計（群落内 h = 2m、対照 h = 2m）	5ha（但し、平林寺境内林47haと市道をはさんで隣接）こなら、くぬぎ、えごのき、はんのき、赤松等の雑木林で樹高は平均13m位、下草刈りが行なわれている。

（備考） 大気吸引パイプはテフロン製で、内径8mm、長さ15mに統一した。  
気象条件は、北方約2.5kmにある新座大気常時監視局のデータを用いた。

かじめ並列運転して調整したNO<sub>x</sub>計及びDUST計を群落内（h = 2m）と対照地点（h = 2m）に設置し、1時間値を連続測定した。

また、群落内の測定点と同位置で、高さ別に群落内上部（h = 8m）と群落頂部（h = 13m）のNO<sub>x</sub>濃度を1カ月おきに切り変えて測定した。

### 3 調査結果

#### 3・1 群落内外のNO<sub>2</sub>、NO、NO<sub>x</sub>、DUST濃度測定結果

6月から12月の調査期間中、群落内外のNO<sub>2</sub>等濃度及び低減率（（対照濃度-群落内濃度）/対照濃度×100（%））を全期間及びN系風時（E~WWN）の昼夜別に表2に示す。

表2 調査期間中のNO<sub>2</sub>、NO、NO<sub>x</sub>、DUST濃度測定結果

（単位 NO<sub>x</sub>: ppb, DUST: μg/m<sup>3</sup>, 低減率: %）

区	場所等		対 照	群 落 内	濃 度 差	低 減 率
	汚 染 質					
全 期 間	全 日	NO <sub>2</sub>	28.7	25.5	3.2	11.1
		NO	31.6	29.5	2.1	6.7
		NO <sub>x</sub>	60.3	55.0	5.3	8.8
		DUST	59.5	49.1	10.4	17.4
N 系 風 時	全 日	NO <sub>2</sub>	29.9	25.4	4.5	15.2
		NO	33.6	31.1	2.5	7.6
		NO <sub>x</sub>	63.5	56.5	7.0	11.1
		DUST	64.7	53.1	11.6	17.9
	昼 間	NO <sub>2</sub>	29.6	26.5	3.1	10.5
		NO	24.2	23.0	1.2	5.0
		NO <sub>x</sub>	53.8	49.5	4.3	8.0
		DUST	67.1	54.8	12.3	18.3
夜 間	NO <sub>2</sub>	30.3	24.5	5.8	19.1	
	NO	41.9	38.1	3.8	9.1	
	NO <sub>x</sub>	72.2	62.6	9.6	13.3	
	DUST	63.1	52.5	10.6	16.8	

n : 昼間 1312 夜間 1536

全期間平均の低減率は、NO<sub>2</sub>が11.1%、NOが6.7%、NO<sub>x</sub>が8.8%、DUSTが17.4%であったが、前報<sup>6)</sup>で報告したとおり、この群落内は南側にある市道の自動車排出ガスが、連続した樹冠によって鉛直拡散を妨げられ、S系風や交通量の多い時には、外部の対照よりも高濃度になるので、その影響の少ないN系風時の低減率を求めた。

その結果、群落内汚染質の濃度は対照よりNO<sub>2</sub>が4.5ppb、NOが2.5ppb、NO<sub>x</sub>が7.0ppb、DUSTが11.6μg/m<sup>3</sup>低く、低減率はそれぞれ15.2%、7.6%、11.1%、17.9%となった。

N系風時、昼間の低減率はNO<sub>2</sub>が10.5%、NOが5.0%なのに対し、夜間はNO<sub>2</sub>が19.1%、NOが9.1%といずれも約2倍大きかった。このことは、特にNO<sub>2</sub>の昼夜の濃度レベルが29.6ppb、30.3ppbと等しいことを考えると一層、植物群落によるNO<sub>2</sub>濃度の低減効果には植物による吸収以外の要因が関与していることを示すものと考えられる。

#### 3・2 群落内外のNO<sub>2</sub>、NO、NO<sub>x</sub>、DUST濃度及び低減率の月変動

大気環境中の汚染質濃度は、同一地点でも主として気象の影響を受けて、それぞれ特徴的な変動を示すが一方、雑木林のような落葉樹の多い植物群落は、充分枝葉の繁った夏季と、落葉した冬季では、植物の活性はもちろん、群落の構造が全く異なる。したがって、植物群落による大気浄化効果も当然、季節によって変動するものと考えられる。

図1にN系風時の群落内外のNO<sub>2</sub>、NO、NO<sub>x</sub>、DUST濃度とその低減率及びN系風出現率の月変動を示す。

平林寺に隣接する当群落は、一般の雑木林と同様、夏季に葉量がピークに達するが、8月から9月にかけてヤマダカレハの幼虫のひどい食害にあって、10月に一部新葉が展開するという経緯を経て、11月から12月に落葉に至った。このような群落をとり囲む大気中、即ち対照のNO<sub>2</sub>濃度は、6、7月の26ppbから8月の

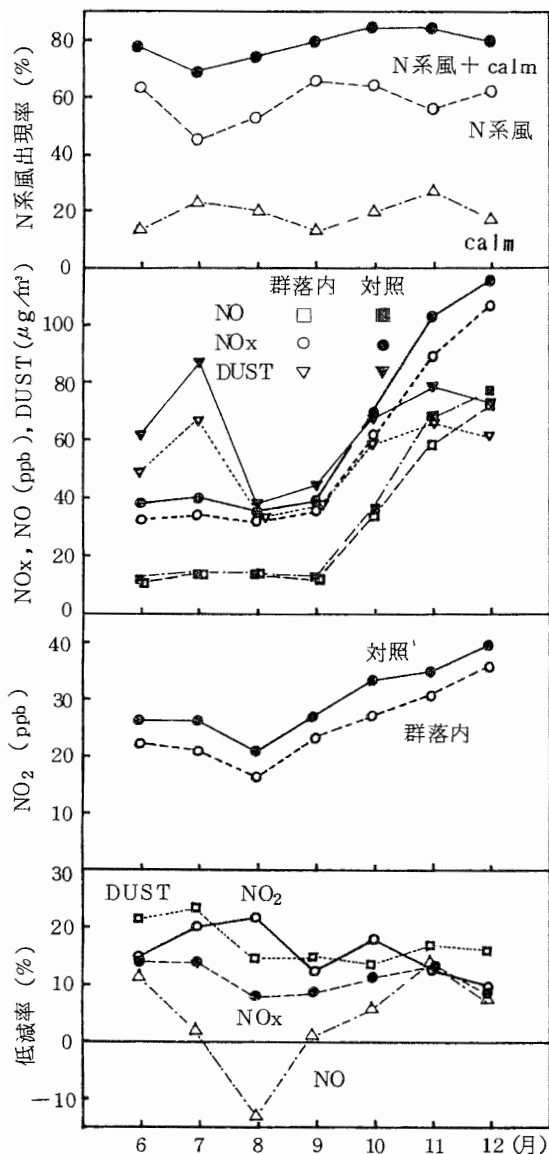


図1 N系風時測定結果の月変動

21 ppbに低下後、12月の40 ppbまで直線的に上昇した。NOは6月から9月まで12~14 ppbと低濃度で推移した後、10月以降急上昇して12月には77 ppbとなり、NOxも同様に6月から9月まで38~40 ppbで推移後12月に118 ppbとなった。DUSTは7月が87  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、11月が79  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ でピークをなし、8月から9月が38~45  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で最も低かった。こうした対照汚染質濃度の変化の中で、群落内外の濃度差が最も大きかったのは、

NO<sub>2</sub>が10月で6 ppb、NO、NO<sub>x</sub>が11月で10、14 ppb、DUSTが7月で20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。低減率では、NO<sub>2</sub>は8月の21.3%が最も大きく、12月の10.1%の約2倍に達した。NOは7月から9月の低減率が極めて低く、特に8月は群落内の濃度が対照を上回ったため負となったが、前述のとおり濃度レベルそのものが低く、N系風時とはいっても常時監視用の風向計は、毎正時前10分間の平均で表示されるため、当然逆風による南側市道からの自動車排出ガスの影響を受けており、低減率の変動が著しかった。

DUSTは、最も対照が高濃度となった7月の低減率が23.2%と最も大きく、8月以降の低減率は14~17%と比較的変動が小さかった。このことはまた、NO<sub>2</sub>の低減率の変動中が、夏、冬で約2倍の開きがあったことと較べると、両汚染質の浄化のメカニズムのちがいを如実に示しているものと思われる。即ち、DUST濃度の低減は、植物への物理的な衝突、吸着によるため、もっぱら季節による群落構造の変化に影響されるのに対し、NO<sub>2</sub>濃度には群落構造にもとづく群落境界面での遮へい、拡散効果に、植物による吸収能の変化が相乗的に加わるため、その分だけ季節による変動中は大きくなったものと考えられる。

### 3.3 群落内高さ別のNO<sub>2</sub>、NO、NO<sub>x</sub>濃度測定結果

植物の活性と群落構造が大きく異なる夏季と冬季で群落内外の部位、即ち樹冠の下部(群落内 h = 2 m)と樹冠の中(群落内上部 h = 8 m)、樹冠の上外部(群落頂部 h = 13 m)及び対照(h = 2 m)で、N系風時のNO<sub>2</sub>等濃度の比較を行った。

(図2、n = 200~550 hrs)

NO<sub>2</sub>濃度は、6、7、12月とも群落内2 m地点が最も低かった。群落内上部と群落頂部のNO<sub>2</sub>濃度は、いずれも夏季に対照よりやや下回り、冬季は逆にやや上回る傾向を示した。夏季は、植物の活発なガス交換を考えると、O<sub>x</sub>で報告されているように<sup>4)7)</sup>群落内上部の樹冠中のNO<sub>2</sub>濃度は最も低くて当然とも考えられるが、結果は群落頂部とほぼ同レベルにあり、群落構造が貧弱となる冬季は群落頂部のNO<sub>2</sub>濃度が対照を上回ったことから明らかなように、高所のNO<sub>2</sub>濃度が高く、群落内でも群落内上部が、群落内2 m地点はもとより対照をもやや上回った。こうした結果は、5 haという比較的大きな群落の中心付近では、汚染質は群落の上空からの下降によっても浸入することを示唆しており、それは、群落と上空大気との温度差による下

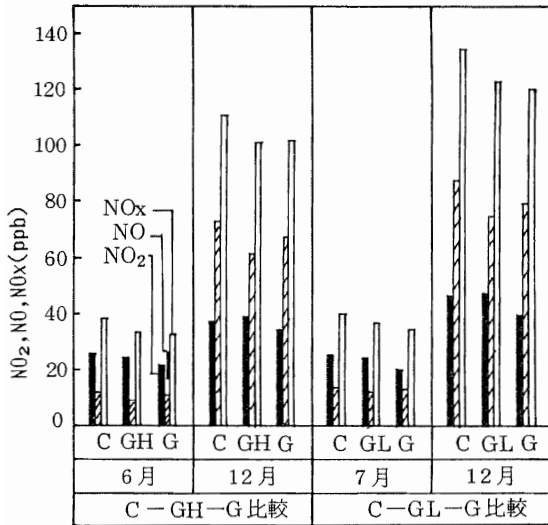


図2 夏季、冬季における高さ別測定結果

C: 対照 G: 群落内 (h=2m)  
GH: 群落頂部 (h=13m) GL: 群落内上部 (h=8m)

降気流の存在をも示唆するものと考えられる。

NO濃度は、6,7,12月とも高位置にある群落内上部群落頂部が低く、次いで群落内2m地点、対照の順であったが、これはNOの主発生源が地上の自動車であり、拡散と反応により上部のNO濃度の低下が、群落による低下を上回っているためと考えられる。

### 3.4 大気浄化効果の変動要因

#### 3.4.1 月別経時変化

植物は活発なガス交換をとおりて汚染質をとり込んでいるため、チャンバー内のような閉鎖系では、汚染質濃度は、光が強く、気温の高い昼間、大きく低下することが報告<sup>2)3)</sup>されている。しかし、開放系である野外では、群落内外のNO<sub>2</sub>等濃度やその低減率の経時変化は、図3に示すとおり、やや複雑な挙動を見せた。

6月、群落内 (h=2m)のNO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>濃度は、朝7時を除き、1日中対照より低かった。朝、対照地点のNO<sub>2</sub>濃度のピークは9時であったのに対し、群落内は7時で、それ以後低下して低減率が上昇している

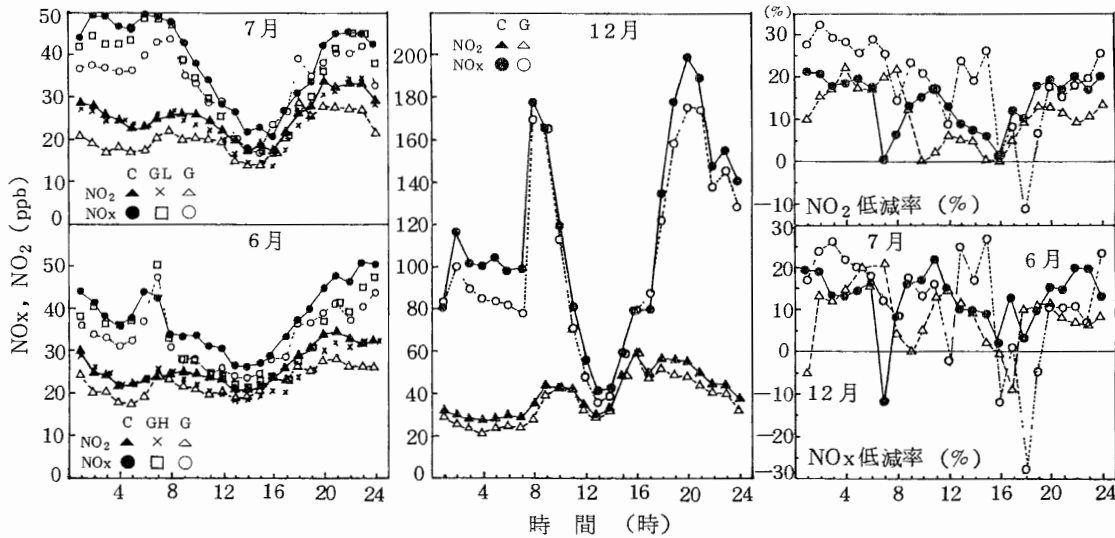


図3 N系風時の月平均経時変化及び低減率 (6, 7, 12月)

C: 対照 G: 群落内 (h=2m) GH: 群落頂部 (h=13m)  
GL: 群落内上部 (h=8m)

のは、植物による吸収の影響と考えられ、夜間、群落内外のNO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>濃度が同一変動パターンをとり、かつ濃度差が大きいのは、群落の閉鎖性と、弱風化(図4)にともなう群落内外の大気交換の停滞によるものと推察される。

群落頂部のNO<sub>2</sub>濃度は、深夜から朝8時までは対

照と同レベルであったが、9時から対照より早く低下し始め、12時以降18時頃までは群落内2m地点をも下回るようになった。これは、N系風時のみの測定値であっても前述のとおり、南側の市道からの自動車排出ガスが群落内に広がったため、明らかに樹冠が自動車排出ガスの鉛直拡散を妨げた結果である。

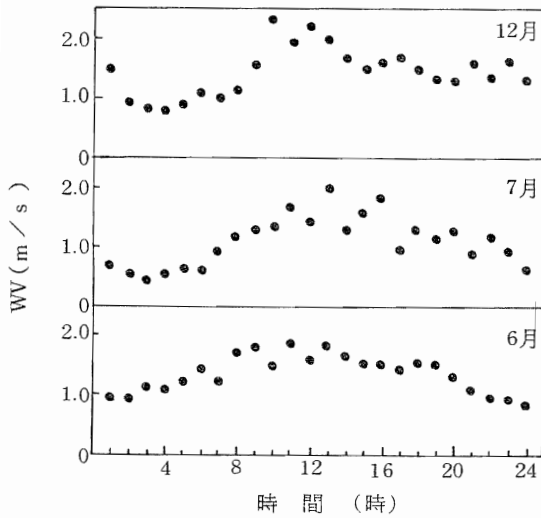


図4 N系風時風速の経時変化

7月の群落内外のNO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>濃度の変動パターンは基本的には6月と同様であったが、内外の濃度差はやや大きかった。群落内上部の変動も、6月の群落頂部の変動と酷似しており、朝8時からのNO<sub>2</sub>濃度の低下は植物の吸収の影響が大きく、それを上回る速度でNO<sub>x</sub>濃度が低下するのは、高さによるNO濃度の低下が加わったためと考えられる。これらに較べると12月はNO<sub>2</sub>及びNO<sub>x</sub>濃度の群落内外の変動パターンが酷似しており、落葉による群落構造の開放化と植物活性の低下の現れと考えられる。また、昼間の低減率に較べて夜間の低減率が大きいのは、前述のように夜間の風速が小さかったためと考えられる。

以上のように、NO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>濃度は各月とも群落内2m地点が対照より低かったが、その差は月や時間帯で大きく異なった。NO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>濃度の低減率は、群落内外の拡散速度のちがいに起因するタイムラグにより、対照濃度の急変する朝夕に、しばしば急低下した。昼間、10時から15時のNO<sub>2</sub>低減率の最大値は6月が17%、7月が26%に達したが12月は6%で、夏・冬の差が大きかった。NO<sub>x</sub>濃度では同様に6月が22%、7月が27%に対し12月が15%で、幾分、差は小さかった。

これらの結果から、野外での植物群落によるNO<sub>2</sub>等濃度の低減効果は、植物による吸収はもちろん、それ以上に、群落構造に起因する閉鎖性、周辺の汚染質濃度、さらに移流拡散速度に影響を与える風速等の気象が、複雑に作用しあった結果ということができよう。

### 3・4・2 NO<sub>2</sub>等汚染質の群落内外濃度間、及び濃度差と気象要因等との相関関係

月別経時変化の特徴等から、植物群落の大気汚染低減効果には、各種の要因が関与していることが示唆されたことについて、さらに相関分析により検討を行った。

一つは、月別に時間値で、群落内と対照のNO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、DUST濃度の相関係数の変化を調べたものでその推移を図5に示す。

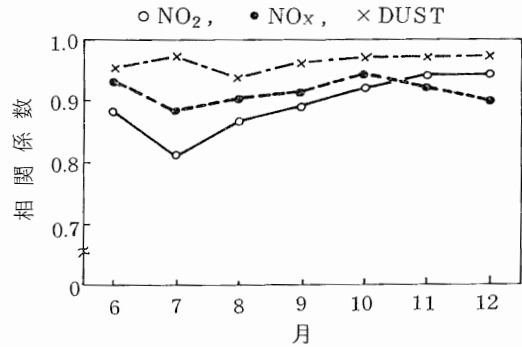


図5 NO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、DUSTの群落内外濃度間の相関

DUSTは最も相関係数の低い8月が0.93で、10月から12月は0.97から0.98と、全体的に高く、変動巾が小さかった。NO<sub>2</sub>は7月の0.81が最小で、以後徐々に高まり、12月に0.94となったがDUSTより低めで、変動巾はやや大きかった。DUSTの相関係数が高いのは、DUSTが植物への衝突、吸着等物理的作用で低減するため、群落が大気の流れ拡散速度を遅くしても、この程度の規模の群落の場合、本測定法の1時間値では、群落内濃度が対照よりやや遅れて変化するだけで、朝夕の濃度の急変する時間帯を除き、ほとんど同一の濃度変動パターンになるためと考えられる。これに対しNO<sub>2</sub>は植物のガス交換によってとり込まれるため、植物の活性が高く、葉量の多い夏季の群落内では、その影響は大きく、気象条件さえ適すれば、対照の濃度変動とは若干異なったパターンをとるようになり、相関係数は低下する。即ち、NO<sub>2</sub>の相関係数がDUSTより低く、特に夏季に相対的に低下するのは、植物による吸収の影響の現れと考えられる。

次に、群落内外のNO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、DUSTの濃度差について、日平均値レベルで、全データのそろった157日間について、それぞれの対照濃度や気象要因との相関係数を求めた(表3)。

対照濃度との関係では、NO<sub>2</sub>は0.66、NO<sub>x</sub>は0.74、

表3 群落内外濃度差と各種要因の相関係数（日平均値 n = 157）

	対照 NO <sub>2</sub>	対照 NO <sub>x</sub>	対照 DUST	風速	日射量	気温	湿度
NO <sub>2</sub> 濃度差	0.66	0.53	0.55	-0.33	-0.42	-0.28	0.23
NO <sub>x</sub> 濃度差	0.60	0.74	0.47	-0.28	-0.25	-0.46	-0.03
DUST 濃度差	0.52	0.35	0.78	-0.31	-0.42	-0.10	0.42

DUSTは0.78と、正の高い相関がみられ、群落内外の汚染質の濃度差は、対照の汚染質濃度に強く影響されているものと判断できる。また、気象要因との関係のうち、風速、日射量、気温とは弱い負の相関関係を示し、風が強いほど、日射が強いほど、気温が高いほど、群落内外の濃度差は小さくなる傾向にあることが示された。

図6は1時間値を用いたNO<sub>2</sub>濃度差と、気象要因等との相関係数の月変動を昼夜別に示したものである。

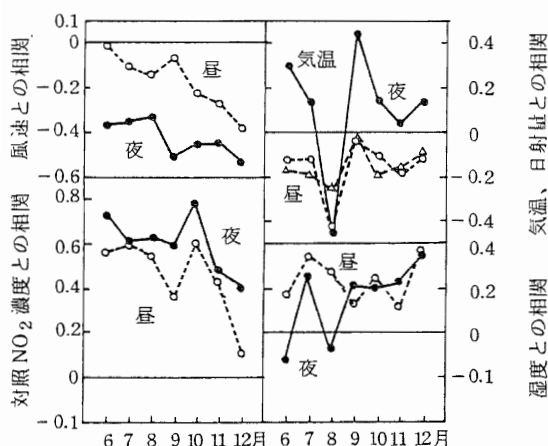


図6 NO<sub>2</sub>濃度差と気象要因との相関係数の月変化（N系風時）

※データ数：6月(昼263,夜293)7月(148,205)8月(84,126)9月(131,145)10月(293,326)11月(280,316)12月(110,125)

NO<sub>2</sub>濃度差と対照NO<sub>2</sub>濃度は比較的高い正の相関を有し、相関係数の大きさは概ね、夜>昼、夏>冬であった。これは、夜間に光合成が停止し、風が弱まって群落の遮へい効果が高まることと、冬季群落が開放型に近づくため、濃度差が全般に小さくなり、対照濃度との相関が小さくなるためと考えられる。

気象要因との関係では、風速との間に負の相関がありその大きさは、夜>昼、冬>夏であった。風速が負の相関を持つのは、前述のように、風速が強くなると

対照濃度を低下させ、群落内大気の交換速度を早めるため、群落内外の濃度差が小さくなるからで、夏季の昼間の相関が小さいのは、風速が植物のガス交換を促進して、対照NO<sub>2</sub>濃度の低下による負の影響と、打ち消し合うためと考えられる。

また、NO<sub>2</sub>濃度差は、温度とは昼夜で逆の相関を示し、夜間は概ね正の、昼間は負の関係にあったが、これは夕方から夜間の比較的気温の高い時に、大気が安定で対照が高濃度になることと、昼間の、強日射で最も気温の高い時に大気が不安定化し、対照の濃度が低下するためと推察される。日射量との間に負の相関があるのも同様である。

一般に、植物は一定の範囲内では、日射量が高いほど、気温が高いほどガス交換を促進する。また、風速が速いほど葉面とガスの接触を促進するし、湿度は低いほど、蒸散が活発となり気孔開度が大きくなって、ガス交換にプラスに作用する。しかし、以上の相関分析の結果、群落内外の汚染質の濃度差は、日平均値でも、或いは月別昼夜別の時間値でも、日射量、風速、及び昼間の気温と負の相関を示し、明らかに、植物のガス交換速度を促進させることと矛盾する結果となった。それは、これらの気象因子が同時に、大気拡散速度をも規定しているからで、現象的には、日射量、気温、風速が大きいくほど、大気が不安定化し、植物の大気汚染低減効果に、より大きな影響を与えている、汚染質濃度が低下するためである。即ち、植物のガス交換速度を大きくする気象条件は、同時に大気中の汚染質濃度レベルを低下させるので、開放系の野外で、しかも閉鎖性の大きい植物群落では、日射量や気温、風速が大きいくほど、NO<sub>2</sub>等の吸収量が増加するとしても、大気不安定化による対照濃度レベルの低下によって、群落内外の濃度差は、単純には大きくなり、どう変化するかは、その時期、時刻の群落構造と植物の活性によって決定されるものと考えられる。

#### 4 まとめ

植物群落による大気浄化効果の季節変動等を明らかにするため、新座市の平林寺近郊緑地保全地区の雑木林内外で、1985年6月1日から12月19日まで、NO<sub>2</sub>、NO、NO<sub>x</sub>、DUST濃度を自動測定機により連続測定した。その結果は以下のとおりである。

- (1) 調査期間中、N系風時(以下、すべてN系風時データ)の汚染質の低減率はDUST>NO<sub>2</sub>>NOで、それぞれ17.9%、15.2%、7.6%であった。また、夜間のNO<sub>2</sub>濃度の低減率は19.1%で昼間10.5%の約2倍であった。
- (2) NO<sub>2</sub>低減率のピークは8月で21.3%に達し、12月の10.1%の約2倍であった。DUSTの低減率は7月の23.2%がピークで、9月から12月は14~17%を推移した。
- (3) 群落内外の高さ別のNO<sub>2</sub>濃度は、夏季、冬季とも群落内2m地点が低く、群落内上部(h=8m)と群落頂部(h=13m)は、いずれも夏季に対照より下回ったが、冬季は逆に上回る傾向を示した。
- (4) 夏季、冬季の群落内外のNO<sub>2</sub>濃度の経時変化の特徴から、NO<sub>2</sub>濃度の低減効果には、植物による吸収はもちろん、それ以上に群落構造に起因する閉鎖性や、対照汚染質濃度、及びそれに影響を与える風速等気象要因が関与していることが推察された。
- (5) 群落内外のDUST濃度間の相関係数は0.93~0.98と高く、月変動も小さかったが、NO<sub>2</sub>濃度間では7月が0.81、12月が0.94となり、物理的低減と、植物の吸収による低減のちがいの現れと推察された。
- (6) 日平均値による群落内外のNO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、DUSTの濃度差と各対照濃度の相関係数は、それぞれ0.66、0.74、0.78と高く、風速、日射量、気温とはいずれも負の弱い相関を示した。
- (7) 一般に、植物は日射が強く気温が高いほど、風が強いほど活発なガス交換を行うが、野外では、同条件が大気拡散速度を大きくして対照濃度を低下させるため、群落内外の濃度差がどう変化するかは、その時期、時刻の群落構造と植物の活性によるものと考えられる。

#### 文 献

- 1) 陸上植物による大気汚染環境の評価と改善に関する基礎的研究, 国立公害研究所特別研究報告, [10], (1979)
- 2) 複合大気汚染の植物影響に関する研究, 国立公害研究所特別研究総合報告, [64], (1984)
- 3) 戸塚 績他: 植物の大気環境浄化機能に関する研究, 国立公害研究所特別研究報告, [82], (1985)
- 4) 荒木 真之他: オゾン濃度減衰に及ぼす樹林の効果, 林業試験場研究報告, [321], pp 51~87 (1983)
- 5) 根本 修他: 森林の内外における汚染質粒子の測定について, 第24回大気汚染学会講演要旨集, 337 (1983)
- 6) 小川 和雄, 高野 利一: 植物群落の大気浄化効果に関する研究, 埼玉県公害センター年報, [12], pp 45~51 (1985)
- 7) 久野 春子他: 都市内人工コナラ林の生長過程と環境への影響, 日本環境学会誌「人間と環境」, 11, (2), pp 31~44 (1985)