

植物群落の大気浄化効果に関する研究（第3報）

小川 和雄 高野 利一

要 旨

沿道緑地帯による大気汚染低減効果を明らかにするため、上尾運動公園沿道緑地帯周辺で、NO₂濃度等を自動測定機により連続測定した。

調査期間中の平均低減率はNO₂が14.1%、NOが10.3%、DUSTが10.2%であった。NO₂濃度の低減率は秋から冬が夏をやや上回ったが、これはE-ESE風時にストリートキャニオン現象が生じて緑地内濃度が対照地点を上回ったため、その出現頻度が高く、大気拡散速度の速い夏に月平均低減率が低下したものである。

これまでの植物によるNO₂吸収に関する知見をもとに、本調査地点の緑地帯4,000m²のNO₂吸収量を概算すると148-270g/日で、緑地帯前面の道路200mで排出され、拡散していくNO_x量の0.9-1.6%に相当した。

1 はじめに

沿道環境をはじめとする窒素酸化物による大気汚染は、昭和50年代の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、依然として高濃度横ばいの状態が続いている。この間、交通流の円滑化や交通総量の抑制、あるいは道路構造の改良等、様々な対策が提案され、一部実施もされてきたが、その効果はほとんど確認されていない。

こうした中で、「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、昭和57年の道路構造令の改正では第四種第一級の道路には植樹帯の設置を規定するなど具体化が進んでいる。

植物によるNO₂吸収のメカニズムや吸収速度の種間差等については、国公研グループ等が人工気象室や放射性同位元素、ポロメータ等を利用して詳細に明らかにしている^{1)~4)}。しかし、人間の健康に直接影響する大気中NO₂濃度が、野外で実際にどれだけ低減するのかといった調査は、最近までほとんど行われていなかった。

筆者らは昭和59年度以降、野外で緑地帯による大気汚染の低減効果を明らかにするため、5か所の雑木林、都市公園等で調査を行い、これまで、まとまった植物群落は大気汚染低減効果を持ち、夏季が冬季より大きいこと、またその大きさは群落の構造に大きく依存していること等を明らかにした^{5)~7)}。

本報では、高濃度で濃度変動の複雑な沿道における緑地帯の大気汚染低減効果を明らかにするため、約半年間にわたって上尾運動公園の沿道緑地帯で行った調査結果について、その一部を報告する。

2 調査方法

調査は昭和61年6月1日から同年12月15日まで、埼玉県上尾市内にある国道17号沿い(日交通量42,500台)上尾運動公園の東側沿道緑地帯で実施した。

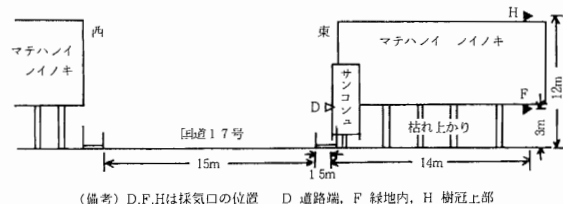


図1 上尾運動公園沿道緑地帯の構造

緑地帯はSSEからNNW方向に走る道路の両側にあり、図1に示すとおり、マテバシイ、スダジイ等の常緑高木が幅10-15m、長さ200mにわたって植栽されている。樹高は12m程度で、群落内は少くとも3m以

表1 上尾運動公園緑地帯周辺のNO₂濃度等測定結果

(6-12月, ppb)

		道路端	対照	緑地内	樹冠上部	濃度差	低減率(%)
		(D)	(C)	(F)	(H)	(C-F)	(C-F)/C×100
全日	NO ₂	401	29.1	25.0	26.1	4.1	14.1
	NO	1966	41.9	37.6	33.5	4.3	10.3
	NO _x	236.7	71.0	62.6	59.6	8.4	11.8
	DUST	88.3	64.6	58.0	—	6.6	10.2
昼間	NO ₂	45.6	28.5	24.6	24.7	3.9	13.7
	NO	196.4	31.0	29.5	23.8	1.5	4.8
	NO _x	242.0	59.5	54.1	48.5	5.4	9.1
	DUST	87.9	62.9	57.2	—	5.7	9.1
夜間	NO ₂	34.6	29.7	25.3	27.5	4.4	14.8
	NO	196.8	52.8	45.7	43.2	7.1	13.5
	NO _x	231.4	82.5	71.0	70.7	1.5	13.9
	DUST	88.7	66.2	58.8	—	7.4	11.2

(備考) 採気口の高さは3m, 樹冠上部は12mとした。

上の枯上りをみせている。東側の緑地帯の道路側は樹高5m強のサングジュが1列密植されており、緑の壁を形成している。

測定項目はNO₂、NO、NO_x、DUSTで、調査開始前2週間にわたり並列運転して調整したザルツマンNO_x計及び光散乱型粉じん計を、図のD、F、H(NO_x計のみ)と緑地を外れた、Fの対照地点Cに設置し、1時間値を連続測定した。

3 調査結果

3・1 沿道緑地帯周辺のNO₂濃度等測定結果

6月から12月まで沿道緑地帯周辺におけるNO₂、NO、NO_x、DUST濃度の測定結果を、全日及び昼夜別の平均値で表1に示す。

全日では道路端(D地点)で40.1ppbであったNO₂が15.5m離れた対照地点では29.1ppbまで減衰し、これと等距離にある緑地内(F地点)では25.0ppbで対照地点より4.1ppb、14.1%低かった。また緑地内側地点と同一地点で高さ12mの樹冠上部(H地点)は26.1ppbで緑地内をやや上回った。NOは道路端で196.6ppbと高かったが距離減衰も大きく、対照地点で41.9ppb、緑地内は37.6ppbとなり、緑地による低減効果は4.3ppb、10.3%であった。樹冠上部は33.5ppbで緑

地内より4.1ppb低かった。DUSTの緑地内外の濃度差は6.6μg/m³、その低減率は10.2%でNOとはほぼ一致した。

昼夜別の対照地点の濃度レベルは、NO₂で昼間28.5ppb、夜間29.7ppb、DUSTは同じく62.9μg/m³、66.2μg/m³とあまり変らなかったが、NOは夜間が52.8ppbで昼間の31.0ppbより高かった。この時の緑地帯による低減率は、NO₂とDUSTは昼夜それぞれ13.7%、14.8%、9.1%、11.2%と差が小さかったが、NOは夜間が13.5%と昼間の4.8%を大きく上回った。

3・2 NO₂、NO濃度及び低減率の月変動

図2に各測定点のNO₂、NO濃度と緑地帯による低減効果の月変動を、全日及び静穏時(風速0.3m以下)の平均値で示す。全日では緑地内のNO₂濃度は各月とも対照より低かった。緑地内外の濃度差は、11月、12月の6ppbが最も大きく、8月の2ppbが最も小さかった。低減率は夏季よりも秋、冬季が大きく、最低が8月の11%、最高が10月の17%であった。NO濃度は6月から8月にかけて緑地内が対照地点より高く、-5%から-23%と負の低減率となったが、9月以降は濃度の上昇とともに低減率も負から正に急上昇した。濃度差が大きかったのはNO₂と同様11月と12月で11-12ppb緑地内が低かったが、低減率は10月の24%が最

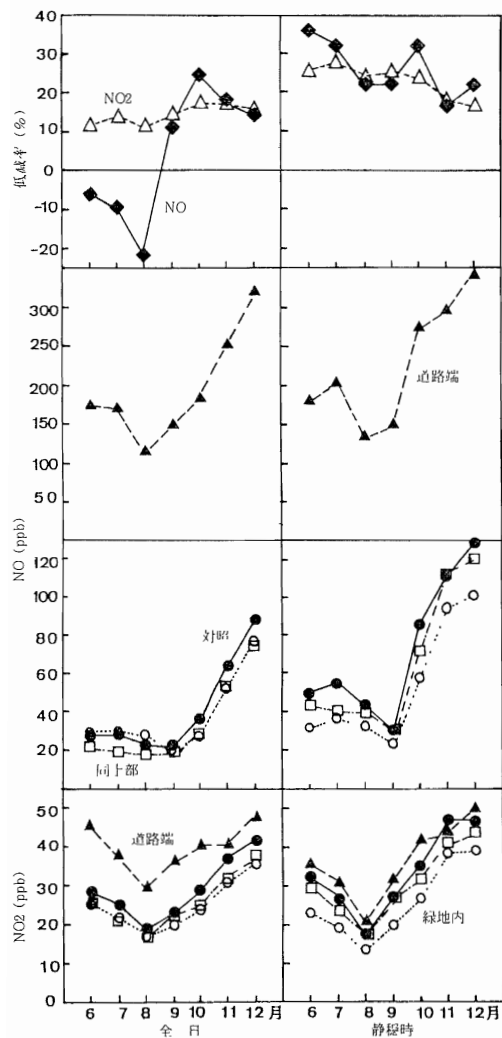


図2 NO₂、NO濃度及び低減率の月変動

も大きかった。

沿道の緑地帯周辺の濃度分布は、直接自動車排出ガスの発生源に接しているため、後述するように風の影響が大きいと考えられるので、低減効果の月変動は主風向が変化すれば全く異なった結果となる可能性がある。そこで、風の影響をできるだけ少なくするため、風速が0.3m/s以下の静穏時のデータだけで月変動を比較してみると、8月を谷とするNO₂、NO濃度の月変動パターンに大きな変化はみられなかったが、低減効果は夏季が高まって秋、冬季を上回り、前報までの都市域植物群落の調査結果と一致した。NO₂低減率の最高は7月の27%、NOの最高は6月で36%に達した。

3・3 NO₂濃度等低減効果の変動要因

沿道緑地帯を対象とした本調査結果は、平均値では前述のとおり夏季のNO₂濃度低減率が秋、冬を下回るなど、植物による大気汚染質の吸収を考えた時、植物の生理活性の季節変動とは全く逆の傾向を示した。一方、NO₂及び気象要因等の全データのそろった日平均値157日間を用いた群落内外のNO₂、NO_x濃度差と対照濃度及び気象要因との相関分析の結果は、表2に示すとおりで、緑地帯による低減効果は対照濃度が高いほど大きく、植物の光合成を促進する日射量、気温、風速とは負の相関関係を示した。

表2 緑地内外濃度差と気象要因等の相関係数

(日平均値, n = 157)

	対照濃度	WS	TSR	T	HUM
NO ₂ 濃度差	0.66	-0.33	-0.42	-0.28	0.23
NO _x 濃度差	0.74	-0.28	-0.25	-0.46	0.03

沿道緑地帯を設置する場合、このような傾向を示す緑地帯の大気汚染低減効果の変動要因を明らかにすることは不可欠と考えられるので、以下に検討結果を示す。

3・3・1 NO₂、NO濃度及び低減率の経時変化

NO₂濃度等の低減効果が時間帯でどう変化するか、その特徴を明らかにするため図3に6月の調査地点別NO₂、NO濃度の経時変化を、図4に6月、8月、12月のNO₂、NO濃度低減率の経時変化を月平均値で示す。

6月の緑地内のNO₂濃度は概ね対照地点にくらべて低かったが、16時から19時にかけては対照地点を上回った。緑地内のNO濃度も9時から23時まで、日中のほとんどの時間帯で対照地点を上回り、特に14時以降は、対照地点や樹冠上部の濃度が低下しているなかで上昇し、20時にピークとなる等、特異な濃度変動パターンを示した。このように緑地内の濃度が時間帯によって対照地点を上回る傾向は、NO₂で9月、NOで12月まで続いた。低減率の経時変化(図4)でも6月と8月のNO₂低減率はほとんど同一の変動パターンを示したが、12月では16時から20時が正の低減率となり、逆に12時前後が低下する傾向となった。NOは9月から12月でも日中にやや負の低減率となる変動パ

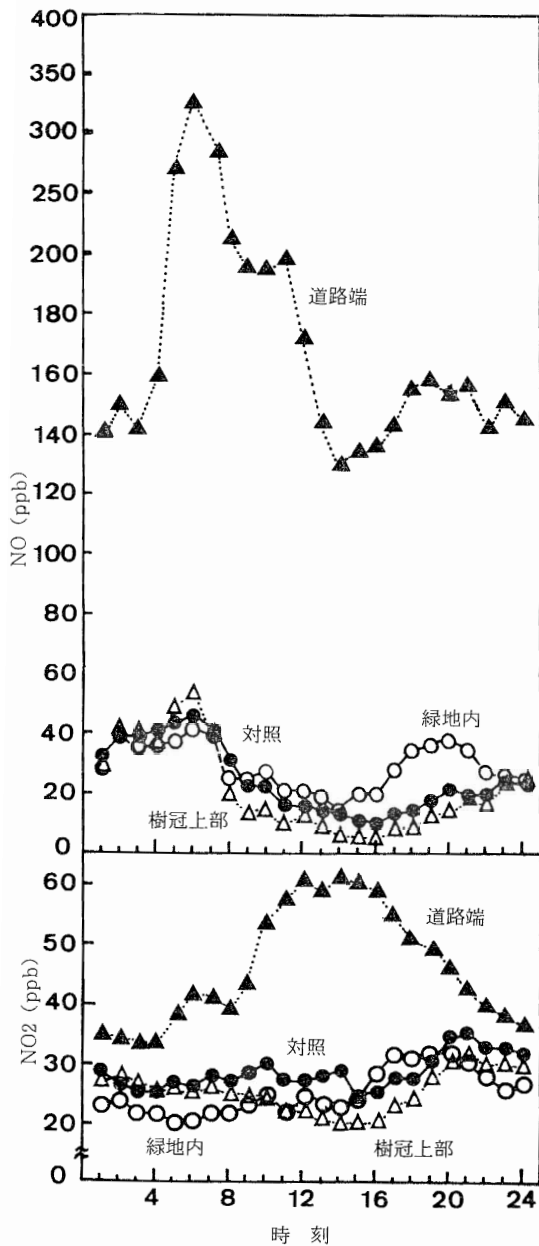


図3 NO₂, NO濃度の経時変化(6月)

ターンをくり返したが、日平均値では正の低減率となった。

一方、緑地内と同一地点で高さ12mの樹冠上部の6月のNO₂濃度(図3)は、深夜から朝6時頃までは対照地点とほとんど同じ濃度レベルを変動したが、6時以降は対照地点より低下しはじめ、12時から20時まで

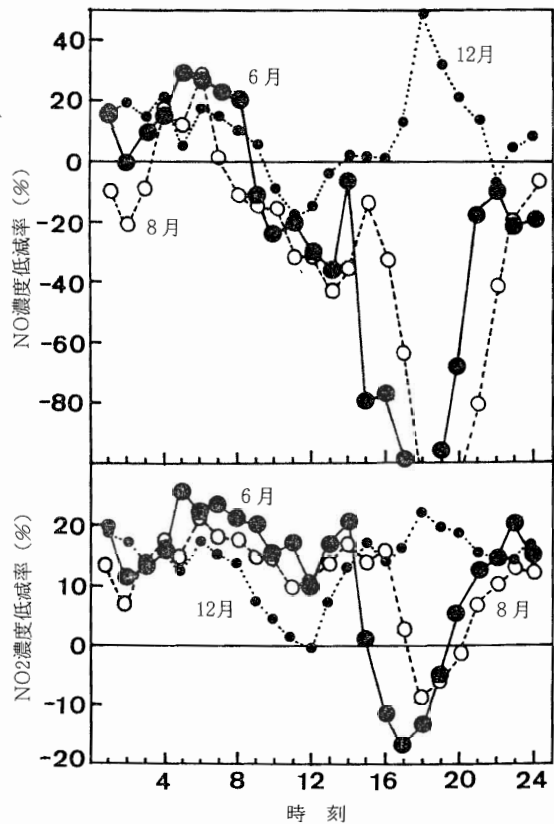


図4 NO₂, NO濃度低減率の経時変化

は緑地内をも下回った。同地点のNO濃度も8時から22時までの間、対照地点、緑地内を下回った。

3.3.2 風向別NO₂, NO濃度及び低減率

一般に大気汚染濃度は気象条件を媒介とした発生源との位置関係で決定されるが、本調査地点のような沿道地域では特にこの関係が重要と考えられる。そこで道路と沿道緑地帯の濃度、及びその関係を媒介する風の影響を明らかにするため、風向16方位別のNO₂, NO濃度及び低減率を算出した。

図5に示す6月の風向別NO₂濃度ではEからESEの風向で、NO濃度ではENEからSWの風向で緑地内が対照地点より高く、低減率が負となった。前述のように、道路がSSEからNNW方向に存在しているので、NO₂低減率が負となるE-ESEの風向は緑地帯から道路方向に吹く風で、NOの場合はさらにS系の平行風にまで及んでいる。

平坦地では、道路から自動車排出ガスが拡散する場合風下方向が高濃度となるが、このことは本調査でも

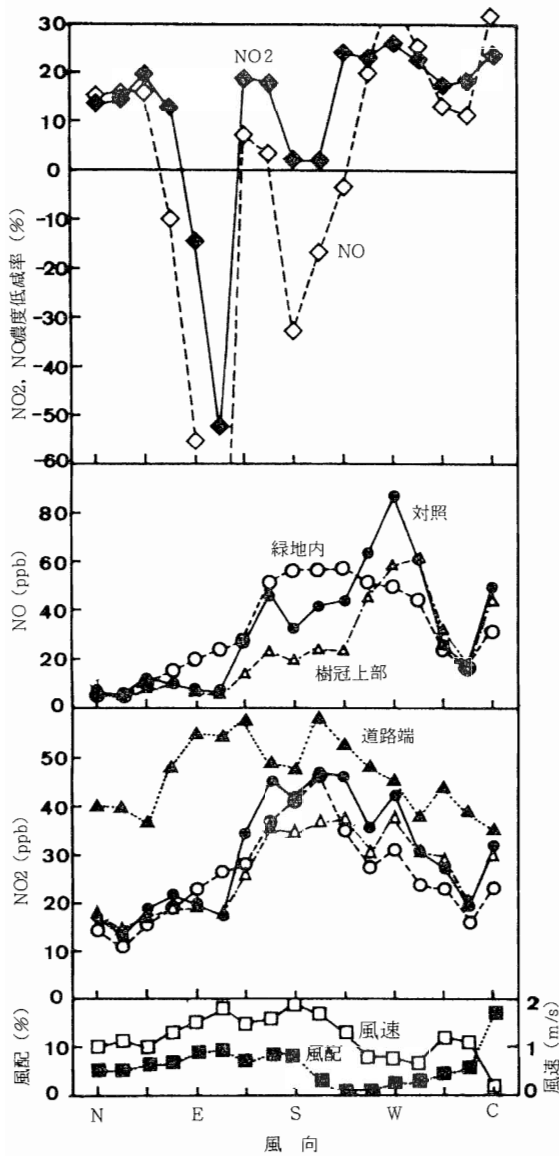


図5 6月の風向別NO₂, NO濃度及び低減率

対照地点のNO濃度がW系風時に高まっていることに現われている。同時に発生源のない緑地帯方向からの風の場合、道路の風上側にある測定点が低濃度となることは、対照地点及び樹冠上部の濃度が低いことに示されている。それにもかかわらずこのE-EES風時に、同じ風上側にある道路端のNO₂, NO濃度が高まり、緑地内の濃度も対照地点を上回る結果となった。このように風上側が高濃度となる現象は、ビルの谷間等に発生するストリートキャニオン現象⁹⁾として知られて

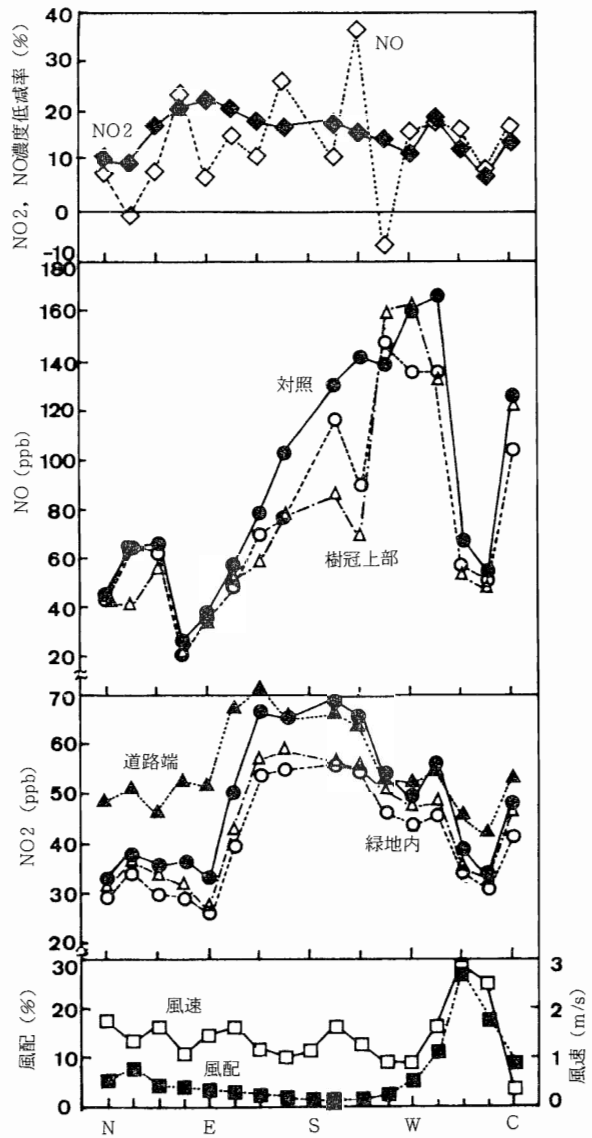


図6 12月の風向別NO₂, NO濃度及び低減率

いる。これは、ビルにあたった風によって道路内に鉛直方向の渦ができ、しばしば風上側が高濃度となるものであるが、本調査地点も図1に示したように幅15mの道路の両側を高さ12mの緑地が約200mにわたって連続しているため、同様の現象が生じたものと考えられる。またNOの低減率がS系風時にも負となったのは、NNW系の自動車走行風に対するS系の地上風によって、緑地帯に囲まれた道路内に高濃度NOを含む自動車排出ガスの一部が停滞するためと考えられ、そ

の影響を受けた緑地内が対照地点より高濃度となったためと考えられる。

一方図6に示した12月の風向別濃度では、大気が安定化するため各地点とも濃度レベルが高く、汚染が広範囲であることを示唆している。そのため、6月と同様のストリートキャニオン現象が生じているかどうかは明らかでないが、緑地内のNO₂濃度は対照地点より下回っており、低減率も全風向で正であった。

3・3・3 月別NO₂濃度等低減率の変動要因

図7に、6月の事例でNO₂及びNO濃度低減率を負としたE-ESE風、ENE-SW風出現頻度の月変動を、図8に同風向出現頻度の経時変化を6、8、12月について示す。また、沿道の大気拡散速度の指標として、対照地点のNO₂及びNO濃度の道路端からの減衰率〔(1-対照地点濃度/道路端濃度)×100〕を求め、その月変動を図9に示した。

6月から9月はNO₂の減衰率が大きい(図9)ことから明らかなように比較的大気が不安定な状態にある。そのうえE-ESE風は発生源のない緑地帯から道路方向の風であるため、対照濃度は大きく低下し、ストリートキャニオン現象の影響を受けてNO₂濃度の上昇した緑地内を下回り、負の低減率となった。特に6月から8月は、このE-ESE風出現頻度が高い(図7)ため月平均低減率が低下したものと考えられ、このことは6、8月のE-ESE風出現頻度の高い夕方(図8)が、NO₂経時変化(図4)で負となっていることから明らかであろう。10月以降はNO₂減衰率が低下しはじめ(図9)で大気が安定化するため、地域全体の

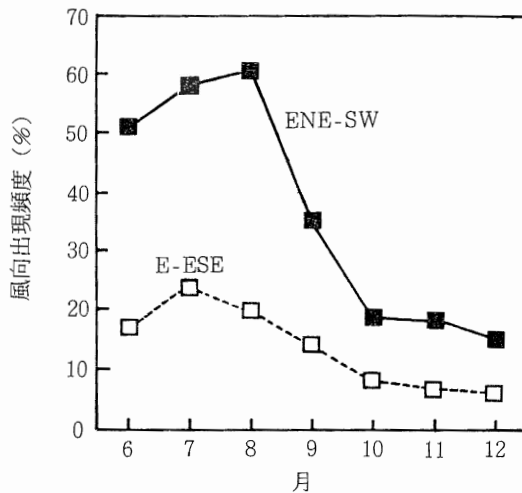


図7 E-ESE, ENE-SW風の月別出現頻度

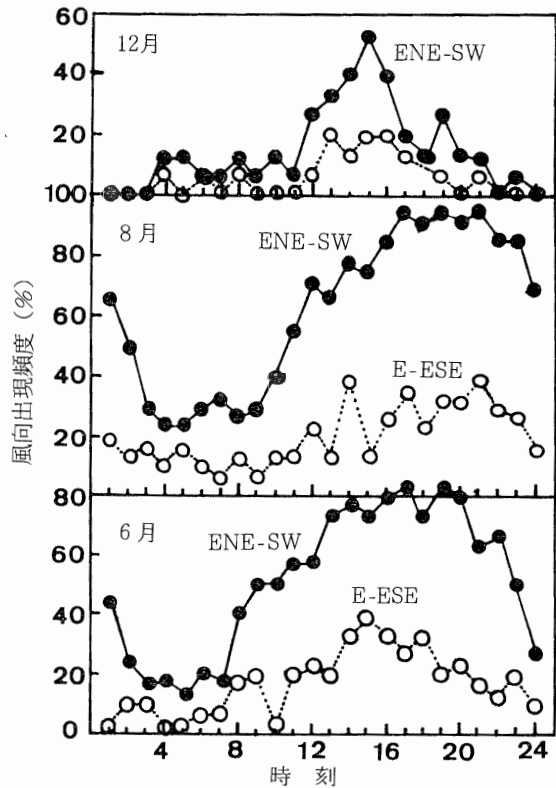


図8 E-ESE, ENE-SW風の時刻別出現頻度

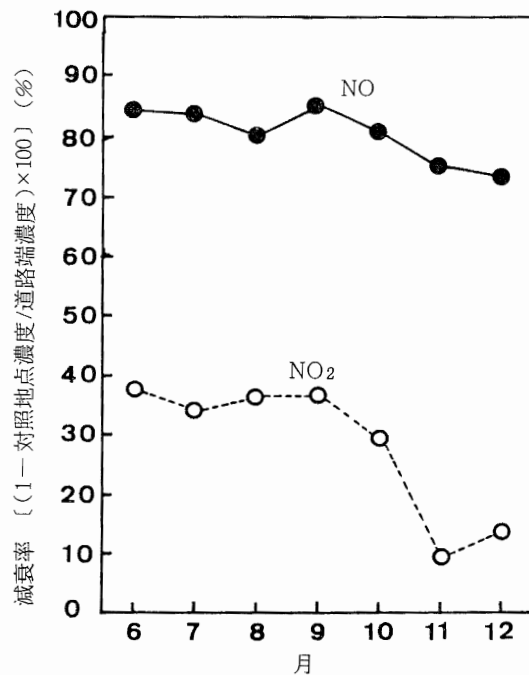


図9 対照地点におけるNO₂, NO濃度の減衰率

濃度レベルが高まり、遮へい効果を持つ緑地帯内の濃度を上回るものと考えられる。この時期にストリートキャニオン現象が生じたとしてもE-ESE風の出現頻度は10%未満(図7)に低下しており、影響は小さかったものと考えられる。

NOは一次汚染質であるためNO₂に較べて対照地点での減衰率が大きく(図9)、6月から8月にかけては緑地内NO濃度が上昇するENE-SW風の出現頻度が50%以上となるため、月平均低減率は負となったものと考えられる。9月はこのENE-SW風出現頻度が8月に較べて半減したため(図7)月平均低減率は上昇して正となったと考えられる。10月から12月は大気安定化にともなってNO₂以上に高濃度化した対照地点のNO濃度が緑地内濃度を上回りENE-SW風出現頻度も20%以下に低下することから月平均低減率が6-9月上回ったものと考えられる。

以上のことから、本調査地点のように比較的幅員の狭い道路の両側に高さ10数mの緑地帯が設置される場合、風向によってはストリートキャニオン現象が生じる可能性があり、緑地帯によるNO₂、NO濃度低減率は、季節等によって変化する大気拡散速度とストリートキャニオン現象を生じる風向の出現頻度の組合せに大きく影響されるものと考えられる。

3・4 沿道緑地帯によるNO₂の吸収

上尾運動公園沿道緑地帯によるNO₂濃度の低減効果は、6月から12月の平均値で14.1%であることはすでに表1に示したが、その低減効果は3・3・3で述べたように気象条件に起因する大気拡散速度とそれを妨げる群落の構造の影響が大きく、植物に期待された汚染質の吸収の影響は明らかではなかった。そこで、植物によるNO₂の吸収がどの程度効果を持つのか明らかにするため、これまでに得られている既存の知見を本調査地点にあてはめ、以下の概算を行った。

植物によるNO₂吸収量の測定は、主として光合成の測定法を利用した次の方法で行われている。

- ①同化箱等に植物を入れ、NO₂を含む大気を流して前後の濃度差と流量から求める方法。
- ②¹⁵Nで標識された植物を大気暴露し、N₂固定量に応じて¹⁵Nが希釈されるのを利用する方法。
- ③葉中に取り込まれてしかも転流しない物質をトレーサーとして葉分析し、その蓄積量と暴露量からNO₂吸収量を推定する方法。
- ④広くて均一な群落を対象に群落内外の熱収支を測定

して求める方法で、群落に与えられた純放射エネルギーの挙動から水蒸気フラックスを求めることにより群落の蒸散速度を求め、大気と群落間のNO₂濃度差からNO₂吸収量を算出する方法。

戸塚らは①の方法でヒマワリのSO₂収着速度を測定し、それを0.8倍してNO₂の収着速度とした。NO₂の大気中濃度が0.05ppmの時ヒマワリ群落のNO₂収着速度640g/1ha/日を算出している⁹⁾。

岡野は②の方法を用いて数種植物のNO₂吸収速度を測定しており、そのうちポプラで大気中NO₂濃度が0.06ppmの時、葉面積100cm²あたり0.2mg/日となることを試算している⁴⁾。

また、④の方法で青木らは野外で樹林のNO₂吸収速度の最大値を150μg/100cm²/hと測定している⁴⁾。

一方、国道17号の本調査地点の交通量は42,500台/日で、NO_x排出量は埼玉県で作成した区間速度30km/hの排出係数¹⁰⁾で算出すると1日あたり86kg/km(表3)となる。

表3 調査地点における自動車からのNO_x排出量

車種	台数/日 [※]	EF(g/km)	NO _x 排出量(g/km)
軽乗用車	1,050	0.31	3.26
乗用車	16,750	0.62	10,385
バス	230	4.59	1,056
軽貨物車	1,580	0.72	1,138
小型貨物車	6,720	1.62	10,886
貨客車	7,400	1.49	11,026
普通貨物車	7,390	6.00	44,340
特殊貨物車	1,380	4.85	6,693
合計	42,500	—	85,850

※ S61年10月29日 埼玉県土木部調査

ここで緑地帯の幅を10m、長さを200mとすると道路の両側にある緑地面積は4,000m²で、この時のNO₂吸収量は戸塚らのヒマワリ群落の場合256g/日(収着量)、青木らの熱収支法では、そ日内変動を考慮して樹林の最大値の1/2の吸収速度が8時間続くと仮定すると270g/日である。岡野は¹⁵N希釈法でサングジュのNO₂吸収速度も測定しているが、その大きさはポプラのおよそ1/3である。葉面積指数を仮りに5.5とするとサングジュのNO₂吸収速度は148g/日で、その他マテバシイ、スダジイからなる常緑樹の緑地帯の吸収速度としては、この値が最も妥当なものと考えられる。いずれにしても以上に示したNO₂吸収速度148g-270

g/日は、その前面にある道路上200mのNO_x排出量17.2kg/日の0.9-1.6%にすぎない。さらに、環境中でNO₂濃度が高まる朝夕や11-12月頃の光合成能力を考えると、植物による汚染質の吸収だけで沿道のような局地的高濃度汚染の大気を浄化することは、非常に困難であるといわざるを得ない。しかし、本調査結果が示したとおり、6月から12月のNO₂濃度の平均低減率は14.1%、冬季でも同程度の低減効果がみられており、常緑樹で緑の壁を形成するような緑地帯では、長期平均的には群落の閉鎖性による遮へい効果と、それに起因する鉛直方向拡散効果によって大気汚染低減効果があり、その有効性は明らかであろう。

今後、汚染質の拡散に影響を与える緑地帯の構造について検討していく必要がある。

4 まとめ

沿道緑地帯による大気汚染低減効果を明らかにするため、国道17号沿いの上尾運動公園沿道緑地帯周辺で昭和61年6月1日から同年12月15日まで、NO₂、NO、NO_x、DUST濃度の時間値を自動測定機により連続測定した。以下にその結果を示す。

(1)6月から12月の測定結果の平均値では、緑地内は、NO₂で4.1ppb、NOで4.3ppb、DUSTで6.6μg/m³だけ対照地点より低く、低減率はそれぞれ14.1%、10.3%、10.2%であった。

(2)緑地内の月平均NO₂濃度は各月とも対照地点より低かったが、その濃度差は11-12月の6ppbが最も大きく、8月の2ppbが最も小さかった。低減率の最高は10月の17%、最低は8月の11%であった。また、緑地内の6-8月の月平均NO濃度は対照地点を上回り、8月に最低の低減率-23%となったが、9月以降は正の低減率となり10月には最高24%に達した。

(3)風速0.3m/s以下の静穏時だけの低減率はNO₂が7月、NOが6月にそれぞれ最大値27%、36%に達し、以降秋から冬にかけて幾分低下傾向を示した。

(4)沿道緑地帯によるNO₂濃度等低減効果の変動要因を検討するため、各月の風向16方位別濃度及び低減率を求めた。その結果NO₂では6-8月に緑地から道路方向のE-ESE風時に、NOでは6-11月にENE-SW風時にそれぞれ緑地内濃度が対照地点を上回り、低減率が負となった。

(5)NO₂及びNO濃度ともE-ESE風時には対照地点と樹冠上部の濃度が低く、道路端濃度が高まるなど、云ゆるストリートキャニオン現象が生じたものと考えら

れ、その出現頻度と大気拡散速度の変化が月平均低減率に大きな影響を及ぼしたものと考えられる。

(6)沿道緑地帯によるNO₂の吸収、吸着がどの程度大気浄化に役立っているのか明らかにするために、これまで同化箱法、¹⁵N希釈法、熱収支法で測定されたヒマワリ群落、ポプラ、樹林地等のNO₂吸収に関する知見をもとに国道17号沿い上尾運動公園緑地帯4,000m²のNO₂吸収量を概算すると148-270g/日であった。これは緑地帯前面の道路200mで排出され緑地帯にかけて拡散していくNO_x量17.2kg/日の0.9-1.6%に相当した。

(7)以上の結果、常緑樹で緑の壁を形成するような沿道緑地帯では、主としてその閉鎖性による遮へい効果とそれに起因する鉛直方向拡散効果によって大気汚染低減効果がみられ、大気汚染対策として有効であることがわかった。

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], 1~395, 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], 1~336, 1984.
- 3) 戸塚 績ら: 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], 1~225, 1985.
- 4) 菅原 淳・相賀一郎: 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総合報告, [108], 1~254, 1987.
- 5) 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], 45~51, 1985.
- 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, [13], 56~62, 1986.
- 7) 小川和雄・高野利一: 植物群落の大気汚染低減効果に関する研究, 全国公害研会誌, 11(3), 33~38, 1986.
- 8) 磯村誠二ら: 市街地における自動車排ガス拡散の風洞実験, 公害, 11(4), 38~52, 1976.
- 9) 戸塚 績: 緑地の大気浄化機能, 第25回大気汚染学会要旨集, 147~152, 1984.
- 10) 大気汚染移動発生原調査(昭和60年度排出量予測) 報告書, 埼玉県環境部, 1982.