

## 植生の都市環境改善機能の評価に関する基礎的研究

Studies on the functions of vegetations for ameliorating urban environment

- 代表研究者 東京農工大学名誉教授 田崎 忠 良  
Emeritus Prof., Tokyo Univ. of Agric. & Tech.  
Tadayoshi TAZAKI
- 協同研究者 東京農工大学農学部教授 戸塚 績  
Prof., Faculty of Agric., Tokyo Univ. of Agric. & Tech.  
Tsumugu TOTSUKA
- 東京農工大学農学部助教授 三宅 博  
Assoc. Prof., Faculty of Agric., Tokyo Univ. of Agric. & Tech.  
Hiroshi MIYAKE
- 国立公害研究所生物環境部室長 古川 昭 雄  
Chief, Environmental Biology Div., National Inst.  
for Environmental Studies  
Akio FURUKAWA
- 国立公害研究所生物環境部主任研究員 名取 俊 樹  
Senior Res., Environmental Biology Div., National Inst.  
for Environmental Studies  
Toshiki NATORI
- 国立公害研究所生物環境部研究員 可知 直 毅  
Res., Environmental Biology Div., National Inst.  
for Environmental Studies  
Naoki KACHI
- 国立公害研究所生物環境部研究員 清水 英 幸  
Res., Environmental Biology Div., National Inst.  
for Environmental Studies  
Hideyuki SHIMIZU
- 国立公害研究所生物環境部研究員 竹中 明 夫  
Res., Environmental Biology Div., National Inst.  
for Environmental Studies  
Akio TAKENAKA
- 国立公害研究所技術部植物専門官 藤 沼 康 実  
Botanist, Technological Div., National Inst.  
for Environmental Studies  
Yasumi FUJINUMA
- 農林水産省野菜・茶業試験場主任研究員 岡野 邦 夫  
(元国立公害研究所生物環境部主任研究員)  
Senior Res., Vegetable & Ornamental Crops Res. Station  
and National Res. Inst. of Tea  
Kunio OKANO

It is well known that plants absorb air pollutants and contribute to the cleaning of atmosphere. Furthermore, plants have the capacity to prevent the city going desert by emitting the water vapor. These functions of plants are due mainly to the principal physiological processes, such as photosynthesis and transpiration, and to the absorption of air pollutants. Plants absorb CO<sub>2</sub> and air pollutants such as SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, or others through stomata by diffusion processes and emit H<sub>2</sub>O vapor through stomatal pore. Therefore, we measured at first photosynthesis and transpiration of street tree species in the laboratory and in the field to evaluate the role of vegetation for the improvement of CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O conditions of urban environment.

A portable type photosynthesis measuring system was constructed. This system is operated by battery and consists of three parts. These three parts are put on one part on another. The uppermost part consists of a microprocessor to control measuring system and to calculate parameters of gas exchanges using the outputs from an infrared CO<sub>2</sub> analyzer and a hygrometer. The middle part contains one micro airpump, one mass-flow controller, one column packed with soda lime, and one more column packed with magnesium perchlorate to remove water vapor from the gas line going into the CO<sub>2</sub> analyzer. The bottom part consists of a CO<sub>2</sub> analyzer and a hygrometer. The proto-type of this system has been improved by changing the mass-flow controller and a CO<sub>2</sub> analyzer into new and precise ones.

Stomatal density and conductance for water vapor diffusion were measured in 113 species of street tree species. The obtained results were as follows. The stomatal density was high in evergreen species compared with deciduous ones. Most of the species had stomata on only abaxial leaf surface. Some species had stomata on both adaxial and abaxial leaf surfaces, but the number of stomata on abaxial surface was 10 times more than those on adaxial surface. In general, the stomatal conductance was higher in deciduous species than in evergreen ones. But we could find no relationship between the stomatal density and the stomatal conductance. This result indicates that the value of stomatal conductance is independent of the density of stomata.

The rates of net photosynthesis and O<sub>3</sub> uptake were determined in 9 street tree species. Deciduous species showed higher rate of net photosynthesis than evergreen species. Among the 9 species, *Prunus yedoensis* had the highest rates of net photosynthesis and O<sub>3</sub> uptake. The shade tolerant species, *Aucuba japonica*, had the lowest rate of net photosynthesis. There was a linear relationship between the concentrations of O<sub>3</sub> and the uptake rates of O<sub>3</sub> in most species, however, some species showed the saturated rate of O<sub>3</sub> uptake at higher concentrations of O<sub>3</sub>. The relationship between the stomatal conductance and the rate of O<sub>3</sub> uptake showed that the saturation was caused by the reduced stomatal aperture by the O<sub>3</sub> fumigation.

The rate of net photosynthesis, O<sub>3</sub> uptake, and stomatal conductance were determined at various photosynthetic photon flux densities in *Prunus yedoensis*. Net photosynthetic rates and also O<sub>3</sub> uptake rate and stomatal conductance were saturated at higher light intensities. However, we found a linear relationship between the stomatal conductance and the uptake rates of O<sub>3</sub> per unit O<sub>3</sub> concentration determined at various light intensities. Though the rate of O<sub>3</sub> uptake was markedly different between species, we also found a linear relationship between these two factors in different eleven street tree species. Furthermore, we also found a linear relationship between the cumulative uptake of NO<sub>2</sub> determined by the <sup>15</sup>N dilution method and the stomatal conductance. From these observations, we concluded that the decrease in concentrations of air pollutants such as O<sub>3</sub> or NO<sub>2</sub> induced by plants is caused by the absorption of O<sub>3</sub> or NO<sub>2</sub> through stomata into leaf but not by the adsorption on the leaf surface.

The linear relationship between the absorption amount of NO<sub>2</sub> and the amount of water loss from the plant community was also detected. This result suggests that the absorption of NO<sub>2</sub> caused by plant community was mainly due to the stomatal absorption of NO<sub>2</sub>, rather than the absorption and/or adsorption onto the plant community.

From the above mentioned results, we are convinced that the uptake rate of air pollutants by plants or the cleaning capacity of vegetation could be determined by measuring only stomatal conductance. On the process of the determination of stomatal conductance, we can also obtain the rate of transpiration and evaluate the capacity of vegetation as the humidifier of the dried atmosphere in the metropolis.

We determined the diurnal and seasonal changes in stomatal conductance in street tree

species grown in the field. Even among the field grown street trees, the deciduous species were superior to the evergreen ones in cleaning and humidifying capacities. These capacities, estimated by stomatal conductance and the rate of transpiration, were influenced mainly by solar radiation. However, in winter, the stomatal conductance in evergreen species was ca. 1/10 of the value obtained in summer due to the lower temperature and humidity.

We also measured the concentration of NO<sub>2</sub> using the tri-ethanol-amine method inside and outside of the forest in the suburb of Tokyo where deciduous oaks (*Quercus serrata* and *Q. acutissima*) were dominant species. During the summer season, the concentration of NO<sub>2</sub> inside the forest decreased to 70% of the outside, while in the winter season with no foliage, no detectable decline in the NO<sub>2</sub> concentration could be seen. From these observations, it can be concluded that the capacity of vegetation for ameliorating the urban environment is high in summer when the physiological activity of plants is also high.

In the present report, we calculated the capacity of vegetation for cleaning the atmosphere using the results obtained in the field measurements. We also made a proposal for the method of plantation and management of vegetation planted in the urban and suburban areas.

## 研究目的

我が国の大気汚染の状況は、昭和40年代のSO<sub>2</sub>による汚染から昭和50年以降の光化学オキシダントを主体にした汚染へと移行して来ている。また、NO<sub>2</sub>濃度は、昭和54年以降やや減少傾向にあるものの、大都市地域の道路周辺を中心とした高濃度汚染が報告されている。さらに、O<sub>3</sub>を主成分とした光化学オキシダントによる植物の被害は広域にわたって発生し、いまだに大気汚染の問題が解決されていないことを示している。

一方、都市域では、樹林地や農地などの緑地の減少によって乾燥化が進み、郊外とは10%以上湿度が低下していると言われている。また、道路の舗装によるアスファルトやビルディング建設のためのコンクリートといった貯熱材の増加によって夜間温度が上昇し、さらに雨水の地下浸透が妨げられている。

環境科学のこれまでの研究は、主として環境汚染物質の生活環境への影響に主眼が置かれてきた。現在の都市環境下で、自然の自浄作用にのみ依存した環境保全では、人間の居住環境を快適に保つことは難しく、積極的に環境保全に強力に参与する「みどり」の造成を強化し、植物のもつ気候緩和能力、大気浄化機能を利用するべきであると考えられる。

一般に、植物は大気中のCO<sub>2</sub>を植物体内に取り込んで光合成を行なっている。また、ヒートアイ

ランドとしての都市の熱汚染に対して、蒸発散に使われる潜熱によって気温の上昇を抑制し、蒸発散作用によって大気中に放出される水分によって大気湿度の低下を抑制して都市の砂漠化を防止する機能を持っているとも考えられている。さらに、植物はエアフィルターとしてSO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>およびPANなどを葉内に吸収している。これらの物質の出入は大気と葉内との間の濃度差にしたがって気孔を通して行なわれている。

そこで、本研究では、都市域の「みどり」を構成している街路樹並木の環境改善機能を明らかにするとともに、このような植物の機能が、都市域の生活環境を改善するのに役立つか否かを評価する試みを行なった。さらに、都市域の「みどり」を造成する際の手法と維持管理に対する提言を行なうことを試みた。この目的を達成するために、街路樹の潜在的な大気浄化能力や光合成活性を調べるために、種々の街路樹種のガス吸収速度、光合成速度、蒸散速度を制御環境下で明らかにするとともに、野外環境下における気孔の挙動を調べた。

これまでの報告書に記載した図表などは、第1年度もしくは第2年度報告書の図表の番号を付し、(例えば、1年度; 図2)、今回の報告には示さなかった。

## 研究経過

### I. 植物材料と測定方法

#### (1) 植物材料

制御環境下での単葉とモデル群落によるガス交換速度の測定に用いた種々の街路樹種の苗木は造園業者から購入した。苗木は鉢植えにし、自然光型ファイトトロン温室で25℃、70%の条件下で栽培した。苗木の栽培は、パーミキュライト：パーライト：ピートモス：小砂利を2:2:1:1の割合で混合した培養土を詰めた1/10,000アールの鉢で行なった。

#### (2) 測定方法

① 気孔密度：気孔密度は、セルロースアセテートフィルムを有機溶媒で軟化させて葉の表裏両面に貼付してレプリカを取り、光学顕微鏡下で気孔の数を数え、単位面積あたりの気孔数から求めた。

② 単葉のガス交換速度：種々の街路樹の光合成、蒸散、 $O_3$ 吸収速度を同化箱法によって測定した。すなわち、同化箱の出口と入口の $CO_2$ 濃度を赤外線 $CO_2$ 分析計で測定し、 $CO_2$ 吸収量から単位葉面積あたりの光合成速度を計算した。同様な方法で同化箱出入口の $O_3$ 、 $H_2O$ 濃度を、それぞれ $O_3$ 分析計、露点湿度計で測定し、 $O_3$ 吸収速度と蒸散速度を求めた。このようにして求めた蒸散速度と葉温から気孔コンダクタンス ( $g_s$ ,  $mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ ) を次式によって求めた。

$$g_s = \frac{J_{wv}}{(W_{ic} - W_{air})} \quad (1)$$

この式において、 $J_{wv}$ は蒸散速度 ( $mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ )、 $W_{ic}$ と $W_{air}$ はそれぞれ葉内(細胞間隙)と大気の水蒸気濃度 ( $mol \cdot m^{-3}$ )である。野外での気孔コンダクタンスの測定は、拡散型ポロメーターを用いて行なった。すなわち、拡散型ポロメーターによって気孔拡散抵抗を測定し、逆数を取って気孔コンダクタンスを求めた。

③ 群落のガス交換速度：モデル植物群落によるガス交換の測定は、風洞型人口気象室内に鉢植えの植物を配置して行なった。すなわち、植物群落の風上と風下の $CO_2$ 、 $H_2O$ 、 $NO_2$ 濃度を、各々赤外線 $CO_2$ 分析計、露点湿度計、窒素酸化物自動測

定機によって測定し、風上と風下での濃度差をガス吸収量とした。

④ 簡易 $NO_x$ サンプラー：ガステック(株)から市販されているサンプラー(ガスパック)を用いた。大気中の $NO_2$ は分子拡散によってガスサンプラーに入り、トリエタノールアミン溶液(濃度13%)に吸収されて $NO_2^-$ となる。 $NO_2^-$ は発色液(スルファニルアミドナフチルエチレンジアミン)を加えることによって呈色する。この呈色した度合いを比色計によって測定し $NO_2$ 濃度を求めた。

### II. 野外条件下で使用する植物生理活性測定装置の開発

野外で簡便に使用できる携帯型光合成・蒸散測定装置の試作を行なった(1年度; 図1)。本装置はバッテリー駆動型の装置であり、三つの部分から成っている。三つの部分は積み重ねられるようになっており、上部は測定部からの出力を演算する機能と測定システムを制御するマイクロプロセッサから成っている。中部はエアープンプ、マスフローコントローラーと2本のカラム、1本は $CO_2$ 分析計の0点調整のためのソーダライムが、他の1本は $CO_2$ 測定ラインからの水分除去に用いる過塩素酸マグネシウムが入っている。下部には $CO_2$ 分析計と湿度計が設置されている。

本装置は、第1年度に主要な部分の作成は終了し、実際に実験室と野外において測定を試みたが、操作上の不都合な点や測定値の信頼性、測定精度に不備な点があった。その後、2年間にわたって種々の改良を加えた結果、光合成、蒸散速度を高精度に測定できる装置にまでなった。しかし、この装置はすべてバッテリーで駆動しているため、消費電力を極力少なくして長時間の測定が可能ないように考えて装置を組み、車載用バッテリーを使用して約3時間の連続測定が可能にまでなった。 $CO_2$ 濃度を安定して測定するためには測定前約1時間分析計を起動させなければならず、そのための電力の使用量が無視できない。この問題を解決するためには、電源を入れてから立ち上がりまでに時間のかからない $CO_2$ 分析計が必要不可欠である。そこで、現在、 $CO_2$ 分析計

を別の製造会社のものに代えて装置の改良を行なっている。このCO<sub>2</sub>分析計は数分で使用可能になり、従前の1時間もの予備運転が必要なくなった。

### Ⅲ. 主要な街路樹の性質

植物の生理活性は、生育する場所の環境条件によって大きく影響を受ける。そこで、野外での測定に先だてて街路樹のもつ潜在的な気候緩和能力や大気浄化能力を知るために、環境制御施設内で街路樹を栽培し、既存の室内実験用の装置を用いて環境保全に貢献度の高い気孔密度と植物生理活性を種々の街路樹について測定した。

#### (1) 街路樹の気孔密度

数種の街路樹種を除いて、気孔は葉の裏面にだけ分布し、表面にも気孔がある樹種でも気孔数は裏面に多く、表面の約10倍であった。裏面の気孔数は100~958/mm<sup>2</sup>と樹種によって大きく異なっていた(1年度;表1)。一方、落葉樹の気孔コンダクタンスは概して常緑樹の気孔コンダクタンスよりも高かった。そこで、113種の街路樹の気孔密度と気孔コンダクタンスとの関係調べたが(2年度;図1)、気孔密度と気孔コンダクタンスとの間には有意な関係は見られず、気孔密度はガス吸収を支配する主要因ではないことが明らかになった。

#### (2) 街路樹の光合成活性

概して、常緑樹の光合成速度は落葉樹の光合成速度よりも低く、アオキのような陰樹の光合成速度はさらに低かった(1年度;表2)。調べた樹種の中で最も高い光合成速度を示した樹種はソメイヨシノで、樹木の中でも高い光合成速度を示すポプラの値と類似していた。一般に、草本植物の光合成速度は木本植物よりも高いが、ソメイヨシノの光合成速度はC<sub>3</sub>型光合成代謝系を持つ草本植物の光合成速度とあまり変わらなかった。

#### (3) 光強度とO<sub>3</sub>吸収速度、気孔コンダクタンス、光合成速度との関係

ソメイヨシノのO<sub>3</sub>吸収速度、気孔コンダクタンス(g<sub>s</sub>)、光合成速度(Net P)と光強度との関係を調べた(1年度;図4)。O<sub>3</sub>吸収速度、気孔コンダクタンス、光合成速度いずれも光強度の上昇と

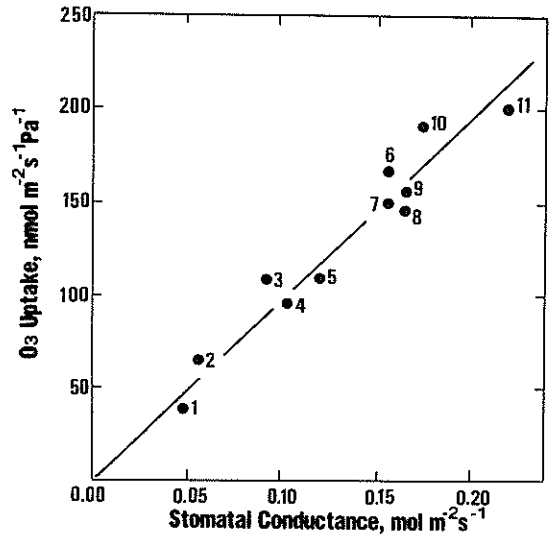


図1. 種々の街路樹の水蒸気輸送に関する気孔コンダクタンスと単位O<sub>3</sub>濃度あたりのO<sub>3</sub>吸収速度。

O<sub>3</sub>濃度は分圧(Pa)で示した。図中の数字は以下の植物種を示す。

- 1: オオムラサキ; 3: エズリハ; 4: クスノキ;  
5: イチョウ; 6: ケヤキ; 7: クヌギ; 8: ソメイヨシノ;  
9: クヌギ; 10: ソメイヨシノ; 11: キヅタ。

ともに増加したが、暗所においてもO<sub>3</sub>の吸収が観察された。同化箱によるO<sub>3</sub>の吸収、吸着によるO<sub>3</sub>濃度の減衰は補正してあるので、この暗所におけるO<sub>3</sub>の吸収は葉によるO<sub>3</sub>の吸収によるものと思われる。すなわち、暗所においても気孔のわずかな隙間からO<sub>3</sub>が葉内に吸収されていることを示しているものと考えられる。

#### (4) 街路樹のO<sub>3</sub>吸収速度

種々の街路樹のO<sub>3</sub>吸収速度は処理したO<sub>3</sub>濃度の上昇とともに直線的に増加した(1年度;図2)。調べた樹種の中で最もO<sub>3</sub>吸収速度の高かった樹種は、光合成速度の場合と同様に、ソメイヨシノであった。しかし、ある種の街路樹ではO<sub>3</sub>吸収速度はO<sub>3</sub>濃度の上昇とともに直線的には増加せず、O<sub>3</sub>濃度との間に飽和曲線を示すものもあった(1年度;図3)。これは、O<sub>3</sub>処理期間中、気孔開度が減少したためであることが気孔コンダクタンスとO<sub>3</sub>吸収速度との関係から推察され

表 1. 測定並びに調査に供した街路樹種.

街 路 樹 種	測 定 場 所					
	実 験 室		野 外			
	個 葉	群 落	横 浜	新 宿	つ く ば	研 究 所
ア オ キ ( <i>Aucuba japonica</i> )	○					
ツ バ キ ( <i>Camelia japonica</i> )			○			
ク ス ( <i>Cinnamomum camphora</i> )	○			○		
ユ ズ リ ハ ( <i>Daphniphyllum macropodum</i> )	○					
イ チ ョ ウ ( <i>Ginkgo biloba</i> )	○		○	○		
キ ツ タ ( <i>Hedera rhombea</i> )	○					
ネ ズ ミ モ チ ( <i>Ligustrum lucidum</i> )	○			○		
ユ リ ノ キ ( <i>Liriodendron tulipifera</i> )					○	
キョウチクトウ ( <i>Nerium indicum</i> )				○		
マチバシイ ( <i>Pasania edulis</i> )	○			○	○	
ウ メ ( <i>Prunus mume</i> )			○			
ソメイヨシノ ( <i>Prunus yedoensis</i> )	○		○	○	○	○
クヌギ ( <i>Quercus acutissima</i> )	○					
シラカシ ( <i>Quercus myrsinaefolia</i> )		○				○
オオムラサキ ( <i>Rhododendron pulchrum</i> )	○			○		
ナツツバキ ( <i>Stewartia pseudo-camellia</i> )			○			
サンゴジュ ( <i>Viburnum awabuki</i> )			○		○	○
ケヤキ ( <i>Zelkova serata</i> )	○	○		○	○	

た。

O<sub>3</sub> 吸収速度を処理した O<sub>3</sub> 濃度で割り、単位 O<sub>3</sub> 濃度あたりの O<sub>3</sub> 吸収速度と気孔コンダクタンスとの関係について図 1 に示した。図からも明らかのように、種々の街路樹種において、単位 O<sub>3</sub> 濃度あたりの O<sub>3</sub> 吸収速度と気孔コンダクタンスとの間には直線関係が見られた。さらに、気孔コンダクタンスが 0 の時には O<sub>3</sub> 吸収速度も 0 になることから、植物による O<sub>3</sub> の吸収は、もっぱら気孔を通しての葉内への O<sub>3</sub> の取込みであって、葉面での O<sub>3</sub> の吸着は無視できるほど小さいものであることが判明した。また、O<sub>3</sub> 吸収速度の樹種間差は、もっぱら気孔コンダクタンスの大小によって決まることが明らかになった。

#### IV. 野外に生育している街路樹の大気浄化機能

大気汚染質の吸収は主として気孔を介して行なわれていることが、種々の街路樹の気孔コンダクタンスと O<sub>3</sub> 吸収速度の関係から明らかになったので、野外に生育している街路樹の気孔コンダクタンスを測定し、大気浄化能を推定する試みを行った。

野外での測定は、横浜市の大池公園の外周道路、東京都の新宿中央公園の外周道路、つくば市の西大通りおよび国立公害研究所構内の 4 か所において行なった(表 1)。地点間による大気汚染吸収能力の指標である気孔コンダクタンスの比較は、すべての測定地点に生育していたソメイヨシノで行ない、季節による差異はサンゴジュによって検討した。なお、気孔コンダクタンスに最も大きく影響する光強度が測定日によって変動するため、光強度との関係において比較検討した。

つくば市に植栽されているソメイヨシノ、サンゴジュ、シラカシの気孔コンダクタンスの日変化を測定し光強度との関係を比較すると(図 2)、どの光強度においても落葉樹のソメイヨシノが最も高く、鉢植えの街路樹を用いて実験室で測定した順位と同様であった。また、サンゴジュは常緑樹ではあるが、シラカシや他の常緑樹と比較すると気孔コンダクタンスは約 2 倍になり、大気浄化樹としても優れていることが判明した。

光強度と気孔コンダクタンスの関係の地点間における差異は、ソメイヨシノで比較した限りにお

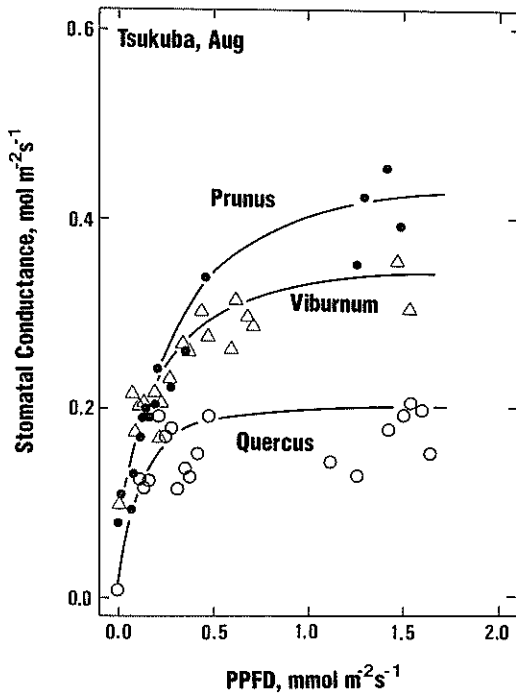


図2. 光強度と気孔コンダクタンスとの関係。ソメイヨシノ (Prunus), サングジュ (Viburnum), シラカシ (Quercus) の気孔コンダクタンスの日変化を測定し光強度との関係を求めた。測定は8月につくば市の西大通りに于行なつた。

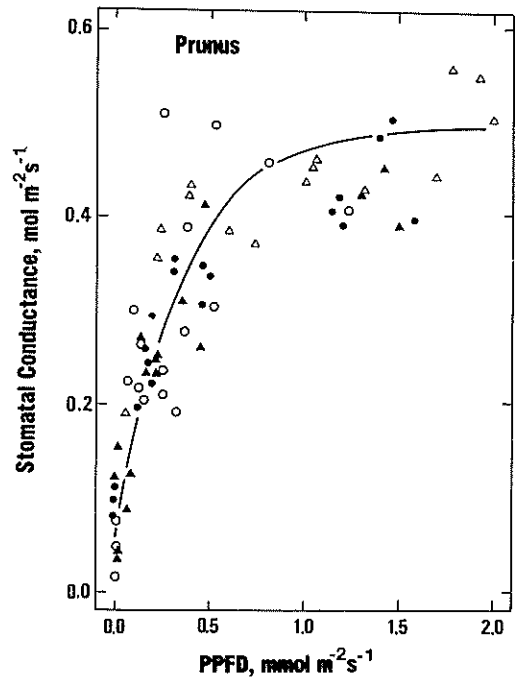


図3. ソメイヨシノの光強度と気孔コンダクタンスとの関係の場所による違い。○: つくば市の8月の測定値; ▲: つくば市の9月の測定値; △: 横浜市の7月の測定値; ●: 横浜市の9月の測定値。気孔コンダクタンスの日変化を測定し光強度との関係を求めた。

いては見られなかった (図3)。また、サングジュにおいても、横浜とつくばでの測定値には差が見られなかった。この結果から、かなり大気が汚染されている地域でも、植物の大気浄化能はそれほど低下することはないものと考えられる。

常緑樹の中でも比較的気孔コンダクタンスが高く、浄化能力が高いと思われるサングジュの8月と1月の光強度と気孔コンダクタンスの関係を比較した (図4)。1月のサングジュの気孔コンダクタンスは8月のその約10%にまで低下した。それゆえ、冬期の植物による大気浄化はほとんど期待できないものと考えられる。

#### V. 植物群落による環境改善機能の測定

##### (1) モデル群落による NO<sub>2</sub> 吸収能

植物群落の大気浄化機能、気候緩和機能を評価するために、栽培キク、ソルガム、ケヤキおよび

シラカシの鉢植苗を風洞型人工環境調節室に配置してモデル植物群落を作成し、群落によるガス交換速度を種々の光強度下において測定した。葉面積指数は鉢の数を変えることによって4段階に変えた。

光強度が最大の時における群落内外での水蒸気濃度差と、その時の群落による NO<sub>2</sub> 濃度の減少量との間には高い相関関係が見られた (図5)。すなわち、群落による汚染ガスの吸収浄化能力は、群落を構成している個々の植物の葉面から気孔を通して葉内に吸収された結果と考えられる。この推察は、植物葉による O<sub>3</sub> 吸収速度と気孔コンダクタンスとの間に高い相関関係が存在したこと (図1) から確かなものと思われる。また、群落上部の葉ほど強い光を受けていることから、気孔コンダクタンスも高く、ガス吸収速度も高いものと思われる。したがって、群落によるガス吸収は

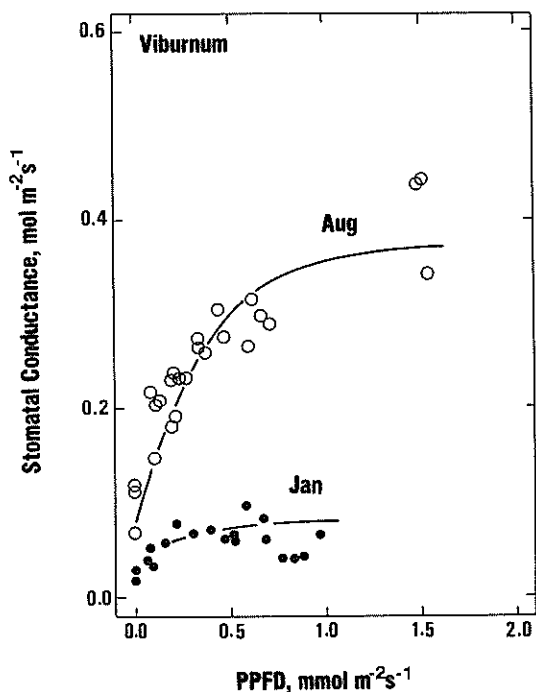


図4. サングジュの光強度と気孔コンダクタンスとの関係の季節変化。測定はつくば市において8月と1月に行なった。

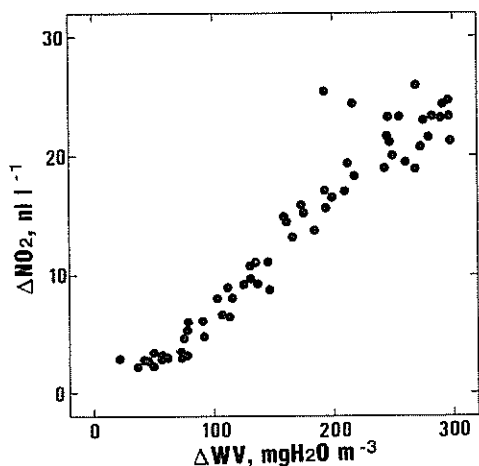


図5. シラカシのモデル群落によるNO<sub>2</sub>吸収量(ΔNO<sub>2</sub>)と水蒸気放出量(ΔWV)との関係。シラカシのモデル群落を風洞型人工気象室に作成し、光強度に日変化を与えて群落の風上側と風下側で湿度とNO<sub>2</sub>濃度を測定し両者の関係を求めた。

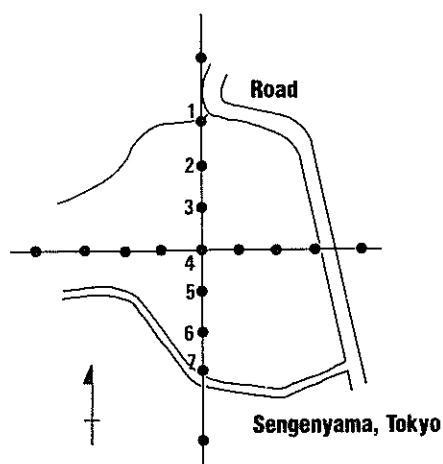


図6. 東京都府中市の浅間山で行なったNO<sub>2</sub>濃度の測定地点図。浅間山はクヌギ-コナラ群集の均一な植生から成り、コナラが優占している。各測定点でのNO<sub>2</sub>サンプラーは地上3mに設置した。

群落上層部に存在する葉によってもっばら行なわれているものと思われる。

## (2) 緑地によるNO<sub>2</sub>吸収能

都市の緑地が大気浄化にどの程度貢献しているかを明らかにする目的で、東京都府中市の多摩霊園西南隅にある都立浅間山公園において、林内外のNO<sub>2</sub>濃度を測定した。測定は、NO<sub>2</sub>簡易サンプラーを用いて行なった。地上3mの所にサンプラーを設置し、林内外のNO<sub>2</sub>濃度の季節変化を測定した(図6)。浅間山はクヌギ-コナラ群集の均一な植生から成り、コナラが優占している。クヌギ、コナラは12月末には完全に落葉した。

林外の測定点から南に向けて林内のNO<sub>2</sub>濃度は5月から9月にかけてほぼ同様な減少傾向を示した(図7)。10月ではその減少傾向は小さくなり、完全に落葉した1月にはいずれの測定点でもほぼ同様な値を示した。植物の生理活性が高く、生長が活発な5月から8月にかけては、林内のNO<sub>2</sub>濃度は林外のその約70%にまで減少したが、生理活性が低下してくる10月には、林内のNO<sub>2</sub>濃度の減少割合は低下した。すなわち、林内外でのNO<sub>2</sub>濃度の減少は汚染源からの距離によるNO<sub>2</sub>の減衰ではなく、植物によるNO<sub>2</sub>吸収



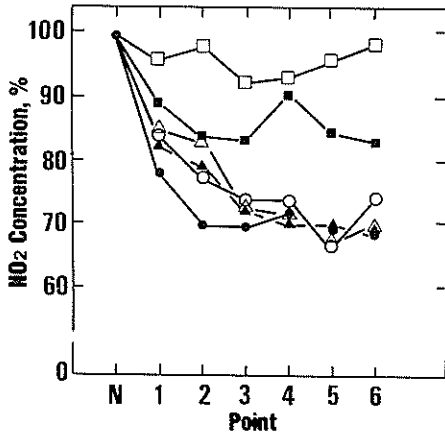


図7. 林内NO<sub>2</sub>濃度の季節変化。  
横軸に示した各測定点は、図6の北(N)から南に1~6までの測定点を示している。12月には完全に落葉したので、1月の地点間のNO<sub>2</sub>濃度の差は距離減衰を示しているものと考えられる。▲: 5月; △: 6月; ●: 8月; ○: 9月; ■: 10月; □: 1月

によるもので、植物活性が高い時期には、緑地は十分に大気浄化機能を有していることを示唆するものである。

#### VI. 都市域の最適緑被面積の総合評価

現存する都市域の大規模緑地の都市気候緩和、大気浄化に果たしている役割を評価するとともに、庭木や小規模の街路樹並木の環境改善機能について検討した。また、都市における生活環境の悪化を防止し、さらに悪化した環境を改善するためには、どのような種類の植物を利用してどの程度の規模で緑地や街路樹並木を造成すべきかの基礎資料を作成することを試みた。

図3から、光強度と気孔コンダクタンスとの関係を次式で近似した。

$$g_s = \frac{1.76 \times 10^{-3} i}{1 + 3.79 \times 10^{-3} i} \quad (2)$$

この式において、 $g_s$  ( $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) は気孔コンダクタンス、 $i$  は光強度 (PFD,  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) である。図1から、O<sub>3</sub>分圧 (MPa) をppmに変換し、気孔コンダクタンスが  $1 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  の時のO<sub>3</sub>吸収速度を計算すれば、 $390 \text{ nmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ppm}^{-1}$ となる。一方、光強度  $I_0$  の日変化は次式で近似できる (黒岩, 1964)。

$$I_0 = I_0^M \sin^2 \left( \frac{\pi}{D} \right) t \quad (3)$$

ただし、 $D$  は日長時間、 $I_0^M$  は日南中時の水平面光強度、 $t$  は日の出時から時間である。(2)式の $i$ を $I_0$ として(3)式に代入し、時間積分すると日単位の気孔コンダクタンスを与える式が得られる。NO<sub>2</sub>とO<sub>3</sub>の拡散係数の比は0.98となるので、NO<sub>2</sub>吸収速度は気孔コンダクタンスが  $1 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  の時には  $382 \text{ nmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{ppm}^{-1}$ となる。 $g_s$ をNO<sub>2</sub>吸収速度 ( $J_{\text{NO}_2}$ )に変換し、日NO<sub>2</sub>吸収速度 ( $J_{\text{NO}_2[\text{day}]}$ ,  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{ppm}^{-1}$ )は、

$$J_{\text{NO}_2[\text{day}]} = \frac{2420.35D}{3.79} \times \{1 - (1 + 3.79 \times 10^{-3} I_0^M)^{-1/2}\} \quad (4)$$

となる。NO<sub>2</sub>の環境濃度を0.06ppmとし、 $I_0^M$ を  $1,000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、日長時間を12時間として1日のNO<sub>2</sub>吸収量を計算すれば、1m<sup>2</sup>の葉面積を有するソメイヨシノは250μmolのNO<sub>2</sub>を吸収することになる。この計算においては、夜間(12時間)にはNO<sub>2</sub>を吸収していないものとした。

1本のソメイヨシノの枝張りを5.6mとし、葉面積指数を5とすれば、このソメイヨシノの葉面積は500m<sup>2</sup>となる。この木は1日に125mmol、すなわち25°C、1気圧では5.75gのNO<sub>2</sub>を吸収することになる。自動車1台の平均的NO<sub>2</sub>排出量を1.335g/kmとし、NO<sub>x</sub>からNO<sub>2</sub>になる変換率を0.3とすれば(環境庁大気保全局の好意による)、1kmを走行すると0.4gNO<sub>2</sub>を放出することになる。1日の通行量が10,000台の道路では4,000gNO<sub>2</sub>/kmを放出していることになる。上述の計算結果から、この道路から排出されるNO<sub>2</sub>をソメイヨシノの緑地で吸収させるとすれば、696本のソメイヨシノが必要になる。ソメイヨシノを道路の両側に植栽し、1本の木が占有する道路幅を12mとすれば、4,176mの長さにわたって植栽すれば良いことになる。

#### VII. 街路樹の植栽方法への提言

我が国における街路樹の植栽方法を見ると、一

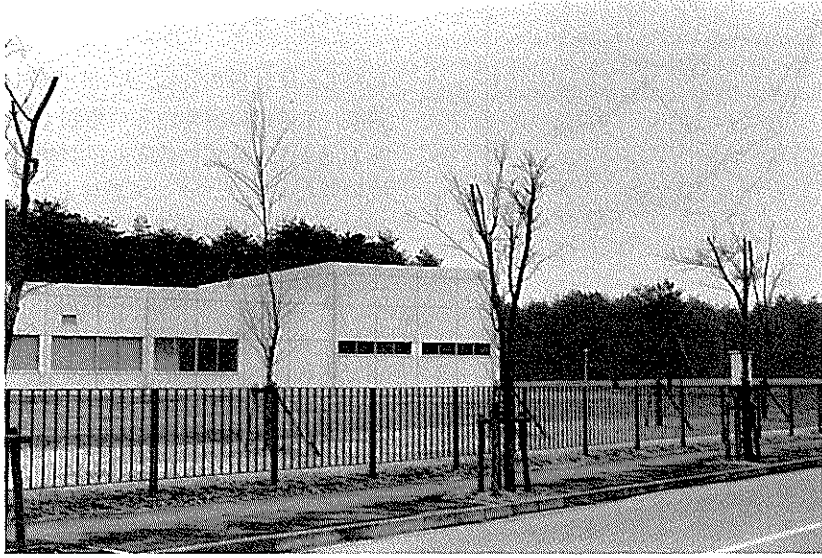


図8. 強剪定されたソメイヨシノ街路並木。

つくば市の気象研究所外周道路に植栽されているソメイヨシノの冬期における様子。薬剤散布の都合のために樹冠を切っている。

つの街路に同一樹種を植栽している。例えば東京の江戸通りにはイチョウ、昭和通りにはプラタナスということになる。都市景観からすれば極めて整ったように見えるが、何の変哲もなくいたって面白くない。しかも、我が国の街路樹の80%が落葉樹で占められている（建設省土木研究所、1986）。冬には落葉樹の葉はなくなり、ただ枯れ木が電信柱のように立っているかのような風情になる。しかし、街路樹が電信柱のように見えるのは何も落葉樹のみを植栽しているからだけではない。台風によって木が倒れるのを予防するために枝葉を切り落とすとか、落葉公害とかいって、秋も早い時期に枝を剪定してしまうために、街路樹は丸坊主になってしまうからである。つくば市における街路樹の仕立て方は、もっと極端で、木が高くなりすぎると害虫駆除のための消毒が大変になるとかの理由で、桜の木の先端を切り落としてしまっている（図8）。その結果、多くの桜が枯死している。また、同じつくば市の別の場所ではニセアカシアを街路樹として植栽しているが、この街路樹も先端ばかりでなく、ほとんどすべての枝をも秋に切り落としてしまうため、冬には本当に

電信柱のようになってしまっている（図9）。そのような木が夏には葉を上から下まで付けて、まるで電信柱に葉を貼り付けたようになる。

以上の観点から、冬期には常緑樹の大気浄化機能はほとんど期待できないが、それでも、粉塵やディーゼル車から排出される黒煙を葉が吸着するので、常緑樹を街路樹として植栽した方が都市環境を改善するには好都合ではある。しかし、常緑樹は日射を著しく遮るために日照条件が冬期には特に悪くなるので、光環境が悪化して困るような場所の南面の街路樹としては落葉樹の方が良いであろう。

植物は、大気を浄化し都市の乾燥化を防ぐ機能を有している。このような機能は、すべて葉面に散在する気孔を介して行なわれており、水分が不足すると気孔は閉鎖し大気汚染質の吸収や蒸発散による大気への水分供給能力が低下する。しかし、都市の街路樹は、根の回りをアスファルトで固められているため、根系への水の供給が不足し、そのため街路樹の活力は著しく低下しているものと考えられる。都市の街路樹による環境改善機能を最大限に発揮させるためには根系への水の

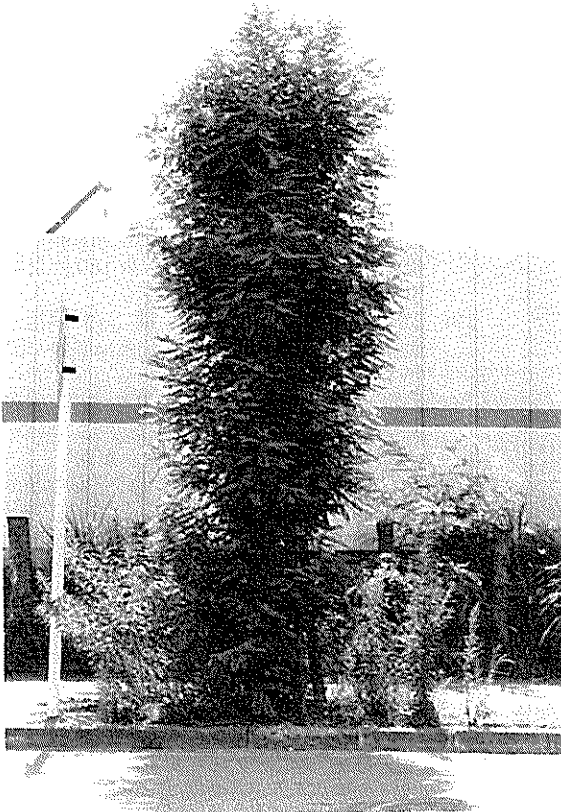
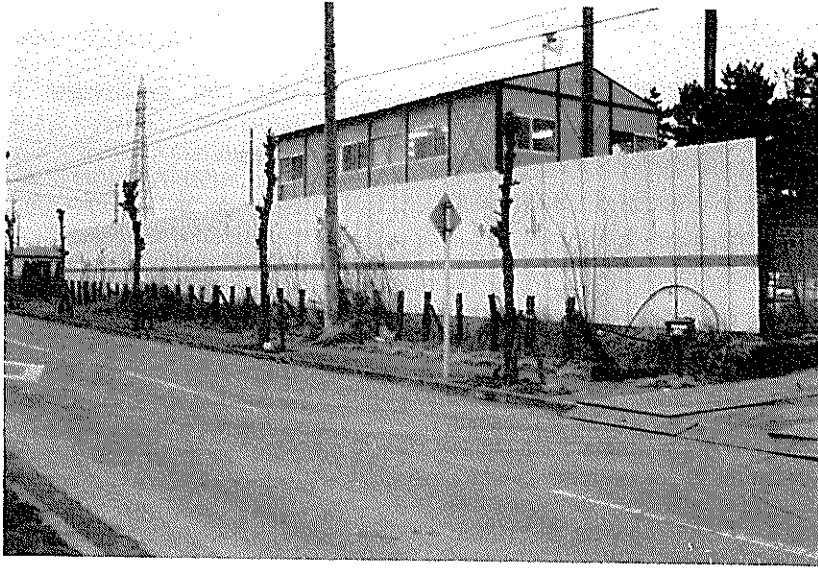


図9. 強剪定されたニセアカシア。  
つくば市の住宅内道路に植栽されているニセアカシアの冬（上図）と夏（下図）の様子。冠も枝も冬期に刈込まれたため、夏期には根元附近にまで葉が茂る。電線の邪魔になるために樹冠を切っているものと思われる。

供給が十分に行なわれるような植栽方法を考えるべきである。

昨年来、環境庁は大気浄化植樹事業を推進しており、最近、大気浄化植樹暫定指針をとりまとめて公表した。本指針は本研究グループの研究成果を基礎としてとりまとめられており、本研究の成果が社会的にも高く評価されたものといえよう。

#### 発表論文

- 1) Fujinuma, Y., A. Furukawa, T. Totsuka and T. Tazaki: Uptake of O<sub>3</sub> by various street trees. *Environ. Control Biol.*, 25, 31-39 (1987).
- 2) Ito, O., K. Okano, M. Kuroiwa and T. Totsuka: Effects of NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> alone or in combination on kidney bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.). Growth and partitioning of assimilates and root activities. *J. Exp. Bot.*, 36, 652-662 (1985).
- 3) Ito, O., F. Mitsumori and T. Totsuka: Effects of NO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> alone or in combination on kidney bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.): Products of <sup>13</sup>C<sub>2</sub>O<sub>2</sub> assimilation detected by <sup>13</sup>C nuclear magnetic resonance. *J. Exp. Bot.*, 36, 281-289 (1985).
- 4) Okano, K., O. Ito, G. Takeba, A. Shimizu and T. Totsuka: Effects of O<sub>3</sub> and NO<sub>2</sub> alone or in combination on the distribution of <sup>13</sup>C-assimilate in kidney bean plants. *Jpn. J. Crop Sci.*, 54, 152-159 (1985).
- 5) Okano, K., T. Totsuka, T. Fukuzawa and T. Tazaki: Growth responses of plants to various concentrations of nitrogen dioxide. *Environ. Pollut. (Ser. A)*, 38, 361-373 (1985).
- 6) Okano, K. and T. Totsuka: Absorption of nitrogen dioxide by sunflower plants grown at various levels of nitrate. *New Phytol.*, 102, 551-562 (1986).
- 7) Okano, K., T. Totsuka, T. Fukuzawa and T. Tazaki: <sup>15</sup>N dilution method for estimating the absorption of atmospheric NO<sub>2</sub> by plants. *New Phytol.*, 102, 73-84 (1986).
- 8) 戸塚 績: 地球規模の硫黄サイクルにおける生物の役割. 国立公害研究所研究報告, R-102, 93-107 (1986).
- 9) 青木正敏, 戸塚 績, 鈴木義則, 森岡 進, 小西 昭: 植物群落の大気汚染浄化能に関する研究. (3) 都市公園内樹林の大気中 SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> 浄化速度. 第 27 回大気汚染学会 (昭和 61 年 11 月, 京都).
- 10) 古川昭雄, 鄭 華 淑, 田中 浄: オゾンに対する光合成抵抗性の植物種間差異. 第 50 回日本植物学会 (昭和 60 年 10 月, 新潟).
- 11) 古川昭雄, 可知直毅, 藤沼康実, 田崎忠良, 戸塚 績: オゾン吸収速度の植物種間差. 第 24 回日本生物環境調節学会 (昭和 61 年 8 月, 松山).
- 12) 古川昭雄: 種々の大気汚染質に対するポプラとヒマワリの光合成反応. 第 33 回大会日本生態学会 (昭和 62 年 4 月, 沖縄).
- 13) 古川昭雄, 藤沼康実, 田崎忠良, 戸塚 績: 種々の街路樹によるオゾン吸収速度. 第 33 回大会日本生態学会 (昭和 62 年 4 月, 沖縄).
- 14) 原直芳信, 大政謙次, 古川昭雄, 戸塚 績, 矢吹万寿: 自然環境シミュレーターにおける模擬群落内外の気流特性とガス吸収. 日本生物環境調節学会, 第 24 回大会 (昭和 61 年 8 月, 松山).
- 15) 五十嵐 治, 三宅 博, 戸塚 績: 植物の二酸化窒素吸収に関する種間差異. 第 28 回大気汚染学会 (昭和 62 年 10 月, 東京).
- 16) 岡野邦夫, 町田 孝, 戸塚 績: 植物の大気 NO<sub>2</sub> 吸収能の種間差. 第 179 回日本作物学会 (昭和 60 年 4 月, 東京).
- 17) 岡野邦夫, 町田 孝, 戸塚 績: 草本植物の大気 NO<sub>2</sub> 吸収能の <sup>15</sup>N 希釈法による比較. 第 22 回理工学における同位元素研究発表会 (昭和 60 年 4 月, 東京).
- 18) 岡野邦夫, 戸塚 績, 巽 二郎: 水稲根の生長と機能に及ぼすオゾンの影響. 第 180 回日本作物学会 (昭和 60 年 10 月, 東京).
- 19) 岡野邦夫, 町田 孝, 戸塚 績: 草本植物の NO<sub>2</sub> 吸収能の種間差. 第 26 回大気汚染学会 (昭和 60 年 11 月, 東京).
- 20) 岡野邦夫, 戸塚 績, 巽 二郎: オゾン暴露にともなう水稲根の生長および機能変化. 第 26 回大気汚染学会 (昭和 60 年 11 月, 東京).
- 21) 岡野邦夫, 町田 孝, 戸塚 績: 広葉樹種の大気 NO<sub>2</sub> 吸収能力—<sup>15</sup>N 希釈法による評価. 第 23 回理工学における同位元素研究発表会 (昭和 61 年 7 月, 東京).
- 22) 岡野邦夫, 町田 孝, 戸塚 績: 木本植物の大気 NO<sub>2</sub> 吸収能力. 第 27 回大気汚染学会 (昭和 61 年 11 月, 京都).
- 23) 戸塚 績: 光合成を指標とした植物群落の汚染ガス吸収能の評価. 第 27 回大気汚染学会 (昭和 61 年 11 月, 京都).
- 24) 戸塚 績: 緑地の大気浄化機能について. 第 13 回日本環境学会 (昭和 62 年 6 月, 東京).

#### 口頭発表

- 1) 相原敬司, 大道幸一, 篠崎光夫, 古川昭雄, 戸塚 績: 樹木による大気浄化能の実態調査 (公園における窒素酸化物濃度). 第 26 回大気汚染学会 (昭和 60 年 11 月, 東京).
- 2) 青木正敏, 戸塚 績, 森岡 進, 小西 昭, 鈴木義則: 植物群落の大気汚染浄化能に関する研究.