

樹木の NO₂ 吸収速度の簡易測定法の開発

近藤 隆之*・名取 俊樹**・大西 勝典*
坂森 重治***・安念 清*・大政 謙次**

A Simple Method for Measuring NO₂ Absorption Rate by Trees

Takayuki KONDO*, Toshiki NATORI**, Masanori ONISHI*,
Sigeharu SAKAMORI***, Kiyoshi ANNEN* and Kenji OMASA**

NO₂ 濃度を簡易に精度よく測定でき、長時間測定や低濃度暴露実験に適している NO_x サンプラー法を用いて、同化箱法により樹木の NO₂ 吸収速度を簡便に測定する方法について検討したところ、次のような良好な結果を得た。

同化箱の入口及び出口における NO₂ 濃度を測定する場合、NO_x サンプラーをバッファータンク内にセットすれば風速の影響を防止でき、同時測定したザルツマン法 NO_x 計に対する NO_x サンプラー法の NO₂ 濃度比は平均 99.0±3.7% (n=30) で、それぞれの測定値はよく一致した。

NO₂ 吸収剤を用いた NO₂ 吸収模擬実験を行ったところ、実際の NO₂ 吸収量に対する NO₂ 吸収量測定値の比は平均 98.0±5.7% (n=20) で、両者はよく一致した。

また、ツバキ苗木の NO₂ 吸収速度の測定を行ったところ、蒸散速度と NO₂ 吸収速度の間には、ほぼ原点をとる直線関係 (r=0.955, n=15) が得られた。このような関係は、大型で高精度な暴露チャンバーによるヒマワリなどの測定においても得られていることから、本測定法は樹木の NO₂ 吸収速度の測定に有効であることが確認できた。

1. 緒 言

二酸化窒素 (NO₂) は呼吸器に対し悪影響を与える代表的な大気汚染物質で、常時観測局において全国的にモニタリングされているが、その環境濃度は昭和61年度以降都市部を中心に悪化してきている¹⁾。その改善手段の一つとして、環境庁では樹木の NO₂ 吸収機能を活用するため、平成元年に「大気浄化植樹指針」²⁾を策定している。しかしながら、植物の NO₂ 吸収速度の測定例は、樹木以外の植物については多い³⁻⁵⁾ものの、樹木については少なく⁶⁾、野外での生育条件に近い数十 ppb オーダーの NO₂ ガスを用いた測定例は極めて少ない^{7,8)}状況にある。

これまでの植物の NO₂ 吸収速度の測定は、大型で精度の高い暴露チャンバーを用いる³⁻⁵⁾か、NO₂ 自動測定器を用いる同化箱法により行われている⁶⁻⁸⁾。しかし、前者は大規模な設備が必要であり、後者は NO₂ 自動測定器により同化箱の入口濃度と出口濃度を交互に測定する必要があるため、電磁弁によるサンプリング管の切換

えや、サンプリング管内の結露対策など、装置が複雑化し、かつ高価となる。

一方、NO₂ の簡易測定法である NO_x サンプラー法は、NO₂ 濃度を ppb 単位で精度よく測定できるうえ、測定可能な濃度範囲も標準的な24時間の測定では数 ppb から数 ppm までと広い⁹⁾ため、長時間測定や低濃度暴露実験に適している。このため、同化箱法に従来の NO₂ 自動測定器にかわり NO_x サンプラー法を用いれば、簡単な装置で容易に樹木の NO₂ 吸収速度を求めることができるので、その適応について検討した。

2. 装置および実験方法

2.1 測定装置と測定法の概要

測定装置は、Fig. 1 に示したように同化箱本体、入口及び出口バッファータンク、吸収ポンプ、乾式ガスマータにより構成した。測定にあたっては、まず樹木の苗木を同化箱に入れ、入口及び出口バッファータンク内に NO_x サンプラーを各々3個セットした。次に試料空気を 20 l/min. の通気速度で12時間通気した後、平野らの

* 富山県環境科学センター 〒939-03 富山県射水郡小杉町中太閤山 17-1

** 国立環境研究所 〒305 茨城県つくば市小野川 16-2

*** 富山県環境政策課 〒930 富山県富山市新総曲輪 1-7

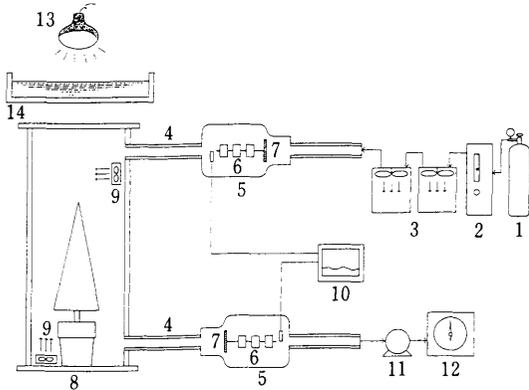


Fig. 1. Schematic apparatus for measuring of NO₂ absorption by trees using a chamber method with NO_x sampler

- 1. standard NO₂ gas
- 2. standard gas generator
- 3. mixing chamber
- 4. acrylic pipe
- 5. buffer-tank
- 6. NO_x sampler
- 7. baffle plate
- 8. chamber
- 9. fan
- 10. thermometer and hygrometer
- 11. pump
- 12. dry gas meter
- 13. lamp
- 14. water filter

方法⁹⁾に準じて分析を行い、バッファータンク内の平均温湿度により分析値を補正し¹⁰⁾、入口及び出口の NO₂ 濃度を求めた。なお、サンプラーの両面にはトリエタノールアミン (TEA) 含浸ろ紙をセットし、1個のサンプラーから2検体の NO₂ 濃度が測定できるようにするとともに、3個のサンプラーの平均値を入口と出口の NO₂ 濃度とした。また、各装置の仕様は、次のとおりである。

同化箱：アクリル製、内径 39 cm、高さ 100 cm、容量 120 l

バッファータンク：ポリエチレン製、内径 22 cm、長さ 37 cm

内部ファン：ピクシー PXJ43B1、風量 0.9 m³/min.

吸収ポンプ：日立製作所(株) ロータリーコンプレッサ - 35WRC-20A、吸引能力 25 l/min.

乾式ガスメータ：品川精器(株) DC-5C

NO_x サンプラー：小川商会製

温湿度計：(株)佐藤計量器製作所 SK-RHV

標準ガス発生装置：スタンダードテクノロジー社 SGGU-561

混合装置：25 l ポリエチレン容器 (内部に攪拌用ファン取付け) 2個

試料空気：NO₂ 標準ガスを室内空気で希釈したもの、又は室内空気をそのまま使用。

2.2 NO_x サンプラー法とザルツマン法 NO_x 計の測定値の比較

本測定法において、NO_x サンプラーを狭い空間内にセットすると、風速の影響でサンプラーのドラフトシールが不十分となり NO₂ 測定値が高くなる懸念があった。そこで Fig. 1 に示すバッファータンクを用いることとした。この場合の NO_x サンプラー法の測定精度を知るため、気温 (10.0~28.7°C)、湿度 (21.4~78.1%)、NO₂ 濃度 (10.2~104 ppb) を変化させて、ザルツマン法 NO_x 計 (電気化学計器(株) GPH-74M) と同時測定を行い NO₂ 濃度を比較した。測定時間は、試料空気の NO₂ 濃度に応じて 8~65 時間とした。

2.3 NO₂ 吸収剤を用いた NO₂ 吸収模擬実験

Fig. 1 の同化箱内に、NO₂ 吸収剤として TEA 水溶液 (7.5%) を含浸・乾燥させた円筒ろ紙 (東洋ろ紙製: No81, 20φ×80 mm) を 1~8 本つるし、通気速度 20 l/min. で 12 時間通気し、円筒ろ紙に実際に吸収された NO₂ 量と本測定法による NO₂ 吸収量測定値の比較を行った。円筒ろ紙に吸収された NO₂ 量は、NO_x サンプラー法の分析に準拠して測定した。実験時の入口気温は 18~22°C、入口湿度は 50~70%、入口 NO₂ 濃度は 50~70 ppb に制御した。また、実験に先立ち同化箱内に通気速度 20 l/min. で 30 分以上試料空気を流して、同化箱内を試料空気で十分置換した後、すばやく円筒ろ紙及びサンプラーをセットし、実験を開始した。なお、同化箱法を用いた NO₂ 吸収速度の測定においては、同化箱内での NO₂ の光分解や同化箱内壁への NO₂ の吸着⁶⁾、オゾン共存下での NO₂ の HNO₃ への酸化¹¹⁾などのため“空試験”補正が必要となるが、同化箱に円筒ろ紙を入れずに同一実験を行い、Hanson ら⁸⁾の方法に準じて、次の式 (1) により“空試験”補正を行った。

$$V = \left[C_{in} - C_{out} - C_{in} \left(1 - \frac{C_{BLout}}{C_{BLin}} \right) \right] Q \quad (1)$$

V: 空試験補正 NO₂ 吸収量 (μg), C_{in}: 吸収実験入口濃度 (μg/m³), C_{out}: 吸収実験出口濃度 (μg/m³), C_{BLin}: 空試験入口濃度 (μg/m³), C_{BLout}: 空試験出口濃度 (μg/m³), Q: 通気量 (m³)

2.4 本測定法の樹木の NO₂ 吸収速度測定への適用

本測定法による樹木の NO₂ 吸収速度の測定の一例として、ツバキ (*Camellia japonica* L.) の苗木を用いて NO₂ 吸収速度の測定を行った。その際、気孔開度を支配する重要な因子の一つである光条件を、苗木最上部での光合成有効放射量が 200, 400, 600, 800, 1000 μmol photons s⁻¹ m⁻² となるよう設定した。そして、鉢の部分をビニール袋でおおったツバキの苗木を同化箱内に入

れ、実験に先立ち30分以上順応させた。光条件以外の通気速度、通気時間、実験時の入口における気温、湿度、 NO_2 濃度は2.3と同一とした。また、測定時の葉部周辺の平均風速(5地点の平均)は0.9 m/sであった。更に、 NO_2 吸収速度の測定と平行して、同化箱内に設置した電子天秤(ザウトリウス B3100S)により鉢を含むツバキ苗木の重量を測定し、その重量変化から蒸散速度を求めた。

3. 実験結果および考察

3.1 NO_x サンプラー法とザルツマン法 NO_x 計の測定値の比較

NO_x サンプラー法とザルツマン法 NO_x 計の NO_2 測定値の比較結果を Fig. 2 に示す。ザルツマン法 NO_x 計に対する NO_x サンプラー法の NO_2 濃度比は92.7~106%の範囲にあり、平均 $99.0 \pm 3.7\%$ ($n=30$) で両測定値はよく一致した。このことから、バッファータンクを用いれば、 NO_x サンプラー法により、同化箱の入口と出口の NO_2 濃度を有効に測定できることが確認できた。

3.2 NO_2 吸収剤を用いた NO_2 吸収模擬実験

同化箱の“空試験”実験の結果は、入口濃度に対する出口濃度の比は93.8~101%の範囲にあり、平均 $97.7 \pm 1.8\%$ ($n=11$) で、出口濃度が入口濃度に比べ平均2.3%低くなった。一方、 NO_2 吸収模擬実験では、入口濃度に対する出口濃度の比は56.2~90.8%の範囲にあって、平均“空試験”値で補正した結果は Fig. 3 に示すとおりであった。実際の NO_2 吸収量に対する NO_2 吸収量測定値の比は82.9~106%の範囲にあり、平均 $98.0 \pm 5.7\%$ ($n=20$) で両者はよく一致しており、本測定法によって NO_2 吸収量を有効に測定できることが確認できた。

3.3 本測定法の樹木の NO_2 吸収速度測定への適用 ツバキ苗木の NO_2 吸収速度の測定結果を Table 1 に

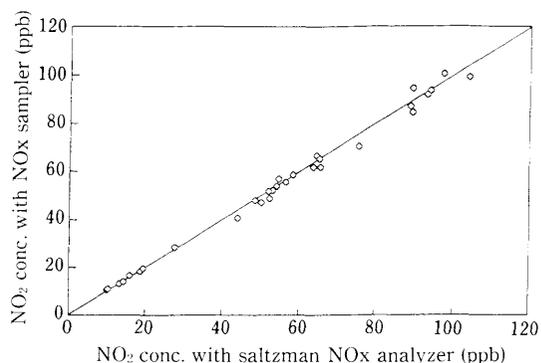


Fig. 2. Relationship between the NO_2 concentration with NO_x sampler and with Saltzman NO_x analyzer.

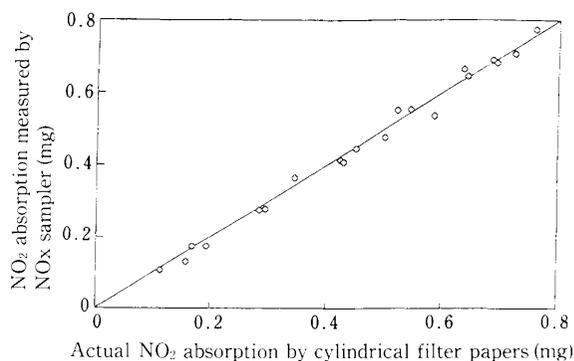


Fig. 3. Relationship between the actual NO_2 absorption by cylindrical filter papers and NO_2 absorption measured by NO_x sampler. NO_2 absorption measured by NO_x sampler is corrected by NO_2 “blank” absorption with empty chamber.

示す。ツバキの NO_2 吸収速度は $10.6 \sim 23.9 \text{ ng/dm}^2/\text{hr/ppb}$ で、光合成有効放射量が増加するに伴い大きくなった。また、入口濃度に対する出口濃度の比は72.7~86.0%の範囲にあり、3.2の NO_2 吸収模擬実験で測定

Table 1. The NO_2 absorption rate of camellia

PPFD ^a ($\mu\text{mol photons s}^{-1}\text{m}^{-2}$)	NO_2 absorption rate ^b ($\text{ng/dm}^2/\text{hr/ppb}$)
200	10.6 ± 1.7^c
400	14.0 ± 2.5
600	15.5 ± 1.1
800	22.0 ± 2.5
1000	23.9 ± 1.5

a: Photosynthetic photon flux density

b: NO_2 absorption rate is corrected by NO_2 “blank” absorption with empty chamber.

c: Mean value and standard deviation of three measurements.

Outlet temperature: $18.9 \sim 21.3^\circ\text{C}$

Outlet humidity: 70.3~87.8%

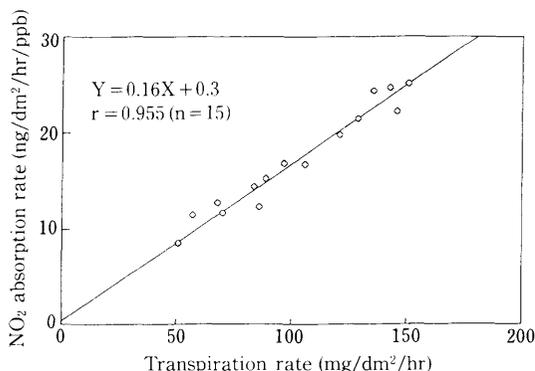


Fig. 4. Relationship between the NO₂ absorption rate and transpiration rate of camellia.

精度を調べた範囲内で NO₂ 吸収速度を測定することができ、精度よくツバキの NO₂ 吸収速度の測定を行うことが可能であった。なお、本測定法は簡易測定法であり同化箱内部での温湿度制御を行っていないため、測定時の気温、湿度を同一条件に設定できなかったが、同化箱出口の気温、湿度はともに比較的狭い範囲におさまっていた。

ツバキの NO₂ 吸収速度と蒸散速度の関係を Fig. 4 に示す。蒸散速度と NO₂ 吸収速度との間には、ほぼ原点をとる直線関係 ($r = 0.955, n = 15$) が得られた。このような関係は、高価で大型かつ高精度な暴露チャンバーによるヒマワリ⁴⁾ やアサガオ等⁵⁾ の NO₂ 吸収速度の測定においても得られている。簡易測定法である本測定法においても同様の結果が得られたことから、本測定法は樹木の NO₂ 吸収速度の測定に有効であることが確認できた。

4. 結 語

本測定法は、高精度暴露チャンバーのような大型装置や高価な自動測定器を必要とせず、測定操作も簡便なため、容易に樹木の NO₂ 吸収速度を求めることが可能である。このため、野外での樹木の NO₂ 吸収速度の測定や、多くの樹木の同時測定に適した測定法と考えられるので、今後その適応について検討したい。

(受稿 1993. 9. 22)

文 献

- 1) 環境庁編: 平成4年版環境白書総論, 大蔵省印刷局, pp. 2~4 (1992)
- 2) 大気環境に関する緑地機能検討会: 大気浄化植樹指針, (1989)
- 3) Hill A. C.: Vegetation: a sink for atmospheric pollutants, *J. Air Pollutants Control Ass.*, **21**, 341~346 (1971)
- 4) 大政謙次, 安保文彰, 名取俊樹, 戸塚 績: 植物による大気汚染物質の収着に関する研究 (II) NO₂, O₃ あるいは NO₂+O₃ 暴露下における収着について, *農業気象*, **35**, 77~83 (1979)
- 5) 名取俊樹, 戸塚 績: 二酸化窒素の短期及び長期暴露に伴う植物のガス収着速度を支配する植物側の要因について, *大気汚染学会誌*, **15**, 329~333 (1980)
- 6) Rogers H. H., Jeffries H. E. and Witherspoon A. M.: Measuring air pollutant uptake by plants: nitrogen dioxide, *J. Envir. Qual.*, **8**, 551~557 (1979)
- 7) Johansson C.: Pine forest: a negligible sink for atmospheric NO_x in rural Sweden, *Tellus*, **39B**, 426~438 (1987)
- 8) Hanson P. J., Rott K., Taylor, Jr. G. E., Gunderson C. A., Lindberg S. E. and Ross-Todd B. M.: NO₂ deposition to elements representative of a forest landscape, *Atmospheric Environment*, **23**, 1783~1794 (1989)
- 9) 平野耕一郎, 前田裕行, 石井哲夫, 米山悦夫: NO, NO₂ の簡易測定法, 分子拡散法による NO, NO₂ 同時測定, *環境と測定技術*, **12**, 32~39 (1985)
- 10) 平野耕一郎: 拡散型暴露サンプラーについて, *労働衛生工学*, **30**, 1~9 (1991)
- 11) 大政謙次, 安保文彰, 相賀一郎: 環境制御装置内の植物の NO₂ および O₃ 収着速度の同時測定について, *農業気象*, **35**, 31~40 (1979)