

自動車の通過に伴う沿道での二酸化窒素濃度短時間測定方法の提案

小栗 彰*

Short-time measurement of concentration of nitrogen dioxide at the roadside with passage of vehicles

Akira Oguri

Roadside NO₂ concentration of the Route 23 near the Motoshio-Koen in Nagoya city has been measured by installing measuring devices of NO₂ concentration using Chemiluminescent Detector. Comparison between the measured results and the hourly data of the Motoshio-Koen Roadside Air Pollution Monitoring Station (RAPMS) has been carried out. Even if RAPMS data satisfy the environmental standard of NO₂ concentration, short-time measurement shows high level concentration which exceeds the upper limit of the standard. This means that RAPMS data cannot indicate actual condition especially for roadside. In addition, it is demonstrated that our procedure is suitable to obtain harmful ingredient emitted from high-emitters.

Keywords: NO₂ concentration, Air Pollution Monitoring Station, Measuring method, Roadside environment, Healthy risk

1. はじめに

自動車の排気ガスに含まれる窒素酸化物は光化学スモッグや酸性雨などを引き起こす大気汚染原因物質であるとともに、人間に健康被害をおよぼす恐れがある。特に二酸化窒素 (NO₂) は、粘膜の刺激、気管支炎、肺水腫などを引き起こす場合がある^{(1),(2)}。

このために、自動車排気ガス規制が強化されてきたが、規制値は新造車に対するものであり、実験室内のシャシダイナモ上を一定の条件下・走行パターンで走らせて達成させるべき基準である。ところが、数多くの経年車が混在しているのが実態であり、その中には整備不良車も含まれていると考えられる。そこで地方自治体などは全国各地に大気汚染常時監視測定局を設置し、NO₂の濃度を測定している。大気汚染防止法により定められ、昭和53年7月11日に告示されたNO₂濃度に関する大気環境基準では、「1時間平均値の1日平均が0.04~0.06ppmの範囲内またはそれ以下であること」とされている。

大気汚染常時監視測定局は、「一般環境大気測定局（一般局）」と「自動車排出ガス測定局（自排局）」に分類される。一般局では一般環境大気の汚染状況を調べている一方、交差点、道路及び道路端付近に設けられている自排局では、走行する車両からの排気ガスに起因する沿道の大気

* 機械工学科

汚染状態を調べている．大気汚染常時監視測定局で測定された NO_2 濃度の測定値は中央監視局に伝送され，1 時間平均値として公表されている．

これらのように，大気汚染の監視のための NO_2 濃度の測定においては，1 時間平均値がこれまで多く報告^{(3)~(5)}され，環境基準を満足するかどうか判断されている．しかしながら， NO_2 濃度は自動車の通過台数，車種，加速の有無などによって大きく変動すると推測され，1 時間平均値の 1 日平均が環境基準を満足していても，短時間には極めて高い NO_2 濃度になっている可能性があるため，自動車の排気ガスによる道路沿道の大気汚染状況を正確に把握し，大気汚染防止対策を確立するためには 1 時間よりも短時間での NO_2 濃度の変動を調べる必要がある．

そこで本研究では，交通量が非常に多い国道沿道を測定対象として選択し，短時間での NO_2 濃度の変動を測定できる測定装置を沿道に設置して大気汚染状態を調べる．また，測定場所の近傍には自排局が配置されており，本システムを用いて短時間で計測した NO_2 濃度と，同じ時間帯に自排局で測定され自治体から公表される NO_2 濃度の 1 時間平均値を比較して，限定された単独の場所での測定結果に対して，短時間測定結果により歩道上の歩行者が曝されている大気汚染の実態を把握することにした．

このような測定を多くの地点で繰り返した結果，自排局における 1 時間値が設置場所周辺の平均的な状態を表しているのに対して本測定方法を用いることにより，沿道では NO_2 濃度が大きな変動を繰り返すこと，極めて高い値を示すこと，高濃度ガス排出車両からの排気ガスの影響を捉えられる可能性があること，多地点同時測定の結果，細街路および歩道橋上では NO_2 濃度の拡散がすすんでいることという実態を明確にすることを目的に測定を実施した．

2. 測定方法

2・1 二酸化窒素濃度の短時間測定

短時間での NO_2 濃度の変動を測定できる化学発光法⁽⁶⁾を原理とした測定装置を道路端に可能な限り近い場所に設置して，45 分間連続で大気汚染状態を調べる．装置からの出力は 0.1 秒間隔でデータロガーに取り込み，内蔵の A/D コンバータにより A/D 変換したうえで，オンラインでパソコンのハードディスクに保存する．



Fig.1 Measuring devices at the roadside

図 1 は沿道における測定状態と測定機器類の配置である．図に示すように設置は歩道上，道路端からの距離 1 m の位置として，国道を走行する車両から排出される排気ガスを採取しやすい地点を選んだ．上述のように短時間データを収集することにより，様々な実態が明らかになってきた．

2・2 大気汚染の測定地点と測定の方法

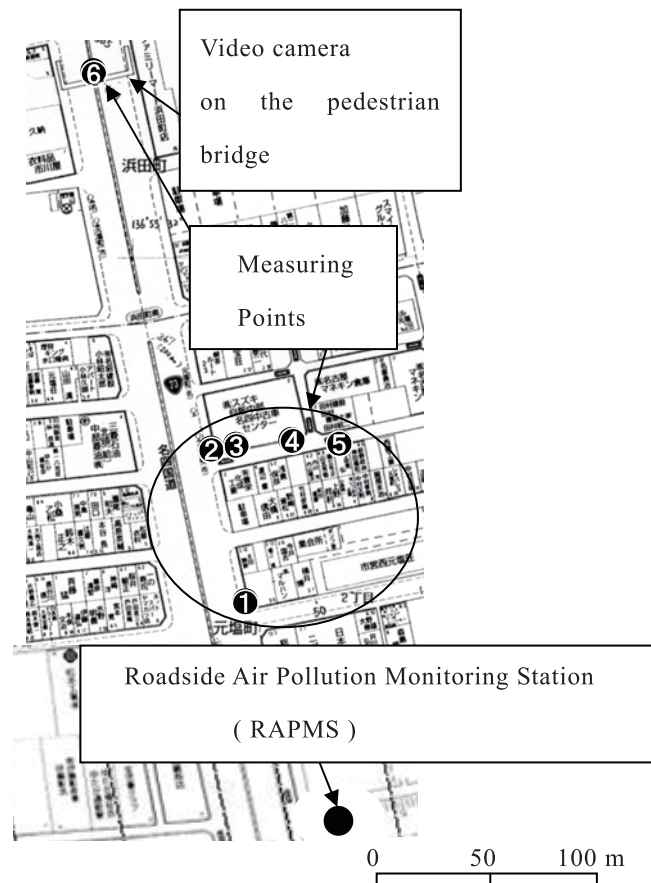


Fig.2 Measuring points

愛知県内には環境基準が達成されていない自排局があるとされており，愛知県名古屋市南区元塩公園近くの国道 23 号線は片側 3 車線で交通量が多く，地域住民が「名古屋南部訴訟」を起こした経緯がある．このことから，大気汚染が深刻な地点であると推測して，この地点での NO_2 濃度を測定することとした．

NO_2 濃度を計測した地点①～⑥を図 2 に示す．地点①は，市道本星崎東西第 4 号線と交差する国道 23 号線沿道の歩道上で道路端から約 1 m の位置であり，地点②は，地点①から 70 m 離れた歩道上である．また，地点③～⑤は国道に交差する市道本星崎東西第 2 号線脇に配置し，地点⑥は地点②から 180 m，地点①から 250 m 離れた歩道橋上である．これらの地点にテーブルを置き，その上に NO_2 濃度測定装置を置いて測定した．大気の採取口は道路面から 2 m の高さとし

た．また、 NO_2 濃度の測定地点での車両の通行状態を把握できるように、地点⑥の歩道橋上にビデオカメラを設置した．

本研究での大気汚染観測地点の近くには、図 2 に示すように、自排局が設置されている．この元塩公園自排局は、一方通行で、通行車両が少ない側道を挟んで、国道 23 号線の道路端から 12 m 離れている．大気の採取口は道路面から 3～4 m の高さであり、本研究（2 m）よりも高い位置にある．このように限定された固定の場所に位置しており、道路のやや上空の全体的な状態を示しているのではないかという不安が残る．加えて 1 時間平均値で示していることに疑問が生じる．大型車の排気管からの NO_x 濃度⁽⁷⁾は ppm オーダーであり、現実には道路直近の歩道上を歩行する人がどの程度の汚染物質に曝露されているか想像がつかない．また頻繁に走行している大型の産業車両が傍らを通過する際に吸い込む排気ガスの汚染状態を的確に表しているのかという点でも問題があるのではと考える．沿道一帯の全体的な汚染状態の理解も必要であるが、歩行者の置かれた環境を確認することが重要である．そのためには、時々刻々変化する国道上の通過車両の影響を受けると考えられる歩道上の汚染状態をその場で正確に知らなければならない．

3. 大気汚染の測定結果および考察

3・1 元塩公園自排局における測定結果

本システムを用いて短時間で計測した NO_2 濃度と、同じ時間帯に自排局で測定され自治体から公表される NO_2 濃度の 1 時間平均値を比較して、限定された単独の場所での測定結果に対して、短時間測定結果により歩道上の歩行者が曝されている大気汚染の実態を把握することにした．

元塩公園に設置された自排局における NO_2 濃度一時間平均値の 24 時間内の推移を図 3 に示す．

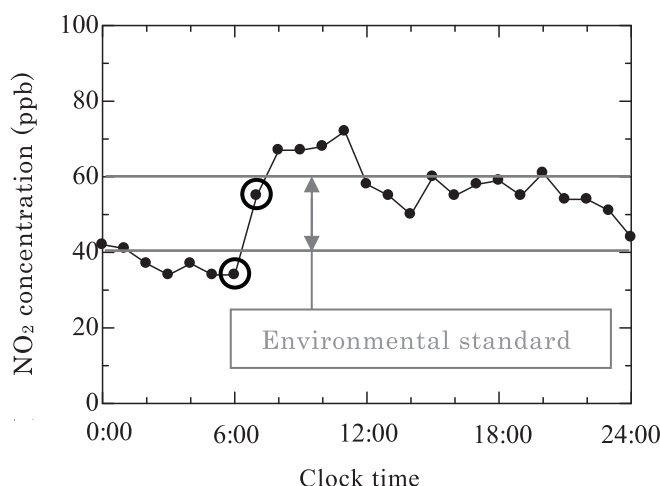


Fig.3 NO_2 concentration measured at the Motoshio-Koen RAPMS

NO₂濃度は深夜0時からの6時間の間は比較的低濃度であり環境基準を満足しているが、朝7時から11時の時間帯に高いレベルにあることが示されており、中でも8時以降に交通量が多い状態が続き、その影響を受けて環境基準を超える高濃度の汚染状態となっていることがわかる。特に産業道路という性格上、大型貨物車が集中していることが推定できる。午後から夜間にかけても環境基準は満足しているものの濃度レベルはそれほど低下せず、沿道一帯の汚染は夜遅く23時台まで持続している。一日を通してどのくらい悪い状態になっているかということは理解できる。ただ、上述したように空気の取り入れ位置が地表面から3~4 m程度高く道路のやや上空の全体的な状態を示しているのではないかと考え、現実には道路直近の歩道上を歩行する人がどの程度の汚染物質に曝されているかを把握するために、図中○印で示した時間帯に対応する短時間NO₂濃度と比較することにした。

3・2 道路沿道における短時間 NO₂ 濃度測定結果

地点①において本システムを用いて測定した短時間 NO₂ 濃度の時間変化を以下に示す。

図4は、開始時刻5:55から45分間連続して測定して得られた短時間 NO₂ 濃度の時間変化及びそれらの測定値の平均、この時間帯における自排局（図中”RAPMS”で表す。）の1時間値を表している。短時間 NO₂ 濃度の波形は大きく変動を繰り返し、周期的であることを示す。測定値の平均は64ppbであり、自排局の1時間値34 ppbを大幅に上回っている。自排局のデータは、「1時間値の1日平均値が0.04 ppm から0.06 ppm までのゾーン又はそれ以下であること」とするNO₂濃度の環境基準を満たしているものの、本システムによる測定値の平均は上述のとおりである。さらに短時間で連続測定して得られた波形と環境基準のレベルと対比させると、開始後6分から9分、18分から21分、39分以降に基準の範囲内に収まっている時間帯は一部見られるが、開始後3分には120 ppbを示す非常に高いレベルになっている。それ以外の時間帯でも、14分、17分、25分、28分、37分のように90~100 ppbと高く、短時間の繰り返しではあるが、このような高濃度のNO₂を吸引することによる健康への影響を危惧せざるを得ない。

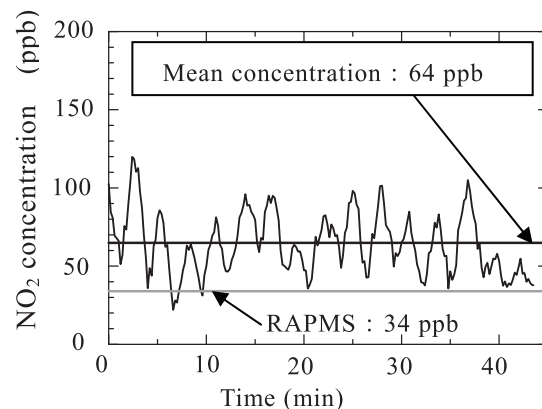


Fig.4 NO₂ concentration in the course of time from 5:55 at the measuring point NO.1

図 5 は、開始時刻 6:45 から 45 分間連続して測定して得られた NO_2 濃度の時間変化及びそれらの測定値の平均、自排局の 1 時間値を示す。波形は図 4 と大きく異なり、周期性がほとんど現れていない。大渋滞が発生して車両がほとんど停止状態になる時間帯も含まれる場合の NO_2 濃度の変動状態である。

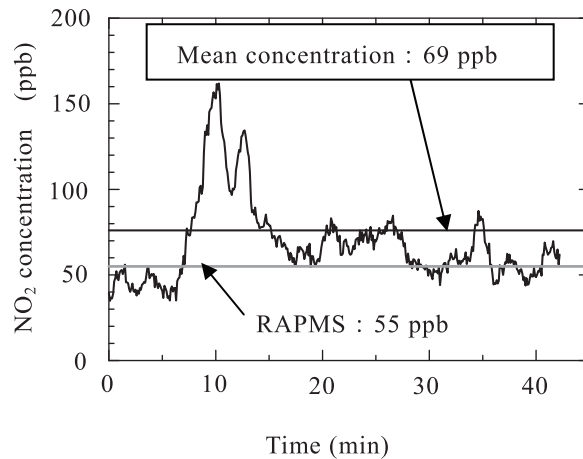


Fig.5 NO_2 concentration in the course of time from 6:45 at the measuring point NO.1

自排局のデータ 55 ppb は、図 4 と同様に NO_2 濃度の環境基準を満たしているものの、本システムによる測定値の平均は 69 ppb である。自排局の 1 時間値が測定値の平均に近づいているが、沿道での高い NO_2 濃度を的確にあらわしているとは言えない。6:45 測定開始後 10 分に発生する 160 ppb に達する NO_2 濃度のピークは、ビデオカメラによる収録画像から、その 1 分前に煙を大量に排出しながら通過した大型貨物車 2 台の影響と判断する。このような整備不良が原因と思われる高濃度ガス排出車両からの有害成分を捉えるには、短時間での測定が可能な本システムのような測定方法が必要である。また測定開始後 18 分以降では図 4 に見られる周期性がみられない。収録画像を観察した結果、測定開始後 10 分のピーク前後で車両の流れが極端に悪くなり、ほとんど停止状態になる時間帯も存在する。大渋滞では数珠つなぎの状態が継続するため、開始後 21 分、24 分、27 分、34 分に見られるように 80ppb に達する高い濃度となり、周期的でない波形につながっていると考えられる。

3・3 二酸化窒素濃度の分布

自排局が固定された場所に設置された単独の測定地点であるのに対し、本測定方法の特徴は、測定機器を複数台用意すれば多地点における同時測定を可能にする点にある。この利点を生かして、国道 23 号線沿道から水平方向、鉛直方向の NO_2 濃度の分布を測定した。

3・3・1 二酸化窒素濃度の水平方向分布

国道から細街路沿いに NO_2 濃度の水平方向の分布を知るため、地点②から⑤に各々の測定機器

類を配置して 4 カ所で同時測定を実施した．各地点の配置は図 6 のとおりである．

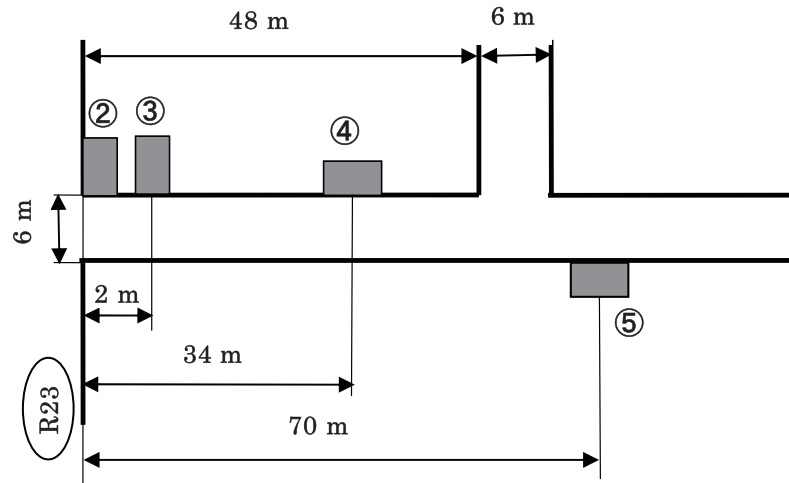


Fig.6 Measuring points for measurement of NO₂ concentration in the horizontal direction

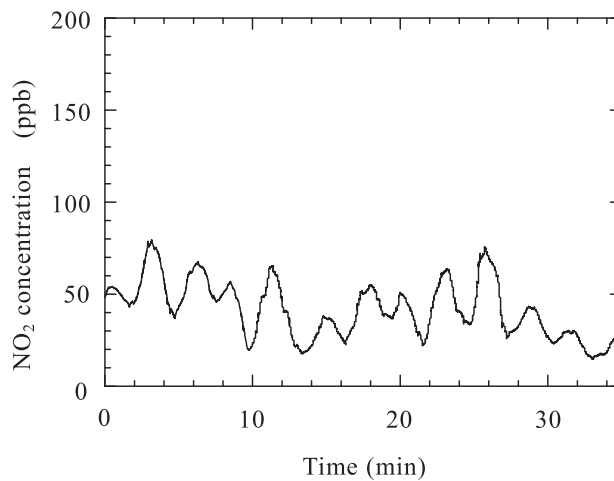


Fig.7 NO₂ concentration in the course of time from 11:25 at the measuring point NO.4

この細街路は幅 6 m で通過車両がほとんどない場所であり，国道 23 号線に対して地点⑤から奥は住宅街となっている．

地点④において 2.1 項で説明した本システムを用いて測定した結果を以下に示す．測定開始からの経過時間 35 分間に測定装置から出力された NO₂ 濃度の変動を図 7 に示す．国道の道路端から 34 m 奥まった細街路沿いのこの地点においても，得られた NO₂ 濃度のレベルは低いが変動幅は大きくばらつき，変動の周期はほぼ一定のように見える．何らかの要因の影響を受けて周期的な波形を示す非定常な状態であり，周期は約 3 分で交通信号の切替りの時間間隔に近い．国道を走行する車両の動きの影響が及んでいるように見える．

図 8 は，図 6 に示した 4 地点での国道から細街路沿いの NO₂ 濃度の水平方向分布である．各

地点における濃度の測定結果をすべてプロットし、その変動幅を載せてある。図中○印で示す平均濃度は、150ppb のレベルの道路端から 2 m 離れると 38 ppb まで 26 %に低下、70 m 奥まった地点では 36 ppb まで減衰している。平均値に加えて変動幅も含めて NO₂ 濃度の環境基準と対比させると、70m まで奥まった地点⑤が満足しており、健康への影響は心配ない。多点同時測定を実施したことにより、同一時刻における水平方向への分布状態が明確になった。

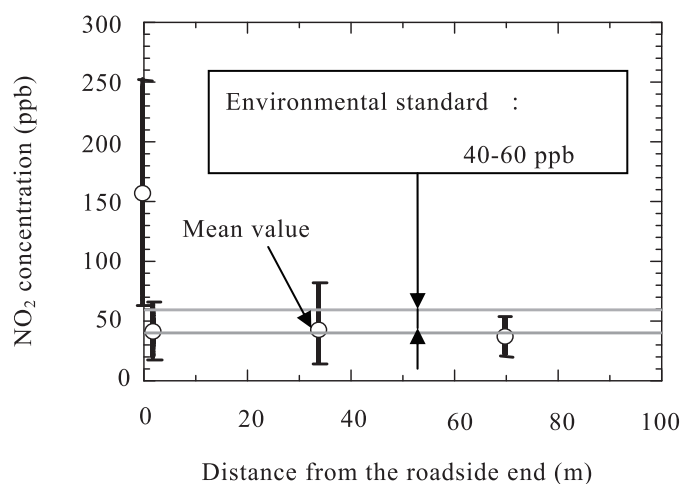


Fig.8 Distribution of NO₂ concentration in the horizontal direction

3・3・2 二酸化窒素濃度の鉛直方向分布

歩行者への健康影響を回避する手段を検討することを目的として、NO₂ 濃度の鉛直方向分布を地表からの高さが異なる位置で同時測定した。

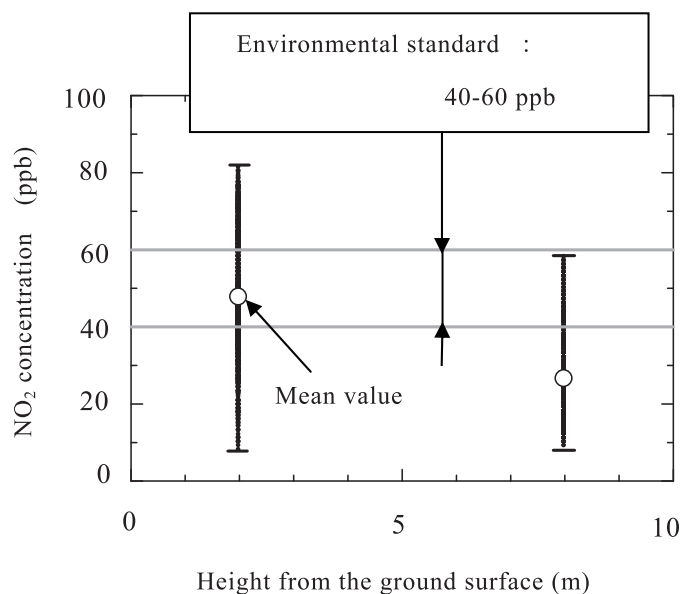


Fig.9 Distribution of NO₂ concentration in the vertical direction

図 2 の⑥で示す歩道橋上の測定点において国道の幅の中央部分に、国土交通省の許可を得たうえで NO_2 濃度測定装置を配置し、直下の中央分離帯に向けて地表から 2m の高さに装置の採気口に接続したテフロンチューブを設置した。最も内側の車線を走行する車両に接触しないようにチューブはアルミ製の支持棒に固定し、安全を確保している。また、歩道橋上では高さ 2m (地表からの高さ 8m に相当) の位置にサンプリングチューブを設置した。このような状態で測定した結果を図 9 に示す。ここでも図 8 と同様に、各地点における濃度の測定結果をすべてプロットし、その変動幅を載せてある。3・3・1 項と同様に環境基準と対比させて NO_2 の濃度変化の状態を示すことにより、健康への影響を判断することにする。

この図から、上空への拡散が認められ高さ 8m の地点では、○印で示す平均値および全データの変動幅ともに半減し、全データが環境基準以下に収まっている。この結果から歩行者が歩道橋上まで上がれば、健康への影響は心配なく、歩道を歩行することにより曝露される高濃度の NO_2 を避ける一つの手段として、赤信号で立ち止まらずに歩道橋走行を推奨することが考えられる。

4. まとめ

愛知県名古屋市南区元塩公園近傍の交通量が非常に多い国道 23 号線を測定対象に選び、沿道に短時間測定を可能にする NO_2 濃度測定装置を設置して測定を実施した。国道を走行する車両の状態も観測して NO_2 濃度との関係を検討し、以下の知見を得た。

- (1) 我々の測定結果と大気汚染常時監視測定局（自排局）1 時間値の比較を行った結果、自排局の 1 時間値が NO_2 濃度の環境基準を満足している状態でも、我々の測定結果の平均値が基準上限の 60 ppb を超える高濃度を示したことから、自排局の 1 時間値のみで汚染状態を判断することよりも短時間測定を取り入れることに効果がある。
- (2) 本測定方法を用いて短時間測定をすることにより、ビデオカメラを併用して通行する車両から排出される排気ガスの特性なども把握することが可能である。
- (3) 多地点における同時測定を可能とする本測定方法の利点を生かして、国道 23 号線沿道から水平方向、鉛直方向の NO_2 濃度の分布を同時測定した。水平方向の濃度分布測定では、国道に交差する細街路上に 4 台の測定装置を配置して得られた結果を NO_2 濃度の環境基準と対比させると、70m まで奥まった地点が満足しており、健康への影響は心配ない。また、鉛直方向の濃度分布測定では、地表からの高さが 8m の地点である歩道橋上では、全データが環境基準以下に収まっており、健康への影響は心配ない。
- (4) (3)の結果から、国道沿道から奥まった住宅地での居住が望ましく、信号待ちのため歩道端で立ち止まることにより曝露される高濃度の NO_2 を避ける一つの手段として、歩道橋歩行を推奨することが考えられる。

参 考 文 献

- (1) 島正之, “自動車排出ガスの健康影響に関する疫学研究”, 兵庫医科大学医会誌, Vol.30, No.2(2005), pp.145－152.
- (2) 田中良明, 仁田善雄, 島正之, 岩崎明子, 安達元明, “主要幹線道路沿道部における大気汚染が学童の呼吸器症状に及ぼす影響”, 大気環境学会誌, Vol.31, No.4(1996), pp.166－174.
- (3) 小木曾毅, “都市と沿道の大気環境”, 豊田中央研究所R&Dレビュー, Vol.35, No.1(2000), pp.7－12.
- (4) 水野建樹, 目黒靖彦, “東京都区内の常時監視測定局と道路交通センサスのデータを利用したNO_x・SPM濃度への自動車の影響とその変化の推定”, 大気環境学会誌, Vol.45, No.3(2010), pp.117－125.
- (5) 上原清, 林誠司, 山尾幸夫, 松本幸雄, 若松伸司, “実在交差点周辺の沿道大気汚染”, 大気環境学会誌, Vol.42, No.2(2007), pp.93－106.
- (6) 堀場製作所自動車計測システム統括部編, エンジンエミッション計測ハンドブック, 初版(2006), pp.82－85, 株式会社 山海堂.
- (7) 鈴木央一, 藤森敬子, “車検時NO_x測定評価手法に関する研究”, 自動車技術会学術講演会前刷集(2007年秋季大会), No.127-07(2007), pp.17－22.

(平成 25 年 3 月 31 日受理)