

沿道大気汚染に及ぼす気流・交通流の影響調査

小栗 彰*

Investigation of aerial flow and vehicle traffic flow effects on roadside air pollution

Akira OGURI

Status of air pollution is judged by achievement level to air quality standards. Owing to stringent exhaust emission regulation for automobiles, NO_x concentration of roadside air, one of the air pollution matters, has indicated improved trends. However, it does not still satisfy the environmental standards in some districts. In this study, temporal variation of NO_x concentration and aerial flow has been measured along with observation of traffic flow simultaneously in a district. Relationship between NO_x concentration and aerial flow/ traffic flow is analyzed and discussed.

Key Words: emission, NO_x concentration, air pollution matters, aerial flow, vehicle traffic flow

1. 緒言

近年、道路沿道の大気汚染が問題とされてきた。代表的な有害物質である窒素酸化物（NO_x）の濃度は自動車の排気ガス規制強化にもかかわらず環境基準を上回るレベルで推移していたが、ここ数年ゆるやかな改善傾向を示すようになってきた。全国各地を見渡すと、規制強化などの効果が徐々に現れてきていると思われるが、都市圏では依然として基準値を満足していない汚染状況に留まっているのも事実である。

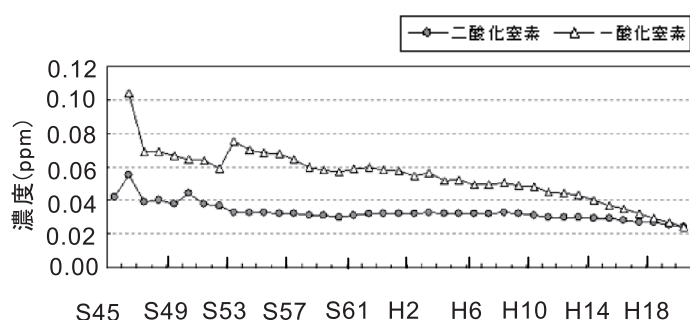
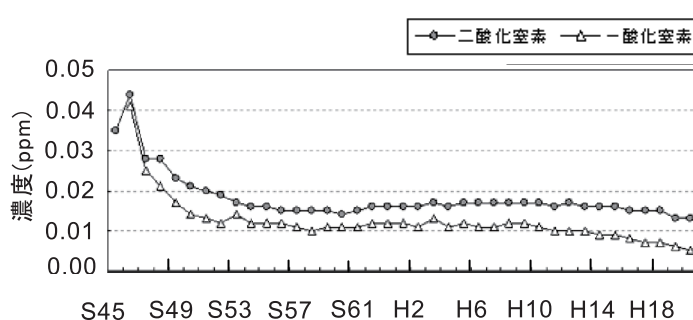
本研究では、交通量の多い国道を対象に、沿道に設置した計測器により大気中の NO_x 濃度・風向・風速瞬時値の時間変化を複数地点で同時計測するとともに交通流も観測した。これらの計測結果をもとに、時々刻々と変動する沿道大気汚染状態を明確にするとともに、NO_x 濃度に及ぼす気流・交通流の変動の影響について調べることを目的とした。

2. 大気汚染状況概要

全国各地に配置された大気汚染常時監視測定局において各種汚染物質濃度が測定され、1 時間値の 1 日平均値として記録されている。この測定局は以下に示す 2 種類に分類される⁽¹⁾。一般環境大気汚染状況を監視する「一般環境大気測定局（一般局）」および自動車走行による排出物質に起因する大気汚染が問題となる交差点、道路及び道路端付近の大気を対象にした汚染状況を監

* 機械工学科

視する「自動車排出ガス測定局（自排局）」である．これらの測定局で記録された測定データの年平均値のうち $\text{NO}_2 \cdot \text{NO}$ 濃度の推移を図 1, 2⁽¹⁾に示す．前述のように，濃度は近年，ゆるやかな改善傾向を示している．図 3⁽¹⁾には， NO_2 濃度が大気環境基準を満足していない自排局のある県を灰色で示している．しかしながら 1 時間値の 1 日平均値をもとに作成したものであり，この 1 時間内に汚染物質の濃度が様々な要因により変動しているため，沿道大気の状態は十分把握できていない．そのため我々は，これまで未達成地域の代表として名古屋市の国道 23 号線沿道を，達成地域の代表として福井市の国道 8 号線沿道を選んで NO_x 濃度の測定を重ねてきた．

図 1. $\text{NO}_2 \cdot \text{NO}$ 濃度の年平均値の推移（自排局）図 2. $\text{NO}_2 \cdot \text{NO}$ 濃度の年平均値の推移（一般局）

3. 測定方法

測定に用いた NO_x 濃度測定装置を図 4 に示す．測定原理は化学発光法によるもので， NO に O_3 を反応させると酸化されて NO_2 になる．生成した NO_2 の一部が励起状態になっており，基底状態に移る時に発光する．その光量が濃度に比例することを利用して測定するものである．この装置を中核とするデータ処理システム（図 5）を構築したうえで，バッテリーの直流電圧をインバータによって交流電圧に変換する電源ユニットを備えることにより 100V 電源が不要となり，測定点選定の自由度を高めた状態で計測を実施した．図 4 に示すように台車上に計測器一式および電源としてのバッテリー，インバータを搭載している．計測器からのアナログデータをデータロガーにより A/D 変換して PC に取り込む一方で，ビデオカメラで撮影した交通流の状況から，車種ごとの通過台数を人間の目によりカウントし集計する．図 4 の台車左側には超音波風向風速計を配置してある．

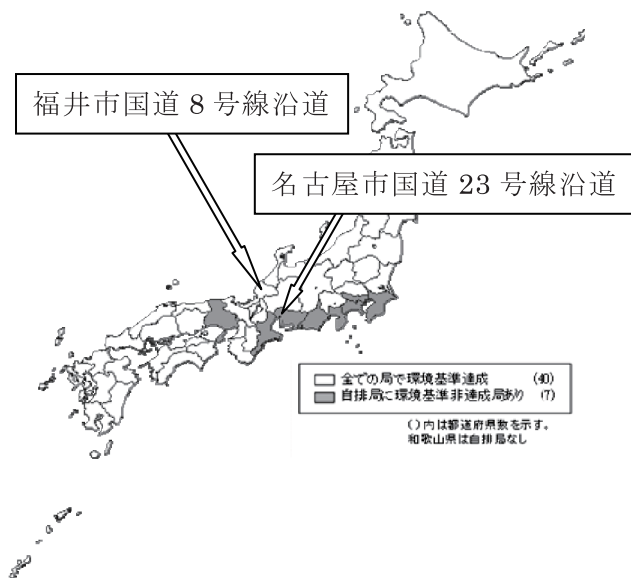
図 3. NO_2 濃度環境基準未達の地域



図 4. 測定装置（台車搭載）

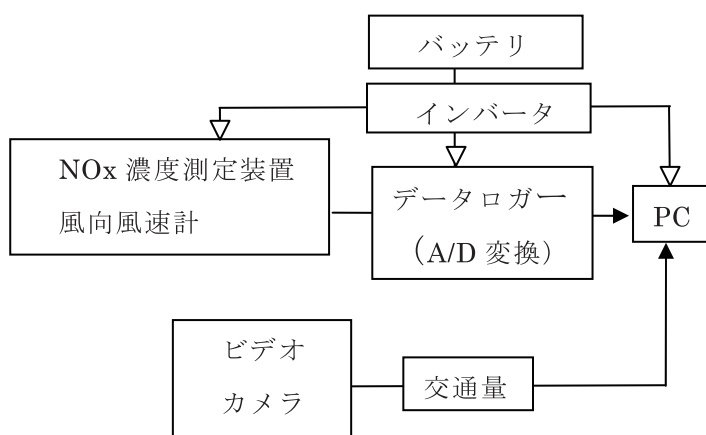


図 5. 測定データ，解析の流れ

4. 測定結果

4.1 名古屋市国道 23 号線沿道

測定は，名古屋市南区元塩町を通過する国道 23 号線沿道で実施した．図 6 に測定地点近傍の地図を示す．国道に対して東側の地点（図中①～③）に計測器を配置し測定を行なった．大気のサンプリング位置は地上 2m の高さとした．

4.1.1 気流の影響

地点③において高さ方向の NOx 濃度分布を測定した．図 7 に示すように地表から 2m，4.5m の位置における濃度に差は見られず，建物の高さ付近に存在すると考えられる境界層よりも低い領域では上空に向かう汚染物質の拡散はなく，道路方向に整流された気流（図中，矢印で示す風向を参照）により移送されるとするトヨタ自動車の計算結果⁽²⁾とも合致する．

地点①，②における NOx 濃度測定結果を風向・風速の変化と合わせて図 8，9 に示す．

(1) 地点①（図 8）において車群が加速状態で通過する青信号の時間帯（図中の「青」）では，風向が国道に沿った北ないし北北西を示す一方，信号が赤（図中の「赤」）に切り換り通過車両が途絶えると一般風が北西に変化する傾向が表れている．これは，気流が国道方向に整流されて北から南へ流れることを示している．この気流の影響を受けて，NOx 濃度が交通信号サイクルに同期して周期的に

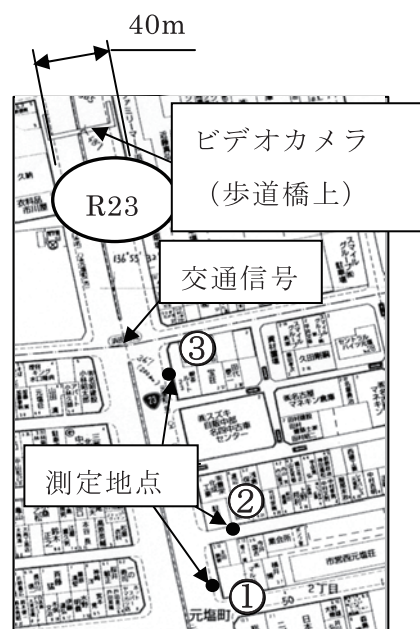


図 6. 測定地点の配置

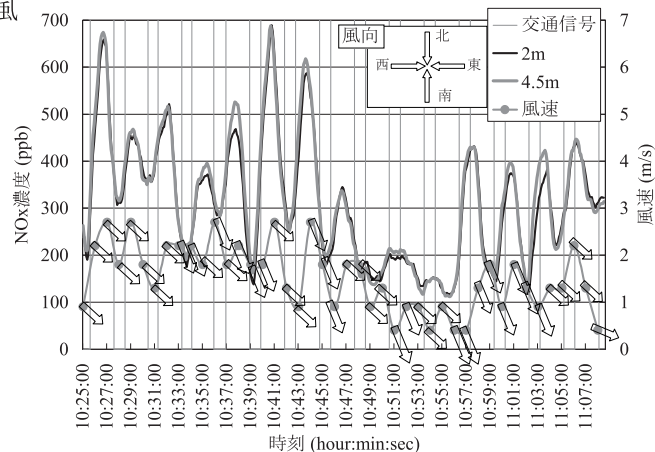


図 7. サンプリング高さの異なる位置で

測定された NOx 濃度

変動していることがわかる。また風速の変化も交通信号サイクルに同期しており、青信号で1~2.5 m/sを示すレベルが赤信号に切換るとゼロ近くまで低下し、走行風の影響を強く受けている。

(2) 地点②では濃度が周期的に変化し、ピーク値が200ppbを超える時間帯も見られる(図9)。ここでは、国道の影響を直接受け、国道を通過する車群からの排気ガスが風で運ばれている状況が表れている。風向はほぼ西を示し、道路方向に整流されて北から南へ流れた気流の一部が国道東側の細街路へ分岐して細街路の両側に立地する2階建ての民家に沿って東へ流れるとする計算結果②により説明できる。

風速が上がる15:13ではピーク濃度が減少する一方、15:33に風速が下がるとともに濃度が上昇する。風速の増減に対応して濃度が下降上昇する傾向が明確に表れている。

4.1.2 交通流の影響

交通信号サイクル(信号の切り替え)の影響を示す。図9. 細街路(地点②)におけるNO_x濃度変動

図8は国道の代表点である地点①におけるNO_x濃度変動の状況であり、交通信号サイクルと対比させている。信号が青に切換る前から濃度が上昇し始め、前半でピーク値に達し、その後赤信号で最低値を示す傾向を繰り返す。図10は片側3車線の本線の南北方向全6車線を通過した車両の合計台数を大型トラック(HDT)、小型トラック(LDT)、乗用車に分類して示している。総通過台数では濃度との対応がとれない。また、この時間帯では交通量はかなり多いが、比較的順調に流れている。

一方、激しい渋滞が発生している状況では、この周期的な濃度変動の状況が一変する。同じ地点①における濃度変動を図11、交通量を図12に、交通の流れを図13に示す。この時間帯では車列は赤信号で分断された先も数珠つなぎになって数百m前方の次の信号まで発進・停止を繰り返している。その場合、交通信号サイクルに伴う濃度変動はほとんど見られず、6:55の高いピークを除いて大半の時間帯で図8よりは低めのレベルで推移している。

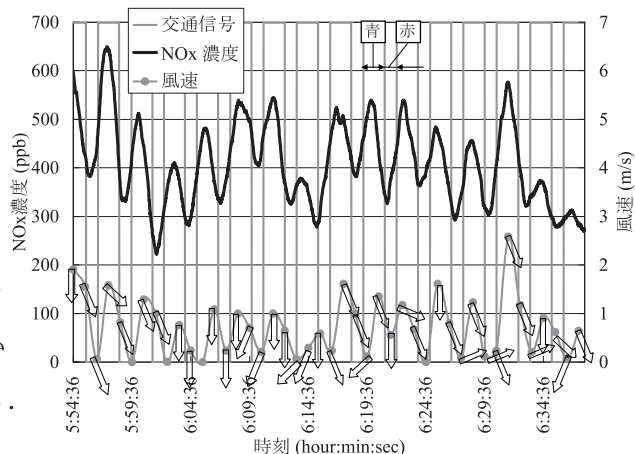


図8. 沿道(地点①)におけるNO_x濃度変動

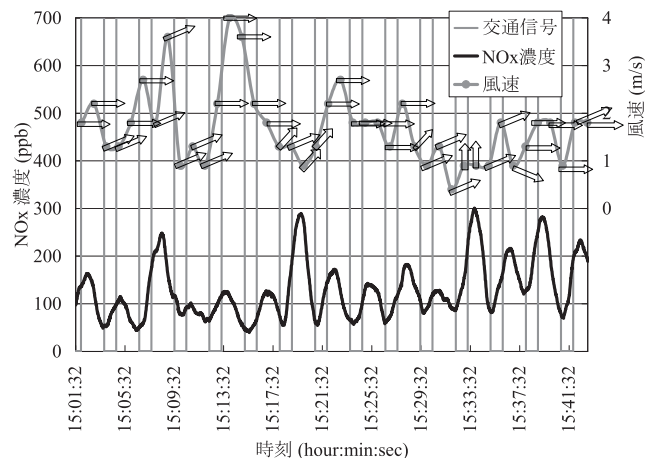


図9. 細街路(地点②)におけるNO_x濃度変動

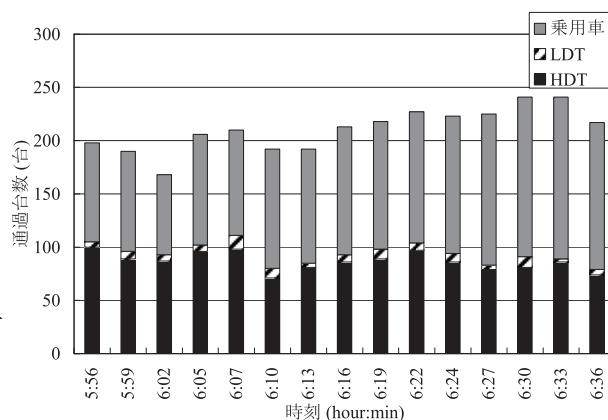


図10. 信号サイクル毎の通過台数

(図8の時間帯)

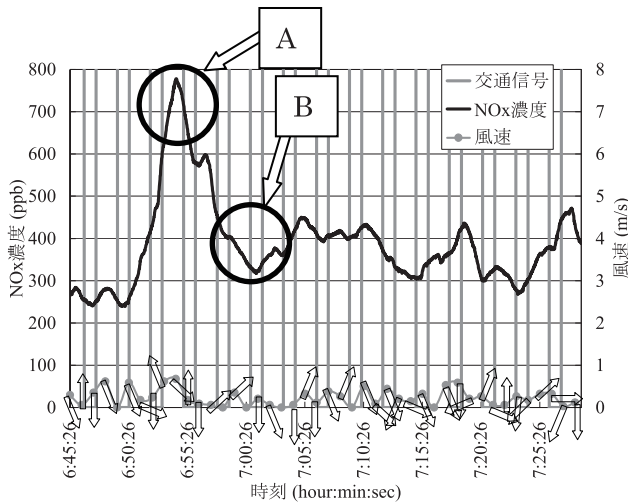


図 11. 渋滞時における NOx 濃度変動

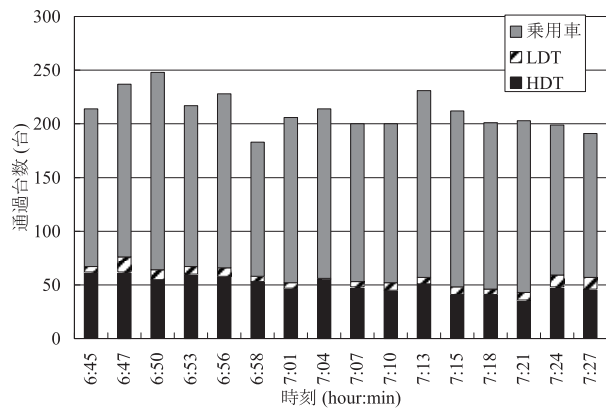


図 12. 信号サイクル毎の通過台数

(図 11 の時間帯)



図 13. 激しい渋滞中の交通の流れ



図 14. 若干おさまった渋滞中の交通の流れ

図 11 の高いレベル（図中 A）は図 13 に見られるような激しい渋滞によるものと考えられる。図 14 の地点①で車道に面した歩道上に計測器が設置してあり、発進・停止を繰り返す大型トラックからの高濃度の排気ガスが取り込まれた結果と考える。この時間帯以降（図中 B）では図 14(7:00)のような比較的流れを伴う状況になっている。

このように、総通過台数に差が無くとも交通の流れの状態が異なると、濃度変動の状況が大きく異なることが明確になった。また、図 8 において青信号に切換ると風向は北に変化しており、通過する車群による走行風が主体となることがわかる。一方、渋滞中の図 11 では風速が 1m/s 以下のレベルであり、車速が非常に低いため走行風が発生せず気流が停滞することにより周期的な濃度変動が見られなくなると考えられる。

地点②（細街路）における濃度変動の測定結果は図 9 に示したとおりである。国道から 16m 奥まった地点のため、濃度は国道沿いの地点①での一般的なレベル（図 8）よりも低い。また図 8 と同様に信号の切換りに同期した濃度の周期的な変動が顕著である。

4.2 福井市国道 8 号線沿道

次に福井市国道 8 号線沿道での測定結果を示し、名古屋の国道 23 号線沿道と NOx 濃度レベルを比較する。ここでも前項同様、気流と交通流の影響に注目する。

福井市国道8号線沿道及び細街路に配置した観測地点を図15の①～③に示す．ここでは沿道の代表点として地点①を選んだ．

図16に沿道におけるNO_x濃度の変動状況を示す．ここでも風向、信号サイクルは図8と同じ表記方法を採用している．国道23号線沿道と比べると同じ沿道での結果でありながら、濃度のピーク値が200ppb程度にとどまり、大きな差が見られる．ただし変動幅は小さいものの、信号サイクルに同期した周期性をもつこと、車両の走行風に起因すると考えられる南風が主体

という傾向は類似している．ここで濃度が低レベルに収まっているのは、片側2車線と車線が少ないこと、通過台数(図17)も名古屋(図10, 12)に比べれば少ないこと、大型トラック(HDT)の占める比率が非常に低いことが要因として挙げられる．また、この沿道周辺は高い建物がないこと、スーパーマーケットの駐車場も存在するオープンなスペースとなっていることも影響していると思われる．



図15. 国道8号線沿道 観測地点

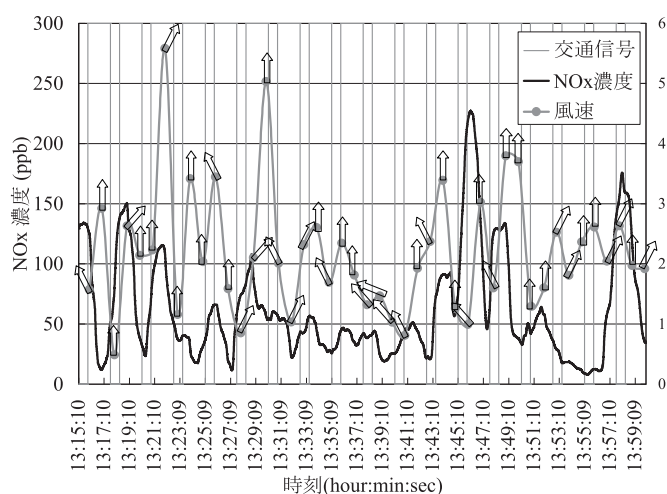


図16. 国道8号線沿道におけるNO_x濃度レベル

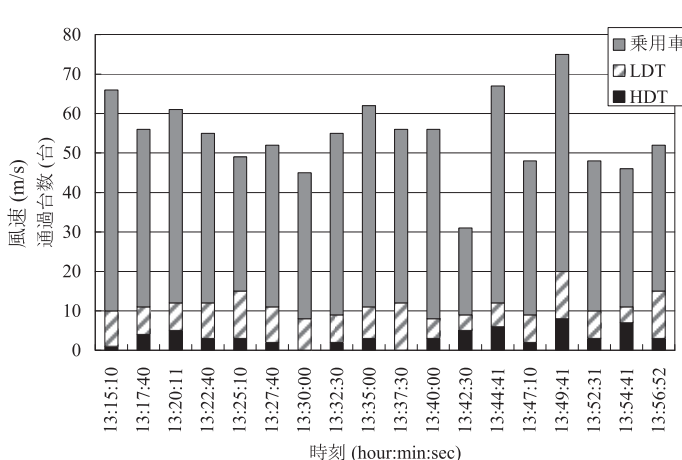


図17. 信号サイクル毎の通過台数

(図16の時間帯)

時間帯によっては図18のような400ppbを超えるピーク値が観測されたケースも見受けられた．15:50以前は定まらない風向によりガスが周囲に拡散しているのに対し、15:50以降では常に南風が吹く状況に変化しており、車道を通る車両からの排気が地点①に設置した計測器に直接移送された結果である．また、交通の流れを収録したビデオ記録から高濃度ガスを排出すると思われる超重量車の通過が確認でき、図19では図17に比べて大型トラックの通過台数が、やや増加しており、そのために走行風が引き起こされたものと考えられる．

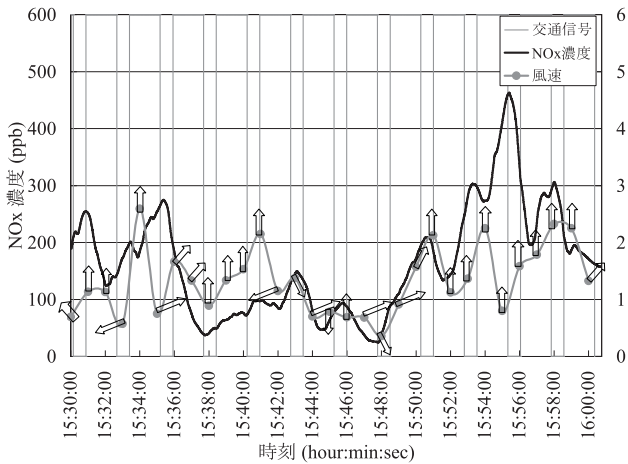


図 18. 高濃度を示した時間帯

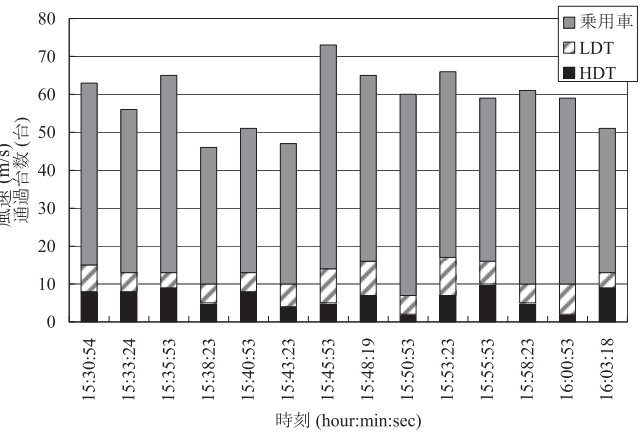


図 19. 信号サイクル毎の通過台数

(図 18 の時間帯)

風向が全く安定せず分刻みで変動する時間帯もあった (図 20)。この場合でも、NO_x 濃度は信号の切り替えに同期して周期的な変動を繰り返すが、濃度レベルは気流の状態で説明することができない。特に濃度が大きなピークを示す 9:53 において北北西の強い風が吹いており、車両からの排気ガスは測定装置を配置した地点から車道方向に押し戻される状況になっている。また図 21 にまとめた通過台数にも特異な傾向は見られない。ビデオ記録によれば、9:52:50 にコンテナを 2 個積載したトレーラーが通過 (図 22) しており、この車両からのガスが影響を及ぼしている可能性がある。

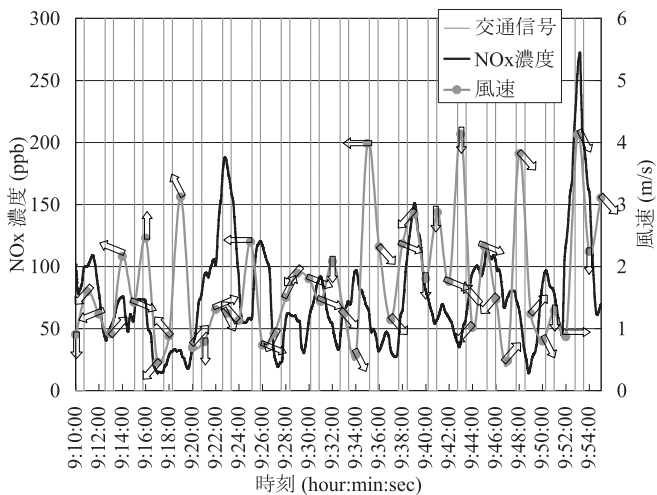


図 20. 風が舞う時間帯

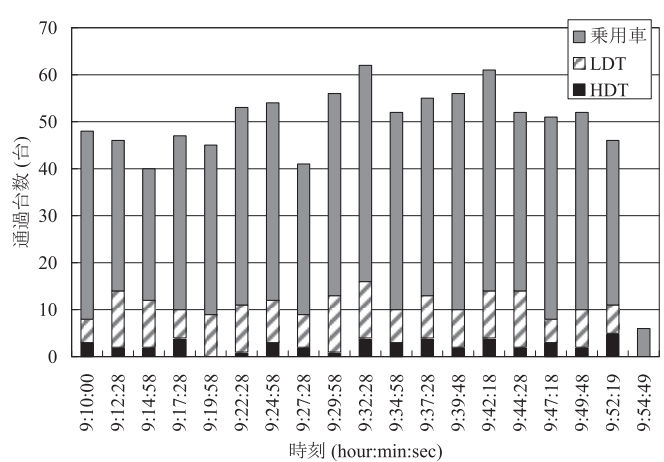


図 21. 信号サイクル毎の通過台数 (図 20 の時間帯)

上述のように、国道 8 号線沿道での測定結果は国道 23 号線沿道に比べてベースとなる濃度レベルが低いこと、測定点が車道にかなり接近していることにより、高濃度ガスを排出すると思われる超重量車の通過が NO_x 濃度上昇を引き起こす原因となっている可能性を示している。



図 22. 通過するトレーラー

4.3 さくら通り（福井県道 115 号殿下福井線）沿道
国道 8 号線に比べてさらに NO_x 濃度レベルが低いと思われるさくら通り（福井県道 115 号殿下福井線）沿道において測定を実施した．ここでも前項同様，気流と交通流に注目する．

福井市さくら通り沿道に配置した観測地点を図 23 の①～③に示す．ここでは沿道の代表点として地点①，②を選んだ．

図 24 に沿道における NO_x 濃度の変動状況を示す．ここでも風向，信号サイクルは図 8 と同じ表記方法を採っている．風向はグラフ上部に示した．通常の NO_x 濃度（図中，黒色の実線で示す高さ 2m における濃度）は 20ppb 以下と非常に低いレベルであり，付近の交通信号の切り換えに対する周期性も認められない．しかし通常レベルが非常に低いために，車両の通過に敏感に反応する濃度変動が特徴的である．図に示すように，1 台のトラック，バスの通過・停車により濃度が上昇する傾向が明確に表れている．図中「渋滞」の時間帯は，図 23 の地図に示される光陽交差点の赤信号により発生した車列が測定地点の前まで延伸することにより引き起こされたものである．

常に東を示す風向の影響は見られず，車両の走行風も車速の低さを考慮すれば発生していないと思われる．

図 25 は地点①，②における計測機器類の設置状況を示している．大気サンプリングチューブの先端を地上からの高さ 2m，4m に固定して NO_x 濃度の鉛直方向の分布を測定した．結果を図 24 に示す．上空への拡散が顕著であり，4m における濃度が 2m の地点に比べて大幅に低下していることがわかる．高さ方向への拡散が認められなかった名古屋での結果（図 7）とは周囲の建物の立地条件が全く異なり，オープンなスペースとなっていることから拡散しやすくなっていると考えられる．



図 23. さくら通り沿道 観測地点

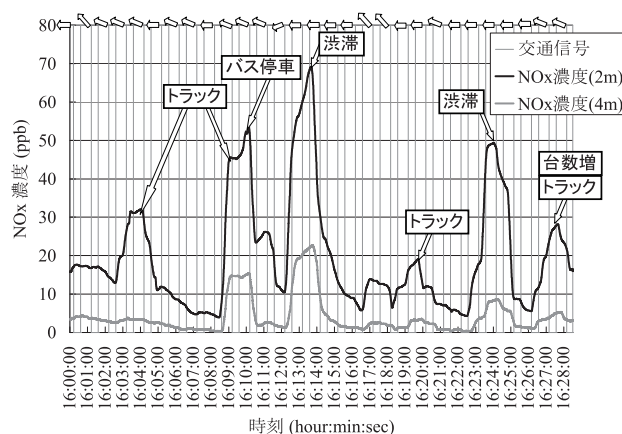


図 24. NO_x 濃度の変動状況（さくら通り沿道）

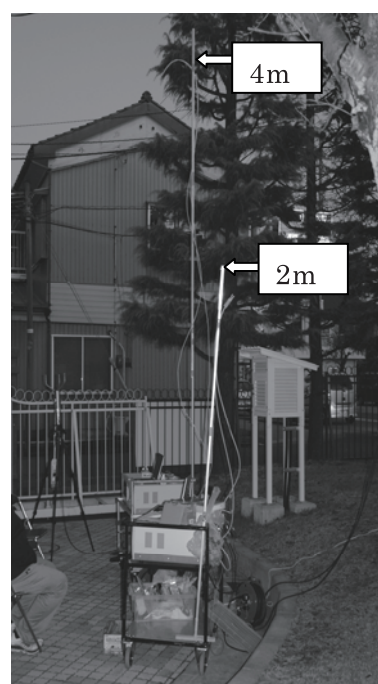


図 25. 計測機器類の設置状況

名古屋の国道 23 号線、福井の国道 8 号線・さくら通り（県道 115 号殿下福井線）沿道における測定結果を比較してきた。交通流と気流の影響について以上をまとめると、片側 3 車線（国道 23 号線）、片側 2 車線（国道 8 号線）、片側 1 車線（さくら通り）に対応して交通量が低下するのに伴い NO_x 濃度が低下していることが明確に示されていること、さらに国道 23 号線沿道では不明確であった通過台数の影響が、沿道周辺濃度の低下に従って増加傾向に転ずることが把握できた。また、気流の影響に注目すると、沿道における立地条件すなわち車道を取り囲む建物群が形成する空間の状態が閉じられたもの（名古屋）か、オープンなもの（福井）かにより、その影響が大きく異なってくることがわかった。

5. まとめ

沿道大気汚染状況の把握を目的として、 NO_x 濃度・風向・風速瞬時値の時間変化を複数地点で計測、あわせて交通流も観測した。これらの結果に加えて、トヨタ自動車が実施した CFD モデルを用いたシミュレーション結果^②を適用することにより気流・交通流が NO_x 濃度に及ぼす影響について考察を加えた。

5.1 国道 23 号線沿道での状況

- 1) NO_x 濃度は交通信号の切り換え（交通信号サイクル）に同期して周期的な濃度変動を繰り返す。一方、激しい渋滞が発生すると、この周期性が失われ、ほぼ同一レベルで推移するようになる。総通過台数に差が無くとも交通の流れの状態が異なると、濃度変動の状況が大きく異なることが明確になった。
- 2) 交通信号サイクル毎のピーク濃度のレベルは通過車両の総数では整理することができず、大型トラックのみに注目すると、ある程度傾向が対応している。
- 3) 同一地点において高さ方向の濃度分布を同時測定した結果、地表から 2m, 4.5m の位置における NO_x 濃度に差は見られず、建物の高さ付近に存在すると考えられる境界層よりも低い領域では上空に向かう汚染物質の拡散はなく建物で整流された風により移送され、境界層よりも上では一般風の気流に沿った動きを示すと考える。
- 4) 沿道の場合、車群が加速状態で通過する青信号の時間帯では、風向が国道に沿った北ないし北北西を示す一方、信号が赤に切り換え通過車両が途絶えると一般風の北西に変化する傾向が表れている。これは、気流が国道方向に整流されて北から南へ流れることを示している。この気流の影響を受けて、 NO_x 濃度が交通信号サイクルに同期して周期的に変動していることがわかる。一方、渋滞中は車速が非常に低いため走行風が発生せず、この現象が見られない。この傾向は、結果的に走行風の風速も沿道の NO_x 濃度に影響を及ぼすことにつながっている。
- 5) 細街路では、風向はほぼ西を示し、道路方向に整流されて北から南へ流れた気流の一部が国道東側の細街路へ分岐して細街路の両側に立地する 2 階建ての民家に沿って東へ流れる。国道を

通過する車群からの排気ガスがこの風で運ばれている状況が表れている。

また、風速が上昇する時間帯ではピーク濃度が減少する一方、風速が低下すると濃度が上昇する傾向が見られ、NO_x 濃度は風速の増減と密接な関係がある。

5.2 国道 8 号線沿道での状況

- 1) 国道 8 号線沿道での測定結果は国道 23 号線沿道に比べてベースとなる濃度レベルが低いこと、測定点が車道にかなり接近していることにより、高濃度ガスを排出すると思われる超重量車の通過が NO_x 濃度上昇を引き起こす原因となっている可能性を示している。

5.3 さくら通り沿道での状況

- 1) NO_x 濃度は 20ppb 以下と非常に低いレベルであり、付近の交通信号の切替りに対する周期性も認められない。しかし通常レベルが非常に低いために、車両の通過に敏感に反応する濃度変動が特徴的である。1 台のトラック・バスの通過・停車により濃度が上昇する傾向が明確に表れている。常に東を示す風向の影響は見られず、車両の走行風も発生していないと思われる。

5.4 国道 23 号線、国道 8 号線、さくら通り沿道における測定結果の比較

- 1) 片側 3 車線（国道 23 号線）、片側 2 車線（国道 8 号線）、片側 1 車線（さくら通り）に対応して交通量が低下するのに伴い NO_x 濃度が低下していることが明確に示されている。
- 2) 国道 23 号線沿道では不明確であった通過台数の影響が、沿道周辺濃度の低下に従って増加傾向に転ずることが把握できた。
- 3) 沿道における立地条件すなわち車道を取り囲む建物群が形成する空間の状態が閉じられたもの（名古屋）か、オープンなもの（福井）かにより、気流の影響が大きく異なってくる。

参 考 文 献

- (1) 環境省ホームページ：<http://www.env.go.jp/air/osen/index.html>
- (2) 林 大介，井澤博之，阪田一郎，小栗 彰：自動車排ガスの沿道拡散シミュレーション，自動車技術会学術講演会前刷集，20065796 (2006)
- (3) 早狩 進：フリーウェア「気象解析アドイン」

(平成 22 年 3 月 31 日受理)