

# IT を活用した環境計測と政策評価

Information Technology for Environment Monitoring and Policy Evaluation

毛利 雄一\* 馬場 剛\*\* 森尾 淳\*\*\*

By Yuichi MOHRI, Tsuyoshi BABA and Jun MORIO

## 1. はじめに

我が国の幹線道路の大気質に関する沿道環境は、大都市を中心としてその環境基準の達成率が非常に厳しい状況にある。特に、浮遊粒子状物質（SPM）については、二酸化窒素（NO<sub>2</sub>）以上に環境基準の達成率が厳しく、自動車 NO<sub>x</sub> 法（「自動車から排出される窒素化合物の特定地域における総量の削減等に関する特別措置法」）により指定された首都圏および大阪兵庫圏の 196 市区町村ばかりでなく、全国的にも深刻な問題となっている<sup>1)</sup>。また近年、尼崎訴訟をはじめとして、自動車交通から排出される大気汚染（SPM、NO<sub>2</sub>）と健康被害の因果関係が道路環境訴訟として提訴され、沿道環境に対する地域住民からの問題提起とともに、それに対する沿道環境改善のための取り組みが注目されてきている。また、このような様々な環境改善に対する交通政策の適用・実施に対し、定期的な観察の下に評価ができる環境モニタリングの必要性も重要視されてきている。自動車もたらす沿道環境については、現状の大気汚染の進行状況と、様々な政策に対してどのように変化しているかを定期的に測定し、わかりやすい有効な情報として提供され、政策の有効性を判断していくことが今後重要であろう。例えば、環境省および国立環境研究所がホームページで 2000 年より開始した大気汚染物質広域監視システム（通称：そらまめ君<sup>2)</sup>）は各地方自治体が大気汚染常時監視測定局において、測定した光化学オキシダント（O<sub>x</sub>）、NO<sub>2</sub>、SPM 等の結果（1 時間ごとの速報値）をオンラインシステムにより収集し、地図上にその濃度の表示を行っている。さらに光化学オキシダントについては、その濃度に対応し、注意報と警報を発令している。このような情報は、政策を実行する意思決定者あるいは地域住民に対し有益な情報であること

もに、今後の環境政策評価には欠かせない情報である。しかし一方で、自動車からの排出ガスについては、道路上を走行する自動車から直接計測しているわけではないために、大気質のモニタリングとは異なり正確性、適時性に欠けていた。しかし最近では、道路上を走行する自動車の排出ガスを直接計測する方法が開発され、道路沿道や交差点で時々刻々変化する自動車排出ガスを精度良く推計することに期待が寄せられている。また、この新しい計測方法は、自動車が大気環境へ及ぼす影響が整備不良や過積載などの一部の自動車によって引き起こされているのではないかという疑問に対しても、有効な回答を与えてくれるものと期待される。

本稿では、このような背景から、自動車走行に係わる環境大気の測定に着目し、その計測方法と近年の新しい技術を用いた計測について紹介する。

## 2. 大気汚染の計測方法の現状

### (1) 常時観測

大気汚染状況の常時監視は、大気汚染防止法第 22 条により、都道府県知事に義務付けられている。各地方自治体では、これに基づき、大気環境の汚染状況把握と大気汚染防止対策のための資料を得る目的で、大気環境測定網の整備を図っている<sup>3)</sup>。具体的には、住宅地などに設置される「一般環境大気測定局（一般局）」、道路周辺に設置される「自動車排出ガス測定局（自排局）」で常時監視が行われている。また、測定局で測定されたデータは、中央監視局に伝送され、データ処理を行うシステムとして、大気汚染常時監視システムが地方自治体に設置されている。大気汚染常時監視システムは、測定値をオンラインで中央監視局に伝送し、短時間で処理し、狭い地域の監視に止まらず、広域大気汚染に対して、

\* 経済社会研究室 \*\* 環境資源研究室 \*\*\* 交通政策研究室

的確な対応をする上で重要な役割を担っている。先に紹介した環境省および国立環境研究所がホームページで公開している大気汚染物質広域監視システム（通称：そらまめ君）以外にも、東京都では、都内の大気汚染の状況をホームページで提供している<sup>4)</sup>。

常時観測での測定方法は、大きく分けて湿式と乾式がある。湿式とは、測定対象ガスを溶液に吸収させ、その溶液の性質の変化から対象ガス濃度を求める方法で、溶液の調整、交換、廃液処理が必要である。乾式とは、計測・分析の工程で溶液を用いない方法で、平成8年に追加公示された。SO<sub>2</sub>の紫外線蛍光法、NO<sub>x</sub>の化学発光法、オゾンの紫外線吸収法などがある。

測定局では、さまざまな汚染物質を測定するため、限られた空間に測定器を設置していく必要がある。

湿式より測定器の小さくなった乾式でも自排局の場合5m<sup>2</sup>程度の面積が必要であり、設置場所の確保の面から容易に設置することはできないのが現状である。表-1に大気汚染に関わる環境基準とその測定方法を示す。

(2) NO<sub>x</sub>, SPM 計測器の特徴

表-2、表-3には製品化されているNO<sub>x</sub>計測器とSPM計測器の例<sup>5)</sup>を示す。現在の測定器は、測定値の信頼性向上の工夫に加え、機器の小型化・軽量化とコンピュータ制御によるデータ管理とオンライン化の技術向上が進められている。特に機器の小型化・軽量化によって固定的な設置だけではなく持ち運び可能となり、交通流や沿道状況に対応して、適宜計測可能な計測器が普及し始めている。

表-1 大気汚染の環境基準及び測定方法

|       | 二酸化硫黄                                      | 一酸化炭素  | 浮遊粒子状物質   | 二酸化窒素                                      | 光化学オキシダント                 |
|-------|--|--|---|--|---------------------------|
| 環境基準  | 1時間値の1日平均値が0.04 ppm以下であり、かつ、1時間値が0.1 ppm以下 | 1時間値の1日平均値が10 ppm以下であり、かつ、1時間値の8時間平均値が20 ppm以下 | 1時間値の1日平均値が0.10 mg/m <sup>3</sup> 以下であり、かつ、1時間値が0.20 mg/m <sup>3</sup> 以下 | 1時間値の1日平均値が0.04 ppmから0.06 ppmまでのゾーン内又はそれ以下 | 1時間値の1日平均値が0.06 ppm以下     |
| 湿式測定法 | 溶液導電率法                                     | -  | -   | ザルツマン試薬を用いる吸光光度法、                          | 中性ヨウ化カリウムを用いる吸光光度法        |
| 乾式測定法 | 紫外線蛍光法                                     | 非分散型赤外線式分析計を用いる方法                              | 濾紙捕集による重量濃度測定法又はこの方法によって測定された重量濃度と直線的な関係を有する量が得られる光散乱法、圧電びん法、若しくはベータ線吸収法  | オゾンを用いる化学発光法                               | 電量法、紫外線吸収法又はエチレンを用いる化学発光法 |

表-2 NO<sub>x</sub> 計測器の例\*

| 会社名 | 形名                            | 測定方式                   | 測定範囲  | 大きさ                               | 備考          |
|-----|-------------------------------|------------------------|---|-----------------------------------|-------------|
| A社  | 窒素酸化物自動測定器                    | 化学発光法                  | 0~0.1/0.2/0.5/1 ppm   | 寸法 440×220×500 mm<br>重量：約 24 kg   | パソコン出力可能    |
|     | 窒素酸化物自動測定器                    | 吸光光度法                  | 0~100/200/500 ppb   | 寸法 500×1560×570 mm<br>重量：約 110 kg | -           |
| B社  | 大気中窒素酸化物自動計測器                 | 化学発光法                  | 0~0.15/0.1/0.2/0.5/1.0 ppm                                  | 寸法 430×230×550 mm<br>重量：約 25 kg   | メモリーカード使用可能 |
| C社  | 大気中窒素酸化物測定装置                  | ザルツマン試薬による吸光光度法        | 0~0.1/0.2/0.5 ppm   | 寸法 460×1580×500 mm<br>重量：約 125 g  | モデム接続可能     |
|     | 大気中窒素酸化物測定装置                  | 化学発光法                  | 0~0.05/0.1/0.2/0.5/1.0 ppm                                  | 寸法 470×1330×645 mm                | -           |
| D社  | 大気汚染監視用NO <sub>x</sub> 濃度測定装置 | クロスモデュレーション方式セミ減圧化学発光法 | 0~0.1/0.2/0.5/1 ppm<br>0~5/10/20/50 ppm<br>0~10 ppmの任意の4レンジ | -                                 | -           |

表-3 SPM 計測器の例\*

| 会社名 | 形名                 | 測定方式   | 測定範囲  | 大きさ                              | 備考 |
|-----|--------------------|--------|---|----------------------------------|----|
| A社  | β線式浮遊粉じん計          | β線吸収法  | 0~1/2/5 mg/m <sup>3</sup>   | 寸法 430×220×500 mm<br>重量：約 21 kg  | -  |
|     | ハイボリウムエアサンプラ       | サンプリング | 吸引流量：<br>最大 1200 l/min  | 寸法 575×1227×445 mm<br>重量：約 18 kg | -  |
|     | ローボリウムエアサンプラ       | サンプリング | 吸引流量：<br>最大 30 l/min  | 寸法 400×1300×400 mm<br>重量：45 kg   | -  |
| B社  | 浮遊粒子状物質測定装置        | β線吸収法  | 0~5mg/m <sup>3</sup> (パルス出力。プリント記録)<br>0~1/0~5 mg/m <sup>3</sup> (アナログ出力) | -                                | -  |
| C社  | 大気汚染監視用 SPM 濃度測定装置 | β線吸収法  | 0~0.25/0.5/1/5 mg/m <sup>3</sup>  | -                                | -  |

\*NOx 計測器・SPM 計測器は環境計測器ガイドブック<sup>9</sup>より抽出したもので市販製品化されているものはこの限りではない

### 3. 個々の自動車の排出ガスの計測技術

先に示した環境改善に対する交通政策に対応して環境モニタリングを行っていくためには、交通流と大気中の汚染物質との関係を分析していく必要がある。自排局では、大気汚染の著しい交差点の道路端付近の大気を測定しており、その地点の交通流との関係を分析することも可能である。しかし、自排局による測定においても、個々の自動車がどの程度の大気汚染物質を排出しているかを測定することは不可能である。現在、個々の自動車の排気ガスは新車時、車検時に室内実験での測定が行われているが、試験モードが実際の走行中の状態を再現しているかについては判断が難しい。特に車両の速度、加減速による詳細な挙動や、積載重量による影響等、実際の走行特性に対応した NOx の排出量の実態を室内試験の結果に基づいて推計することは、必ずしも適切とは言い難い。

そこで、実際の走行中における排出ガスの実態を把握するために次のような技術が開発されている。1つは、車両に NOx 計測器を搭載し、実際の走行中の NOx を継続的に計測することであり、他方は、リモートセンシング技術を応用した方法である。

#### (1) 車載型 NOx 計測器

NOx 排出量は、速度、加速度などの走行状況により大きく変動するため、実際の走行状況と NOx 濃度とを同時に把握することが重要である。これらの要請に対応し、小型軽量な直挿型の NOx 計を活用した車載型 NOx 計測器が開発されている。この機器は、道路走行時の NOx 濃度をリアルタイム (0.1 秒毎) で計測できると同時に、排出ガス流量、

空燃比などエンジンや排出ガスの性状、車速、エンジン回転数等の自動車の走行状況などの情報も収集し蓄積することが可能である。さらに、このような機器と GPS の位置情報を組み合わせることで、自動車が走行した地点や路線と NOx 排出量に対応づけることが可能になる。

開発当初は写真-2 に示すように、排気管を加工してセンサを取り付けていたため、センサの設置、撤去の工事が必要で、数多くの車両で計測することは容易ではなかった。現在では、センサ類をまとめ、



写真-1 車載型 NOx 計測器の設置例 (トランク)



写真-2 センサ類の排気部への設置状況

設置撤去が容易なアタッチメント式に改良されている。

## (2) リモートセンシング技術による計測器

近年、光の散乱、吸収、発光を利用したサンプルの採取を伴わないリモートセンシングによる環境大気の計測機器の開発が進められている。このような機器を路側に設置することで、走行中の自動車の排出ガスの計測が可能となる。

リモートセンシングでは、赤外線（紫外線）分光の原理を利用し、発光源から赤外線（紫外線）を反射板に向けて発光し、反射してきた光の強度を計測することにより通過した環境大気中の汚染物質の濃度を算出する。図-1にリモートセンシング計測の概念を示す。

海外ではリモートセンシングによる計測結果を利用して、排出ガス濃度の低い自動車への排出ガス検査の免除や、排気ガス濃度の高い自動車への修理の勧告などの利用が試みられている。



図-1 リモートセンシングによる計測の概念

## 4. 車両挙動を考慮した排出ガス計測調査<sup>6)</sup>

ここでは、土木学会「道路利用の効率化及び環境負荷軽減のためのITS研究小委員会WG2.1」での計測調査について紹介する。この調査は、筆者らがWGでの活動として中心的に計測を行ったものである。

### (1) 調査の概要

#### a) 調査のねらい

現在開発されているまたは開発中であるさまざまな機器を用いた実走行に基づいた排出状況（排出量、排出濃度）を計測する方法論をとりまとめる。また、計測結果を用いて実際の走行の状態と排出特性（NO<sub>x</sub>、SPM）の関係について整理する。最終的には、交通のマイクロシミュレーションモデルへ適用するNO<sub>x</sub>、SPMの排出原単位の作成を目標とする。

#### b) 計測の体系

計測は前述の「車載型」と「リモートセンシング」の2種類の計測方法を採用する。各計測方法の特徴を、排出特性を把握する上で考慮すべき項目とその計測可能性の視点から整理した（表-4）。

車載型の計測は、様々な道路を走行することで、道路特別のデータを取得することができる利点がある。一方でリモートセンシングの計測では、車両登録番号と陸運局のデータを照合することにより車種、使用燃料のデータを取得することが可能になる。本調査では、高速道路のIC部でリモートセンシングの計測を実施し、軸重計により車両重量のデータを合わせて取得した。

表-4 排出特性を把握する上で考慮すべき項目の計測可能性

| ねらい                     | 車載型   | リモートセンシング  |
|-------------------------|---|--|
| 速度・加速度別                 | ○<br>・特定の車両ではあるが、利用する道路や交通状況に対応したデータを加速度別に整理することにより可能                       | ○<br>・特定の路線ではあるが、複数の異なる車種から取得されるデータを加速度別に整理することにより可能                 |
| 車両特性<br>(車種、使用燃料、積載状況等) | △<br>・計測器を載せ替えることにより可能だが台数は限定される。<br>・積載重量は考慮できない。<br>(積み荷の状況、満載/半載程度なら分かる) | ○<br>・車両ナンバーを取得し、陸運局のデータより車種、使用燃料のデータを取得<br>・ICの軸重計を利用することにより、総重量を取得 |
| 道路特性<br>(高速/一般道、勾配等)    | ○<br>・さまざまな道路を走行することで、道路特別のデータを取得することができる。                                  | ×<br>・特定の路線に機器を固定するため不可能   |

## (2) リモートセンシングによる計測調査

### a) 調査目的

#### ①車種別速度／加速度別 NOx 排出濃度の計測

- ・通過する車両を車種別に分類し、速度／加速度別の NOx 排出濃度を計測する。
- ・どのような車種及び走行特性が NOx 排出濃度に与える影響が大きいのかを整理する。

#### ②車種・走行特性に対応した排出原単位の作成

### b) 調査概要

#### ①調査日程

- ・平成 14 年 10 月（平日 3 日間）

#### ②調査地点

- ・東名高速道路 横浜青葉 IC 入口 第 2 レーン

### c) 調査内容

#### ①リモートセンシングによる計測

- ・リモートセンシング計測装置により、個々の車両の排出ガスの成分を計測する。
- ・車両挙動と排出ガスとの関連性の分析のため、速度・加速度計を設置し、排気ガス計測と同時に車両の速度と加速度を計測する。
- ・路側に CCD カメラを設置し、車両のナンバープレート画像を撮影し、上記で得られた排出ガスデータと車両とを対応させる。
- ・軸重計により車両の重量データを取得する。

表-5 リモートセンシング計測の概要

| 計測項目   | 計測装置          |
|--------|---------------|
| NOx 濃度 | リモートセンシング計測装置 |
| 速度・加速度 | 速度・加速度センサ     |
| 車両登録番号 | CCD カメラ       |
| 車両総重量  | 軸重計           |



写真-3 リモートセンシングによる計測風景

## ②周辺の環境計測

- ・交通量による周辺の大気環境への影響や、特に排出濃度の高い車両の影響を確認するために、NOx、SPM の測定を行った。

表-6 周辺の環境計測の概要

| 計測項目                | 計測装置                      |
|---------------------|---------------------------|
| NOx 濃度              | 乾式計測装置                    |
| SPM (粒径別個数)<br>(濃度) | パーティクルカウンター               |
|                     | ローボリウムエアサンプラー<br>デジタル粉じん計 |
| 風向・風速<br>気温・湿度、日照量  | 風向／風速計                    |

## (3) 車載型計測装置による計測

### a) 調査目的

#### ①(車種別) 速度／加速度別 NOx 排出源単位

- ・0.1 秒毎に計測した NOx 排出濃度、速度、加速度から速度／加速度別の NOx 排出原単位 (g/km) を作成する。

#### ②(車種別) 速度／加速度別 SPM 排出特性

- ・0.1 秒毎に計測した不透明度 (オパシティ)、速度、加速度から速度／加速度別の SPM 排出特性を把握する。

### b) 調査概要

#### ①調査日程

- ・平成 14 年 9 月末～10 月中旬
- ・朝・夕のピーク時、日中の 1 日 3 回、合計約 6 時間走行

#### ②走行ルート

- ・様々な速度帯のデータを得るために高速道路、一般道路から構成した。また、勾配のデータを得るために起伏のある道路を設定した。
- ・横浜青葉 IC 周辺のルートを設定し、リモートセンシングと同時に計測した。

### c) 調査内容

#### ①計測項目

- ・NOx 濃度、PM の代理指標である不透明度 (オパシティ) を計測する。また排出量を算出するために必要な吸気流量などのその他必要な指標も計測する。
- ・車両挙動と排出ガスとの関連を分析するため、車両の速度と加速度を計測する。
- ・PM と代理指標である不透明度 (オパシティ) の関係を確認するために、別途シャシーダイナ

モ試験を行う。

## ②計測間隔

- ・0.1秒毎

## ③計測車両および積載条件

- ・4t積みの車両（いすゞフォワード[H06規制車]をベースにした散水車）
- ・空、半載、満載の積載条件で計測する（散水車のタンクの水量で積載条件を調整）。

表-7 車載型計測装置による計測項目

| 計測装置      | 計測項目  |
|-----------|---|
| 車載型計測装置   | NO <sub>x</sub> 濃度、不透明度(オパシテイ)、吸気流量、吸気圧、吸気温度、大気圧、大気温度、大気相対湿度、酸素濃度、エンジン回転数 |
| セイフティレコーダ | 緯度・経度、地点速度、前後加速度、横加速度   |



写真-4 計測車両

## 5. 今後の環境に関する政策評価へ向けて

本稿で紹介した常時観測における大気環境の測定手法、実走行時の自動車排出ガス計測手法に関する技術は、①交通施策の環境改善効果を計測するための環境モニタリング、②走行条件（速度・加速度、積載条件）、道路条件（勾配）に応じた排出原単位の作成などに有効である。

近年では、TDM（交通需要マネジメント）等の交通施策が各地で検討されているが、施策を比較、検討するためには環境改善効果を推計・計測する手法が必要である。

これまでの環境改善効果の推計・計測では、走行条件や道路条件を反映した排出原単位を適用しておらず、また、交通量についても日交通量をベースに推計を行う等、TDM等の細やかな交通施策の効果を検討する手法としては十分ではなかった。これらの施策効果を精度よく推計するためには、マイクロシミュレーション等を用いた交通量の詳細な推計と、走行条件、道路条件に応じた排出原単位の適用が望まれるところである。また、道路沿道での環境モニタリングにより、施策による環境改善効果を適切な場所で正確に把握することも必要である。

今後、環境に関する政策評価においては、上記の手法を活用することにより、環境改善効果を精度良く推計・計測することが不可欠である。

## 6. おわりに

本稿では環境計測技術の最新動向の一部について紹介を行った。筆者らは計測環境に関する専門家ではないため、化学的側面や大気環境特有の技術について十分に解説できていない面が多々あることをご容赦いただくとともに、本稿に対する批判や新たな指摘を受けて、新たな環境技術に関する知識を深めていきたい。

なお、本稿の2章及び3章の内容は、国土交通省の受託業務の内容及び文献7を今回の特集用に加筆修正したものである。

### 参考文献

- 1) 国土交通省地方道・環境課道路環境調査室：沿道環境・地球環境問題における課題の現状と対策，道路，VOL.739，pp8-13，2002
- 2) <http://www-aeros.nies.go.jp/index.html>
- 3) 環境庁大気保全局：環境大気常時監視マニュアル，1990
- 4) <http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/index.htm>
- 5) 公害対策技術同友会：環境計測器ガイドブック（第5版），2000
- 6) 牧村和彦：ITS技術を用いた局所的な交通環境変化の分析，効率・環境改善に向けたITS—現状と課題— 土木計画学ワンデーセミナー シリーズ30，pp41-52，2002
- 7) 毛利雄一・森尾淳：環境計測の最新動向，交通工学，Vol.36，No.4，pp9-13，2001