

## 空気質の計測・分析技術(5)

### 自動車排ガス、黄砂など屋外汚染測定・分析技術

講座

佐々木淳一 グリーンブル (株) 環境調査事業ユニット

キーワード：大気汚染測定(Air Pollutant Measurement), 窒素酸化物(Nitrogen Oxides), 浮遊粒子状物質(Suspended Particulate Matter), 浮遊粉じん(Suspended Particulates), アンダーセンサンプラ(Andersen Sampler), 自動車排ガス(Automobile Exhaust Gas), 黄砂(Yellow Sand)

#### はじめに

平成19年8月、東京高等裁判所より東京大気汚染訴訟について和解勧告が示され、11年にわたる裁判が終結した。この裁判は1996年より、幹線道路の沿道付近に住む住民が喘息、気管支炎などの疾病に対する、自動車排ガスとの因果関係を認め、国、東京都、首都高速道路(株)および自動車メーカーを相手に損害賠償と環境改善を求めたものである。

これを遡る1960年代、日本の大気汚染は四日市喘息に代表される固定発生源、いわゆる工場からの排ガスに含まれる二酸化硫黄(亜硫酸ガス)による大気汚染が主流であった。その後の脱硫装置の開発、燃料の低硫黄化など企業側の努力、公害対策基本法、大気汚染防止法の制定など国による規制により、産業公害による大気汚染は大きく改善された。

1970年代後半より、大気汚染の主役は自動車排ガスなどの移動発生源へと変わり、1978年に大阪西淀川公害訴訟で初めて、自動車排ガスに対する損害賠償の裁判が行われた。この後、同様な裁判が日本各地で起こり、現在に至っている。

東京都、千葉県、埼玉県および神奈川県は協調して、ディーゼル車の排出ガスに対し、平成15年10月より厳しい基準を設定した。そのため、都内を走行するディーゼル車はすべて排出ガス処理装置が取り付けられている。この結果、自動車排ガスによる大気汚染は改善に向かっているとはいえ、今なお、大気汚染の主役であることに変わりはない。

一方、このような地域的な大気汚染に対し、近年は中国からの越境大気汚染の問題が重要視されている。特に、中国内陸部の砂漠化の進行に伴う黄砂飛来の増大の問題は、地球規模の環境越境汚染である。本稿では、黄砂観測の最新の動向も踏まえ、弊社が参加した調査事例を紹介する。

#### 1. 自動車排ガスの測定

東京都、千葉県、埼玉県および神奈川県は協調して、ディーゼル車のPM排ガスに対し、平成15年10月より厳しい規制を設定した。そのため、都内を走行するディーゼル車はすべて排ガス処理装置を取り付けている。

また環境省は、自動車排ガスと喘息に関する疫学調査を全国規模で展開しており、自動車排ガスの健康影響が明らかにされつつある。

このような本稿では、自動車排ガス、特にディーゼル車の排ガスが問題視される中で、大気環境の調査、測定がどのように行われているのか、また黄砂については最新の動向を踏まえ、弊社が参加した調査事例を紹介する。

以下に、主な自動車排ガス由来の大気汚染物質の測定方法を紹介する。

##### 1.1 窒素酸化物( $\text{NO}_x$ )

窒素酸化物は、自動車排ガスに含まれる燃焼由来のガス状成分である。特に、一酸化窒素( $\text{NO}$ )は自動車交通量との相関も高く、自動車排ガスの測定には欠かせない測定項目の一つである。

窒素酸化物を測定する方法としては、自動測定機による連続測定法とパッシブサンプラによる簡易測定法とがある。

##### (1) 自動測定機

自動測定機は2種類の測定原理に大別され、一般に“乾式法”と“湿式法”とに区別されている。

“乾式法”とは、試料大気を測定セルに導き、 $\text{NO}_x$ ガスの濃度を直接測定するもので、化学発光法(Chemi luminescence method)により一酸化窒素を測定する方式が一般的である。化学発光法は、試料大気にオゾンを加え、一酸化窒素が二酸化窒素に酸化される際に発生する光を測定する方法である。二酸化窒素を測定するには、コンバータを通して一酸化窒素に還元した後に、同様に測定する。図-1は、乾式自動測定機の測定系統図である。

一方、“湿式法”とは試料大気中の窒素酸化物を吸収液中

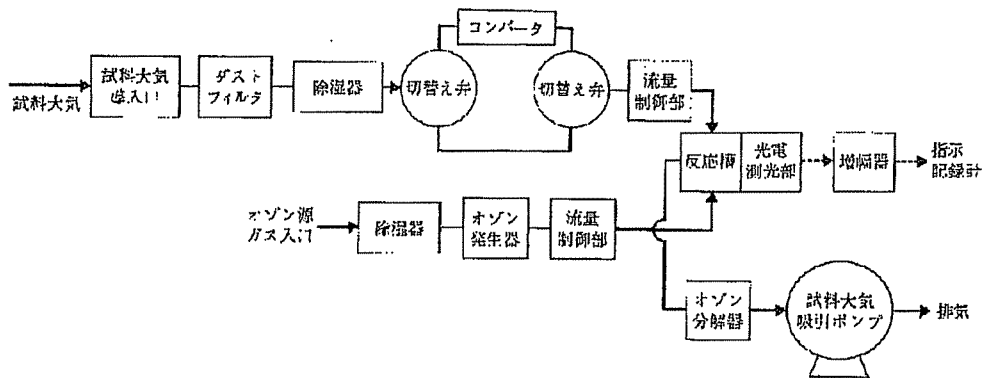


図-1 乾式法の測定系統図

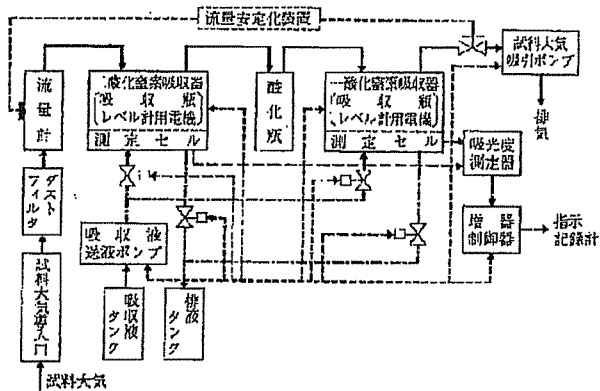


図-2 湿式法の測定系統図

に捕集してから測定するものであり、一般にザルツマン試薬による発色と吸光度法を測定原理としている。図-2は、湿式自動測定機の測定系統図である。

“乾式法”、“湿式法”のどちらも環境省告示により、環境基準を評価するための公定法となっている。測定原理の詳細については、JIS B 7953を参照いただきたい。

自動測定機は測定精度が高い反面、高価であり、大型で電源供給も必要であるため、調査地点に据え置きし定点観測に用いる。

## (2) 簡易測定法(パッシブサンプラ)

パッシブサンプラは、自動測定機のようにポンプによる吸引を行わず、アルカリ吸収液を含浸させたろ紙などに、窒素酸化物を吸収させる方法である。パッシブサンプラは小型で安価であるため、多点観測に用いられ、等濃度図など汚染状況を把握するのに大変便利である。

### 1.2 浮遊粉じん、浮遊粒子状物質

浮遊粉じん、または浮遊粒子状物質は大気中に含まれる小さな粒子である。自動車排ガス中に含まれる粒子としては、ディーゼル車の黒煙もその一つである。

この中でも、我が国では粒径が $10\mu\text{m}$ 以上の粒子を除

外したものを、浮遊粒子状物質(SPM:Suspended particulate matter)と定義している。

浮遊粒子状物質の測定法には、自動測定機による連続測定と、ポンプを用いて浮遊粒子状物質をろ紙上にろ過捕集し、マニュアルで測定する方法とがある。

#### (1) 自動測定機

自動測定機としては、テープ状のろ紙に1時間ごとに浮遊粒子状物質を吸引、捕集し、その質量厚みを $\beta$ 線の透過率の変化により測定するもので、“ $\beta$ 線吸収式”と呼ばれている。図-3は、 $\beta$ 線吸収式自動測定機の測定系統図を示すが、測定原理についてはJIS B 7954に規定している。なお、我が国では環境基準に合わせて、サイクロンなどの分粒器を大気導入部の所に取り付け、粒径 $10\mu\text{m}$ 以下の粒子のみを捕集している。

#### (2) 手動測定

ろ紙にろ過吸引する方法は、一般に長時間にわたって浮遊粒子状物質を捕集し、化学分析を行う場合などに用いられる。捕集した試料の成分分析データから、発生源を推定することもできる。

図-4は、多段階分粒器付きローポリウムニアサンプラのリンプリング系統図であり、この方法により大気中の $10\mu\text{m}$ 以下の浮遊粒子状物質のみを採取することができる。その他にもサイクロン型分粒器付きのローポリウムニアサンプラもあり、どちらについてもJIS Z 8814により規定されている。

なお現在、環境基準が設定されている粒径 $10\mu\text{m}$ よりさらに小さい粒子に対して、別に環境基準を定めるべきとの議論もある。平成12年9月に、環境省よりナノ粒子測定に関する暫定マニュアルが出されており、また米国ではすでに環境基準値が設定されていることから、日本においても測定方法を含めて近い将来、環境基準の見直しが行われる可能性がある。

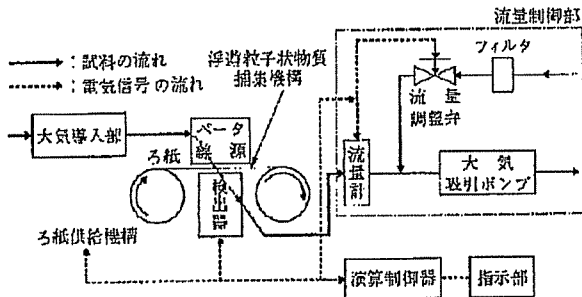


図-3 β線吸収式浮遊粒子状物質計の測定系統図

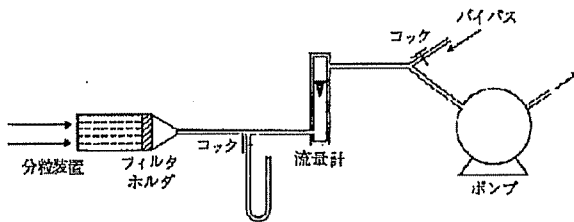


図-4 多段型ローポリウムエアサンプラ系統図

1.3 有害大気汚染物質 (VOC, ほか)

1996年、大気汚染防止法が改正され、新たに、ベンゼン、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレンの3物質について環境基準が定められた。

この3物質のうちベンゼンは、自動車排ガス中に含まれる成分で発がん性が高く、環境基準は年平均値(複数回の24時間測定値の平均)で0.003 mg/m<sup>3</sup>以下と定められた。

ベンゼンの測定は真空容器(キャニスタ)による捕集、または吸着剤を充てんした捕集管による採取を行い、ガスクロマトグラフ質量分析計(GC-MS)による測定が一般的である。

その他、自動車から発生する大気汚染物質として、一酸化炭素、ベンゾ[a]ピレン、アルデヒド類などがあるが、ここでは省略する。

2. 幹線道路における自動車排ガス測定事例

1968(昭和43)年に制定された大気汚染防止法では、都道府県知事および政令で指定した市に対し、大気汚染に関する常時監視が義務づけられている。全国の常時監視測定局は、一般環境大気測定局が約1500、自動車排出ガス測定局が約400配置されており、これら多くの測定局の測定結果は、環境省が運営するウェブサイト「そらまめ君: <http://soramame.taiki.go.jp/>」でだれでも閲覧することができる。

また主要な国道沿いには、昨今、国土交通省が設置した大気常時監視測定局も存在する。こちらも同様に、国土交

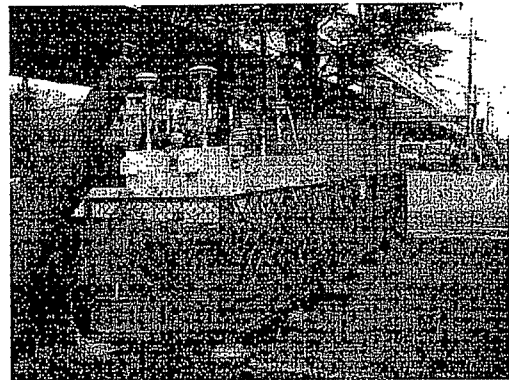


写真-1 歩道上での大気汚染測定事例

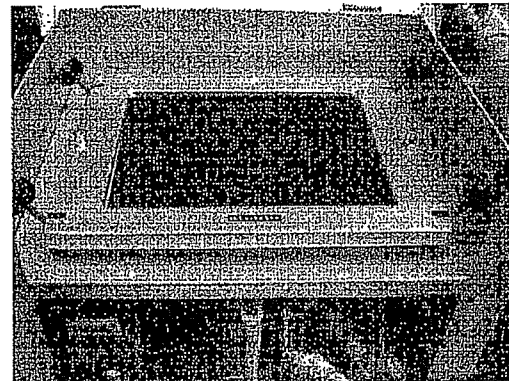


写真-2 幹線道路で捕集した浮遊粉じん

通省道路局のウェブサイトでも閲覧することができる(<http://www.nlit.go.jp/road/ir/ir-data/ir-data.html>)。

しかし、このような常時監視測定局は地域を代表するように配置されているが、自動車排出ガスによる大気汚染は、道路構造や周辺の建築物によって引き起こされるローカルな条件が影響し、こういった場所に必ずしも常時監視測定局が設置されているわけではない。また、都道府県および政令指定都市でなければ、常時監視測定局を持つ必要もなく、視測定局の設置、測定機器購入、維持管理費は相当な高額であるため、簡単に設置することは難しい。そこで多くの自治体などでは、調査の目的、ニーズに応じて適当な場所に一時的に測定機を設置し、1~2週間程度の観測を行うことがある。こういった臨時的測定局は、主に公園や歩道上に設置される場合が多い。そのため、公園や歩道の使用に関する管理者の使用許可が必要であり、特に歩道上に設置する場合は所轄の警察署の道路使用許可を得るとともに、歩行者の通行の妨げにならないようにし、また、安全を確保するためにフェンスで囲い、注意喚起のため点滅灯の設置などが行われる。

写真-2は、交通量の多い幹線道路においてハイポリウムエアサンプラで粒子状物質を採取したもので、ろ紙上に

は真っ黒な粒子状物質が採取されている。これは主にディーゼル車から排出された元素状炭素が多く含まれているからである。

### 3. 東京都内における浮遊粒子状物質の変動

浮遊粒子状物質はナノ粒子のレンジから、降下媒じんのレンジまで幅広い粒径範囲に及んでいる。

一般に大気中の浮遊粉じんは、粒径約  $2\mu\text{m}$  以上の粒子は主に自然起源の成分が、約  $2\mu\text{m}$  以下の粒子は人為的発生源である自動車や工場などの固定発生源からの粒子、ガス状物質が粒子化した二次生成粒子が多く含まれている。

粒子を粒径別に捕集する装置として、アンダーセンサンプラがある。この装置は、慣性衝突方式で大気中の粉じんを粒径別に9段階に分けて捕集する装置である。

この装置を利用して、粒径  $2.1\sim 7\mu\text{m}$  の粒子と  $2.1\mu\text{m}$  の粒子に分けて大気中の粉じんを採取・測定した事例を紹介する。

図-5は東京都千代田区内の高層ビルの屋上で、2週間ごとに紙を交換しながら約9年間、観測、分析した結果である<sup>2)</sup>。

微小粒子の濃度、微小粒子に含まれる元素状炭素濃度、塩素イオン濃度が年々減少していることがわかる。これはダイオキシン問題により小型焼却炉が廃止されたこと、ディーゼル車の排ガス対策や走行規制により、大気中の元素状炭素成分が減少していることが要因とされている。

### 4. 黄砂の測定事例

道路沿道のような局地汚染に対し、黄砂の問題は地球規模の自然現象である。黄砂の発生は中国、モンゴルに分布するタクラマカン砂漠、ゴビ砂漠の砂じん嵐を起源としており、3~5月にかけて偏西風により日本に運ばれてくる。

黄砂に関する国内の歴史は古く、日本でも江戸時代には書物に黄砂に関する記述が残されている。しかし、当時の黄砂と現在の黄砂では大きく異なる問題を抱えている。それは、昨今の中国の目覚ましい経済成長に伴う大気汚染物質とともに飛来していることである。本来、黄砂の成分はケイ素やアルミニウム、カルシウム、鉄などが主成分である。

しかし、中国上空を通過する際、硝酸イオン、硫酸イオン、アンモニウムイオンなどが吸着しており、人為的発生源の大気汚染物質を取り込んでいることが確認されており、いわゆる“汚れた黄砂”といわれている。また、日本に到着する黄砂の粒径は、おおむね  $4\mu\text{m}$  とされるので、人の気管へ届く大きさであり健康影響も懸念される。

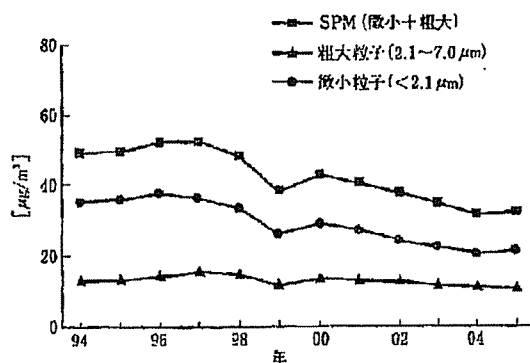


図-5 粒径別粉じん濃度の経年変化図

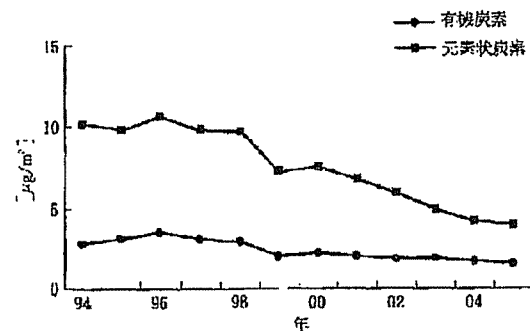


図-6 微小粒子中の炭素濃度の経年変化図

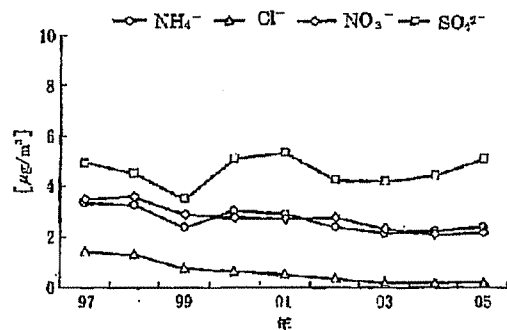


図-7 微小粒子中のイオン成分の経年変化図

また、精密機器や半導体工場などでは、工場内への黄砂の進入による不良品の発生が懸念されている。

気象庁がまとめた、日本国内の黄砂の観測延べ日数を図-8に示した。年により、観測延べ日数に変化はあるものの、近年増加傾向にあることがうかがえる。

黄砂の観測は目視によるもののほかに、国立環境研究所の杉本氏らが開発したライダーが運用されている。ライダーの原理図を図-9に示す。

ライダーはレーザー光を用いたレーダで、地上から放射したレーザー光は空中の微小粒子によって散乱されるため、この状況から黄砂の垂直方向の濃度分布(レーザー光が浮遊物質によってはね返ってくる光線量を解析し、上空に存在する

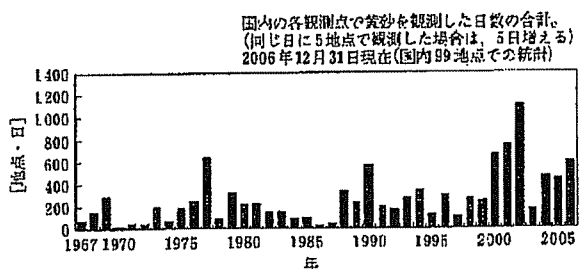
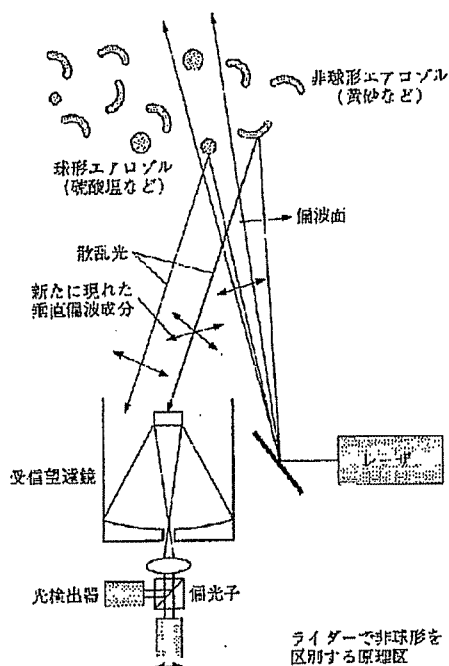
図-8 年度別黄砂のべ観測日数<sup>\*)</sup>

図-9 ライダー(レーザーレーダ)原理図

浮遊物質を推定)と、その時間的な変化を測定する。

これを用いた観測結果は環境省が運営する以下のウェブサイトで閲覧できる(<http://soram.ame.taiki.go.jp/Kousa/>)。

また、黄砂に関する日中共同研究が国立環境研究所の西川らによって行われている。これに弊社が開発した粉じん捕集装置、ステップサンプラ KE 101 が使用されている。

大気中の黄砂濃度は、気象条件により時々刻々と変化しており、時間分解能の高い捕集装置が望まれる。ステップサンプラ KE 101 は、1~6時間ごとに大気中の浮遊粉じんを捕集することが可能であるため、このような測定には非常に有効である。

写真-3に、長崎県での観測状況を、写真-4に本器で捕集した黄砂を含む浮遊粉じんを示した。

写真-4に示したフレーム型のろ紙のうち、白く囲った部分に黄砂を多量に含んだ粉じんが捕集されている。

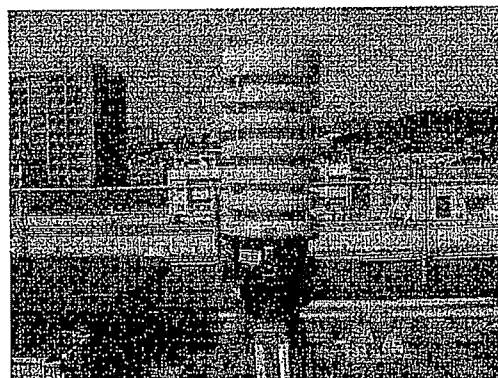


写真-3 ステップサンプラ KE 101

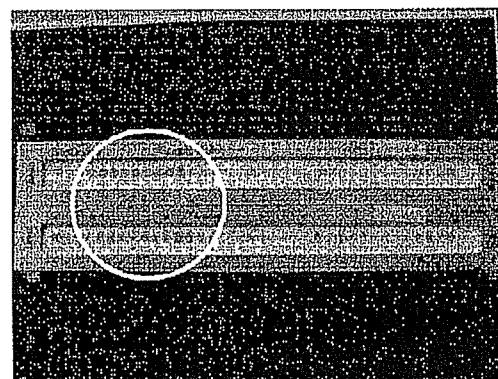


写真-4 黄砂を含む粉じん捕集状況

今後、これらの成分分析が進むにつれ、黄砂の実態解明につながるものと考えている。

## 謝 辞

本稿を作成するにあたって、ご協力いただいた、国立環境研究所の小林伸治先生、西川雅高先生、高橋克行氏に感謝いたします。

## 参 考 文 献

- 1) 環境省監修：環境大気常時監視マニュアル 第五版(2007年)
- 2) 大嶋・酒井・箕浦・佐々木：東京都心のビル屋上におけるSPM調査(13)，第47回大気環境学会要旨集，2E1000(2006)
- 3) 気象庁ウェブサイト(<http://www.jma.go.jp/jp/Kosa/>) (2007/12/3 原稿受理)



佐々木淳一 ささきじゅんいち  
昭和42年生まれ/出身地 横浜市/最終学歴 杏林大学保健学部