

大気環境評価のための計測手法

松下秀鶴（静岡県立大学名誉教授）

1. はじめに

大気汚染の歴史は人類が火を使用しはじめた時から始まるといわれている。事実、西暦紀元前から大気汚染に関する種々の記述があり、1307 年英国では煤煙規制に関する王室布告がなされている。しかし、大気汚染が、世界諸国で社会問題となったのは 20 世紀、特に 20 世紀後半からである。この間、大気汚染は質的にも量的にも、影響規模の面でも大きく変化し、直接・間接にヒトの健康や生態系に影響を与え、しかもその度合は 21 世紀ではさらに強まるものと予測されている。このため、大気汚染に対する適切な調査・対策システムの構築が強く望まれている。

環境対策は、まず、対策の対象と目標を定め、次に、それに適した計測・調査・評価→発生源の同定・対策技術の検討→対策の実施→計測・調査による対策の効果判定の繰り返しから成り立つシステムによって遂行される。従って、21 世紀前半における大気環境評価のための計測手法は、想定される諸々の大気環境問題、それらの主な発生要因、計測、評価、対策に係る諸技術の進歩を十分考慮に入れて作成する必要があることは言うまでもない。以下、今後さらに強化すべき計測手法等について述べることにする。

2. 環境大気中の化学成分の計測・評価に関して

環境大気中には夥しい種類の化学物質が極微量ずつ含まれているとされている。これは、a) 商業的に生産・使用されている化学物質は約 10 万種にのぼり、年々その数は増加しつつあること、b) ボイラー、焼却炉、ディーゼル車など諸種の固定・移動発生源からの燃焼排ガス中には多種多様な化学物質が含まれていること、c) 大気中での光化学反応等により新たな化学物質が生成されること、d) ケミカルアブストラクトに登録された化学物質の種類は約 2000 万で毎年 70～80 万種ずつ増加しつつあること。そして、a)、b)、d) の化学物質の一部は大気中に放出される可能性があるということに基づいている。

これらの化学物質の物性、毒性情報は約 1500 種の高生産量物質においてさえ不完全であるとされている。従って、環境大気や室内空気中にはどのような化学物質がどの程度含まれているかを明らかにする必要がある。このためには以下に述べる計測法の確立が必要である。

・高感度多成分同時分析システムの開発

少なくとも当面、環境省が指定した 234 種の有害大気汚染物質と、PRTR 制度に係る第 1 種及び第 2 種指定候補物質（354+81 種）の内、大気放出の可能性のある物質に対する体系的な高感度多成分同時分析システムの構築とその大気環境調査への適応が必要である。また、欧州連合は年産 1 トン以上の約 3 万種の化学物質に対して登録制の導入をはかっているなど、今後ますます化学物質に対する規制は強化される趨勢にあることから、さらに多種類の化学成分に対する同時分析システムの要望が高まるものと考えられる。最も望ましい分析システムはサンプリング、前処理、分離分析、濃度計算が全自動でなされ、測定結果が電送されるものであることは言うまでもない。

・高感度生物試験法の開発

大気環境試料は極めて多種多様な化学物質の混合体である。生物試験法は、環境試料を構成する各成分のみならず、環境試料そのものの生体影響に関する情報をもたらす利点を有している。現在までに変異原性、内分泌攪乱作用、活性酸素産生能等々に関する種々の生物試験法が提出され、そのいくつかは環境評価に使用されている。しかし、機器分析に比べて感度や再現性に問題がある場合が多い。したがって生物試験法をより高感度で簡易かつ再現性の高い手法とするとともに、種々の生物試験法を組み合わせた生体影響評価システムを構築することが望ましい。

・高度な Bioassay Directed Chemical Analysis の開発

環境試料中の有害成分の同定は、古来から、試料抽出物の分画→生物試験による活性画分の検出→活性画分の細分画→生物試験による活性画分の検出の操作を繰り返した後、最終的に得られた活性画分中の化学物質成分を分離分析法等により同定し、同定した化学物質の活性を再度生物試験で確かめるという手法でなされてきた。このような手法によりコールタール中の主な発癌物質としてベンゾ (a) ピレン (BaP) が、またディーゼル排ガス中の主な変異原物質としてニトロピレン類が検出、同定されてきた。現在、試料成分の分画法、生物試験法、分離分析法は過去と比べて格段の進歩をとげている。したがって、これらの手法を有機的に組みあわせれば環境試料中の有害成分をかなり迅速かつ簡易に検出、同定しうる可能性が高い。自動化システム手法の開発を含めて検討することが強く望まれる。

・微小粒子の計数、物理化学的特性の解明

現在、粒径 $2.5\mu\text{m}$ 以下の微小粒子、すなわち PM_{2.5} に対して大きな社会的関心が寄せられ、その計測手法の開発や PM_{2.5} 中の有害成分の存在実態解明等が進行しつつある。

他方、大気中のサブミクロン粒子の正確な粒径別計数とそれらの物理化学的特性に関しては不明な点が多く、今後に残された主要研究課題の一つとなるものと考えられる。なぜなら、① 計測手法の開発が不十分であるばかりでなく、② 粒子数又は粒子表面積の観点から、サブミクロン粒子の大気存在量は無視しえないこと、③ 微小粒子はピノサイトーシスにより種々の細胞に取り込まれるため、毒性発現の機構が、ファゴサイトーシスにより白血球等の特定細胞に取り込まれる 1～数ミクロン粒子のそれとは異なる可能性が高いからである。

なお、本節に挙げた各種の計測法を開発し、それを環境調査に適応する場合、実用的観点から、モニタリングのように多数の地点で常時測定する必要はなく、代表的な数地点で間欠的に測定するほうが良いように思われる。これらの手法は大気汚染のキャラクタリゼーションや有害性の評価、問題とすべき成分の同定とプライオリティーづけに効果的な手法と考えられるからである。

3. モニタリング手法に関して

大気汚染の健康影響や生態系への影響は、特殊な場合を除き、長期間に亘る曝露の後に現れる。従って、モニタリングは適正な精度管理の下で長期間実施されて、はじめてその有効性が発揮される。現在、我が国では大気汚染防止法に基づいて多数の測定局が全国の市町村に設置され、一般環境大気や沿道大気の汚染状況が常時監視されている。しかし、測定項目は二酸化窒素や浮遊粒子状物質など 6 項目に限られ、有害大気汚染物質に対する常時監視はなされていない。また、

有害大気汚染物質のモニタリングに関しては、曝露アセスメントの観点から環境大気ばかりでなく室内環境にも留意する必要がある。

・有害大気汚染物質のモニタリング手法

現在、環境省は優先取組物質に指定された有害大気汚染物質を月 1 回、1 回 24 時間サンプリングし、GC/MS 等で分離分析し、これらの測定値から年平均値を求めることとしている。しかし、この値の真の年平均値（通年常時測定値からの年平均）に対する偏りは十分に調べられているとは言えない。

筆者らは嘗てこの問題解明の一環として、埼玉、東京都、及び静岡県の代表的常時測定局各 10 局程度から 3～4 年分の測定データを提供してもらい、NO₂、SO₂、SPM 等を間欠的に測定した値から求めた年平均値と真の年平均との関係を調べた。その結果、凡ての測定局、凡ての調査項目とも、12 日又は 15 日間隔で 1 回 24 時間ずつ測定し、年平均を求めれば 10% 以内の偏差で真の平均値と一致することを認めた。また、東京及び静岡市で大気浮遊粉じんを 1 回 24 時間、13～15 ヶ月間、毎日サンプリングし、それらに含まれる BaP 等を指標に間欠サンプリングの在り方を検討した結果、両地点とも 15 日間隔で真値との偏差 7% の年平均値を得ることが判った。これらの結果は、より精度の高い年平均値は 12 日または 15 日間隔の計測から得られることを強く示唆している。なお、ガス・蒸気状汚染物質に対するサンプラーとして各種のパッシブサンプラーが開発、市販されてきた。従って、若干の測定点にキャニスターとパッシブサンプラーを併設し、後者の信頼性を前者でチェックしつつ、調査対象地域の汚染状況をパッシブサンプラーで調査することも検討する必要がある。

また、大気浮遊粒子のサンプリング手法についても小型で低騒音の種々のサンプラーが開発、普及されつつあり、分級サンプラーも開発されている。粒子状有害成分に対する分離分析法も高度化してきたので、間欠サンプリングの場合、小型サンプラーを用いる手法が实际的である。

なお、有害大気汚染物質を常時監視する場合はサンプリング、前処理、分離分析、定量を自動的に行う測定機器が不可欠であり、この方面の研究も進展しつつある。

・室内環境調査手法に関して

室内環境の調査は、室内汚染状況や主要汚染源の把握ばかりでなく、曝露アセスメントにとっても極めて重要である。また、シックハウス症候群や化学過敏症との関連においても注目されている。

近年、パッシブサンプラー、小型低騒音アクティブサンプラー、各種高感度分離分析法など一連の計測技術の進歩により、室内汚染状況に関する知見が急速に増大しつつある。

例えば、演者らの調査により、トリハロメタンや p-ジクロロベンゼンなどの有機ハロゲン化合物や、ホルムアルデヒド等の脂肪族アルデヒド、ベンゼンおよびそのアルキル誘導体の多くは室内環境の方が外気より高濃度を示す場合が多いことが判った。また、浮遊粒子に含まれる BaP 等の多環芳香族炭化水素（PAH）濃度は、換気の悪い室で喫煙本数が多いというような条件を除くと、一般に室内の方が外気より低いこと、室内の PAH は外気のそれより 2.5 μm 以下の微小粒子に多く含まれることなども明らかとなった。

この他、相対濃度表示による、浮遊粒子に対する光散乱計やパーティクルカウンター、さらに

は外部光電効果を利用した PAH モニターなどが室内汚染等の計測に用いられており、個人携帯用の PM2.5 サンプラーも開発されつつある。室内環境や個人曝露に関する計測技術は今後さらに進展、普及するものと期待される。

4. 大気環境計測に係るその他の留意事項

大気環境、室内環境及び個人曝露の計測・モニタリングにあたっては、以下の事項にも留意する必要がある。

・計測法の信頼性チェック機構ならびに測定値の精度管理

我が国ではある汚染物質の測定方法が官報告示されると、その後、より簡便で高感度かつ信頼性の高い方法が開発されても、その方法の使用を認める官報告示がなされることはあまり見かけない。この為、20～30 年前の旧式の方法で計測しなければならない不合理が生じる場合がある。これに対して米国では、新しい計測手法の評価を順次行い、規制目的に合致すると評価された場合は equivalent method として公示され、その方法も公式に使用出来るようになっている。計測法の進歩は著しく、各種の情報が国際的に飛び交っている今日、新計測法の性能や信頼性を評価する基準と、その基準に従って計測法を評価する機関又は組織の設立が望まれる。

なお、近年、環境測定において精度管理の重要性が高まりつつある。データの国際相互比較のためにも、長期に亘るデータの評価のためにも精度管理は不可欠である。従って、測定値の信頼性チェックシステムの構築とその実施が各機関に強く求められる。

・スペシメンバンキングの必要性

大気中の化学物質の種類や濃度は時代と共に変化する。また、時代によって分析法や分析対象物質も異なっている。健康などへの影響は長期間曝露の結果として現れる。このような事を考えると、少なくとも大気浮遊粉塵や粒径別に分取した大気浮遊粒子を-80℃(少なくとも約-45℃以下)のフリーザーに長期間保存する必要がある。ある問題が発生した時、保存試料の一部を用いて関連化学物質等の長期変動を同一計測法で求めることは問題解明の大きな手掛りとなると考えられる。

スペシメンバンキングは極めて労力のかかる地味な作業である。現在、若干の試験研究機関や大学で大気浮遊粉塵を定期的に採取し、保存してきているが、今後この動きをさらに拡大し、体系的なサンプリング、長期保存の実施体制をつくることが望まれる。

5. おわりに

21 世紀は環境の世紀ともいわれるが、デジタル社会の世紀ともいってもよいであろう。アナログ社会であった 20 世紀とは大きく異なり、様々な情報が大量かつ瞬時に飛び交う 21 世紀のデジタルネット社会・国際化社会では、環境問題に係る計測手法、評価技術、特に研究協力体制の在り方も大きく変わるであろう。

地球は狭い。私は、さまざまな研究者、研究機関が互いに緊密に協力し合い、大気環境等の計測・評価そして対策に取り組み、日本にとっても国際社会にとっても、環境保全に有益な成果をあげられることを心から祈っている。