

大気汚染の野外観測からその対策をめざして

下原孝章

福岡県保健環境研究所

はじめに

私は大学院の前期課程でキレート化合物の合成、後期課程では石炭やタールの改質に関する研究を行なっていました。その後、現在の研究所に勤務して 27 年間、環境分野の研究に携わってきました。環境研究を始めた頃は模索の連続でした。年 1 回開催される本学会の会場内で、通り過ぎる先生方に教を請うのが常でした。研究費は皆無でしたが、1つ1つの不可思議な現象に興味を持ち、自分なりの工夫、創造を大切にして研究を続けてきました。入所当時、研究所には全国に先駆けて走査-透過-分析型の複合型電子顕微鏡が入っていました。私は電子顕微鏡を使って大気中の微小エアロゾルの解析を行いました。その後、大気汚染による長距離移流、環境酸性化と反応、沈着メカニズムに関する評価を行いました。環境観測を行っていくうちに、それなら、どうやって解決したらいい？そういう素朴な疑問の末、現在は、炭素材料を利用した新たな環境大気の修復技術に歩を進めています。

大気汚染の野外観測

1. エアロゾルの評価手法の検討

入所当時、現在の研究所において、電子顕微鏡により数多くのエアロゾルを観察しました。2年間で約 1 万枚の写真を暗室にて現像しました。エアロゾルの形態、発生源を識別できるトレーサー元素の確定、分析型 X 線装置で測定したエアロゾルの全組成をパターン化、発生源粒子を判別できる手法を考案し、環境中のエアロゾルの同定に利用しました。黄砂粒子の粒径は $3\sim 4\mu\text{m}$ と言われていますが、これは空気力学的粒径であり、実際の粒径（幾何学的粒径）は $2\sim 3\mu\text{m}$ であること、海塩粒子は重量濃度としては殆ど粗大粒子側に存在しますが、数量としては微小粒子側にも多く存在し、微小粒子としての表面積は大きいこと、そのため、微小粒子側の海塩粒子も反応には無視できないことも分かってきました。

2. ガス、エアロゾルの乾性沈着に関する研究

(1) 地上と森林山頂における大気汚染物質の観測

乾性降下物は、晴れや曇りの日に大気から地表に降下していますが、野外での正確な捕集、評価法が難しく、シミュレーション以外に正確な結果は殆どありませんでした。私はフィルター捕集によるイオン、ガス成分の評価と併せて、エアロゾルの個々の化学的形態を直接、評価する方法を確立しました。この方法は、透過型電子顕微鏡の $3\text{mm}\phi$ のメッシュ上に薄膜を作成し、その上にエアロゾルを沈着あるいはインパクトにより捕集後、試薬を蒸着、エアロゾルと試薬の反応により析出した反応パターンから、その化学組成を評価する手法です。また、発色後、数ヶ月間、色褪せし難い pH シートを試作、晴れた日のガス、エアロゾルの沈着を敏感に評価できる銅ガラス板を考案し、それらを併用した沈着現象の評価を行いました。これらの薄膜法により、従来のフィルター捕集では明らかにし難かった自然界の物質表面に対する乾性沈着の影響評価を行いました。その結果、酸性霧、森林枯損に関する重要な知見を得ることができました。例えば、福岡県の三郡山（標高約 920 m）、宝満山（標高約 830 m）の中腹から山頂付近における硝酸成分による強い酸性化現象（pH 2 以下）を確認しました。

ある調査期間のこと。高湿度の曇り空と小雨、時々、雷雨、オキシダント濃度が 10ppb 以下の低濃度状況が 10 日間ほど続く、過去 10 年間になかった気象状況のもと、私は両地点で亜硝酸イオン(NO_2^-)を数 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の高濃度で検出しました。 NO_2^- については、それまでも硝酸イオン(NO_3^-)の濃度上昇と同時に $0.1\sim 0.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ の検出例はありましたが、今回のそれは NO_3^- の濃度が低い期間に両地点で高濃度に出現していました。九州北部工場地帯から高濃度 NO_x の排出が確認できました。風の流れから測定地点付近への流れ込みも推定できました。これらの結果を Atmospheric Chemistry に投稿しました。査読結果には「興味深い。内容をもっとシンプルに」と書かれていました。査読委員は M. N. Portnoy 博士とオゾンホール他の研究により大気環境のノーベル化学賞を受賞された P. Crutzen 博士でした。当時、私は温湿度記録計等の機材を殆ど持ちませんでしたのでデータセットが不十分と判断、再投稿できず研究成果は今も手元に残っています。

(2) 沈着メカニズムと沈着速度の測定

乾性沈着を直接測定する方法として、濃度勾配法、渦相関法等が試みられていましたが、野外で沈着速度を実測値として測定した例は国内外で殆どありませんでした。私は研究所屋上において、沈着速度を多成分同時に実測値として測定する手法を検討しました。その方法では、捕集時間を短縮したアンダーセンサンプラー捕集、4 段式フィルター捕集と共に、乾き面、水面、酸面、アルカリ面のそれぞれの物質表面に対する沈着量を正確に日毎、40 日間測定し、その差分を取り、大気中のイオン性粒子、ガス成分の物質表面への沈着速度を評価しました。測定には非常に高い測定精度が求められたこと、風雨が強い時、代理表面への雨水の混入等がありうまくいかず、3 年間の試行錯誤の末、最終的に大気中のガス、エアロゾルの沈着速度、沈着メカニズムに関する重要な知見を得ることができました。当時、九州大学におられた植田洋匡先生に夜遅くまでご指導いただいたことを思い出します。

3. 離島及び九州北部における大気汚染物質の長距離移流と環境酸性化に関する研究

1990 年代に、国立環境研究所（村野健太郎先生）及び京都大学防災研究所（植田洋匡先生）の客員研究員として大気汚染の実態解明と環境酸性化の機構について研究を進めました。長崎県五島と福岡県太宰府市の 2 地点で大陸から北部九州へ移流するガス、エアロゾルの移流と環境酸性化について研究しました。エアロゾルの酸性度については、フィルター捕集によるイオン成分のカチオン、アニオンの差分評価ではなく、フィルター抽出水の pH を直接、測定しました。薄膜法、アンダーセンサンプラーを併用し、測定時間を短くすることで、エアロゾルの酸性度、化学形態を明らかにしました。

4. 高活性炭素繊維(ACF)を用いた大気浄化技術の開発と実証化研究

2000 年代に入り、高活性炭素繊維(ACF)を用いた道路沿道の大気浄化技術の改良と実証試験を行ってきました。研究所の渡り廊下を歩いていた時、風にそよぐブラインドからヒントを得て基礎研究に着手しました。その後、豊橋技術科学大学の北田敏廣教授が実施されていた道路沿道の防音壁による空気流れの数理解析研究と合体させ、防音壁に ACF を用いて通風性を持たせたフェンスではどうかとの議論のもとこの技術を発展させ、大阪ガス(株)の吉川正晃氏と議論して、現在の ACF ユニットができました。

この技術は自然風を利用して道路沿道の NO_x、VOCs 等を削減する技術です。自然風を利用するため電気エネルギー不要で、降雨による繰り返し使用が可能です。これらの技術は（独）環境再生保全機構から 12 年間の支援を受けて、福岡県における実証試験を経て国土交通省が採用するところとなりました。現在まで、九州大学、豊橋技術科学大学、京都大学、中国他の大学とも包括的な研究へと発展しています。既に大阪市の 2 カ所、さらに昨年度は東京都でも試験施工が開始されています。また、私は豊橋技術科学大学の客員教授として、日本学術振興会(JSPS)と中国文部省(MOE)に支援された拠点大学方式日中学術交流事業（京都大学－清華大学拠点）「都市環境」（2001 年度～2010 年度）で交流を行ない、九州大学の持田勲特命教授の支援のもと、JST-MOST プロジェクトに参加、中国の清華大学に技術指導し、その北京キャンパス構内の正門（東門）に実証フェンスを設置しました。トルコのイスタンブール工科大学他からの招待を受け、炭素材料による環境修復技術とその再生方法、実証技術についての講演と技術交流も行ってきました。

現在、私は新たな浄化技術に着手し始めています。これまで見過ごされてきた自動車内の高濃度 NO_x、高濃度の有害炭化水素を、緩やかな空気流れを利用して電気エネルギーなしに、外気が車内に流入する経路で削減する手法を考案し、その技術改良を進めています。取り扱いとメンテナンスが簡素であることから、シックハウス対策、病院内の揮発性化学物質類の浄化技術など、中小企業や東アジア地域を取り込んだ大きな研究へと展開し始めています。今後は、炭素材の製造、使用、廃棄する過程で発生するトータル CO₂（ライフサイクル CO₂）についても評価していきたいと思っています。

おわりに

地方研究所に勤務する私に対して、いつも私と同じ目線で熱く語り合っていた先生方、風洞実験に取り組んで頂いた大同大学、龍谷大学の先生方、研究を手伝ってくれた同僚、時に機材を提供して下さいました人たち。その 1 つ 1 つが私にとって励みであり、ここまで研究を進めることができました。紙面には書き切れませんが、ここに改めて感謝いたします。