

受賞研究

大気汚染の野外観測からその対策をめざして

下原孝章

(大気環境学会学術賞(斎藤潔賞)受賞:平成24年9月18日)

(平成24年度知事賞受賞:平成25年1月9日)

はじめに

35歳頃の私は大気汚染の知識はなく、研究費もまったく持たなかったが、フィルターとポンプだけを頼りに夢中になって山野を歩いた。思い返してみると、当時から私の気持ちの根底に野外観測に留まらずその防除技術に携わりたい気持ちが強かった。簡単な機材は自作して、測定に失敗したら作り直した。そのため、データから奇異な現象が見つかることが多く、正確な測定データを得るにはどうすればいいのか、工夫して装置を改良する繰り返しであった。周知の大気現象であっても、自分の中で一端、咀嚼、検証し、納得できたら次の方策を考えてみる。切り口を変えた手法、別の視点で取り組んでみることで新たな現象が発見されることが多かった。

初めて海外に行ったのは北京でのセミナー、私が40歳の時、大気環境学会の文化財分科会による出張が最初であった。その後、現在まで、中国を中心にギリシャ、米国、マレーシア、韓国、タイ、イタリア、オーストラリア、トルコ、ポーランドと数多くのシンポジウム、渡航の機会に恵まれた。今では、年3~4回、いろんな国の講演、会議に呼んでいただいている。以下、私がこれまで実施してきた研究の概要を列記したい。

1 エアロゾルの評価手法の検討

入所当時、電子顕微鏡により数多くのエアロゾルを観察した。2年間で約1万枚の写真を暗室にて現像した。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た¹⁾。黄砂粒子の粒径は3~4 μm と言われているが、これは空気力学的粒径であり、実際の幾何学的粒径は2~3 μm 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するが、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。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た。

福岡県保健環境研究所 (〒818-0135 太宰府市大字向佐野 39)

2 ガス、エアロゾルの乾性沈着に関する研究

2. 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るが、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なかった。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た。この方法は、透過型電子顕微鏡の3mm ϕ 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、その化学組成を同定する手法である。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、これらを併用した沈着現象の評価を行った。その結果、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沈着影響を確認し、酸性霧、森林枯損に関する重要な知見を得ることができた。例えば、福岡県の三郡山(標高約920m)、宝満山(標高約830m)の中腹から山頂では硝酸成分による強い酸性化現象(pH2以下)が確認できた^{2), 3)}。

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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の高濃度で検出した。 NO_2^- は国内外の研究者が熱心にその検出を試みていたものの殆ど検出されない成分であった。海外の報告としては、硝酸イオン(NO_3^-)の濃度上昇と同時に極めて低い濃度0.1~0.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ の検出例があるのみであった。私の調査結果は NO_3^- の濃度が低い期間に両地点で NO_2^- が高濃度に出現するという特異事象であり、大きな反響を呼んだ。風の流れから九州北部工場地帯から高濃度 NO_x の排出、測定地点付近への流れ込みが推定できた⁴⁾。これらの結果をAtmospheric Chemistryに投稿した。査読委員はM. N. Portnoy博士とオゾンホール他の研究により前年度、大気環境のノーベル化学賞を受賞したP. Crutzen博士であった。査読結果には「興味深い。内容をもっとシンプルに」と書かれていた。当時、私は温湿度記録計等の機材を殆ど持たなかっ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る。

2. 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なかった。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た。物質表面に対する沈着量を正確に日毎、40日間連続測定してその差分を取り、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た。測定には非常に高い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た⁵⁾。当時、九州大学の植田洋匡先生（その後、京都大学名誉教授）のもとへ通い続け、いつも深夜までマンツーマンでご指導いただいた。

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及び京都大学防災研究所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た⁶⁾。

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

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た。当研究所の渡り廊下を歩いていた時、風にそよぐ縦型のブラインドからヒントを得て、自然風を利用した基礎研究に着手した。空気浄化に最適なACF種の選定、前処理を施したACFに対して“高活性炭素繊維”と命名した。

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ある(図1)⁷⁾。電気エネルギー不要、降雨による繰り返し使用が可能であり8年間の基礎研究と4年間の実証試験を経て国土交通省が採用するところとなった。現在まで、九州大学、豊橋技術科学大学、京都大学、清華大学等と包括的な研究へと発展している。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る。また、私は日本学術振興会と中国文部省に支援された京都大学-清華大学による拠点大学方式日中学位交

流事業(2001年度~2010年度)に誘われて参加、技術交流を行ってきた。九州大学の支援のもと、その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た。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、実証技術についてトルコで講演と技術交流も行った。

現在、私は新たな浄化技術に着手している。これまで見過ごされてきた自動車内の高濃度NO_x、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る。さらに、ACFを利用した新たな技術を提案した。これら技術は取り扱いとメンテナンスが簡素であり、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る。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。

ACFユニットを通過するNO₂、VOCsの80~95%を捕捉

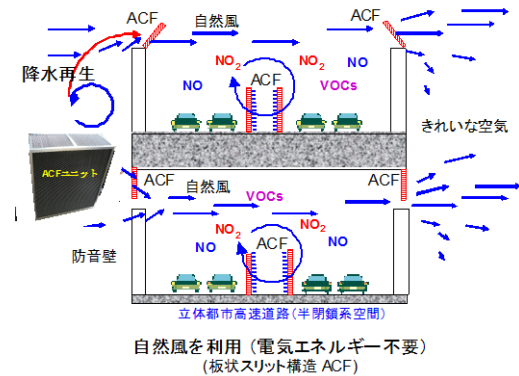


図1 自然風を利用したACF大気浄化システムの構想

おわりに

本研究を進めるにあたり、研究を手伝っていただいた保健環境研究所の皆様、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九州大学、京都大学、豊橋技術科学大学の先生方、機材を提供して下さいました。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、ここに改めて深謝いたします。

文献

- 1) 下原孝章ら：大気汚染学会誌，24，100-111，1989。
- 2) 下原孝章ら：大気汚染学会誌，30，169-179，1995。
- 3) T. Shimohara et al.，： The Science of Total Environment，198，287-298，1997。
- 4) 下原孝章ら：第34回大気汚染学会要旨集，495，1993。
- 5) 下原孝章ら：大気環境学会誌，39，171-187，2004。
- 6) T. Shimohara et. al.： Atmospheric Environment，35，667-681，2001。
- 7) 下原孝章ら：大気環境学会誌，47，(1)，58-66，2012