

令和6年度 一般財団法人 環境対策推進財団  
化学種を考慮した大気汚染物質の構造解析と生態系への影響評価  
研究成果報告書 [概要版]

北九州市立大学 国際環境工学部 伊藤理彩

## 1. 研究概要

本研究では、日本国内の大気汚染に関するリスク管理の現状を踏まえ、特に越境大気汚染による重金属を含む浮遊粒子状物質（SPM）の構造解析および生態系への影響評価を行った。日本最南端の有人島である波照間島や、影響を受けにくい能登大気観測スーパーサイトでは、これまでの研究で重金属類を含むPM10やPM2.5、さらには1 μm以下の微粒子が検出されており、それらの毒性や生態リスクが懸念されていた。

本研究では、特に粒径による影響や大気中での化学変化に着目し、毒性の高い重金属がどのような化学反応を経て、どのような形態で日本へ到達するのかを明らかにすることを目的とした。特に、重金属の化学種が粒径ごとにどのように変化するのかを明確にし、人体や生態系への影響を評価することに重点を置いた。

## 2. 研究方法

本研究では、NOAAのHYSPLIT Trajectory Modelを用いて、日本からの影響が最小限となる環境下でエアロゾルを採取した。主に能登半島の大気観測スーパーサイト（珠洲測定局）で採取を実施し、浮遊粒子の粒径を7分画し、PM2.5以下の微粒子を重点的に分析した。

採取した試料については、誘導結合プラズマ質量分析法（ICP-MS）を用いて、粒子中の元素濃度を定量した。さらに、高エネルギー加速器研究機構の放射光 X線吸収微細構造（XAFS）解析を行い、付着した重金属の化学種を特定し、その分布を解析した。特に、重金属の化学的形態が酸化・還元反応によってどのように変化し、毒性がどの程度増減するのかを評価するための詳細な分析を行った。

## 3. 研究結果

分析の結果、PM2.5以下の微粒子には特に亜鉛、ヒ素、カドミウムなどの有害重金属が高濃度で含まれていることが確認された。特に、放射光を用いたXAFS解析の結果、微小粒径の粒子には毒性の高い三価のヒ素（As(III)）が含まれていることが明らかになった。三価のヒ素は、五価のヒ素に比べて水溶性が高く、体内への吸収率が高いため、環境および人体への影響が特に懸念される。また、三価のヒ素は特に肺胞での吸収が早く、血流を介して全身に運ばれやすい特性を持つことが示唆されており、呼吸器系疾患や発がんリスクの上昇につながる可能性がある。

また、震災の前後で化学種の変化は見られず、三価のヒ素の割合は一貫して一定であった。

粒径ごとの分布を詳しく分析した結果、Stage6 の微小粒子では、鉄由来のヒ素が 36%、マンガン由来の五価のヒ素が 63%を占めていた。一方で、Stage3 の粗大粒径では、三価のヒ素の割合が増加していることが確認された。一般的に、三価のヒ素は五価のヒ素よりも毒性が高いとされるが、人体への取り込みやすさを考慮すると、微小粒子である Stage6 のほうがより影響を及ぼす可能性が高い。これにより、粗大粒子側のほうが三価のヒ素の割合は高いものの、実際に人体に取り込まれる可能性が高いのは微小粒子である Stage6 であるため、より深刻な影響をもたらすことが示唆された。

また、長距離を移動した粒子ほど酸化・還元反応によって化学種が変化しやすいと考えられていたが、本研究ではそのような明確な変化は認められず、当初の化学種がそのまま維持された状態で日本に到達していることが明らかになった。これにより、越境汚染によって飛来する大気粒子は、発生源における化学状態をそのまま保持したまま輸送される可能性が高いことが示された。この結果は、越境汚染において発生源の特性がそのまま大気輸送の影響を受け、日本国内の環境リスクを左右する重要な要因となることを示している。

#### 4. まとめと今後の課題

本研究では、日本国内に飛来する越境大気汚染の微小粒子について、主要な重金属成分の特定、化学種ごとの変化と毒性の増減、生態系および人体へのリスク評価を行い、その影響を明らかにした。特に、Stage6 の微小粒子において鉄由来およびマンガン由来のヒ素が高い割合で含まれており、Stage3 の粗大粒径では三価のヒ素の割合が増加することが確認された。しかし、実際に人体への取り込みやすさを考慮すると、Stage6 の微小粒子のほうが吸収されやすく、より高いリスクを持つ可能性が示唆された。

また、震災の影響を受けた地域から排出された粒子が、越境汚染としてどのように輸送され、どの化学状態で日本に到達しているのかを明確にした点は、本研究の大きな成果の一つである。今後の課題として、さらに細かな粒径 (PM0.1 以下) の粒子に関する分析や、長期的な影響評価 (慢性的な曝露影響)、生体影響メカニズムの解明 (細胞レベルでの作用機序解析) が必要であると考えられる。

本研究の成果は、大気汚染管理やリスク評価の高度化に貢献するとともに、越境汚染の影響を軽減するための政策決定に資するものである。