

【5-1605】PM2.5の成分組成、酸化能、呼吸器疾患ハザードとそのモデル予測に関する研究（2016～2018 119,168千円）

研究代表者 梶野 瑞王（気象庁気象研究所）

## 1. 研究開発目的

- (1) 原因物質と粒子酸化能のモデル予測に関する研究（気象庁気象研究所）
- (2) 粒子酸化能の自動観測と原因物質の特定に関する研究  
（国立研究開発法人産業技術総合研究所）
- (3) 呼吸器炎症に関連する粒子酸化能評価に関する研究  
（国立研究開発法人国立環境研究所）
- (4) 原因物質と酸化能の発生源同定に関する研究（一般財団法人日本自動車研究所）

## 2. 研究開発目的

本研究では、粒子の酸化能に着目し、現場大気観測で、PM<sub>2.5</sub>と呼吸器疾患の因果関係に化学・物理・生物学的視点から迫り、さらに数値モデルを活用して空間的、時間的な変動を調べ、重量濃度をベースとした環境政策の妥当性を評価することを目的とする。そのために、PM<sub>2.5</sub>酸化能を連続自動測定できる装置を新規開発し、また高い酸化能を持つとされている金属や有機物（酸化ストレス原因物質とここでは呼ぶ）の同時測定を実施する。加えて細胞曝露実験および因子分析を活用し、発生源－原因物質－酸化能－酸化ストレスを定量的に関連付け、呼吸器疾患ハザード<sup>1</sup>（気道に沈着した原因物質が肺胞上皮細胞に与える酸化ストレス）として新たに定義づける。上記知見を集積した3次元化学輸送・気道沈着結合モデルを用いて、呼吸器疾患ハザードの発生源別寄与率と時空間変動を明らかにする。そして、観測・モデル両面から従来のリスク評価（すなわちPM<sub>2.5</sub>）との相違を明らかにする。

## 3. 本研究により得られた主な成果

### (1) 科学的意義

- ・アジアと我が国限定だが、排出インベントリと予測モデルを構築し、粒子酸化能の寄与率が高い遷移金属の発生源推計、酸化能予測を実施したのは世界初。個別粒子分析（特にFe）や気道沈着計算を組み合わせる新ハザードを考案し、その発生源を明らかにした（主にブレーキと鉄鋼業（全体の8割程度）、次いで船舶、発電、焼却炉などであった（それぞれ1割程度））。（サブ1、4）
- ・新ハザードの時空間分布を明らかにし、従来ハザード（PM<sub>2.5</sub>）との相違を明らかにした。新ハザードについては、微小粒子だけでなく粗大粒子の重要性、自然起源ではあるが、特に酸化能が高く、ヒト条件によっては気道沈着率も高くなる、黄砂の重要性も示唆された。（サブ1、4）

- ・市販の PM<sub>2.5</sub> 自動分析装置を母材とした、DTT アッセイを用いた PM<sub>2.5</sub> の有する酸化能の全自動・連続測定装置の開発を実現することができた (FADAS)。2 時間ごとに PM<sub>2.5</sub> と PM<sub>10</sub> の質量濃度と酸化能を同時に測定することができる装置は世界初の画期的なものである。(サブ 2)

- ・水系、有機溶媒系それぞれにおいて、DTT アッセイ、HO-1 アッセイを同時実施し、両手法の関係性を同時に初めて明らかにした。また、水溶性の金属成分に着目して分析、解析を進めた上で、特定の成分によって両アッセイの関係が変化することが示唆される結果が得られた。(サブ 3)

- ・これまでに、環境省が実施している PM<sub>2.5</sub> 成分分析では 24 時間ごと、有害大気汚染物質では 48 時間もしくは 2 週間ごとであり、時間分解能の高い測定や解析が困難であった。特に微量無機元素は、環境省が実施する PM<sub>2.5</sub> の 24 時間観測では実施することが困難であり、本研究では 1 時間ごとに 48 元素同時に測定データを得ることが可能となった。これにより、FADAS と併せて気象要因や疫学調査との直接比較など、要因解析に資する科学的な知見が得られるようになった。(サブ 4)

## (2) 環境政策への貢献

- ・酸化能の発生源寄与率の情報を、不確性情報 (発生量や粒子形状) と共に、整備した。

- ・粗大粒子の重要性を示唆するものであった (酸化能と気道沈着の観点から微小粒子と粗大粒子の健康ハザードを定量的に比較した)。

- ・疫学研究チームへの FADAS データ活用を依頼した。将来、質量濃度と新ハザードのどちらがより疫学調査と関連性が強いのか、が明らかになる。

- ・発生源の情報と PM<sub>2.5</sub> の有する酸化能の情報が繋がれば、排出量のみで決まらない PM<sub>2.5</sub> 削減対策が可能となる。

- ・本研究における計測技術により、これまでに解析が困難であった、有害大気汚染物質に指定されている微量無機元素の濃度の 1 時間観測が可能となり、例えば、Mn が気象要因で増加する現象が観測されるなど、一概に環境基準による安全性を議論するだけでなく、自然現象と比較した要因解析を含めたデータ取得が可能となった。これにより、市民にとって安全な社会へ向けた情報発信に資する結果が得られるようになった。

### <行政が既に活用した成果>

- ・NHM-Chem の結果 (たとえば Kajino, 2018) は日中韓大気汚染物質長距離越境移動研究プロジェクト (Joint Research Project on Long-Range Transboundary Air Pollutants in Northeast Asia; LTP プロジェクト) に活用されて来た。

### <行政が活用することが見込まれる成果>

- ・新ハザードの有用性が疫学研究から証明されれば、優先的に対策を講じるべき発生源が、本研究から明らかとなっている。
- ・地域や季節によって、粒子が持つ酸化能と吸入した場合の酸化ストレスが異なること、それらの関係が国内でも関連付けることができたことから、PM<sub>2.5</sub>と言っても様々な成分の集合体であることが再認識された。国民への PM<sub>2.5</sub> に対する注意喚起において、科学的なリテラシーをもたらす知見として本研究結果の成果が活用される見込みである。
- ・環境省や自治体により、本研究の計測技術や解析技術を用いて、大気中の粒子状物質の要因解析とその対策のための調査が実施・推進され、今後の環境基準改定などの政策議論へ展開されることが見込まれる。政策等に適用するためには、より広い視野を持った検討が必要であると考えられる。

#### 4. 委員の指摘及び提言概要

粒子の酸化能を健康影響の一つの指標として用い、定量的な解析を行い、興味ある成果が得られ、多くの論文等の発表も行われている。一方で、酸化能一点集中の本研究によって明快な結論が得られたとは言えない。PM<sub>2.5</sub>と DTT 消費量による酸化能の変動傾向が一致しなかった等の問題が残された。政策等に適用するためには、より広い視野を持った検討が必要であると考えられる。

#### 5. 評点

総合評点：A