

研究課題	2.5 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
研究期間	平成28年度～平成30年度（3年計画第2年度）
担当者	〔研究代表者〕梶野瑞王（環境・応用気象研究部） サブグループ1：原因物質と粒子酸化能のモデル予測に関する研究 〔環境・応用気象研究部〕○梶野瑞王、五十嵐康人、足立光司、関山剛 〔予報研究部〕財前祐二
目的	PM2.5環境基準の実施に伴い、曝露・リスク評価が喫緊の課題となっている。他方、PM2.5は重量濃度で定義されるが、実際は多様な成分組成、粒径分布を持ち、それらは大気中で時々刻々変化する。従って、PM2.5重量が同じでも気塊の由来が異なると粒子の化学・物理特性が異なり、リスクも異なると予想される。言い換えると、PM2.5重量はリスク発生の本態ではない。そこで本研究では、欧米を中心に健康有害指標の一つとして着目され研究が盛んになっている粒子の酸化能に着目し、現場大気観測で、PM2.5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。
目標	PM2.5酸化能を1時間間隔で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と有機物（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。粒径分布と吸湿性が異なれば気道沈着率が1桁異なるため、電子顕微鏡－自動分析システムを用いて金属と有機物の担体となる粒子の粒径・吸湿性レンジを明らかにする。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（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・モデル両面から重量濃度ベースのリスク評価（すなわちPM2.5）との相違を明らかにする。呼吸器炎症に起因する呼吸器・循環器疾患のリスク低減のために優先的に規制すべき対象の特定への活用などを通して、環境行政に貢献する。
研究の概要	本課題は4つのサブテーマから成る（① 気象研、② 産総研、③ 国環研、④ 自動車研） 越境（福岡市）および国内汚染（つくば市）事例における粒子の化学・物理観測および細胞曝露実験から、発生源－酸化ストレス原因物質（金属、有機物）－粒子の酸化能－細胞が受ける酸化ストレスの定量的関係を明らかにする。原因物質の担体となる粒子の粒径と吸湿性を明らかにし、酸化能の気道沈着率を算出する。粒子酸化能と酸化ストレスの関係から呼吸器疾患ハザードを定義し、3次元化学輸送・気道沈着結合モデルにより、その発生源別寄与率、地理的分布、季節・日内変化を明らかにする。PM2.5と呼吸器疾患ハザードの変動が相関しない事例があればそれを抽出し、発生頻度やその要因を明らかにする。そして、呼吸器疾患ハザードの低減に効果的なPM2.5個別成分規制の基準となる科学的知見を得る。 〔化学観測・細胞曝露実験〕 市販のPM2.5自動分析装置を活用し、PM2.5酸化能を高時間分解能（1時間）で連続自動測定できる装置を新規開発（②③）し、越境汚染と国内汚染を評価するために、それぞれ福岡市とつくば市において連続観測を行ない、その絶対値と時間変化を明らかにする。酸化能と原因物質の関係を明らかにするために、現在主たる原因物質と考えられている金属とキノン類などの有機物の同時測定を実施する（①④）。PM2.5のフィルタ捕集と、H0-1（ヘムオキシナーゼ-1）アッセイによる肺胞上皮細胞の曝露実験を行い、酸化能と酸化ストレスの関係を評価する（③）。 〔物理観測〕 化学観測と同期してエアロゾルの粒径分布と吸湿性を1時間間隔で連続測定し、また先駆的な電子顕微鏡－自動分析システムを併用して金属と有機物の担体となるエアロゾルの粒径と吸湿性レンジを明らかにする（①）。

	[数値モデル] 粒径分布と吸湿性の時間発展を記述できる3次元化学輸送モデルと、気道内の粒子の吸湿成長を考慮した気道沈着モデルを結合し、本研究で得られた知見に基づいて、呼吸器疾患ハザード予測モデルを構築する（①④）。
平成 29 年度 実施計画	担当サブテーマ 1 3 次元化学輸送・気道沈着結合モデルで、酸化ストレスの主要原因物質である Fe、Ni、Mn、Cu やキノン類等の再現実験を行い、物質濃度および粒子酸化能について、過去の観測結果および前年度につくば市で実施した集中観測結果と比較、検証を行う。また、前年度に採取した電過去電頭サンプル結果を用いて、酸化ストレス原因物質の微物理特性（粒径、吸湿性、形状）を明らかにする。夏季につくば市、冬季に福岡市において、前年度と同様の集中観測を実施する。
波及効果	- 本研究により、呼吸器疾患ハザードとその原因物質の、発生源別寄与率、時空間分布を明らかにすることで、いつ、どの場所の発生源をどの程度削減すれば、いつ、どの場所の呼吸器疾患ハザードがどの程度緩和されるか、の定量的関係を導出できる。 - 本成果は、長期継続的な疫学調査の結果の解釈のため、重量濃度をベースとした環境政策の根拠を示すため、そして費用対効果の高いリスク削減計画の立案のための、重要な基礎資料となり得る。 - PM2.5 より粗大である黄砂の環境管理・影響評価もまた同課題の対象であるが、本研究での春季福岡市での観測においては黄砂も対象とする。黄砂の呼吸器疾患リスクへの影響は、年間を通しての出現頻度は高くないものの、酸化能が高く乳幼児の気道沈着率も高いため、無視はできない可能性があるためである。黄砂の健康影響について新たな知見が得られる。 - エアロゾルを直接ガス交換してプラズマ中に導入可能とした気体試料導入装置（我が国固有の技術で特許取得済）を装備した、ICP-MS 装置を用いた PM 中の微量金属の高時間分解能連続観測（車載の装置による）は、今後、従来法のフィルタによるエアロゾル捕集－実験室での溶液抽出と ICP-MS による分析に取って代わる可能性が大きい。現場でのリアルタイムデータが取得可能となり、Zn、Cu、Mn、Co、Ni 等をはじめ As、Pb、Bi、Hg などの微量金属の現場モニターとして活用できる。 - DTT 消費量等 PM2.5 酸化能の自動観測機器開発は、米国でも行われ論文発表が行われている（Fang et al., AMT, 2015）。米国でも開発が進められたということから、PM2.5 観測や実態解明、影響研究で必須の観測機器として発展する可能性は充分想定される。現時点でその規模を推定するのは困難だが、本研究の成果の程度に応じて、大学や試験機関において普及する可能性があり、より高度化した PM 研究に活用されることが想定できる。