

4BSKM004 太田 葉
指導教員 関根嘉香

1. 緒言

微小粒子状物質 (PM_{2.5}) による大気汚染は健康影響や視程障害をもたらす¹⁾、東アジア地域における共通課題となっている。PM_{2.5}は大気中を浮遊する粒子状物質 (PM) のうち、粒径 2.5 μm の粒子を 50% 除去する装置を通過した粒子であり、様々な発生源に由来する粒子の混合物であることから、その大気中濃度、粒径分布および化学組成は各発生源からの影響度合いにより複雑に変化する。また、日本は中国大陸の風下に位置することから、中国大陸からの長距離輸送が疑われている。中国大陸における PM_{2.5} の発生源は主に石炭燃焼に由来するものであることから、根本的な改善法としてはクリーン代替エネルギーへの転換が必要とされる。本研究は PM_{2.5} による大気汚染の実態を明らかにし、東アジア地域における PM_{2.5} 問題の早期解決に資することを目的とし、以下 3 項目についての調査および検討を行った。

2. 東京都心における PM_{2.5} の長期観測

2.1 方法

2.1.1 PM_{2.5} の捕集

東海大学附属望星高等学校 (東京都渋谷区) にて 2013 年 7 月から 2015 年 5 月、PM_{2.5} サンプラーにて恒量化済みの石英繊維製フィルター上に、流量 16.7 L/min で 7 日間単位で PM_{2.5} を捕集した。捕集済みのフィルターを恒量化後、捕集前後のフィルターの重量差と通気流量から PM_{2.5} 濃度を決定した。

2.1.2 水溶性成分の分析

捕集後のフィルターの一部を 10 mL の超純水で 60 分間振とう抽出後、孔径 0.20 μm のフィルターでろ過して抽出液とし、抽出液中に含まれる水溶性成分をイオンクロマトグラフィーで分析した。

2.1.3 後方流跡線解析

国立環境研究所地球環境研究センターで開発した Web-based METEX を用いて、後方流跡線解析を行った (経度 139.7°、緯度 35.6°、トラジェクトリー 72 時間、高度 500 m)。

2.2 結果

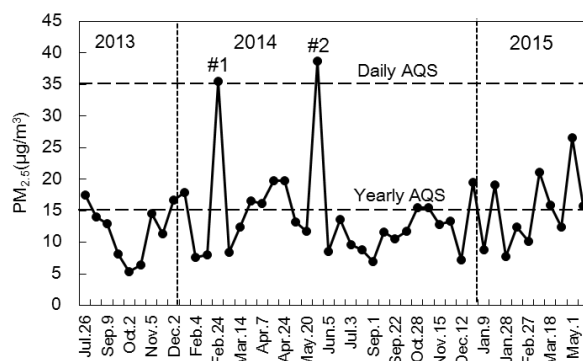


Fig.1 Variation of air concentration of PM_{2.5} (n=46)

平均 PM_{2.5} 濃度は $14 \pm 6.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、環境基準の 1 年平均値よりも低い値であった。一方、2014 年 2 月末 (#1) と 2014 年 5 月末 (#2) に環境基準の 1 日平均値を超える高濃度エピソードが確認された。これらのエピソードは含有水溶性イオン濃度と後方流跡線解析結果より、#1 では中国北部由来の SO₄²⁻ や NO₃ を多く含む粒子、#2 では中国から西日本を通過した黄砂を含む粒子の長距離輸送が示唆された。

3. ジチオトレイトール (DTT) アッセイによる PM の酸化能の測定

キノン類を含む PM は酸化能を有し、活性酸素 (ROS) の生成を促すことから健康に影響を与える。

3.1 方法

3.1.1 PM の捕集

東海大学湘南校舎 (神奈川県平塚市) の実験室および屋上にて 2014 年 9 月、ハイボリュームエアサンプラーに分粒装置を用いて、石英繊維製フィルター上に、流量 500 L/min で 24 時間単位で PM_{2.5} と浮遊粒子状物質 (SPM) を捕集した。

3.1.2 DTT アッセイ²⁾

捕集後のフィルターを 10 mL の超純水で 30 分間超音波抽出後、0.5 mL 抽出溶液に 3 mL の 100 μM-DTT/0.1 M-リン酸緩衝溶液を加え、37°C にて反応させた。一定時間ごとに反応溶液を 0.5 mL 採取し、0.5 mL の 10%-トリクロロ酢酸溶液を加え、反応を停止させ、50 μL の 10 mM-5,5'-ジチオビス (2-ニトロ

安息香酸) /0.1 M-リン酸緩衝溶液と 2 mL の 0.4 M-トリス (ヒドロキシメチル) アミノメタン溶液を加え、波長 412 nm における吸光度を測定した。

3.2 結果

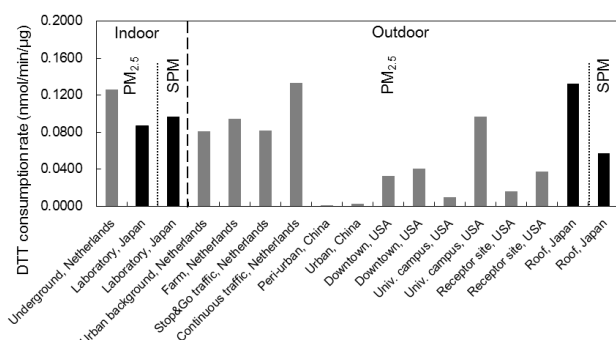


Fig.2 DTT consumption rate of each sample normalized by sampling mass. black: this study gray: cited from references
室内捕集試料の DTT 消費速度は SPM がわずかに高かった。一方、室外捕集試料の DTT 消費速度は PM_{2.5} が顕著に高く、諸外国のデータと同等レベルの DTT 消費速度を示した。

4. 中国のエネルギー転換による PM_{2.5} 大気汚染の改善効果シミュレーション

中国における PM_{2.5} 濃度と硫酸イオン (SO₄²⁻) 濃度には相関があり、SO₄²⁻は二酸化硫黄 (SO₂) の酸化生成物であることから、日中環境分析用産業連関表を用いて、中国の年間 SO₂ 排出量を推定し、石炭で賄われる発熱量の半分を天然ガスに転換した場合の SO₂ 排出量をもとに、大気中 SO₂ 濃度を推定し、SO₂ からの大気反応により生成する SO₄²⁻濃度を推定し、PM_{2.5} 濃度の面分布を作成し、PM_{2.5} に起因する早期死亡者数の減少に対する寄与を見積もった。

4.1 大気シミュレーションモデル

4.1.1 マルチボックスモデル

年間 SO₂ 排出量 (t/年) から年平均大気中 SO₂ 濃度 (mg/m³) の面分布への変換には、橋本ら³⁾が開発したマルチボックスモデルを用いた。また、SO₂ 濃度分布シミュレーションを PM_{2.5} 濃度に拡張するため、PM_{2.5} の主成分である SO₄²⁻に注目し、SO₄²⁻濃度推定用のシミュレーションモデルを新たに開発した。

4.1.2 大気中 SO₂ 濃度分布の推定

推定されて中国全体の SO₂ 排出量 25,808,987 t/年を、中国環境統計年鑑で公表されている SO₂ 排出量の省別構成比をもとに中華人民共和国全国分県人口統計資料に基づいて各省に分配した。

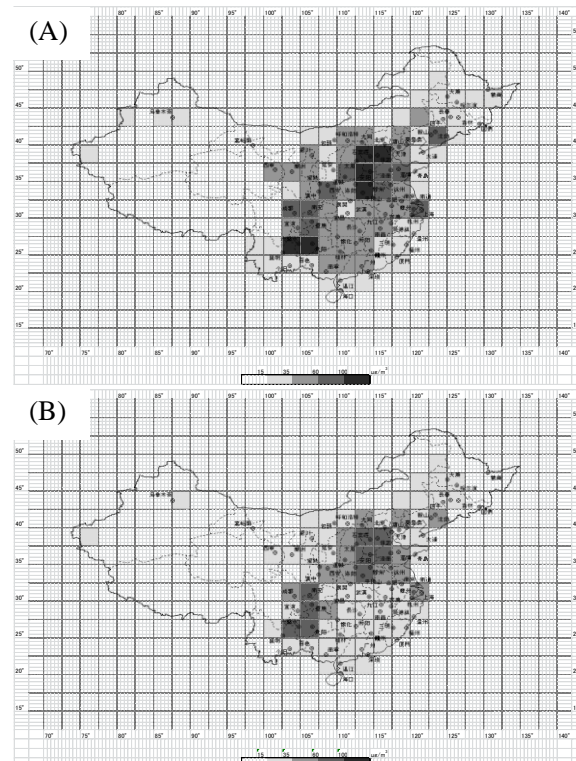


Fig.3 Distribution of PM_{2.5} in China based on actual SO₂ emission in 2007 (A) and energy conversion scenario (B)

4.2 早期死亡者数の減少効果

早期死亡者数の推定は、WHO Global of Disease Assessment に基づき、PM_{2.5} の長期曝露による総死亡相対リスクをシミュレーションモデルにより推定した。現実シナリオの場合、年間 115 万人が早期死亡するリスクが推定された。一方、天然ガスに転換した場合の早期死亡者数は年間 73 万人となり、42 万人の減少が見込まれると推定された。

5. まとめ

日本における PM_{2.5} による大気汚染レベルは深刻ではないものの、室外で捕集した PM_{2.5} には ROS の生成に起因する成分が多く含まれていたことが示唆された。また、中国におけるエネルギー転換は、PM_{2.5} 濃度を低減させ、早期死亡者を減少させることから、政策に反映させることで PM_{2.5} による大気汚染の有効な緩和策となり得る。

【参考文献】 1) 関根嘉香, 室内環境, 17(1),19-35(2014)

2) A.K. Cho et al., *Environ Research*, 99, 40-47(2005)

3) 橋本進一郎, 東海大学大学院平成 16 年度博士論文(2005)

【謝辞】本研究は JST 中高生の科学部活動振興プログラムおよび JSPS 科研費 26410198 の助成を受けたものです。田園調布学園大学学長 桜本光先生、アーガス・メディア・リミテッド 吉武惇二先生、武蔵野大学 平湯直子先生に御礼申し上げます。