

「瀬戸内海周辺における PM_{2.5} 高濃度汚染の要因解明」

公益財団法人ひょうご環境創造協会 兵庫県環境研究センター

中坪 良平

1 研究の背景と目的

2009 年 9 月に大気環境基準が告示された大気中微小粒子状物質（空気動力的粒径が 2.5 μm 以下の粒子状物質の総称：PM_{2.5}）の環境基準達成率は、近年大幅な改善傾向がみられている。その一方、未だ環境基準を達成出来ていない年平均値等の上位測定局が瀬戸内海周辺に集中しており、環境省によれば 2015 年度の年平均値の上位 10 局のうち 8 局を、日平均値の年間 98%値の上位 10 局のうち 9 局を瀬戸内海周辺の測定局が占めている（環境省、2017）。そして、この瀬戸内海周辺の高濃度化には、中国からの PM_{2.5} の長距離輸送だけでなく、周辺工業地帯、船舶、瀬戸内海特有の気象条件等、ローカルな汚染要因が関係していると考えられ、その科学的解明が待たれている。

PM_{2.5} 大気汚染の機構は、九州地方では越境汚染が、関東の都市部ではローカル汚染が支配的であると考えられるが、瀬戸内海沿岸部はこれらに加え、南北を山地に挟まれた閉鎖的な地形がもたらす大気循環の効果により、汚染機構が複雑になっていると考えられる。当該地域の大気汚染対策を検討するためには、陸上での観測だけでなく、洋上も含めた面的な PM_{2.5} 汚染の実態把握が必要である。また、PM_{2.5} は空気動力的特性により分級捕集された粒子群であることから、単一ではなく様々な成分で構成されており、汚染機構の解明のためには質量濃度の観測だけでなく成分組成の把握が重要である。

本研究では、神戸大学大学院海事科学研究科付属練習船深江丸（以下、深江丸）に PM_{2.5} 及びガス状物質の観測機器を搭載し、研究航海時を利用して洋上における大気観測を実施し、洋上を含めた大気汚染の空間分布を明らかにする。また、神戸市須磨区に設置した大気エアロゾル化学成分連続自動分析装置により、PM_{2.5} 成分濃度を 1 時間単位で連続観測し、瀬戸内海沿岸部における PM_{2.5} の汚染特性も考察する。

2 研究方法・研究内容

(1) 洋上大気観測

深江丸の船内に PM_{2.5}、二酸化硫黄 (SO₂) 及び窒素酸化物 (NO_x) の観測機器を設置し、瀬戸内海及び周辺海域を航行中に大気観測を実施した。洋上大気は、船外の煙突前方に設置した吸気口（海上高さ約 9m）からブレードホース (PM_{2.5} 用) 及びテフロンチューブ (ガス状物質用) を用いて船内に引き込んだ。船内には、紀本電子工業(株)の PM_{2.5} 自動計測器 (PM-712)、SO₂ 自動計測器 (SA-633)、NO_x 自動計測器 (NA-623) を設置し、PM_{2.5} 及びガス状物質を 1 時間単位で連続測定した。深江丸及び観測機材の設置状況を図 1 に示す。なお、PM_{2.5} 濃度の常時監視データの解析は環境省大気汚染物質広域監視システム「そらまめ君」で公開されている PM_{2.5} 濃度の 1 時間値の速報値を用いた。



図 1 深江丸及び観測機材の設置状況（左；深江丸、中；吸気口位置、右；観測機材）

(2) PM_{2.5}成分濃度の高時間分解能観測

陸域でのPM_{2.5}成分濃度の観測は、大気エアロゾル化学成分連続自動分析装置（紀本電子工業㈱、ACSA-14）を使用し、ひょうご環境創造協会7階屋上（神戸須磨区行平町3-1-18、北緯34.65度、東経135.13度、高度約30m）で実施した。ACSA-14は、バーチャルインパクターにより粗大粒子と微小粒子を分離してPTFEテープろ紙上に捕集し、水に可溶な種々の成分を1時間単位で測定することが出来る。本研究では、PM_{2.5}質量濃度、微小粒子中の光学的ブラックカーボン濃度（OBC）、硝酸イオン濃度（NO₃⁻）、水溶性有機炭素濃度（WSOC）、硫酸イオン濃度（SO₄²⁻）の測定結果を解析に用いた。ACSA-14観測地点及び観測機材の設置状況を図2に示す。なお、ACSA-14による1時間単位の観測は、2014年10月から継続している。

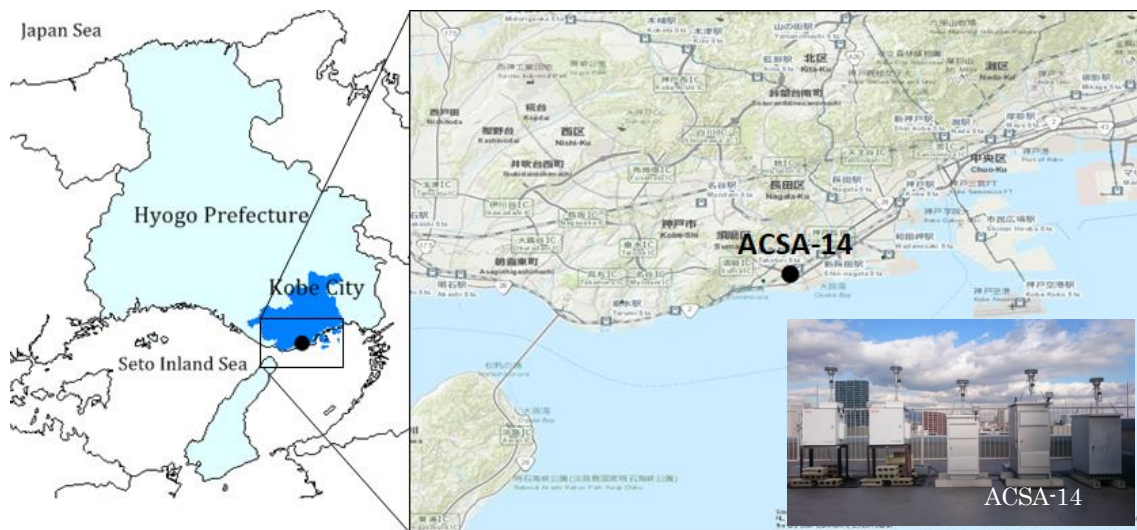


図2 ACSA-14観測地点及び観測機材の設置状況

3 研究成果

(1) 瀬戸内海洋上におけるPM_{2.5}濃度の空間分布

2017年の春季研究航海（3月15日～22日）において、深江丸が瀬戸内海を航行した日のPM_{2.5}濃度（1時間値）の空間分布を、陸域で実施されたPM_{2.5}の常時監視データの日平均値（1～24時）とともに図3に示した。播磨灘から豊後水道を航行した3月16日（往路）のPM_{2.5}濃度は、洋上及び陸上ともに低濃度であり、面的な分布も洋上と陸上とで大差ないように見える。一方、別府湾から備後灘を航行した3月20日（復路）のPM_{2.5}濃度は、洋上及び陸上ともに高濃度であり、陸上での分布は瀬戸内海でも播磨灘や大阪湾周辺で高濃度となった。洋上の分布は、別府湾から来島海峡付近までの間に高濃度が観測され、燧灘から備後灘までの間は低濃度であった。同様に、2017年の夏季研究航海（8月25日～31日）において瀬戸内海を航行した8月29日及び30日におけるPM_{2.5}濃度の空間分布を図4に示した。別府湾から燧灘を航行した8月29日の洋上におけるPM_{2.5}濃度は、別府湾付近及び斎灘（愛媛県北西部）付近でやや高濃度となった。一方、8月30日は四国南部の陸域で高かったが、瀬戸内海洋上では、周辺の陸域と同様に低濃度であった。本観測から、瀬戸内海洋上のPM_{2.5}濃度の分布は、周辺の陸域と概ね同様の分布を示すが、別府湾～来島海峡付近で高濃度になりやすい可能性があった。

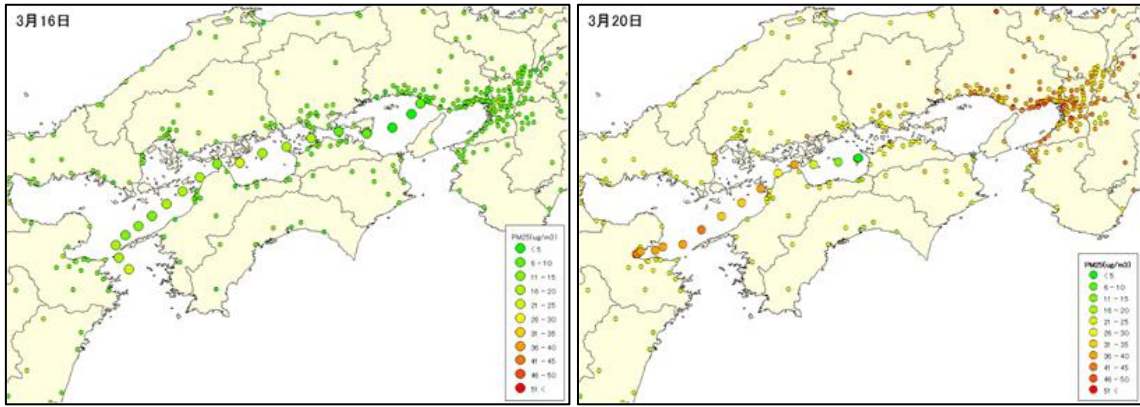


図3 3月16日及び3月20日におけるPM_{2.5}濃度の空間分布

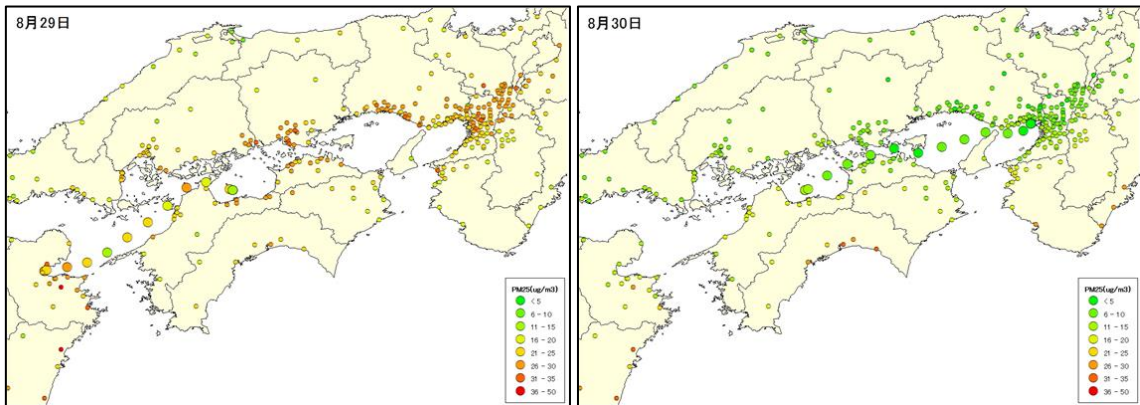


図4 8月29日及び8月30日におけるPM_{2.5}濃度の空間分布

(2) PM_{2.5}成分濃度の高時間分解能観測結果

図5に、2017年5月29日～6月2日にACSA-14により観測されたPM_{2.5}成分濃度の1時間値の推移を示した。この期間は、PM_{2.5}の1時間値が最大で48.0 µg/m³ (5月30日16時)に達し、翌日も44.3 µg/m³ (6月1日17時)となった。成分濃度の時間変化は、PM_{2.5}の濃度上昇とともにSO₄²⁻濃度が大きく増加しており、SO₄²⁻濃度がPM_{2.5}の濃度レベルを支配していた。一方、図6に、同期間におけるPM_{2.5}中のWSOC及びNO₃⁻、直近の常時監視局(須磨)における光化学オキシダント(Ox)濃度の時間推移を示した。WSOCとNO₃⁻は同様の時間変化を示し、午前中から午後にかけて高く、夜間に低くなる周期変動

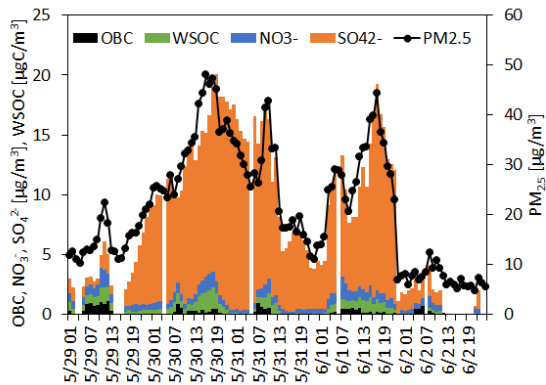


図5 ACSA-14によるPM_{2.5}濃度及び成分濃度の1時間値の推移(2017年5月29日～6月2日)

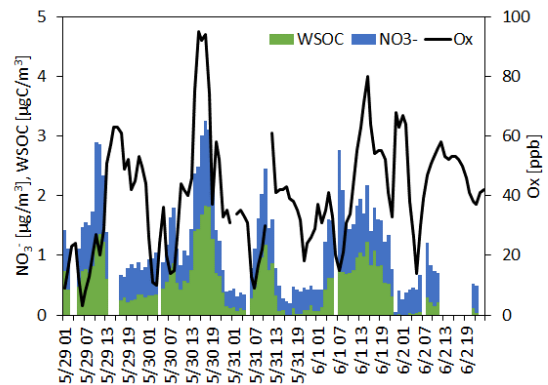


図6 WSOC及びNO₃⁻、Ox濃度の1時間値の推移(2017年5月29日～6月2日)

を示した。5月30日にはこれらの成分濃度とOx濃度のピークトップがほぼ一致しており、光化学二次生成の影響で高濃度となったと考えられる。

図7に、2015年及び2016年度の観測で得られたPM_{2.5}成分濃度の1時間値から求めた夏季(6~8月)におけるWSOC濃度の時刻別平均値を示した。WSOCの日内変化は、日中の13~14時頃をピークとする一山型のパターンとなったことから、光化学反応による二次粒子の生成が、本観測地点の夏季におけるWSOCの濃度変化の支配要因であると考えられる。同様に、図8に冬季(12~2月)におけるNO₃濃度の時刻別平均値を示した。年度によりパターンが異なり、2015年度は2~3時頃と9~10時頃をピークとする二山型の、2016年度は9~10時頃をピークとする一山形のパターンとなった。NO₃⁻は、光解離の起こらない夜間に、OxによりNO₂からNO₃への酸化が進み、さらにNO₂とNO₃の反応から生成したN₂O₅がH₂Oと反応することでHNO₃が生成され、NH₃との中和反応によりNH₄NO₃が形成される。本観測では、9~10時頃にもピークがみられたことから、NO₃⁻の濃度変化には夜間の二次生成以外の要因が関与していると考えられる。

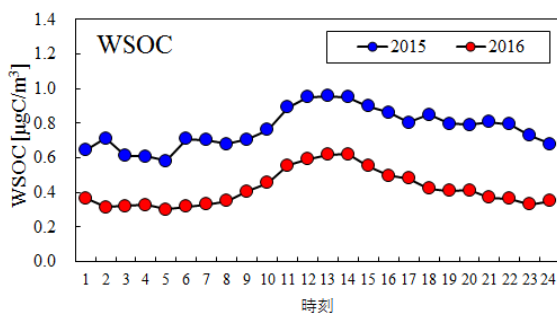


図7 夏季(6~8月)におけるWSOC濃度の時刻別平均値

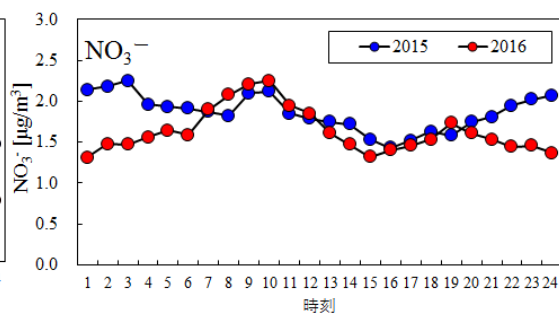


図8 冬季(12~2月)におけるNO₃濃度の時刻別平均値

4 生活や産業への貢献及び波及効果

全国的にPM_{2.5}濃度が低下する中で、高濃度測定局が瀬戸内海沿岸部に集中していることが明らかとなり、ローカルな汚染要因や瀬戸内特有の閉鎖的な地形がもたらす大気循環の影響等が危惧されている。本研究では、船舶を活用した洋上大気観測により、これまであまり観測データのない瀬戸内海洋上におけるPM_{2.5}濃度の分布を明らかとし、洋上が陸域と同程度の濃度レベルを示すことや、洋上でも局地的に高濃度となる地点が存在する可能性を示した。また、PM_{2.5}の成分濃度を高時間分解能で観測することにより、光化学反応による二次粒子の生成が、瀬戸内海沿岸部におけるPM_{2.5}の濃度変化に寄与している可能性を示した。本研究成果は、瀬戸内海沿岸部に特有のPM_{2.5}高濃度現象を低減させるために有用な知見を提供するものである。

【参考文献】

環境省(2017)「平成27年度 大気汚染の状況」

【謝辞】

本研究は、大阪市立環境科学研究センター 板野泰之 研究主任、大阪府立環境農林水産総合研究所 山本勝彦 技師・和田匡司 研究員、神戸大学大学院海事科学研究科 山地一代 准教授と共同で実施した。また、洋上大気観測では、神戸大学内海域環境教育研究センター 林美鶴 准教授、神戸大学海事科学部 川本雄大 氏、深江丸 矢野吉治 船長はじめ乗組員の皆様に大変お世話になりました。深く感謝申し上げます。