

PM2.5 の発生源別寄与割合等に係る知見の整理

1. 平成 30 年度の成分測定データを用いた発生源別寄与割合の推計

PM2.5 濃度を低減させる有効な対策を立案するためには、影響の大きい発生源を把握する必要がある。また、中国における大気汚染対策の進行などによる越境大気汚染の減少など、国内及び国外の発生源からの影響は年々変化してきていることが想定される。このため、平成 30 年度の PM2.5 成分測定データを用いた PMF (Positive Matrix Factorization) 解析¹を実施した。

1.1. 因子プロファイル

今回の解析に適していると考えられる 9 因子モデルの各因子のプロファイルを図 1 に示す。指標元素の % of species sum に基づき、各因子に対応する発生源をそれぞれ表 1 のように設定した。第 1 因子については、OC (有機炭素) 及び soot-EC (煤状の元素状炭素) の % of species sum が大きい点は自動車排気ガスに近いものの、硫酸アンモニウムが一定量配分されていることと整合しない。特定の発生源プロファイルと一致しないこと、また、寄与割合が地域・季節に関係なく概ね一定であること (図 2) から、大気中にバックグラウンドとして存在する長寿命粒子であると見なした。それ以外の因子については、既存の知見と概ね整合的な因子プロファイルとなっている。

¹ ある地点で観測された PM2.5 の成分濃度を基に、その濃度に影響を及ぼしたであろう各種発生源の寄与を統計的に推定する手法 (レセプターモデル) の一種であり、濃度の変動傾向が類似した成分からなる因子と、各因子の寄与割合とを同時に推定する手法。

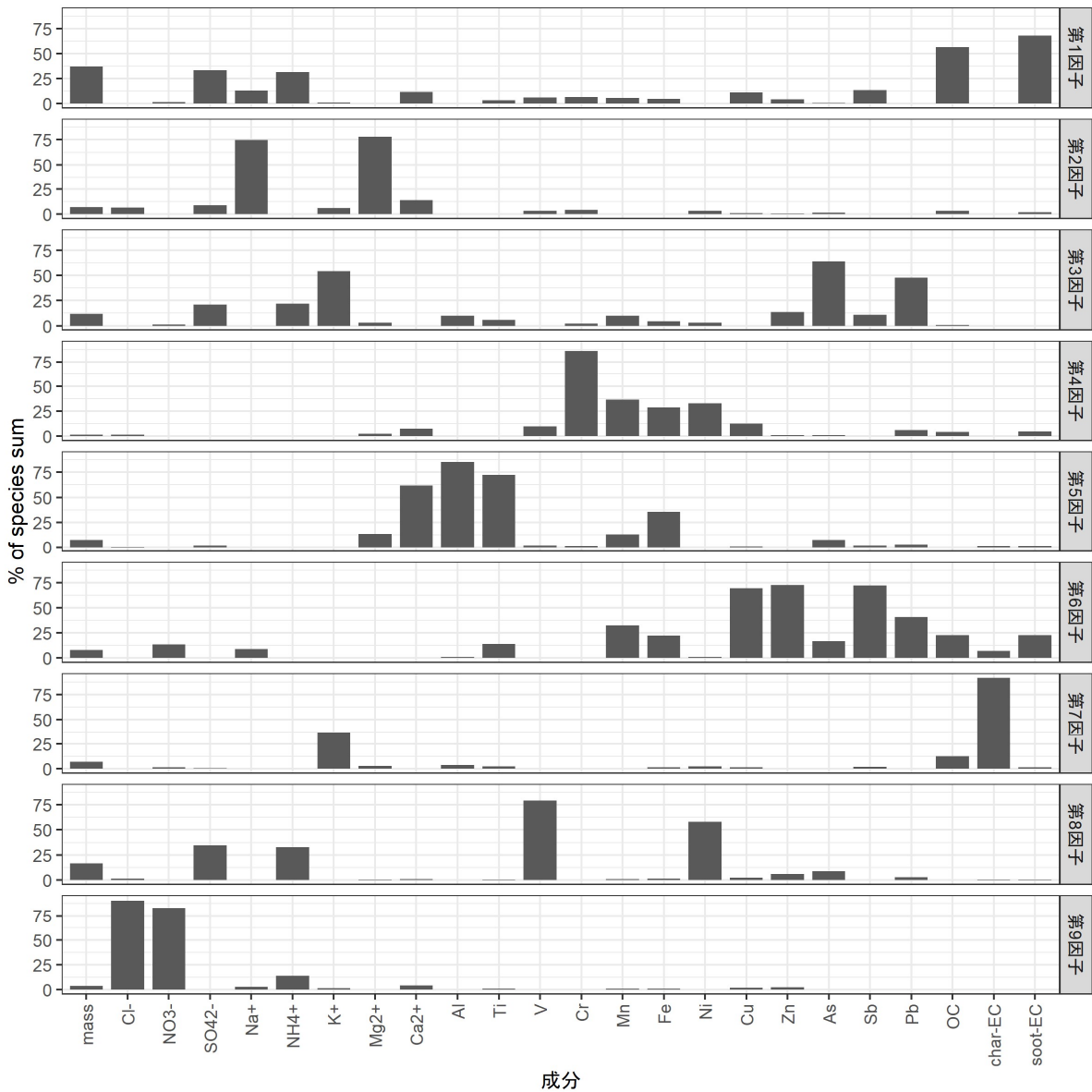


図 1 9 因子モデルの因子プロフィール

表 1 9 因子モデルにおける各因子の解釈

因子	対応付けた発生源	指標とした成分
第 1 因子	バックグラウンド	
第 2 因子	海塩	Cl ⁻ 、Na ⁺ 、Mg ²⁺
第 3 因子	石炭燃焼	As、Pb
第 4 因子	鉄鋼	Cr、Mn、Fe
第 5 因子	土壌	Ca ²⁺ 、Al、Ti
第 6 因子	自動車	Cu、Zn、OC、soot-EC
第 7 因子	バイオマス燃焼	K ⁺ 、OC、char-EC
第 8 因子	重油燃焼	V、Ni
第 9 因子	半揮発性物質	Cl ⁻ 、NO ₃ ⁻

1.2. 発生源別寄与割合の推計結果

9 因子モデルにより推計された地域・季節毎の平均発生源別寄与割合を図 2 に示す。

質量濃度に関しては、空間的な傾向として、西の地域ほど高くなる傾向がみられた。また、季節的な傾向として、九州・沖縄以外の地域では、春・夏に高く、秋・冬に低い傾向がみられた。九州・沖縄では、冬の濃度が春・夏と同程度となっている。

寄与割合に関しては、「バックグラウンド」の寄与が全地域において最も大きく、季節的な変動は比較的小さい。「重油燃焼」の寄与は全地域の春・夏季に大きくなる傾向がみられる。「石炭燃焼」の寄与は西の地域の冬季に大きくなる傾向がみられ、これは越境汚染の影響であると考えられる。「バイオマス燃焼」の寄与は、関東地方及び九州地方の秋・冬季に大きくなる傾向がみられる。

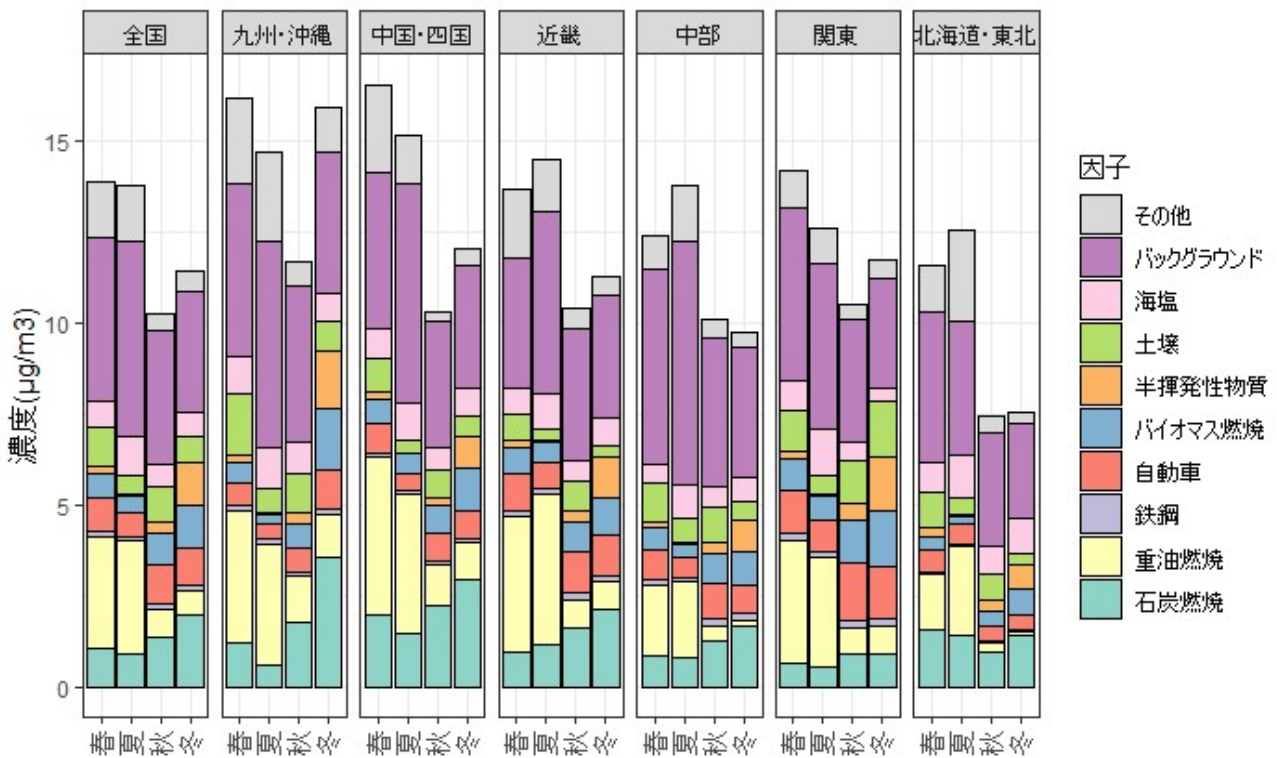


図 2 平成 30 年度の地域・季節毎の平均発生源別寄与割合 (9 因子)

2. 平成 30 年度の PM2.5 高濃度事例に係る調査

環境基準の非達成要因について検討するため、平成 30 年度の PM2.5 高濃度事例に係る文献調査、達成局及び非達成局の周辺における大気汚染物質排出量の比較を実施した。

2.1. 平成 30 年度の PM2.5 高濃度事例に係る文献調査

平成 30 年度に発生した PM2.5 高濃度事例に係る文献について、第 60 回大気環境学会年会講演要旨集から抽出し、その内容を整理した（表 2）。

4 月下旬～5 月上旬に九州地方及び山陰地方で発生した高濃度事例については、後方流跡線解析の結果、シベリア南東部及び中国北東部からの気塊の流入が確認された。シベリア南東部では、4 月 27 日に森林火災が発生していた。また、中国北東部からの気塊の流入が確認された期間における PM2.5 組成は、 SO_4^{2-} 及び NH_4^+ が高い割合を占め、人為起源の硫酸アンモニウム塩の存在が示唆される。以上のことから、この高濃度事例はシベリアで発生した森林火災及び大陸由来の人為起源の汚染が要因であると示唆された。

7 月中旬に中部地方以西で発生した高濃度事例については、火山からの SO_2 排出量を 0 としたシミュレーションを行った結果、 SO_4^{2-} 濃度の上昇が確認できなかった。また、前方流跡線解析より、7 月 16 日に噴火した桜島の噴霧が高濃度観測地点に到達していたため、桜島の噴火が要因であると示唆された。高濃度が長期化した理由としては、火山から噴出した SO_2 が九州西海上に停滞したことで、 SO_2 の粒子化が進んだことが要因であると示唆された。

8 月上旬に東京都臨海部で発生した高濃度事例については、重油燃焼の指標とされるバナジウム (V) が夜間に明瞭なピークを示しており、同時期において臨海部の SO_2 濃度も上昇していた。濃度上昇時にはどちらも海寄りの南風が卓越していたことから、船舶等の重油燃焼が要因であると示唆された。

2019 年 2 月下旬～3 月上旬に北海道地方及び東北地方北部で発生した高濃度事例については、同時期にシベリア南東部で森林火災が派生しており、バイオマス燃焼の指標とされるレボグルコサンが非常に高濃度であった。同時に、二次生成の指標であるフタル酸の濃度が高いことや、プラスチック燃焼の指標とされるテレフタル酸と PM2.5 濃度の変動が比較的一致していることなどから、森林火災に加えて二次生成及びプラスチック燃焼が要因であると示唆された。

表 2 PM2.5 の高濃度事例の解析に関する文献の結果

出典	高濃度日	高濃度地域	最高濃度	高濃度要因
梅津ら (2019)	2018 年 4 月 27 日～5 月 2 日	九州地方・山陰 地方	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上 (1 時間値)	4 月 27～28 日 バイオマス燃焼の越境輸送 (4 月 27 日にシベリア南東部で 森林火災が発生) ----- 4 月 29 日以降 大陸由来の硫酸アンモニウム塩 (人為起源)
森ら (2019)	2018 年 7 月 13 日～21 日 (太宰府・隠岐・射水： 7 月 17 日～20 日)	中部地方以西	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上 (1 時間値)	7 月 16 日の桜島の噴火 (太宰府・隠岐・射水)
山村ら (2019)	2018 年 7 月 16 日～21 日	九州地方・山陰 地方・瀬戸内地 方・北陸地方	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上 (日平均値)	・7 月 16 日の桜島の噴火 ・火山から噴出した SO ₂ が九州 西海上で停滞し粒子化
齋藤ら (2019)	2018 年 8 月 1 日～4 日	東京都 臨海部	30～40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1 時間値)	船舶等の重油燃焼
池盛ら (2019)	2019 年 3 月 1 日、 3 月 3 日～5 日	北海道、 東北地方北部	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上 (1 時間値)	3 月 1 日 ・バイオマス燃焼の越境輸送(シ ベリア南東部森林火災) ・二次生成(指標のフタル酸等が 高濃度) ・プラスチック燃焼(指標のテ レフタル酸が高濃度) ----- 3 月 3 日～5 日 ・二次生成(指標のフタル酸等が 高濃度) ・プラスチック燃焼(指標のテ レフタル酸が高濃度)

2.2. 達成局及び非達成局の周辺における大気汚染物質排出量の比較

固定発生源・自動車・船舶といった発生源が PM2.5 濃度に与える影響について調べるために、各測定局における平成 30 年度の PM2.5 環境基準の達成状況と、各測定局周辺における各発生源からの大気汚染物質排出量との関係を調べた。

各発生源からの排出量については、次のように取得した。

固定発生源及び自動車からの排出量については、環境省「平成 30 年度 PM2.5 排出インベントリ及び発生源プロファイル業務」において作成された、2015 年度を対象とした PM2.5 等大気汚染物質排出インベントリを参照した。同インベントリでは、各発生源・過程からの各大気汚染物質の排出量が、3 次メッシュ（約 1 km 四方）単位で与えられている。本調査では、固定発生源に対応する業種を、製造業（23 業種）、鉄鋼業、電気・地域熱供給・都市ガス製造、廃棄物処理、農・林・水産業、鉱業、建設業、とした。また、自動車からの排出量は、始動時、走行時、燃料蒸発、巻き上げ粉塵、タイヤ摩耗の各過程からの排出量の合計とした。

船舶からの排出量については、平成 30 年度環境研究総合推進費研究課題「2020 年船舶燃料油硫黄分規制強化による大気質改善効果の評価（GLIMMS-AQ）」において整備中の排出インベントリのうち、2015 年度を対象としたものを参照した。同インベントリの空間解像度も 3 次メッシュ（約 1 km 四方）である。本調査では、船舶からの排出量は、AIS 陸上局受信範囲内の外航航行船舶、AIS 陸上局受信範囲内の内航航行船舶、AIS 搭載義務のない 500GT 未満の航行船舶、停泊船舶からの排出量の合計とした。

これらの排出量データを用いて、平成 30 年度の PM2.5 環境基準達成局と非達成局とで、測定局を中心とする約 10 km 四方の領域からの大気汚染物質排出量の比較を行った（図 3、図 4 図）。

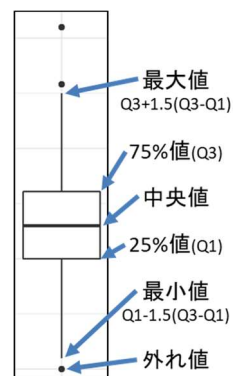
一般局については、大半の地域において、非達成局は達成局よりも測定局周辺における合計 PM2.5 排出量が多い傾向が見られた。特に合計 PM2.5 排出量の差が顕著だった地域は、九州・沖縄地方（短期基準非達成局）、中国・四国地方（長期基準非達成局）、近畿地方（長期・短期基準非達成局）であった。これらの地域について、測定局周辺における PM2.5 排出量の発生源別内訳を確認すると、非達成局は達成局よりも固定発生源からの PM2.5 排出量が多い傾向が見られた。ただし、達成局の中にも一部、周辺における合計 PM2.5 排出量の多い測定局が含まれることに留意する必要がある。

自排局については、近畿の長期基準非達成局を除き、非達成局と達成局の測定局周辺における合計 PM2.5 排出量の間には大きな差はみられなかった。

【図 3 及び 4 について】

排出量データ N 個を並べて、N/2 番目の値が中央値、N/4 番目の値が 25% 値 (Q1)、3N/4 番目の値が 75% 値 (Q3) となる。

また、最大値を $Q3 + 1.5 * (Q3 - Q1)$ 、最小値を $Q1 - 1.5 * (Q3 - Q1)$ とし、その範囲外の値はすべて外れ値とする。



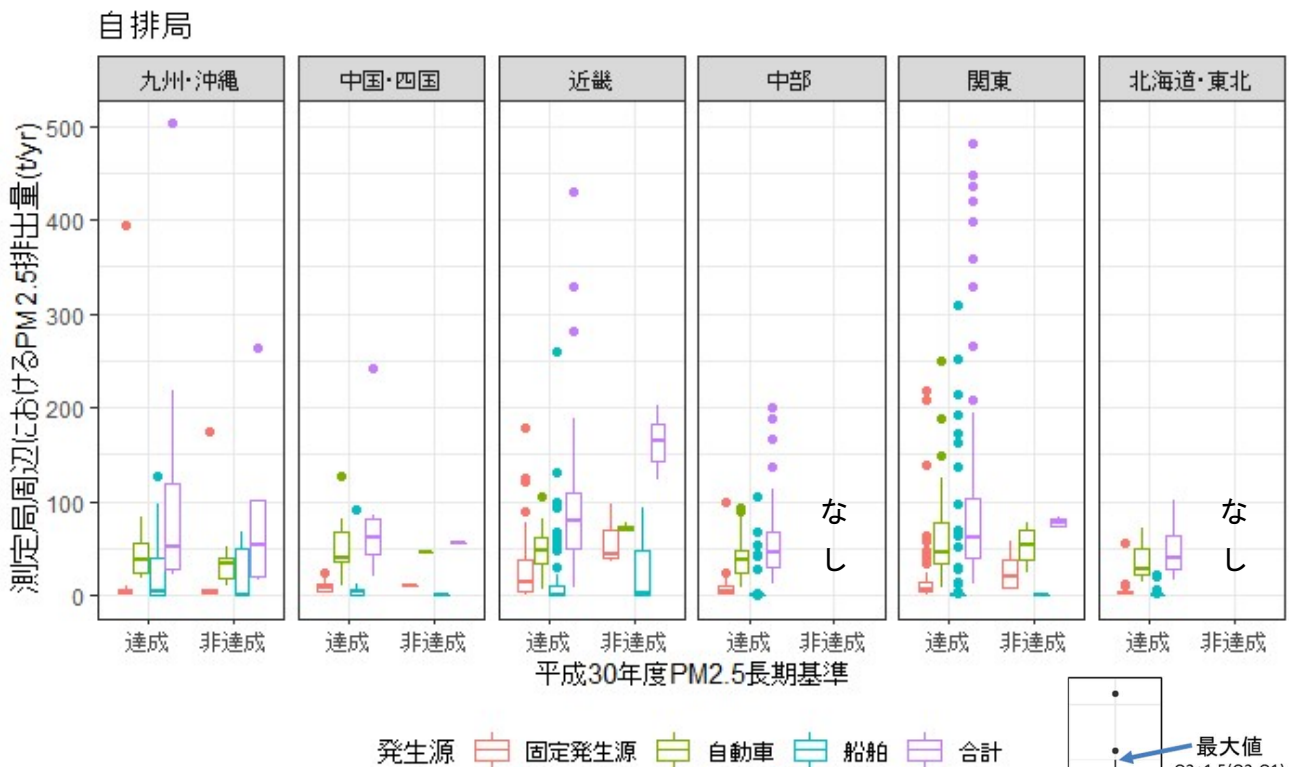
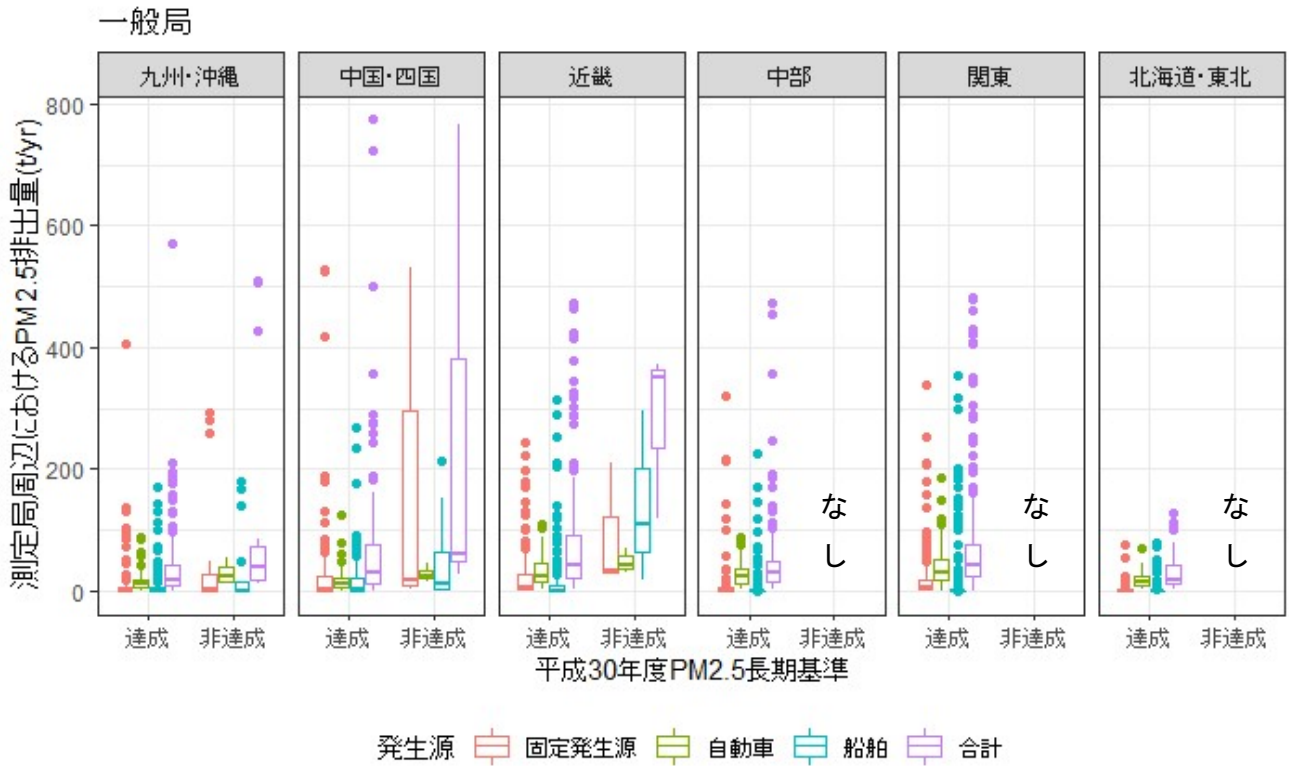
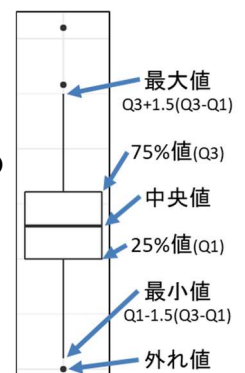


図3 平成30年度のPM2.5長期基準達成局及び非達成局の周辺からのPM2.5排出量の比較



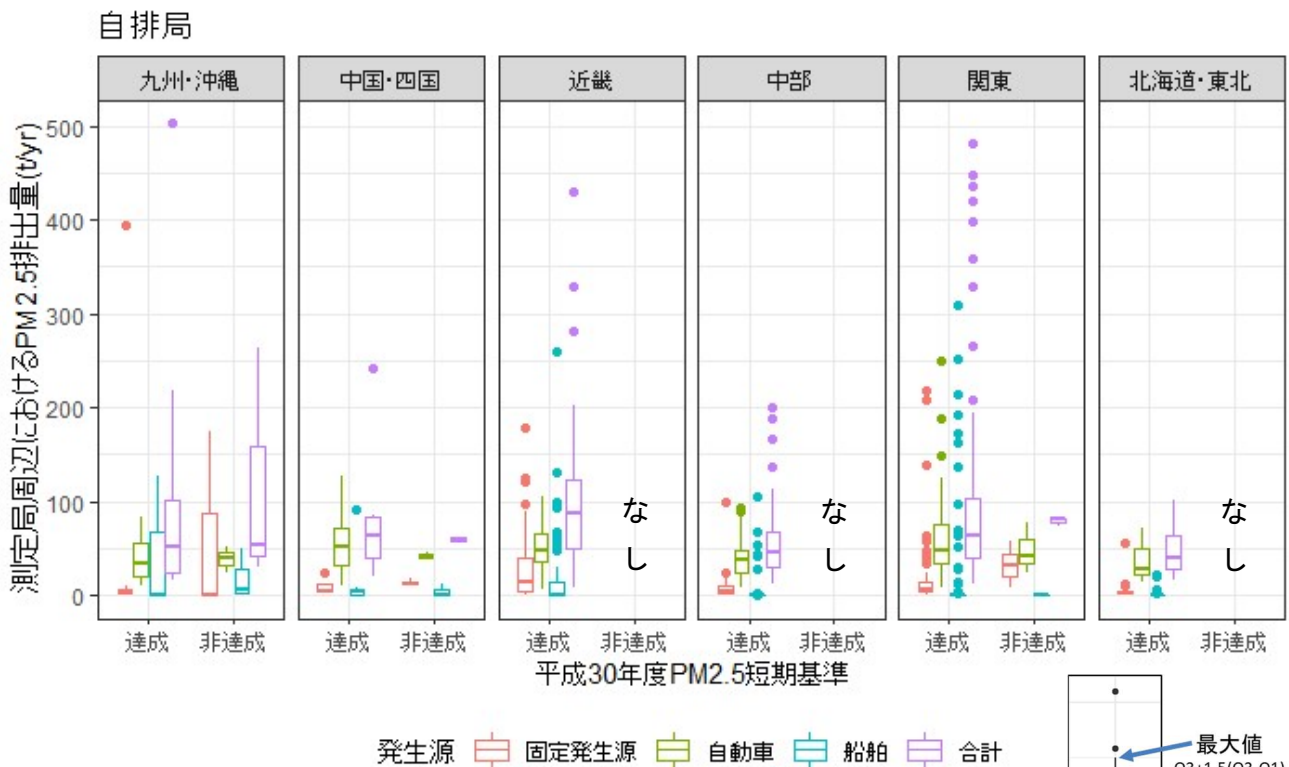
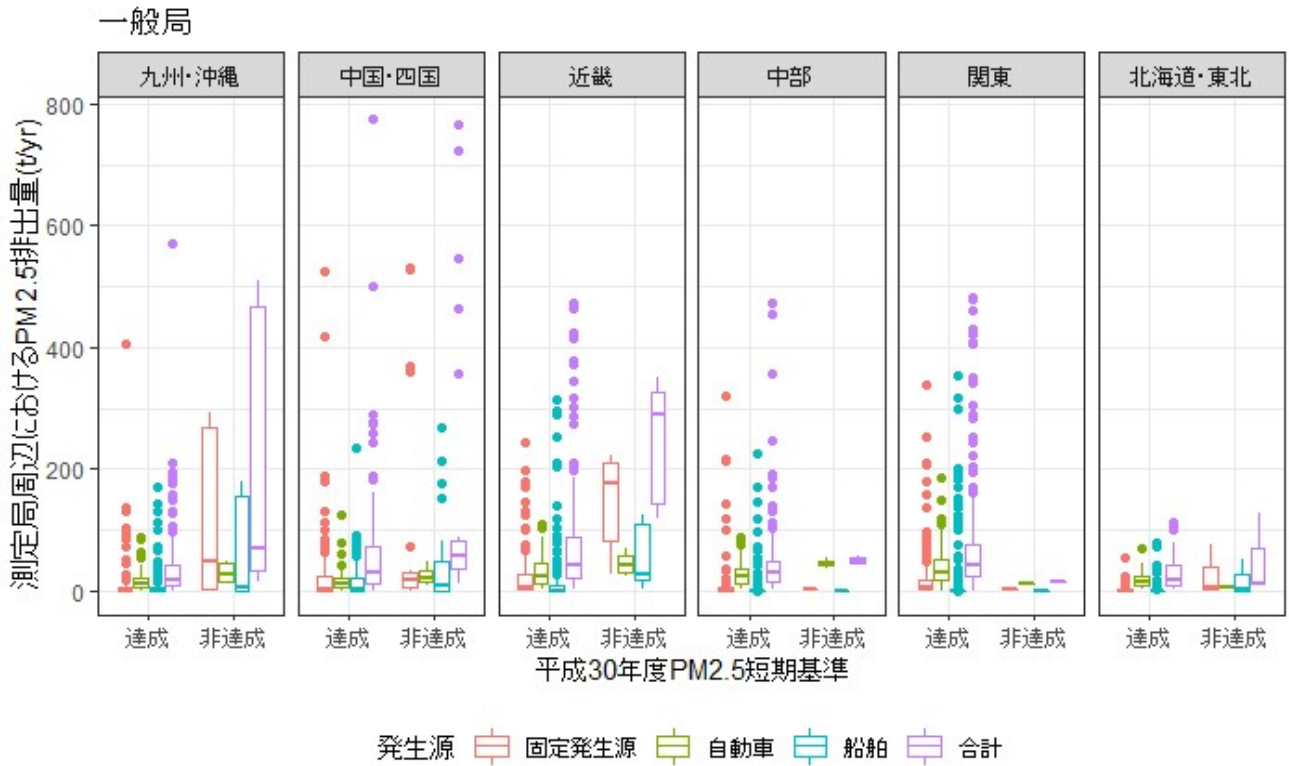
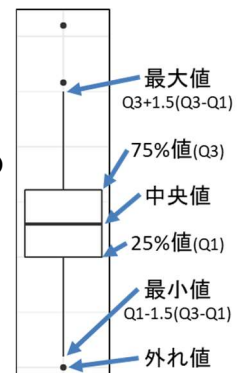


図4 平成30年度のPM2.5短期基準達成局及び非達成局の周辺からのPM2.5排出量の比較



3. 大規模固定発生源周辺における排出量分布及び風向別 PM2.5 濃度の可視化

固定発生源による周辺の PM2.5 濃度への影響をさらに詳しく調査するために、大規模固定発生源を含む地域を全国で数地点選定し、近傍の一般局における風向別大気汚染物質濃度解析を行った。

解析の結果、固定発生源からの風向時に汚染物質濃度が高くなる傾向が見られた。(図5、図6、図7)

(1) 測定局 A (大阪府)

測定局 A から北西約 3 km の地点に排出量の多い固定発生源が存在する。

SO₂ 及び春～秋季の PM_{2.5}・SPM 濃度が、固定発生源の存在する北西の風向時に最も高くなる傾向が見られる。NO_x 濃度については、付近を通る幹線道路の影響が示唆される。

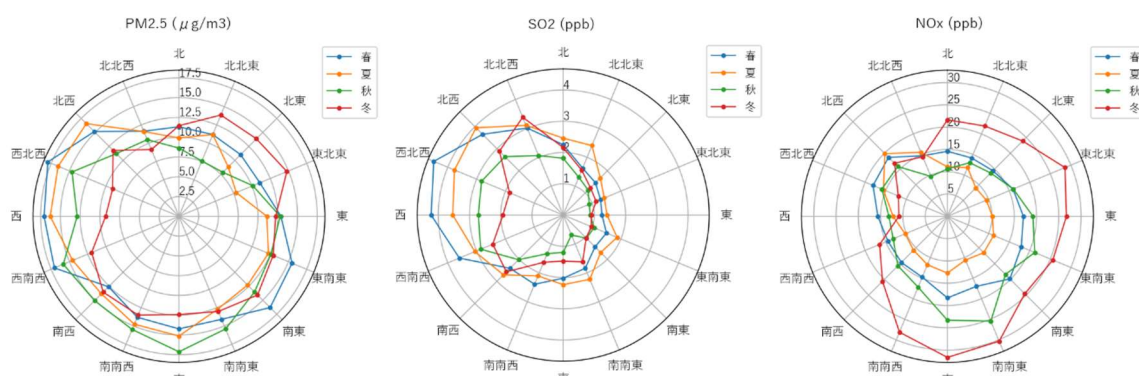


図5 測定局 A における風向別の大気汚染物質濃度

(2) 測定局 B (福岡県)

測定局 B から西南西約 3 km の地点に排出量の多い固定発生源が存在する。

SO₂ 及び PM_{2.5} 濃度が、固定発生源の存在する南西の風向時に最も高くなる傾向が見られる。

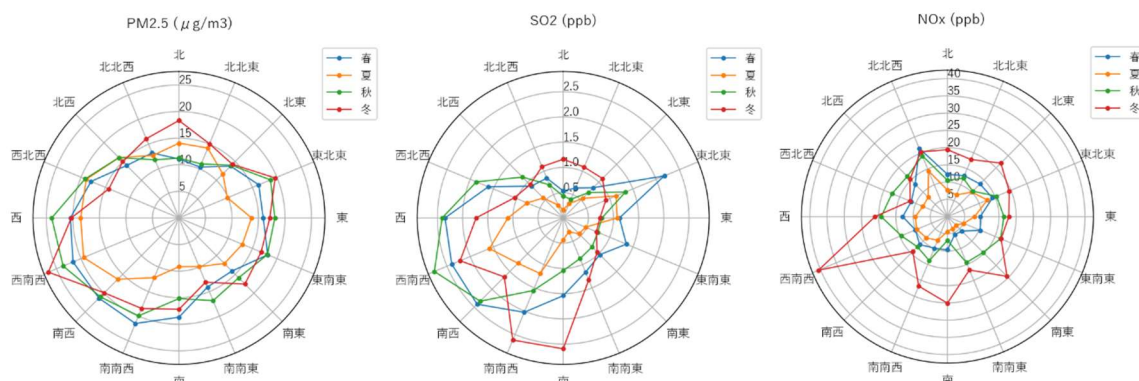


図6 測定局 B における風向別の大気汚染物質濃度

(3) 測定局 C (千葉県)

測定局 C から西約 2 km の地点に排出量の多い固定発生源が存在する。

年間を通じて PM2.5・SPM・SO₂・NO_x 濃度が、西の風向時に最も高くなる傾向が見られる。

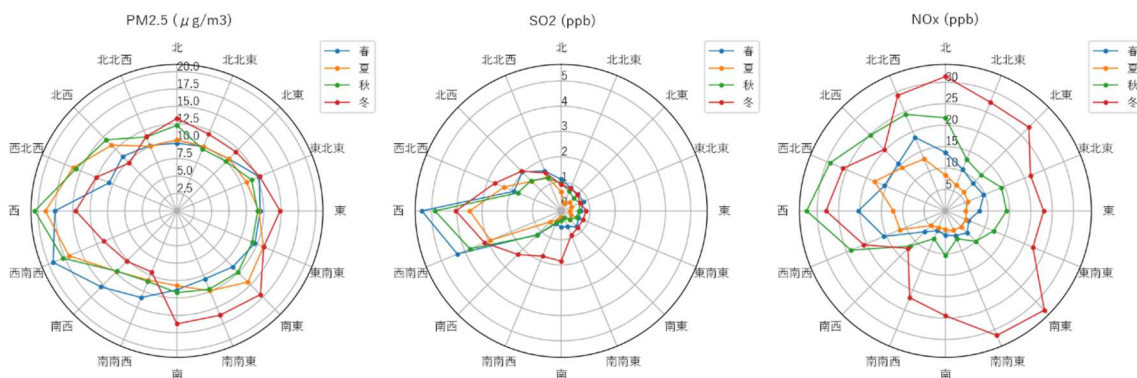


図7 測定局 C における風向別の大気汚染物質濃度

4. まとめと今後の課題

令和元年度に実施した文献調査と解析の結果は、次のようにまとめられる。

- 平成 30 年度の成分測定データを用いた発生源別寄与割合の推計の結果、寄与が大きい因子として、「重油燃焼」、「石炭燃焼」、「バックグラウンド」などが挙げられた。しかし、各因子のプロファイル及び寄与割合の地域・季節変化に、解釈が難しい点もあった。
- 平成 30 年度の PM2.5 高濃度事例に係る文献調査の結果、高濃度化要因として、国内人為起源（船舶等の重油燃焼（8 月：東京都臨海部）、プラスチック燃焼（3 月：北海道）、越境輸送起源（シベリア南東部における森林火災（4～5 月：九州・山陰地方、3 月：北海道・東北地方北部）、中国東北部起源の硫酸アンモニウム塩（4～5 月：九州・山陰地方）、自然起源（桜島の噴火（7 月：中部地方以西））が挙げられた。
- 環境基準達成局及び非達成局における周辺の大気汚染物質排出量の比較の結果、PM2.5 環境基準非達成局は、達成局と比較して、測定局周辺における合計 PM2.5 排出量が多い傾向が見られた。また、発生源別の内訳としては、固定発生源からの PM2.5 排出量が多い傾向が見られた。
- 大規模固定発生源周辺における排出量分布及び風向別大気汚染物質濃度を解析した結果、大規模固定発生源近傍の測定局において、固定発生源からの風向時に、PM2.5 及びその前駆物質（SO₂、NO_x）濃度が高くなる傾向が確認された。

これらのことから、固定発生源による周辺の PM2.5 濃度への影響が示唆されたが、固定発生源による PM2.5 濃度への寄与割合について定量的に評価できていないことが課題としてあげられる。

引き続き、全国の常時監視や PM2.5 成分分析の結果を活用して発生源寄与割合に関する解析を進めるとともに、文献などにより全国の高濃度事例の調査に取り組む。