

令和 6 (2024) 年度 PM2.5 大気環境調査結果

大気環境部
佐々木 貞幸 平野 真弘 佐藤 翔大 松木 麻衣子
渡邊 裕子¹ 根本 美香² 齋藤 由実子²
(¹ 現微生物部) (² 前保健環境センター)

1 はじめに

PM2.5 は、大気中に浮遊する粒径 2.5 μm 以下の微細な粒子である。そのため、肺の奥まで粒子が入りやすく、呼吸器系や循環器系への悪影響が懸念されている。環境基準は、環境基本法第 16 条において、「人の健康を保護し、及び生活環境を保全する上で維持されることが望ましい基準」と定義されており、PM2.5 については、「年平均値が 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下 (長期基準)」かつ、「日平均値 (年間 98% 値) が 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下 (短期基準)」と規定されている。

本県においては、県内の PM2.5 濃度の動向を把握するために、令和 7 (2025) 年 3 月現在、一般環境大気測定局 (以下「一般局」という。) 11 局、及び自動車排出ガス測定局 (以下「自排局」という。) 2 局の計 13 局 (うち 2 局は宇都宮市が設置) に PM2.5 自動測定機を設置し、大気中の PM2.5 濃度を 1 時間ごとに測定している。また、PM2.5 が高濃度化する頻度が比較的高い真岡市役所測定局に、平成 25 年度から成分分析用のサンプラーを併設して、試料の採取及び成分分析を実施している。

本報告は、令和 6 年度に実施した PM2.5 大気環境調査の結果をまとめたものである。

2 調査方法

2.1 大気環境常時監視測定

2.1.1 調査地点

栃木県における令和 7 (2025) 年 3 月末時点の PM2.5 自動測定機の設定地点計 13 局を図 1 に示す。なお、令和 6 (2024) 年 3 月に自排局 1 局が、足利市久保田公園から小山市おぐら橋へ移設された。

2.1.2 調査期間

令和 6 (2024) 年 4 月 1 日から令和 7 (2025) 年 3 月 31 日まで

2.1.3 調査方法

常時監視測定局の PM2.5 の質量濃度 (以下「PM2.5 濃度 (常監)」という。) の 1 時間値から、日平均値の年間 98% 値及び年平均値を算出し、県内の PM2.5 濃度の動向を把握するとともに、長期基準及び短期基準と比較し、環境基準との適合状況を確認した。

2.2 四季調査

2.2.1 調査地点

真岡市役所屋上において調査を実施した。

2.2.2 調査期間

四季調査は環境省の依頼に基づき、季節ごとに連続する 2 週間の統一期間のとおり実施した (春季: 令和 6 (2024) 年 5 月 9 日から 5 月 22 日、夏季: 7 月 18 日から 7 月 31 日、秋季: 10 月 17 日から 10 月 30 日、冬季: 令和 7 (2025) 年 1 月 16 日から 1 月 29 日)。なお、本稿では、令和 6 年度の調査結果と併せて、令和 5 年度分も含めた 2 か年分のデータについて解析を行った。令和 5 年度分の調査期間は前報¹⁾のとおりである。

2.2.3 調査方法

四季調査は、大気中微小粒子状物質 (PM2.5) 成分測定マニュアル²⁾に準拠して行った。また、PM2.5 の質量濃度については、環境大気常時監視マニュアルの標準測定法³⁾により求めた。

試料の捕集は、PTFE ろ紙及び石英ろ紙をそれぞれ別のサンプラー (Thermo Scientific 社製、2025i、計 2 台) にセットし実施した。サンプリング時間は午前 10 時から翌日午前 10 時までの 24 時間を 1 日分とし、14 日間継続した。

調査項目は、PM2.5 の質量濃度 (以下「PM2.5 濃度 (四季)」という。)、イオン成分濃度、炭素成分濃度及び無機元素成分濃度とした。また、隣接する真岡市役所常時監視測定局における PM2.5 濃度 (常監) と、各成分等との関連についても検討した。解析に使用した PM2.5 濃度 (常監) の日平均値は、前報¹⁾と同様に 1 時間値の平均値を用いた。

なお、各分析方法は、以下に示すとおりである。



図 1 栃木県内の PM2.5 常時監視測定局

- ① PM2.5 濃度（四季）の測定にあたっては、PTFE ろ紙で捕集した試料を恒温恒湿チャンバー（東京ダイレック社製、PWS-PM2.5）内で、温度 21.5±1.5℃、相対湿度 35±5%の条件で秤量した。
- ② 水溶性イオン成分は、石英ろ紙で採取した PM2.5 試料を用い、ナトリウムイオン (Na⁺)、アンモニウムイオン (NH₄⁺)、カリウムイオン (K⁺)、マグネシウムイオン (Mg²⁺)、カルシウムイオン (Ca²⁺)、塩化物イオン (Cl⁻)、硝酸イオン (NO₃⁻) 及び硫酸イオン (SO₄²⁻) の 8 成分をイオンクロマトグラフ法（東ソー社製、IC-2010）で分析した。
- ③ 炭素成分については、石英ろ紙で採取した試料を用いた。有機炭素（以下「OC」という。）及び元素炭素（以下「EC」という。）は、サーマルオプティカル・リフレクタンス法で測定した。なお、分析プロトコルは、IMPROVE プロトコル（Sunset Laboratory 社製、CAA-202M-D）で測定した。
- ④ 無機元素成分については、PTFE ろ紙で採取した試料を用い、ナトリウム (Na)、アルミニウム (Al)、カリウム (K)、カルシウム (Ca)、スカンジウム (Sc)、チタン (Ti)、バナジウム (V)、クロム (Cr)、マンガン (Mn)、鉄 (Fe)、コバルト (Co)、ニッケル (Ni)、銅 (Cu)、亜鉛 (Zn)、ヒ素 (As)、セレン (Se)、ルビジウム (Rb)、モリブデン (Mo)、アンチモン (Sb)、セシウム (Cs)、バリウム (Ba)、ランタン (La)、セリウム (Ce)、サマリウム (Sm)、ハフニウム (Hf)、タングステン (W)、タンタル (Ta)、トリウム (Th) 及び鉛 (Pb) の 29 元素を ICP-MS 法（Agilent 社製、7800）で分析した。

2.3 発生源寄与と推定解析

2.3.1 解析地点及び期間

解析地点は「2.2.1 調査地点」に示す地点、解析期間は「2.2.2 調査期間」に示す期間とし、真岡市役所における令和 6 年度及び令和 5 年度の 2 か年分の調査結果を対象とした。

2.3.2 解析方法

解析は令和 3 年度微小粒子状物質・光化学オキシダント合同調査報告書⁴⁾に準じて行った。解析には「2.2 四季調査」の解析結果を使用し、令和 6 年度及び令和 5 年度の 2 か年分の調査結果を使用した。

解析に使用した発生源プロファイルを表 1 及び表 2 に示す。1 次排出の発生源として、石油燃焼、廃棄物燃焼、土壌・道路粉じん、海塩粒子、鉄鋼、ブレーキ粉じん、自動車排ガス、植物燃焼の計 8 種類をプロファイリングした。

また、二次生成粒子である硫酸塩、硝酸塩及び塩化物（各塩に含まれる NH₄⁺とカウンターイオンの式量比に基づきプロファイリングした）並びに OC の計 4 種類について、プロファイルに追加設定した。これらのプロファイルについても、同報告書⁴⁾において使用されている。

発生源寄与と推定解析については、各四季調査における 1 日ごとの各成分濃度等を用いて行った。発生源プロファイルに含まれる化学種のうち、特徴的な成分 (Cl⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻、Na⁺、NH₄⁺、K⁺、V、Fe、Mn、Sb、OC、EC の計 12 項目) はすべて計算対象とした。それ以外の成分については、検出下限値以上の割合が 80%を超えた場合に計算対象とした。有効分散最小二乗法によるケミカルマスバランス法 (CMB 法) で寄与率を推定し、得られた各発生源の寄与率を期間平均して各季節の寄与率を算出した。なお、ソフトウェアは、米国環境保護庁 (EPA) で公開された解析ソフト『EPA-CMB8.2』⁵⁾を使用した。

表 1 発生源プロファイル (1/2)

表1 発生源プロフィール (1/2)														[mg/kg]
	石油燃焼		廃棄物燃焼		土壌・道路粉じん		海塩粒子		鉄鋼		ブレーキ粉じん			
Na ⁺	2.5.E+03	± 1.3.E+03	5.8.E+04	± 2.9.E+04	1.3.E+04	± 2.7.E+03	3.0.E+05	± 1.5.E+04	1.4.E+04	± 2.7.E+03	7.6.E+03	± 3.9.E+03		
NH ₄ ⁺	4.6.E+04	± 2.3.E+04	1.7.E+03	± 8.5.E+02	6.1.E+03	± 9.7.E+02	0	± 0	0	± 0	0	± 0		
K ⁺	4.2.E+02	± 2.1.E+02	4.9.E+04	± 2.5.E+04	1.3.E+04	± 3.4.E+03	1.1.E+04	± 1.1.E+03	1.3.E+04	± 2.6.E+03	3.5.E+03	± 6.4.E+03		
Ca ²⁺	2.0.E+03	± 1.0.E+03	2.9.E+04	± 1.5.E+04	5.5.E+04	± 2.6.E+04	1.2.E+04	± 5.9.E+02	4.5.E+04	± 9.0.E+03	3.2.E+04	± 8.0.E+01		
Cl ⁻	0	± 0	2.1.E+05	± 1.1.E+05	3.4.E+02	± 1.5.E+02	5.5.E+05	± 2.8.E+04	3.4.E+04	± 6.8.E+03	1.3.E+04	± 7.0.E+02		
NO ₃ ⁻	6.3.E+02	± 3.2.E+02	4.3.E+02	± 2.2.E+02	1.9.E+02	± 1.2.E+02	0	± 0	0	± 0	0	± 1.5.E+03		
SO ₄ ²⁻	5.3.E+05	± 2.7.E+05	1.1.E+05	± 5.5.E+04	5.7.E+02	± 4.5.E+02	7.8.E+04	± 1.6.E+04	0	± 0	4.9.E+03	± 2.5.E+03		
OC	5.5.E+04	± 2.1.E+04	2.2.E+04	± 6.2.E+03	6.9.E+04	± 2.8.E+04	0	± 0	0	± 0	8.0.E+04	± 3.1.E+04		
EC	1.0.E+02	± 2.9.E+04	2.3.E+04	± 1.6.E+04	1.3.E+04	± 4.1.E+03	2.8.E+02	± 2.8.E+02	5.0.E+03	± 5.0.E+03	1.5.E+05	± 7.6.E+04		
Ti	2.4.E+03	± 1.2.E+03	1.6.E+03	± 8.0.E+02	5.1.E+03	± 5.4.E+02	2.9.E+02	± 1.5.E+02	1.0.E+03	± 2.0.E+02	9.0.E+03	± 1.2.E+01		
V	9.5.E+01	± 4.8.E+01	1.0.E+01	± 5.0.E+00	1.1.E+02	± 3.5.E+01	5.8.E+02	± 1.7.E+02	1.3.E+02	± 2.5.E+01	5.9.E+01	± 8.4.E+01		
Cr	1.6.E+03	± 8.0.E+02	5.1.E+02	± 2.6.E+02	2.8.E+02	± 1.6.E+02	2.9.E+01	± 8.7.E+02	1.6.E+05	± 1.6.E+04	4.2.E+02	± 1.4.E+02		
Mn	2.4.E+02	± 1.2.E+02	5.8.E+02	± 2.9.E+02	1.1.E+03	± 3.9.E+02	5.8.E+02	± 1.7.E+02	2.2.E+04	± 2.2.E+03	7.2.E+02	± 1.8.E+04		
Fe	1.3.E+04	± 6.5.E+03	8.0.E+03	± 4.0.E+03	5.3.E+04	± 6.4.E+03	2.9.E+01	± 8.7.E+02	1.6.E+05	± 1.6.E+04	9.1.E+04	± 3.2.E+00		
Co	1.6.E+01	± 8.0.E+00	1.1.E+01	± 5.5.E+00	2.2.E+01	± 9.5.E+00	1.5.E+02	± 4.5.E+03	4.4.E+01	± 4.4.E+01	1.6.E+01	± 4.8.E+01		
Ni	9.7.E+02	± 4.9.E+02	3.9.E+02	± 2.0.E+02	8.0.E+01	± 7.0.E+01	1.5.E+02	± 4.5.E+03	2.9.E+03	± 2.9.E+03	9.6.E+01	± 2.6.E+00		
Cu	7.9.E+01	± 4.0.E+01	1.8.E+03	± 9.0.E+02	2.7.E+02	± 1.7.E+02	1.7.E+02	± 5.1.E+03	3.7.E+03	± 3.7.E+03	1.3.E+04	± 6.5.E+02		
Zn	6.7.E+02	± 3.4.E+02	1.7.E+04	± 8.5.E+03	1.3.E+03	± 8.0.E+02	2.9.E+02	± 8.7.E+03	5.2.E+04	± 1.0.E+04	3.3.E+03	± 4.4.E+00		
As	8.4.E+00	± 4.2.E+00	4.8.E+01	± 2.4.E+01	1.1.E+01	± 4.2.E+00	2.9.E+02	± 8.7.E+03	1.0.E+02	± 1.0.E+02	2.2.E+01	± 1.8.E+00		
Se	6.8.E+00	± 3.4.E+00	5.7.E+00	± 2.9.E+00	1.4.E+00	± 5.5.E+01	1.2.E+01	± 3.6.E+02	5.1.E+01	± 5.1.E+01	3.5.E+00	± 9.8.E+00		
Rb	1.5.E+00	± 7.5.E+01	1.9.E+02	± 9.5.E+01	5.6.E+01	± 1.8.E+01	3.5.E+00	± 1.1.E+00	7.7.E+01	± 7.7.E+01	2.1.E+01	± 5.9.E+01		
Sb	1.7.E+00	± 8.5.E+01	1.4.E+02	± 7.0.E+01	1.3.E+01	± 7.4.E+00	1.4.E+02	± 4.2.E+03	9.0.E+01	± 9.0.E+01	2.1.E+03	± 5.1.E+00		
Ba	8.9.E+01	± 4.5.E+01	4.6.E+02	± 2.3.E+02	5.0.E+02	± 8.5.E+01	8.6.E+01	± 2.6.E+01	5.0.E+02	± 5.0.E+02	1.2.E+04	± 1.4.E+00		
La	7.9.E+01	± 4.0.E+01	2.4.E+00	± 1.2.E+00	3.1.E+01	± 1.1.E+01	9.0.E+03	± 2.7.E+03	9.8.E+00	± 9.8.E+00	7.0.E+00	± 4.8.E+00		

表2 発生源プロファイル (2/2)

	自動車排ガス		植物燃焼		二次(硫酸塩)		二次(硝酸塩)		二次(塩化物)		二次(OC)	
Na ⁺	7.6.E+01 ±	7.6.E+00	6.6.E+03 ±	1.3.E+03	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0
NH ₄ ⁺	0 ±	0	1.3.E+04 ±	2.5.E+03	2.7.E+05 ±	2.7.E+04	2.3.E+05 ±	2.3.E+04	3.4.E+05 ±	3.4.E+04	0 ±	0
K ⁺	2.0.E+02 ±	2.0.E+01	6.3.E+04 ±	1.3.E+04	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0
Ca ²⁺	1.5.E+03 ±	1.5.E+02	4.2.E+02 ±	8.3.E+01	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0
Cl ⁻	2.0.E+02 ±	2.0.E+01	2.6.E+04 ±	5.2.E+03	0 ±	0	0 ±	0	6.6.E+05 ±	6.6.E+04	0 ±	0
NO ₃ ⁻	0 ±	0	2.0.E+03 ±	4.1.E+02	0 ±	0	7.7.E+05 ±	7.7.E+04	0 ±	0	0 ±	0
SO ₄ ²⁻	2.2.E+04 ±	2.2.E+03	1.6.E+04 ±	3.2.E+03	7.3.E+05 ±	7.3.E+04	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0
OC	2.5.E+05 ±	2.5.E+04	4.1.E+05 ±	8.3.E+04	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0	1.0.E+06 ±	1.0.E+05
EC	4.9.E+05 ±	4.9.E+04	9.7.E+04 ±	1.9.E+04	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0
Ti	1.5.E+02 ±	1.5.E+01	1.0.E+01 ±	2.0.E+00	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0
V	7.3.E+00 ±	7.3.E-01	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0
Cr	1.2.E+01 ±	1.2.E+00	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0
Mn	1.9.E+01 ±	1.9.E+00	1.0.E+01 ±	2.0.E+00	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0
Fe	9.9.E+02 ±	9.9.E+01	1.0.E+02 ±	2.0.E+01	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0
Co	1.5.E+00 ±	1.5.E-01	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0
Ni	9.9.E+00 ±	9.9.E-01	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0
Cu	1.1.E+02 ±	1.1.E+01	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0
Zn	6.2.E+02 ±	6.2.E+01	1.0.E+02 ±	2.0.E+01	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0
As	3.7.E+00 ±	3.7.E-01	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0
Se	1.7.E+00 ±	1.7.E-01	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0
Rb	4.9.E-01 ±	4.9.E-02	1.0.E+02 ±	2.0.E+01	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0
Sb	2.0.E+01 ±	2.0.E+00	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0
Ba	9.9.E+01 ±	9.9.E+00	2.5.E+02 ±	5.0.E+01	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0
La	3.4.E-01 ±	3.4.E-02	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0

3 結果及び考察

3.1 県内のPM2.5濃度の動向

栃木県における過去5年間の環境基準達成状況を表3に、令和6年度の常時監視測定局13局における欠測日を除いた有効日数、PM2.5濃度(常監)の年平均値及び日平均値の年間98%値を表4に示す。

令和6年度は、長期基準及び短期基準とも、過去4年間と同様に全局で環境基準を達成した(表3)。

表4から、一般局の年平均値は、いずれも前年度同様、大谷中学校(小山市)が最も高く9.5µg/m³で、黒磯保健センター(那須塩原市)が最も低く4.3µg/m³であった。その他の一般局では、雀宮中学校(宇都宮市)や県安蘇庁舎(佐野市)が、一般局全地点の平均値に比べ1割以上高い値を示す一方、栃木市役所や県南那須庁舎(那須烏山市)では1割程度低い値であり、年平均値が高い地点が県央部や県南部の一部で多くみられる傾向は前報¹⁾と同様だった。

また、各環境基準のうち短期基準の判断基準となる日平均値の年間98%値は、いずれも前年度同様、県安蘇庁舎(佐野市)が最も高く22.9µg/m³で、黒磯保健センター(那須塩原市)が最も低く14.4µg/m³であった。その他の一般局においては、年平均値が高い地域で同様に高い傾向が見られた。

平出(宇都宮市)及びおぐら橋(小山市)の自排局について、それぞれ地理的位置が比較的近い雀宮中学校(宇都宮市)及び大谷中学校(小山市)のPM2.5濃度(常監)と比較した。年平均値及び日平均値の年間98%値は、宇都宮市の2地点では同程度、小山市の2地点では、一般局に比べ自排局の年間98%値が1割程度高い値となった。

表3 環境基準達成状況
(令和2年度から令和6年度まで)

	長期基準		短期基準	
	一般局	自排局	一般局	自排局
R2	12/12	2/2	12/12	2/2
R3	11/11	2/2	11/11	2/2
R4	11/11	2/2	11/11	2/2
R5	11/11	2/2	11/11	2/2
R6	11/11	2/2	11/11	2/2

(達成局数/全測定局数)

表4 常時監視局の有効日数、PM2.5濃度(常監)年平均値及び日平均値の年間98%値(令和6年度)

	一般局											自排局	
	雀宮中学校 (宇都宮市)	足利市役所 (足利市)	栃木市役所 (栃木市)	県安蘇庁舎 (佐野市)	鹿沼市役所 (鹿沼市)	今市小学校 (日光市)	大谷中学校 (小山市)	真岡市役所 (真岡市)	矢板市役所 (矢板市)	黒磯保健センター (那須塩原市)	県南那須庁舎 (那須烏山市)	平出 (宇都宮市)	おぐら橋 (小山市)
有効日数 [日]	363	356	363	363	362	358	362	363	362	363	363	363	356
年平均値 [µg/m ³]	8.4	6.9	6.6	9.2	7.9	7.0	9.5	7.9	7.5	4.3	6.7	8.5	9.9
日平均値の 年間98%値 [µg/m ³]	20.4	16.9	17.2	22.9	19.5	16.5	21.6	20.1	18.8	14.4	17.7	19.9	23.6

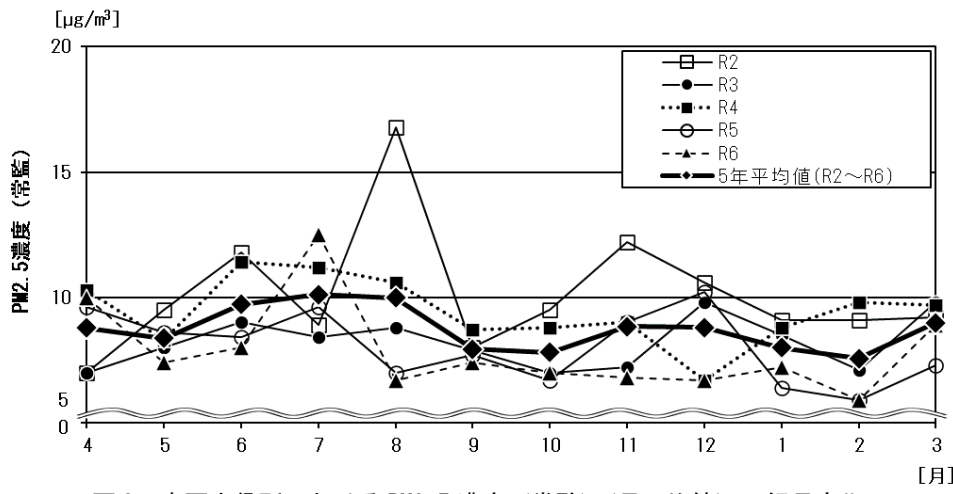


図2 真岡市役所におけるPM2.5濃度（常監）（月平均値）の経月変化（令和2年度から令和6年度まで）

3.2 真岡市のPM2.5濃度（常監）の動向

四季調査実施地点である真岡市について、令和2年度から令和6年度までのPM2.5濃度（常監）（月平均値）の経月変化を図2に、平成25年度から令和6年度におけるPM2.5濃度（常監）（年平均値）の経年変化を図3に示す。

図2から、令和6年度の月平均値の年平均値は、7.9µg/m³（月平均値で5.9～12.5µg/m³）となり、令和5年度の8.0µg/m³（月平均値で5.9～10.2µg/m³）と比較してほぼ同程度であった。月平均値の5年平均値と比較すると、令和2年度に突出して高い値を記録した8月を除くと、7月で高く、12月で低かった。他の月は同程度かやや低めで推移した。

また、図3から、PM2.5濃度の長期的な減少傾向が継続してみられた。

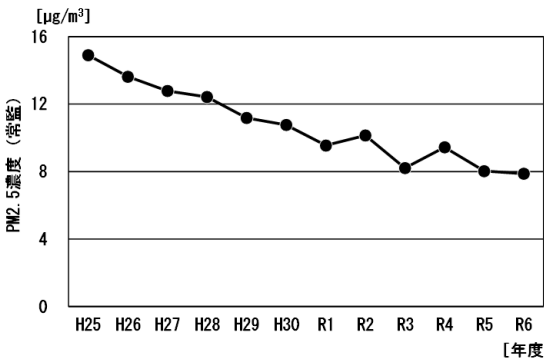


図3 真岡市役所におけるPM2.5濃度（常監）（年平均値）の経年変化

3.3 四季調査における調査地点のPM2.5濃度（常監）と気象概況

令和6年度及び令和5年度の真岡市における、四季調査期間中のPM2.5濃度（常監）の平均値及び各気象状況を表5に示す。

令和6年度の四季調査実施期間は、おおむね5月、7月、10月及び1月に相当する。なお、夏季のPM2.5濃度（常監）についてのみ、計2日（7月23日及び24日）欠測となったため、それらを除いた計12日間のデータで計算した。調査期間中の各季節のPM2.5濃度（常監）の平均値は夏季で最も高く、令和5年度と比較すると夏季と冬季で上昇し、春季と秋季で減少した。

調査期間中の気象状況を令和5年度と比較すると、期間中の合計降水量が秋季で増加、冬季で減少しており、気象条件の差がPM2.5濃度の上昇に影響したことも考えられた。

表5 四季調査期間におけるPM2.5濃度（常監）と気象概況

	令和6年度				令和5年度			
	春季	夏季	秋季	冬季	春季	夏季	秋季	冬季
PM2.5濃度（常監） [µg/m³]	7.6 ± 3.0	11.9 ± 5.3	6.7 ± 2.3	8.6 ± 6.2	9.6 ± 5.4	8.2 ± 2.4	8.3 ± 3.6	6.5 ± 5.5
平均気温 [°C]	18.5 ± 2.6	28.8 ± 1.1	17.9 ± 3.1	3.5 ± 2.5	17.8 ± 3.4	27.9 ± 2.2	14.9 ± 2.1	4.7 ± 2.6
平均相対湿度 [%]	67 ± 12	74 ± 6	78 ± 11	61 ± 9	74 ± 15	72 ± 8	71 ± 8	58 ± 12
合計降水量 [mm]	75.5	27.5	49.0	0.5	95.0	9.0	3.0	31.0
平均日射量 [MJ/m²]	21.1 ± 7.4	21.2 ± 2.8	8.8 ± 3.0	11.7 ± 1.0	17.7 ± 7.1	22.6 ± 4.2	13.1 ± 2.9	11.1 ± 3.7

3.4 四季調査結果

3.4.1 成分組成の概要

令和6年度及び令和5年度の各季節の各成分濃度を、PM2.5濃度（四季）に基づき積算した結果を図4に、同期間の各成分組成比を表6に示す。なお、炭素成分濃度は、質量濃度との関係をより正確にするために、OC濃度に有機粒子への換算係数1.6⁶⁾を乗じたものと、EC濃度との和とした。

図4から、令和6年度におけるPM2.5濃度（四季）は、夏季で最も高かった。令和5年度と比較すると、夏季と冬季の水溶性イオン成分濃度が高く、炭素成分濃度については夏季で最も高かった。

表6から、各季節の水溶性イオン成分組成比は、令和6年度が約32～51%、令和5年度は約32～38%で推移し、令和5年度と比較すると冬季で高く、他は同程度であった。各季節の炭素成分組成比は、令和6年度が約49～62%、令和5年度は約40～68%で推移し、令和5年度と比較すると春季で高く、夏季でやや低く他は同程度であった。各季節の無機元素成分の組成比は、令和6年度が約0.6～1.1%、令和5年度は約1.0～2.9%で推移し、令和5年度と比較するといずれの季節でも低かった。

3.4.2 水溶性イオン成分

令和6年度及び令和5年度における、各季節のPM2.5に含まれる水溶性イオン成分濃度を図5に示す。

主成分であるSO₄²⁻、NO₃⁻及びNH₄⁺について見ると、SO₄²⁻は、夏季において最も高かった。NO₃⁻は、令和5年度同様、夏季で低く、冬季で最も高かった。また、NH₄⁺は夏季と冬季で高かった。

令和5年度と比較すると、SO₄²⁻は夏季と冬季で高く、NO₃⁻は冬季で高かった。

3.4.3 炭素成分

令和6年度及び令和5年度における、各季節のPM2.5に含まれる炭素成分濃度を図6に示す。

OCは夏季で高く、ECは冬季で高かった。また、令和5年度と比較すると、OCは夏季で特に高く、秋季はOC、ECのいずれも低かった。

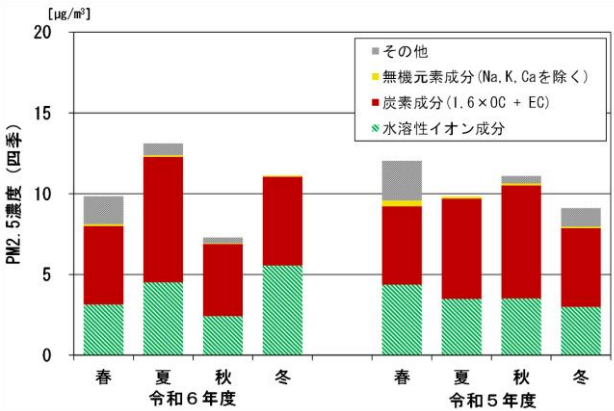


図4 季節別成分濃度
(令和6年度及び令和5年度)

表6 季節別PM2.5中の成分組成比
(令和6年度及び令和5年度)

	令和6年度				令和5年度			
	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬
水溶性イオン成分	31.9	34.4	33.1	50.8	36.3	37.7	31.7	32.8
炭素成分 (1.6×OC+EC)	49.4	59.3	61.3	50.4	40.4	67.1	63.1	53.6
無機元素成分 (Na, K, Caを除く)	1.1	0.7	0.6	0.7	2.9	1.3	1.1	1.0
その他	17.6	5.6	5.0	0.0	20.5	0.0	4.1	12.7
合計※	100.0	100.0	100.0	101.9	100.0	106.1	100.0	100.0

※ 炭素成分について、係数を乗じた換算値としているため合計が100%を超える場合がある

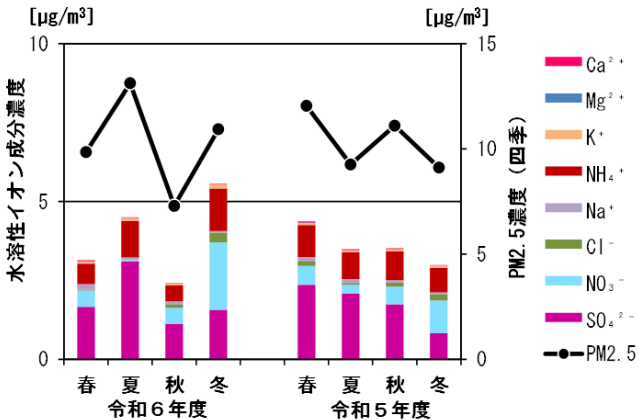


図5 季節別水溶性イオン成分濃度及びPM2.5濃度
(令和6年度及び令和5年度)

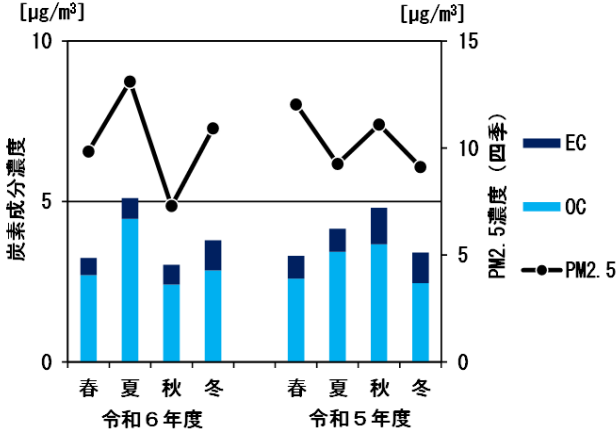


図6 季節別炭素成分濃度及びPM2.5濃度
(令和6年度及び令和5年度)

表7 季節別無機元素成分指標値
(令和6年度及び令和5年度)

		春	夏	秋	冬
V/Mn (石油燃焼)	R 6	0.17	0.23	0.10	0.10
	R 5	0.15	0.28	0.06	0.05
La/V (石油燃焼及び鉄鋼工業)	R 6	0.11	0.06	0.15	0.22
	R 5	0.14	0.05	0.13	0.24
As/V (燃料燃焼及び大陸越境)	R 6	1.30	1.02	2.63	1.72
	R 5	1.10	0.57	1.82	2.12

表8 季節別指標元素濃度
(令和6年度及び令和5年度)

		[ng/m ³]			
		春	夏	秋	冬
V	R 6	0.44	0.62	0.15	0.23
	R 5	0.71	0.65	0.32	0.16
Mn	R 6	2.63	2.67	1.46	2.31
	R 5	4.79	2.32	5.70	3.19
La	R 6	0.05	0.04	0.02	0.05
	R 5	0.10	0.03	0.04	0.04
As	R 6	0.57	0.64	0.40	0.40
	R 5	0.78	0.38	0.58	0.34

3.4.4 無機元素成分

令和6年度及び令和5年度における無機元素成分濃度から、各種指標を算出した。そのうち、石油燃焼の指標である V/Mn⁷⁾、石油燃焼や鉄鋼工業の指標である La/V⁷⁾、燃料燃焼及び越境輸送両方の指標である As/V⁸⁾を表7に示した。また、指標の算出に使用した元素の濃度を表8に示した。

V/Mnは、令和5年度と同様、秋季と冬季に比べて春季と夏季に高くなる傾向がみられた。一般的に、V/Mnが0.1～0.2を超えて高値であると石油燃焼の影響が示唆されるが、秋季と冬季では、春季と夏季に比べVの平均濃度が低いことが影響したと考えられ、石油燃焼に由来する発生源の影響が弱まったものと考えられた。

La/Vは、夏季で低く冬季で高い傾向がみられた。一般的に、La/Vの値によって、石油燃焼や鉄鋼工業などの発生源の影響を推測することができる。国内の河川堆積物の平均値から算出されたLa/Vは0.13⁹⁾程度であり、それと比べても、夏季は低く冬季は高かった。夏季についてはLa/Vの比が鉄鋼工業などの発生源の組成比に近く、それらの影響が強かったと考えられた。また、冬季はLa/Vの比が0.22であり、夏季に比べ土壌や廃棄物燃焼などの発生源の組成比に近く、地域的な発生源の影響が相対的に強まったものと考えられた。

As/Vは、令和5年度と同様に夏季で最も低く、秋季と冬季で高い傾向であった。一般的に、As/Vが高値であると石炭燃料の影響が示唆されるが、Asの平均濃度は他の季節に比べて同程度であったため、前述のとおり、秋季と冬季については夏季に比べVの平均濃度が低値であることが要因であると考えられた。

3.5 発生源寄与と推定解析

令和6年度及び令和5年度の真岡市における、各成分分析結果に基づく発生源寄与と推定解析の結果を図7に示す。

使用した各成分のうち、検出下限値以上の割合が80%以下となったCa²⁺及びNiについては全期間で計算対象外とし、Coについては秋季のみ検出下限値が高値であり全日で検出下限値未満となったため、秋季の計算対象から除外して計算を行った。なお、計算結果が収束せず計算不能となった日はなかった。

令和6年度は、各季節とも二次生成粒子（硫酸塩、硝酸塩、塩化物及びOC）の寄与率が最も大きく約63～80%であり、この傾向は令和5年度と同様であった。次いで、自動車排ガスの寄与率が大きく、約9～17%だった。特に、秋季と冬季で寄与率が大きくなる傾向が令和5年度と同様にみられた。

最も寄与率の高かった二次生成粒子について発生源別でみると、令和6年度、令和5年度ともに、硫酸塩は夏季に最も高くなり、逆に、硝酸塩は冬季に最も高くなっていた。年度毎に比較すると、硝酸塩は令和6年度で、硫酸塩は令和5年度でその傾向が強くみられた。塩化物は冬季で最も高くなり、それ以外の季節では寄与率が0%であった。

加えて、令和6年度のOCについては各季節とも25%を超える寄与率を占め、硫酸塩、硝酸塩と同様に、通年してPM2.5の主要な成分であったと考えられた。

一般的に、夏季は温度上昇や日射量の増加の影響で二次生成粒子の生成が活発になるが、硝酸塩については主成分である硝酸アンモニア(NH₄NO₃)のガス・粒子平衡がガス側へ傾き、粒子よりガスとしての存在量が多いことが知られている。加えて、硝酸ガスと、硝酸ガスと塩化ナトリウムとの反応により生成した塩化水素とが反応し、塩化アンモニウム粒子が生成されるため、塩化物イオンが沈着し大気中から失われる。一方、冬季は温度が低下するためNH₄NO₃の平衡が粒子側へ傾き、NH₄NO₃粒子としての存在量が多くなる。このため、夏季は硫酸塩及びOC、冬季はそれらに加え硝酸塩及び塩化物の寄与率が上昇したと考えられた。

また、令和6年度の植物燃焼の寄与率は春季と夏季に比べ、秋季と冬季で大きかった。本県では、経年的に気温の低い秋季と冬季で植物燃焼の寄与率が上昇する傾向がみられた。

なお、令和5年度と比較しても、秋季と冬季における硝酸塩と植物燃焼の寄与率は大きかったが、経年でみるとおおむね同程度であった。

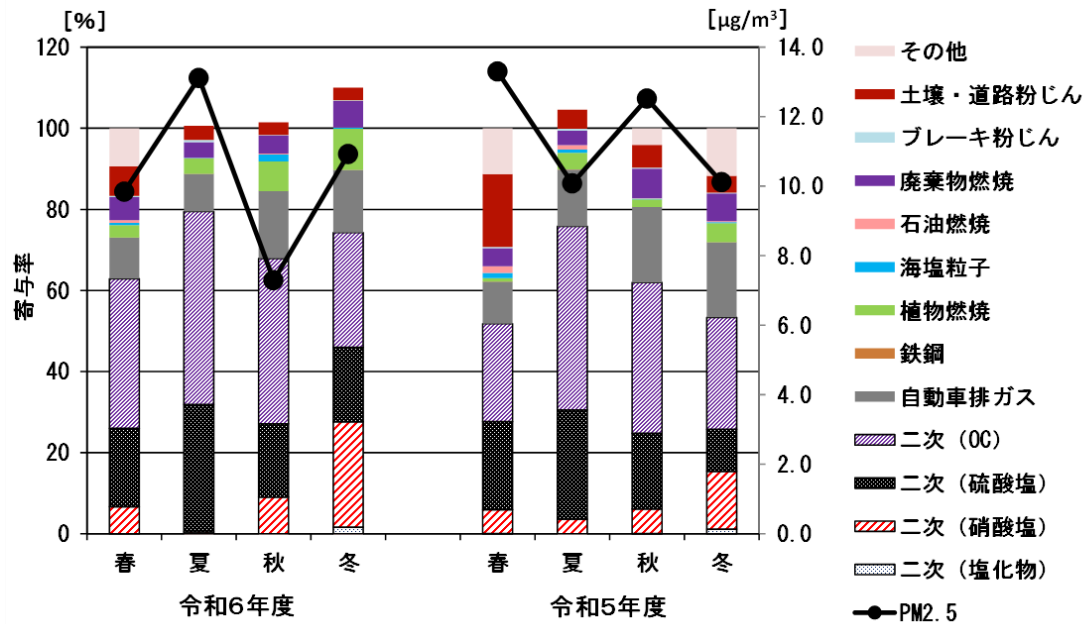


図7 季節別発生源寄与と推定解析結果及び PM2.5 濃度（四季）
（令和6年度及び令和5年度）

4 まとめ

- 令和6年度のPM2.5濃度（常監）は、全測定局で環境基準を達成しており、年平均値は、大谷中学校（小山市）で最も高く、黒磯保健センター（那須塩原市）で最も低かった。また、おおむね県央部や県南部の一部で高くなる傾向が見られた。
- 真岡市役所において、令和6年度のPM2.5濃度（常監）月平均値経月変化は、令和5年度と同程度の濃度範囲で推移した。
併せて、令和6年度のPM2.5濃度（常監）年平均値も、長期的に減少傾向であることが継続して確認できた。
- 四季調査において、令和6年度は水溶性イオン成分のうち SO_4^{2-} は夏季において最も高く、 NO_3^- は令和5年度同様、夏季で低く冬季で最も高かった。
また、炭素成分のうち OC は夏季で高く、EC は冬季で高かった。
加えて、無機元素成分濃度及び濃度比から、夏季については、鉄鋼工業などの発生源の影響が強く、冬季については、地域的な発生源の影響が相対的に強まったと考えられた。
- 発生源寄与推定解析からは、これまでと同様に、二次生成粒子の寄与が最も大きく、次いで自動車排ガスの寄与が大きいという特徴が継続して確認された。

5 参考文献

- 栃木県保健環境センター年報、29、48-54、2024。
- 環境省、大気中微小粒子状物質（PM2.5）成分測定マニュアル、令和元年5月。
- 環境省、環境大気常時監視マニュアル（第6版）、平成22年3月。
- 関東地方大気環境対策推進連絡会微小粒子状物質・光化学オキシダント調査会議、令和3年度微小粒子状物質・光化学オキシダント合同調査報告書、2023。
- Chemical Mass Balance (CMB) Model | US EPA, <https://www.epa.gov/scram/chemical-mass-balance-cmb-model>
- 環境省、微小粒子状物質（PM2.5）成分測定マニュアルに関するQ&Aの策定について（平成30年3月27日付け事務連絡）。
- 日置ら、松山、大阪、つくばで観測した浮遊粉じん中金属元素濃度による長距離輸送と地域汚染特性の解析、大気環境学会誌、44、91-101、2009。
- 米持ら、2013年1月に中国北京市で採取した高濃度PM_{2.5}、PM₁の特徴、大気環境学会誌、48、140-144、2013。
- 産業総合技術研究所地質調査総合センター、<https://gbank.gsj.jp/geochemmap/setumei/setumei-heikin.htm>