

令和2（2020）年度PM2.5大気環境調査結果

大気環境部

佐藤 翔大 佐藤 安里紗 大森 牧子

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3年3月現在、一般環境大気測定局（以下「一般局」という。）12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14局（うち2局は宇都宮市設置）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中の成分等については、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2年度に実施したPM2.5大気環境調査の結果について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PM2.5自動測定機の設置地点計14局を図1に示す。このうち、自排局は宇都宮市平出と足利市久保田公園の2局である。なお、令和2年度から足利市役所においてPM2.5の測定を開始し、大田原市総合文化会館での測定は終了した。

2.1.2 調査期間

令和2年4月1日から令和3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。なお、これらの解析には、「大気環境情報システム」¹⁾のホームページ上に公表されている大気環境常時監視測定結果を用いた。

2.2 四季調査

2.2.1 調査地点

真岡市役所の1地点において調査を実施した。なお、真岡市役所の建て替え工事のため、夏季までの調査は旧庁舎、秋季以降の調査は旧庁舎に隣接する新庁舎で実施した。

2.2.2 調査期間

季節ごとに2週間調査を行った。（春季：令和2年5月14日から5月28日、夏季：令和2年7月23日から8月6日、秋季：令和2年10月22日から11月5日、冬季：令和3年1月25日から2月8日）なお、本稿では、令和2年度の調査結果と併せて、令和元年度分も含めた2か年分のデータについて、解析を行った。令和元年度分の調査期間は既報²⁾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³⁾に準拠して行った。

試料の捕集は、2台のサンプラー(Thermo Scientific社製、2025i)を用いて、PTFEろ紙及び石英ろ紙で同時に行い、成分等を調査した。なお、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時間とした。

調査項目は、標準測定法⁴⁾で測定した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）



図1 栃木県内のPM2.5常時監視測定局

と、各成分等との関連についても検討した。各分析方法は、以下に示すとおりである。なお、解析に使用した PM2.5 濃度（常監）の日平均値は、サンプリング時間に合わせ、午前 11 時から翌日午前 10 時までの 1 時間値の平均値を用いた。

- 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 $21.5 \pm 1.5^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $35 \pm 5\%$ 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 (NH_4^+)、カリウムイオン (K^+)、マグネシウムイオン (Mg^{2+})、カルシウムイオン (Ca^{2+})、塩化物イオン (Cl^-)、硝酸イオン (NO_3^-) 及び硫酸イオン (SO_4^{2-}) の 8 成分をイオンクロマトグラフ法 (Thermo Fisher SCIENTIFIC 社製、ICS-2100) 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。有機炭素成分（以下「OC」という。）及び元素状炭素成分（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、令和 2 年度は IMPROVE プロトコル (Sunset Laboratory 社製、CAA-202M-D)、令和元年度は IMPROVE_A プロトコル (Desert Research Institute 社製、Model 2001a) で測定した。水溶性有機炭素成分（以下「WSOC」という。）は、燃焼酸化-赤外線式 TOC 法 (Analytik Jena 社製、multi N/C3100) で分析した。
- 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 2 年度及び令和元年度の 2 か年分の調査結果を対象とした。

2.3.2 解析方法

解析は過去の調査⁹⁾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 2 年度及び令和元年度の 2 か年分の調査結果を使用した。

発生源寄与推定解析については、四季調査における各成分濃度等の期間平均値を季節ごとに算出し、ケミカルマスマランス法 (CMB法) を用いて有効分散最小二乗法で寄与率を推定した。ソフトウェアは、花石竜治氏が公開している『CMB8J』⁹⁾を使用した。

また、測定で得た PM2.5 中の各成分濃度と PM2.5 濃度 (四季) の値が、整合しているか検討することを目的として、マスクロージャーモデル (EPAモデル)⁹⁾を用いてスクリーニングを行った。PM2.5 濃度 (四季) と、以下に示す質量濃度の推定値 (M) とが大きく異なる (>30%) 場合は、PM2.5 濃度 (四季) が適切ではない可能性があるため、PM2.5 濃度 (常監) を使用して発生源寄与推定解析を行った。また、他の報告¹⁰⁾から花火大会があった日は、特定のイオン成分濃度が著しく上昇することが分かっているため、解析から除外した。

$$M = 1.586[\text{SO}_4^{2-}] + 1.372[\text{NO}_3^-] + 1.605[\text{nss-Cl}^-] + 2.5[\text{Na}^+] + 1.634[\text{OC}] + [\text{EC}] + [\text{SOIL}]$$

$$[\text{nss-Cl}^-] = [\text{Cl}^-] - 18.98[\text{Na}]/10.56 \quad \text{なお、} [\text{nss-Cl}^-] \text{ が負となった場合は、} 0 \text{ とした。}$$

$$[\text{SOIL}] = 9.19[\text{Al}] + 1.40[\text{Ca}] + 1.38[\text{Fe}] + 1.67[\text{Ti}]$$

解析に使用した発生源プロフィールを表 1 に示す。発生源は、土壌、海塩粒子、鉄鋼業由来、重油燃焼、廃棄物焼却、自動車排気ガス、ブレーキ粉じん及び植物 (バイオマス) 燃焼由来の計 8 種類に分類されている。この発生源プロフィールは、東京都微小粒子状物質検討会報告書¹¹⁾のデータから引用したものである。ただし、東京都のプロファイルから臭素 (Br) を除き、濃度の単位を mg/kg に変換する等、一部改変を施した上で使用した。

なお、今回の発生源寄与推定解析では、Na、K 及び Ca は水溶性イオン成分の分析結果を用いた。また、主に二次生成粒子を構成する SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 NH_4^+ 、 Cl^- 及び OC については、一次粒子の寄与と二次生成粒子の寄与とに分けて解析した。

表1 発生源プロフィール

	(単位: mg/kg)									
	土壌	海塩	鉄鋼業	重油燃焼	廃棄物燃焼	自動車排気ガス	プレーキ粉塵	バイオマス燃焼		
Na	12500 ± 2660	304000 ± 15200	13600 ± 2720	10000 ± 5000	120000 ± 12000	76 ± 8	7600 ± 2500	6550 ± 1310		
NH4	6050 ± 968	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	12700 ± 2540		
K	12700 ± 3390	11000 ± 1100	13200 ± 2640	850 ± 850	200000 ± 20000	197 ± 20	3500 ± 700	63200 ± 12600		
Ca	55200 ± 26400	11700 ± 585	45100 ± 9020	850 ± 430	11000 ± 2200	1460 ± 146	31800 ± 6360	415 ± 83		
Cl	335 ± 153	551000 ± 27500	34100 ± 6820	920 ± 920	270000 ± 27000	200 ± 20	12500 ± 2500	25900 ± 5180		
NO3	193 ± 118	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	2030 ± 406		
SO4	568 ± 449	78000 ± 16000	0 ± 0	318000 ± 160000	0 ± 0	21600 ± 2160	4900 ± 1520	16100 ± 3220		
OC	69000 ± 28300	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	247000 ± 24700	79800 ± 30700	415000 ± 82900		
EC	12800 ± 4100	0 ± 0	5000 ± 5000	300000 ± 125000	50000 ± 50000	494000 ± 49400	153000 ± 76000	97100 ± 19400		
Al	61100 ± 7660	0 ± 0	9990 ± 2000	2100 ± 1100	4200 ± 840	1570 ± 157	19400 ± 3880	370 ± 74		
Sc	13 ± 4	0 ± 0	1 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	4 ± 1	0 ± 0		
V	108 ± 35	0 ± 0	125 ± 25	6380 ± 3190	27 ± 14	7 ± 1	59 ± 12	0 ± 0		
Cr	279 ± 155	0 ± 0	3160 ± 632	210 ± 105	850 ± 850	12 ± 1	421 ± 84	0 ± 0		
Mn	1060 ± 386	0 ± 0	22000 ± 2200	120 ± 40	330 ± 330	19 ± 2	720 ± 144	10 ± 2		
Fe	53100 ± 6420	0 ± 0	157000 ± 15700	4600 ± 2300	6100 ± 6100	989 ± 99	91200 ± 18200	100 ± 20		
Zn	1310 ± 796	0 ± 0	51500 ± 10300	400 ± 200	26000 ± 13000	624 ± 62	3260 ± 652	100 ± 20		
As	11 ± 4	0 ± 0	103 ± 103	23 ± 12	150 ± 150	4 ± 0	22 ± 4	0 ± 0		
Se	1 ± 1	0 ± 0	51 ± 51	48 ± 48	0 ± 0	2 ± 0	4 ± 2	0 ± 0		
Sb	13 ± 7	0 ± 0	90 ± 90	7 ± 4	952 ± 480	20 ± 2	2130 ± 426	0 ± 0		
La	31 ± 11	0 ± 0	10 ± 10	40 ± 40	8 ± 8	0 ± 0	7 ± 1	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2に、令和2年度の常時監視測定局14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3に示す。

令和2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。

一般局の年平均値は、小山市役所が最も高く12.5µg/m³で、黒磯保健センター(那須塩原市)が最も低く5.9µg/m³であった。その他の一般局では、県安蘇庁舎(佐野市)、真岡市役所及び益子町役場で比較的高めの値を示す一方、鹿沼市役所、今市小学校(日光市)及び矢板市役所で比較的低めの値であった。このように、県北部に比べ県南部で年平均値が高くなる傾向がみられ、この傾向は既報¹²⁾と同様であった。

日平均値の年間98%値は、小山市役所が最も高く29.6µg/m³で、黒磯保健センターが最も低く19.1µg/m³であった。その他の一般局でも、測定局間の傾向は、年平均値と同様の傾向が見られ、おおむね県南部で高くなる傾向がみられた。

平出(宇都宮市)及び足利市久保田公園の自排局については、それぞれ地理的位置が比較的近い雀宮中学校(宇都宮市)及び足利市役所における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、県南地点間では同程度であり、県央地点間では一般局に比べ自排局の方がやや高めであった。一般的に、自排局の方が自動車排気ガスの直接的な影響により高濃度となると考えられ、県央地点間においては、その傾向と一致していた。

表2 環境基準達成状況
(平成28年度から令和2年度まで)

	長期基準		短期基準	
	一般局	自排局	一般局	自排局
H28	12/12	2/2	12/12	2/2
H29	12/12	2/2	12/12	2/2
H30	12/12	2/2	12/12	2/2
R1	12/12	2/2	12/12	2/2
R2	12/12	2/2	12/12	2/2

(達成局数/全測定局数)

表3 常時監視局の有効日数、PM2.5濃度(常監)日平均値の年間98%値及び年平均値

	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)	小山市役所 (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)	益子町役場 (益子町)	平出 (宇都宮市)	久保田公園 (足利市)
有効日数 [日]	362	359	362	362	359	363	330	358	360	363	362	351	362	365
年平均値 [µg/m³]	9.3	9.4	8.7	10.2	7.9	7.6	12.5	10.1	7.1	5.9	8.5	10.1	10.1	9.4
日平均値の 年間98%値 [µg/m³]	23.7	27.2	22.8	27.7	23.9	22.6	29.6	27.4	22.8	19.1	26.1	28.2	24.9	25.4

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、平成28年度から令和2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2年度までPM2.5濃度(常監)(年平均値)の経年変化を図3に示す。

令和2年度は、8月をピークに、6月及び11月にも濃度上昇が見られた。令和2年度は、夏季及び11月から12月にかけての時期に濃度が上昇する傾向が見られていたが、ここ2年間は8月にピークが見られた。

経年変化を見ると、令和2年度は令和元年度よりも濃度がやや上昇していたが、長期的に見ると減少傾向にある。

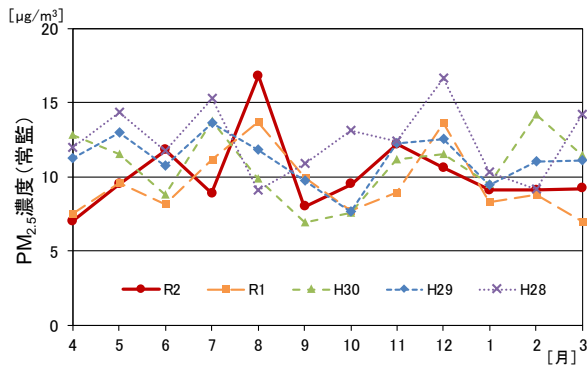


図2 真岡市役所におけるPM2.5濃度（常監）（月平均値）の経月変化

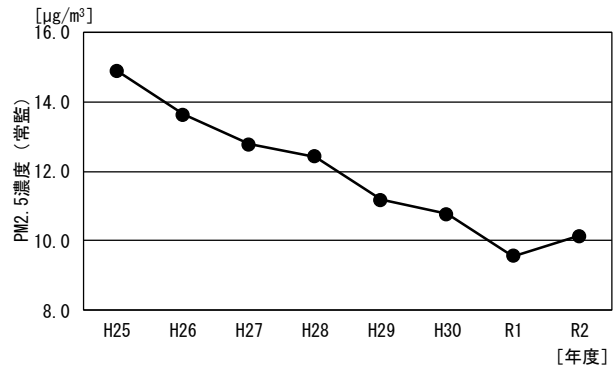


図3 真岡市役所におけるPM2.5濃度（常監）（年平均値）の経年変化

3.3 四季調査における調査地点の気象概況

令和2年度及び令和元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4に示す。

令和2年度の四季調査実施期間は、おおむね5月、7月、10月並びに1月及び2月に相当する。調査期間中の各季節のPM2.5濃度（常監）の平均値は、令和元年度に比べ、秋季で増加し、その他の季節では減少していた。

令和2年度の調査期間中の気象状況を令和元年度と比較すると、合計降水量は春季で増加したほかは、大きく減少していた。平均日射量は、秋季及び冬季で増加していた。

表4 四季調査期間におけるPM2.5濃度（常監）と気象概況

	令和2年度				令和元年度			
	春季	夏季	秋季	冬季	春季	夏季	秋季	冬季
PM _{2.5} 濃度 （常監） [µg/m ³]	7.4 ± 4.6	10.8 ± 4.4	9.5 ± 6.4	9.4 ± 7.0	8.6 ± 5.4	15.0* ± 9.0	5.9 ± 4.9	10.8 ± 13.5
平均気温 [°C]	18.0 ± 3.4	24.5 ± 2.0	12.8 ± 2.7	3.7 ± 2.2	17.9 ± 1.6	26.4 ± 2.3	16.0 ± 1.8	4.3 ± 2.0
平均相対湿度 [%]	76.8 ± 14.7	87.4 ± 7.0	73.2 ± 12.1	57.8 ± 10.9	66.1 ± 12.1	87.8 ± 6.2	84.3 ± 7.5	66.6 ± 12.7
合計降水量 [mm]	96.5	47.0	22.5	1.5	69.0	71.0	162.0	67.5
平均日射量 [MJ/m ²]	14.9 ± 6.4	12.9 ± 5.9	11.6 ± 4.1	11.7 ± 3.9	18.5 ± 5.6	14.5 ± 5.8	7.8 ± 3.4	8.0 ± 3.7

*花火大会の日(7月27日)を除く

3.4 四季調査結果

3.4.1 成分組成の概要

令和2年度及び令和元年度の各季節のPM2.5濃度（四季）と各成分濃度を図4に、同期間の成分組成比を表5に示す。なお、マスクロージャーモデルによるスクリーニングの結果、各成分濃度とPM2.5濃度（四季）はおおむね整合していたため、PM2.5濃度（四季）をそのまま解析に用いた。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1.6⁹⁾を乗じたものと、EC濃度との和とした。

水溶性イオン成分の組成比は、令和元年度は41～59%、令和2年度33～51%で推移していた。炭素成分は、令和元年度は46～61%、令和2年度は50～64%であり、令和元年度は秋季で寄与が最も大きかったが、令和2年度は夏季で最も大きく、加えて令和元年度の同時季と比較すると冬季以外で寄与が増加した。なお、冬季以外は水溶性イオン成分濃度量が令和元年度よりも少なかったことが寄与率に影響していると考えられる。無機元素成分は、いずれの年度も1～3%であった。

また、令和元年度の成分濃度と比較すると、水溶性イオン成分は、全ての季節で減少したが、冬季は減少幅が小さく、令和元年度と同程度であった。炭素成分については、秋季で増加し、夏季は同程度、その他の季節では減少していた。

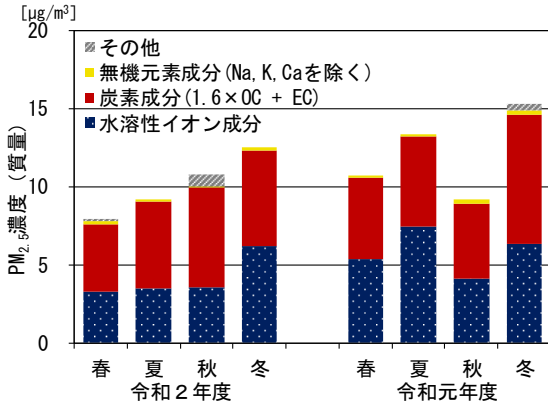


図4 各季節における各成分濃度 (令和2年度及び令和元年度)

表5 各季節におけるPM2.5中の成分組成比 (令和2年度及び令和元年度)

	令和2年度				令和元年度			
	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬
水溶性イオン成分	40.8	39.4	33.3	51.0	50.7	59.5	52.2	41.2
炭素成分 (1.6×OC+EC)	54.3	63.5	59.0	50.3	48.3	45.9	61.4	54.3
無機元素成分 (Na, K, Caを除く)	2.6	1.1	1.0	1.3	1.3	1.0	3.4	1.8
その他	2.2	0.0	6.7	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7
合計	100.0	104.1	100.0	102.5	100.3	106.4	117.0	100.0

3.4.2 水溶性イオン成分

令和2年度及び令和元年度の季節ごとのPM2.5中の各水溶性イオン成分濃度及びPM2.5濃度(四季)を図5に示す。

各成分についてみると、冬季以外で、主成分の一つであるSO₄²⁻が減少した。また、春季及び夏季で、ほぼ全ての成分濃度が減少したが、冬季には令和元年度と同程度の結果が得られた。これまでに、新型コロナウイルス等による経済活動の変化に伴う大気汚染状況の改善報告がされており、本県でもそのような大気質の状況を反映したものと考えられるが、冬季には回復しつつあったと推察された。

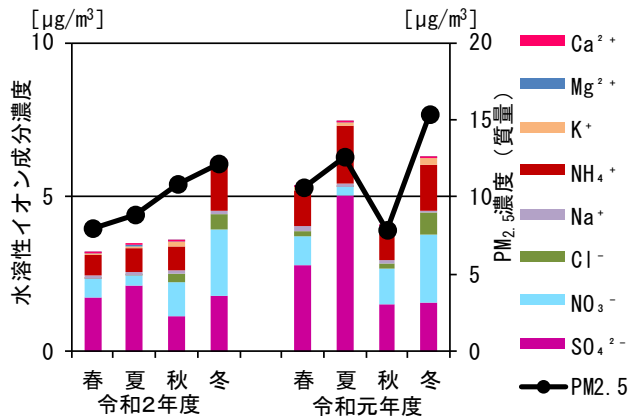


図5 各季節における水溶性イオン成分濃度及びPM2.5濃度 (令和2年度及び令和元年度)

3.4.3 炭素成分

令和2年度及び令和元年度のPM2.5中の炭素成分濃度及びPM2.5濃度(四季)を図6に示す。なお、OCはWSOCと非水溶性有機炭素(以下、「WIOC」という。)の和であり、WSOCとWIOCに分けて表示した。また、OC濃度の測定値がWSOCよりも低かった場合は、WSOC濃度はOCの濃度とし、WIOC濃度は0とした。

令和2年度の炭素成分全体の濃度は、秋季で令和元年度と同程度であったほかは、減少していた。また、OCは秋季で増加し、その他の季節で減少した。ECは年間を通して減少した。

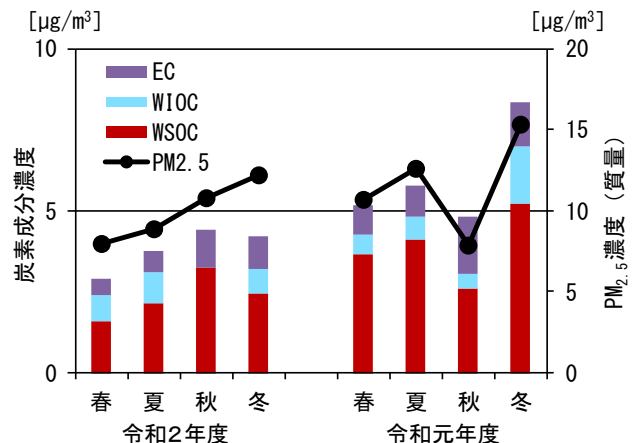


図6 各季節における炭素成分濃度及びPM2.5濃度 (令和2年度及び令和元年度)

3.4.4 無機元素成分

令和2年度及び令和元年度の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/Mn¹³⁾、大陸からの越境輸送の指標であるPb/Zn¹³⁾、燃料燃焼及び越境輸送両方の指標であるAs/Vを表6に、指標の算出に使用した元素の濃度を表7に示す。

令和2年度のV/Mnは0.07~0.13で推移していた。地殻中のV/Mnは0.16¹⁴⁾であり、大気中の微小粒子のV/Mnでは0.21~0.28¹³⁾とされているが、それらと比較して、1年を通して地殻中の一般的な値に近かった。また、令和元年度は0.08~1.10で推移しており、令和元年度と比較して、推移の幅が小さかった。

令和2年度のPb/Znは0.10~0.33で推移しており、一番高い秋季でも、北京で観測されたPb/Zn=0.56¹³⁾に比べ、小さい値であった。

令和2年度のAs/Vは、0.78~3.01で推移しており、春季及び夏季で高く、秋季及び冬季で令和元年度と同程度であった。Vは石油燃焼、Asは石炭燃焼の指標でもあることから、石油燃焼に対する石炭燃焼の比(As/V)が、燃料燃

焼の指標として用いられ、石炭燃焼が石油燃焼より優勢な地域では、高めの値となり、越境汚染の指標としても用いられる。令和元年度は春季及び夏季でVが高くなっていったが、令和2年度では同様の傾向はなく、年間をとおして令和元年度よりも低い値で推移していた。なお、経済産業省の資源・エネルギー統計(石油)¹⁵⁾によると、令和2年度は、石油消費量が減少していた。

なお、北京では8.5¹⁶⁾であり、合わせ、越境汚り小さいと考え

表6 各季節における無機元素成分指標値(令和2年度及び令和元年度)

	令和2年度				令和元年度			
	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬
V/Mn (石油燃焼)	0.10	0.13	0.07	0.08	0.56	1.10	0.23	0.08
Pb/Zn (大陸越境)	0.13	0.10	0.33	0.11	0.18	0.09	0.08	0.09
As/V (燃料燃焼及び大陸越境)	3.01	2.29	0.78	1.88	0.34	0.20	0.93	1.71

観測されたAs/V Pb/Znの考察と染の影響はかなられた。

表7 各季節における指標元素濃度(令和2年度及び令和元年度)

	令和2年度				令和元年度			
	春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬
V	0.370	0.377	0.18	0.314	1.46	2.19	0.674	0.30
Mn	3.54	2.80	2.57	3.90	2.59	1.99	2.89	3.88
Pb	2.46	2.01	4.75	3.41	3.17	1.91	3.31	3.52
Zn	18	19.2	14.6	32.2	17.5	21	39.1	41
As	1.11	0.86	0.14	0.590	0.501	0.43	0.630	0.51

(ng/m³)

3.5 発生源寄与推定解析

解析は、表1のプロファイルに加え、二次生成粒子である硫酸アンモニウム((NH₄)₂SO₄)、硝酸アンモニウム(NH₄NO₃)及び塩化アンモニウム(NH₄Cl)を、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、表8のとおりプロファイルに追加設定し行った。

OCの二次生成成分については、OCの分析値に有機粒子への換算係数1.6⁹⁾を乗じて、さらに寄与率計算で得られた一次粒子分を差し引いて計算した。なお、差し引くOCについても、換算係数1.6を乗じた。PM2.5平均濃度からすべての寄与量を差し引いた残余をその他とし、残余が負になる時は、0とした。測定値のうち、Scは、検出下限値未満となる値が多かったことから、解析から除外した。以上のようにして、一次生成に寄与する発生源に加え、二次生成成分の寄与を考慮した発生源寄与推定解析を行った。

表8 二次生成粒子の発生源プロファイル

	[mg/kg]					
	硫酸アンモニウム		硝酸アンモニウム		塩化アンモニウム	
Na	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0
NH ₄	273019 ±	27302	225358 ±	22536	336925 ±	33693
K	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0
Ca	0 ±	0	0 ±	0	0 ±	0
Cl	0 ±	0	0 ±	0	663074 ±	66307
NO ₃	0 ±	0	774641 ±	77464	0 ±	0
SO ₄	726980 ±	72698	0 ±	0	0 ±	0

令和2年度及び令和元年度の真岡市における、発生源寄与推定解析の結果及びPM2.5濃度(四季)を図7に示す。

令和2年度は、いずれの季節も二次生成粒子の寄与((NH₄)₂SO₄、NH₄NO₃、NH₄Cl及びOCの寄与率の合計)が最も大きく、その値は56~72%であった。次いで、自動車排出ガスの寄与が大きく、9~20%であった。また、令和元年度と比較すると、春季から秋季で(NH₄)₂SO₄及び重油燃焼の寄与が減少し、全ての季節でバイオマス燃焼及び土壌の寄与が増加した。

また、前述のイオン成分及び炭素成分の傾向は、本解析の結果でもおおむね一致しており、令和元年度と比較して(NH₄)₂SO₄、NH₄NO₃及びNH₄Clの寄与が減少し、炭素成分の寄与が増加した。

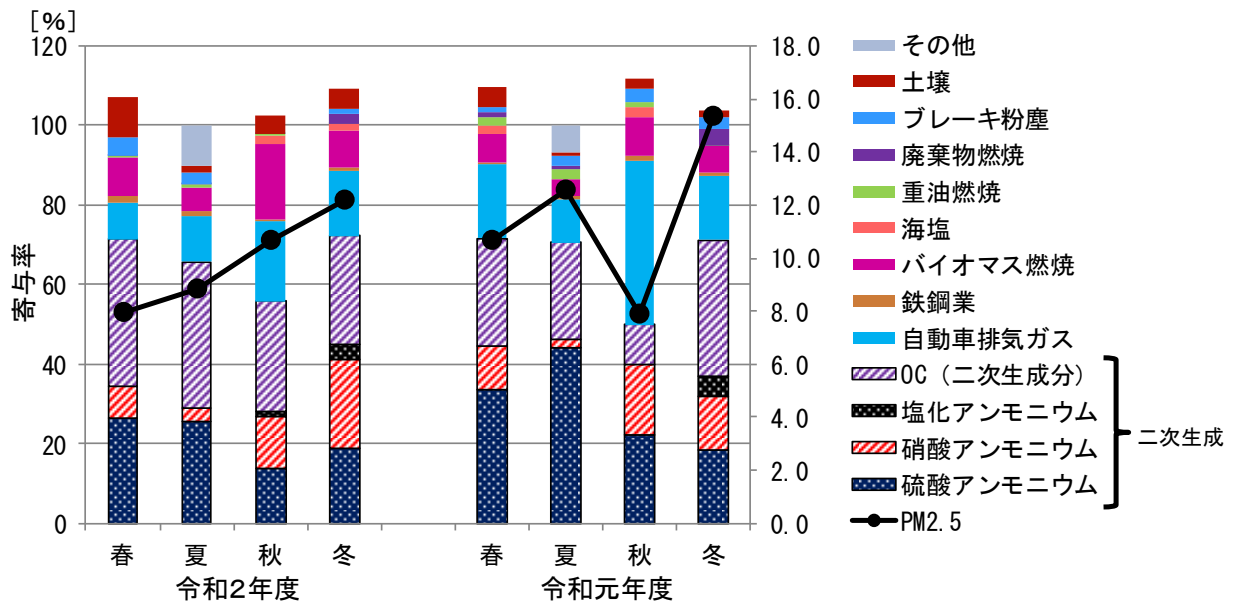


図7 季節ごとの発生源寄与と推定解析結果及びPM2.5濃度(四季)(令和2年度及び令和元年度)

なお、既報²⁾では、夏季には(NH₄)₂SO₄、冬季にはNH₄NO₃の寄与が増加し、各季で代表される成分であったことが示されているが、令和2年度は、冬季のみ同様の傾向が見られ、夏季は大気質の変化により例年ほど(NH₄)₂SO₄が増加しなかったものと推察された。

4 まとめ

令和2年度は、すべての測定局で環境基準を達成していた。PM2.5濃度(常監)は、小山市役所で最も高く、黒磯保健センターで最も低く、県南地域ほど高い傾向が見られた。

冬季ではNH₄NO₃が主成分となる傾向が見られた。無機元素成分の解析からは、越境汚染の影響は小さいことが示唆された。発生源寄与推定解析からは、二次生成粒子の寄与が最も大きく、次いで自動車排出ガスの寄与が大きいことが分かった。

また、組成比や発生源等の大きな傾向は例年と一致しているものの、特に春季から秋季にかけては、例年と異なる傾向が得られ、新型コロナウイルス感染症に関連した社会経済活動の変化による影響があったものと考えられた。

5 参考文献

- 1) 大気環境情報システム、<http://atmospheric-monitoring.jp/pref/tochigi/index.html>
- 2) 栃木県保健環境センター年報、25、97-104、2020。
- 3) 環境省水・大気環境局大気環境課、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。
- 4) 環境省水・大気環境局大気環境課、環境大気常時監視マニュアル(第6版)、平成22年3月。
- 5) 令和元年度微小粒子状物質合同調査報告書 関東におけるPM2.5のキャラクター化(第11報)、2021。
- 6) とある化学者のウェブサイト、<http://rhanaiishi.world.coocan.jp/index.html>
- 7) 平山ら、川崎市における微小粒子状物質(PM2.5)の成分組成(2013年度)、川崎市環境総合研究所年報(2014)。
- 8) 環境省、微小粒子状物質曝露影響調査報告書、2007。
- 9) 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、2018。
- 10) 飯島ら、花火・ヨシ焼きによる汚染影響について、大気環境学会誌、第53巻、第3号A48-49、2018。
- 11) 東京都微小粒子状物質検討会 レセプターワーキング報告書、PM2.5の発生源寄与の推定に関するワーキンググループ、2011。
- 12) 栃木県保健環境センター年報、21、50-61、2016。
- 13) 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。
- 14) McLennan, S. M. : Relationships between the trace element composition of sedimentary rocks and upper continental crust, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2001。

- 15) 経済産業省資源エネルギー庁資源・燃料部、資源・エネルギー統計（石油）、
<https://www.meti.go.jp/statistics/tyo/sekiyuka/index.html#menu>
- 16) 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.