

【調査研究】

岡山県におけるPM2.5高濃度事象に関する研究（第2報） Study on High Concentration Events of PM2.5 in Okayama Prefecture (2nd Report)

森 寛史, 野村 茂, 仲 敦史, 畝山善光, 小川知也

MORI Hiroshi, NOMURA Shigeru, NAKA Atsushi, UNEYAMA Yoshihiro, OGAWA Tomoya

要 旨

岡山県におけるPM2.5の環境基準達成率は、全国と比較して低位で推移している。児島湾干拓地及びその周辺の田園地帯（以下「当該田園地帯」という。）では、稲わらの焼却処理（以下「野焼き」という。）が行われる11月にPM2.5の濃度が上昇することが多く、短期基準を超過する高濃度事象が発生している。そこで、令和4年度の11月及び一般的に野焼きが行われていない3月に当該田園地帯でPM2.5を採取し、試料の構成成分と野焼きの発生状況の関連を調査した。11月の調査の結果、野焼きの指標として報告されている成分の濃度と調査地点周辺の煙数の間に相関が確認された。相関が確認された構成成分の中でもレボグルコサンは、11月と3月の濃度比が顕著であることや、野焼きが行われていない3月は、PM2.5濃度によらず一定の低い濃度レベルであったことなどから、野焼きの指標として最も有効であると推察された。また、11月の調査期間中に県内の他地域では高濃度事象がみられなかったことから、当該田園地帯における地域的な汚染であることが示唆された。11月の調査で野焼きの指標成分の濃度と煙数の間に強い相関が確認されたことや、高濃度事象が調査地点周辺における地域的な汚染によるものだったことなどから、当該田園地帯における11月の高濃度事象には、野焼きが大きく影響していることがより強く示唆された。

[キーワード：PM2.5, 野焼き, レボグルコサン]

[Key words : PM2.5, Open Burning, Levoglucosan]

1 はじめに

微小粒子状物質（以下「PM2.5」という。）は、大気中に浮遊している2.5 µm以下の非常に小さな粒子（髪の毛の太さの1/30程度）であり、肺の奥深くまで入りやすく、呼吸器系に悪影響を与え、さらに、循環器系に影響を与えることも報告¹⁾されている。このため環境基本法第16条第1項に基づき人の健康の適切な保護を図るために維持されることが望ましい水準として、環境基準（1年平均値15 µg/m³以下かつ1日平均値35 µg/m³以下）が定められている。

岡山県におけるPM2.5の環境基準達成率は、全国と比較して低位で推移しており²⁾、短期基準（1日平均値35 µg/m³以下）を超過する事例がみられる。児島湾干拓地及びその周辺の田園地帯（以下「当該田園地帯」という。）において稲わらの焼却処理（以下「野焼き」という。）がPM2.5の濃度上昇に影響を及ぼしている可能性があることを既報^{3), 4)}により報告した。

本研究では、令和4年11月及び令和5年3月に当該田園地帯で採取した大気中のPM2.5の構成成分の分析を行い、野焼きの状況の調査結果と併せて高濃度事象の要因の推定を行ったので、その結果を報告する。

2 調査方法

2.1 調査地点及び調査期間

調査地点を図1に示す。当該田園地帯に位置する当センターを調査地点として、PM2.5の試料採取と野焼きの状況の調査を行った。調査期間は、令和4年11月7日～22日（土日祝日を除く。以下当該期間に実施した調査を「11月調査」という。）及び一般的に野焼きが行われていない令和5年3月20日～26日（以下当該期間に実施した調査を「3月調査」という。）とした。なお、調査期間中、調査地点から最も近い黄砂の観測地点である高松観測点において、黄砂の飛来は確認されていない^{5), 6)}。

2.2 試料採取方法及び野焼きの状況の調査方法

PM2.5の試料採取は、大気中微小粒子状物質（PM2.5）成分測定マニュアル⁷⁾（以下「成分測定マニュアル」という。）の捕集方法に準じて行った。サンプラー（Thermo Scientific製 2000-FRM）を使用して、流量16.7 L/minで石英繊維フィルタ（東京ダイレック製 2500QAT-UP）及び四ふっ化エチレン樹脂製（以下「PTFE」という。）フィルタ（PALL製 Teflo）に23時間採取したものを1日分とした。野焼きの状況の観測方法は、既報⁴⁾のとおりである。



図1 調査地点及び各大気測定局の設置状況

2.3 分析方法

採取した試料の分析項目は、PM2.5濃度、イオン成分 (Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$), 炭素成分 (有機炭素 (以下「OC」という。)), 元素状炭素 (以下「EC」という。)), 無機元素 (Mn, Cr, Ni, Be, As, Al, Fe, Zn, Cu, V, Pb, Se, Cd) 及びレボグルコサンとした。なお、レボグルコサンは、成分測定マニュアルでバイオマス燃焼の良い指標とされている有機化合物である。

PM2.5濃度は、PTFEフィルタをウルトラマイクロ天秤 (Sartorius製 MSA2.7S-000-DF) を用いて、温度20℃、湿度35%の条件で秤量し、算出した。フィルタを秤量後、イオン成分、炭素成分、無機元素及びレボグルコサンを成分測定マニュアルに従って分析した。

イオン成分の分析は、石英繊維フィルタを超純水に浸して超音波抽出を行い、イオンクロマトグラフ装置 (Thermo Scientific製 ICS-1600) で分析した。炭素成分は、石英繊維フィルタをカーボンエアロゾル分析装置 (Sunset Laboratory製 CAA-202M-D) で分析した。無機元素の分析は、PTFEフィルタを圧力容器に入れて酸分解した後、誘導結合プラズマ質量分析計 (ICP-MS) (Agilent製 7800) で分析した。レボグルコサンは、石英繊維フィルタをジクロロメタン/メタノール (2:1) に浸して超音波抽出を行い、N,O-ビス (トリメチルシリル) トリフルオロアセトアミド及び10%-クロロトリメチル

シランで誘導体化した後、ガスクロマトグラフ質量分析計 (GC-MS) (島津製作所製 GCMS-QP2010 Ultra) で分析した。

各成分の分析によって得られた値のうち、検出下限値以上のものを分析データとして採用した。

2.4 常時監視データによる解析

11月調査期間中の県内全域におけるPM2.5の状況を把握するために、岡山県大気汚染監視システムにより収集したPM2.5濃度の日平均値データを解析した。対象の大気測定局は、一般環境大気測定局のうち、三石局 (東部)、茂平局 (西部)、宇野局 (南部)、津山局 (北部)、吉備高原局 (中央部)、監視センター (水島工業地帯)、松江局 (水島工業地帯)、塩生局 (水島工業地帯) であり、これらの測定局のデータを使用した (有効測定日のみ解析に使用した。各大気測定局の位置は、図1を参照)。水島工業地帯に立地している3測定局のデータは、これらの平均値を算出し、解析に使用した (図4において「水島」と表記する。)

3 結果及び考察

3.1 11月調査及び3月調査の結果

11月調査期間中の調査地点におけるPM2.5の平均濃度は、 $21.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、これは、令和4年度における県内の一般大気測定局の年間平均値 ($12.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) と比較しても高い値であった。また、短期基準を超過する日も確認されたことから、11月調査期間中は平時と比較して高濃度環境にあったことが分かった。一方で、3月調査期間中のPM2.5の平均濃度は、 $14.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、令和4年度における県内の一般大気測定局の年間平均値と同程度であった。

11月調査における各構成成分の濃度と煙数との相関を図2に示す (Beは検出下限値未満のデータ多数のため除外)。煙数の観測結果及び煙数とPM2.5濃度の相関関係については既報⁴⁾ のとおりであり、11月調査期間中の煙数とPM2.5濃度の間に強い相関 ($R = 0.89$) がみられた。濃度と煙数の相関係数が0.7以上だった成分は、相関係数が大きい順に、OC、レボグルコサン、 NO_3^- 、 K^+ 、EC、 $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ であった。また、OC、レボグルコサン、 K^+ 、EC、 $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ については、既報^{8), 9)} で野焼き等のバイオマス燃焼の指標になり得ることが報告されており (以下これらの5成分を「野焼き指標成分」という。)、今回の結果は、PM2.5の濃度上昇と野焼きの関連性を結びつけるものとなった。

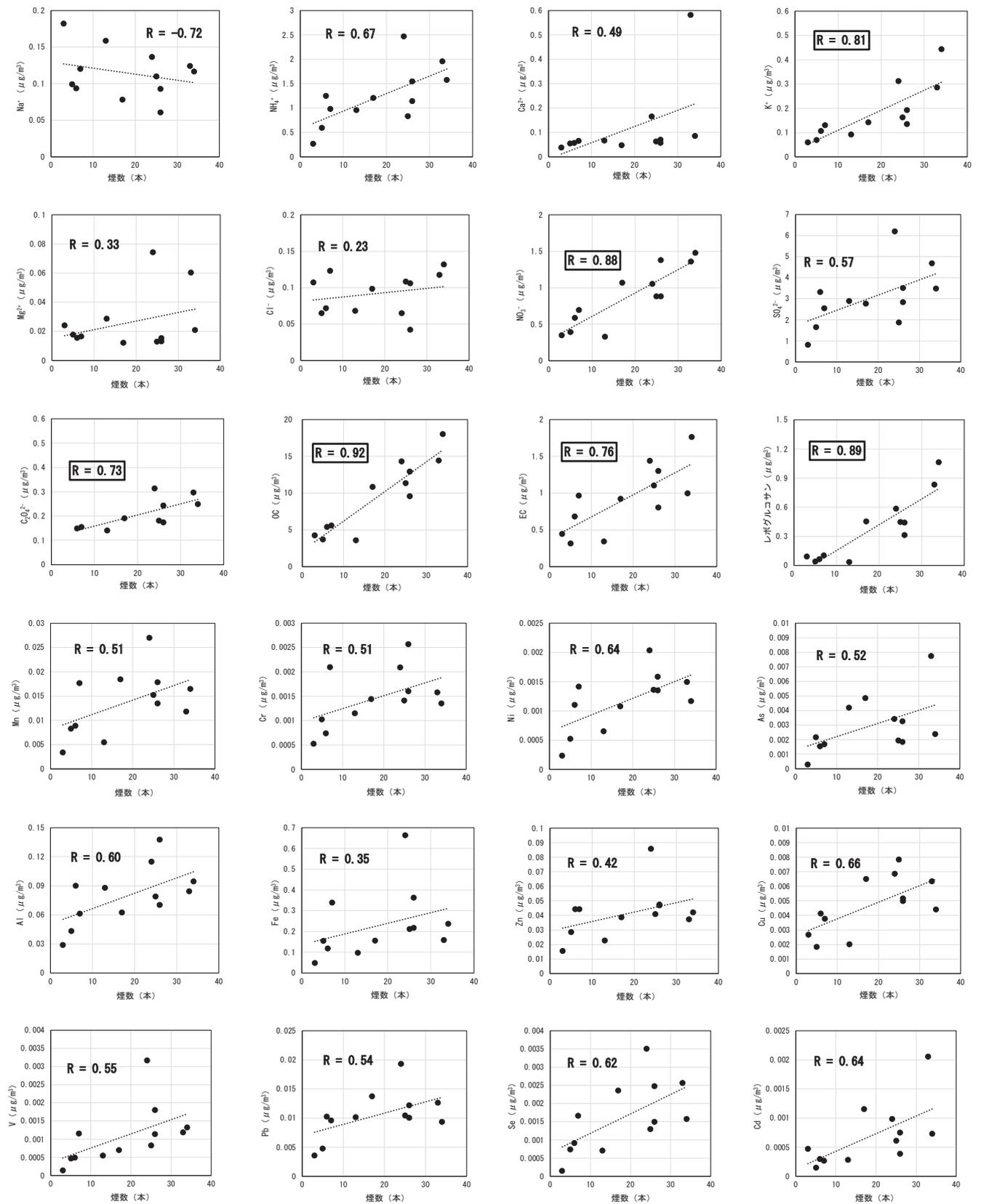


図2 11月調査における各構成成分の濃度と煙数の相関 (R ≥ 0.7の構成成分を太枠で示している)

表1 調査期間中の各構成成分の平均濃度及び濃度比

(は野焼き指標成分)

($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	レボグルコサン	OC	EC	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	C ₂ O ₄ ²⁻	Mn
11月調査	0.37	9.5	0.92	0.11	1.2	0.18	0.026	0.11	0.092	0.87	3.0	0.21	0.014
3月調査	0.025	2.6	0.35	0.13	0.91	0.12	0.027	0.15	0.13	1.2	2.0	0.15	0.012
濃度比 (11月調査/3月調査)	15	3.7	2.6	0.86	1.4	1.5	0.95	0.74	0.72	0.70	1.5	1.4	1.1

($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Cr	Ni	Be	As	Al	Fe	Zn	Cu	V	Pb	Se	Cd
11月調査	0.0015	0.0012	-	0.0030	0.080	0.23	0.041	0.0047	0.0011	0.011	0.0016	0.00068
3月調査	0.0017	0.0015	0.000015	0.0016	0.28	0.31	0.042	0.0035	0.0015	0.0063	0.0023	0.00025
濃度比 (11月調査/3月調査)	0.87	0.78	-	1.9	0.28	0.75	0.98	1.3	0.70	1.7	0.71	2.8

各調査期間における構成成分の平均濃度及び各調査期間の濃度比 (11月調査の平均濃度/3月調査の平均濃度) を表1に示す。濃度比が1より大きい場合、11月調査の方が3月調査よりも濃度が高いことを示す。濃度比に注目すると、野焼き指標成分は1.4~15倍、その他の成分は0.28~2.8倍という結果になり、野焼き指標成分は、野焼き最盛期である11月調査期間中に濃度が高くなる傾向にあることが分かった。特にレボグルコサンは、濃度比が15倍と他成分と比較して顕著に高く、野焼き最盛期の濃度上昇が顕著であることが分かった。

11月調査で濃度と煙数の間に強い相関が認められ、かつ濃度比が他成分と比較して顕著に高かったレボグルコサンは、構成成分の中でも特に野焼きとの関連性が高いと推察されたため、調査期間中のレボグルコサン濃度とPM2.5濃度の相関を調べたところ図3のようになった。3月調査のレボグルコサン濃度は、11月調査と比較して10分の1程度と低く、ほぼ一定であった。さらにPM2.5濃度との相関も確認できなかった ($R = -0.07$) ことから、平時は、PM2.5濃度との関連性が低いことが分かった。その一方で、野焼き最盛期の11月調査は、PM2.5濃度に応じた挙動を示し、強い相関が認められたことから ($R = 0.93$)、野焼きとの関連性が高いことが分かった。レボグルコサンは、野焼き最盛期の濃度上昇が顕著であることや、平時の濃度がPM2.5濃度によらず一定の低い濃度レベルであることなどから、当該田園地帯における野焼きの指標として特に有効であると考えられた。レボグルコサンは、植物に多く含まれているセルロースが熱分解することで生成される化合物であり、既報⁹⁾でも、バイオマス燃焼の指標として有効であると報告されていることから、分析の結果は既報の結果とも合致していた。

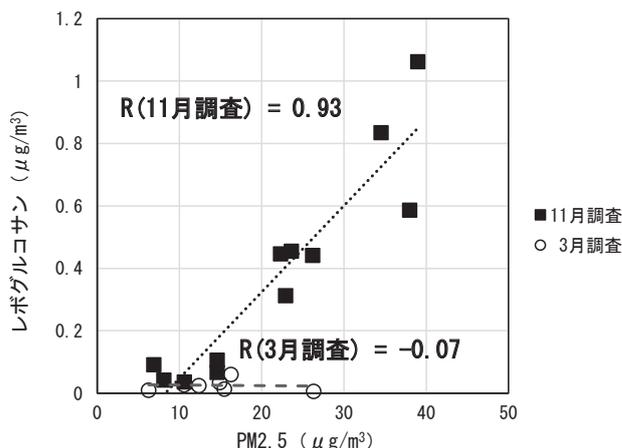


図3 各調査期間中のレボグルコサンとPM2.5の相関

3.2 県内各地のPM2.5の状況

11月調査期間中の県内のPM2.5の状況を図4に示す。調査期間中の調査地点の日別平均濃度は、6.9~39.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で推移し、短期基準を超過する高濃度事象も確認された。他の地域の日別平均濃度は、5.6~21.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、調査地点よりも低い濃度で推移していた。11月調査期間中に他の地域では、短期基準の超過は確認されず、多くの日が年平均値と同程度であったことから、高濃度環境にはなかったと推察された。11月14日は、県内全域でPM2.5濃度が顕著に低くなっているが、これは13日に降雨があった影響と推察された。

また、図4より11月7日~11日のように煙数が多い日ほど調査地点と他地域間の濃度差が大きくなり、11月14日~16日のように煙数が少ない日は、濃度差が小さい傾向となった。調査地点のPM2.5の濃度からその他の地域の濃度の平均を差し引いた値と煙数との相関は、図5のとおりであり (濃度差が負になったデータは表示していない)、強い相関があった ($R = 0.89$)。このことから、煙数が多くなるほど、調査地点と他地域間の濃度差は大きくなる傾向にあり、調査地点の高濃度事象は野焼きによる地域的な事象であったと推察された。

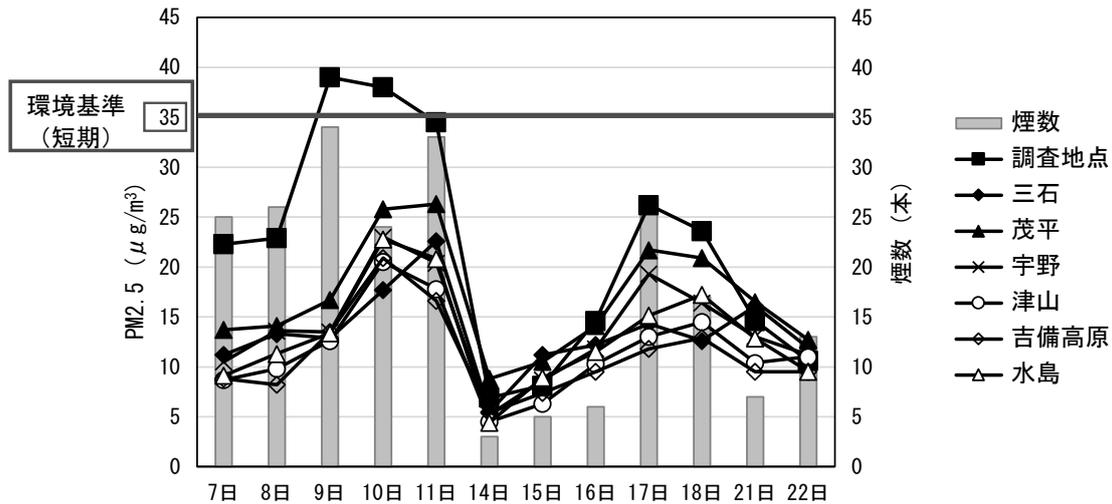


図4 11月調査期間中の県内のPM2.5の状況

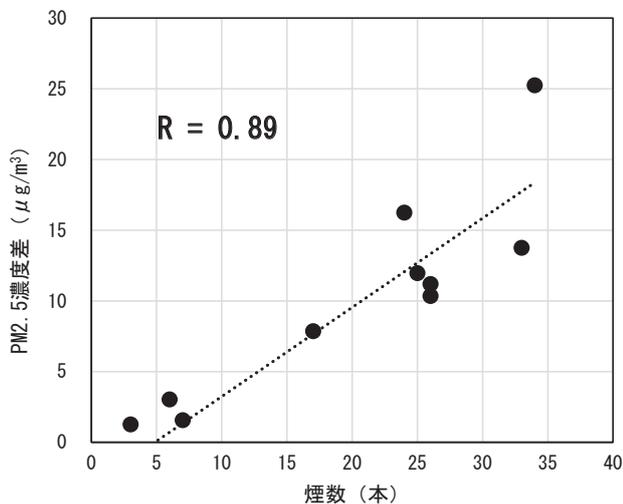


図5 煙数と地点間のPM2.5濃度差の相関

4 まとめ

常時監視データの解析から、11月調査期間中に県内で広域的な汚染は認められず、調査地点周辺で確認された高濃度事象は、地域的な汚染であったと推察された。11月調査において、野焼き指標成分と煙数の間に強い相関がみられた。野焼き指標成分の中でもレボグルコサンは、3月調査との濃度比が他成分と比較して顕著に高かったことや、平時はPM2.5濃度によらず、一定の低い濃度レベルであったことから、当該田園地帯における野焼きの指標として特に有効であることが示唆された。11月調査において、野焼き指標成分の濃度と煙数の間に強い相関が確認されたことや、高濃度事象が調査地点周辺における地域的な汚染によるものだったことなどから、11月の当該田園地帯におけるPM2.5の高濃度事象には、稲わらの野焼きが大きく影響していると推察された。

本県では、秋期における稲わらの野焼きの減少に向け、

稲わらをすき込んで有効利用することなどを促進するための事業（晴れの国ブルースカイ事業）を実施しているところであるが、本調査の結果は、事業の有効性を裏付けるものであった。そのため、継続的な環境基準の達成に向けて、今後も対策を進めていく必要があると考えられた。

文 献

- 1) 環境省：微小粒子状物質（PM2.5）に関する情報，<https://www.env.go.jp/air/osen/pm/info.html#ABOUT>（2024.6.13アクセス）
- 2) 環境省：令和2年度 大気汚染物質（有害大気汚染物質等を除く）に係る常時監視測定結果，<https://www.env.go.jp/content/900400269.pdf>（2024.6.13アクセス）
- 3) 小川知也，野村茂，大月史彦，畝山善光，森寛史：岡山県におけるPM2.5高濃度事象の要因について，岡山県環境保健センター年報，47，1-4，2023
- 4) 小川知也，野村茂，大月史彦，畝山善光，森寛史：岡山県におけるPM2.5高濃度事象に関する研究，岡山県環境保健センター年報，47，5-7，2023
- 5) 気象庁：2022年黄砂観測日および観測地点の表，https://www.data.jma.go.jp/env/kosahp/kosa_table_2022.html（2024.10.14アクセス）
- 6) 気象庁：2023年黄砂観測日および観測地点の表，https://www.data.jma.go.jp/env/kosahp/kosa_table_2023.html（2024.10.14アクセス）
- 7) 環境省：大気中微小粒子状物質（PM2.5）成分測定マニュアル

- 8) 岩田杉夫, 梶田奈穂子, 黒木誠, 岡崎広史, 尾関由衣: 愛知県におけるPM2.5中のシュウ酸に関する考察, 愛知県環境調査センター所報, 46, 1-6, 2018
- 9) 坂本和彦, 岡本敬義: PM2.5等のレボグルコサン分析に関する研究, 東京都微小粒子状物質検討会報告書資料集, 5, 1-21, 2011