

<報 文>

2025年3月26日のPM_{2.5}高濃度事例における長野県内の状況*

—黄砂と韓国山火事の同時影響事例—

中込和徳**・山寄琢磨**・酒井文雄**

キーワード ①PM_{2.5} ②黄砂 ③韓国山火事 ④粗大粒子 ⑤微小粒子

要 旨

2025年3月26日のPM_{2.5}高濃度事例について、長野県内及び周辺地域の濃度上昇状況を整理し、発生原因について検討した。その結果、3月26日の県内PM_{2.5}濃度は、8時前後から全測定局で急激に上昇し始め、南東の測定局ほど遅くまで上昇し、元のレベルに下がるのも遅い状況であった。県中部、南部の8局全てで、日平均値は35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を、1時間値は120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた。最大値は、日平均値が飯田局の53.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、1時間値が木曽局の185 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。広域的にみると、3月26日の8時から10時にかけて、70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上の測定局が、愛知県から長野県・山梨県に及ぶ一つながりの範囲として現れ、その後、愛知県を軸にして徐々に時計回りに回転していた。このため本県のPM_{2.5}濃度上昇は、この70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上の範囲の出現、移動に伴って発生したものと理解された。PM_{2.5}濃度上昇の原因としては、黄砂と韓国山火事の二つの要因が考えられたが、検討の結果、山火事の影響をより強く受けたことが示唆され、その寄与率は70～80%に達したと推定された。

1. はじめに

微小粒子状物質（PM_{2.5}）については、健康影響が懸念されることから、2009年に環境基準が制定され、全国的に監視されてきた。当初は全測定局の年平均値が15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 前後で、環境基準達成率が3割前後と低く、日平均値が基準値を超える高濃度日も多かった¹⁾。しかし近年では、年平均値が概ね10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下に低下し、環境基準達成率はほぼ100%となり、高濃度日も大幅に減少した¹⁾。

そのような中、2025年3月25日から26日にかけて、西日本から北日本の広い範囲で黄砂の飛来が予測され、気象庁が注意を呼びかけた²⁾。気象庁によると、25日には東京や大阪をはじめ各地で黄砂が観測され、26日も飛来する見通しであったが、濃度は低下傾向の予測であった³⁾。

一方、25日時点のPM_{2.5}濃度は、長野県内をはじめ全国的に概ね70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下で、黄砂によるPM_{2.5}への影響は限定的であると思われた。ところが、26日8時から、突然、長野県内のPM_{2.5}濃度が急激に上昇し始め、10時には16局中6局で120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超え、結果的には最大で200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ にせまる近年では異例の高濃度事例となった。

本事例発生時、これほどまでの濃度上昇は予測出来ず、少なからず対応に困難を伴った。また、本事例の発生原因も明確ではなかった。そこで本報では、今後同様の事

例が発生した際により適切な対応に資するため、本事例における長野県内及び周辺地域における濃度上昇の状況を整理するとともに、本事例の発生原因について検討した結果を報告する。

2. 解析方法

解析対象期間は3月26日の高濃度日を含む24日から28日までの5日間とした。解析対象地点は図1に示した長野県内のPM_{2.5}測定局16局とした。このうち更埴IC、岡谷IC、小島田、松本渚交差点（渚）の4局は道路周辺大気測定局、その他12局は一般環境大気測定局である。また、豊野、吉田、篠ノ井、小島田の4局は長野市が、渚、松本庄内（庄内）の2局は松本市が管理する測定局であり、データを利用させていただいた。

PM_{2.5}は16局全てのデータを、浮遊粒子状物質（SPM）は測定未実施の豊野局を除く15局のデータを使用した。なお、PM_{2.5}計の機種は、吉田、小島田、篠ノ井の3局が東亜ディーケーケー社製FPM-377C、その他13局は紀本電子工業社製PM-712であった。一酸化炭素（CO）は、長野県内の測定実施局である渚、小島田の2局のデータを使用した。二酸化硫黄（SO₂）、一酸化窒素（NO）、二酸化窒素（NO₂）、光化学オキシダント（O_x）は、長野県内の各地域を代表

*The Situation in Nagano Prefecture at the High PM_{2.5} Event on 26 March 2025: The case of simultaneous influences of Asian dust and Korean wildfire.

**Kazunori NAKAGOMI, Takuma YAMAZAKI, Fumio SAKAI（長野県環境保全研究所）Nagano Environmental Conservation Research Institute

して、環境保全研究所（環保研）、松本、諏訪、伊那、佐久、木曽の6局のデータを、メタン（CH₄）、非メタン炭化水素（NMHC）は、長野県内の測定実施局である環保研、松本の2局のデータを使用した。

PM_{2.5}濃度の全国分布図は国立環境研究所のそらまめ君ギャラリー⁴⁾の図を利用させていただいた。なお、解析に用いたデータ等はいずれも速報値であり、後日修正の可能性がある。

3. 結果及び考察

3.1 長野県内におけるPM_{2.5}濃度の変動状況

図2に県内16局のPM_{2.5}濃度の経日変化を地域別に色分けして示した。高濃度日2日前の3月24日には20 µg/m³前後と、通常としては高めであった。前日の25日には気象庁により黄砂が観測され³⁾、24日と比較して7 µg/m³程度上昇したが、全ての測定局で30 µg/m³未満であった。ところが26日には、県中部及び南部を中心にPM_{2.5}濃度が大きく上昇し、同地域の8局全てで日平均値が環境基準値の35 µg/m³を超えた。最大値は飯田局の53.0 µg/m³で、次いで木曽局が48.9 µg/m³、伊那局が46.3 µg/m³、諏訪局が45.2 µg/m³であった。翌日の3月27日にはPM_{2.5}濃度が大きく低下し、全ての測定局で25 µg/m³未満になり、2日後の3月28日には、さらに低下して10 µg/m³未満になった。

このPM_{2.5}濃度が大きく上昇した3月26日の様子をより詳細にみるため、図3にPM_{2.5}濃度の経時変化を地域別に色分けして示した。8時前後から県内16局全てでPM_{2.5}濃度が急激に上昇し始めた。長野、上田・佐久、松本の各地域では、濃度レベルに差はあるが、概ね10時前後に最大値に達し、13時頃に元のレベルに下がる濃度変化を示した。これに対して、諏訪、木曽、伊那、飯田の各地域では、南東に位置する測定局ほど遅くまで濃度上昇し、元のレベルに下がるのも遅い状況であった。濃度レベルについては、長野、上田・佐久地域の8局が100 µg/m³以下であったのに対して、県中部及び南部の8局では1～4時間にわたって120 µg/m³を超え、最大値は木曽局の12時の値で185 µg/m³に達した。

2009年度のPM_{2.5}常時監視開始以降2024年度現在までの16年間で、本県において日平均値が50 µg/m³を超え、かつ1時間値が120 µg/m³を超えて高濃度となったのは、2010年11月13日～14日の高濃度事例以来2例目であり、PM_{2.5}濃度が全国的に低下し、ほぼ100%環境基準を達成している近年においては、極めて異例の高濃度事例となった。

3.2 周辺地域におけるPM_{2.5}濃度の変動状況

3月26日のPM_{2.5}濃度上昇について、より広い範囲の状況を把握するため、PM_{2.5}濃度の全国分布図を確認した。前

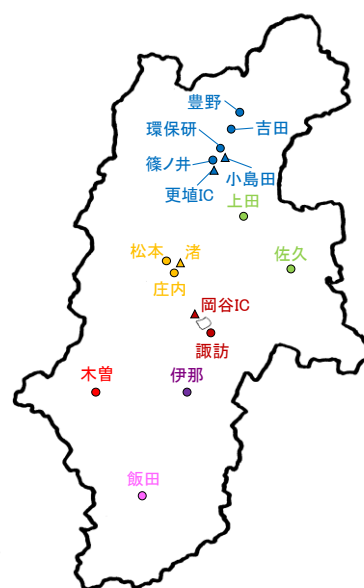


図1 解析対象地点

(○：一般局，△：道路局)

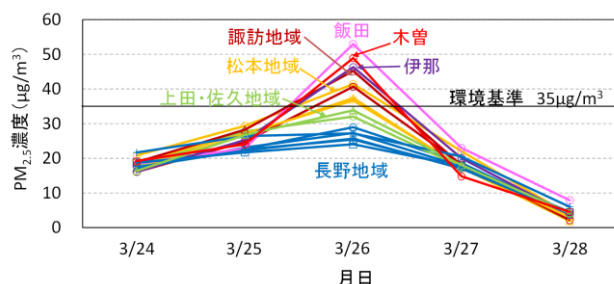


図2 PM_{2.5}濃度の経日変化

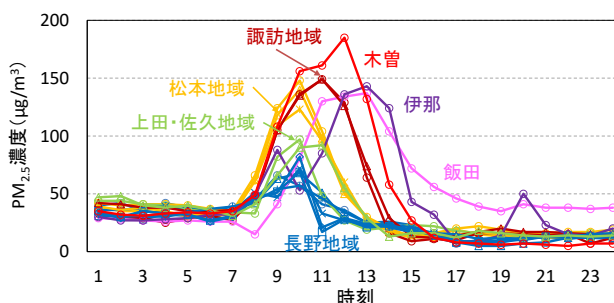


図3 3月26日のPM_{2.5}濃度の経時変化

日の25日には、中部地方を中心とした日本列島の広い範囲で、PM_{2.5}濃度が黄色（35～50 µg/m³）の高濃度となった（図4a）。そのような中26日には、8時から10時にかけて、赤色（70 µg/m³以上）の測定局が愛知県から長野県・山梨県に及ぶ長さ約400km、幅約200kmの一つながりの範囲として湧き出すように現れた（図4b）。

その後、赤色の範囲は、愛知県を軸にして徐々に時計回りに回転し、11時から15時には愛知県から長野県・山梨県・静岡県を通して関東地方に及ぶ範囲に（図4c）、16時には愛知県から静岡県を通して神奈川県に及ぶ太平洋沿岸の範囲になった（図4d）。

17時以降は、PM_{2.5}濃度の低下に伴って赤色の範囲が縮

少し(図4e)、翌日の27日には、九州から東北に及ぶ広い範囲が緑色(15~35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)及び黄色の測定局に覆われた(図4f)。

以上のことから、本県における3月26日のPM_{2.5}濃度上昇は、この赤色の範囲の出現、移動に伴って発生したものと理解された。

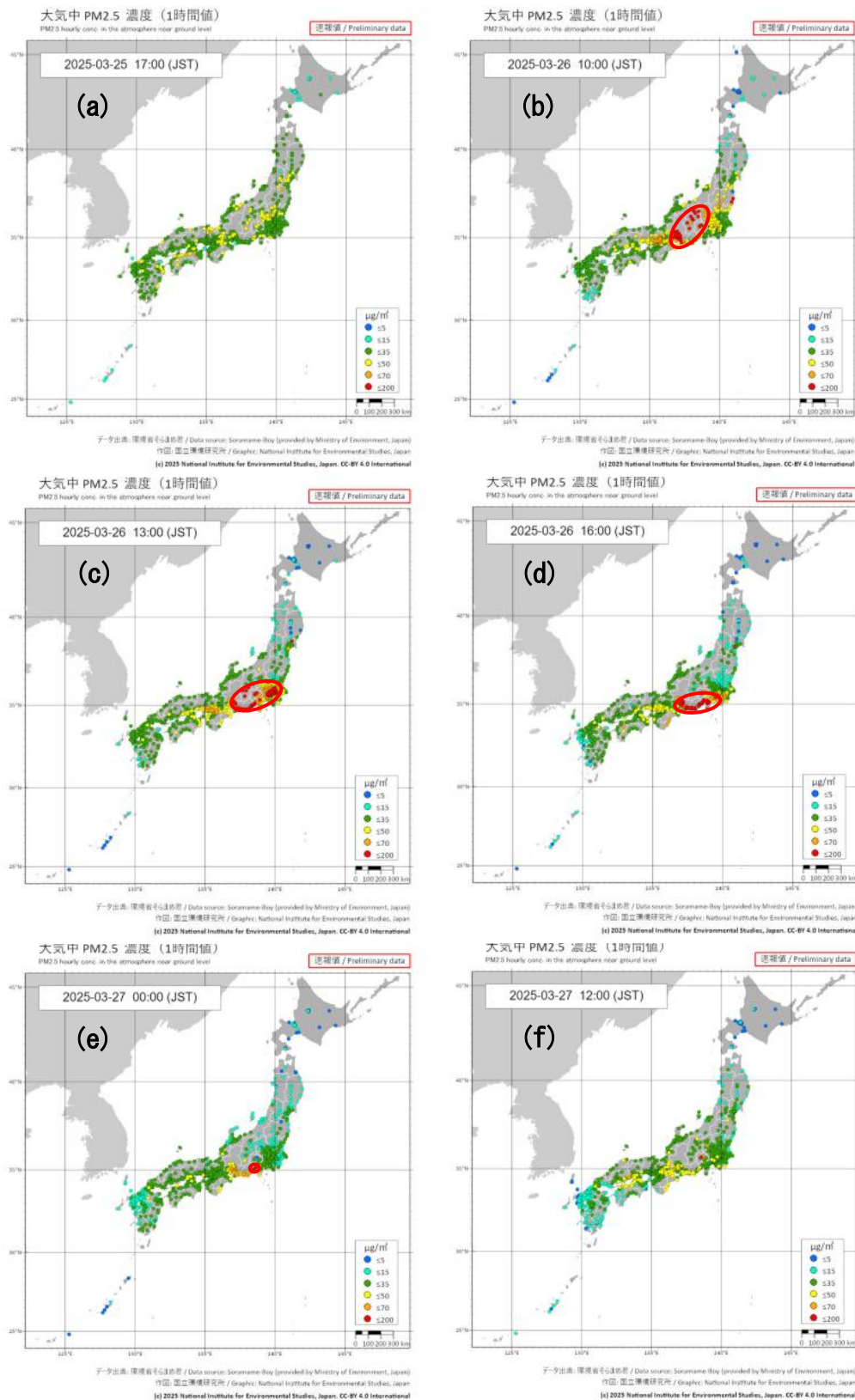


図4 PM_{2.5}濃度の全国分布図 (a) 3月25日17時, (b) 3月26日10時, (c) 3月26日13時, (d) 3月26日16時, (e) 3月27日 0時, (f) 3月27日12時
(国立環境研究所「そらまめ君ギャラリー」引用, 図(b)~(e)には赤色測定局の範囲を表す赤色楕円を当所に追加)

3.3 PM_{2.5}濃度上昇の原因

3.3.1 粗大粒子と微小粒子の比較検討（定性）

3月26日のPM_{2.5}濃度上昇の原因としては、前日から当日にかけて全国的に飛来した黄砂が要因の一つとして考えられた。一方、一部報道では、当時韓国で発生していた大規模な山火事の影響が、衛星画像などから指摘されており⁵⁾、要因の一つとして考えられた。そこで、これら黄砂と山火事の二つの要因の影響状況について検討した。

一般に、黄砂など機械的破碎由来の粒子は、粗大粒子の割合が大きく、逆に、山火事の煙など燃焼由来の粒子は、微小粒子の割合が大きい特徴がある⁶⁾。そこで、SPMとPM_{2.5}の差を粗大粒子、PM_{2.5}を微小粒子とし、両者の関係を基に、黄砂と山火事の影響状況について検討した。

図5に、一例として渚局について、3月24日から26日の粗大粒子と微小粒子の経時変化をSPMと合わせて示した。粗大粒子は、3月25日の6時頃から上昇し始め、26日13時頃まで、前後の期間に比べて高い値で推移した。3月25日から26日にかけては、気象庁により黄砂が観測されたことから、その影響によるものと考えられた。一方、微小粒子も、上述の黄砂の影響による粗大粒子の上昇に伴って、前後の期間に比べて、やや高い値を示したが、3月26日の8時から13時にかけては、粗大粒子に大きな変化がないにもかかわらず、微小粒子が特異的に大きな上昇を示し、黄砂に加えて、山火事の影響を強く受けた可能性が示唆された。同様の結果は他の測定局でもみられたが、3月25日から26日にかけての黄砂による粗大粒子の上昇は、渚、庄内、上田、飯田の4局で特に顕著であった。このため、本節及び次節における以下の解析では、代表して、これら4局を解析対象地点とした。

図5の渚局の例における黄砂と山火事の影響状況をより詳細にみるため、期間を黄砂前（3月24日1時～25日5時）、黄砂時（25日6時～26日7時）、濃度上昇時（26日8時～13時）、濃度上昇後（26日14時～24時）の4期間に分け、それぞれについて、粗大粒子（C）と微小粒子（F）の関係を図6に示した。黄砂前（青色）はC:Fが1:5の微小粒子の割合が大きい実線上に分布していたが、黄砂時（黄土色）はC:Fが4:3の粗大粒子の割合が大きい破線に平行な線上に分布していた。仮に、黄砂が3月26日の濃度上昇の主な原因であったとすると、濃度上昇時（赤色）は、図中に黄土色の楕円で示した、黄砂時の分布の延長線上に分布すると予想されたが、実際には図に示したように、微小粒子の割合がより大きな位置に分布し、山火事の影響をより強く受けたことが示唆された。濃度上昇後（緑色）は、黄砂や山火事の影響を受ける前の黄砂前（青色）と概ね同じ位置に戻った。これら渚局と同様の結果は他の3地点でも見られた。

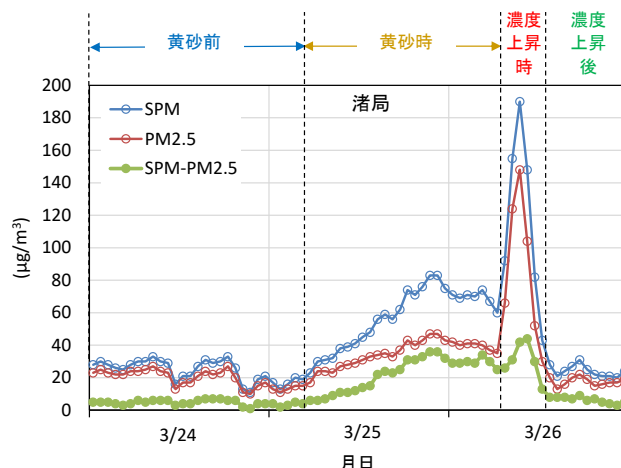


図5 PM_{2.5}濃度上昇前後の粗大粒子（SPM-PM_{2.5}）、微小粒子（PM_{2.5}）、SPMの経時変化と期間区分の例

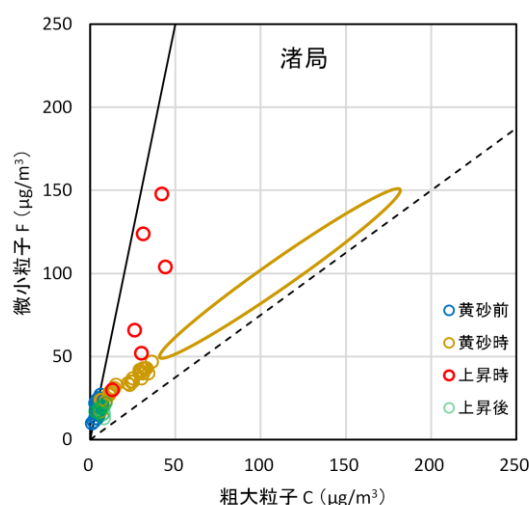


図6 各期間における粗大粒子と微小粒子の関係の例

（実線はC:F=1:5、破線はC:F=4:3、黄土色の楕円は黄砂が原因と仮定した上昇時の推定位置）

3.3.2 粗大粒子と微小粒子の比較検討（定量）

図7に模式的に示したように、濃度上昇時の時刻iの点（C_i, F_i）を、黄砂前の点の平均（C₀, F₀）に黄砂寄与分（C_{Ki}, F_{Ki}）と山火事寄与分（C_{Fi}, F_{Fi}）とを足し合わせたものとする、（式1）となる。

$$(C_i, F_i) = (C_0, F_0) + (C_{Ki}, F_{Ki}) + (C_{Fi}, F_{Fi}) \quad (\text{式1})$$

ここで、黄砂の組成（F_{Ki}/C_{Ki}）及び山火事の組成（C_{Fi}/F_{Fi}）を既知として、それぞれf_K及びf_Fとすると、（式2）となる。

$$(C_i, F_i) = (C_0, F_0) + C_{Ki}(1, f_K) + F_{Fi}(f_F, 1) \quad (\text{式2})$$

この（式2）は、C_{Ki}及びF_{Fi}を2変数とする二元連立一次方程式であり、f_Kf_F≠1の時、一意に解が求まり、微小粒子濃度（F_i）に対する山火事寄与分（F_{Fi}）等が算出できる。

（式2）の右辺第1項（C₀, F₀）については、表1に示したように、解析対象4地点の値が概ね一致していたことから、4地点ともに共通して、4地点の平均値（5.6, 18.0）μg/m³とした。

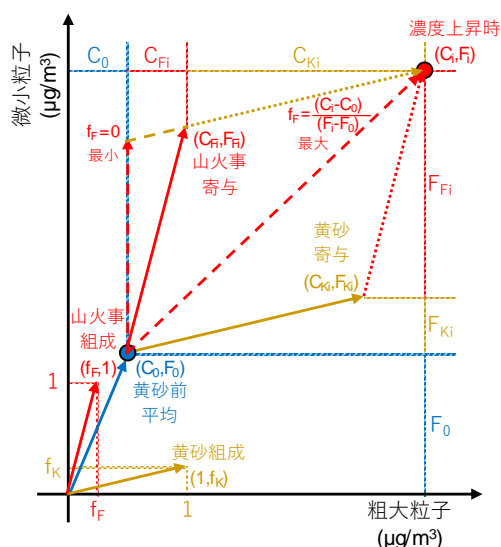


図7 濃度上昇時を黄砂前平均と黄砂寄与分及び山火事寄与分の合計として表した模式図

第2項の黄砂の組成 (f_k) については、例えば渚局では、図6の黄砂時の分布（黄土色）の回帰直線の傾きから0.75と見積もられた。表1に示したように、渚局と同様にして求めた解析対象4地点における回帰直線の傾きは概ね一致していたことから、4地点ともに共通して、4地点の平均値0.71を用いた。なお、表1には決定係数も参考として示したが、4地点ともに0.5以上であり、回帰直線の当てはまりは比較的良好であった。

第3項の山火事の組成 (f_F) については、各地点の濃度上昇時の各時刻*i*の点では、 f_F の最小値は0であり、図7に示したように、黄砂の寄与分が最大、山火事の寄与分が最小となる。一方、 f_F の最大値は $(C_i - C_0) / (F_i - F_0)$ であり、黄砂の寄与分が最小値0で、山火事の寄与分が最大となる。各地点の濃度上昇時の点全体では、 f_F の最小値は0となる。一方、最大値は $(C_i - C_0) / (F_i - F_0)$ の最小値となり、表1の山火事組成（最大）にその値を示した。そこで、 f_F の値には、4地点ともに共通して、山火事寄与が最小となる組成として0を、最大となる組成として、表1に示した山火事組成（最大）の4地点全体での最小値0.157を用いた。

以上、黄砂前平均、黄砂組成及び山火事組成として上述の値を用い、各地点について、濃度上昇時の各時刻*i*における微小粒子濃度 (F_i) に対する山火事寄与分 (F_{Fi}) の最小、最大等を算出した。その結果、渚、庄内、上田、飯田の解析対象4地点ともに、PM_{2.5}濃度が最大値の時刻に、山火事の寄与分及び寄与率は最大となり、それぞれ、104～117、84～95、70～79、101～114 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 及び70～79、68～77、72～81、74～83%と推定された（表2）。このことから、3月26日のPM_{2.5}濃度上昇事例における山火事の寄与率は、解析対象4地点のいずれにおいても、最大の時刻で概ね70～80%に達したと見積もられ、PM_{2.5}濃度上昇の主な要因であったことが定量的にも確認された。

表1 解析対象4地点における黄砂前平均値、黄砂組成及び山火事組成（最大）

地点	黄砂前平均値 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		黄砂組成 傾き(決定係数)		山火事組成 (最大)*1
	C_0	F_0			
渚	4.6	19.5	0.75	(0.92)	0.240
庄内	7.0	18.7	0.60	(0.90)	0.280
上田	5.8	16.4	0.86	(0.56)	0.157
飯田	5.0	17.6	0.63	(0.55)	0.191
最大	7.0	19.5	0.86	(0.92)	0.280
平均	5.6	18.0	0.71	(0.73)	0.217
最小	4.6	16.4	0.60	(0.55)	0.157

*1 黄砂前平均値の4地点平均値を (C_0, F_0) とした $(C_i - C_0) / (F_i - F_0)$ の最小値（黄色の網掛は定量に用いた値）

表2 解析対象4地点におけるPM_{2.5}濃度最大時刻の山火事寄与と寄与率

地点	PM _{2.5} 最大		寄与 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		寄与率 (%)	
	時刻	濃度	最小	最大	最小	最大
渚	10	148	104	117	70	79
庄内	10	123	84	95	68	77
上田	10	97	70	79	72	81
飯田	13	137	101	114	74	83
最大		148	104	117	74	83
平均		126	90	101	71	80
最小		97	70	79	68	77

3.3.3 CO濃度等とPM_{2.5}濃度の比較検討

一般に、COは炭素を含む物質の不完全燃焼によって発生するが、2014年7月に北海道の広い範囲で観測されたシベリア森林火災の影響時にも、PM_{2.5}濃度の上昇に連動してCO濃度の上昇が観測された^{7), 8)}。そこで本事例におけるPM_{2.5}濃度上昇時のCO濃度の変動状況について検討した。

長野県内のCO測定実施局である、渚、小島田の2局のうち、渚局について、解析期間中のCO濃度の経時変化を、PM_{2.5}濃度及びNO_x濃度と合わせて図8に示した。3月26日8時から13時のPM_{2.5}濃度上昇時を除くと、渚局におけるCO濃度の変動はNO_x濃度の変動と連動していた。これは、渚局が道路周辺大気測定局であり、自動車排ガスの影響を強く受けたためと考えられた。これに対して、3月26日のPM_{2.5}濃度上昇時には、NO_x濃度に大きな変化がないにもかかわらず、PM_{2.5}濃度の上昇に連動したCO濃度の顕著な上昇がみられた。これらのことから、3月26日のPM_{2.5}濃度上昇については、韓国の大規模な山火事の影響を強く受けたことが示唆された。なお、COとPM_{2.5}の濃度上昇量の比は、概ね500 ppb対100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。一方、小島田局ではPM_{2.5}濃度の上昇量が小さく、CO濃度の上昇は明瞭ではなかった。また、その他項目 (SO₂, NO, NO₂, O₃, CH₄ 及びNMHC) については、3月26日のPM_{2.5}濃度上昇に対応した顕著な濃度変化は見られなかった。

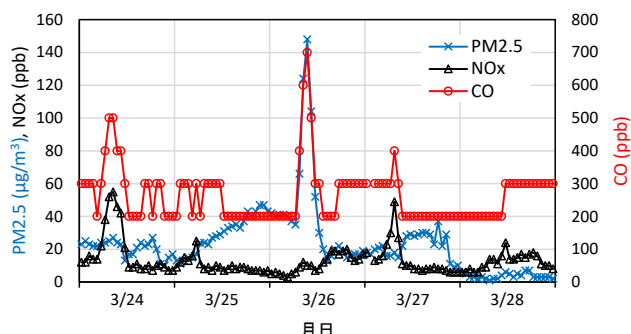


図8 渚局におけるCO, PM_{2.5}, NO_x濃度の経時変化

4. まとめと今後の課題

2025年3月26日の中部地方を中心としたPM_{2.5}高濃度事例について、長野県内及び周辺地域における濃度上昇の状況を整理するとともに、発生原因について検討した結果、以下の知見を得た。

- ・3月26日の県内PM_{2.5}濃度の日平均値は、中部、南部の8局全てで35 μg/m³を超え、最大値は飯田局の53.0 μg/m³であった。
- ・同じく1時間値は、8時前後から全測定局で急激に上昇し始め、長野、上田・佐久、松本では10時前後に最大値に達し、13時頃に元のレベルに下がった。一方、諏訪、木曽、伊那、飯田では、南東の測定局ほど遅くまで上昇し、元のレベルに下がるのも遅かった。
- ・濃度レベルは、長野、上田・佐久の8局では100 μg/m³以下であったが、中部、南部の8局では120 μg/m³を超え、最大値は木曽局で185 μg/m³に達した。
- ・PM_{2.5}濃度全国分布図では、3月26日の8時から10時に、70 μg/m³以上の測定局が、愛知県から長野県・山梨県に及ぶ一つながりの範囲として現れ、その後、愛知県を軸にして徐々に時計回りに回転し、16時には愛知県から静岡県を通して神奈川県に及ぶ太平洋沿岸の範囲になった。本県における3月26日のPM_{2.5}濃度上昇は、この70 μg/m³以上の範囲の出現、移動に伴って発生したものと理解された。
- ・3月26日のPM_{2.5}濃度上昇の原因としては、黄砂と韓国山火事の二つの要因が考えられたが、黄砂の影響が特に顕著にみられた。渚、庄内、上田、飯田の4局における、粗大粒子と微小粒子の比較検討の結果、山火事の影響をより強く受けたことが示唆された。
- ・試みに山火事の寄与を定量した結果、4局ともに、その寄与率はPM_{2.5}濃度が最大となった時刻に最大となり、70～80%に達したと推定された。
- ・3月26日の渚局におけるCO濃度は、PM_{2.5}濃度に連動して顕著に上昇した。このことから、山火事がPM_{2.5}濃度上昇の主な原因であることが示唆された。

本事例における課題の一つは、PM_{2.5}高濃度発生の可能性を事前に十分把握できなかったことである。今後同様の事例が発生した際に、迅速かつ適切に対応するためには、広域的高濃度発生に影響する恐れのある大規模原因事象（黄砂、大規模火災、噴火など）を早期把握し、その影響を衛星画像等で監視することが対策の一つとして考えられた。一方で、本事例は黄砂と山火事が同時に影響した稀な事例であり、今後は、流跡線解析や数値シミュレーションなど気象場を含めた解析、衛星画像の解析、PM_{2.5}成分データの解析等により、より詳細な状況解明が期待される。

5. 参考文献

- 1) 環境省：令和5年度 大気汚染状況について, https://www.env.go.jp/press/press_04931.html (2025. 10. 11アクセス)
- 2) 日本放送協会：黄砂 25日から26日にかけて広い範囲に飛来 注意を 気象庁, <https://news.web.nhk/newsweb/na/na-k10014758751000> (2025. 10. 11アクセス)
- 3) 日本放送協会：黄砂 26日も広範囲に飛来か 花粉症悪化や交通影響に注意, <https://news.web.nhk/newsweb/na/na-k10014759281000> (2025. 10. 11アクセス)
- 4) 国立環境研究所：そらまめ君ギャラリー, <https://tenbou.nies.go.jp/gis/realtime/soramame.html> (2025. 10. 11アクセス)
- 5) ウェザーニュース：黄砂とともに韓国の山火事の煙も日本へ 昨日から大規模な延焼, <https://weathernews.jp/news/202503/260345/> (2025. 10. 14アクセス)
- 6) 浮遊粒子状物質対策検討会、環境庁大気保全局大気規制課：浮遊粒子状物質汚染予測マニュアル, p. 12, 東洋館出版社, 東京, 1997
- 7) 札幌市環境局環境都市推進部環境対策課：平成26年7月25日、26日のPM2.5（微小粒子状物質）高濃度現象の要因について, https://www.city.sapporo.jp/kankyo/taiki_osen/chosa/documents/140912_pm_youin.pdf (2025. 10. 16アクセス)
- 8) 北海道環境生活部環境局環境推進課：平成26年7月26日の道内におけるPM2.5（微小粒子状物質）高濃度現象の要因について, https://www.pref.hokkaido.lg.jp/fs/2/4/8/4/8/3/3/_/260726kaiseki.pdf (2025. 10. 16アクセス)