

岡山県下における微小粒子状物質の成分の実態について

中野温朗, 間野遼太, 喜多真帆, 野村 茂, 信森達也, 鷹野 洋

【資 料】

岡山県下における微小粒子状物質の成分の実態について

Component Analysis of PM2.5 in Okayama Prefecture

中野温朗, 間野遼太, 喜多真帆, 野村 茂, 信森達也, 鷹野 洋(大気科)

Atsurou Nakano, Ryouta Mano, Maho Kita, Shigeru Nomura,

Tatsuya Nobumori, Hiroshi Takano (Atmosphere Section)

要 旨

環境大気中の微小粒子状物質(以下「PM2.5」という。)の質量濃度が1時間値 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過した期間に, PM2.5 構成成分の濃度や組成割合の推移を6時間ごとに追跡した。平成26年4月15日18時から19日18時までの観測結果を解析したところ, 分析対象とした成分の中ではイオン成分がPM2.5平均組成の55%を占め, 同成分のうち SO_4^{2-} と NH_4^+ が主成分となってPM2.5と同様の濃度変動の傾向がみられ, PM2.5と同じ時間帯に最大濃度に達した。炭素成分, 無機元素成分は平均組成の20%, 5%を占め, PM2.5が期間中の最大濃度に達した時間帯では最大濃度にならず, PM2.5に反した濃度変動の傾向をもつ時間帯があった。無機元素成分のうち多くの元素にはPM2.5と最大濃度に達した時間帯に6~12時間の差がみられた。

[キーワード: 微小粒子状物質, 質量濃度, 成分分析]

[Key words: PM2.5, Mass Concentration, Component Analysis]

1 はじめに

微小粒子状物質(以下「PM2.5」という。)については人の健康への影響が懸念されるため, 平成21年9月環境省告示により大気汚染に係る環境基準が設定された。岡山県では平成21年度に環境省試行事業で自動測定機を導入し, 順次測定地点を追加して平成23年度から総社局, 茂平局, 早鳥局及び長津局の計4測定局で環境大気中のPM2.5の質量濃度(以下「PM2.5濃度」という。)を監視している。

前報¹⁾では, 自動測定機の観測結果に基づきPM2.5と浮遊粒子状物質(以下「SPM」という。)等大気汚染物質濃度の関係性を考察し, SPM質量濃度1時間値45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 超過時の両者の質量濃度比(PM2.5/SPM)がいずれの測定局においても一定比(0.70~0.77)に収束したこと等を指摘した。また, 平成23年度の観測結果から, PM2.5濃度が環境基準の短期基準である日平均値35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過した観測日には, 1時間値35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 超過を複数局にわたって数十時間継続した事例が複数日観測されたことも報告した²⁾。

本県は以前よりPM2.5成分の分析に着手し, イオン

成分, 無機元素成分, 炭素成分, 多環芳香族炭化水素類やレボグルコサンの実態を報告している^{3)~10)}。本報では, 短期基準を超過した時のPM2.5の実態解明に資するため, 1時間値35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 超過を継続した期間のPM2.5成分の推移を「大気中微小粒子状物質成分測定マニュアル(環境省平成24年4月)」(以下「成分測定マニュアル」という。)に則った上で, 試料を成分測定マニュアルに定められる捕集時間(24時間)より短い6時間間隔で連続して集中的に観測(以下「集中観測」という。)した結果を報告する。

2 調査方法

2.1 地点

調査地点は県南部に位置する総社局とした。総社局は住宅地で囲まれた公園内に設置され, 約1km離れると住宅地を囲むように田園が広がっており, 県内のPM2.5のバックグラウンドとして常時監視が実施されている。図1は調査地点を示す。

2.2 捕集

集中観測では総社局屋上に設置したThermo製シー

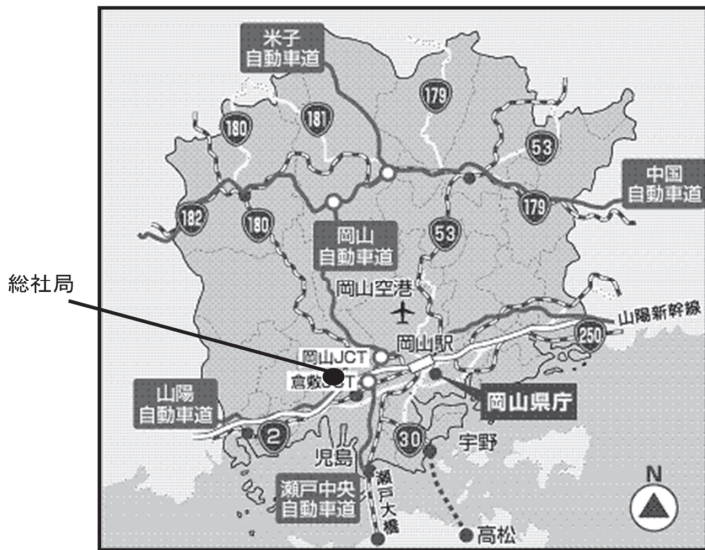


図1 調査地点

ケンシャルサンプラ FRM-2025 に石英繊維フィルタ (QRT-7000) を使用して、環境大気中の PM2.5 を 6 時間間隔で連続して捕集した。その他の捕集操作は成分測定マニュアルの捕集法に則った。集中観測は、国立環境研究所大気汚染予測システム (VENUS)¹¹⁾ 等により PM2.5 濃度の 1 時間値が継続して 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過すると予測された期間に実施した。

2.3 成分分析

成分分析は試料を捕集した石英繊維フィルタを 4 等分し、分割したフィルタをそれぞれ別種類の分析に使用した。分析対象は成分測定マニュアルに示されたイオン成分 (Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-})、炭素成分 (有機炭素 OC, 元素状炭素 EC) 及び無機元素成分 (Mn, Cr, Ni, Be, As, Al, Fe, Zn, Cu, V, Pb, Se, Cd) とし、分析方法は同マニュアルに則った。

イオン分析はフィルタを超純水 20mL に入れて 20 分間超音波で抽出した溶液をフィルタリングして Daionex 製 ICS-1600 で分析した。炭素分析はフィルタをポンチで 1 cm^2 にくり貫いて Sunset 製 Lab model で分析した。無機元素成分はフィルタに硝酸 (超高純度, 関東化学製) 5mL, 過酸化水素水 (TAMAPURE-AA-100, 多摩化学工業製) 1mL, フッ化水素酸 (超微量分析用, 和光化学製) 1mL を加えてマイクロウェーブ分解装置で分解した溶液を加熱濃縮し、フィルタリング後に内部標準物質を加えて 1:100 硝酸で 10mL に定量したサンプルを Shimadzu 製 ICPM-8500 で分析した。

2.4 解析

2.2 により捕集した試料のうち平成 26 年 4 月 15 日 18 時から 19 日 18 時までの成分分析結果を解析した。集中観測期間の各時間帯の PM2.5 濃度は、総社局に設置された自動測定機 DKK 製 FPM-377 で観測された 1 時間値の 6 時間平均値を採用した。その他の大気汚染物質や風向、風速も同局の観測結果を利用した。分析結果の有効数字の取扱いは有効数字 2 桁とし、定量下限値未満の場合は濃度を考慮せずに解析した。

集中観測期間の地上天気図は気象庁「日々の天気図」¹²⁾ で確認した。アメリカ海洋大気庁 NOAA HYSPLIT Trajectory Model¹³⁾ で総社局の上空 1000m 等を起点に 72 時間前までの後方流跡線解析を行い、九州大学と国立環境研究所の運用する化学天気予報システム (CFORS) で大気汚染物質の推定分布を確認した。

3 結果及び考察

3.1 集中観測期間の PM2.5 濃度の推移

図 2 は PM2.5 濃度の 1 時間値推移及び日平均値を示す。PM2.5 濃度は 4 月 15 日 12 時に増加し、16 日 12 時に 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過して 17 日 9～10 時に最高濃度 51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ となった。その後、PM2.5 濃度は増減を繰り返しながら概ね 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 超過を 17 日 21 時まで継続した。18 日 10 時頃から再度増加傾向になったが、継続せずに 19 日 0 時 38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ をピークにして 15 時 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ まで減少した。日平均値は、4 月 16 日 32.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 17 日 38.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 18 日 27.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、17 日のみ短期基準 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過した。

3.2 集中観測期間の気象

図 3 は各日の天気図を示す。集中観測期間の気象は、4 月 15～17 日にかけて高気圧が西日本を通過して総社局で行っている風向、風速の観測では南方向の風向が卓越した。17～18 日にかけては低気圧が西から東へ通過し、南東方向の風が卓越した。なお、降雨が 17 日 23 時から 18 日 7 時まで岡山地方気象台 (総社局の東方約 16km に位置する) で観測された¹⁴⁾ (図 2)。19 日は高気圧が西日本を覆い、東方海上に停滞前線が残った。18 日以降の風向は北方向が卓越した。期間中の平均風速は 1.5m/s だった。

3.3 PM2.5 成分の平均濃度と平均組成割合

図 4-1, 4-2 は集中観測期間及び平成 25 年度春期常時

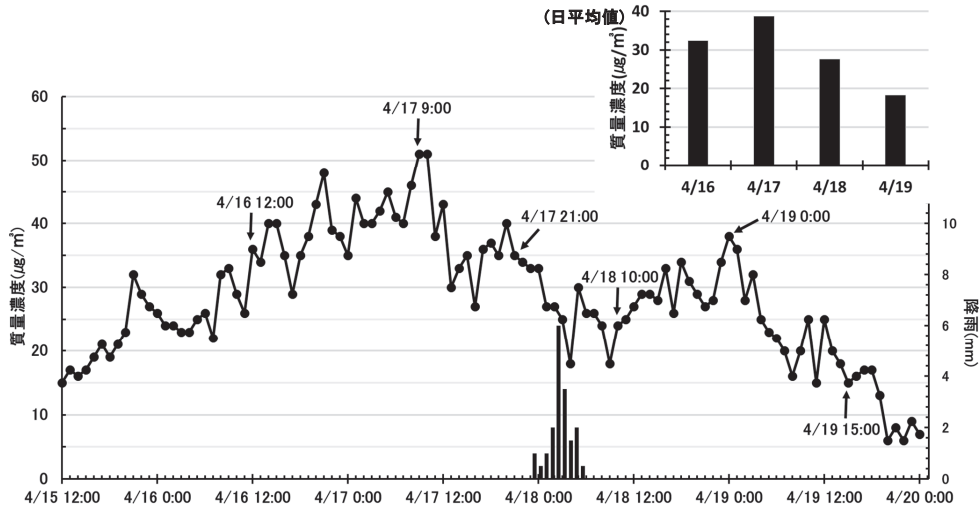


図2 PM2.5濃度の1時間値推移及び日平均値

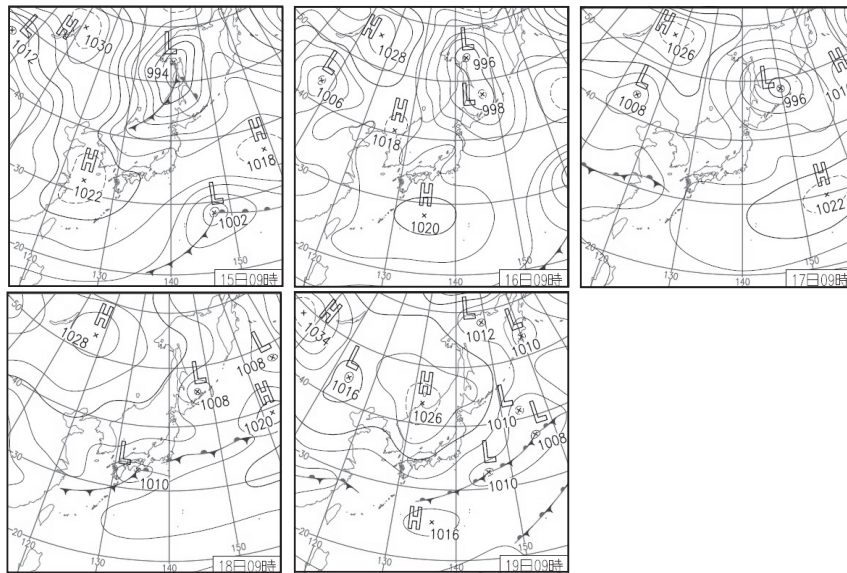


図3 天気図

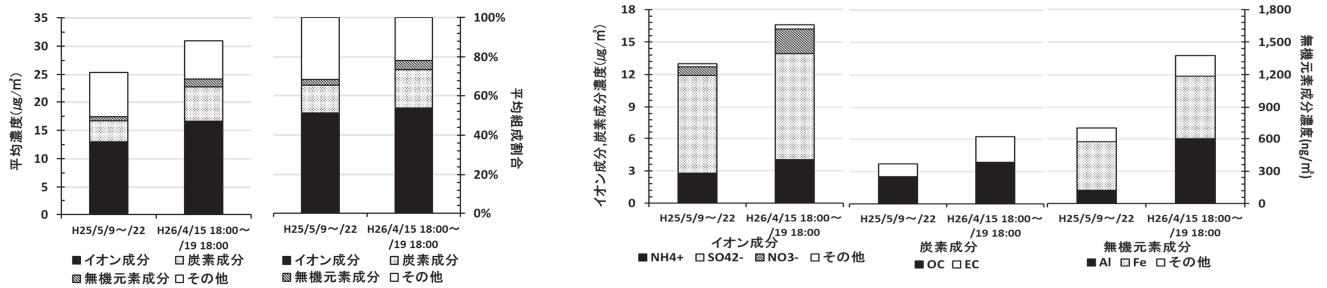


図4-1 平均濃度及び平均組成割合(全体)

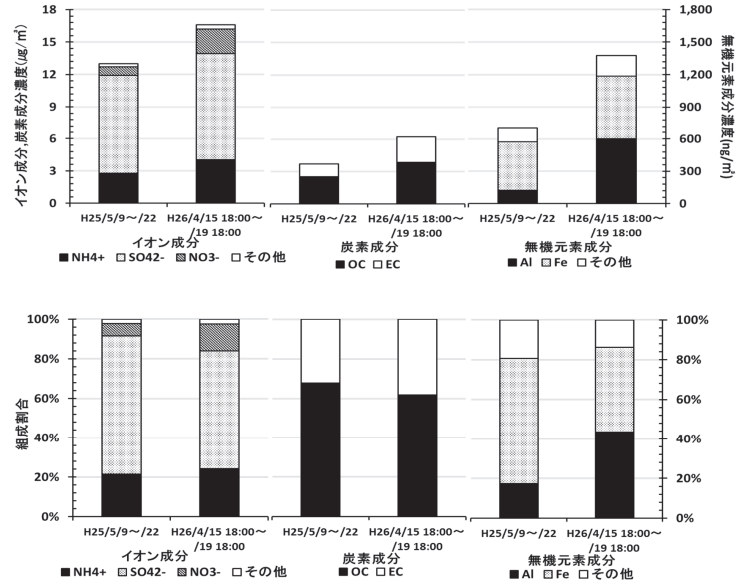


図4-2 平均濃度及び平均組成割合(成分)

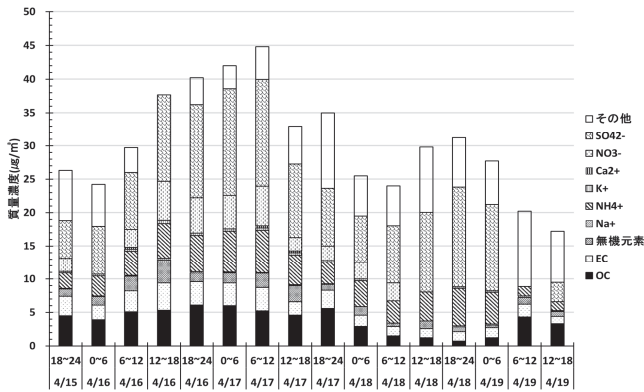


図 5-1 成分濃度の推移

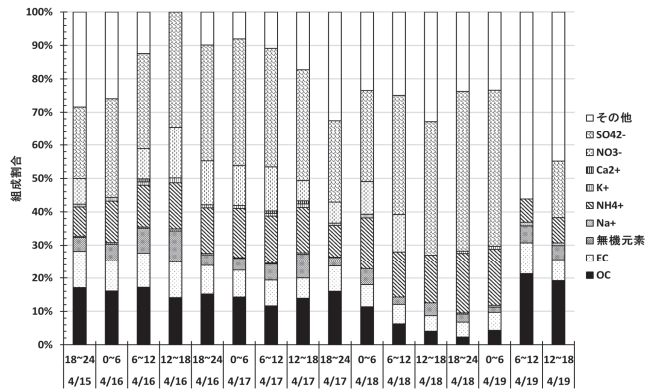


図 5-2 成分組成割合の推移

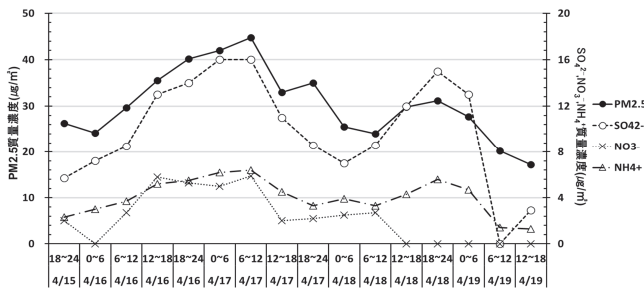


図 5-3 イオン成分濃度の推移

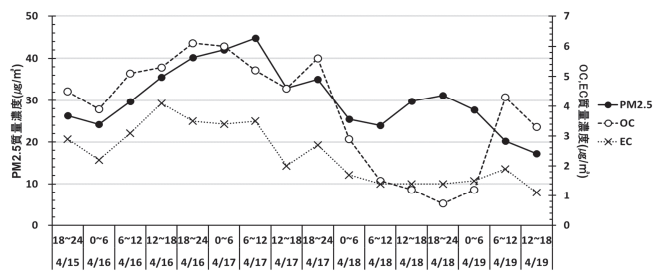


図 5-4 炭素成分濃度の推移

監視期間(平成 25 年 5 月 9～22 日,以下「常時監視期間」という。)の PM2.5 の平均濃度と平均組成割合を示す。常時監視期間は春期の大気環境を表す参考例に示した。集中観測期間の各時間帯の PM2.5 濃度の平均値は 30.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり,イオン成分が濃度 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で全体組成の 55%を占め,炭素成分 6.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 20%, 無機元素成分 1.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 5%, その他 6.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 20%であった(その他は分析対象の 3 成分に分類されないもの等を含む)。

常時監視期間の各観測日の PM2.5 濃度の平均値は 25.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり,イオン成分 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (組成割合 51%),炭素成分 3.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (同 15%),無機元素成分 0.71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (同 3%),その他 8.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (同 31%)であった。集中観測期間は常時監視期間より 3 成分とも濃度が増加していた。

集中観測期間のイオン成分のうち NH_4^+ , SO_4^{2-} の平均濃度の合計は 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であり,同成分の 82%を占めた。集中観測期間は常時監視期間(12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 92%)より割合が低下したものの,イオン成分の大部分は NH_4^+ , SO_4^{2-} で占められていた。 NO_3^- の平均濃度は 2.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ でイオン成分の 14%を占め,常時監視期間(0.80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 6%)と比較して増加していた。

炭素成分のうち OC, EC の平均濃度は 3.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。常時監視期間の OC, EC の平均濃度(2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 1.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)と比較して,OC, EC 濃度ともに増加し,

炭素成分に占める EC の割合(39%)が常時監視期間(32%)より増加した。

無機元素成分のうち Al の平均濃度は 0.60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で常時監視期間(0.12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)の 5 倍増加し,Fe の平均濃度 0.59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ と合計すると同成分の 86%を占めて常時監視期間(80%)より増加していた。集中観測期間はその他の元素の濃度も全体的に増加したが,Al, Fe の濃度増加が大きく,両元素が無機元素成分の大部分を占めた。Al, Fe は土壌や石炭燃焼との関連性が指摘されており¹⁵⁾, それらの影響が推察された。

3.4 集中観測期間の各成分の濃度, 組成割合の推移

図 5-1～5-4 は集中観測期間の成分濃度, 組成割合の推移及びイオン成分, 炭素成分濃度の推移, 図 6 は総社局の上空を起点とする後方流跡線を示す。なお, 4 月 16 日 12～18 時のみ各成分濃度の積み上げが PM2.5 濃度の 6 時間平均値を超過していた。

SO_4^{2-} 濃度は 0～16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (組成割合 0～48%), NO_3^- 濃度は 0～5.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (同 0～16%)の範囲で推移した。 SO_4^{2-} 濃度は 16 日 0 時以降 PM2.5 濃度と同様に変動する傾向を示し, PM2.5 が最大濃度(44.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)になった 17 日 6～12 時に最大まで上昇した。この時間帯に移流した大気の後方流跡線は大陸方面から朝鮮半島, 中国地方西部を経由しており, 大陸や西日本近辺の影響を受け

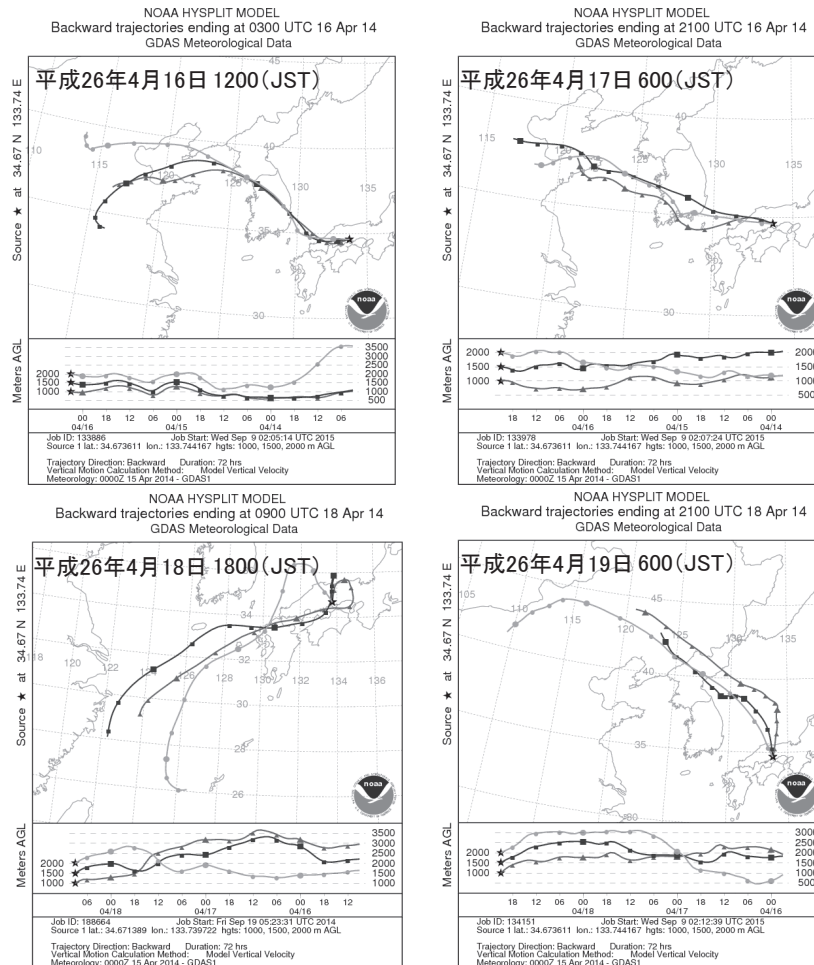


図6 後方流跡線

ていた可能性があった。NO₃⁻濃度は、16日6～12時から増加したものの、16日18時～17日6時の間で減少し、17日6～12時に再び増加して最大に達した。両イオンを併せた組成割合は16日12時～17日12時の間を50%程度で推移した。(図5-1, 5-2)

PM_{2.5}濃度は18日6～12時を底に増加に転じて18日18～24時にピーク(31.2μg/m³)を示した。SO₄²⁻濃度は17日12時～18日6時の間で減少し、18日6時以降増加してPM_{2.5}と同様に18日18～24時にピーク(15μg/m³、最大組成割合48%)に達した。NO₃⁻濃度はSO₄²⁻濃度と異なり18日18～24時にピークはみられず定量下限値未満で推移した。SO₄²⁻濃度は19日6～12時に定量下限値未満まで低下したが、この時間帯に移流した大気の後方流跡線は大陸方面から朝鮮半島、中国地方北部を経由しており、16, 17日の後方流跡線との間に違いがみられた。

NH₄⁺濃度は1.3～6.4μg/m³(組成割合7～18%)、Na⁺濃度は0～0.23μg/m³(同0～1%)、K⁺濃度は0～0.52μg/m³(同0～1%)、Ca²⁺濃度は0～0.3μg/m³(同0～1%)の範囲で推移した。NH₄⁺はPM_{2.5}と同様に濃度変動する傾向を示し、17日6～12時に最大濃度に達した。NH₄⁺濃度は18日6～12時を底に増加して18日18～24時にピーク(5.6μg/m³、最大組成割合18%)を示した。(図5-3)

SO₄²⁻とNH₄⁺の濃度変動は同様の傾向を示した一方で、NO₃⁻の濃度変動は両イオンに反した時間帯もみられた。OC濃度は0.73～6.1μg/m³(組成割合2～21%)の範囲で推移し、16日18～24時に最大となり、PM_{2.5}濃度のピークがある17日6～12時や18日18～24時と異なる時間帯にピークを示した。OCの組成割合は、17日6～12時に12%を占めたものの、18日18～24時には2%まで減少した。(図5-1, 5-2)

EC濃度は1.1～4.1μg/m³(組成割合4～12%)の範囲で推移し、16日12～18時に最大となり、17日6～12時や18日18～24時に横ばい傾向で変動した。ECで

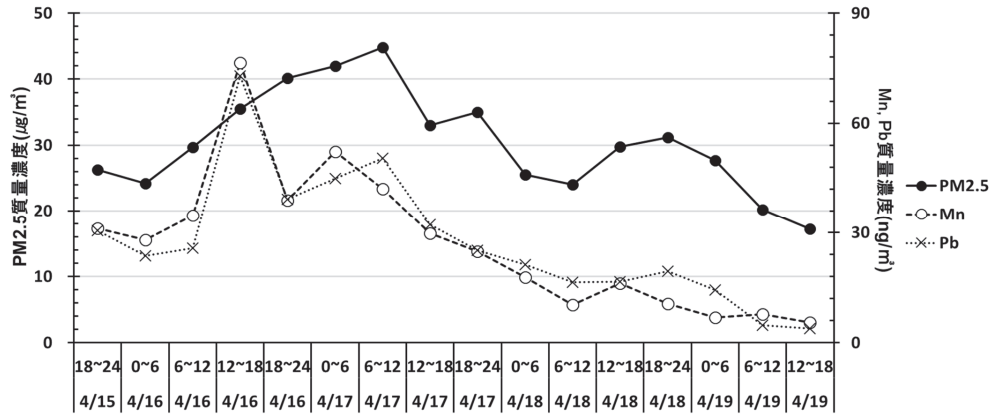
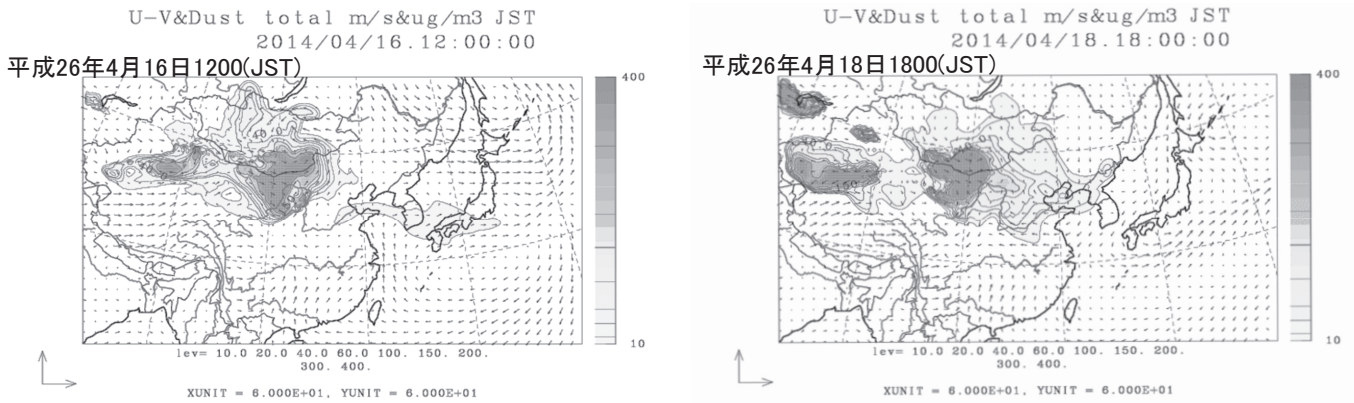


図7 無機元素成分濃度の推移



©九州大学応用力学研究所(RIAM)/国立環境研究所(NIES)

図8 土壌性ダスト推定分布

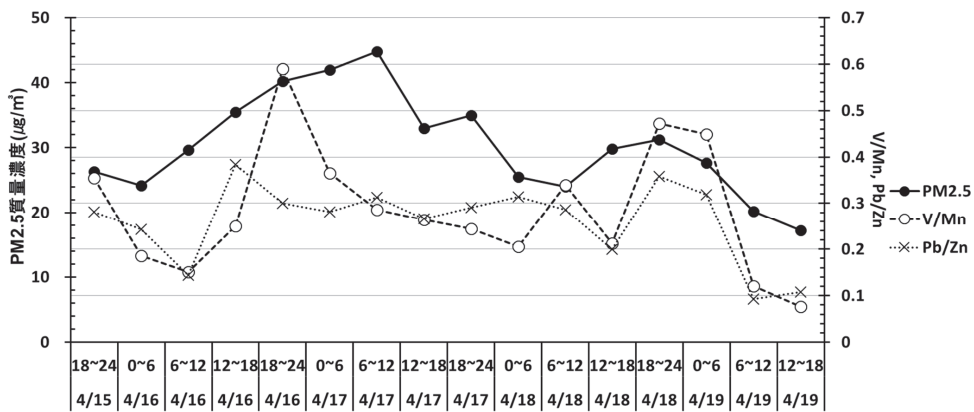


図9 無機元素成分濃度比の推移

も OC と同様に PM2.5 濃度の増減傾向に一致しない時間帯がみられた。EC と OC の間でも濃度変動の傾向が違う時間帯もあった。

総社局で観測していた NO_x 濃度の 1 時間値は 16 日 6 時～17 日 12 時の間で 16 日 14 時や 20 時などにピーク(最大 34ppb)を示して平均 21ppb で推移し、17 日 12 時以降の平均濃度 4ppb と比較して高い濃度だった。EC は 16～17 日の間それ以降より高濃度で推移しており、NO_x 排出を伴う化石燃料等の燃焼行為が 16～17 日の間の PM2.5 の挙動に影響した可能性が考えられた。また、NO_x から硝酸塩粒子の形成が指摘されており¹⁶⁾、16 日 6 時～17 日 12 時の間 EC、NO₃⁻ 濃度変動に類似性がみられたことから両成分の排出源に関連性が考えられた。

OC、EC の濃度はともに 17 日 18～24 時に PM2.5 濃度に同期して増加した。岡山気象台では 17 日の日中は晴れて、同日 23 時から雨が降ったことが観測されており(図 2)、降雨が始まった時間帯で OC、EC 濃度は増加し、次の時間帯には PM2.5 濃度と同期して減少した。(図 5-4)

無機元素成分は濃度 0.41～3.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (組成割合 1～10%)の範囲で推移した。無機元素成分の濃度、組成割合は 16 日 12～18 時に最大に達し、17 日 12～18 時に再度ピーク(2.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)を示して以降、減少又は横ばい傾向で推移した。(図 5-1、5-2)

図 7 は無機元素成分の一例として Mn、Pb の濃度推移を示す。両元素は 16 日に PM2.5 濃度が増加傾向を示す時間帯(16 日 12～18 時)に最大濃度に上昇して PM2.5 が最大濃度になった時間帯(17 日 6～12 時)と 12 時間の差が生じた。Mn、Pb は最大濃度に上昇して以降 17 日 0～6 時や 6～12 時に濃度が再び増加した後減少傾向で推移した。その他の無機元素(Be は期間中定量下限値未満だった)も Mn、Pb と同様の濃度変動の傾向がみられた。V のみ 16 日 18～24 時に最大濃度を示し、17 日 0～6 時、6～12 時に濃度が減少した。16 日の各元素の平均濃度は 17 日と比較して 1.0～1.9 倍(組成割合では 1.2～2.3 倍)大きかった。後方流跡線は 16、17 日ともに大陸方面、朝鮮半島方面から中国地方を通った大気の流れを示したが、16 日の方が大陸の内陸、瀬戸内海沿岸に近い地域を経由していた。

これら無機元素の濃度は 18 日 18～24 時間前後の時間

帯で 17 日 6～12 時間前後より低くなり、18 日 18～24 時に PM2.5 に同期して濃度が増加した元素は V、Pb のみだった。18 日の PM2.5 濃度ピーク時の無機元素の挙動には 17 日までと差異がみられ、18 日の後方流跡線では東シナ海方面から九州北部、瀬戸内海沿岸などを通った大気の流れを示し、17、18 日の大気環境の違いが考えられた。

図 8 は CFORS で予測された土壌性ダストの推定分布を示す。16 日 12 時には西日本周辺に土壌性ダストの分布が予測された(16～17 日にかけて西日本周辺に分布予測)。先述のとおり無機元素成分は 16 日 12～18 時で最大濃度に達しており、土壌粒子に伴った無機元素成分の移流の可能性が考えられた。土壌性ダストの分布予測と 3.3 で示した Al や Fe の濃度、組成割合が増加した観測結果は整合した。

18 日 18 時に西日本周辺で土壌性ダストの分布は予測されず、無機元素は先述のとおり 18 日 18～24 時間前後を低濃度で推移した。ただし、V、Pb 濃度は土壌性ダストの影響が予測されない 18 日 18～24 時にも増加した。

3.5 無機元素成分の濃度比の推移

図 9 は無機元素成分の濃度比の推移を示す。いくつかの無機元素の濃度比が国内、国外起源の石油、石炭燃焼の指標として指摘される。そこで、石油燃焼の指標に V/Mn 比(国内 0.21～0.28、国外 0.054)、石炭燃焼の指標に Pb/Zn 比(国内 0.2～0.3、国外 0.5～0.6)を利用して、それぞれ濃度比の変動を調べた^{17、18)}。

V/Mn 比は PM2.5 濃度のピークがある 17 日 6～12 時間前後に 0.26～0.37 の範囲で減少傾向で推移し、18 日 18～24 時間前後に 0.21～0.47 の範囲で変動した。PM2.5 濃度が最大になった 17 日 6～12 時より前の時間帯(大陸方面からの大気移流、土壌性ダストの影響が予測される)では、V/Mn 比は 16 日 6～12 時を底(0.15)に、16 日 18～24 時をピーク(0.59)とする変動がみられた。

一方、Pb/Zn 比は 17 日 6～12 時間前後に 0.27～0.31 の範囲で減少又は横ばい傾向で推移し、18 日 18～24 時間前後に 0.2～0.36 の範囲で変動した。17 日 6～12 時より前の時間帯では、Pb/Zn 比は 16 日 6～12 時を底(0.14)に、12～18 時をピーク(0.38)とする変動がみられた。

V/Mn 比、Pb/Zn 比は国外由来の影響が予測される時間帯で参照した指標のとおり推移せず、多くの時間帯

で概ね 0.2～0.3 の範囲にあり、集中観測期間に国内由来の影響を受けた可能性を示唆した。

4. まとめ

4月15～19日の集中観測において、PM2.5濃度は概ね1時間値35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 超過を16日12時から17日21時まで1日以上継続した。PM2.5濃度の6時間平均値は17日6～12時に期間中の最大値(44.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)に達し、18日18～24時にもピーク(31.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)がみられた。

この期間のPM2.5濃度に対してイオン成分は平均組成の55%を占め、そのうち SO_4^{2-} 、 NH_4^+ が主成分となりPM2.5と同様の濃度変動を示す傾向がみられ、PM2.5と同じ時間帯(17日6～12時)に最大濃度に達した。炭素成分、無機元素成分は平均組成20%、5%を占め、PM2.5が最大濃度に達する前の時間帯(16日12～18時、18～24時)に最大濃度まで増加し、PM2.5に反した濃度変動の傾向をもつ時間帯があった。無機元素成分のうちMn、Cr、Ni、As、Al、Fe、Zn、Cu、V、Pb、Se、CdにはPM2.5と最大濃度に達した時間帯に6～12時間の差があった。

17、18日のPM2.5濃度のピーク時には成分の組成割合の状況に差異がみられた。

後方流跡線は16、17日に大気の外移流を示し、国外からの無機元素成分の濃度変動への影響が考えられるものの、無機元素成分の濃度比(V/Mn、Pb/Zn)の変動は集中観測期間の多くの時間帯で国内由来の影響があった可能性を示唆した。

文 献

- 1) 喜多真帆, 中野温朗, 野村 茂, 信森達也, 鷹野洋: 自動測定機を用いたPM2.5とSPM及びその他の物質の相関について, 岡山県環境保健センター年報38, 1-5, 2014
- 2) 中野温朗, 深見武史, 喜多真帆, 野村 茂, 信森達也, 鷹野 洋: 岡山県におけるPM2.5に係る平成23年度の観測結果について, 岡山県環境保健センター年報37, 1-8, 2013
- 3) 杉山広和, 信森達也, 野村 茂, 前田 泉: 環境中の大気汚染物質に関する研究(微小粒子PM2.5による大気汚染)-第2報-, 岡山県環境保健センター年報32, 7-10, 2008
- 4) 杉山広和, 信森達也, 前田 泉: 環境中の大気汚染物質に関する研究(微小粒子PM2.5による大気汚染)-第3報-, 岡山県環境保健センター年報32, 11-16, 2008
- 5) 杉山広和, 石井尚志, 野村 茂, 門田 実, 前田 泉: 環境中の大気汚染物質に関する研究(微小粒子状物質PM2.5による大気汚染)-第4報-, 岡山県環境保健センター年報33, 1-5, 2009
- 6) 石井尚志, 野村 茂, 中桐未知代, 山辺真一: 環境中の大気汚染物質に関する研究(微小粒子PM2.5による大気汚染)-第5報-, 岡山県環境保健センター年報34, 7-10, 2010
- 7) 林 隆義, 中桐未知代, 野村 茂, 小川 登, 片岡敏夫, 中桐基晴: 環境中の大気汚染物質に関する研究(微小粒子PM2.5による大気汚染)-第6報-, 岡山県環境保健センター年報35, 1-7, 2011
- 8) 中桐未知代, 吉岡敏行, 林 隆義, 野村 茂, 中桐基晴: 環境中の大気汚染物質に関する研究(微小粒子PM2.5による大気汚染)-第7報-, 岡山県環境保健センター年報35, 9-18, 2011
- 9) 林 隆義, 中桐未知代, 野村 茂, 小川 登, 深見武史, 中桐基晴: 環境中の大気汚染物質に関する研究(微小粒子状物質PM2.5による大気汚染)-第8報-, 岡山県環境保健センター年報36, 1-8, 2012
- 10) 中桐未知代, 林 隆義, 野村 茂, 小川 登, 深見武史, 中桐基晴: 環境中の大気汚染物質に関する研究(微小粒子状物質PM2.5による大気汚染)-第9報-, 岡山県環境保健センター年報36, 9-16, 2012

- 11) 大気汚染予測システム (VENUS)
<http://envgis6.nies.go.jp/osenyosoku/>
- 12) 気象庁ホームページ: 日々の天気図
<http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/index.html>
- 13) HYSPLIT - Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model
http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php
- 14) 気象庁ホームページ: 各種データ・資料
<http://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>
- 15) 微小粒子状物質 (PM2.5) の成分分析ガイドライン:
環境省 平成 23 年 7 月
- 16) 微小粒子状物質健康影響評価検討会報告書: 環境省
平成 20 年 4 月
- 17) 日置正: 日中環境産業, 48, 10, 27-37, (2012)
- 18) 日置正, 紀本岳志, 長谷川就一, 向井人史, 大原利真, 若松伸司: 松山, 大阪, つくばで観測した浮遊粉じん中金属元素濃度比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, 2, 91-101, (2009)

