

鳥取県における黄砂・大気粉じんの実態及び健康影響に関する 基礎的調査研究（第2報）

【大気・地球環境室、保健衛生室】

湊沙花 田中卓実 上田豊 花原悠太郎 渡部仁成^{*1} 押村光雄^{*1} 相場節也^{*2} 大呂忠司

（※1 鳥取大学 ※2 東北大学）

1 はじめに

これまで本県が取組んできた黄砂に関する調査から、本県における黄砂観測日の大気中に含まれる粉じん量及び化学成分濃度は黄砂ごとに傾向が異なっていることを確認した。また、その成分濃度の違いには飛来経路の違いの関与が示唆された¹⁾。

疫学的な見地からは、黄砂と呼吸器系疾患（特に喘息）等の健康影響との関連性が報告されており^{2) 3)}、その原因は黄砂粒子自身による物理的作用のほか、黄砂とともに長距離輸送される大気汚染物質や微生物⁴⁾などとの複合的な影響が疑われている。

こうした背景から、大気粉じんに含まれる健康影響が懸念される成分（真菌、エンドトキシン及び金属類）の濃度及びその傾向について把握を試みたので、その結果を報告する。

2 方法

（1）化学成分特性の把握

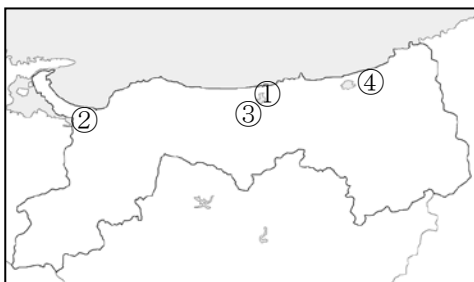


図1 調査地点

1) 調査地点（図1）

- ・東伯郡湯梨浜町（衛生環境研究所①）

衛生環境研究所①は、倉吉市から約10km離れた田園地域に位置し、北約400mには国道9号線、北約1.5kmには日本海がある。

2) 測定方法

大気粉じんはハイボリウムエアサンプラー（HV）を用いて石英繊維フィルター上に採取した。採取時間は概ね9時から翌日9時までの24時間、流速は1,000L/minとした。無機元素及びイオン成分の前処理及び分析方法は既報⁵⁾の通りである。

無機元素成分

Al、Fe、Ca、Pb、Cr、Mn、Ni、Co、Zn

イオン成分

NH_4^+ 、 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 、 Cl^-

また、アレルギー性皮膚反応を引き起こす可能性のある水銀や上部気道に対し刺激性を示すアクロレイン等のアルデヒドの分析は有害大気汚染物質測定方法マニュアルを参考に実施した。

粒子の形態観察と定性試験のため走査型電子顕微鏡（SEM）とエネルギー分散型X線分析装置（EDX）による分析を行った。試料はニトロセルロース膜を装着したローボリウムエアサンプラーで採取した。流速は10L/min、4時間採取を行った。

3) 常時監視データ

SPM（浮遊粒子状物質、一般環境）

- ・米子保健所（米子市東福原②）
- ・倉吉保健所（倉吉市東巖城③）
- ・鳥取保健所（鳥取市江津④）

PM2.5（微小粒子状物質、一般環境）

- ・鳥取保健所（鳥取市江津④）

(2) 真菌及びエンドトキシンの実態把握

調査地点は衛生環境研究所①の屋上で行った。ローボリウムエアサンプラーを用いて流速 20L/min、6 時間（10 時～16 時）採取した。採取期間は平成 24 年 3 月 1 日から 5 月 31 日まで平日は毎日、黄砂の前後は土曜日、日曜日も含めて実施した。黄砂観測日の定義及び測定方法は既報⁶⁾のとおりである。

(3) 免疫毒性評価

本県へ飛来した黄砂粉じんの持つ免疫毒性について評価するため、鳥取大学医学部において IL-8 評価細胞⁷⁾を用いた試験を行った。粉じんは当所屋上で黄砂観測日（平成 23 年 5 月 22 日、気象庁発表）を含む平成 23 年 5 月 22～24 日に採取した降下粉じんと国立環境研究所から提供されている黄土標準物質（CJ-1）を用いた。採取した粉じんは 121℃、30 分間滅菌処理をした後、-20℃で凍結保存した。

3 結果および考察

(1) 化学成分の濃度及び変動

気象庁の発表では、平成 24 年 4 月 23～25 日に本県で黄砂が観測され、また地上実況気象通報式 SYNOP によると、平成 24 年 4 月 22 日にモンゴル及び中国において砂じん嵐が観測された。この時の SPM 濃度をみると鳥取、倉吉、米子ともほぼ同じ時期に濃度の上昇がみられたが、日平均値は環境基準の 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過しなかった（図 2）。一方、PM_{2.5} 濃度（鳥取）は SPM と同じ変動を示し、日平均値は 49.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ （24 日）と 43.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ （25 日）と環境基準 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過した（図 3）。

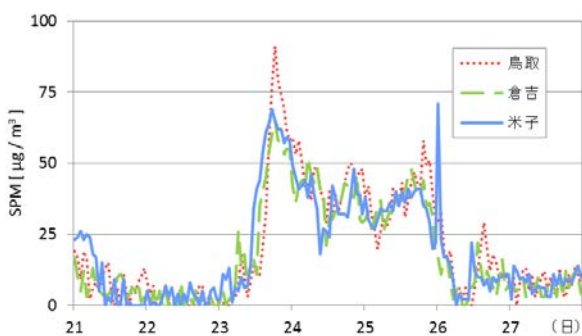


図 2 SPM 濃度変動（4 月）



図 3 PM_{2.5} 濃度変動（4 月）

気象庁が発表した黄砂観測日 23～25 日には、総粉じん量（TSP）の増加に伴い、土壌中に多く含まれる Al、Fe、Ca 濃度が上昇した（図 4）。Mori らの調査では老岐（H13 年 3 月）における黄砂飛来時の大気粉じん中の化学組成は Fe/Al 比 0.56、Ca/Al 比 0.67 と報告されており⁸⁾、今回は Fe/Al 比 0.61、Ca/Al 比 0.89 と類似した傾向を示した。一方で、大陸からの長距離輸送の指標とされている Pb/Zn 比は、大陸からの大気汚染物質の影響を受けると 0.5～0.6 となると報告⁹⁾されている。今回は 4 月 23 日が最も高く 0.49 を示し、さらに大気汚染物質由来と考えられる nss-SO₄²⁻濃度も上昇した（図 5）。

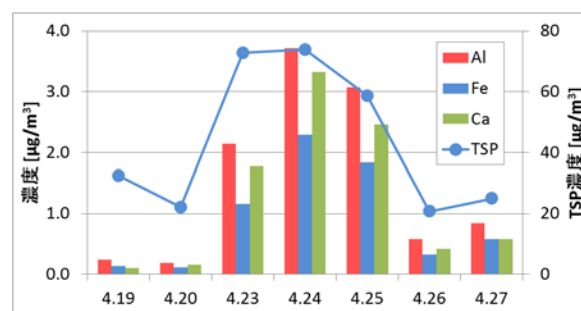


図 4 無機元素成分濃度変動

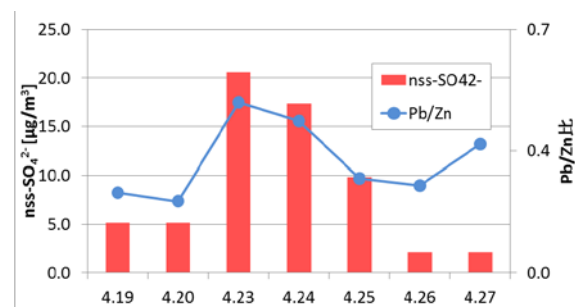


図 5 硫酸イオン濃度及び Pb/Zn の変動

以上の結果から、今回の SPM 及び PM2.5 の濃度上昇は黄砂と大気汚染物質の影響を受けたと示唆されることから、SEM-EDX による形態観察及び定性分析により確認を行った(図6、7)。

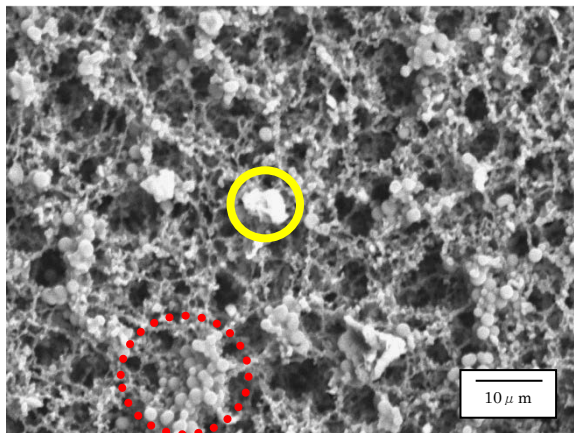


図6 SEM写真(H24年4月25日採取)

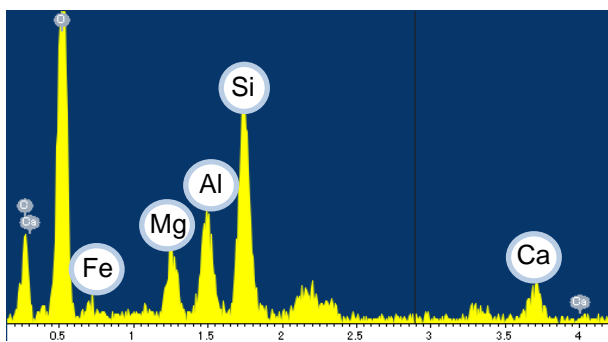


図7 非球形粒子のEDXスペクトル(黄色丸)

フィルター上には土壌粒子と思われる Si、Al、Ca、Mg を主成分とする $10\mu\text{m}$ 以下の非球形粒子(図6円印)とCを主成分とする球形粒子が多く観測された(図6円破線)。C成分はPM2.5の主な構成成分として報告¹⁰⁾されており、SEM-EDXの観察結果からも黄砂及び大気汚染物質の影響が示唆された。

後方流跡線解析結果では、中国国内において最もSO₂排出量が多いと報告¹¹⁾されている山東省を含む中国沿岸部及び朝鮮半島を經由して本県へ飛来したと推定された(図8)。これまでの調査でも、本県において後方流跡線解析による輸送経路の推定結果が中国沿岸部を經由して本県へ流入した場合、nss-SO₄²⁻濃度が高くなる($18\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超過する)傾向にあったが今回の

事例も同様の結果となった。

これらの結果から、4月23~25日のSPM及びPM2.5濃度上昇は黄砂及び越境大気汚染の影響を受けたと推測された。今回は総粉じん量での解析であるため、詳細な考察はできないが、特に各成分の濃度変動から、23日は越境大気汚染による人為起源成分が本県へ流入した後、24日に黄砂による土壌由来成分が流入した可能性が示唆された。

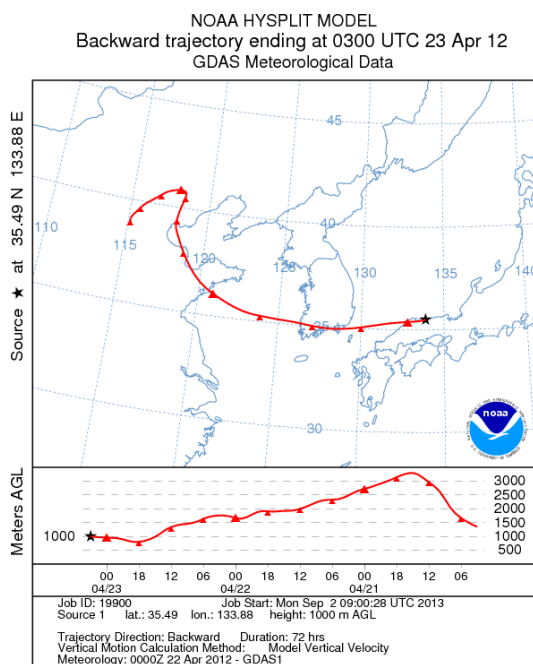


図8 後方流跡線解析(H24.4.23 12時)

(2) 免疫毒性に関与する物質の実態

1) 無機元素成分の濃度変動

金属アレルギーを引き起こす物質として知られている Ni、Cr、Co について変動を調査した結果、4月23~25日はこれらの物質もこれまでの調査結果と同様、濃度上昇を確認した(図9)。これらの成分は大気汚染物質に関連する nss-SO₄²⁻濃度変動とは異なり、Al等の土壌由来成分の濃度変動に傾向が類似していることから、これら成分の濃度上昇は土壌由来であると考えられる。

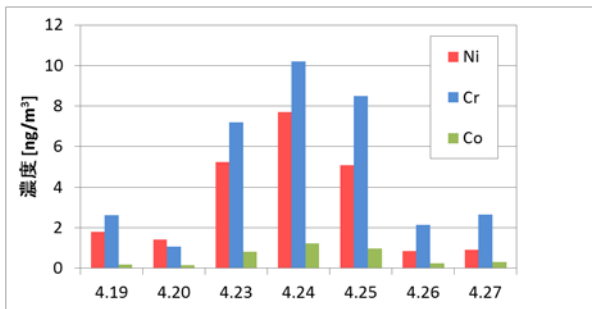


図9 無機元素成分の濃度変動

2) 真菌及びエンドトキシン

昨年度は黄砂観測日に真菌の1種であるクラドスポリウムの増加やエンドトキシンの増加がみられたが、今年度はこれらの増加はみられなかった(図10、図11)。しかし、採取時間中に黄砂を観測した時間が含まれる採取日は調査期間を通じて1日しかなく、黄砂日と非黄砂日を統計学的に比較することは困難であった。継続して採取して検体数を増やすことが必要と考えられた。

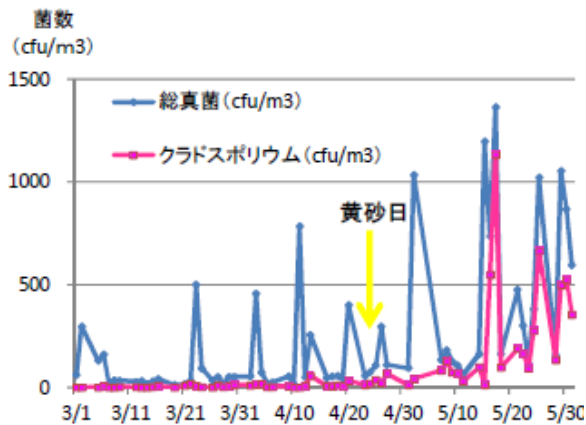


図10 真菌の動向

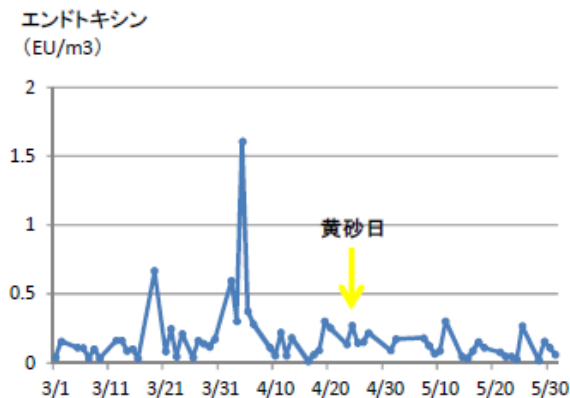


図11 エンドトキシンの動向

3) アクロレイン

アクロレインについては、263 検体のうち、検出されたのは7 検体(0.40~2.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)で、それ以外は検出下限値(0.07 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)未満であった。鳥取気象台の記録によると、検出された日は、いずれも黄砂観測日や煙霧日ではなく、越境大気汚染との因果関係は見いだされなかった。

一方、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒドの濃度の平成24年2月から平成25年3月の経月変動は、いずれも7月が最大で12月が最小となる同じような季節変動を示した(図12)。

これについては、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒドが揮発性有機化合物(VOC)の光化学反応により生成することから、気象要因との相関を調べたところ、これらの濃度とUV-A、UV-B、日射量等との間に強い正の相関が見られ、濃度変動の主要因であることがわかった。

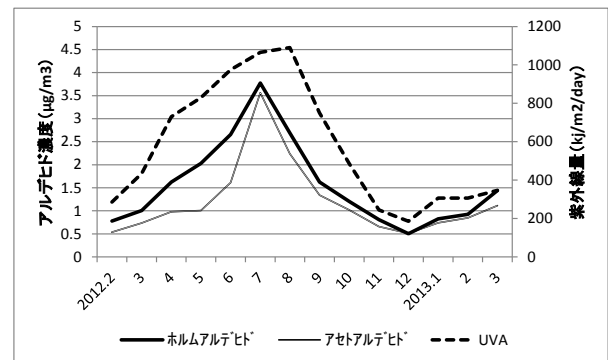


図12 アルデヒド濃度の季節変動

また、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド濃度の黄砂日の影響を調べるため、黄砂が飛来した時期(平成25年3月)における濃度変動を図13に示す。黄砂日は3月8日、3月9日、3月19日、3月20日の4日間であったが、非黄砂日に比べ濃度が高くなる傾向が見られた。

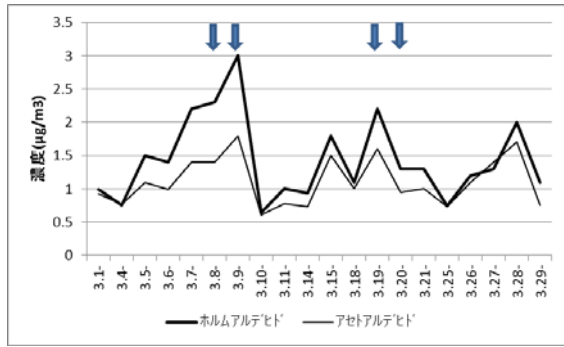


図 13 黄砂飛来時期のアルデヒド濃度 (矢印は黄砂日)

(3) 免疫毒性

黄土標準物質はIL-8産生能を示されなかったが、当所採取黄砂粉じんは濃度依存的に産生能を持つことが示された (図 14)。

このことから、当所で採取した黄砂粉じんにはアレルギーを引き起こす物質が含まれていることが示された。

4 まとめ

平成 24 年 4 月 23～25 日に観測された SPM 及び PM2.5 高濃度事例について、無機元素とイオン成分の分析及び形態観察した結果、23 日に最も大気汚染物質由来の成分濃度等が高くなり、翌 24 日に土壌由来の成分が最も濃度が高くなったことから、越境大気汚染物質と黄砂の順に本県へ流入し、両方の影響を受けたことが示唆された。この期間、金属アレルギーを誘発する無機元素濃度は上昇したが、真菌、エンドトキシンについては黄砂観測時の検体が 1 検体しかなく非黄砂日との比較はできなかった。

平成 24 年度、初めて測定したアクロレインは、7 検体で検出されたがいずれも黄砂、煙霧との関連はみられなかった。

黄砂粉じんの免疫毒性について、平成 23 年 5 月 22～24 日に採取した黄砂粉じんと黄土標準物質を比較した結果、当所で採取した黄砂粉じんの方が強いアレルギー毒性を示し、本県で採取した黄砂粉じんにアレルギーを引き

起こす物質が含まれることが示唆された。

今後は異なる期間に採取した黄砂粉じんと非黄砂日に採取した粉じんの免疫毒性について比較を行う予定である。

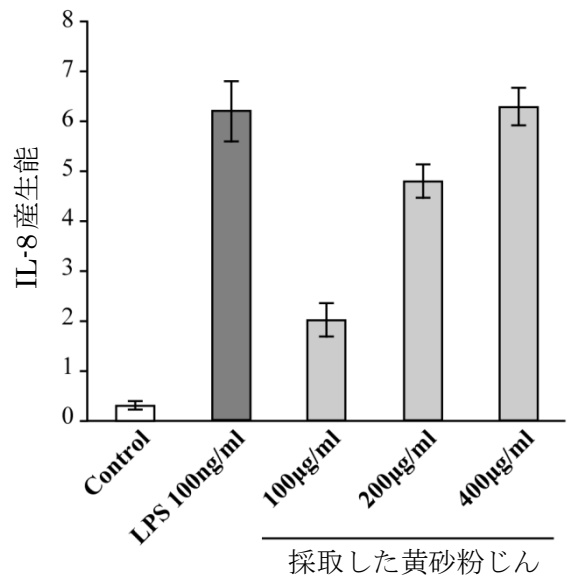
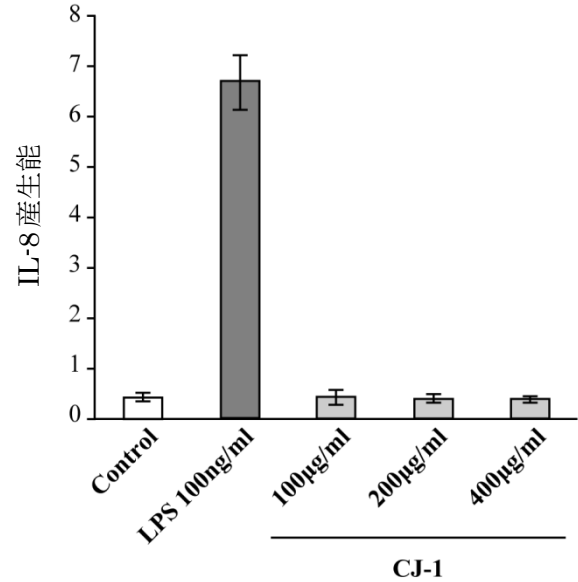


図 14 IL-8 産生能の比較

5 参考文献

- 1) 湊沙花他、鳥取県における黄砂と微小粒子状物質の実態把握に関する調査研究、所報 (2011)
- 2) Kanatani KT, Ito I, Al-Delaimy WK, Adachi Y, Mathews WC, Ramsdell JW; Toyama Asian Desert Dust and Asthma Study Team. Desert dust exposure is associated with increased risk of asthma

- hospitalization in children. *Am J Respir Crit Care Med.*, 182(12), 1475-1481(2010)
- 3) Watanabe M, Yamasaki A, Burioka N, Kurai J, Yoneda K, Yoshida A, Igishi T, Fukuoka Y, Nakamoto M, Takeuchi H, Suyama H, Tatsukawa T, Chikumi H, Matsumoto S, Sako T, Hasegawa Y, Okazaki R, Horasaki K, Shimizu E. Correlation between Asian Dust Storms and Worsening Asthma in Western Japan. *Allergol Int.*, 60(3), 267-275(2011)
 - 4) Ichinose T, Yoshida S, Hiyoshi K, Sadakane K, Takano H, Nishikawa M, Mori I, Yanagisawa R, Kawazato H, Yasuda A, Shibamoto T. The effects of microbial materials adhered to Asian sand dust on allergic lung inflammation. *Arch Environ Contam Toxicol.*, 55(3), 348-57(2008)
 - 5) 吉田篤史他、鳥取県における過去3年間の黄砂飛来実態に関する調査について、所報(2008)
 - 6) 湊沙花他、鳥取県における黄砂・大気粉じんの実態及び健康影響に関する基礎的調査研究(第1報)、所報(2012)
 - 7) Takahashi T, Kimura Y, Saito R, Nakajima Y, Ohmiya Y, Yamasaki K, Aiba S. An in vitro test to screen skin sensitizers using a stable THP-1-driven IL-8 reporter cell line, THP-G8. *Toxicol Sci.*, 124, 359-369(2011)
 - 8) 岩崎泰信、西川雅高、山田丸、洪天祥、黄砂、古今書店(2009)
 - 9) Hioki T, Nakanishi S, Mukai H, Murano K. Analysis of Long-Range transport of Aerosols with Water-Soluble Ionic Species and Trace Metal Components, Collected Continuously with Particle Size Segregation in the Coastal Area of the Sea of Japan – Focusing on the Kosa Event in Spring 2002, *J.Aerosol Res.*, 21(2), 160-175(2006)
 - 10) 環境省、平成23年度大気汚染状況について II 微小粒子状物質(PM2.5)の成分測定結果
 - 11) 中国環境問題研究会、中国環境ハンドブック 2011-2012年版、蒼蒼社(2011)

謝辞

免疫毒性評価試験の実施にあたり、鳥取大学医学部渡部仁成講師には、多大なるご協力とご指導を頂きました。改めましてお礼申し上げます。