

第65回日本小児保健協会学術集会 教育講演

PM_{2.5}とアレルギー疾患—発生源別 PM_{2.5}成分と児のアレルギー症状—

大西 一成

(聖路加国際大学大学院公衆衛生学研究科 / 臨床研究支援ユニット環境健康科学分野)

I. はじめに

越境大気汚染や黄砂現象は、大陸で発生した大気汚染物質が偏西風によって到達し、日本のPM_{2.5}濃度を更に上昇させることで問題となる。その大気浮遊成分の複雑性から健康影響が懸念されている。近年では、黄砂をはじめとする大気汚染物質と、循環器疾患、呼吸器疾患、アレルギー症状との関係が報告されている。環境省が実施する子どもの健康と環境に関する全国調査（エコチル調査）では、約10万人の母親と子どもが参加し、各々の生まれてくる前と生まれた後との環境と生体データを取得し解析を行う大規模な出生コホート研究が進められている。本調査の追加調査として、鳥取県の子どものおいて黄砂や大気汚染物質と自覚症状との関係を調べた。環境政策を決定するうえで、地元汚染と越境汚染の発生源別でみた健康への作用を明らかにする必要があるため、大気浮遊粒子状物質を粒径ごとに発生源解析を行い、その因子データと児童のアレルギー症状との関連を検討した。

II. PM_{2.5}を取り巻く近況

大気汚染物質の発生源には、地元由来のものと越境由来のものがあり、その成分は多種多様である。また、人間の経済的・社会的な活動が原因のものと自然に発生する砂嵐（黄砂）、山火事や火山も原因になることがある。

2013年にPM（Particulate Matter）_{2.5}が連日のように報道され大気汚染問題が広く認識されるようになった。何か新たに毒性のあるものが中国から飛来してきたという印象を持った方も多いかも。PM_{2.5}は、成分を特定しない粒径2.5 μ m以下の粒子状物質

の総称である。厳密には、粒径2.5 μ m以下の粒子の捕集効率が50%の分流装置を用いて採取される粒子のことである。つまりPM_{2.5}の値には、粒径が2.5 μ m以上の粒子も含まれてしまう場合もあり、必ずしも粒径が2.5 μ m以下の粒子だけを捉えているわけではない。しかし、PM_{2.5}の値が高い時は、アレルギー症状を引き起こすアレルゲンやアジュバントになり得る成分物質が飛来している可能性が高いため、粒径の小さい大気浮遊粒子状物質濃度を知る目安として有用である。

最近では、米国トランプ政権は、オバマ大統領によるクリーンパワー計画を撤回すると発表し、環境政策への優先度を下げる意向が示されたが、その米国で、標本採取された鳥羽に付着したブラックカーボン量から、過去135年間にわたる大気汚染問題への取り組みの成果を強調しその努力を継続すべきであるというメッセージ性の高い研究内容が報告されている¹⁾。日本においては、ばい煙排出の基準値超えに対してデータの改ざんがニュースになったり、計測器の精度管理の問題が取り沙汰されるなどした。低濃度微小粒子の曝露影響が問題にされる一方で、それが大気へ拡散されることによって健康影響はないとされることもあり、いつどの程度の曝露予防対策をとればよいかわからないという方も多いだろう。

III. 大気汚染物質 / 黄砂 / 花粉の粒径について

黄砂は、東アジア内陸部の砂漠または乾燥地域の砂塵が、強風を伴う砂塵嵐などによって上空に巻き上げられ、春・秋に日本を含む東アジアの広範囲に飛散し、地上に降り注ぐ気象現象のことである。そしてこの現象で飛散したダスト（塵）そのものを指す。日本では大陸から飛んでくる越境汚染物質の一つである。日

本へ飛来する黄砂の粒径は4 μm といわれているが、実際にはそれよりも大きなものや小さいもの、PM_{2.5}に認識されるものも飛来している。黄砂日にはSPM (Suspended Particulate Matter)、PM_{2.5}値が急上昇する。飛来が多い日本海側や九州地区では特に関心が高い現象である。

黄砂以外に越境する汚染物質には、硫黄酸化物、窒素酸化物、カーボン類、多環芳香族炭化水素、重金属、バイオエアロゾル (生物由来エアロゾル) などがある。これらは、大陸での農業由来の野焼きや森林火災、工業の排出由来のものが多いが、日本国内での地元の工業地帯の排出によっても上昇する汚染成分もあるためその区別は難しい。

地元由来の汚染物質としては、季節性アレルギー性鼻炎 (花粉症) を引き起こすスギ花粉 (粒径は30 μm) がある。花粉症を引き起こすアレルゲンは、スギ花粉の周りに付着しているオービクル (Cryj 1) および内部の (Cryj 2) で、粒径が1 μm とされている。しかし、この粒径1 μm の花粉由来の粒子がPM_{2.5}値に作用しているかどうかは、PM_{2.5}計測器の仕組みからして不明である。大気汚染物質や黄砂の健康影響を考える際には、同時に曝露される全物質成分や気候の影響を加味する必要があるため、その評価を困難にしている。

IV. 健康影響について

中国においては、大気汚染のデータと健康のデータについて、それぞれ個別の報告はあるが、その両者を合わせて解析した健康影響評価の報告がほとんどなかった。最近では、PM_{2.5}の関心とともに、高濃度曝露による短期影響と長期影響について研究が進行し、この数年では膨大な量の論文が発表されており、そのほとんどが疾病につながる健康影響を示唆している²⁾。

日本での成人への影響は、心筋梗塞への影響^{3,4)}、呼吸器への影響⁵⁾、アレルギー症状^{6~8)}、救急搬送⁹⁾・死亡¹⁰⁾との関係が報告されている。

日本での子どもへの影響は、呼吸器¹¹⁾の報告はあるが、子どもへの健康影響調査自体が限定的である。他国では、PM_{2.5}の子どもへの影響として喘息、アレルギー症状の悪化^{12~16)}、呼吸器の症状¹⁷⁾、発がん性¹⁸⁾、小児肥満や糖尿病のリスク¹⁹⁾について報告がある。

子どもは成人に比べると影響を受けやすいとされる

うえで、まだまだその関係については研究報告数が少ないというのが現状である。

その中で、タバコの煙もPM_{2.5}であるが、タバコのような発がん性物質を多く含む高濃度曝露による子どもの健康への影響については、多くの報告がなされている²⁰⁾。

V. 発生源別の健康影響

鳥取県でエコチル追加調査に参加した児に対して、屋外にいた時間やその日の症状について尋ねるアンケート (Allergy Control Score) を実施した。2015年10月17日~2016年6月4日の期間の粗大粒子 (SPM-PM_{2.5}) とPM_{2.5}について、重金属無機成分 (粗大: 6成分, PM_{2.5}: 8成分)、イオン成分 (8成分)、炭素成分 (EC, OC) の測定データ (各65データ) を用いて、発生源寄与解析 (PMF5.0) を行った。性別、年齢、出生体重、気温、湿度、気圧、花粉飛散量で調整し、一般化線形混合モデルを用いて解析を行った。調査期間中に、342人の参加者から9,204件の回答を得た。

四分位に分けた越境黄砂の影響が高い時 [Q4] は、一番低い時 [Q1] に対する児の眼症状のオッズ比が、粗大粒子で2.20 (95% CI: 1.21-3.98)、PM_{2.5}で2.08 (95% CI: 1.15-3.77) となり、有意なリスクの上昇を示した。また越境黄砂 (粗大粒子) の、肌症状へのオッズ比は、1.57 (95% CI: 1.12-2.20) で有意なリスクの上昇を示した。越境由来の可能性が高い硫酸の影響が高い時 [Q4] は、一番低い時 [Q1] に対する鼻、眼、呼吸器のいずれかの症状のオッズ比が、粗大粒子で1.29 (95% CI: 1.07-1.56)、PM_{2.5}で1.31 (95% CI: 1.08-1.59) となり、有意なリスクの上昇を示した。本研究において、越境の影響の高い大気汚染物質の短期曝露が児童へのアレルギー症状を引き起こす可能性が示唆された。

VI. 曝露を防ぐ方法 (マスク)

黄砂や大気汚染物質による健康影響については個人差が大きく、同じ人であってもその日の体調によって症状は異なる。また、短期的な影響は自覚しやすいが、長期的な影響については不明点が多く、対策を取りにくい状況となっている。個人の大气汚染物質の曝露の低減化に努めることが大切である。予報の情報を参考にして、予防的服薬、不要な外出や洗濯物や布団の外干しを控える、マスクの着用で取り込みを防ぐなどの

対応が必要とされている。マスクによる健康予防は、①取り込みを防ぐ目的と、②咳エチケットとして着用者の呼気中に含まれる微生物を周囲に飛び散らせないこと、③喉の加湿と加温がある。臨床現場では、季節性アレルギー性鼻炎（花粉症）の患者に、花粉曝露を防ぐ①の目的でマスクの着用を勧める場面がある。しかしながら、マスクの種類と選び方、着用方法の正しい知識が浸透していないため、その効果が十分に発揮できていない現状がある。

われわれは、マスクの漏れ率の調査を実施した。マスクの漏れ率の算出は、労研式マスクフィッティングテスター MT-03型（SIBATA）を用いてマスクの内側と外側の粒子数（粒径 $0.2\sim 0.5\mu\text{m}$ ）を計測して行った。漏れ率（マスク内への粒子の漏れ込み率）10%以下を合格とした。

対象者は、鳥取市内の小学1～6年生の児童74人であり、当該調査の意味、重要性、利益、不利益について説明し同意を得て実施した。普段使用している市販マスク（衛生マスク（フェイスマスク）、サージカルマスク不織布・プリーツあり）を持参し、さらに、米国労働安全衛生研究所（NIOSH）のN95規格（およそ $0.3\mu\text{m}$ の粒子径を95%以上捕集できる）をクリアしたN95防塵マスク（日本製：興研350型）を装着して計測を実施した。

児童の衛生マスクの漏れ率は、指導前の平均は92.7%（ $n=74$ ）、指導後の平均は76.4%（ $n=65$ ）で指導後は有意に漏れ率が下がった（ $p<0.001$ ）。いずれも合格率は0%であった。N95マスク（日本製）の漏れ率の平均は、児童が4.7%（ $n=14$ ）で合格率57.1%だった。骨格が成人よりも小さい児童においてはマスクが顔にフィットしづらいことが示唆された。

N95認定やPM_{2.5}粒子99.9%カットの表記があるマスクが氾濫しているが、フィルター自体の性能のみで検定されており、装着した際のマスクと顔の隙間は加味されていない。自分の骨格に合ったマスクを選択し顔とマスクの間に隙間ができないように装着する知識を持っていることが、マスクによる防護対策の基本となる。このことは、黄砂/大気汚染物質、花粉のみではなく、感染予防においても重要な知見となる。

VII. 飛来予測

日常生活においていつ何が飛んでいて、自分にはどの成分が有害なのか情報が得られることにより、予防

対策の意味をなすと考える。

気象庁は、黄砂情報として黄砂の飛来予測を公開している（気象庁ホームページ）。2013年のPM_{2.5}の報道に伴って、環境省がそらまめ、スプリンター、Vinusなどを活用してPM_{2.5}の予測を公表している。また、PM_{2.5}の実測値については、地方公共団体ごとに設備が整えられている。将来、天気予報と同じように各地域の黄砂・PM_{2.5}予測、さらには、それらの汚染物質成分を考慮した健康予測が生活の中に当たり前に入ってくる日が近いと思う。

そのためには、大気中成分予報さらには、健康予報の分野を発展させる必要があると考える。気象庁のエアゾルモデルを用いて、48時間前に飛来成分種と濃度のおおよそを把握する方法である。このアプローチはともに、自覚症状との有意な相関を得られており、個人曝露を防ぐ行動をあらかじめ行うには十分な情報を得ることが可能だと考えている²¹⁾。無用な症状を防ぎ、不要な受診を防ぎ、さらに医師の診断を助けるものになることを期待している。

VIII. おわりに

本研究において、越境の影響の高い大気汚染物質の短期曝露が児童へのアレルギー症状を引き起こす可能性が示唆された。

現時点の日本における曝露は低濃度で、有害な成分の高濃度曝露が多くの人に起きているわけではない。日本人の生活の質の向上に伴い、低濃度曝露による短期影響が気になる人、アレルギー症状を訴える人が増えているため、低濃度とはいえ無視できない状況にある。どの程度の対策が必要になってくるのか、特に自覚症状やアレルギー症状による評価が重要になると考えている。今後、大規模な黄砂や大気汚染物質の飛来に備えて、マスクの知識や飛来予測、健康予報についての知識や情報を得られる環境づくりは重要であると考えている。今後の対策につながる知見においては、一般の人にわかりやすく行政が使いやすく判断しやすい情報を提供できればと思っている。

謝辞

本研究の一部は、環境省エコチル調査追加調査および環境省推進費（5-1555）の発表であるが、示された見解は発表者自らのものであり環境省の見解ではない。

文 献

- 1) DuBay SG, Fuldner CC. Bird specimens track 135 years of atmospheric black carbon and environmental policy. *Proc Natl Acad Sci USA* 2017 ; 114 : 11321-11326.
- 2) Lin Y, Zou J, Yang W, Li CQ. A review of recent advances in research on PM2.5 in China. *Int J Environ Res Public Health*, 2018 : 15.
- 3) Kojima S, Michikawa T, Ueda K, Sakamoto T, Matsui K, Kojima T, et al. Asian dust exposure triggers acute myocardial infarction. *Eur Heart J* 2017 ; 38 : 3202-3208.
- 4) Nakamura T, Hashizume M, Ueda K, Kubo T, Shimizu A, Okamura T, et al. The relationship between asian dust events and out-of-hospital cardiac arrests in Japan. *Journal of Epidemiology* 2015 ; 25 : 289-296. (in English).
- 5) Higashi T, Kambayashi Y, Ohkura N, Fujimura M, Nakai S, Honda Y, et al. Effects of asian dust on daily cough occurrence in patients with chronic cough : a panel study. *Atmospheric Environment* 2014 ; 92 : 506-513. (in English).
- 6) Onishi K, Otani S, Yoshida A, Mu H, Kurozawa Y. Adverse health effects of Asian dust particles and heavy metals in Japan. *Asia Pac J Public Health* 2015 ; 27 : NP1719-1726.
- 7) Kanatani KT, Hamazaki K, Inadera H, Sugimoto N, Shimizu A, Noma H, et al. Effect of desert dust exposure on allergic symptoms : a natural experiment in Japan. *Ann Allergy Asthma Immunol* 2016 ; 116 : 425-430e7.
- 8) Majbaudiddin A, Onishi K, Otani S, Kurosaki Y, Kurozawa Y. Association between asian dust-borne air pollutants and daily symptoms on healthy subjects : A web-based pilot study in Yonago, Japan. *J Environ Public Health* 2016 ; 2016 : 8280423.
- 9) Kashima S, Yorifuji T, Suzuki E. Asian dust and daily emergency ambulance calls among elderly people in Japan : an analysis of its double role as a direct cause and as an effect modifier. *J Occup Environ Med* 2014 ; 56 : 1277-1283.
- 10) Kashima S, Yorifuji T, Tsuda T, Eboshida A. Asian dust and daily all-cause or cause-specific mortality in western Japan. *Occup Environ Med* 2012 ; 69 : 908-915.
- 11) Nakamura T, Hashizume M, Ueda K, Shimizu A, Takeuchi A, Kubo T, et al. Asian dust and pediatric emergency department visits due to bronchial asthma and respiratory diseases in Nagasaki, Japan. *Journal of Epidemiology* 2016;26:593-601. (in English).
- 12) Chen F, Lin Z, Chen R, Norback D, Liu C, Kan H, et al. The effects of PM2.5 on asthmatic and allergic diseases or symptoms in preschool children of six Chinese cities, based on China, children, homes and health (CCHH) project. *Environ Pollut* 2018 ; 232 : 329-337.
- 13) Khalili R, Bartell SM, Hu X, Liu Y, Chang HH, Belanoff C, et al. Correction to : Early-life exposure to PM2.5 and risk of acute asthma clinical encounters among children in Massachusetts : a case-crossover analysis. *Environ Health* 2018 ; 17 : 25.
- 14) Mar TF, Jansen K, Shepherd K, Lumley T, Larson TV, Koenig JQ. Exhaled nitric oxide in children with asthma and short-term PM2.5 exposure in Seattle. *Environ Health Perspect* 2005 ; 113 : 1791-1794.
- 15) Prieto-Parra L, Yohannessen K, Brea C, Vidal D, Ubilla CA, Ruiz-Rudolph P. Air pollution, PM2.5 composition, source factors, and respiratory symptoms in asthmatic and nonasthmatic children in Santiago, Chile. *Environ Int* 2017 ; 101 : 190-200.
- 16) Van Ryswyk K, Wheeler AJ, Wallace L, Kearney J, You H, Kulka R, et al. Impact of microenvironments and personal activities on personal PM2.5 exposures among asthmatic children. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 2014 ; 24 : 260-268.
- 17) Dunea D, Iordache S, Liu HY, Bohler T, Pohoata A, Radulescu C. Quantifying the impact of PM2.5 and associated heavy metals on respiratory health of children near metallurgical facilities. *Environ Sci Pollut Res Int* 2016 ; 23 : 15395-15406.
- 18) Oliveira M, Slezakova K, Delerue-Matos C, Pereira MC, Morais S. Assessment of air quality in preschool environments (3-5 years old children) with emphasis on elemental composition of PM10 and

- PM2.5. *Environ Pollut* 2016 ; 214 : 430-439.
- 19) Calderon-Garciduenas L, Franco-Lira M, D'Angiulli A, Rodriguez-Diaz J, Blaurock-Busch E, Busch Y, et al. Mexico City normal weight children exposed to high concentrations of ambient PM2.5 show high blood leptin and endothelin-1, vitamin D deficiency, and food reward hormone dysregulation versus low pollution controls. relevance for obesity and Alzheimer disease. *Environ Res* 2015 ; 140 : 579-592.
- 20) Wilunda C, Yoshida S, Tanaka S, Kanazawa Y, Kimura T, Kawakami K. Exposure to tobacco smoke prenatally and during infancy and risk of hearing impairment among children in Japan : a retrospective cohort study. *Paediatr Perinat Epidemiol*, 2018.
- 21) Onishi K, Sekiyama TT, Nojima M, Kurosaki Y, Fujitani Y, Otani S, et al. Prediction of health effects of cross-border atmospheric pollutants using an aerosol forecast model. *Environ Int* 2018 ; 117 : 48-56.