

## 大気汚染が及ぼす健康被害 6

## 黄砂の健康への影響と曝露予防

## Effects of Asian Dust on Health and Exposure to It

おおにし かず なり  
大西 一成  
Kazunari ONISHI

## はじめに

黄砂とは、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・秋に東アジア・日本などの広範囲に飛散し、地上に降り注ぐ気象現象のことである(図1)。この現象で飛散した砂自体のことを黄砂という。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 $4\mu\text{m}$ といわれているが、それよりも大きなものや小さいもの、PM (Particulate Matter)<sub>2.5</sub> 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<sub>2.5</sub> 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ある現象である。

黄砂と健康については、さまざまな問題を複合的に含んでいるため全体を見回しながら考察をする必要がある。本稿では、黄砂の観測、健康影響、曝露予防対策についてまとめて述べる。



図1 黄砂の発生源の様子 (モンゴル・ゴビ砂漠)

## I. 黄砂現象とは

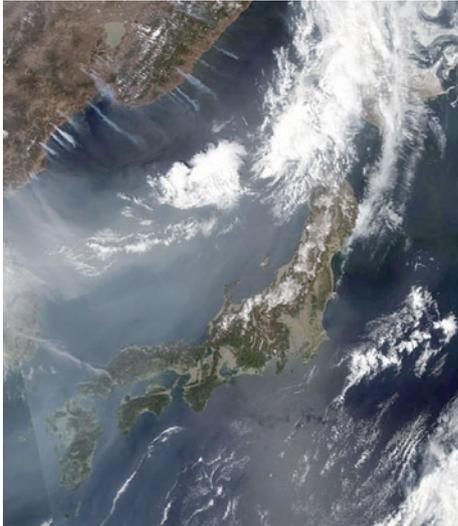
## 1. 黄砂は昔からある現象

2013年のPM<sub>2.5</sub>の騒ぎと同時に黄砂も広く国民に認識されたが、この黄砂現象は、約1800年前の気象記録や中国最古の医学書といわれる『黄帝内経』に「雨土」「天赤」という表現で記載され、昔から黄砂の飛来があったことをうかがうことができる。近年では、中国大陸の工業地帯の発達、森林伐採による砂漠化が原因で黄砂の発生頻度や発生量が年々増加している<sup>1)</sup>。さらに大陸を経由する際に、汚染物質を付着させたり、一緒に有害成分が飛来したりするため黄砂と大気汚染物質の複合飛来が観測され、これらの成分が及ぼす健康影響が憂慮されている。

## 2. 黄砂の動態と役割

越境大気汚染物質は、大陸のイベントによって発生する汚染である。そのイベントは、ダストの発生(黄砂)、工業地帯の汚染物質の排出、森林火災による煙の影響、冬小麦や石炭の燃焼が主なものとして挙げられる(図2)。黄砂の飛来経路は、さまざまなルートを取り、その飛来経路によって含有成分も異なる<sup>2)</sup>。近年では、黄砂自体(砂成分自体)が純粋に飛来する日がほとんどなく、大気汚染物質と同時に飛来している。黄砂の飛来影響は、アジアだけではなく太平洋へ流れ出し、アメリカ大陸に及ぶこともある<sup>3~6)</sup>。

前述の通り黄砂現象は、もともと古くからあった現象で、自然現象の中で役割を担っている。アルカリ性の黄砂主成分が、火山ガスや車の排気ガスの酸



Copyright NASA/GSFC, Rapid Response.

図2 MODDIS画像 衛星Aqua撮影  
(2014年4月15日)

性成分を中和、つまり酸性雨を中和するという報告がある。また、黄砂発生時に赤潮が経時的に推移しているところから、黄砂成分(リン、カルシウム、鉄など)が海洋中プランクトンの栄養になっていることがわかる。さらに、飛来した黄砂が箱船となり付着したバチルス属の菌を用いて納豆作りに利用された例もある<sup>7)</sup>。ただし、この黄砂に付着する構成成分が変化し鉛やカドミウムなどの有害成分が含まれていることが問題視される。

### 3. 黄砂の成分・計測方法

黄砂の健康影響を評価する際には必ずその黄砂飛来量や成分の把握が重要となる。ここでは、黄砂の計測方法、曝露指標について述べる。

#### 1) 視程調査

黄砂の観測は、視程調査で行われており、視程10km以下のかすんだ日が黄砂日として決定される。しかし、黄砂以外の大気汚染物質や海塩核など大気中のエアロゾルの濃度増加によっても視程は降下するため、最近は視程だけではなく気象状態全体を加味して判断されるようになった。具体的な加味については、特にマニュアル等に明記されていないようなので、基準として整備されることが望まれる。視程調査による黄砂日と非黄砂日の比較では、実際に体内に曝露される成分が不明のため、黄砂自体による健康影響の客観的な評価ができない。ただし、

特に高価な機械を必要とせず昔から広範囲の地域において実施され続けているこの視程による観測方法は、今後も続けていく価値がある。

#### 2) lidar (ライダー)

上空に浮遊する粒子状物質に反射して返ってくる光を測定・解析することにより、黄砂等粒子状物質の鉛直分布等をリアルタイムで観測する lidar (Light Detection And Ranging) が、黄砂の疫学研究に活用されはじめた。lidar は、偏光レーザーを用いることにより、エアロゾルの球形性と非球形性を推定できる<sup>8,9)</sup>。黄砂粒子は、不整形であるので、この方法で黄砂と球形である大気汚染物質との判別が可能である。lidar は、雲や濃いダストストームがある場合を除き、対流圏内の観測点上空を通過するすべての黄砂を、リアルタイムに無人で連続観測できる特徴がある。lidar の活用によって、黄砂と大気汚染物質の濃度を比較し、曝露の目安として活用することができるようになった。ただし、黄砂と大気汚染物質の複合物質が非球形と認識される場合への対応については、さらに研究が進められている。最近では、バイオエアロゾルの判別として蛍光 lidar の登場がささやかれており期待したい。

#### 3) 黄砂の採取分析

上述の lidar では、飛来粒子の非球形(黄砂)、球形(汚染物質)を区別するが、その成分や複合体を区別することはできない。成分の分析を行うには、粒子自体の採取をフィルターで行う方法(図3)と落下粒子の採取を行う方法がある。前者は、ハイボリウムエアサンプラーやローボリウムエアサンプラーを用いて採取を行い、分析対象成分に応じてフィルターを選択する。金属成分、多環芳香族炭化水素 PAHs、微生物由来 DNA などの分析が可能である。

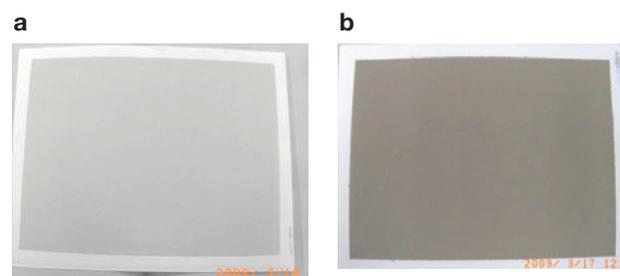


図3 黄砂採取フィルター (a: 非黄砂日、b: 黄砂日)

粒系別に採取することも可能で、黄砂が飛来するような日はPM<sub>2.5</sub>値も高い値を出す。

## II. 黄砂の影響

### 1. 生活への影響

黄砂の身近な影響で、洗濯物が汚れたり、車が汚れたりしているのを経験したことがある人は多いだろう。産業では、精密機械工場への影響、視程の低下による航空機への運行影響、学校における安全確保や健康への配慮から休校、家畜の死亡、果樹園畑・ビニールハウスへの被害、道路や建物の埋没や倒壊送電線への被害などの報告が、モンゴル、中国、韓国では特に多くある。黄砂は比較的粒子が大きいゆえの視程降下が大きいいため、黄砂への対策が社会的に重要となっている。黄砂の年間発生量は年間2億－3億tと推定され、降水量は春先の北京で1ヵ月間に1km<sup>2</sup>あたり10－20t程度、日本では1－5tと推定されている<sup>10)</sup>。

### 2. 健康影響について

黄砂の粒径が4μmであることや2.5μm以下の粒子の大きさについては、肺胞まで到達する大きさであることが知られており<sup>11)</sup>、健康影響を考える際の物理的な要因として重要な意味を持つ。黄砂の健康影響については、世界で報告されている。

#### 1) 世界における報告

黄砂の健康影響に関する疫学研究は、台湾や韓国などの都市における報告が多い。死亡をアウトカムとした報告もあるが、統計学的に有意ではなく、黄砂の定義、交絡因子(大気汚染物質・気象因子)の調整についての記載がないものもある<sup>12-14)</sup>。

黄砂が疾患の発症や増悪に伴う入院・受診に与える影響についての報告がある。Chanら(台湾)は、黄砂日に、虚血性心疾患、脳血管疾患、慢性閉塞性肺疾患による救急受診数が対照日と比較して有意に増加した事を示した<sup>15)</sup>。Mengら(中国)は、黄砂発生3日後の呼吸器疾患および高血圧による入院リスクの増加を認めたが、黄砂曝露の定義に記載はなかった<sup>16)</sup>。Chengら(台湾)は、黄砂発生翌日の肺炎による入院が非黄砂日に比較して4.9%増えることを示した<sup>17)</sup>。

黄砂による症状・機能をアウトカムにした報告として、Parkら(韓国)は、気管支喘息と診断された患者について、症状の増悪について検討を行い、黄砂曝露が呼吸器症状に影響を与えている可能性を示唆した<sup>18)</sup>。アレルギー性鼻炎<sup>19)</sup>や結膜炎<sup>20)</sup>についての報告もあるが、明らかな関連は述べられていない。さまざまな疾患とアウトカムによる報告がされているが、因果関係を証明するには、まだ十分ではない。これらの近隣諸国における疫学研究の結果が、日本において当てはまるとは限らない<sup>21)</sup>。

#### 2) 日本における有病者への健康影響

Kanataniらは、lidarの計測により黄砂のようなmineral dust成分と他の成分を区分し、黄砂曝露と2005～2009年春季の富山県の小児の喘息による入院との関連を調べた。他の汚染物質や花粉、気象条件も調整して、黄砂曝露により、小児の喘息の入院がheavy dust dayには1.71倍に増加すると報告している。この報告では、地上から1km以下のmineral dustレベルが0.7mg/m<sup>3</sup>以下の日をheavy dust dayと定義している<sup>22)</sup>。

Uedaらは、長崎市において、lidarの計測による黄砂飛来と、黄砂曝露による救急搬送の関連を調べた。黄砂日は、非黄砂日に比較して救急搬送数が有意に増加したことを報告した<sup>23)</sup>。Yorifujiらは、黄砂の短期曝露による脳卒中との関連について報告した<sup>24)</sup>。Higashiらは、黄砂による慢性咳患者の咳症状の悪化について示唆した<sup>25)</sup>。

#### 3) 健常者への健康影響と飛来経路

われわれは、2009年に気象庁が判定した黄砂日をlidarによる黄砂の成分(非球形物質)と大気汚染成分(球形物質)の濃度の大小によって区別をした<sup>2)</sup>。同じ黄砂日でも飛来経路によって黄砂よりも多く大気汚染物質が飛来している日があり、日によって飛来している成分は異なった。

また、われわれは、2008年から鳥取県の住民に毎日日記形式の自覚症状の短期影響調査を行っている。その結果、健常者においても黄砂日や大気汚染物質が飛来している日に目や鼻、肌の自覚症状の悪化を訴える人が多いことが分かった。その症状は、軽いものから重症なものまで、また、影響を受ける症状もその日の体調によっても異なることを観察した。

それを基に、黄砂の飛来経路と成分を考慮して以下の3つのタイプに分けた。

#### タイプ1 (air pollution) (図4)

大気汚染物質：黄砂成分（非球形物質）は少なく、汚染物質（球形物質）の飛来のほうが多い日。中国大陸重工業地帯、都市部周辺から飛来する。

#### タイプ2 (mixed) (図5)

混合タイプ：黄砂日だが汚染物質も多く混じっている日。乾燥地域から大規模な黄砂が発生し中国大陸重工業地帯、都市部を経由して飛来する。

#### タイプ3 (mineral dust) (図6)

黄砂タイプ：純粋な黄砂日で汚染物質が通常より少ない日。乾燥地域から大規模な黄砂が発生し、朝鮮半島を経由して日本へ到達する。

黄砂と一言で言ってもさまざまな成分を含んでおり、一様なものではない。被験者は黄砂の砂自体だけではなく汚染物質にも同時に曝露されている。その成分の性質、毒性があるかないかによって人の健康に及ぼす影響は変わる。大気汚染物質の健康影響評価では、大きく成分組成が異なる黄砂現象と大気汚染物質を区別して考えることが重要であると考えられる。

前述の報告も真に黄砂自体（砂自体）の影響であるのか評価することが難しい。

#### 4) 黄砂の成分と健康影響

黄砂の成分および黄砂とともに飛来する（黄砂に付着する）成分に着目した健康影響も研究されている。Ichinoseらは、黄砂成分であるSiO<sub>2</sub>に、アレルギー反応を高める作用があることを報告している<sup>26,27</sup>。Naotaらは、マウスに滅菌した黄砂を気管内投与することにより肺の急性炎症を生じることを報告している。3か月間の慢性影響も調べられ、肺と肺門部に肉芽性病変が報告されている<sup>28</sup>。

われわれは、先述の調査による自覚症状と、採取した黄砂の重金属の分析結果（表1）との関連を調

表1 黄砂日と非黄砂日の重金属濃度

	黄砂日 (n = 6)	非黄砂日 (n = 17)	p value
Pb (ng/m <sup>3</sup> )	44.4 ± 23.6	12.3 ± 10.0	< 0.001
Cr (ng/m <sup>3</sup> )	10.2 ± 3.7	4.1 ± 4.6	< 0.01
Mn (ng/m <sup>3</sup> )	72.8 ± 32.4	18.7 ± 11.1	< 0.001
Cd (ng/m <sup>3</sup> )	1.3 ± 0.4	0.4 ± 0.3	< 0.001
Ni (ng/m <sup>3</sup> )	8.0 ± 1.7	3.8 ± 2.1	< 0.001
Zn (ng/m <sup>3</sup> )	84.0 ± 40.0	35.4 ± 19.6	< 0.01
Fe (μg/m <sup>3</sup> )	2.0 ± 1.1	0.4 ± 0.2	< 0.001
Ca (μg/m <sup>3</sup> )	1.8 ± 0.8	0.5 ± 0.2	< 0.001
Al (μg/m <sup>3</sup> )	1.6 ± 0.9	0.4 ± 0.2	< 0.001

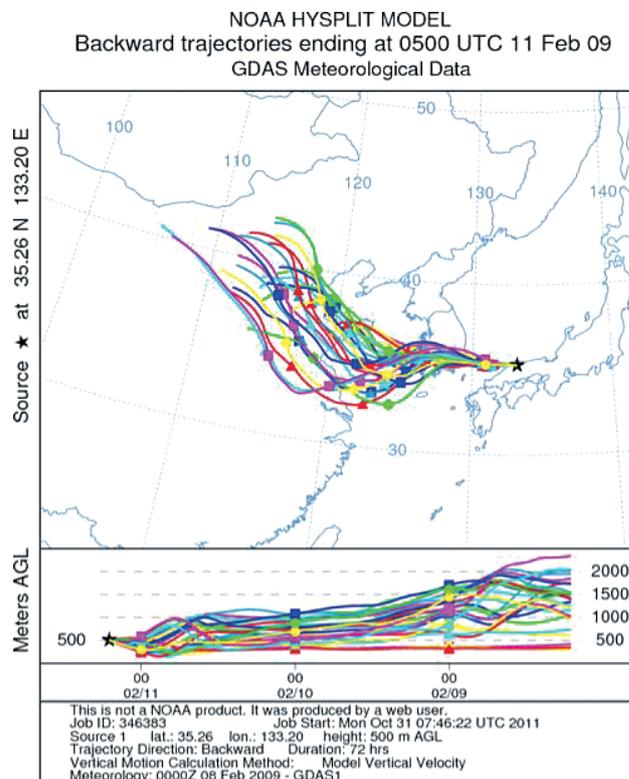


図4 タイプ1黄砂日の飛来経路  
(NOAA HYSPLIT MODEL)

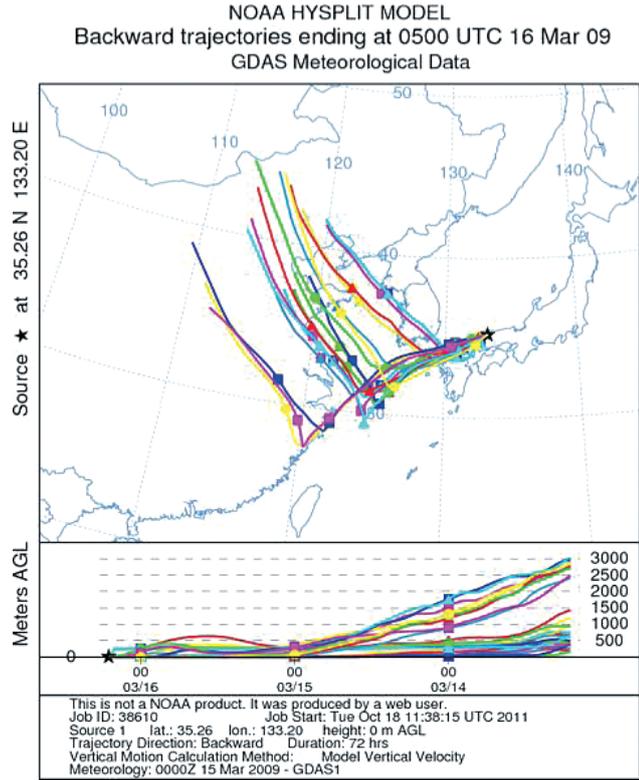


図5 タイプ2黄砂日の飛来経路 (NOAA HYSPLIT MODEL)

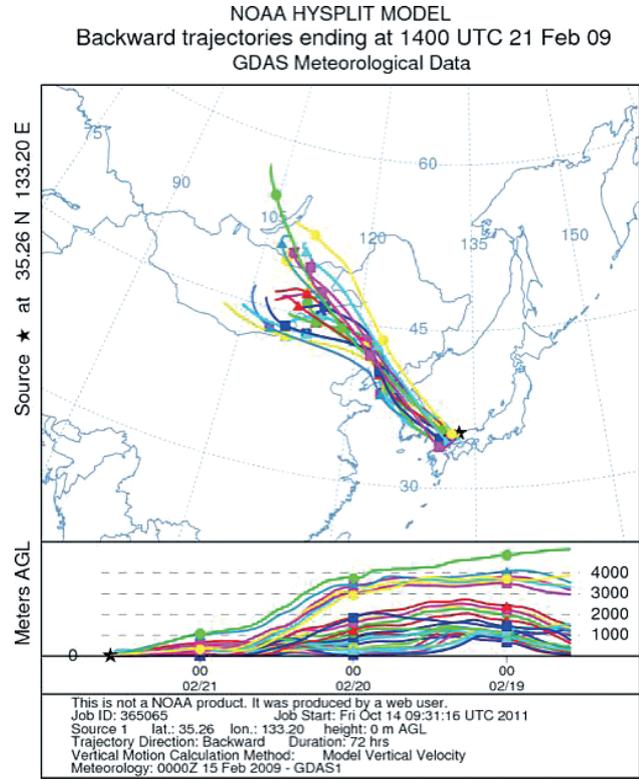


図6 タイプ3黄砂日の飛来経路 (NOAA HYSPLIT MODEL)

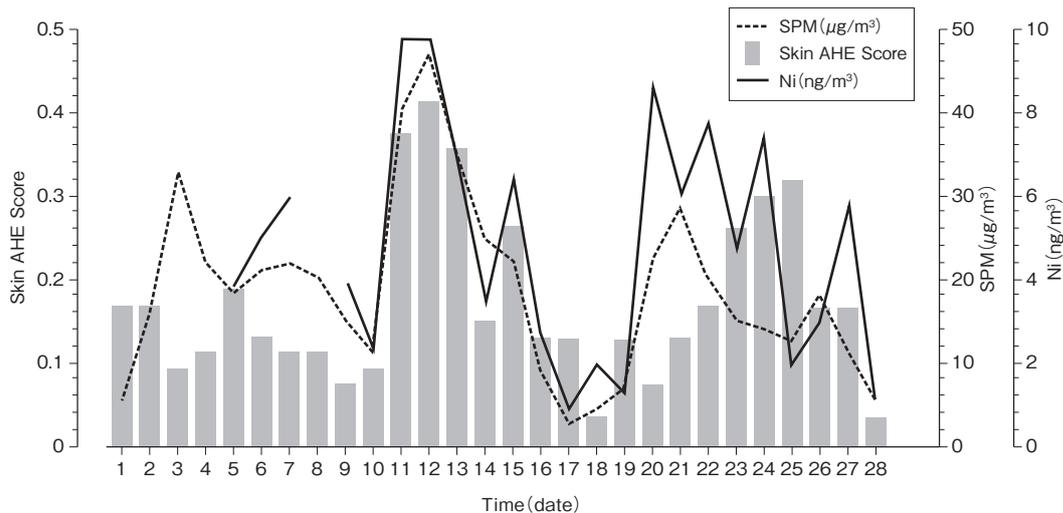


図7 肌とニッケルの症状の関係

べ、Niの上昇と肌の自覚症状の訴えとに関連がみられたことを報告した<sup>29)</sup>(図7)。さらに、この調査で肌の自覚症状を訴えた人と訴えなかった人でパッチテスト(Al、Cr、Fe、Mn、Ni、Zn、Dust、Control)を行い、その結果を比較した。肌の自覚症状を訴えた人のNiに対するパッチテストの偽陽性を含む陽性率は90%であり、肌の自覚症状を訴えなかった人のそれは18%であった<sup>30)</sup>。金属アレルギー(アレルギー性接触皮膚炎)の原因で最も多いのは、Niといわれており、これらを考慮すると、金属アレルギーの素因が、いわゆる「黄砂アレルギー」のひとつの要因ではないかと考えている。

金属以外では、黄砂粒子に付着した微生物(バイオエアロゾル)が、生態系や人の健康へ影響をおよぼす可能性が指摘され関心を集めつつある。マウスにアレルギー症状を起こす卵白アルブミンと黄砂を気管内投与した一連の実験で、卵白アルブミン誘発性気道炎症の増悪作用は黄砂に含まれる微生物学的要因が関与していることが報告されている<sup>26, 27, 31)</sup>。黄砂には、枯れ草菌、真菌、食中毒原因菌、鳥インフルエンザなどのウイルスの付着も疑われている<sup>26)</sup>。

### 3. 短期影響と長期影響

健康影響を考える際には、短期影響(粒子が体内に入ってすぐまたは数日以内に出る影響)と長期影響(粒子が体内に入って何年も経ってから出る影響)を区別して考えなければいけない。WHO(世界保健機関)が、正式にPM<sub>2.5</sub>の発がんリスクが5段階

の危険度のうち最高レベルに分類したと発表した。これは、高濃度の大气汚染物質を吸い続けると将来がんになる可能性があることを示唆し、長期影響について述べた例である。環境基準値は、このような長期影響(慢性影響)を考えて設定されている。

一方、濃度が高いときのアレルギー様症状の発症、ぜんそく、アトピー性皮膚炎の悪化などといった、曝露されてすぐまたは数日後に見られる症状は短期影響である。

長期影響で設定された値(環境基準値)を境界に、短期影響に関連した生活行動を左右してしまうのは隔たりを感じる。現在、容易に国民が知ることができる情報は、PM<sub>2.5</sub>値などの常時データしかないのである。PM<sub>2.5</sub>値は、前日との比較によって飛来量の目安になるため、データと情報の性質を十分に理解した上で、活用することが大切である。

## Ⅲ. 曝露予防

### 1. 曝露指標について

黄砂の健康影響を考える際には、大气汚染物質・黄砂曝露の定義の問題がある。台湾、韓国などの多くの研究で曝露指標としてPM<sub>10</sub>が用いられた。工業地帯の少ない地域では、もともと地元由来の汚染が少ないため、黄砂の飛来指標としてSPMが用いられることもある。現在はPM<sub>2.5</sub>が主流になりつつある。しかし前述の通りPMは黄砂由来の粒子や

さまざまな大気汚染物質由来の粒子も含んでおり、何が健康影響を及ぼすのかあいまいである。これらの指標を黄砂の曝露指標として用いることの妥当性に関しては十分に検討されていない<sup>21)</sup>。

最近では lidar を活用した報告が増えてきているが、粒系別の成分や飛来経路、さらには越境由来と地元由来の寄与率の概念も重要な因子である。さらに、シミュレーションモデルによる曝露評価も念頭に置かれて健康影響評価の研究が進められている。

## 2. 曝露（体内への取り込み）を避けるには

公衆衛生学や環境技術の発展によって、日本において、多くの方が病気になるような公害は減った。現代では、低曝露の健康影響がフォーカスされるようになった。

大気中微小粒子の健康影響の報告が少ない現状では、誰がいつどんな時にこうしたらよという確実な対策を取るには情報が不足している。毎日外出を控えマスクを着用するわけにはいかないのが現状である。現在の一般的な指導は下記の通りである。

①健常者の方：現段階では各粒子の健常者への影響はそれほど強くないと考えられ、ただちに大きな健康影響が出る飛来量ではない。目安として、黄砂日、PM<sub>2.5</sub> 値の高い日、空が曇っている日に、自身に何か症状が出ると感じられる方は、マスクをして外出先から帰ったらすぐに洗い流す（洗髪も）ようにするなど、一般的な花粉症対策に準じた対応が良いのではないかと思われる。

②ぜんそく・呼吸器系疾患・アレルギー疾患のある方：症状の悪化との関連性についての報告があるので要注意である。しかし、個々の状態（疾患の種類や程度）によるところが大きいと思われるので、それぞれの担当医に相談すべき。

③子供や高齢者：一般論として健康成人より影響は受けやすいと考えられるが、不明な点が多く、現段階では上記①②と同様の対策が適切であると考えられる。

## 3. マスクによる防御

黄砂を吸引しないためには、マスクの着用は、効果的である。ただし、マスクのフィルター自体が粒子をカットしているということと、顔にしっかりフィットして、隙間から粒子が漏れていないことが重要な条件となる。ダストが舞っている黄砂発生源

における調査では特に 100% 粒子を吸い込まないように気を遣っている。N95 規定のマスクは、息苦しい上、顔にフィットせず（特に海外製）漏れているものもある。必要に応じて正しい知識でマスクを選択し着用する必要がある。

### 1) マスクの漏れ率

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トテスト MT-03 型 (SIBATA) (図 8) を用いてマスクの内側と外側の粒子数を計測して行った。漏れ率 10% 以内を合格とした。被験者は大人 29 名、小学生 65 名であり、全員が普段使用しているマスク（不織布・プリーツ有り）を持参した。参加者の普段の状態での着用を指導前とし、同一のマスクで測定者が適切な着用方法に関する指導を受けた後の測定を指導後とした。マスクの漏れ率の平均値は、指導前が 92.35%、指導後が 74.56% であった。漏れがないように着用方法を工夫することで、いくらかの漏れを防ぐことができたが、曝露や感染を防ぐには不十分な結果であった(図 9)。持参されたマスクでは、漏れ率が 100% を越えるもの（マスク自体の素材のため内側の粒子数の方が多い）や 20% 近くまで漏れを防いでいるものもあった。その種類差は大きいですが、10% 以下まで漏れ率を防いでいるものはなかった。

きちんと漏れを防ぐために、比較対象のアタッチメント付き N95 マスク（国産：息苦しさを軽減）を着用して漏れ率の計測を行った。漏れ率の平均値は 2.62%



図 8 労研式マスクフィットテスター MT-02 (SIBATA)

であり明らかな漏れ率の低下がみられた(図9)。しかし、被験者12名においては、10%以上の漏れがあった。この12名については、着用し直すことで漏れ率の低下(19.80%→4.44%平均値)が確認された(図10)。どんなにいいマスクでもきちんと着用しないと意味がないこと、骨格に合うマスクを選択することの重要性を示唆している。この結果は、黄砂のことだけではなく、そのほかの大気汚染物質、PM<sub>2.5</sub>、花粉症やインフルエンザ感染の予防、産業現場の労働環境においても重要な知見であると考えられる。

これらの対策も、日常生活において今何が飛んでいて、自分に有害なのかの情報によって効率が異なる。天気予報のように、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られる。われわれは、健康対策を取るには十分な知見を得られる装置の開発に取り組んでいる。コストのかかる成分分析と同等の結果が得られる事を期待している。(特許出願中：特願2013-130989)

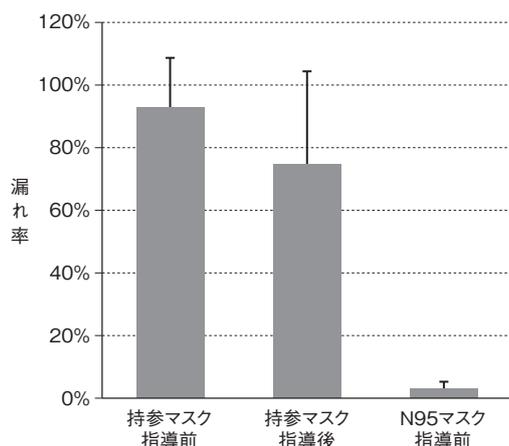


図9 マスクの漏れ率 (n=94)

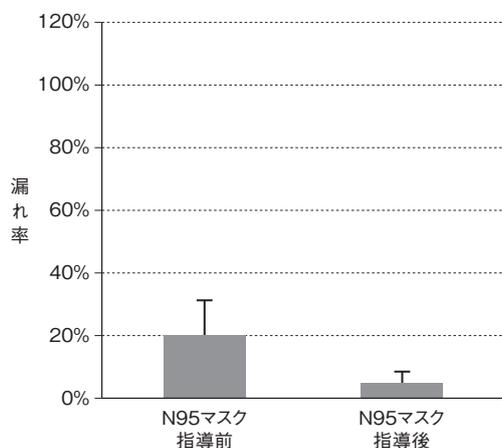


図10 N95マスクの指導前後の漏れ率 (n=12)

#### 4. 黄砂飛来予測

気象庁のホームページに黄砂の飛来予報が掲載されている。モデルゆえ飛来予測はできていても、黄砂の発生予測ができていないことによる空振りが散見している。さらに、PM<sub>2.5</sub> 予測の公式公開の動きも見え始めている。PM<sub>2.5</sub> には、地元由来のものと越境由来のものが存在する。当然、黄砂が飛来する日はPM<sub>2.5</sub> も上昇するが、汚染物質とは発生している成分と発生源が異なる。そのためPM<sub>2.5</sub> と黄砂予測は別々に行うことが望ましいと考える。黄砂や汚染物質が来る前に情報を得て適切な対応を取ること、生活の質(QOL)の低下や無用な受診を避けることができる可能性がある。

#### おわりに

黄砂が飛来するような日には汚染物質も多く飛来している。黄砂(砂自体)だけが飛来する日、何も飛来していない(大気がきれい)日は非常に少ない。黄砂日以外でも越境由来と地元由来の砂や汚染物質が毎日飛来して空気中に浮遊している様子が観察されている。そのような日に体調の不具合や自覚症状の悪化を訴える方が多くいる。その因果関係がはっきりと明らかになっていないのが現状である。しかし、疫学・予防医学の観点からは、原因物質が特定されなくても防ぐことが可能である。

微小粒子の微量曝露による健康影響が注目される近年、何が大気中を飛来しているのか、何が体内に入って長期的に又は短期的に影響を及ぼす可能性があるのか、追求していく価値は高くなっている。影響だけではなく発生源の原因・対策・教育・国際協力も同時に視野に入れ、さまざまな施設と分野の協力を得ながら、環境と医学と工学を融合して日々研究を進めていく必要がある。

#### 文献

- 1) Kurosaki Y, Shinoda M, Mikami M et al. What caused a recent increase in dust outbreaks over East Asia? *Geophys Res Lett* 2011 ; 38.
- 2) Onishi K, Kurosaki Y, Otani S et al. Atmospheric transport route determines components of Asian dust and health effects in Japan. *Atmospheric Environment* 2012 ; 49 : 94-102.

- 3) Bennett, C. M. McKendry, I. G. Kelly et al. Impact of the 1998 Gobi dust event on hospital admissions in the Lower Fraser Valley. *British Columbia Sci Total Environ* 2006 ; **366** : 2-3/918-25
- 4) Husar RB, Tratt D, Schichtel BA et al. Asian dust events of April 1998. *Journal of Geophysical Research* 2001 ; *Atmospheres*(1984-2012) **106** : 18317-18330.
- 5) Tratt DM, Frouin RJ, Westphal DL et al. April 1998 Asian dust event: A southern California perspective. *Journal of Geophysical Research* 2001 ; *Atmospheres*(1984-2012) **106** : 18371-18379.
- 6) Uematsu M, Duce RA, Prospero JM et al. Transport of mineral aerosol from Asia over the North Pacific Ocean. *Journal of Geophysical Research* 1983 ; **88** : 5343-5352.
- 7) 岩坂泰信. 空飛ぶ納豆菌 黄砂に乗る微生物たち. PHP研究所 2012.
- 8) Sugimoto N, Matsui I, Shimizu A et al. Lidar network observations of tropospheric aerosols. *Proceedings of SPIE* 2008 ; 7153. doi : 10.1117/12.806540.
- 9) Sugimoto N, Hara Y, Shimizu A et al. Comparison of surface observations and a regional dust transport model assimilated with Lidar Network Data in Asian dust event of March 29 to April 2, 2007. *SOLA 7A* 2011 ; 013e016. doi : 10.2151/sola.7A-004.
- 10) 西川雅高. 黄砂研究最前線 - 科学的観測手法で黄砂の流れを遡る. 国立環境研究所 : 環境儀No.8. 2003/04
- 11) Aerosol consensus statement. Consensus conference on aerosol delivery. *Chest* 1991 ; **100** : 1106-1109.
- 12) Chen YS, Sheen PC, Chen ER et al. Effects of asian dust storm events on daily mortality in taipei, taiwan. *Environ Res* 2004 ; **95** : 151-155.
- 13) Hwang SS, Cho SH, Kwon HJ. effects of the severe asian dust events on daily mortality during the spring of 2002, in seoul, korea. *Journal of preventive medicine and public health = Yebang Uihakhoe chi* 2005 ; **38** : 197-202.
- 14) Kwon HJ, Cho SH, Chun Y et al. Effects of the asian dust events on daily mortality in seoul, korea. *Environ Res* 2002 ; **90** : 1-5.
- 15) Chan CC, Chuang KJ, Chen WJ et al. Increasing cardiopulmonary emergency visits by long-range transported asian dust storms in taiwan. *Environ Res* 2008 ; **106** : 393-400.
- 16) Meng Z, Lu B. Dust events as a risk factor for daily hospitalization for respiratory and cardiovascular diseases in minqin, china. *Atmos Environ* 2007 ; **41** : 7048-7058.
- 17) Cheng MF, Ho SC, Chiu HF et al. Consequences of exposure to asian dust storm events on daily pneumonia hospital admissions in taipei, taiwan. *Journal of toxicology and environmental health Part A* 2008 ; **71** : 1295-1299.
- 18) Park JW, Lim YH, Kyung SY et al. Effects of ambient particulate matter on peak expiratory flow rates and respiratory symptoms of asthmatics during asian dust periods in korea. *Respirology* 2005 ; **10** : 470-476.
- 19) Chang CC, Lee IM, Tsai SS et al. Correlation of asian dust storm events with daily clinic visits for allergic rhinitis in taipei, taiwan. *Journal of toxicology and environmental health Part A* 2006 ; **69** : 229-235.
- 20) Yang CY. Effects of asian dust storm events on daily clinical visits for conjunctivitis in taipei, taiwan. *Journal of toxicology and environmental health Part A* 2006 ; **69** : 1673-1680.
- 21) 橋爪真弘, 上田佳代, 西脇祐司 et al. 黄砂の健康影響. 疫学文献レビュー(原著論文)日本衛生学雑誌2010 ; **65**(3): 413-421.
- 22) Kanatani KT, Ito I, Al-Delaimy WK et al. Desert dust exposure is associated with increased risk of asthma hospitalization in children. *Am J Respir Crit Care Med* 2010 ; **182** : 1475-1481.
- 23) Ueda K, Shimizu A, Nitta H et al. Long-range transported Asian Dust and emergency ambulance dispatches. *Inhal Toxicol* 2012 ; **24**(12): 858-867.
- 24) Yorifuji T, Kashima S. Associations of particulate matter with stroke mortality: A multicity study in Japan. *J Occup Environ Med* 2013 ; **55** : 768-771
- 25) Higashi T, Kambayashi Y, Ohkura N et al. Exacerbation of daily cough and allergic symptoms in adult patients with chronic cough by asian dust: A hospital-based study in kanazawa. *Atmos Environ* 2014 ; **97** : 537-543.
- 26) Ichinose T, Yoshida S, Hiyoshi K et al. The Effects of Microbial Materials Adhered to Asian Sand Dust on Allergic Lung Inflammation. *Arch Environ Contam Toxicol* 2008 ; **55** : 348-357.
- 27) 市瀬孝道. 黄砂のアレルギー疾患への影響. 日本医事新報2011 ; **4537** : 56-57.
- 28) Kashima S, Yorifuji T, Tsuda T et al. Asian dust and daily all-cause or cause-specific mortality in western Japan. *Occup Environ Med* 2012 ; **69**(12): 908-915.
- 29) Naota M, Mukaiyama T, Shimada A et al. Pathological study of acute pulmonary toxicity induced by intratracheally instilled Asian sand dust(kosa). *Toxicol Pathol* 2010 ; **No.38**(7) : 109-110.
- 30) Onishi K, Otani S, Yoshida A et al. Adverse Health Effects of Asian Dust Particles and Heavy Metals in Japan. *Asia Pac J Public Health* 2011.
- 31) Otani S, Onishi K, Mu H et al. The relationship between skin symptoms and allergic reactions to Asian dust. *Int J Environ Res Public Health* 2012 ; **9** : 4606-4614.
- 32) He M, Ichinose T, Yoshida Y et al. Airborne Asian sand dusts enhances murine lung eosinophilia. *Inhalation Toxicol* 2010 ; **22** : 1012-1025.