黄砂の健康影響—疫学文献レビュー

橋爪 真弘^{*1}, 上田 佳代^{*2}, 西脇 祐司^{*3}, 道川 武紘^{*3}, 小野塚大介^{*4}

^{*1} 長崎大学熱帯医学研究所国際保健学分野

^{*2} 国立環境研究所環境健康研究領域環境疫学研究室

^{*3} 慶應義塾大学医学部衛生学公衆衛生学

^{*4} 福岡県保健環境研究所企画情報管理課

Health Effects of Asian Dust Events: A Review of the Literature

Masahiro HASHIZUME^{*1}, Kayo UEDA^{*2}, Yuji NISHIWAKI^{*3}, Takehiro MICHIKAWA^{*3}
and Daisuke ONOZUKA^{*4}

^{*1}Institute of Tropical Medicine, Nagasaki University

^{*2}National Institute for Environmental Studies

^{*3}Department of Preventive Medicine and Public Health, School of Medicine, Keio University

^{*4}Fukuoka Institute of Health and Environmental Sciences

Abstract Asian dust, called ‘kosa’ in Japan, is the long-range transport of atmospheric pollutants originating from the desert areas of China and Mongolia. Although Asian dust has a long history of appearing in Japan, it is only quite recently that there is increasing concern for its possible adverse health effects. We reviewed the epidemiologic evidence of potential health effects of Asian dust events. PubMed was used to search for the following keywords: Asian dust, yellow sand, desert dust, dust storm, sandstorm, mortality, death, morbidity, hospitalization, hospital admission, health, pulmonary and respiratory. The search was limited to the epidemiologic studies published between January 1980 and May 2009. JMEDPlus was used to search for Japanese literature. Seventeen studies were retrieved from PubMed and one study from JMEDPlus. In addition, one study was identified for reviewing from the references of another study. In total, we identified 19 epidemiologic studies (3 for mortality, 13 for hospital visits or admissions and 3 for respiratory functions or symptoms) mainly from Taiwan and Korea. There were many combinations of outcomes and lagged exposures examined, and some suggested possible associations of dust exposure with an increase in mortality and hospital visits and admissions due to cardiovascular and respiratory diseases, whereas the rest of the studies did not show statistically significant associations. The evidence from these studies was limited because exposure assessments were inadequately described and potential confounders were insufficiently controlled. Well-designed epidemiological studies are required to clarify any potential health effects of Asian dust events in Japan.

Key words: Asian dust (黄砂), yellow sand (黄砂), sandstorm (砂嵐), literature review (文献レビュー), epidemiology (疫学), health effect (健康影響)

はじめに

黄砂は中国大陸内陸部の砂漠で風によって上空に巻き上げられた土壌・鉱物粒子が東アジアなどの広範囲に飛

来し、大気中に浮遊あるいは降下する現象である。黄河流域や中国大陸内陸部の砂漠で近年急速に広がる過放牧や耕地拡大が原因の一つとされ、砂漠化・森林伐採・土壌劣化などの人為的影響による環境問題としての認識が高まっている(1)。土壌由来の黄砂粒子は粒径が数 μm から数十 μm と粗大で、化石燃料の燃焼などによる人工発生源に由来する粒径2.5 μm 以下の微小粒子に比べると、呼吸器系への影響が小さいと考えられてきた。しかし、最近の研究では黄砂ダストに硫酸塩や硝酸塩が多く含まれることが明らかとなり(2)、これらは主に中国東部工

受付 2009 年 7 月 21 日, 受理 2009 年 12 月 2 日
Reprint requests to: Masahiro HASHIZUME
Department of International Health, Institute of Tropical Medicine,
Nagasaki University, 1-12-4 Sakamoto, Nagasaki 852-8523, Japan
TEL/FAX: +81(95)819-7808
E-mail: hashizum@nagasaki-u.ac.jp

業地帯で排出される大気汚染物質が酸化し二次的に発生すると推測されている。一方、台湾における調査では、黄砂日の大気中菌類胞子数は非黄砂日に比べて増加していることが観察されている (3)。また、黄砂発生源表層土壌から採取したダストには、真菌など微生物が付着しており、動物実験により吸入するとアレルギー反応を誘発し、気道の炎症を起こすことが示唆されている (4)。以上のような知見を踏まえ、黄砂降下地域である日本においても黄砂の健康影響について懸念が高まっており、今後この問題に関する研究が重要になると考えられる。筆者らは、黄砂のヒトへの健康影響に関するこれまでの知見を明らかにする目的で、疫学文献のレビューを行った。

方 法

関連論文の検索は、PubMed を用いて 1980 年 1 月 1 日～2009 年 5 月 31 日の間に公表されている論文について行った。検索は、黄砂および砂漠由来の砂塵を定義することとして “Asian dust”, “yellow sand”, “desert dust”, “dust storm”, “sandstorm”, アウトカムを示す用語として “mortality”, “death”, “morbidity”, “hospitalization”, “hospital admission”, “health”, “pulmonary”, “respiratory” を組み合わせて行った。上記キーワードにより検索された 45 件の論文のうち、抄録や本文を参考に、総説・論説・コメント・症例報告 (7 件)、胸部 X 線等の画像所見を示す形容詞として “sandstorm” が用いられた臨床研究 (5 件)、発生源が中国大陸内陸部以外の砂漠 (サハラ砂漠など) 由来の砂塵の健康影響についての検討 (3 件)、砂塵内に含まれる微生物や胞子についての検討 (3 件)、ヒト細胞に対する実験的検討 (3 件)、気象・環境全般について (2 件)、粒子の特性に関する検討 (2 件)、黄砂に対する認識調査 (1 件)、黄砂による大気汚染物質の効果修飾を検討した研究 (1 件)、診断に関する検討 (1 件) を除くと、該当論文は 17 件 (死亡 3 件、入院・受診 12 件、症状増悪・機能変化 2 件) であった。さらに、総説の参考文献より入院に関する論文が新たに 1 件加わった (5)。

日本語の文献検索は JDream II (<http://pr.jst.go.jp/jdream2/>) で提供されている JMEDPlus を用いた。最終の検索は 2009 年 11 月 10 日に行った。同データベースでは 1981 年～2009 年までの文献を含む。曝露を示す検索用語として “黄砂” を、健康影響を示す用語としては “健康”, “疫学”, “死亡”, “入院”, “救急”, “受診”, “外来”, “呼吸器”, “循環器”, “疾患”, “喘息”, “アレルギー”, “鼻炎”, “花粉症”, “結膜炎”, “症状”, “喘鳴”, “息切れ” を用い、84 文献が検索された。そのうち、Limit オプションを用いてヒトを対象とする原著論文のみに限定したところ、8 文献が該当した。抄録の内容より、黄砂以外の環境因子 (大気汚染物質, 生活環境, 気象) の健康影響について検討 (3 件)、粒子状物質濃度についての検討 (2 件)、花粉測定についての検討 (2 件) を除くと該当する論文は 1 件のみであった。

最終的に 19 件 (死亡に関するもの 3 件, 入院・受診 13 件, 症状増悪・機能変化 3 件) の文献をレビューの対象とした。これらの対象論文より、研究の実施された地域、曝露評価、研究デザインおよび解析方法、アウトカムに関する情報について抽出した。

結 果

研究地域

研究対象地域は、台湾 12 件 (6-17)、韓国 4 件 (18-21)、中国 1 件 (5)、日本 1 件 (22)、カナダ 1 件 (23) であった。カナダからの報告は、1998 年春にゴビ砂漠で発生し北米西海岸に到達した黄砂イベント (24) 時の健康影響について検討したものである。

曝露評価

黄砂曝露の定義として最も多かったのは粒子状物質 (Particulate matter: PM) 濃度が一定の値以上とするものであった (6, 8-17)。台北における研究では粒径 $10\text{ }\mu\text{m}$ 以下の粒子状物質 (PM_{10}) の日平均濃度が $115\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上を黄砂と定義したり (6)、人為由来大気汚染物質が少なくとされる郊外での日平均 PM_{10} 濃度が $100\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ (6) または 1 時間値が $125\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上が 3 時間以上持続した場合 (8, 10, 12, 14, 15, 17, 25) と定義する研究もあった。粒径 $2.5\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $10\text{ }\mu\text{m}$ 以下の粒子状物質 ($\text{PM}_{10-2.5}$) や PM_{10} /粒径 $2.5\text{ }\mu\text{m}$ 以下の粒子状物質 ($\text{PM}_{2.5}$) などの指標を用いた報告もあった (6)。Chen ら (9) の報告では、 PM_{10} 濃度が急上昇した場合を黄砂イベントと定義したが、カットオフ値の記載がなかった。PM 濃度と後方流跡線解析を併用している検討 (7) もみられた。各国気象庁により報告された黄砂イベントを用いた報告は日本 (22)、韓国 (21) からそれぞれ 1 件ずつあり、いずれも気象庁による黄砂の定義についての記載はなかった。カナダからの報告 (23) では、衛星リモートセンシングや地表観測による詳細な黄砂イベントの報告 (24) をもとにしている。一方、黄砂イベントの日付のみの記載 (18, 19) や、曝露定義についての記載がみられないもの (5, 20) もあった。

研究デザイン・解析方法

19 文献のうち、黄砂日と非黄砂日とでアウトカム (死亡・入院・受診) 発生数の比較を行ったデザインは 14 件 (7-18, 21, 23)、時系列解析を用いたものは 4 件 (5, 6, 19, 20) であった。小沢ら (22) は、春季カタル増悪日と黄砂観測日との関連を検討しているが、統計学的検定を行っていない。交絡因子となりえる気象因子の調整がなされたものは 12 件 (5, 6, 8, 10-12, 14-19) であり、おもに気温と湿度について調整がなされている。共存汚染物質については 9 文献で記載されており、いずれも PM_{10} とオゾンについて調整されていた (8, 10-12, 14-18)。

アウトカム

死亡をアウトカムとした疫学研究は3件であった。ソウル（韓国）における研究が2件（18, 19）、台北（台湾）における研究が1件（9）であった。Chenら（9）は台北において黄砂日1日後の呼吸器疾患死亡が8.3%, 2日後の総死亡5.2%, 2日後の循環器疾患死亡が2.7%増加したと報告した。ただし、いずれも統計学的に有意でない。交絡因子となりえる大気汚染物質や気象因子の調整がなされているかの記載はない。また、黄砂日の日付の記載はあるものの黄砂の定義は明確でない（PM₁₀カットオフ値が不明）。Kwonら（19）は、Poisson generalized additive modelを用いて、台北における黄砂日2日後の事故死を除く総死亡（全年齢）が3.4%（95%信頼区間-0.5, 7.4）、同総死亡（65歳以上）5.3%（95%信頼区間0.3, 10.5）、心血管・呼吸器疾患死亡が2.1%（95%信頼区間-4.2, 8.8）増加したと報告した。しかし、黄砂日の日付の記載はあるものの黄砂の定義は記述されていない。また共存大気汚染物質の調整に関する記載はない。Hwangら（18）の報告では、ソウルにおいて2002年3月21日と4月8日に起きた黄砂の前後14日を黄砂日とし、これらの日は対照日に比べて全死亡が2.5%（95%信頼区間-5.0, 10.6）増加し、呼吸器疾患死亡が36.5%（95%信頼区間0.7, 85.0）、65歳以上の死亡が2.2%（95%信頼区間-7.4, 12.8）増加した。前出の文献同様、黄砂日の日付の記載はあるものの研究に用いた黄砂の定義は明確でない。また、タイムラグによる影響の差は検討されていない。

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検討した疫学研究は13件であった。循環器疾患（心血管疾患、脳血管疾患）について7件（5-7, 10, 15, 16, 23）、呼吸器疾患について8件（5-7, 11-13, 17, 23）、その他、結膜炎（14）、アレルギー性鼻炎（8）が各1件ずつであった。

呼吸器疾患との関連については、台北、中国、カナダにおいて検討されている。台北における研究では、Chengら（11）が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%（95%信頼区間0.2, 9.8）増えることを示した。また、Chanら（7）は慢性閉塞性肺疾患による救急受診が非黄砂日に比べて20%（0.9人（95%信頼区間0.1, 1.7））増加したことを報告した。一方、台北で行われた他の報告では、黄砂日から数日後の間に呼吸器疾患（13）、喘息（17）、慢性閉塞性肺疾患（12）による入院数は増えていたものの、いずれも統計学的に有意な結果ではなかった。Mengら（5）による民勤（中国）での検討では、呼吸器疾患による入院リスクの有意な増加を黄砂発生3日後に認めた（男性：14%（95%信頼区間1, 29）、女性：18%（95%信頼区間0, 41））。4日後の上気道感染および6日後の肺炎による入院増加は男性にのみ認められ、それぞれ28%（95%信頼区間4, 59）、17%（95%信頼区間0, 38）であった。ただし、黄砂曝露の定義について記載はなかった。カナダにおける検討では、黄砂イ

表1 黄砂の曝露影響に関する死亡をアウトカムとした疫学研究

著者、出版年	研究期間（年）	地域（国）	健康指標	研究デザイン	曝露の定義	イベント（黄砂・砂嵐）の日数・PM ₁₀ 濃度（日平均）	結果概要 [†]	交絡因子の調整
Chen <i>et al.</i> , 2004 (9)	1995-2000	台北（台湾）	事故死を除く全死亡、呼吸器疾患、循環器疾患による死亡	イベント日と対照日（イベント日の前後7日目）の死亡数比較	郊外でのPM ₁₀ 濃度が急上昇（カットオフ値などの記載なし）	39 イベント日, 78 対照日 イベント日 125.9 µg/m ³ 対照日 57.8 µg/m ³	全死亡5.2%（-3.7, 14.0）増加、1日後の呼吸器疾患8.3%（-15.6, 32.2）増加、2日後の循環器疾患2.7%（-13.0, 18.3）増加*	記載なし
Hwang <i>et al.</i> , 2005 (18)	2002年3-4月	ソウル（韓国）	全死亡、呼吸器死亡、循環器死亡	イベント日と対照日の死亡数比較	2002年3月21日および4月8日の黄砂（定義の記載なし）の前後14日	14 イベント日, 42 対照日 イベント日 295.2 µg/m ³ 対照日 88.7 µg/m ³	全死亡2.5%（-5.0, 10.6）増加、65歳以上2.2%（-7.4, 12.8）増加、呼吸器疾患36.5%（0.7, 85.0）増加、循環器疾患6.1%（-19.7, 9.7）減少	気温、湿度、気圧、PM ₁₀ 、オゾン
Kwon <i>et al.</i> , 2002 (19)	1995-1998	ソウル（韓国）	事故死を除く全死亡、呼吸器疾患、循環器疾患による死亡	時系列解析（Poisson generalized additive model）	記載なし	28 イベント日 イベント日 101.1 µg/m ³ 対照日 73.3 µg/m ³	黄砂日2日後の事故死を除く総死亡（全年齢）が3.4%（-0.5, 7.4）、同総死亡（65歳以上）5.3%（0.3, 10.5）、心血管・呼吸器疾患死亡が2.1%（-4.2, 8.8）増加	気温、湿度、曜日

*文献中の平均、標準偏差、例数をもとに著者らが95%信頼区間を計算。

[†]増加割合の（ ）内は95%信頼区間

表2 黄砂の曝露影響に関する入院および受診をアウトカムとした疫学研究

著者, 出版年	研究期間 (年)	地域 (国)	健康指標	研究デザイン	曝露の定義	イベント (黄砂・砂嵐) の日数・PM ₁₀ 濃度 (日平均)	結果概要 [†]	交絡因子の調整
Meng and Lu, 2007 (5)	1994-2003	甘肅省民勤 (中国)	入院 (呼吸器・循環器疾患)	時系列解析	記載なし	413 イベント日 濃度データなし	入院の増加割合 呼吸器疾患 (3日後): 男 14% (1, 29), 女 18% (0, 41) 上気道感染症 (4日後): 男 28% (4, 59) 肺炎 (6日後): 男 17% (0, 38) 高血圧 (3日後): 男 30% (3, 64)	気温, 気圧, 風速, 湿度, 視程, 曜日, 時間
Bell <i>et al.</i> , 2008 (6)	1995-2002	台北 (台湾)	入院 (虚血性心疾患, 喘息, 肺炎, 脳血管疾患)	時系列解析	都心部での日平均PM ₁₀ 濃度が115 µg/m ³ 以上または郊外で100 µg/m ³ 以上	PM ₁₀ >115 µg/m ³ (台北中心部): 全調査日の2.1%, PM ₁₀ >100 µg/m ³ (台北郊外): 全調査日の1.6%	入院 (虚血性心疾患) はPM ₁₀ >115 µg/m ³ (台北中心部) の日で16.2% (1.2, 33.4) 増加, PM ₁₀ >100 µg/m ³ (台北郊外) の日で20.8% (3.8, 40.6) 増加 (2日後)。他疾患については有意差なし (p>0.05)。	apparent temperature, 曜日, 時間
Chan <i>et al.</i> , 2008 (7)	1995-2002	台北 (台湾)	救急外来受診 (虚血性心疾患, 脳血管疾患, 慢性閉塞性肺疾患)	1) イベント日と対照日の救急外来受診者数の比較 2) イベント日の平均患者数と、対照日のデータから推定した患者数との比較 (t検定)	黄砂の地上観察, forward satellite tracking, 後方流跡線解析, PM濃度 (郊外2箇所の観測所でPM ₁₀ (1時間値) 100 µg/m ³ 以上かつ台北都市圏16箇所の観測所からランダムに選んだ3箇所でPM ₁₀ (1時間値) 100 µg/m ³ 以上)	85 イベント日 High dust (PM ₁₀ >90 µg/m ³ , n=39) 112.7 µg/m ³ Low dust (PM ₁₀ <90 µg/m ³ , n=46) 61.1 µg/m ³	1) High dust event 時は対照日に比べて患者数が有意に多かった (循環器疾患 26% (1.5人), 虚血性心疾患 35% (0.7人), 脳血管疾患 20% (0.7人), 慢性閉塞性肺疾患 20% (0.9人))。 2) イベント日の平均患者数 (循環器疾患) 7.2 ± 2.9 例は、対照日の患者数をもとにボワソン回帰モデルで推定した患者数 4.3 ± 1.1 例より有意に多かった。 (p<0.05)	ボワソン回帰モデルに投入した変数 (年, PM _{2.5} , PM ₁₀ , 気温, 日気温差, NO ₂)
Chang <i>et al.</i> , 2006 (8)	1997-2001	台北 (台湾)	外来受診 (アレルギー性鼻炎)	イベント日と対照日の外来受診患者数の比較	郊外でのPM ₁₀ 濃度 (1時間値) 125 µg/m ³ 以上が3時間以上継続	49 イベント日 イベント日: 110.4 µg/m ³ 非イベント日: 61.7 µg/m ³	外来受診 (アレルギー性鼻炎) の増加割合 当日: 9% (-11, 843) 1日後: 11% (-8, 868) 2日後: 19% (-2, 1039) 3日後: 8% (-11, 817)	気温, 湿度, PM ₁₀ , オゾン
Chen and Yang, 2005 (10)	1996-2001	台北 (台湾)	入院 (循環器疾患)	イベント日と対照日の入院患者数の比較	郊外でのPM ₁₀ 濃度 (1時間値) 125 µg/m ³ 以上が3時間以上継続	54 イベント日 イベント日: 111.7 µg/m ³ 対照日: 55.4 µg/m ³	入院 (循環器疾患) の増加割合* 当日: 3.0% (-7.2, 13.1) 1日後: 3.7% (-6.5, 13.8) 2日後: 1.7% (-9.3, 12.6) 3日後: -0.6% (-12.4, 11.2)	気温, 湿度, PM ₁₀ , オゾン
Cheng <i>et al.</i> , 2008 (11)	1996-2001	台北 (台湾)	入院 (肺炎)	イベント日と対照日 (前後7日目) の入院患者数の比較	郊外でのPM ₁₀ 濃度 (1時間値) 125 µg/m ³ 以上が3時間以上継続	54 イベント日 イベント日: 111.7 µg/m ³ 対照日: 55.4 µg/m ³	入院 (肺炎) の増加割合 当日: 3.2% (-2.0, 8.6) 1日後: 4.9% (0.2, 9.8) 2日後: 4.4% (-0.1, 9.2) 3日後: 3.7% (-0.7, 8.4)	気温, 湿度, PM ₁₀ , オゾン

表 2 (つづき)

著者、 出版年	研究期間 (年)	地域 (国)	健康指標	研究デザイン	曝露の定義	イベント (黄砂・砂嵐) の 日数・PM ₁₀ 濃度 (日平均)	結果概要†	交絡因子の調整
Chiu <i>et al.</i> , 2008 (12)	1996-2001	台北 (台湾)	入院 (慢性閉塞性肺 疾患)	イベント日と対照日 (前後 7 日目) の入院 患者数の比較	郊外での PM ₁₀ 濃度 (1 時間値) 125 µg/m ³ 以 上が 3 時間以上継続	54 イベント日 111.7 µg/m ³ 対照日 55.4 µg/m ³	入院 (慢性閉塞性肺疾患) の増加 割合 当日 : -2.3% (-11.2, 6.3) 1 日後 : 0.2% (-7.2, 8.1) 2 日後 : 0.2% (-3.8, 12.1) 3 日後 : 5.7% (-1.8, 13.8)	気温, 湿度, PM ₁₀ , オゾン
Lai and Cheng, 2008 (13)	2000-2004	台北 (台湾)	入院 (呼吸器疾患)	イベント日と対照日 (前後 7 日目) の入院 患者数の比較	郊外での PM 濃度が通 常より 50-100 µg/m ³ 増加	97 イベント日 PM ₁₀ 19.8-33.9 µg/m ³ (1 日後)	年齢別増加割合 (0-4 日後) 0-4 歳 : -4%-2% 5-14 歳 : -3%-1% 15-64 歳 : -25%-2% 65 歳以上 : 3%-34% いずれも統計学的有意差なし (p>0.05)	記載なし
Yang, 2006 (14)	1997-2001	台北 (台湾)	外来受診 (結膜炎)	イベント日と対照日 の外来受診患者数の 比較	郊外での PM ₁₀ 濃度 (1 時間値) 125 µg/m ³ 以上が 3 時間以上継続	49 イベント日 110.4 µg/m ³ 非イベント日 : 61.7 µg/m ³	外来受診 (結膜炎) の増加割合 当日 : 2% (-12, 699) 1 日後 : -1% (-14, 646) 2 日後 : -5% (-17, 593) 3 日後 : -3% (-15, 611) 4 日後 : 11% (-3, 841)	気温, 湿度, PM ₁₀ , オゾン
Yang <i>et al.</i> , 2005 (15)	1996-2001	台北 (台湾)	入院 (脳卒中)	イベント日と対照日 の入院患者数の比較	郊外での PM ₁₀ 濃度 (1 時間値) 125 µg/m ³ 以上が 3 時間以上継続	54 イベント日 111.7 µg/m ³ 対照日 55.4 µg/m ³	3 日後脳内出血の増加割合 : 15%, (95%CI: 1, 910) くも膜下出血, 脳 梗塞では有意な結果はみられなかつ た。	気温, 湿度, PM ₁₀ , オゾン
Yang <i>et al.</i> , 2009 (16)	1996-2001	台北 (台湾)	入院 (うっ血性心不 全)	イベント日と対照日 (前後 7 日目) の入院 患者数の比較	郊外での PM ₁₀ 濃度 (1 時間値) 125 µg/m ³ 以上が 3 時間以上継続	54 イベント日 111.7 µg/m ³ 対照日 55.4 µg/m ³	入院 (うっ血性心不全) の増加割合 当日 : -8.5% (-19.5, 4.1) 1 日後 : 11.4% (-0.7, 25.0) 2 日後 : -1.7% (-12.7, 10.6) 3 日後 : -2.6% (-13.0, 9.0)	気温, 湿度, PM ₁₀ , オゾン
Yang <i>et al.</i> , 2005 (17)	1996-2001	台北 (台湾)	入院 (喘息)	イベント日と対照日 の入院患者数の比較	PM ₁₀ 濃度 (1 時間値) 125 µg/m ³ 以上が 3 時間 以上継続	54 イベント日 111.7 µg/m ³ 対照日 55.4 µg/m ³	入院 (喘息) の増加割合 当日 : -8% (-19, 541) 1 日後 : 0% (-10, 648) 2 日後 : 8% (-3, 776) 3 日後 : 8% (-3, 776)	気温, 湿度, PM ₁₀ , オゾン
Bennett <i>et al.</i> , 2006 (23)	1997-1999	バンクーバー (カナダ)	入院 (循環器・呼吸器 疾患)	1998 年のイベント期 間と 1997 年の同じ時 期との入院率の比較 (χ^2 検定)	1998 年 3 月に発生した ゴビ砂漠での過去最大 の砂塵イベント	ピーク時 (1 時間値) : 119-123 µg/m ³	循環器・呼吸器疾患による入院の増 加は認められなかった (相対危険度 等の数値情報なし)。イベントの 2 週 間後まで影響を認めなかった。	記載なし

*文献中の平均, 標準偏差, 例数をもとに著者らが 95%信頼区間を計算。

†増加割合の () 内は 95%信頼区間

表3 黄砂の曝露影響に関する症状および機能をアウトカムとした疫学研究

著者, 出版年	研究期間 (年)	地域 (国)	健康指標	研究デザイン	曝露の定義	イベント (黄砂・砂嵐) の日数・PM ₁₀ 濃度	結果概要	交絡因子の調整
Park <i>et al.</i> , 2005 (20)	2002年 3-6月	インチョン (韓国)	呼吸器症状 (咳, 喘鳴等)	時系列解析	記載なし	14 イベント日 イベント日: 188.5 µg/m ³ 対照日: 60.0 µg/m ³	PM ₁₀ と夜間喘息症状, PEF には有意な関連が見られたが, 黄砂日と非黄砂日との比較はない。	トレンド
Yoo <i>et al.</i> , 2008 (21)	2004年 3-5月	ソウル (韓国)	軽度喘息を持つ小児の呼吸器症状とピークフロー (PEF) 値	黄砂日, 黄砂日後の数日間, 非黄砂日で肺機能・症状を比較。 (Kruskal-Wallis non-parametric test)	韓国気象庁の定義 (詳細な記載なし)	5 イベント日	黄砂日には非黄砂日に比較して, 呼吸器症状の頻度が多く, PEF 変動が大きく, 朝夕の PEF 値が低かった。	記載なし
小沢ら, 2008 (22)	2006年, 2007年	福岡 (日本)	春季カタルの増悪症状 (スコア)	春季カタル増悪日と黄砂観測日との関連 (検定なし)	気象庁の定義	27 イベント日 (2006年: 12日, 2007年: 15日) 濃度データなし	黄砂観測期間中に春季カタル症状が増悪したのは 3/7 例 (2006年), 6/17 例 (2007年)。全症例が黄砂観測日あるいはその後2日以内に増悪。	記載なし

ベント後には呼吸器疾患による入院や受診患者数の増加はみられなかった (23)。

循環器疾患との関連では, 台北での検討では, 黄砂日と非黄砂日との比較で心血管疾患による入院・受診の有意な増加はみられなかった (7, 10, 16)。しかし, Chan ら (7) の報告では, 24 時間平均 PM₁₀ 濃度が 90 µg/m³ を超える黄砂日は, 非黄砂日に比較して, 脳血管疾患による救急受診が 20% (0.7 人 (95%信頼区間 0.1, 1.3)) 増加した。また 24 時間平均 PM₁₀ 濃度が 90 µg/m³ 以上の黄砂日における虚血性心疾患, 脳血管疾患, 慢性閉塞性肺疾患による総受診者数 (7.2±2.9 人) は対照日の患者数から推定した受診者数 (4.3±1.1 人) と比較して有意に上昇していた。また, 民勤 (中国) における検討では, 黄砂イベント 3 日後に高血圧による入院リスクが男性で 30% (95%信頼区間 3, 64) 増加した (5)。カナダにおける検討では, 統計学的に循環器疾患による入院患者数の有意な増加は認められなかった (23)。Yang ら (15) は, 脳血管疾患を層別化したところ, 脳出血による入院が黄砂イベント 3 日後に統計学的に有意な増加を認めた (15%, 95%信頼区間 1, 10)。一方, Bell ら (6) の検討では, 脳血管疾患との明らかな関連を認めなかった。黄砂日と対照日でアレルギー性鼻炎による受診者数を比較した台北での研究 (8) では, 黄砂日の 2 日後に 19% の増加がみられたものの統計学的には有意ではなかった。結膜炎についても検討されているが, 明かな関連は認められなかった (14)。

黄砂による症状・機能の変化を検討した研究は 3 件で, 研究地域はソウル (韓国) (21), インチョン (韓国) (20), 福岡 (22) であった。Yoo ら (21) は, 気管支喘息の小児を対象とした検討で, 黄砂日は非黄砂日に比べて呼吸器症状の頻度が増加し, 最大呼気流量 (PEF) の低下やその変動の増加が認められたと報告した。一方, Park ら (20) は, 気管支喘息と診断された患者について, 黄砂飛来時期の大気汚染物質濃度と症状の増悪や PEF について検討している。一般化推定方程式 (GEE) を用いた解析では, PM₁₀ 濃度の増加は PEF 変動や夜間の症状増悪に関連しており, 黄砂イベントが呼吸器症状に影響を与えている可能性を示唆した。小沢ら (22) は重症のアレルギー性結膜炎である春季カタル患者 20 人を対象として臨床症状の増悪日と黄砂観測日の関連を検討し, 増悪症例の 40% が黄砂観測時期にみられたことを報告した。しかしいずれの研究も交絡因子となり得る共存大気汚染物質や気象因子の調整がなされていなかった。また統計学的検定がなされていない (22), 黄砂曝露の定義の記載がない (20) などエビデンスのレベルは十分とは言えなかった。

考 察

黄砂曝露の健康影響に関する疫学研究は主に台湾, 韓国など近隣諸国の都市における報告が多く, 黄砂日と対

照日の死亡者・患者数を比較するデザインや時系列解析など短期影響の報告が目立った。いくつかの文献においては黄砂の飛来日もしくは数日後に呼吸器疾患および循環器疾患による死亡または受診・入院の増加との関連があったが、統計学的有意差のみられない文献も多数あった。わが国においては1件の疫学文献が報告されていたが、交絡因子の調整がなくエビデンスのレベルは十分とは言えない。いずれの研究も黄砂曝露指標や調整すべき交絡因子が統一されておらず、地域間比較は困難であった。

多くの研究で、黄砂の曝露指標としてPM₁₀が用いられていた。しかし、PM₁₀は黄砂由来の粒子だけでなく、当該地域の大気汚染物質由来の粒子も含んでおり、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おらず、今後の課題である。一方、多くの文献で曝露（黄砂日）の定義が明確に述べられておらず(5, 9, 13, 19-22)、黄砂曝露の妥当性について十分に評価することが困難であった。黄砂による健康影響の量-反応関係を検討するために、単に黄砂日と非黄砂日との比較だけでなく、黄砂の濃度を考慮した曝露評価を行うことも検討されるべきである。我が国の黄砂飛来の判定は視程距離を基準としているが、今後わが国において黄砂の疫学研究を実施する際は、曝露評価指標の十分な検討が必要である。特に黄砂と対象都市における大気汚染物質由来の粒子とは、その健康影響が異なる可能性があり、その区別が重要であろう。環境省や国立環境研究所が設置するライダー（レーザーライダー）は非球形の黄砂エアロゾルと球形の大気汚染エアロゾルを分離して高度分布を測定することができ(26)、黄砂の曝露指標として有用な可能性があり検討すべきと考ええる。疫学研究への応用にあたり特に留意すべき点は、1) ライダーは地上120-150 m以上の上空における黄砂の分布を捉えることに優れているが、疫学研究における曝露指標として適切と考えられるのは、ヒトが吸入する地上付近の黄砂濃度である。ライダーで測定された上空の黄砂分布から地上付近の黄砂曝露を推定することが可能かどうかの検討が必要であろう。2) ライダーで測定されるのは黄砂の重量濃度ではなく、上空に向けて射出したレーザー光がエアロゾルで散乱された光の単位距離あたりの減衰量（消散係数）である。消散係数と粒子の重量濃度や粒径との関係について検討する必要がある。ライダーの詳細については、国立環境研究所ライダーホームページが有用である（<http://www-lidar.nies.go.jp>）。

多くの文献で交絡因子やバイアスの影響が十分に考慮されているとは言えず、これらの研究では十分なエビデンスが提示されているとはいいがたい。一般に大気汚染の時系列解析やケースクロスオーバー解析における交絡因子として重要なものは、①気温や湿度などの気象因子、②共存大気汚染物質（NO_x, O₃, SO_x等）③季節変動やトレンド、曜日などである(27, 28)。時間依存的に変化する上記因子は交絡因子となりえるのに対し、短期間で

時間とともに変化しない属性、例えば性、年齢、喫煙習慣などはこれらの解析で曝露の短期影響を見る場合、交絡因子として考慮する必要がない。多くの文献で用いられていた黄砂日と対照日の死亡および患者数を比較するデザインでは、上記①②の調整に関して十分記述されておらず、よってこれらの因子が適切に調整されているかの判断は困難であった。③については、曝露も交絡因子も短期間で系統的に変化していないと仮定すれば、対照日を1週間前と後の同じ曜日にとることで調整がなされていると考えられるが、十分なエビデンスを得るためには、時系列解析やケースクロスオーバー解析においてこれら交絡因子を適切に調整する必要がある。また、疫学研究におけるバイアスの原因として測定誤差（measurement error）を常に考慮する必要がある。大気汚染の疫学研究においては測定誤差の影響について理論的な検討がなされてきた(29)。測定誤差のうち最も大きな問題と考えられるのが曝露に関わる測定誤差である。なかでも、曝露指標として特定の観測所で測定された大気汚染物質濃度を集団代表値として用いる場合、個人レベルの曝露との誤差が問題と考えられる。黄砂の疫学研究においてもこの問題が生ずるため、結果の解釈に注意を要することは他の大気汚染疫学研究と同様である。また、有意な差が見られなかった文献が多かったが、一般に通常の大気汚染疫学研究に比べて黄砂イベントが年間を通じて限られた時期にしか観測されないため、十分なサンプルサイズを得るためのより慎重な検討が必要と考えられる。

近隣諸国における疫学研究の結果がわが国においても当てはまるとは限らない。日本に到達する黄砂の粒径分布は直径4 μm付近にピークがあるが、北京では粒径分布は直径4.7-7.0 μm付近にピークがあることがわかっている(2)。一般に粒子径が小さいほど気道下部に到達しやすいとされ、直径3 μm以下の粒子は下気道まで達し、直径1 μm以下では肺胞に到達するとされる(30)。黄砂の粒径分布の違いによって健康影響が異なる可能性は否定できない。また、日本上空で採取した黄砂は黄砂発生源近くで採取した黄砂に比べ、土壌起源でないと考えられる硫酸イオン、硝酸イオン、アンモニウムイオンなどが検出され、中国大陸沿岸部の産業地帯上空を通過する過程でこれら化学物質が黄砂粒子に付着する可能性が指摘されている(31)。黄砂粒子の化学的組成の違いによる健康影響についても検討が必要であろう。さらには、共存大気汚染物質濃度や気象因子、社会経済状態、空調使用率等の違いによる効果修飾もあり得る。

ま と め

中国、台湾、韓国など近隣諸国の都市における研究報告では黄砂曝露の短期影響として、呼吸器疾患および循環器疾患による死亡や受診・入院患者数増加が報告されているが、統計学的に有意な差が見られない文献も多数

あった。通常の大気汚染疫学研究と比較してサンプルサイズの検討をより慎重に行う必要があるかもしれない。また、曝露評価や交絡因子の調整が明確に記述されていない文献が多く、十分なエビデンスがあるとはいえない。さらに、黄砂曝露の長期影響について検討した文献はなかったが、今後検討すべき課題と言える。わが国においてもこれらの点を十分考慮した疫学研究が実施されることが望まれる。

謝 辞

この文献調査は環境省による平成20年度「黄砂等大気汚染物質の健康影響に関する基礎調査」で行われたものの一部である。本論文については筆者らの見解を述べたものであり、環境省の見解を表したものではない。

文 献

- (1) 黄砂問題検討会. 黄砂問題検討会報告書. 2005.
- (2) Mori I, Nishikawa M, Tanimura T, Quan H. Change in size distribution and chemical composition of kosa (Asian dust) aerosol during long-range transport. *Atmos Environ*. 2003; 37:4253-4263.
- (3) Ho H-M, Rao CY, Hsu H-H, Chiu Y-H, Liu C-M, Chao HJ. Characteristics and determinants of ambient fungal spores in Hualien, Taiwan. *Atmos Environ*. 2005;39:5839-5850.
- (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*. 2008;55:348-357.
- (5) 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.
- (6) Bell ML, Levy JK, Lin Z. The effect of sandstorms and air pollution on cause-specific hospital admissions in Taipei, Taiwan. *Occup Environ Med*. 2008;65:104-111.
- (7) Chan CC, Chuang KJ, Chen WJ, Chang WT, Lee CT, Peng CM. Increasing cardiopulmonary emergency visits by long-range transported Asian dust storms in Taiwan. *Environ Res*. 2008;106:393-400.
- (8) Chang CC, Lee IM, Tsai SS, Yang CY. Correlation of Asian dust storm events with daily clinic visits for allergic rhinitis in Taipei, Taiwan. *J Toxicol Environ Health A*. 2006;69:229-235.
- (9) Chen YS, Sheen PC, Chen ER, Liu YK, Wu TN, Yang CY. Effects of Asian dust storm events on daily mortality in Taipei, Taiwan. *Environ Res*. 2004;95:151-155.
- (10) Chen YS, Yang CY. Effects of Asian dust storm events on daily hospital admissions for cardiovascular disease in Taipei, Taiwan. *J Toxicol Environ Health A*. 2005;68:1457-1464.
- (11) Cheng MF, Ho SC, Chiu HF, Wu TN, Chen PS, Yang CY. Consequences of exposure to Asian dust storm events on daily pneumonia hospital admissions in Taipei, Taiwan. *J Toxicol Environ Health A*. 2008;71:1295-1299.
- (12) Chiu HF, Tiao MM, Ho SC, Kuo HW, Wu TN, Yang CY. Effects of Asian dust storm events on hospital admissions for chronic obstructive pulmonary disease in Taipei, Taiwan. *Inhal Toxicol*. 2008;20:777-781.
- (13) Lai LW, Cheng WL. The impact of air quality on respiratory admissions during Asian dust storm periods. *Int J Environ Health Res*. 2008;18:429-450.
- (14) Yang CY. Effects of Asian dust storm events on daily clinical visits for conjunctivitis in Taipei, Taiwan. *J Toxicol Environ Health A*. 2006;69:1673-1680.
- (15) Yang CY, Chen YS, Chiu HF, Goggins WB. Effects of Asian dust storm events on daily stroke admissions in Taipei, Taiwan. *Environ Res*. 2005;99:79-84.
- (16) Yang CY, Cheng MH, Chen CC. Effects of Asian dust storm events on hospital admissions for congestive heart failure in Taipei, Taiwan. *J Toxicol Environ Health A*. 2009;72:324-328.
- (17) Yang CY, Tsai SS, Chang CC, Ho SC. Effects of Asian dust storm events on daily admissions for asthma in Taipei, Taiwan. *Inhal Toxicol*. 2005;17:817-821.
- (18) Hwang SS, Cho SH, Kwon HJ. Effects of the severe Asian dust events on daily mortality during the spring of 2002, in Seoul, Korea. *J Prev Med Public Health*. 2005;38:197-202.
- (19) Kwon HJ, Cho SH, Chun Y, Lagarde F, Pershagen G. Effects of the Asian dust events on daily mortality in Seoul, Korea. *Environ Res*. 2002;90:1-5.
- (20) Park JW, Lim YH, Kyung SY, An CH, Lee SP, Jeong SH, Ju YS. 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.
- (21) Yoo Y, Choung JT, Yu J, Kim do K, Koh YY. Acute effects of Asian dust events on respiratory symptoms and peak expiratory flow in children with mild asthma. *J Korean Med Sci*. 2008;23:66-71.
- (22) 小沢昌彦, 市頭教克, 内尾英一. 春季カタルの増悪と黄砂の観測時期との関連. *あたらしい眼科* 2008;25:1281-1284.
- (23) Bennett CM, McKendry IG, Kelly S, Denike K, Koch T. Impact of the 1998 Gobi dust event on hospital admissions in the Lower Fraser Valley, British Columbia. *Sci Total Environ*. 2006;366:918-925.
- (24) Husar RB, Tratt DM, Schichtel BA, Falke SR, Li F, Jaffe D, Gassó S, Gill T, Laulainen NS, Lu F, Reheis MC, Chun Y, Westphal D, Holben BN, Gueymard C, McKendry I, Kuring N, Feldman GC, McClain C, Frouin RJ, Merrill J, DuBois D, Vignola F, Murayama T, Nickovic S, Wilson WE, Sassen K, Sugimoto N, Malm WC. Asian dust events of April 1998. *J Geophys Res*. 2001;106:18317-18330.
- (25) Cheng MT, Lin YC, Chio CP, Wang CF, Kuo CY. Characteristics of aerosols collected in central Taiwan during an Asian dust event in spring 2000. *Chemosphere*. 2005;61:1439-1450.
- (26) 杉本伸夫, 清水 厚, 松井一郎, 鵜野伊津志, 荒生公雄, 陳 岩. 連続運転偏光ライダネットワークに

- よる黄砂の動態把握. 地球環境 2002;7:197-207.
- (27) Health Effects Institute. Revised Analyses of Time-Series Studies of Air Pollution and Health. Boston MA: Health Effects Institute, 2003.
- (28) Schwartz J, Spix C, Touloumi G, Bacharova L, Barumamdzadeh T, le Tertre A, Piekarski T, Ponce de Leon A, Ponka A, Rossi G, Saez M, Schouten JP. Methodological issues in studies of air pollution and daily counts of deaths or hospital admissions. J Epidemiol Community Health. 1996;50 Suppl 1:S3-11.
- (29) Zeger SL, Thomas D, Dominici F, Samet JM, Schwartz J, Dockery D, Cohen A. Exposure measurement error in time-series studies of air pollution: concepts and consequences. Environ Health Perspect. 2000;108:419-426.
- (30) U.S. Environmental Protection Agency. U.S. EPA. Air Quality Criteria for Particulate Matter. Washington, D.C., 2004.
- (31) 環境省. 黄砂実態解明調査報告書. 2009.