

大気中微小粒子状物質 (PM_{2.5}) の健康影響と環境基準

島 正之 (兵庫医科大学公衆衛生学)

【はじめに】

空気中には浮遊粉じん、エアロゾルなど、大きさや成分が異なるさまざまな粒子状物質 (particulate matter; PM) が浮遊している。呼吸により人体に取り込まれた粒子の大部分は、鼻腔、咽頭、上気道に沈着、排出されるが、粒径が小さい粒子ほど空気中に比較的長く浮遊し、吸入されると細気管支や肺胞レベルまで到達して肺内に沈着しやすいことが知られている。

わが国では、大気中に浮遊する粒子状物質のうち粒径 10 μm 以下のものを浮遊粒子状物質 (suspended particulate matter; SPM) と定義し、1973 年に環境基準が設定され、工場・事業場等の排出源対策、自動車排出ガス規制など、様々な対策が進められてきた。このうち粒径 2.5 μm 以下の特に微小なものは微小粒子状物質 (PM_{2.5}) と呼ばれ、1990 年代から米国を中心に健康影響に関する研究結果が相次いで報告されるなど、国際的に注目されている。わが国では PM_{2.5} の健康影響に関する知見等を踏まえて、2009 年 9 月に環境基準が定められた。ここでは国内外で行われてきた PM_{2.5} の健康影響に関する主な疫学研究の結果を紹介する。

【PM_{2.5} による健康影響の種類】

PM_{2.5} をはじめとする大気汚染物質による健康影響を解明するために、人口集団を対象とした多くの疫学研究が行われてきた。その方法は、曝露期間の面からは短期曝露と長期曝露に、健康影響の面からは急性影響と慢性影響に大別される。短期曝露研究は、1 日単位などの比較的短期間における大気中汚染物質への曝露とその後の健康指標との関連を時系列的に解析したものである。一方、長期曝露研究は、大気汚染物質への曝露が長期間にわたって継続されることによって人に生じる健康影響を評価するものである。

【欧米諸国における PM_{2.5} の健康影響に関する疫学研究】

1. 短期曝露による影響

PM_{2.5} への短期曝露による健康影響について、PM_{2.5} の 1 日平均濃度の変動と地域内における 1 日単位の死亡、医療機関への救急受診や入院などとの関連が時系列的に評価されている。

PM_{2.5} 濃度が上昇すると、当日または数日以内の死亡が増加するという関連性が多くの都市で見出されており、複数の都市における影響を統合的に解析した結果では、PM_{2.5} の日平均濃度が 10 μg/m³ 上昇するごとに全死亡 (事故や自殺などの外因死を除く) は 0.3~1.2%、心血管系疾患による死亡は 1.2~2.7%、呼吸器系疾患による死亡は 0.8~2.7% 増加することが報告されている。

また、PM_{2.5} への短期的な曝露により、慢性閉塞性肺疾患 (COPD)、呼吸器感染症、虚血性心疾患、うっ血性心不全などによる救急受診や入院の増加が、PM_{2.5} の日平均値が 7.0~18.0 μg/m³ 程度で観察されている。

喘息等の患者を対象とした研究では、PM_{2.5} 濃度の上昇に伴って、咳や喘鳴などの症状の出現、肺機能の低下が認められている。一方、健常者では、PM_{2.5} 濃度と呼吸器症状や肺機能の間に一貫した関連性はみられていない。不整脈の増加、血液生化学指標の変化なども、動脈硬化性の循環器疾患の患者で認められている。

2. 長期曝露による影響

PM_{2.5} への長期曝露は、死亡、呼吸器系、循環器系、生殖・発達などの様々な健康影響との関連が報告されている。

米国東部 6 都市の住民約 8,000 人を 14~16 年間追跡した研究において、性、年齢、喫煙歴、職業等を調整した死亡率は、PM_{2.5} 濃度が最も高い都市では最も低い都市の 1.26 倍であり、都市別の死亡率は各都市の PM_{2.5} 濃

表 1 PM_{2.5} への曝露期間と健康影響の因果関係

曝露期間	健康影響	因果関係
短期曝露	循環器系	明確
	呼吸器系	ほぼ明確
	中枢神経系	不十分
	死亡	明確
長期曝露	循環器系	明確
	呼吸器系	ほぼ明確
	死亡	明確
	生殖・発達 発がん、変異原性、遺伝毒性	示唆

出典 米国環境保護庁 (2009)

度との間に強い関連が認められた。観察期間を8年間延長してもほぼ同様の結果であり、その間のPM_{2.5}濃度の低減により死亡率も改善したことが示されている。

小児における肺機能の成長障害、呼吸器症状の増加、喘息の発症などとの関連も報告されている。妊娠中のPM_{2.5}への曝露が胎児の成長や発育に影響を与える可能性も示唆されている。

米国の環境保護庁は、これまでに報告されたPM_{2.5}の健康影響に関する研究成果についての包括的な評価を行い、現時点での因果関係について表1のとおり判断を示している。

【日本におけるPM_{2.5}の健康影響に関する疫学研究】

わが国における大気環境中のPM_{2.5}の健康影響に関する知見を得るため、1999年から8年間にわたって環境省による「微小粒子状物質曝露影響調査」として、曝露評価、疫学、毒性の3分野での調査研究が行われた。疫学調査で得られた結果の概要を表2に示した。

これらの疫学調査は、諸外国における先行研究の知見を参考に計画が立案され、わが国におけるPM_{2.5}への曝露による健康影響が総合的に評価された。なお、一部の調査では調査対象地域のPM_{2.5}濃度が得られなかったため、大気中の浮遊粒子状物質（SPM）濃度との関連が評価されている。

PM_{2.5}の呼吸器系への影響については、喘息による受診を除いて諸外国とほぼ同様の結果であった。一方、循環器系に対しては短期曝露、長期曝露ともに影響がみられなかった。喘息による受診への影響が諸外国と異なるのは、医療制度の違いのほか、吸入ステロイド薬の普及により喘息発作が少なくなったことも考えられる。循環器系への影響については、日本は欧米諸国に比して循環器系疾患が少ないという疾病構造の違いが関係している可能性がある。

表2 環境省による粒子状物質の健康影響調査の概要

調査項目	評価	主な結果
微小粒子状物質曝露影響調査		
短期曝露		
死亡	総死亡	△ PM _{2.5} 濃度の上昇により死亡リスクがわずかに増加
	呼吸器系	○ 3日前のPM _{2.5} 濃度の上昇により有意に増加
	循環器系	× 当日～5日前のPM _{2.5} 濃度との関連なし
疾病	喘息による受診	× 喘息による急病診療所受診とPM _{2.5} 濃度との関連なし
	呼吸器系	○ PM _{2.5} 濃度の上昇により喘息児のピークフロー値が有意に低下、健常な小学生でもわずかな低下
	循環器系	× SPM濃度と心室性不整脈との関連なし
長期曝露	呼吸器系	△ 保護者の持続性の咳・痰はPM _{2.5} 濃度が高い地域ほど高率だが、小児の呼吸器症状とは関連なし
粒子状物質による長期曝露影響調査		
長期曝露	総死亡	× 大気汚染との関連なし
	肺がん	○ 喫煙等のリスク因子を調整後にSPM濃度と正の関連あり
	呼吸器系	△ 女性では二酸化硫黄、二酸化窒素濃度と有意な関連あり（SPM濃度との関連は有意ではない）
	循環器系	× SPM濃度と負の関連（血圧等の主要リスク因子は未調整）

○：PM_{2.5}またはSPMの影響あり、△：関連が示唆されるが不明確、×：影響なし

【おわりに】

一般環境レベルのPM_{2.5}であっても、喘息患者等の感受性が高い人では短期的影響が生じる可能性がある。また、わが国の環境基準以下のレベルでも長期的影響が観察されており、留意が必要である。今後は、PM_{2.5}の質量濃度だけでなく、成分や粒径と健康影響の関連についても評価することが求められている。