

平成27年度関東地方大気環境対策推進連絡会

浮遊粒子状物質調査会議 講演会

日時：平成27年3月17日(木)

13時15分から16時30分まで

場所：山梨県庁防災新館4階

401～404会議室

次 第

1 開会

挨拶 山梨県森林環境部 参事 深澤 武彦

2 講演

(1) 微小粒子状物質 (PM_{2.5}) の現状と今後の取組について

環境省水・大気環境局 大気環境課 井土 八造 氏

(2) PM_{2.5}の健康影響に関する疫学研究

兵庫医科大学 公衆衛生学教室 島 正之 氏

(3) PM_{2.5}の煙源情報の整備について

一般財団法人日本環境衛生センター 高橋 克行 氏

(4) 関東甲信静におけるPM_{2.5}のキャラクターゼーション

－関東SPM合同調査 平成26年度のまとめ－

山梨県福祉保健部 衛生環境研究所 大橋 泰浩

3 その他

4 閉会

<配布資料>

平成27年度関東地方大気環境対策推進連絡会 浮遊粒子状物質調査会議講演要旨集

平成 27 年度

**関東地方大気環境対策推進連絡会
浮遊粒子状物質調査会議 講演会**

講演要旨集

期日 平成 28 年 3 月 17 日（木）

場所 山梨県庁防災新館 4 階 401～404 会議室

共催 大気環境学会関東支部浮遊粒子状物質部会

資料目次

- (1) 微小粒子状物質 (PM_{2.5}) の現状と今後の取組について・・・ 1
- (2) PM_{2.5}の健康影響に関する疫学研究・・・・・・・・・・・・ 7
- (3) PM_{2.5}の煙源情報の整備について・・・・・・・・・・・・ 15
- (4) 関東甲信静におけるPM_{2.5}のキャラクターゼーション
 - －関東SPM合同調査 平成26 年度のまとめ－・・・ 18

微小粒子状物質 (PM_{2.5}) の 現状と今後の取組について

平成28年1月
環境省水・大気環境局大気環境課

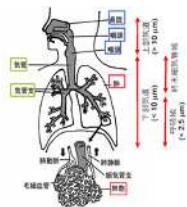
1

PM_{2.5} (PM: Particulate Matter) とは

・大気中に浮遊する粒子状物質のうち、粒径2.5μm以下の特に小さな粒子をPM_{2.5} (微小粒子状物質) という。
・肺の奥深くまで入りやすく、呼吸系への影響のほか、肺がんリスクの上昇や循環器系への影響が懸念されている。
・燃焼等に伴う人為発生源の寄与率が高い。



PMの大きさ(人髪や海岸粗砂との比較)(概念図)
(出典: EPA資料)



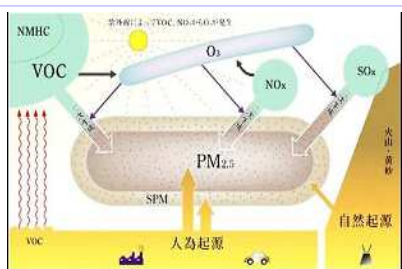
人の呼吸器と粒子の沈着領域(概念図)
(出典: 国立環境研究所資料)

環境基準: 1日平均値が35 μg/m³以下、かつ、
1年平均値が15 μg/m³以下 (平成21年9月制定)

2

粒子状物質の発生源

PM_{2.5}は、原因物質と発生源が多岐にわたり、生成機構も複雑である。



【一次生成】
人為発生源、自然発生源から直接粒子として排出されるもの

【二次生成】
ガス状大気汚染物質が化学反応により蒸気圧の低い物質に変化して粒子化したもの

出典: 国立環境研究所「環境図」

- 固定発生源: ボイラーや焼却炉などばい煙を発生する施設、
鉱物の堆積場など粉じんを発生する施設等
- 移動発生源: 自動車、船舶、航空機等
- 自然発生源: 土壌、海洋、火山等があり、それぞれ土壌粒子、海塩粒子、火山噴煙等を発生

3

PM_{2.5}の環境基準

■ PM_{2.5}に対する環境基準の設定 (平成21年9月9日)

環境省告示

「微小粒子状物質による大気汚染に係る環境基準について」

○ 環境基準

1年平均値: 15 μg/m³ 以下、かつ
1日平均値: 35 μg/m³ 以下

- 暴露濃度分布全体を平均的に低減する意味での「1年平均値」及び
曝露濃度分布のうち高濃度の出現を減少させる意味での「1日平均値」
- 1日平均値の評価は年間の98%値で行う。
- 両方の基準を満足した局を環境基準が達成されたと判断する。
(「事務処理基準」)

○ 測定方法

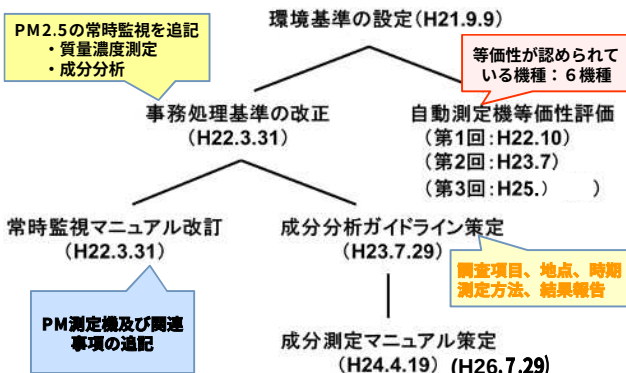
濾過捕集による質量濃度測定方法又はこの方法によって
測定された質量濃度と等価な値が得られると認められる
自動測定機による方法

4

PM_{2.5}の環境基準 (他の国々の基準値)

	年平均値	日平均値	備考
米国	12 μg/m ³	35 μg/m ³	
EU	25 μg/m ³	-	
中国	35 μg/m ³	75 μg/m ³	2016年1月1日から適用 (一部地域で先行実施)
韓国	25 μg/m ³	50 μg/m ³	2015年1月1日から適用
WHO	10 μg/m ³	25 μg/m ³	指針値
日本	15 μg/m ³	35 μg/m ³	

PM_{2.5}対策の現状 (モニタリング関連施策の全体像)



PM2.5の成分測定実施地点数の状況

	H23年度末	H24年度末	H25年度末	H26年度末 [集計中]
北海道・東北ブロック	1 (1)	4 (1)	13 (1)	18 (2)
関東ブロック	17	22 (1)	33 (1)	47 (2)
北陸・中部ブロック	11	15	38 (1)	38 (2)
近畿ブロック	12 (1)	21 (1)	28 (1)	35 (1)
中国・四国ブロック	9	13	19 (1)	22 (1)
九州ブロック	8 (2)	12 (5)	21 (6)	34 (6)
合 計	58 (4)	87 (8)	152 (11)	194 (14)

()は国が実施している地点数

PM2.5の成分分析については、成分測定マニュアルに基づき、各自治体による実施に加えて、離島などのバックグラウンドを国が実施。

7

国内におけるPM_{2.5}濃度の推移

年平均濃度は減少傾向にあったが、近年は横ばいで推移。

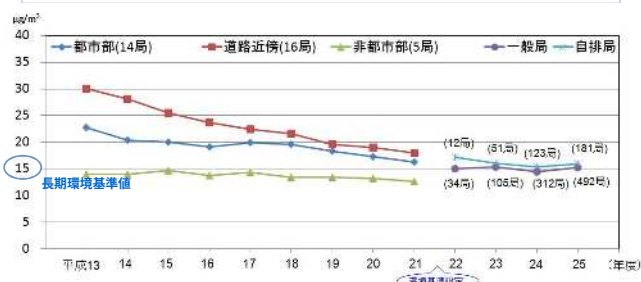
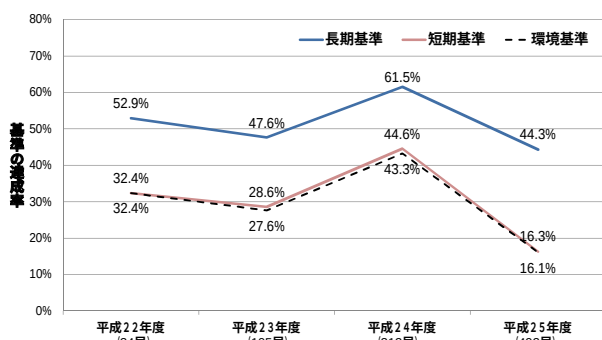


図 我が国におけるPM2.5濃度の年平均値の推移

※ 平成13～21年度までは、微小粒子状物質等暴露影響実測調査(環境省)による試行的な測定結果。平成22年度以降、標準的な測定法により、大気汚染防止法に基づく都道府県等による常時監視を開始。

8

一般局における環境基準達成状況の推移



※ 〇 内は、有効測定局数
[長期基準の達成判断] 年平均値が15 µg/m³以下
[短期基準の達成判断] 日平均値の年間98パーセンタイル値が35 µg/m³以下

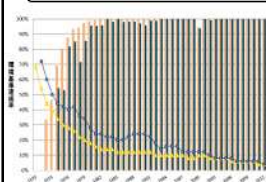
9

日本国内のPM2.5の環境基準達成率と年平均濃度

PM2.5の環境基準達成率

	一般局 (一般大気測定局)		自排局 (自動車排出ガス測定局)	
	達成率 (%)	年平均濃度 (µg/m³)	達成率 (%)	年平均濃度 (µg/m³)
平成23年度	27.6	15.4	29.4	16.1
平成24年度	43.3	14.5	33.3	15.4
平成25年度	16.1	15.3	13.3	16.0

二酸化硫黄 (SO₂) の環境基準達成率



二酸化窒素 (NO₂) の環境基準達成率



PM2.5の成分分析の結果

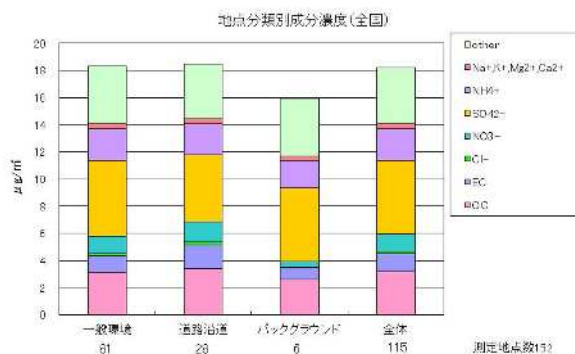


図 各地点分類におけるPM2.5の成分分析調査結果(平成25年度)

11

PM2.5に関する総合的な取組(政策パッケージ)の概要 (平成25年12月公表)

取りまとめの背景

- ✓ PM2.5対策は大気環境行政における残された大きな課題
- ✓ 平成25年1月以降の中国におけるPM2.5による深刻な大気汚染、国内における濃度上昇

→ PM2.5による大気汚染への包括的な対応が必要

政策パッケージの目標

1. 国民の安全・安心の確保
2. 環境基準の達成
3. アジア地域における清浄な大気の共有

目標達成のための取組

- 適確な注意喚起の実施等
 - ・的確な注意喚起の実施やミレージ・モデルの構築等に取り組みます。
- 中国在留邦人対応の強化
 - ・邦人への情報提供の強化、現地への医師の派遣に取り組みます。
- PM2.5の現象解明と削減対策の検討
 - ・中央環境審議会に専門委員会を設置し、現象解明と削減対策について総合的に検討を進めます。
- アジア地域における地域的取組の推進
 - ・日中韓の政策対話など協力を進めます。
 - 二国間連携の強化
 - ・日中都市間連携事業を実施します。
 - ・韓国ともPM2.5のデータ共有を進めます。

上記取組の基盤となる事業

- 発生源情報の整備
- 二次生成機構の解明
- モデルの構築
- 大気環境モニタリングの充実
- 健康影響に関する知見の集積

12

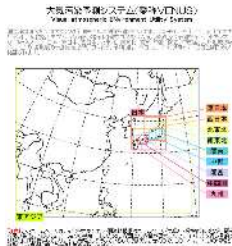
予報・予測精度の改善

現在のモデルで確認できること

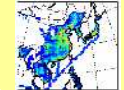
- ① 今日ではアジア大陸からの大気汚染の影響が強くなりそうか。
- ② PM2.5濃度が、これから高くなる傾向にあるのか、低くなる傾向にあるのか。

現在のモデルでは難しいこと

- ① 今日では具体的に何 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ までPM2.5濃度が上昇するのか。
- ② 地域の中で、どのPM2.5濃度が高く、どの濃度が低いのか。何時に濃度が高くなるのか。



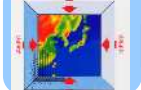
発生源情報の整備



二次生成機構の解明



シミュレーションモデルの構築



- ◆ 注意喚起の精度向上
- ◆ PM2.5対策への反映

13

注意喚起のための暫定的な指針の策定と見直し

暫定的な指針となる値	行動のめやす	注意喚起の判断に用いる値	
		午前中の早い時間帯での判断	午後からの活動に備えた判断
日平均値 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		5~7時	5~12時
		1時間値 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1時間値 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
70超	不要不急の外出や屋外での長時間の激しい運動をできるだけ減らす。 (高感受性者においては、体調に応じて、より慎重に行動することが望まれる。)	85超	80超
		(区域内で2番目に大きい数値)	(区域内の最高値)

※ 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下の場合、特に行動を制約する必要はないが、高感受性者では健康への影響がみられる可能性があるため、体調の変化に注意する。

微小粒子状物質に関する専門家会合における検討の経緯

○平成25年2月 「注意喚起のための暫定的な指針」 策定

・注意喚起のための暫定的な指針となる値として、日平均値70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を提案

・日平均値との関係から、午前5~7時の1時間値の平均値が85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた場合に注意喚起を実施 (同一区域内の中央値)

○平成25年11月 午後からの注意喚起の判断基準 を追加

・見直しを減らすため、午前5~12時の1時間値の平均値が90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた場合に注意喚起を追加 (同一区域内の最大値)

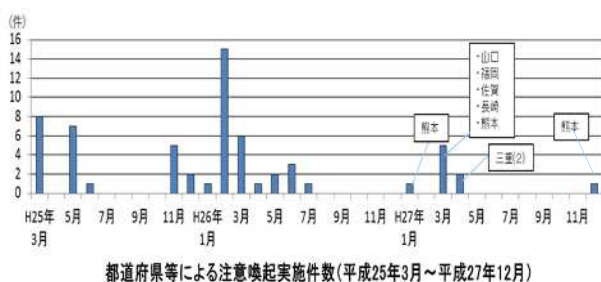
○平成26年11月 注意喚起解除の判断基準等を追加

・区域内の全測定局において、1時間値が連続して50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下に改善した場合、濃度推移傾向も考慮しつつ、解除を判断

・午前中の早い時間帯での判断に用いる値を「同一区域内の中央値」から「同一区域内の2番目に大きい数値」に変更

14

暫定指針等に基づく注意喚起の実施状況



都道府県等による注意喚起実施件数(平成25年3月~平成27年12月)

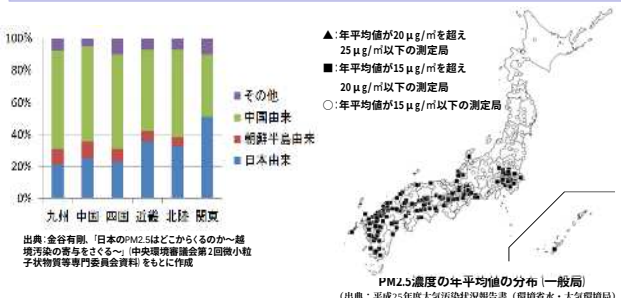
注) 都道府県等においては、独自の判断方法を定めて注意喚起を実施している場合があり、それらを含めて集計している。

15

国内及び国外の寄与割合(推計例)

年平均濃度への国内の寄与割合は、東側に行くほど大きく、九州地方では約2割、関東地方では約5割と推計されている。

国外の寄与割合は、西日本で大きく、九州地方では約7割(中国約6割、朝鮮半島約1割)、関東地方では約4割(中国約4割)と推計されている。



出典: 金谷有那「日本のPM2.5はどこからくるのか〜越境汚染の寄与をさぐる〜」(中央環境審議会第2回微小粒子状物質等専門委員会資料)をもとに作成

PM2.5濃度の年平均値の分布(一般局)
(出典: 平成25年度大気汚染状況調査(環境省・大気環境局))

16

微小粒子状物質の国内における排出抑制策の在り方

中央環境審議会大気汚染抑制部会 微小粒子状物質等専門委員会中間取りまとめ(平成27年3月)

越境汚染の影響は西日本などで大きい、国内発生源も一定の寄与割合を占めており、その影響が示唆されることから、国内における排出抑制策を着実に進めることが必要。PM2.5の生成機構や個々の発生源の寄与割合について科学的に解明すべき課題も残されていること等を踏まえ、短期的課題と中長期的課題を整理し、段階的に対策を検討していくことが適当。

〔短期的課題〕

現時点の知見に基づき、既存の大気汚染防止施策をPM2.5対策の観点を加味して更に推進する。

・ばいじんや窒素酸化物(NO_x)の排出規制の強化の検討

・燃料蒸発ガス対策の導入の検討 等

併せて、自動車排出ガス対策等を着実に実施する。

〔中長期的課題〕

総合的な対策に取り組む上での基礎となる現象解明、情報整備等に取り組む、その進捗状況に応じて追加的な対策を検討する。

・PM2.5や光化学オキシダントの生成能の高い揮発性有機化合物(VOC)の解明と対策の検討

・発生源情報の整備、シミュレーションの高度化等による寄与割合の高い発生源の推定 等

17

微小粒子状物質の国内における排出抑制策の在り方について

今後の検討課題

➢ 科学的知見の充実

モニタリング体制の整備、排出インベントリの整備・更新、シミュレーションモデルの精緻化、二次生成粒子の生成機構の解明、凝縮性ダストの測定方法の開発・越境汚染の解明等に取り組む必要がある。

東アジア地域において、大気環境モニタリングデータや発生源情報等を集積・共有していくことが重要である。

➢ 総合的・効果的な排出抑制策の検討

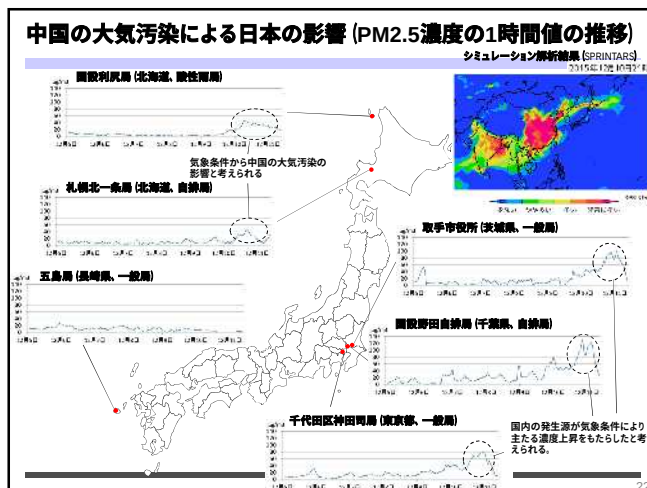
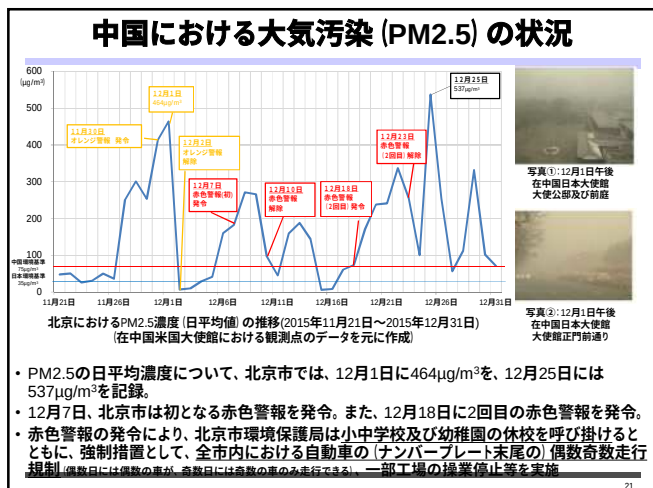
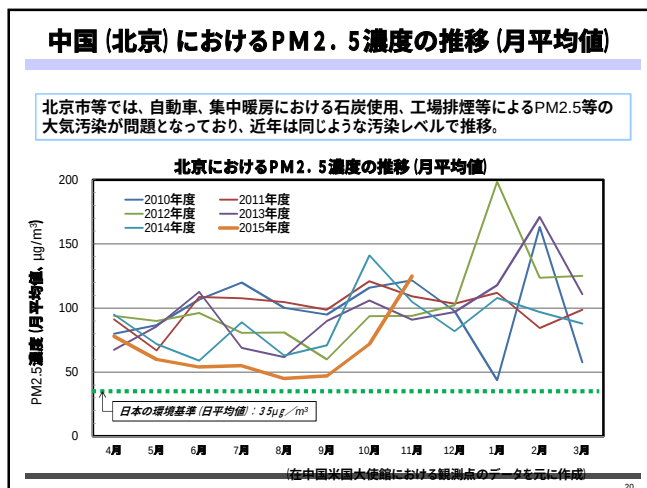
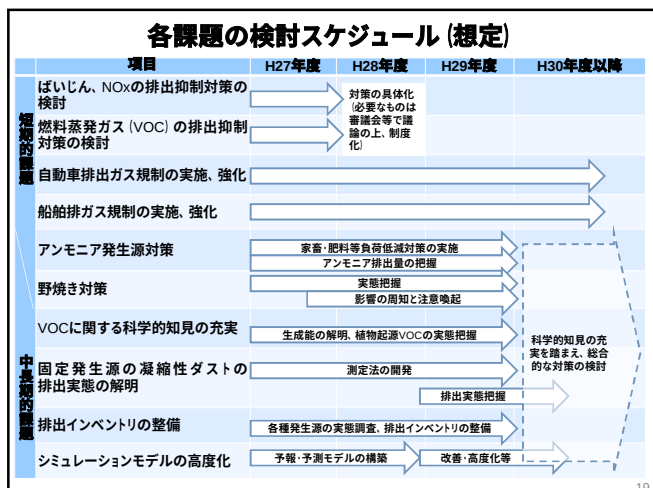
取り組むべき対策の効果や優先度、課題等を明らかにしつつ、発生源別寄与や対策効果・コスト、実施可能性等に関する知見を踏まえ、総合的・効果的な対策を検討する。

東アジア地域における大気汚染対策を推進するための技術協力に取り組む必要がある。

➢ 排出抑制策の定量的な評価・検証

PM_{2.5}の原因物質の排出抑制策については、排出インベントリの整備・更新を通じて、その実施状況をフォローしていくとともに、高度化したシミュレーションモデル等を用いてPM_{2.5}の削減効果をできる限り定量的に評価・検証していくことが求められる。

18



我が国における大気環境に関する国際協力の全体像

日中韓三カ国環境大臣会合 (TEMU) に基づく日中韓による取り組み

- **大気汚染に関する三カ国政策対話の開催**
 - ・ 2014年3月に、大気汚染に関する政策対話の初会合を開催 (於: 中国)。
 - ・ 2015年3月の第2回会合 (於: 韓国) では、初会合での合意に基づき、各国が直面する大気汚染の具体的な課題 (揮発性有機化合物やオゾン層破壊物質からの排ガスの削減等) について、情報・経験を共有。
- **新たな共同行動計画に基づき日中韓協力の強化**
 - ・ 2015年4月のTEMU17において今後5年間の共同行動計画を採択。大気環境改善のための日中韓協力を強化することで合意。
 - ・ 大気汚染分野では、(1) 三カ国政策対話を通じた協力の実施、(2) 政策対話の下に、①対策に関する科学的な研究、②大気質のモニタリング技術及び予測手法、に関する3つのワーキンググループを設置、(3) 大気環境改善のための優れた取組の共有 を実施。

二国間連携の強化

- TEMUでの合意に基づいて、二国間における取組を強化

中国との協力	韓国との協力
2014年4月のTEMU16 (韓国・ソウル) での合意を受け、地方自治体や産業界の知見やノウハウを、中国の主要都市における能力構築や人材育成等に活用する都市間連携協力事業を推進。	2014年4月のTEMU16における日韓環境大臣バイ会合の合意に基づき、PM _{2.5} のモニタリング、予測、インベントリ、データ共有等の分野において協力を進めることに合意。

国際機関と連携した取組

- **国連環境計画 (UNEP) と連携した取組**
 - ・ 科学パネルによる科学的知見の充実・評価
 - ・ 各国政府、都市が参加する都市大気環境会合の開催
 - ・ PM_{2.5}のモニタリングについての技術支援
- **クリーン・エア・アジア (CAA) と連携した取組**
 - ・ 清浄な都市大気環境のための指針の作成
 - ・ 指針を活用したアジア主要都市の能力構築
 - ・ 各国政府、都市が参加する都市大気環境会合の開催
 - ・ PM_{2.5}のモニタリングについての技術支援

第6回日中韓サミット

- **開催日時:** 2015年11月1日 (日) 韓国・ソウル
- **出席者:** 安倍総理大臣、朴槿恵 (パク・クネ) 韓国大統領 (議長)、李克強 (リ・クイヤン) 中国國務院総理

- **北東アジアの平和と協力のための共同宣言 (仮訳) (関係部分抜粋)**
 - 第17回日中韓環境大臣会合 (TEMU) における、9つの優先分野の「環境協力に係る日中韓3か国共同行動計画 (2015～2019)」の採択を歓迎
 - 地域における大気汚染対策の重要性を認識しつつ、大気汚染に関する日中韓3か国政策対話を通じて、3か国が大気質の改善に関するグッド・プラクティス及び努力を共有するよう奨励
 - 地域における主要な環境課題として黄砂 (DSS) 問題の重要性も認識し、黄砂分野における協力の強化を求めた

越境大気汚染対策推進費

平成28年度予算(概) 342百万円(326百万円)

背景・目的

- 東アジア地域の急速な発展に伴い、我が国への黄砂や越境大気汚染が懸念される。
- 継続的にモニタリングを実施し、越境大気汚染や黄砂に関する実態解明を着実に推進する必要がある。
- 国際的には、EANET参加国のモニタリング等の能力向上を図るとともに、日中韓三カ国環境大臣会合(TEMM)の枠組みの下、大気汚染に関する政策対話やワーキンググループを通じた協力や、黄砂に関する共同研究を進める。

事業概要及ビスキーム

事業スキーム

環境省 → 業務の委託 → 委託先

期待される効果

- 越境大気汚染や黄砂の実態解明、科学的な知見に基づく国際協力の推進。
- 我が国への黄砂や越境大気汚染の緩和。

東アジア地域における越境大気汚染対策のための国際協調推進費

東アジア地域における大気環境管理戦略の検討

東アジア酸性雨モニタリングネットワーク(EANET)活動やTEMMの枠組み等を活用し、東アジア地域の大気汚染防止のための戦略の検討。

EANETの発展の促進

EANET参加国(日本を含む13か国)の協働によるPM2.5・オゾン等のモニタリング強化等。

TEMMの下での国際協調の推進

TEMM等における合意を踏まえた、大気汚染や黄砂に関する協力の推進。

データや知見の活用

越境大気汚染モニタリング推進費

「越境大気汚染・酸性雨長期モニタリング計画」(環境省、平成26年3月改定)に基づき、越境大気汚染・酸性雨の影響を早期に把握するための体制を構築して、モニタリングを実施。

【モニタリング内容】

- ・全国での酸性沈着(湿性・乾性)とその影響(降水・土壌・植生)
- ・バックグラウンド地域でのオゾン・PM2.5・気象

黄砂の飛来実態の把握のため、黄砂実態解明調査、飛来状況リアルタイム観測網構築・情報提供等を実施。

アジア地域におけるコベネフィット型環境汚染対策推進事業

平成28年度予算(概) 765百万円(755百万円)

背景・目的

- 中国のPM2.5問題を始め、急速な経済発展・都市化に伴う大気汚染、水質汚濁等の環境汚染、エネルギー消費の急増はアジア各国における深刻な課題。
- 環境改善、温室効果ガス削減の双方に効果を有するコベネフィット・アプローチが有効。
- 既存の地域的な取組の活用、我が国の経験や技術を活用したコベネフィット型の能力構築や汚染対策を戦略的に促進。

事業概要

(1) 大気汚染に関する既存の地域的な取組の活用(182百万円: UNEP及びClean Air Asia拠出金)

(2) 中国をはじめとしたアジア地域における対策推進に向けた能力構築・体制整備事業(309百万円: 民間団体委託)

(3) 我が国の環境技術を活用したコベネフィット技術の実証、及びモデル構築支援事業(274百万円: 民間団体委託)

<実施期間> H26から30年度まで

事業スキーム

(1) UNEP / CAA → 環境省 → 委託先

(2) 委託事業者

(3) 委託事業者

期待される効果

- 我が国の国際貢献の強化、越境大気汚染の影響緩和
- CO2排出削減ポテンシャルの拡大、技術の海外展開への寄与

大気汚染に関する既存の地域的な取組の活用

[UNEPへの拠出]

- ・大気汚染等の科学的な知見の集積
- ・地域的な取組を包括する合同フォーラムを通じた地域連携の推進

[CAAへの拠出]

- ・「アジアの清浄な都市大気環境のための指針」作成、及び能力構築
- ・都市大気環境に関する政府間会合を通じた課題や対策の共有

中国をはじめとしたアジア地域における対策推進に向けた能力構築・体制整備

我が国の地方自治体を中心とし、中国等の都市を対象に、大気汚染対策と低炭素化の両方を見据えた人材・組織の能力構築、モデル事業や共同研究の実施等の支援を強化・促進

国内自治体・企業等の連携体制構築

我が国の環境技術を活用したコベネフィット技術の先導的導入実証、モデル事業

政府間会合を通じた方針の決定・進捗管理、及びモデル事業の展開

- ・コベネフィット型対策導入戦略の策定、及び人材育成と組み合わせた実証実施
- ・水処理分野における省エネ、創エネ技術の公募型モデル構築支援
- ・国内環境産業等への情報発信・共有

二国間クレジットへの展開、アジア地域の低炭素化・環境汚染緩和等

ご静聴ありがとうございました

PM_{2.5}の健康影響 に関する疫学研究

2016年3月17日

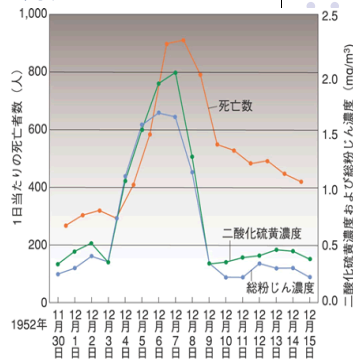
兵庫医科大学公衆衛生学
島 正之

本日本話する主な内容

- 大気汚染の健康影響
- 欧米諸国における疫学研究
 - 短期曝露による影響
 - 長期曝露による影響
- 日本国内における疫学研究
 - 環境省による曝露影響調査
 - 最近の疫学的知見

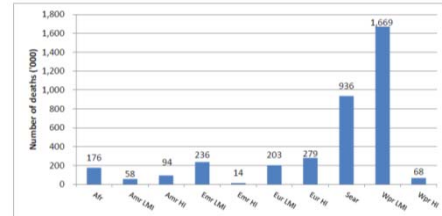
ロンドンスモッグ事件 (1952年12月)

- 石炭暖房による高濃度
二酸化硫黄の発生
- 2週間で約4,000名の
過剰死亡(その後の影
響を含め8,000名)
- 特に、気管支炎による
死亡の増加、心疾患の
ある人への影響が大



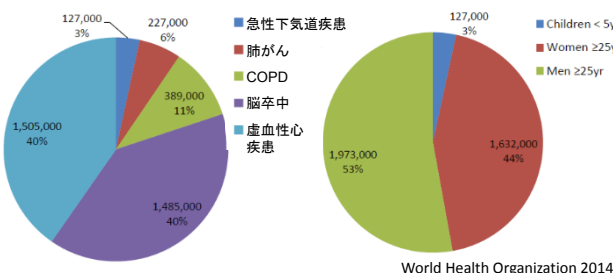
大気汚染による死亡者数 世界保健機関(WHO)の推計(2012年)

- 全世界での推定死亡数
 - 屋外大気汚染により370万人
 - 屋内空気汚染(調理、暖房等)により430万人
 - 重複分を除くと700万人
- 特に西太平洋地域の低・中所得国で多い。



大気汚染による死亡原因 世界保健機関(WHO)の推計(2012年)

- 死因別には、虚血性心疾患(40%)、脳卒中(40%)、慢性閉塞性肺疾患(COPD)(11%)、肺がん(6%)が多い。
- 5歳未満の小児では急性下気道疾患のリスクも高い。



大気汚染の健康影響の程度



(WHO Air Quality Guidelines: Global Update 2005)

大気汚染の健康影響の種類

短期曝露による影響

- 日死亡
- 呼吸器系・心血管系疾患による入院、救急受診、外来受診
- 呼吸器系・心血管系の医薬品の使用
- 活動制限が必要な日数
- 仕事の欠勤、学校の欠席
- 急性症状(喘鳴、咳嗽、喀痰、呼吸器感染症)
- 生理機能の変化(肺機能など)

長期曝露による影響

- 心血管系・呼吸器系疾患による死亡
- 慢性呼吸器疾患の罹患および有病(喘息、慢性閉塞性肺疾患、慢性的な病的変化)
- 慢性的な生理機能の変化
- 肺癌
- 慢性的な心血管系疾患
- 子宮内発育の制限(低出生体重児、子宮内発育遅延)

(WHO Air Quality Guidelines: Global Update 2005)

粒子状物質の定義

浮遊粒子状物質

Suspended Particulate Matter (SPM)

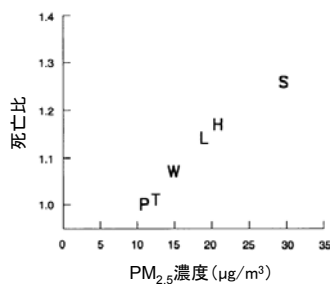
- 大気中に比較的長く浮遊し、呼吸器系に吸入される粒径 $10\mu\text{m}$ 以下の粒子

微小粒子状物質($\text{PM}_{2.5}$)

- 粒子状物質の中でも粒径 $2.5\mu\text{m}$ 以下の微小なもの
- 呼吸器系の深部まで到達しやすく、粒子表面に様々な有害成分が吸収・吸着されていること等から健康影響が懸念されている。

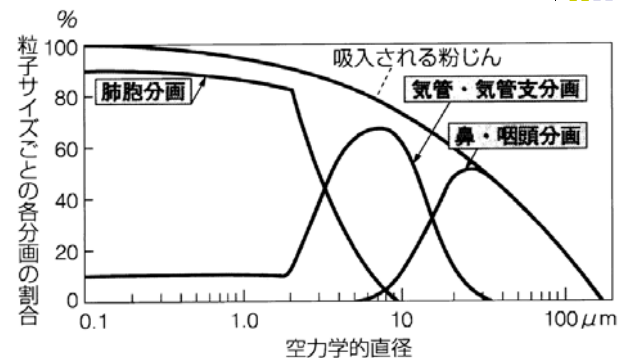
微小粒子($\text{PM}_{2.5}$)の健康影響

- 米国東部6都市の住民約8,000人を14~16年にわたって追跡調査
- 年齢、性、喫煙、職業等を調整した死亡率は、大気汚染レベルの高い都市ほど高く、各都市の $\text{PM}_{2.5}$ 濃度との間に強い関連が認められた。



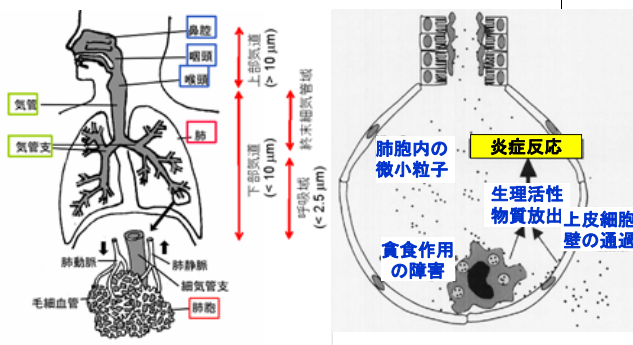
(Dockery DW, et al. N Engl J Med, 329: 1753-9, 1993)

粒子状物質の呼吸器への沈着

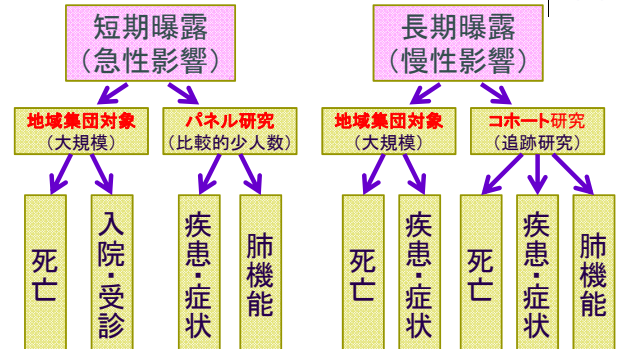


(ISO, 1981)

粒子の大きさと呼吸器への沈着



大気汚染物質の健康影響に関する研究のデザイン



(Holgate et al. Ed., Air Pollution and Health, 1999)

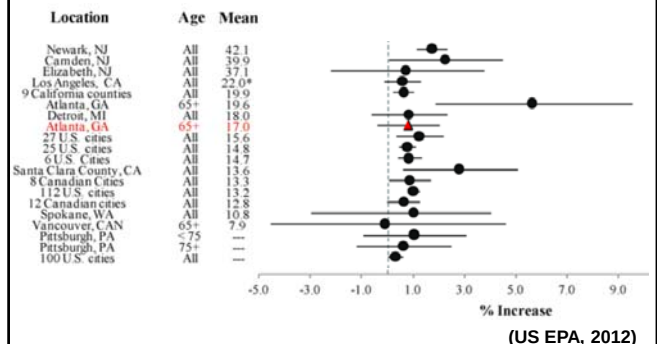
PM_{2.5}短期曝露と死亡の関連

- PM_{2.5}濃度が上昇すると、当日または数日以内に死亡する人が増加するという関連が報告されている。
- PM_{2.5}日平均濃度10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 上昇あたりの増加
 - 全死亡(外因死を除く) 0.3~1.2%
 - 心血管系疾患による死亡 1.2~2.7%
 - 呼吸器系疾患による死亡 0.8~2.7%
- こうした関連性は、PM_{2.5}の日平均濃度が12.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上の場合に観察されている。

(U.S. EPA. 2012)

PM_{2.5}短期曝露による死亡リスク

全死亡(外因死を除く)の増加率
(PM_{2.5}日平均濃度10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 上昇あたり)



(US EPA, 2012)

呼吸器疾患による入院・救急受診

- PM_{2.5}への短期的な曝露により、呼吸器疾患による救急受診や入院が増加することが報告されている。
- 慢性閉塞性肺疾患(COPD)や呼吸器感染症による受診や入院は、PM_{2.5}の日平均値が6.1~22.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度で観察されている。
- 喘息による受診や入院との関連も多くの研究で認められているが、小児については必ずしも一致した結論は得られていない。

(U.S. EPA. 2012)

肺機能の変化

- ピークフロー値(最大呼気流量)等の肺機能の日単位の変化との関連が検討されている。
- 喘息患者を対象とした研究
 - ピークフロー値はPM_{2.5}濃度が増加すると有意に低下するものが多い。
 - 1秒量についても同様の関連が認められている。
- 喘息患者以外(健康者)を対象とした研究
 - 報告数は少なく、明らかな関連性を認めていないものが多い。

➢ ピークフロー値(PEF):できるだけ早く息を吐き出す速度(最大呼気流量)
➢ 1秒量(FEV₁):努力呼出の開始から1秒間に呼出した空気量

(U.S. EPA. 2012)

呼吸器症状の変化

- 喘息または慢性閉塞性肺疾患(COPD)患者を対象として、咳、痰、呼吸困難、喘鳴、気管支拡張剤の使用などの日単位の変化との関連性が検討されている。
- ピークフローでみられたような有意な関連性は認めていない報告が多いが、影響を示唆したものもある。

(U.S. EPA. 2012)

循環器疾患による入院・救急受診

- PM_{2.5}への曝露と循環器疾患(主に虚血性心疾患、うっ血性心不全)による救急受診や入院の増加との関連が多数報告されている。
 - 日平均値が7.0~18.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 程度で認められる。
- PM_{2.5}への短期的な曝露と脳卒中の発症との関連も示されている。
 - 脳梗塞発症リスクは日平均値が15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上では15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 未満の日よりも34%増加する。

(U.S. EPA. 2012)

循環器系の所見との関連

- PM_{2.5}への曝露濃度の上昇により、以下の所見が報告されている。
 - 心拍数の増加
 - 心拍変動の低下
 - 安静時血圧の上昇
 - 不整脈の発生
 - 血液生化学指標の変化
- 冠動脈疾患等の動脈硬化性の循環器疾患を有する患者で認められたものが多い。

長期曝露の死亡への影響

- 米国がん協会(ACS)研究
 - 米国50都市、約50万人を1982～1998年追跡
 - PM_{2.5}濃度10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 上昇に伴う死亡リスク

Table 2. Adjusted Mortality Relative Risk (RR) Associated With a 10- $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Change in Fine Particles Measuring Less Than 2.5 μm in Diameter

死 因	Adjusted RR (95% CI)*		
	1979-1983	1999-2000	Average
全 死 因	1.04 (1.01-1.08)	1.06 (1.02-1.10)	1.06 (1.02-1.11)
心 肺 疾 患	1.06 (1.02-1.10)	1.08 (1.02-1.14)	1.09 (1.03-1.16)
肺 が ん	1.08 (1.01-1.16)	1.13 (1.04-1.22)	1.14 (1.04-1.23)
そ の 他	1.01 (0.97-1.05)	1.01 (0.97-1.06)	1.01 (0.95-1.06)

*Estimated and adjusted based on the baseline random-effects Cox proportional hazards model, controlling for age, sex, race, smoking, education, marital status, body mass, alcohol consumption, occupational exposure, and diet. CI indicates confidence interval.

(Pope III, et al. JAMA 287: 1132-41, 2002)

長期曝露の死亡・疾患発症への影響

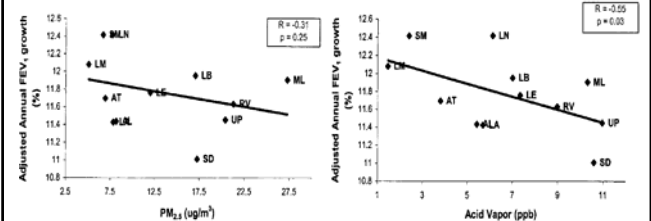
- 米国の閉経後女性を対象としたコホート研究
 - 米国36地区、約66,000人を追跡
 - PM_{2.5}濃度10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 上昇に伴うリスク
 - 死亡
 - 循環器疾患 1.83 (1.11-3.00)
 - 冠動脈疾患 2.21 (1.17-4.16)
 - 発症
 - 全循環器疾患 1.24 (1.09-1.41)
 - 冠動脈疾患 1.21 (1.04-1.42)
 - 心筋梗塞 1.06 (0.85-1.34)
 - 脳血管疾患 1.35 (1.08-1.68)
 - 脳卒中 1.28 (1.02-1.61)

(Miller, et al. N Engl J Med 356: 447-58, 2007)

南カリフォルニアの小児追跡研究

南カリフォルニア12地域の小児(約1700名)を対象に、10～18歳まで肺機能を毎年測定し、PM_{2.5}等の大気汚染との関係の評価した。

1秒量(FEV₁)の年間成長率と大気汚染の関係



(Gauderman, et al. Am J Respir Crit Care Med 166:76-84, 2002)

1秒量(FEV₁)の年間成長率 最高汚染地区と最低汚染地区の差(%)

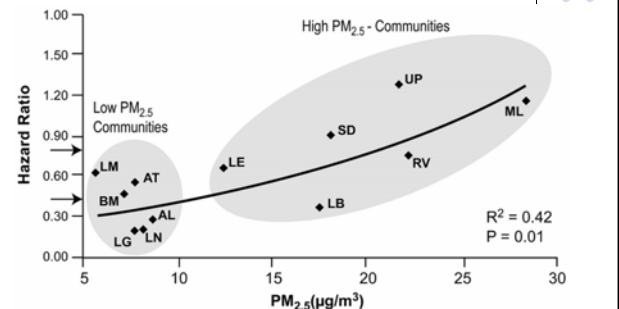
Pollutant†	More Outdoors†		Less Outdoors	
	%	Difference in Growth‡ (95% CI)	%	Difference in Growth (95% CI)
O ₃ , 10 A.M.–6 P.M.	-0.83	(-1.66, 0.00)	-0.35	(-1.25, 0.56)
NO ₂	-0.82	(-1.56, -0.08)*	-0.21	(-1.03, 0.61)
Acid vapor	-1.01	(-1.65, -0.38)***	-0.31	(-1.11, 0.49)
PM ₁₀	-0.63	(-1.60, 0.35)	0.20	(-0.80, 1.21)
PM _{2.5}	-0.80	(-1.51, -0.08)*	-0.01	(-0.86, 0.84)
EC	-0.74	(-1.44, -0.03)*	-0.09	(-0.87, 0.71)

屋外で過ごす時間が長いほうが肺機能の成長に対する大気汚染の影響が大きい。

(Gauderman, et al. Am J Respir Crit Care Med 166:76-84, 2002)

肺機能と喘息発症との関係

(カリフォルニア小児研究での8年間追跡)



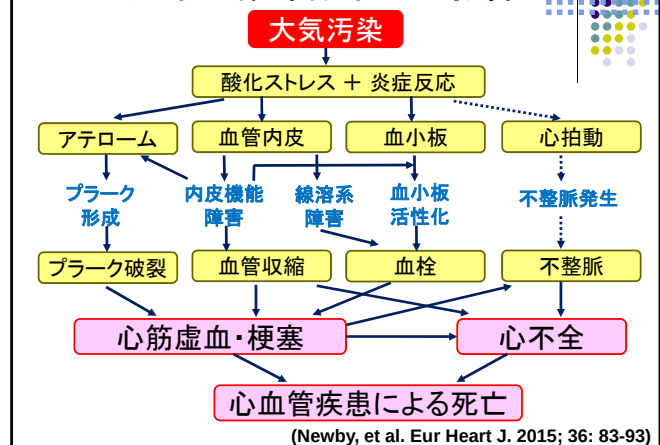
HR(ハザード比): 肺機能高値者の、低値者に対する喘息罹患の比

(Islam, et al. Thorax 62:957-63, 2007)

PM_{2.5}の健康影響(米国EPA, 2010)

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

大気汚染の循環器系への影響



International Agency for Research on Cancer



国際がん研究機関(IARC)

大気汚染、粒子状物質に発がん性がある(Group 1)と認定(2013年10月)。

17 October 2013

IARC: Outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths

Lyon/Geneva, 17 October 2013 – The specialized cancer agency of the World Health Organization, the International Agency for Research on Cancer (IARC), announced today that it has classified outdoor air pollution as carcinogenic to humans (Group 1).

After thoroughly reviewing the latest available scientific literature, the world's leading experts convened by the IARC Monographs Programme concluded that there is *sufficient evidence* that exposure to outdoor air pollution causes lung cancer (Group 1). They also noted a positive association with an increased risk of bladder cancer.

Particulate matter, a major component of outdoor air pollution, was evaluated separately and was also classified as *carcinogenic to humans* (Group 1).

The IARC evaluation showed an increasing risk of lung cancer with increasing levels of exposure to particulate matter and air pollution. Although the composition of air pollution and levels of exposure can vary dramatically between locations, the conclusions of the Working Group apply to all regions of the world.

国際がん研究機関の発がん性分類

グループ	発がんリスク	主な物質	種類
1	発がん性がある	アスベスト、ダイオキシン、放射線、喫煙、受動喫煙、アルコール、ラドン、太陽光、大気汚染、粒子状物質	118
2A	おそらく発がん性がある	熱いマテ茶、鉛化合物、石油精製業、理容師・美容師、シフト勤務	75
2B	発がん性があるかもしれない	コーヒー、漬物、わらび、携帯電話の電磁波、超低周波磁界、ガソリン	288
3	発がん性があると分類できない	カフェイン、お茶、髪の毛の染料、水銀	503
4	おそらく発がん性はない	カプロラクタム(ナイロンの原料)	1

(IARC. Last update: 26 October 2015)

微小粒子状物質曝露影響調査

環境省(2007年7月)

- 短期曝露の影響
 - 日死亡との関連
 - 呼吸器系への影響
 - 喘息による夜間急病診療所の受診
 - 気管支喘息児(入院児)のピークフロー値
 - 気管支喘息児(通院児)のピークフロー値
 - 小学生のピークフロー値及び1秒量
 - 循環器系への影響
 - 埋め込み型除細動器による治療の発生
- 長期曝露の呼吸器系への影響

環境省の健康影響調査結果の概要

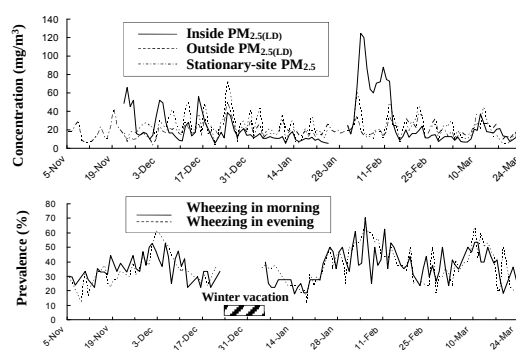
調査項目	評価	主な結果
微小粒子状物質曝露影響調査		
短期的影響		
死亡	総死亡	△ PM _{2.5} 濃度の上昇により死亡リスクがわずかに増加
	呼吸器系	○ 3日前のPM _{2.5} 濃度の上昇により有意に増加
	循環器系	× 当日～5日前のPM _{2.5} 濃度との関連なし
疾病	喘息による受診	× 喘息による急病診療所受診とPM _{2.5} 濃度との関連なし(オゾン濃度とは関連あり)
	呼吸器系	○ PM _{2.5} 濃度の上昇により喘息児、小学生のピークフロー値が有意に低下
	循環器系	× SPM濃度と心室性不整脈との関連なし
長期的影響	呼吸器系	△ 保護者の持続性の咳・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		
長期的影響	総死亡	× 大気汚染との関連なし
	肺がん	○ 喫煙等を調整した後で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濃度と負の関連あり(血圧等のリスク因子未調整)

微小粒子状物質(PM_{2.5})の喘息に与える短期的影響

- 対象
 - 長期にわたって入院中の小児気管支喘息患者 19名(8~15歳)
- 方法
 - 毎日、朝(午前6時)と夜(午後7時)に肺機能を測定し、看護師により喘鳴の有無を確認した。
 - PM_{2.5}濃度は、病院内(病室)、病院外(玄関)、病院に近接する一般環境大気測定局で測定
 - ピークフロー値(PEF)及び喘鳴症状とPM_{2.5}濃度との関連を解析した。

(Ma, Shima, et al. J Epidemiol, 18: 97-110, 2008)

期間中のPM_{2.5}濃度及び喘鳴症状有症率の推移



(Ma, Shima, et al. J Epidemiol, 18: 97-110, 2008)

PM_{2.5}濃度とPEF変化との関連

PM_{2.5} 10 µg/m³増加あたりの変化量(L/min)

	Change*	95% CI	p値
PEF in morning			
院内 PM _{2.5}	-2.86	-4.12 -1.61	<0.001
院外 PM _{2.5}	-1.34	-2.99 0.32	0.113
測定局 PM _{2.5}	-0.35	-1.89 1.20	0.662
PEF in evening			
院内 PM _{2.5}	-3.59	-4.99 -2.20	<0.001
院外 PM _{2.5}	-3.40	-6.47 -0.33	0.030
測定局 PM _{2.5}	-1.38	-3.84 1.08	0.271

* 性、年齢、身長、期間中の成長、気温、相対湿度の影響を調整

(Ma L, Shima, et al. J Epidemiol, 18: 97-110, 2008)

PM_{2.5}濃度と喘鳴との関連

24時間平均濃度の4分位別オッズ比

	朝			夜		
	オッズ比*	95%信頼区間		オッズ比*	95%信頼区間	
院内PM_{2.5}(24時間平均)(µg/m³)						
<11.0	1.00			1.00		
11.0~15.3	1.05	0.99 1.12		1.10	1.04 1.16	
15.4~27.9	1.09	1.03 1.15		1.14	1.05 1.23	
≥28.0	1.08	1.02 1.14		1.22	1.10 1.35	
測定局PM_{2.5}(24時間平均)(µg/m³)						
<13.9	1.00			1.00		
13.9~18.1	1.03	0.96 1.10		1.01	0.96 1.07	
18.2~23.5	1.02	0.96 1.08		1.06	1.02 1.11	
≥23.6	1.01	0.95 1.09		1.09	1.03 1.16	

* 性、年齢、気温、相対湿度の影響を調整

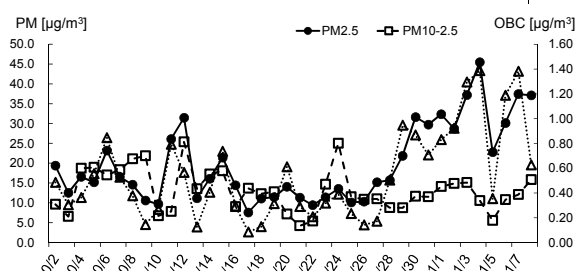
(Ma L, Shima, et al. J Epidemiol, 18: 97-110, 2008)

大気汚染物質が健常学生の肺機能に与える短期的影響

- 瀬戸内海ほぼ中央の離島にある高等専門学校の学生(15~17歳、37名)を対象に、2013年10~11月の約1ヶ月間、以下の検査を行なった。
- 電子式ピークフローメーターを用いて、最大呼気流量(PEF)と1秒量(FEV₁)を毎日測定した。
- 大気汚染濃度は、学校の屋上にて、PM_{2.5}と粗大粒子(PM_{10-2.5})、二酸化窒素(NO₂)を測定した。
- 調査開始時に、ATS-DLD標準質問票を用いて、喘息、アレルギー疾患の既往の有無を評価した。

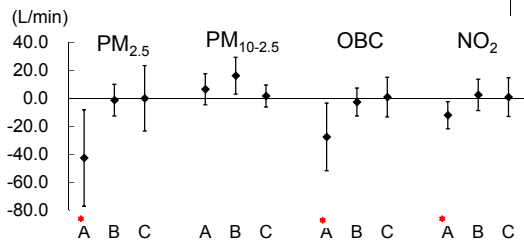
(余田, 他. アレルギー, 64: 128-135, 2015)

期間中の粒子状物質濃度の推移



(余田, 他. アレルギー, 64: 128-135, 2015)

既往の有無別大気汚染濃度とピークフロー値の変化との関連

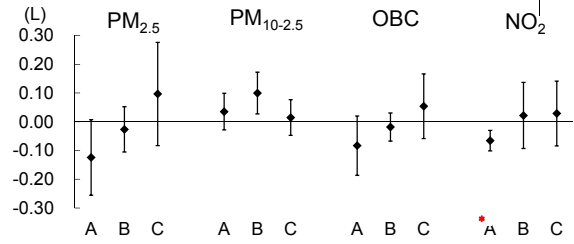


A: 喘息の既往あり(9名)
B: 喘息以外のアレルギー疾患の既往あり(8名)
C: いずれの既往もなし(20名)

各汚染物質の四分位範囲増加当たりのピークフロー値変化量

(余田、他. アレルギー, 64: 128-135, 2015)

既往の有無別大気汚染濃度とFEV₁の変化との関連



A: 喘息の既往あり(9名)
B: 喘息以外のアレルギー疾患の既往あり(8名)
C: いずれの既往もなし(20名)

各汚染物質の四分位範囲増加当たりのFEV₁変化量

(余田、他. アレルギー, 64: 128-135, 2015)

兵庫県姫路市における研究

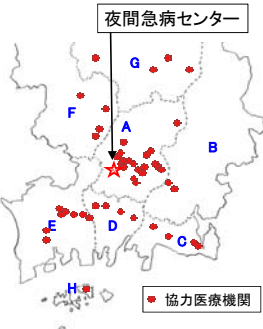
- 姫路市医師会の協力により、以下のデータを収集し、大気汚染濃度との関連を解析

① 市内46医療機関における1週間毎の喘息発作数

- 性・年齢・居住地区別
- 1995年から継続して実施
- 年間約13,000件

② 夜間急病センターの1日毎の喘息による受診患者

- 性・年齢・居住地区別
- 年間約1,200件



PM_{2.5}濃度と喘息発作の関連

日平均PM_{2.5}濃度の週内最大値と喘息発作リスク

年 齢	リスク比	95%信頼区間	P値
全年齢	1.03	(1.01, 1.05)	0.004
0-14歳	1.04	(1.00, 1.08)	0.047
15-64歳	1.03	(1.00, 1.05)	0.023
65歳以上	1.03	(1.00, 1.05)	0.024

※四分位範囲(13.8 μ g/m³)増加当たり

PM_{2.5}濃度と喘息発作の関連

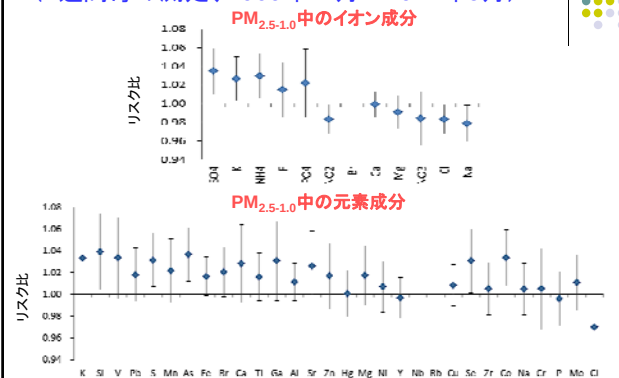
週平均PM_{2.5}濃度の四分位別の喘息発作リスク

濃 度	リスク比	95%信頼区間	P値
< 16.7	1.00		
17.7-20.5	1.04	(0.98, 1.09)	0.169
20.6-26.0	1.04	(0.98, 1.10)	0.171
≥ 26.1	1.08	(1.03, 1.14)	0.003

※単位: μ g/m³

粒子状物質の成分濃度と喘息発作

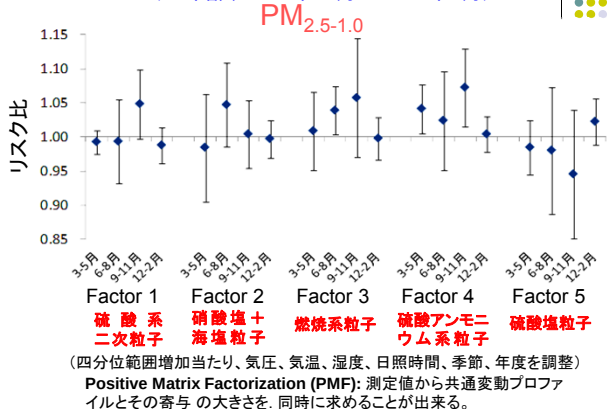
(1週間毎の測定、2009年11月～2012年5月)



(四分位範囲増加当たり、気圧、気温、湿度、日照時間、季節、年度を調整)

粒子状物質のPMF解析と喘息発作

(全年齢、2009年11月～2012年5月)

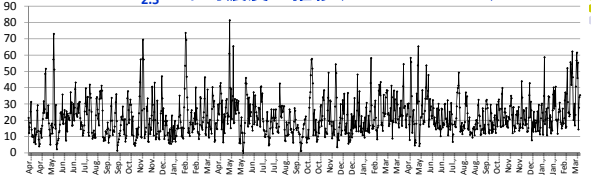


気管支喘息による受診との関連

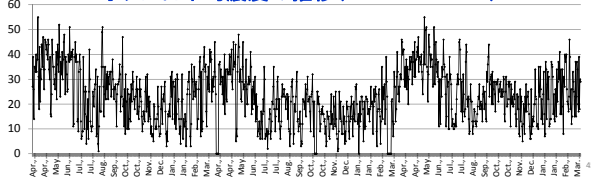
- 対象: 姫路市の急病センターの受診患者
 - 平日夜間(21時～翌6時)に受診し、喘息と診断された患者
- 受診前の大気汚染濃度との関連をケース・クロスオーバーデザインにより解析
 - 解析対象: 粒子状物質(PM_{2.5})、二酸化窒素(NO₂)、オゾン(O₃)の日平均値
 - 気圧、湿度、気温、風速、日照時間の影響を考慮



PM_{2.5}日平均濃度の推移(2010.4～2013.3)

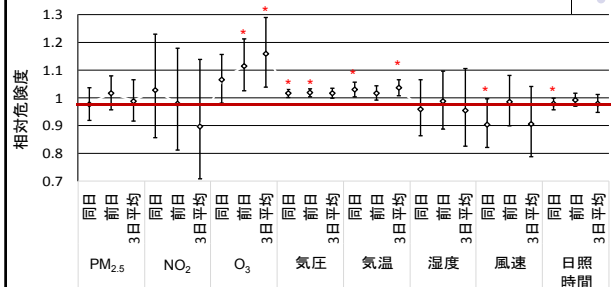


オゾン日平均濃度の推移(2010.4～2013.3)



喘息による受診に関連する因子

2010年4月～2013年3月の3年間



* P<0.05

単位増加量はPM_{2.5}:10μg/m³、NO₂:10ppb、O₃:10ppb、気圧:1hPa、気温:1℃、湿度:10%、風速:1m/s、日照時間:1h

(Yamazaki, Shima, et al. BMJ Open, 5:e005736, 2015)

前日の大気汚染濃度との関連 (複数汚染物質モデルの解析結果)

2010年4月～2013年3月の3年間

汚染物質 (増加単位)	4-6月		7-8月		9-11月		12-3月	
	RR	95%CI	RR	95%CI	RR	95%CI	RR	95%CI
PM _{2.5} (10μg/m ³)	0.95	0.85-1.06	1.17	0.98-1.40	0.96	0.86-1.06	1.16	1.01-1.33
NO ₂ (10ppb)	1.16	0.83-1.62	0.76	0.38-1.53	1.17	0.80-1.72	0.86	0.49-1.51
O ₃ (10ppb)	1.17	1.01-1.35	1.09	0.93-1.27	0.98	0.80-1.20	1.22	0.81-1.83

(Yamazaki, Shima, et al. BMJ Open, 5:e005736, 2015)

おわりに

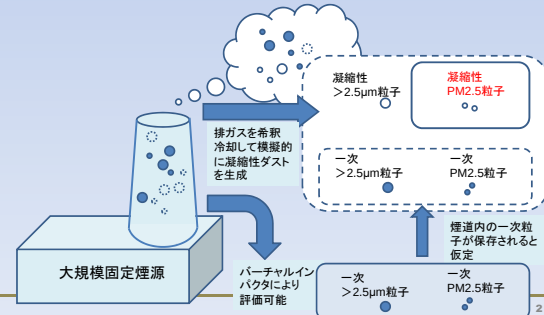
- 疫学研究では、PM_{2.5}等による大気汚染と循環器・呼吸器系疾患等の関連が示されている。
- 短期的影響は、呼吸器・循環器系疾患のある人では比較的低い濃度で認められている。
- わが国における疫学研究でも、PM_{2.5}濃度の上昇により、喘息患者のピークフロー値の低下、喘息発作の増加などが示されている。
- 粒子成分については、夏季は燃焼系由来と考えられる粒子、春季と秋季は硫酸アンモニウム系粒子と喘息発作との関連が示唆された。
- 喘息による受診は、冬季はPM_{2.5}濃度、春季はオゾン濃度との関連が示された。

PM_{2.5}の煙源情報の整備について

2016年3月17日
一般財団法人日本環境衛生センター
環境科学部環境調査課 高橋克行

煙源測定の内容

- 煙道内の一次粒子：バーチャルインパクタ(JIS Z 7152)により測定
→ 排出インベントリ、発生源プロファイルの向上に貢献
- 凝縮性ダスト：空気直接冷却法により測定
→ 未把握のPM_{2.5}排出源として重要性が指摘されている



背景

- 現行のインベントリには下記の課題がある

 1. PM_{2.5}実測値がないため、大気汚染物質総合排出量調査(マップ調査)のばいじん濃度にPM_{2.5}/TSP比を乗じて推定している
 2. PM_{2.5}/TSP比は業種ごとに文献値から算出した値を適用している
 3. プロファイルに用いるPM_{2.5}の成分組成実測値がないため、米国の文献値(SPECIATE)を用いている

- これらの課題に対し実測値を反映させてインベントリ・プロファイルを向上させることを検討すべき

プロファイル整備の必要性

- レセプターモデルによる発生源推定
 - 発生源の成分組成の情報(プロファイル)が必要
- CMB法
 - ひとつの観測データがあれば寄与割合の推定が可能
 - 計算には発生源プロファイルの情報を入力する必要がある
- PMF法
 - 多数のデータを用いることで直接プロファイルを必要とせずに寄与割合の計算が可能
 - 因子の解釈には発生源の特徴元素の情報が必要

固定発生源調査の例

- 溝畑ら(1980)
 - 鉄鋼工業、都市ゴミ焼却炉、石油燃焼炉
- 千葉県(1984)
 - 重油燃焼炉、都市ゴミ焼却炉
- 川崎市(1984)
 - ガラス溶融炉、セメント焼成炉、重油燃焼炉、都市ゴミ焼却炉
- 横浜市(1989)
 - 重油燃焼炉

東京都(2008-2009)の測定対象施設

No.	測定対象	測定対象	測定対象
1	ボイラー	都市ガス	EGR
2	地下街	通風・店舗・駐車場	
3	廃棄物焼却炉	都市ごみ	BF+洗煙+脱硝
4	廃棄物焼却炉	都市ごみ	BF+洗煙+脱硝
5	廃棄物焼却炉	下水汚泥	CF+洗煙
6	廃棄物焼却炉	下水汚泥	EP+洗煙
7	厨房	食堂	グリッドフィルタ
8	電気炉	くず鉄	BF
9	ボイラー	重油	
10	厨房	家庭	
11	ガスタービン	都市ガス	脱硝
12	窯業炉	ガラスくず	脱硝+サイクロン
13	自動車3(長期)	軽油	EGR+酸化触媒
14	自動車4(新長期)	軽油	EGR+脱硝SCR
15	給じん	土壌	
16	給じん	道路粉じん	
17	ボイラー	木くず	サイクロン
18	ボイラー	都市ガス	
19	ガス機関	都市ガス	希薄燃焼
20	焼煙所	タバコ	
21	船舶	重油	
22	ボイラー	重油	EP+脱硝
23	野焼き	稲わら	
24	野焼き	雑草・剪定枝	
25	建設機械	軽油	
26	鉄道	車輪・線路	
27	石油ファンヒーター・灯油		
28	自動車(元年規制)	軽油	

カスケードインパクタによるPM_{2.5} サンプリング

アンダーセンサンブラ



カスケードインパクタをセットしたところ

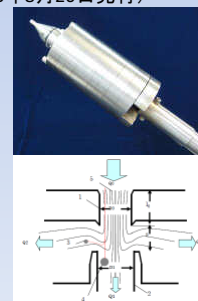


バーチャルインパクタによるPM_{2.5} サンプリング

- バーチャルインパクタによる排ガス中のPM₁₀/PM_{2.5}質量濃度測定法(JIS Z 7152 平成23年8月20日発行)

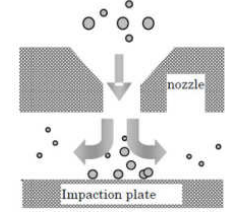
経緯

- ・平成21年9月にPM_{2.5}の環境基準が規定される。
- ・固定発生源排ガス調査の必要性があるものの、日本では発生源のPM_{2.5}測定の公定法がない状況であった。
- ・固定発生源排ガス調査に適応する方法のJIS化が急務となった。

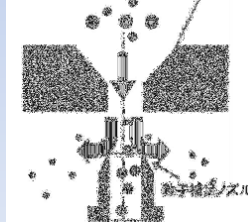


インパクタの比較

カスケードインパクタ



バーチャルインパクタ



経済産業省ニュースリリース(平成25年8月20日)より抜粋

特徴

カスケードインパクタ

- 二段インパクターを用いて排ガス中の PM_{10} と $PM_{2.5}$ を測定する方法
- 捕集粗粒子再飛散の懸念があり、低濃度条件に適用
- 高温、腐食性ガス条件では、再飛散防止用グリースの変質がある

バーチャルインパクタ

- 二段バーチャルインパクタを用いて排ガス中の PM_{10} と $PM_{2.5}$ を測定する方法
- 粗粒子の再飛散がない
- 広範な粉じん濃度条件(高温、高水分量、反応性ガス含有)の測定に適用
- 構造が複雑であり、加工に技術を要するため高価である

※経済産業省ニュースリリース(平成25年8月20日)より抜粋

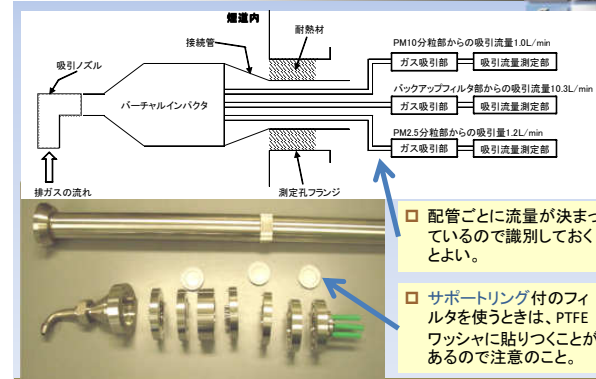
10

バーチャルインパクタの注意点

- 総ダスト質量濃度測定には適応できない。
- 吸引に屈曲管形吸引ノズルを使用する場合、屈曲管内で粒子損失が起こる場合があるため、損失質量の測定が必要。
- 煙道外にバーチャルインパクタ本体が出る場合は、本体の精密な温度制御が必要。

11

セッティング



12

流量設定

$$\text{総体積流量 } q_{vi} = \frac{9\pi D_{0,i} Stk_{50,i} \eta N_i}{4d_{50,i}^2 C_{m,i} \rho_{0,p}}$$

操作条件下のガス粘度を計算するにはガス成分組成を求め、さらに操作条件における構成ガス成分の粘度から混合ガス粘度を求める

$$\text{ガス粘度 } \eta(T) = \frac{\sum_j r_j \eta_j(T) \sqrt{M_j T_{crit,j}}}{\sum_j r_j \sqrt{M_j T_{crit,j}}} \quad \text{温度の関数}$$

カニンガム補正係数

$$C_{m,i} = 1 + \frac{2\lambda}{d_{50,i}} \left[1.23 + 0.41 \exp \left(-0.88 \frac{d_{50,i}}{2\lambda} \right) \right]$$

温度やガス組成により変化するガス粘度と、ノズル径やストークス数の定数から総体積流量を計算する

13

煙道測定の様子



落下防止のストッパー

14

煙道測定の様子

2形測定用ヒータ



2形による測定の様子



15

結果の整理

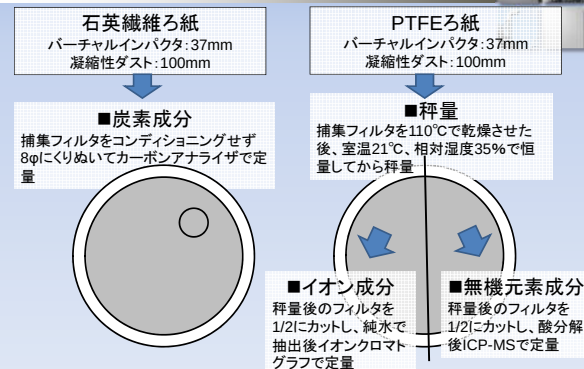
$PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 濃度の計算

$$\varphi(PM_{2.5}) = \frac{m(BF)}{V_{N'}} \quad \begin{aligned} &\varphi(PM_{2.5}): \text{標準状態における } PM_{2.5} \text{ 濃度 (mg/m}^3\text{)} \\ &m(BF): \text{バックアップフィルタ上の粒子濃度 (mg)} \\ &V_{N'}: \text{標準状態の乾き試料ガス体積 (m}^3\text{)} \end{aligned}$$

$$\varphi(PM_{10}) = \frac{m(BF) + m(CF2)}{V_{N'}} \quad \begin{aligned} &\varphi(PM_{10}): \text{標準状態における } PM_{10} \text{ 濃度 (mg/m}^3\text{)} \\ &m(BF): \text{バックアップフィルタ上の粒子濃度 (mg)} \\ &m(CF2): \text{2段目分粒部捕集フィルタ上の粒子濃度 (mg)} \\ &V_{N'}: \text{標準状態の乾き試料ガス体積 (m}^3\text{)} \end{aligned}$$

16

(参考) 分析項目と分析方法



17

成分分析時の注意

- PMcのフィルタは捕集ムラがあるので、フィルタの分割には注意が必要

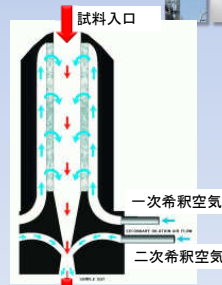


18

凝縮性ダストの測定法

□ 凝縮性ダストとは？

- 煙道内では気体であるが、大気に放出された後に冷却、希釈されて固体化した粒子
- 国内の排出実態は必ずしもすべて把握されていない
- 測定法も確立されていない



滞留チャンバーに引き込み模擬的に凝縮性ダストを生成させる

19

凝縮性ダストの測定法

□ 水-間接冷却法

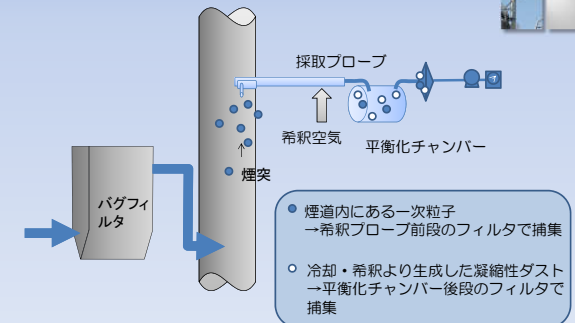
- 排ガスを冷却管に通し、水分及び凝縮性ダストを凝縮水として回収した後、これを乾固させ秤量する方法
- 装置が小型・簡便
- 粒子化しないガス成分まで捕集してしまうため、数値が過大になる

□ 空気希釈法・空気直接冷却法

- 排ガスを清浄な空気で希釈して冷却し、フィルタに採取する
- 排ガスが煙突から排出された状態に近い状態、より現実に近い値が得られる
- 大量の希釈空気が必要とするため装置が大型かつ高価

20

凝縮性ダストの測定



21

凝縮性ダストのサンプリング

希釈プローブ



プローブを煙道に挿入したところ



22

凝縮性ダストのサンプリング

希釈チャンバー



制御ユニット



23

凝縮性ダストサンプリング

希釈空気発生用のコンプレッサ



200Vが必要(写真は発電機を使用した場合)



24

大規模煙源の実測について

□ 測定対象の事業所の選定

- 業種、燃料種、排出量を考慮
- 実際に測定できるか(スペース、測定孔位置、電源の確保等)

□ 1事業所当たりの測定工程(モデルケース)

	1日目	2日目	3日目	4日目	5日目
準備・機材搬入	→				
基本条件測定	→				
予備測定(PTFE)		→			
予備測定(石英)		→			
本測定(PTFE)			→		
本測定(石英)				→	
撤収					→

25

今後の課題

□ 測定方法の確立

- パーチャルインバクタの試験に望まれる条件
 1. 燃焼条件が安定した施設での検証
 2. ある程度ダスト濃度が高い施設での検証
- 凝縮性ダストの測定条件の検討
 1. 平衡化チャンバーの温度管理
 2. 混合条件、滞留時間の管理

□ 実測値の活用

- 業種、燃料種の代表性の確保
- 排出インベントリへの反映方法
- レセプターモデルに有効な発生源プロファイルの作成

26

関東甲信静における PM2.5 のキャラクターゼーション — 関東 SPM 合同調査 平成 26 年度のまとめ —

山梨県衛生環境研究所 大橋 泰浩

関東地方大気環境対策推進連絡会浮遊粒子状物質調査会議

1 はじめに

本浮遊粒子状物質調査会議は、昭和 56 年度、浮遊粒子状物質に対する取組として、1 都 3 県 2 市による「南関東浮遊粒子状物質合同調査」に始まり、以後参画自治体が増え、現在では 1 都 9 県 7 市（計 17 自治体）にまで拡大した。また、調査対象は平成 20 年度から夏季の微小粒子状物質（PM2.5）に注目して行うようになり、関東甲信静の広域的な PM2.5 濃度レベルの把握に加え、広域汚染のメカニズムについて検討してきた。

一方、環境省の事務処理基準改正により、PM2.5 の成分分析は自動測定器による質量濃度測定と同様に常時監視項目の一環に位置づけられたことから、分析は各自治体で行い、本調査会議では解析を重点的に行うスタイルへと移行してきた。

そこで本報告では主に平成 26 年度の夏季に実施した成分分析結果を用いた解析及び年間を通した常時監視データを用いた高濃度事象の解析を行ったので、関東甲信静地域の PM2.5 汚染状況、地域的な特徴など、明らかになった知見について報告する。

2 調査方法

2.1 調査地点と期間

成分調査は関東甲信静地域の一般環境大気測定局 26 地点で実施した(図 1)。調査期間は環境省推奨の試料捕集期間の夏季(平成 26 年 7 月 23 日(水)から 8 月 6 日(水))とし、コア期間の 7 月 28 日(月)から 8 月 4 日(月)を含めて解析を行った。

2.2 試料の採取及び分析方法

PM2.5 については、PM2.5 サンプラーを用いて PTFE 製ろ紙及び石英繊維ろ紙上に採取した。分析項目及び方法は質量濃度、水溶性イオン、炭素、無機元素について「大気中微小粒子状物質(PM2.5)成分測定マニュアル」に従い行った。また 9 地点においては、フ

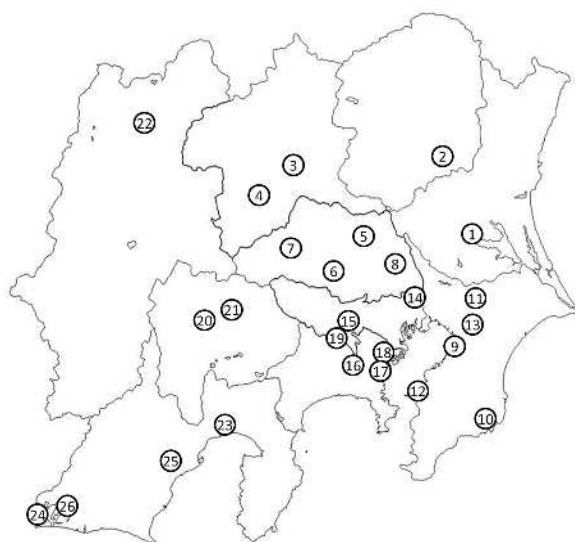


図 1 調査地点

- ①土浦 ②真岡 ③前橋 ④富岡 ⑤鴻巣 ⑥日高
- ⑦秩父 ⑧城南 ⑨市原 ⑩勝浦 ⑪佐倉 ⑫富津
- ⑬千葉 ⑭綾瀬 ⑮多摩 ⑯大和 ⑰横浜 ⑱川崎
- ⑲相模原 ⑳甲府 ㉑東山梨 ㉒長野 ㉓富士
- ㉔湖西 ㉕静岡 ㉖浜松

フィルターパック法を用いたエアロゾル成分及びガス状成分中の水溶性イオン成分の調査を同時に実施した。

3 調査期間中の気象概況

関東甲信、東海地方ともに梅雨明けは平年並みであり、7月21日頃であった。測定期間中は晴れの日が多かったが、8月に入ると雲の広がる日があった他、局地的に激しい雨も観測された。また、期間中の平均気温は平年より高く、日照時間は平年より長い地点が多かったことから、光化学スモッグ注意報を発令する自治体も散見された(7月23日から26日、31日、8月2日)。

4 調査結果

4.1 PM2.5 質量濃度

図2に夏季調査期間中(14日間)のPM2.5(常監)の平均濃度を示した。特に、関東地方の内陸部で比較的高濃度となる傾向が見られた。また、濃度が低かったのは②長野、②④湖西、②⑥浜松であった。

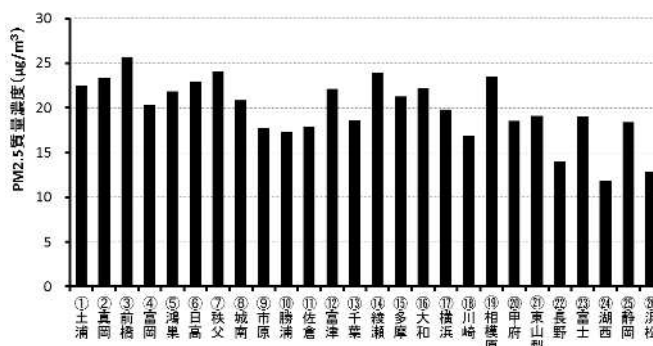


図2 PM2.5 濃度 (調査期間平均)

4.2 水溶性イオン成分濃度

夏季調査期間中(14日間)の水溶性イオン成分の平均濃度(全地点)は、 $7.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であり、過去5年間の調査で昨年度($9.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$)に次いで高い値となった。水溶性イオン成分濃度の分布をみると、東京都、埼玉県、神奈川県、静岡県(富士)でそれ以外の地域と比べ高い傾向であった。成分ごとに水溶性イオン成分中の組成割合を見ると、全地点で SO_4^{2-} が最も高く概ね65%以上であり、次いで NH_4^+ が20%以上であった。また、 NO_3^- は0.92%(⑩勝浦)から6.5%(⑧城南)の範囲にあり、比較的低い割合であった。

4.3 炭素成分濃度

夏季調査期間中(14日間)の全調査地点における平均濃度は、有機炭素(OC)が $4.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($2.4 \sim 7.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$)、元素炭素(EC)が $1.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($0.45 \sim 2.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$)、水溶性有機炭素(WSOC)は $3.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($2.5 \sim 3.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$)であった。PM2.5中の含有割合の平均は、OCが28%(19~38%)、ECが6.7%(3.6~11%)であり、OC中のWSOCの割合は、平均71%(39~95%)であった。濃度の地域的傾向としては、OCは⑥日高、⑦秩父、⑬千葉で高く、ECについては②真岡(ただし、8/2~8/6は欠測)、⑬千葉で高く、WSOCは⑫富岡で高い傾向が見られた。

4.4 無機元素成分濃度

無機元素成分濃度は、PM2.5 の濃度変動自体に与える影響はそれほど大きくないが、地点間及び日ごとの変動が大きいことから、期間内の日変動に重点を置いて解析を行った。コア期間について、各成分の前日濃度との比を算出し解析を行ったところ、地域ごとに同じような変動が見られたが、突出した変動も多く見られ、PM2.5 濃度の変動と無機元素成分濃度が逆の動きをする事例も多く認められた。

また、PM2.5 が高濃度となった 7/23 から 7/26 にかけて PM2.5 濃度と各無機元素成分濃度の相関を調べた結果、多くの無機元素成分濃度との間に強い相関がみられ、特に Cu, Zn, Sb, Pb は、半数以上の地点で相関係数 0.9 以上の強い相関が認められた。このことから、この期間の濃度上昇は、ブレーキ粉じんや廃棄物焼却による影響を受けた可能性が示唆された。

4.5 発生源寄与の推定

本調査では、夏季期間の分析データ（基本 14 日間分。欠測期間は除外。）を平均し、夏季の 1 期間データとして解析を行った。推定方法は、これまでと同様に Chemical Mass Balance 法を用いたが、線形計画法に加え、有効分散最小二乗法（EPA-CMB8.2）での解析も行なった。図 3、4 に各地点の発生源寄与濃度推定結果を示した。

どちらの方法でも、二次粒子が例年同様に全地点で 50%以上の最大寄与率を示し、他の発生源の寄与率と比較しても卓越していた。CMB8.2 では、全地点平均で 2 番目に自動車排ガスの平均寄与率が高く、3 番目に石油燃焼と続くが、二次粒子の 5 分の 1 以下であった。線形計画法では、2 番目に植物燃焼の平均寄与率が高く、3 番目に自動車排ガスであり、CMB8.2 とは異なる結果となった。その他の発生源については、計算方法間及び地点間で多少差があるものの、寄与率はそれぞれ概ね数%と低く、大きな差は認められなかった。

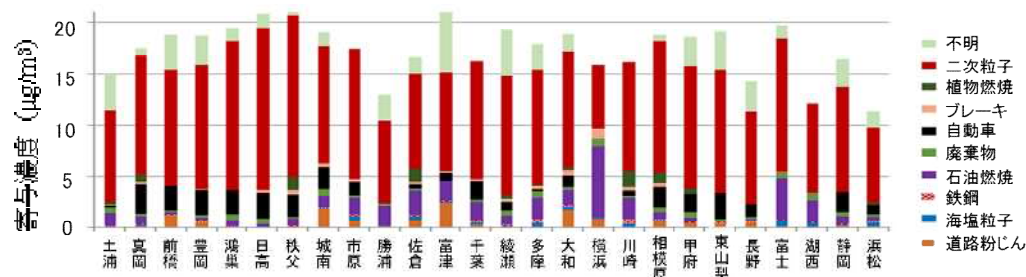


図 3 H26 年度発生源寄与濃度推定結果（EPA-CMB8.2）

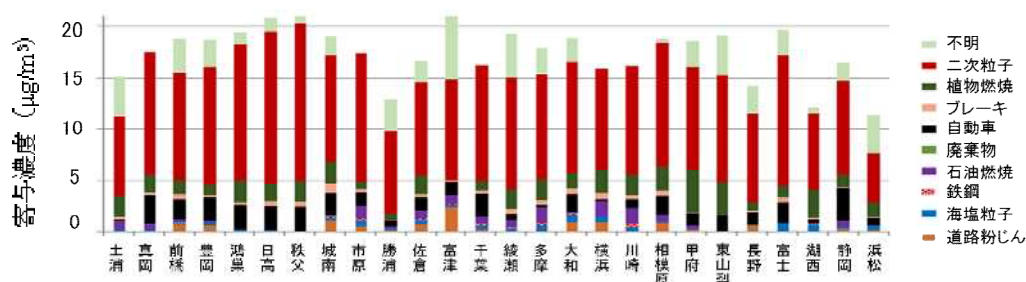


図 4 H26 年度発生源寄与濃度推定結果（線形計画法）

4.6 ガス状成分、エアロゾル成分（フィルターパック法）

本調査には1都7県1市の計9自治体に参加した。内陸部（①土浦、③前橋、⑤鴻巣、⑫甲府、⑫長野）と沿岸部（⑨市原、⑭綾瀬、⑮川崎、⑮富士）に分けて解析を行った結果、 SO_2 濃度は沿岸部で高く、 SO_4^{2-} 濃度はそれほど大きな差が見られなかった。沿岸部と内陸部における SO_4^{2-} 濃度の日間変動は同様の傾向が見られ、内陸部では $\text{PM}_{2.5}$ 濃度の増減とよく一致していた。また、内陸部で粒子化率の増加が見られたが、この傾向は例年と同様であった。 HNO_3 濃度は内陸部で高く、 NO_3^- 濃度は沿岸部及び前橋で高かった。また内陸部では、 HNO_3 濃度と NO_3^- 濃度のどちらも $\text{PM}_{2.5}$ 濃度の変動と挙動が類似していた。一方、 HCl 濃度は内陸部の⑤鴻巣で最も高くなったが、その他の地点は沿岸部、内陸部共に顕著な差は見られなかった。 Cl^- 濃度は沿岸部で高かった。沿岸部で Cl^- 濃度が高かった要因の一つとしては、海塩中に Cl^- が多く含まれるため、その影響が大きいことが考えられる。

5 年間を通じた $\text{PM}_{2.5}$ 高濃度の出現状況

平成 25 年 2 月に注意喚起の暫定指針値が示されたことから、夏季のみならず年間を通じた高濃度事例の調査が重要となっている。このような中、本調査では、昨年度と同様に、平成 26 年度の 1 年間の常時監視測定データから高濃度日出現状況を調査した。また、新たな試みとして、広域的に発生した $\text{PM}_{2.5}$ 高濃度事象については、常時監視項目データ（1 時間値）を用いた時間分解能を高めた解析を実施するとともに、成分分析期間中に発生した高濃度事例については、成分分析結果を用いた解析も実施した。

5.1 常時監視データによる $\text{PM}_{2.5}$ 高濃度日出現状況の把握

使用データは平成 26 年 4 月 1 日～27 年 3 月 31 日までの日平均値であり、解析対象地点は一般局 116 測定局とした。月別の高濃度日数を図 5 に示した。7 月が最も多く、次いで 5、6 及び 12 月が多かった。平成 25 年度は 7～8 月に多く発生しており、高濃度事象の発生時期は年によって異なることが分かった。次に、高濃度発生率を図 6 に示した。平成 25 年度は夏季と晩秋～冬季に高濃度発生率が高かったのに対し、平成 26 年度は春季に高い結果であり、特に 6 月についてはほぼ全地域（長野県以外）で概ね高い傾向にあった。都県別でみると、東京都が最も高く、次いで静岡県、神奈川県であった。

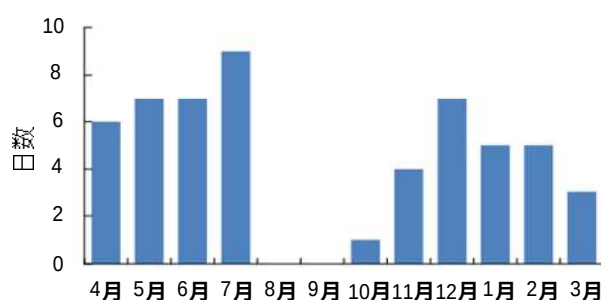


図 5 月別の高濃度日数（ $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 超過日数）

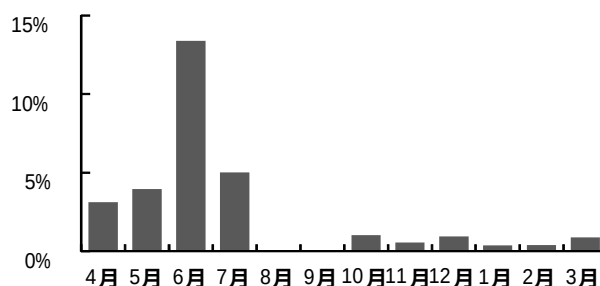


図 6 $\text{PM}_{2.5}$ 高濃度日発生率
（ $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 超過データ数/全データ）

また、主な PM2.5 高濃度事象の期間と発生地域を表 1 に示した。

5.2 PM2.5 高濃度事象の詳細解析

表 1 に示した高濃度事象のうち、季節的な特徴を考慮して E3 を除く 5 事象を解析対象とし、常時監視データ（1 時間値）を用いて高濃度事象の詳細解析を行った。

各事象の特徴と推測される要因を表 2 に示した。4 月の事象（E1）は、越境汚染と地域汚染との複合的な汚染、5～6 月の事象（E2）は、黄砂を含む粒子状物質の移流と光化学反応による二次粒子の生成、7 月の事象（E4）は、主に光化学反応による硫酸系二次粒子の生成が高濃度化の要因と考えられた。また、10～11 月の事象（E5）及び 3 月の事象（E6）は、主に地域的な影響を受けて硝酸系二次粒子や有機粒子が生成したと推測された。このような NO_3^- , OC の増加による PM2.5 の高濃度化は、平成 25 年度の秋冬季にも同様の事象が見られており、この季節における高濃度化については関東内での地域汚染の影響が大きく、PM2.5 濃度低減のためには、地域内での発生源対策が重要と考えられる。

表 1 主な PM2.5 高濃度事象※1

事象 No.	期間	発生範囲
E1	H26/4/16～18	茨城県、栃木県を除く 8 都県
E2	5/29～6/4	全地域
E3	6/16～18	7 都県
E4※2	7/23～7/26	長野県を除く 9 都県
E5※2	10/31～11/1	長野県、山梨県を除く 8 都県
E6	3/16～19	南関東および茨城県

※1 比較的大規模の事象を掲載。

※2 成分分析期間中に発生した高濃度事象。

表 2 高濃度事象の特徴と推測される要因

事象	規模 ※	特 徴	推測される要因
E1	中	東海地方や東京湾沿岸部(西側)、関東平野中央部から北西部、甲信地方などで発生。関東平野の東部では発生していない。正午から深夜にかけて濃度が上昇。	越境汚染と地域汚染との複合的な汚染と考えられた。光化学反応が盛んで地域汚染としては主に硫酸系二次粒子が生成したと推測される。鹿島灘からの東風により関東東部の濃度が上昇しない。
E2	大	東海から東京湾沿岸部にかけて発生したのち、関東全域に拡大。連日高濃度が発生した。濃度のピークは正午頃にみられるが夜間の濃度も比較的高かった。	関東圏への黄砂を含む粒子状物質の移流と光化学反応による二次粒子の生成とが加わり、連続した高濃度が発生したと推測される。
E4	中	関東平野の中央部と東海地方の一部で発生。濃度のピークは正午頃にみられた。	主に光化学反応による硫酸系二次粒子の生成により濃度が上昇したと推測される。(詳細は 4.1～4.6 節を参照。)
E5	中	関東平野の中央部で発生。短期的に濃度が上昇。濃度のピークは午後 6 時から深夜にかけてみられた。	埼玉付近で濃度が上昇した後北風に乗って高濃度域は関東平野南部に移った。Ox 濃度上昇は限定的であり、主に地域的な影響を受け硝酸系二次粒子や有機粒子が生成したと推測される。また成分分析から廃棄物燃焼やバイオマス燃焼などの影響も示唆された。
E6	小	東京湾の西側(主に東京、神奈川)で限定的に発生。濃度のピークの出現時刻は期間内で異なった。	活発な光化学反応はみられず、湿度が高かったことから、主に地域的な影響を受け硝酸系二次粒子や有機粒子が生成した可能性が高いと考えられた。(3 月 19 日は原因物質と PM2.5 の濃度分布が一致せず生成要因は不明)

※【規模の目安】(35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 超の地点が) 対象調査地点の 3 割未満：小、3～6 割：中、6 割超：大

6 精度管理結果

イオン成分については、精度管理用試料を調製し、各機関へ未知試料として配付した。 NO_3^- で平均濃度から 30%以上過大な値を示した機関、 K^+ で平均濃度から 30%以上過小な値を示した機関が 1 機関ずつあり、変動係数 CV (%) が 10%を超えたが、それ以外の成分については CV (%) が 10%以内であり概ね良好な結果であった。

炭素成分については、ハイボリウムエアサンプラーで石英繊維ろ紙上に大気粉塵を採取し、これを未知試料として配付した。結果は OC について CV (%) が 10%を超えたが、EC については、10%以内であり概ね良好な結果であった。

無機元素成分については、市販の混合標準液（24 元素）を希釈したものを配付した。成分ごとに CV (%) に差があり、特に Ca, Sc, Se では 20%以上と比較的大きかった。その他、4 元素（K, Cu, Zn, La）についても CV (%) が 10%を超えるものが見られたが、17 元素については、各機関の CV (%) が 9%以内であった。

7 今後の課題

平成 23 年度から PM2.5 の成分分析が常時監視の一環として各自治体で行われるようになった。平成 24 年度までは主要項目について、本調査会で協力・分担して分析が行われていたが、平成 25 年度には各自治体で分析体制が整ったことから、主要項目についてはほぼ各自治体の分析データが出揃うことになった。こうした中で各自治体のデータを解析したところ、平成 25 年度と同様、平成 26 年度のデータについても、特に無機元素成分では各機関での分析結果のバラツキが大きく、検出下限値のレベルにも差が見られた。今後も分析条件の共有や統一試料を用いた精度管理に努める必要がある。

また、平成 25 年度に開始した「常時監視データによる PM2.5 高濃度日出現状況の把握」を引き続き行うとともに、今年度から大気汚染常時監視の 1 時間値（PM2.5 以外も含む）を用いた PM2.5 高濃度事象の詳細解析を始めた。その結果、各高濃度事象の特徴を捉え、その要因を推測することができた。これまでは、夏季を中心とした解析を行ってきたが、夏季以外にも特に春季や冬季に高濃度日が見られ、関東甲信静でも地域によって高濃度となるパターンが異なることから、今後は、四季の特徴を捉える解析方法にシフトするとともに、継続的に年間を通じた高濃度事象の解析を行っていく必要があると思われる。そして、本調査会で得られた知見については、学会やホームページ等で広く情報提供されることが望まれる。