

# 複合分析で見えてくる PM<sub>2.5</sub>濃度変動のメカニズム

竹川 暢之

首都大学東京・大学院理工学研究科

開発当時：東京大学・先端科学技術研究センター

(連絡先: [takegawa@tmu.ac.jp](mailto:takegawa@tmu.ac.jp))

平山 紀友

富士電機株式会社

JST理事長定例記者説明会

2014年5月19日

## 謝辞

本装置の開発は、JST先端計測分析技術・機器開発プログラム (H20-24年度, 澤田開発総括) の課題として実施されました。

装置のフィールド試験を実施するにあたり、川崎市よりご支援・ご協力を頂きました。

## 共同研究者

東京大学

近藤 豊, 茂木 信宏, 小澤 優哉

富士電機株式会社

小泉 和裕, 武田 直希, 田原 雅哉, 武居 正彦

JAMSTEC

金谷 有剛, 竹谷 文一, 宮川 拓真

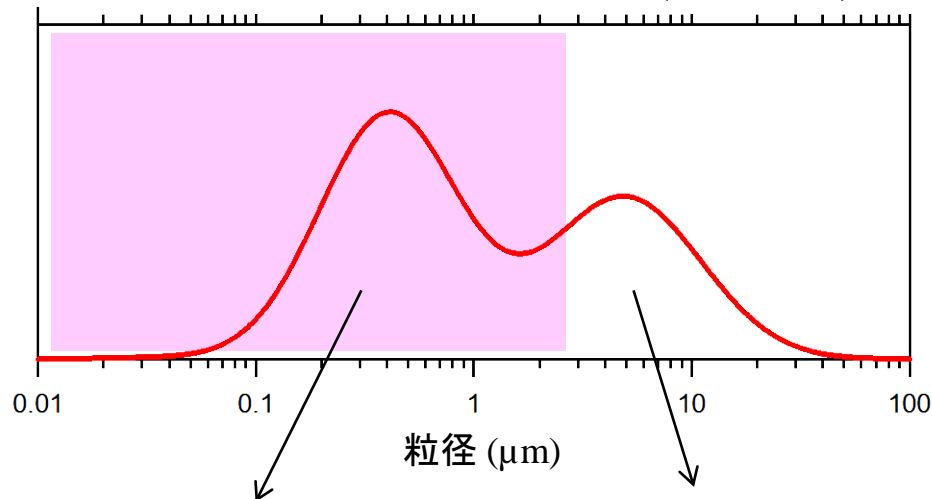
# PM<sub>2.5</sub>: 直径2.5 μm以下のエアロゾル粒子

## エアロゾル

微粒子が空気に分散した系

PM<sub>2.5</sub>粒径区分:  
2.5 μmで捕集率50%

典型的なエアロゾル粒径分布 (質量濃度)



微小粒子 (粒径 < 2.5 μm)

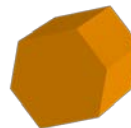


ディーゼル煤粒子

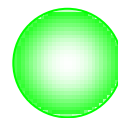


硫酸塩粒子

粗大粒子 (粒径 > 2.5 μm)



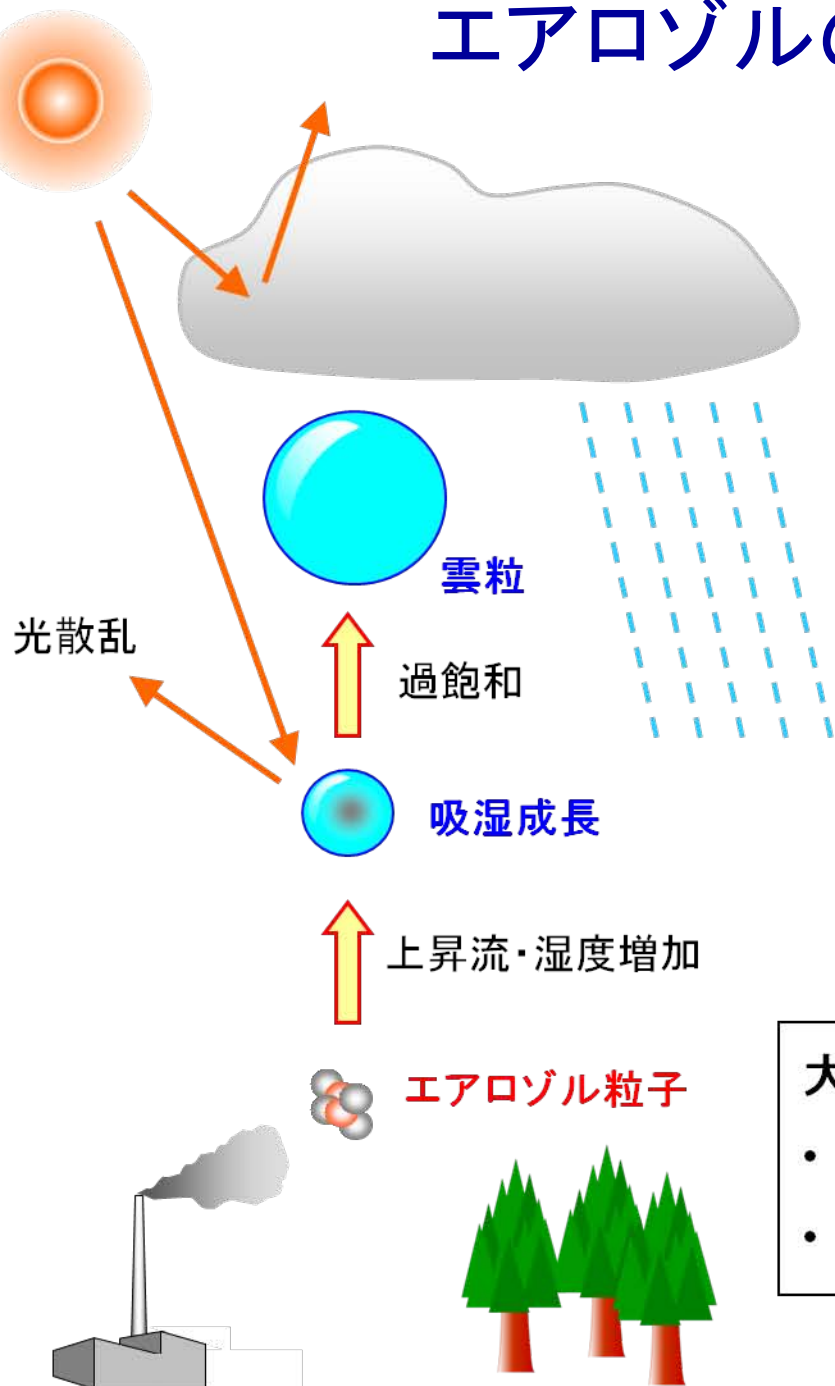
鉱物粒子 (黄砂など)



生物粒子 (花粉など)

エアロゾルは 気管支や肺に沈着しやすい ⇒ 呼吸器疾患の要因  
日射の散乱・雲生成の核 ⇒ 気候変動への影響  
物質輸送のキャリア ⇒ 例えば放射性物質

# エアロゾルの大気環境影響



## 雲生成

- 凝結核として雲生成
- 粒子数の増加 ⇒ 小さい雲粒
- 日射の減少、降水の変化

## 日傘効果

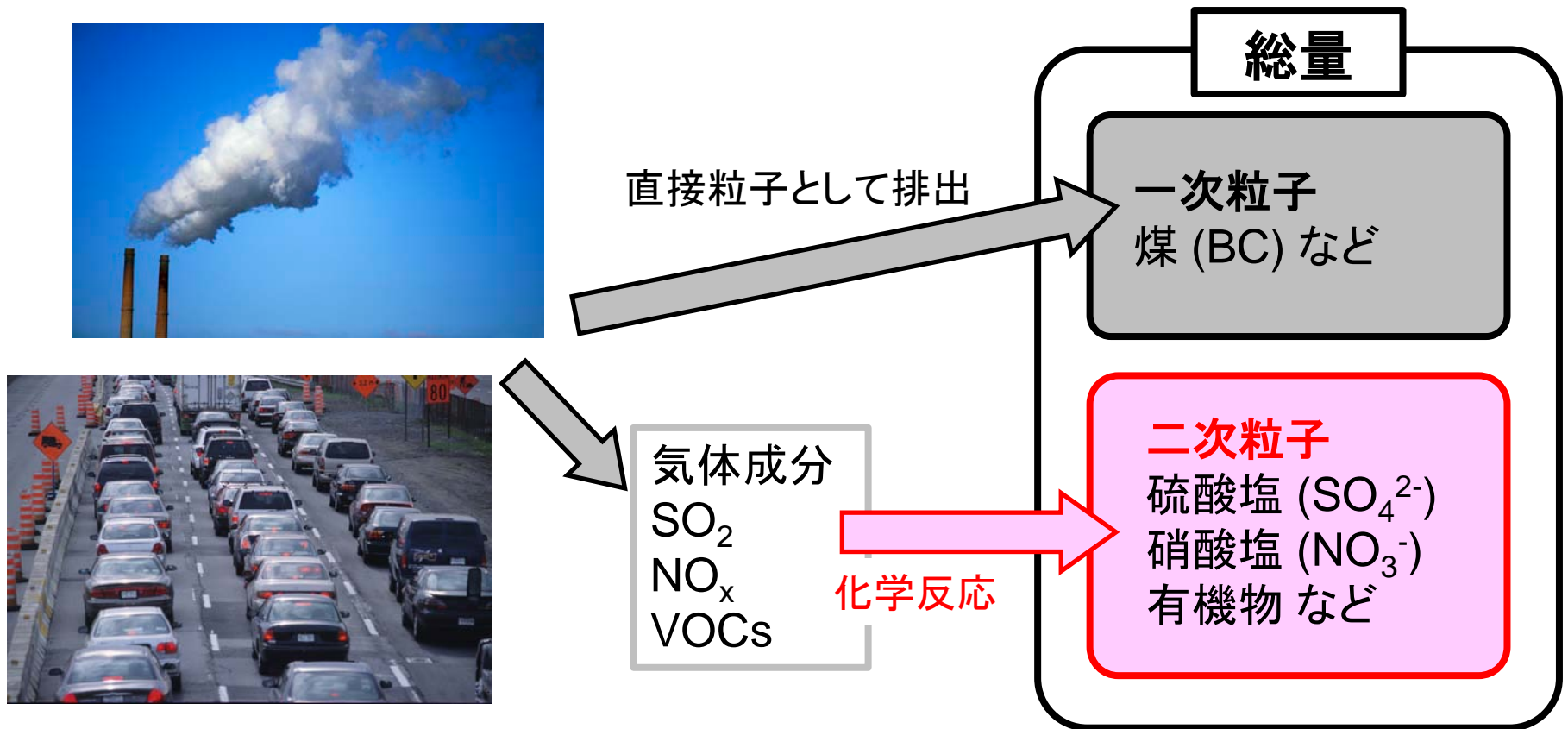
- 太陽光の散乱・吸収
- 地表へ到達する日射の減少

## 大気汚染 (PM<sub>2.5</sub>)

- 視程の悪化 (スモッグ)
- 健康影響 (呼吸器疾患)

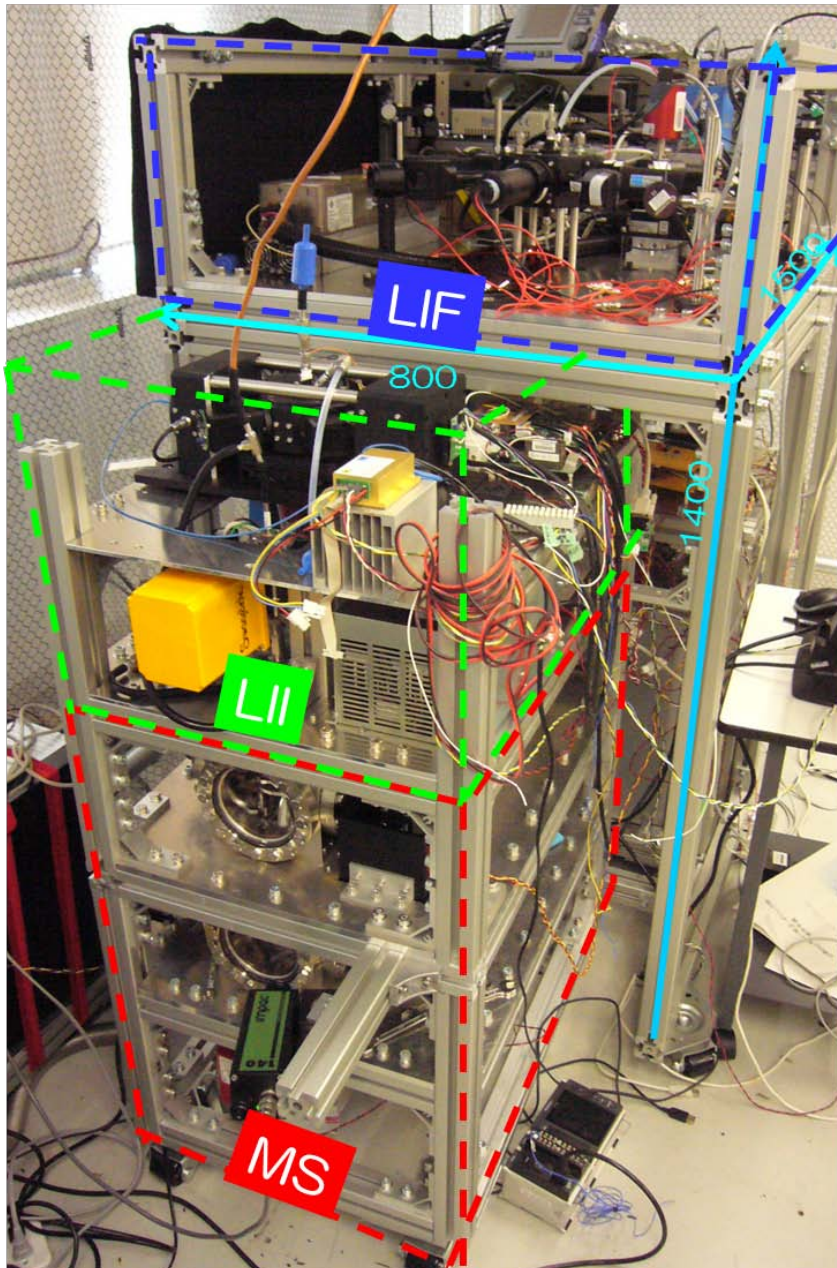


# エアロゾルの発生源



- 沿道など発生源近傍を除くと、**平均的には二次粒子の方が圧倒的に多い**。
- 多くの場合、**硫酸塩、硝酸塩、有機物**で二次粒子のほとんどを占める。その寄与率は発生源分布と気象場に強く依存し**短時間で変動**。
- エアロゾル総量の変動要因を解明するには、**化学組成の実時間計測**が必要。

# エアロゾル複合分析計



試料空気の流れに複数の分析法を適用し、粒子の特性を多角的に実時間計測 (対象粒径範囲0.1~2.5  $\mu\text{m}$ )

**レーザー誘起蛍光検出部 (LIF)**: 生物粒子・土壌粒子の判別

**レーザー誘起白熱光検出部 (LII)**: ディーゼル起源などの煤粒子を定量

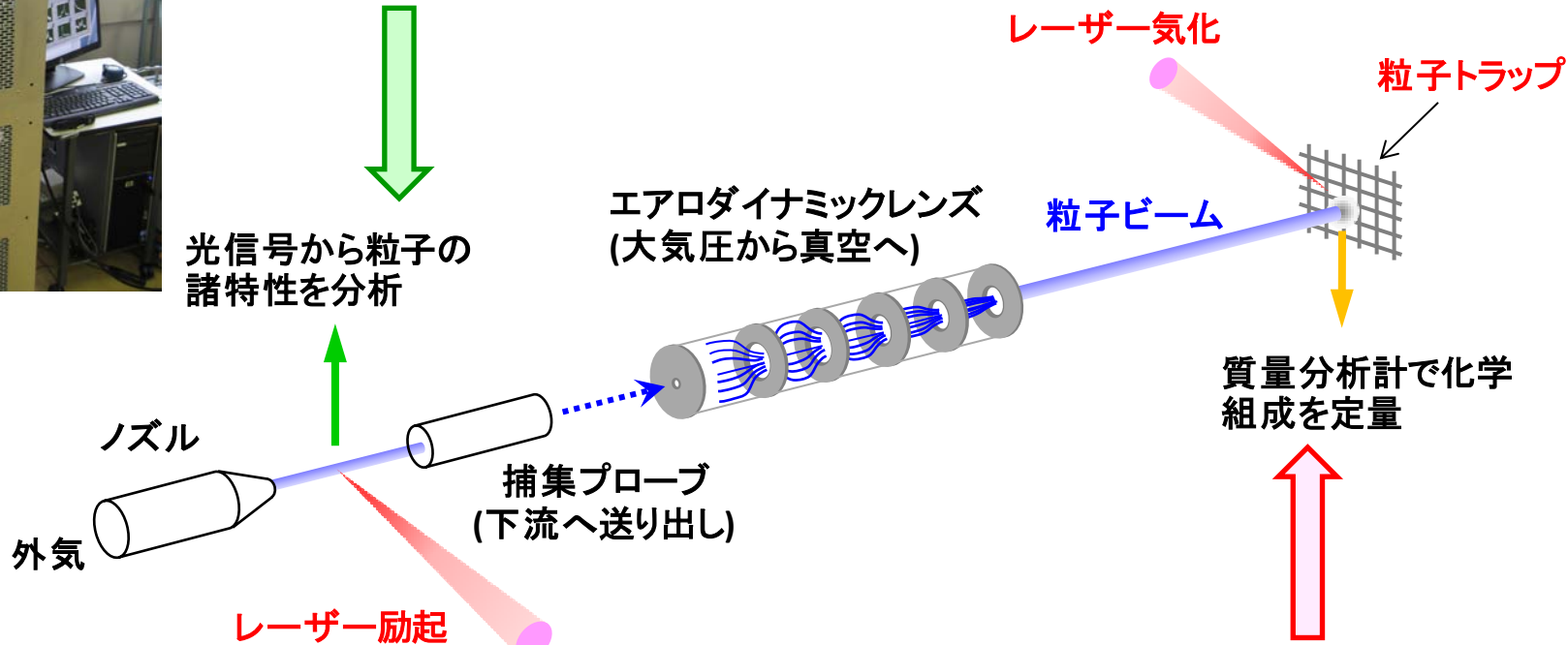
**質量分析部 (MS)**: 硫酸塩や硝酸塩等の化学組成を定量

要素技術の組み合わせで、新しい物理量を導出できる  $\Rightarrow$  1 + 1 が3や4になる

# 可搬型LII-MS複合分析計



**レーザー散乱・白熱光検出部 (LII)**  
レーザーキャビティに粒子を導入  
光信号から総粒子・煤粒子を測定

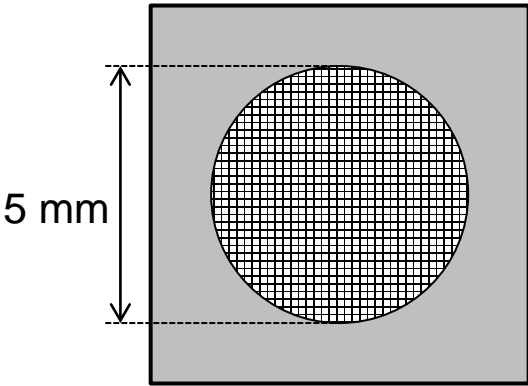


**加熱-質量分析部 (MS)**  
微細構造のトラップに粒子を捕集  
レーザー脱離質量分析: 硫酸塩、硝酸塩 等

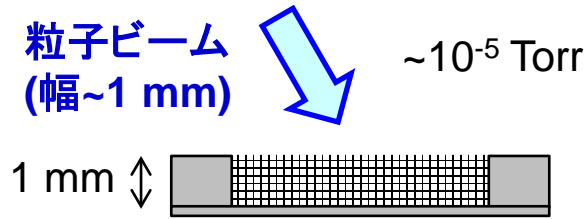
# 最大の特長：質量分析部の粒子トラップ

Takegawa et al., AST, 2012

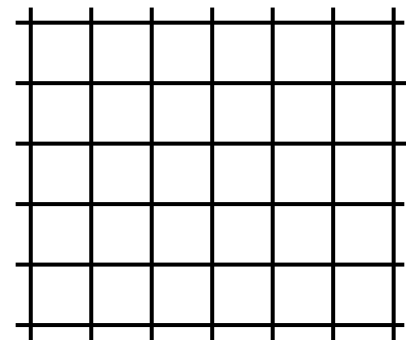
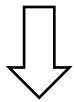
Top view



Side view (cross section)



粒子は高速衝突で多くのエネルギーを失う  
多重散乱・減速された粒子はやがて捕捉される

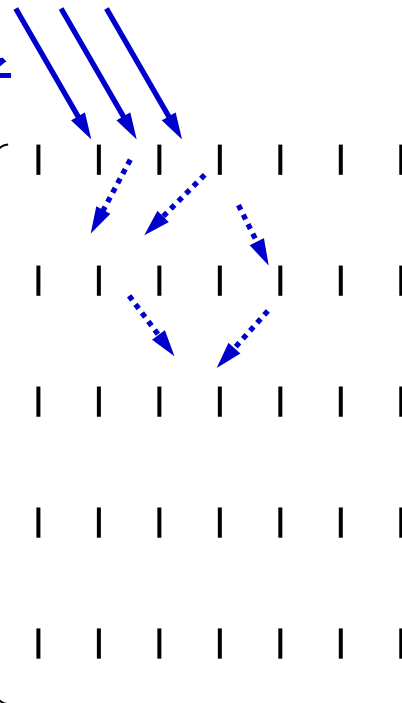


100 μm

粒子

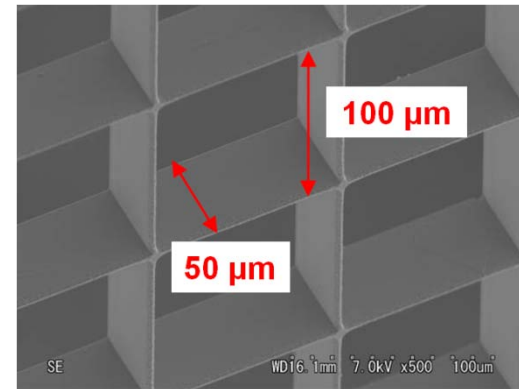
多層の格子  
(~1 mm)

底板



$d = 50 \mu\text{m}$

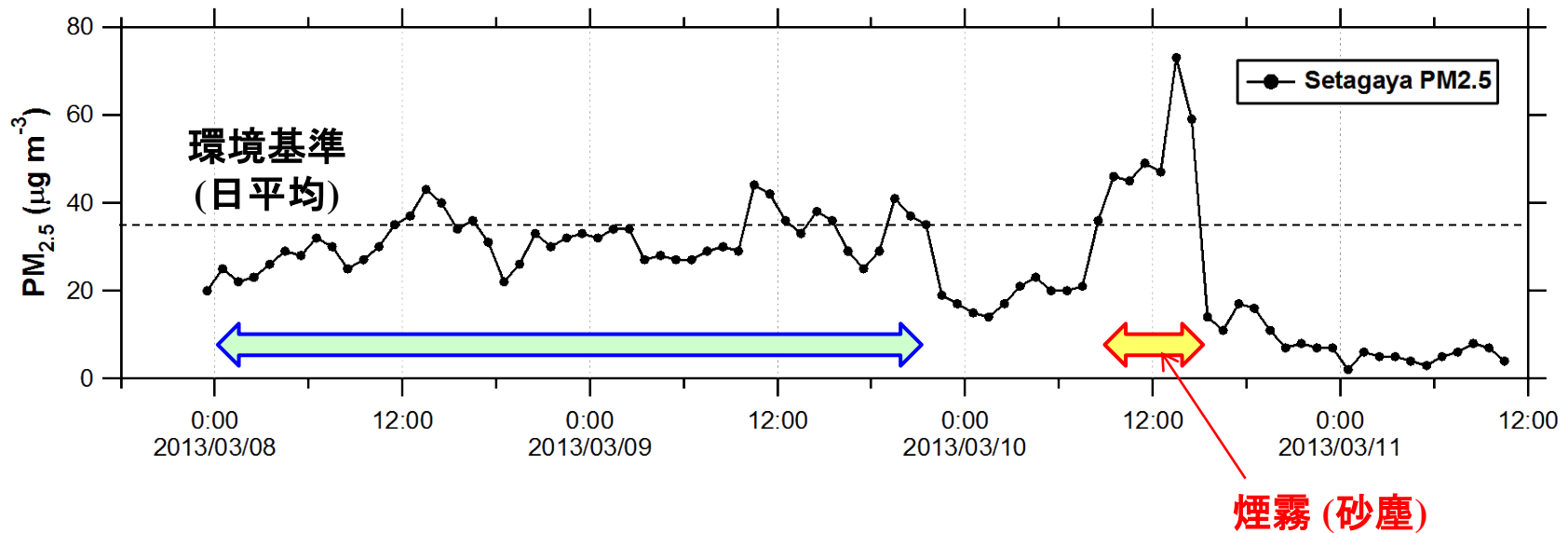
$D = 150 \mu\text{m}$





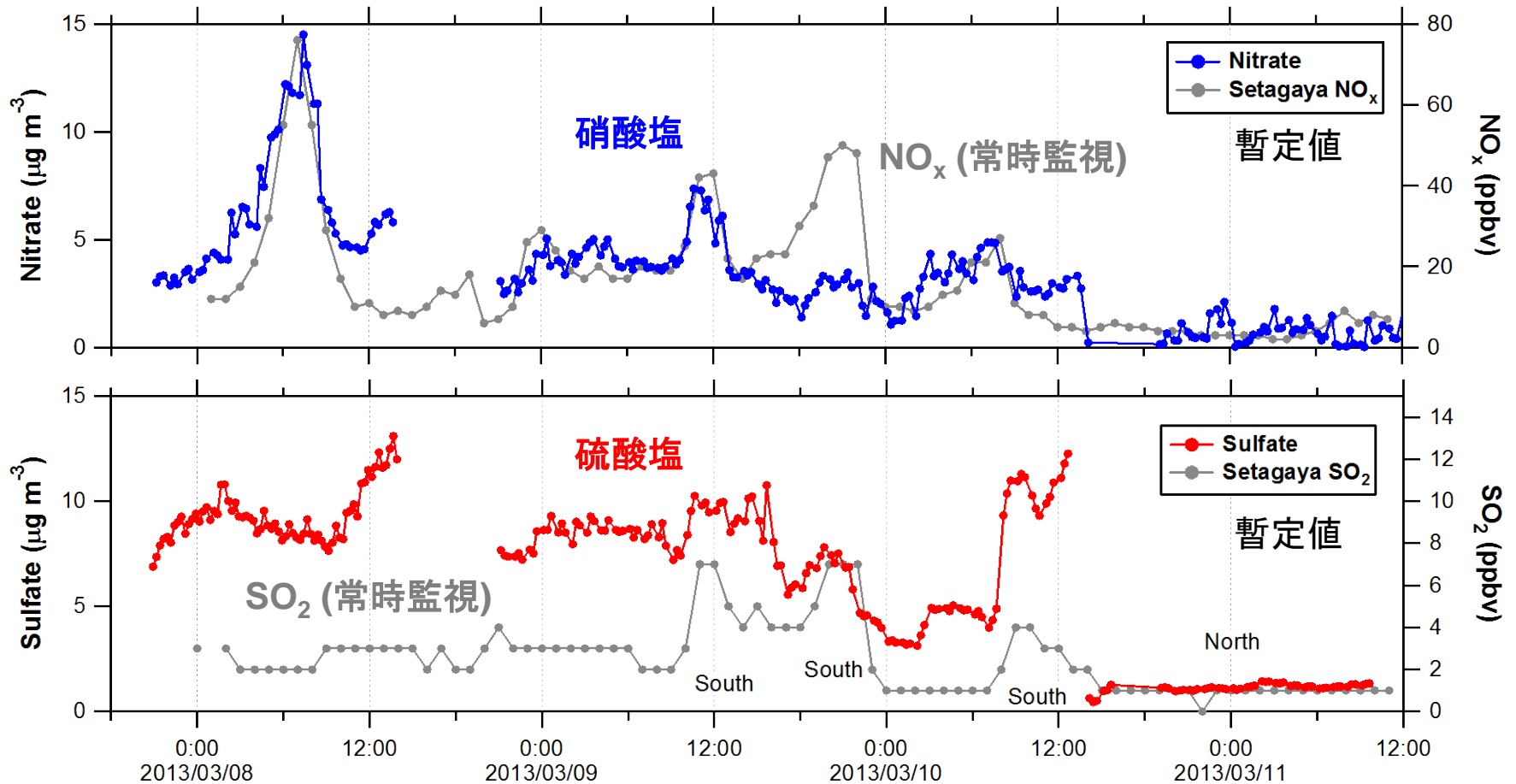
# 東京における試験観測 (2013年3月)

世田谷のPM<sub>2.5</sub>濃度 (常時監視データから引用, 暫定値)



- 常時監視局では、主にβ線吸収法によりPM<sub>2.5</sub>質量濃度が測定されている。
- いわゆる「煙霧」のときはPM<sub>2.5</sub>が極端に高濃度であったが、あくまで自然現象の一つ。それより前の定常的に高濃度だった期間の方が慎重な解釈を要する。
- PM<sub>2.5</sub>総量だけを見てもその変動要因は理解できない。

# 実時間の組成分析の重要性



- 実時間の組成分析により、PM<sub>2.5</sub>変動要因を知る手掛かりになる。
- 硝酸塩 ( $\text{NO}_3^-$ ) の濃度変動はローカルな生成で説明可能。
- 一方、硫酸塩 ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) の濃度変動はローカル生成ではおそらく説明できず、越境輸送の影響が大きかったと推定される。

# 私たちは何を知りたいのか？

## 環境基準：国民の安全・安心を守るための達成目標

対象物質	環境基準			告示日
	1時間	日平均	その他	
SO <sub>2</sub> (ppmv)	0.10	0.04	-	1973/05/16
NO <sub>2</sub> (ppmv)	-	0.04-0.06	-	1978/07/11
CO (ppmv)	-	10	20 (8 h)	1973/05/08
SPM (mg/m <sup>3</sup> )	0.20	0.10	-	1973/05/08
O <sub>x</sub> (ppmv)	0.06	-	-	1973/05/08
PM <sub>2.5</sub> (μg/m <sup>3</sup> )	-	35	15 (1 y)	2009/09/09

### 現行の取り組み

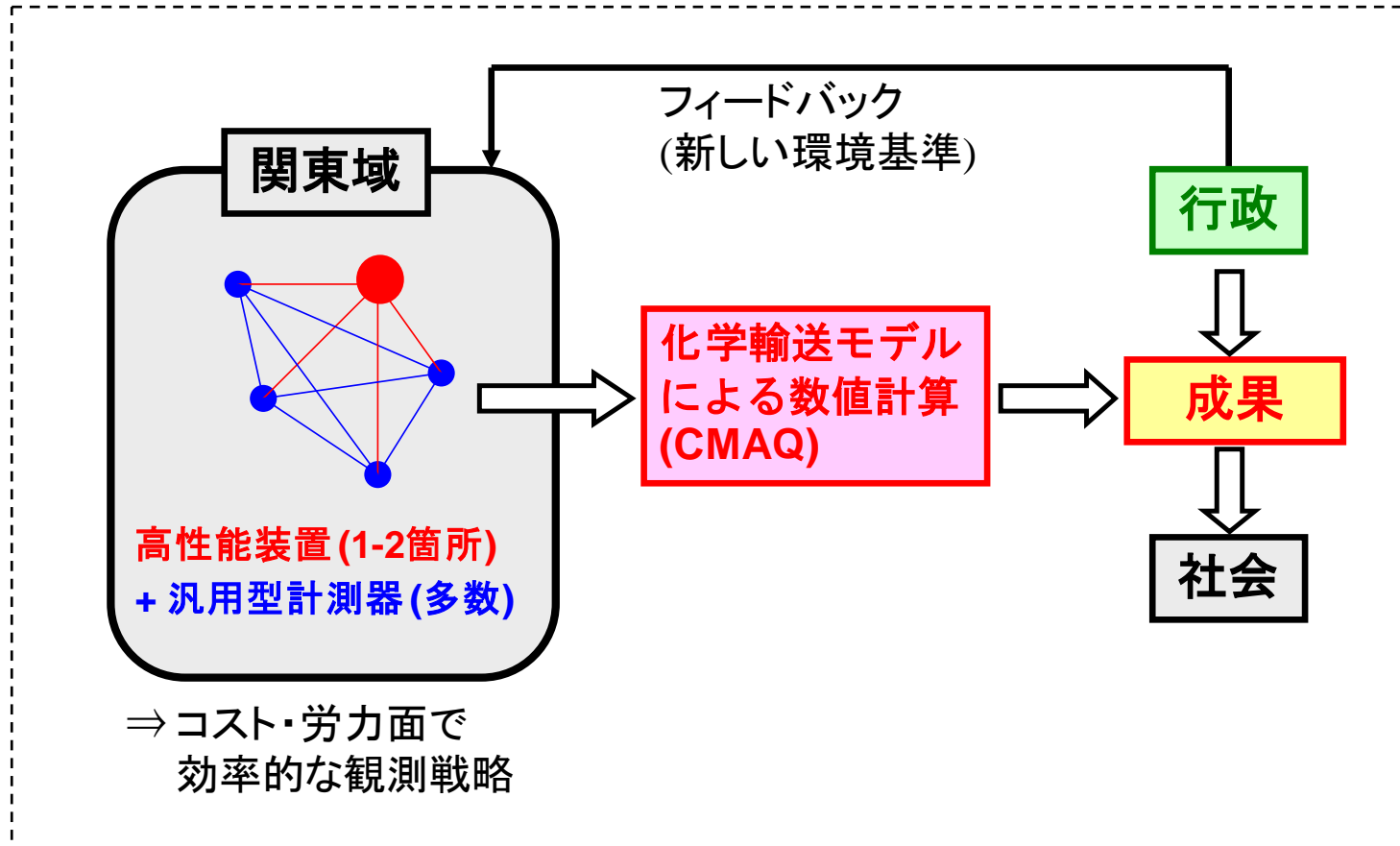
- PM<sub>2.5</sub>総量の常時監視、フィルター組成分析 (定期的)
- 長期的な視点で国内の環境改善度を評価するためには必要不可欠

### 「効率的」「能動的」な対策を促すために ...

- PM<sub>2.5</sub>総量監視、フィルター分析を強化することが解決策となりうるか？
- 様々な活動にフィードバックできる情報 → 適切なデータの解釈、準即時性が重要
- 日本国内だけでなくアジア全体に目を向けることが必要

# 昔の資料より

2005年9月環境省会合  
(近藤・竹川)



## 当時足りなかったもの

- 社会的関心 (ニーズ) の高まり
- 民間企業の積極的な参入による技術開発
- 関東域だけでなくアジア全域を見据えた大きな戦略

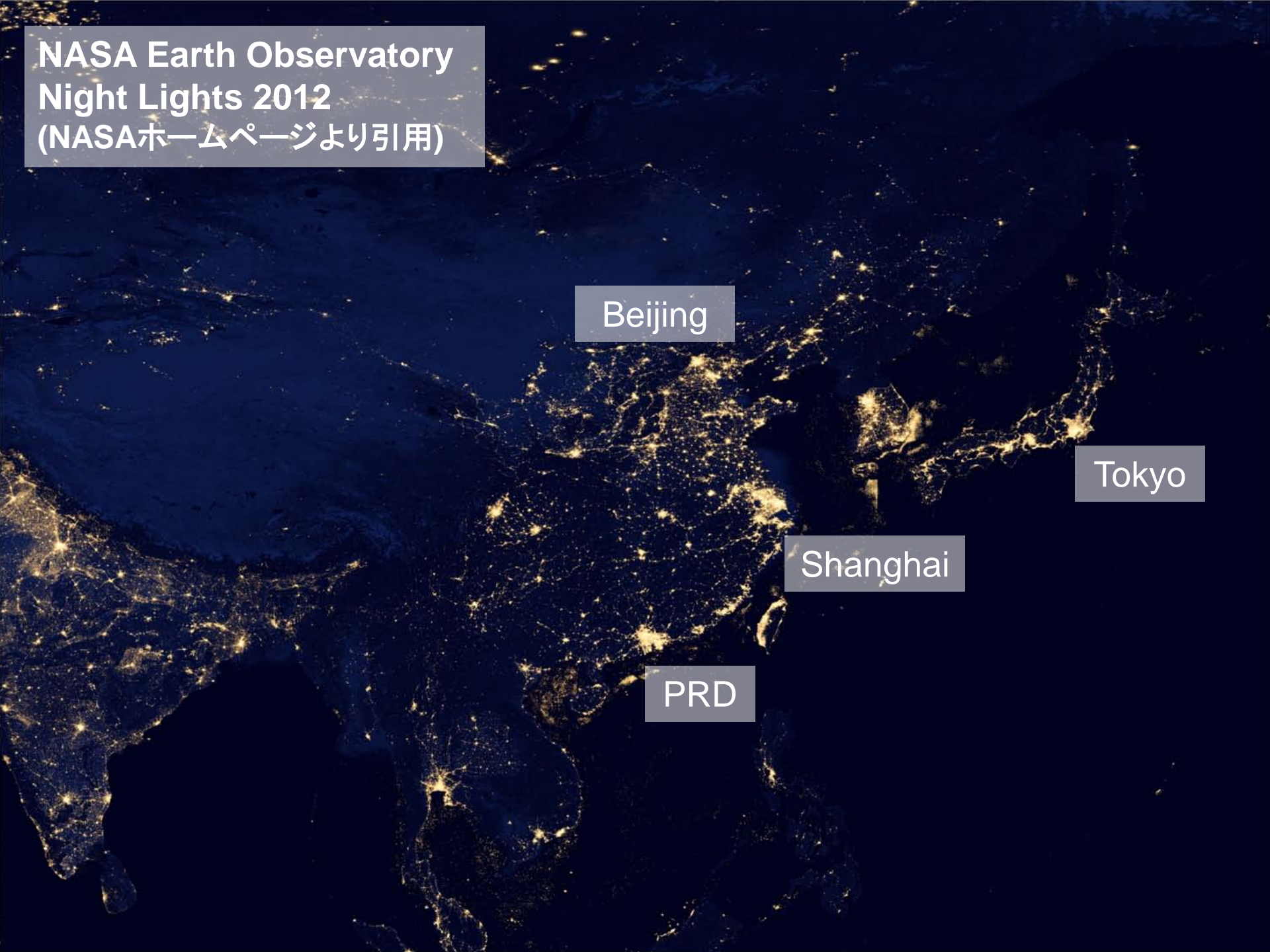
NASA Earth Observatory  
Night Lights 2012  
(NASAホームページより引用)

Beijing

Tokyo

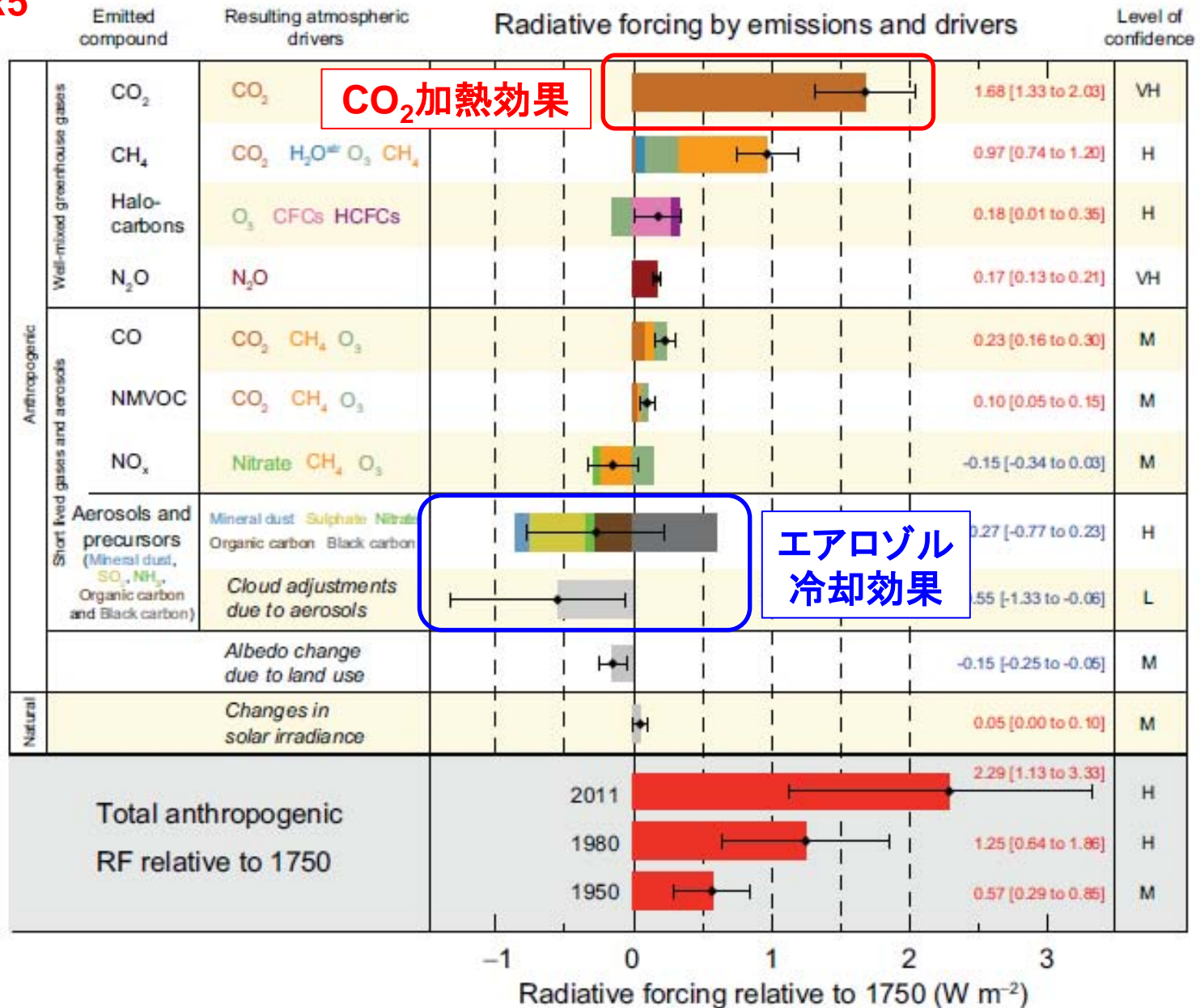
Shanghai

PRD



# 大気環境への影響は複雑である

IPCC AR5



# まとめ

## 成果

- エアロゾルの発生源・生成過程は多岐にわたるため、その総量だけでなく様々な物理・化学特性を複合分析することが重要である。
- 開発したエアロゾル複合分析計は、
  - ⇒ 大気科学研究の新しいツールとして活用されることが期待される。
  - ⇒ **既存の大気汚染常時監視ネットワークと融合**することで、効率的な対策へ向けて新しいソリューションを提供しうる。

## 課題

- 様々な環境での性能評価。
- データを効率的に解析できるアルゴリズム開発。
- 広域大気汚染と気候変動の両方を見据えた国際戦略。