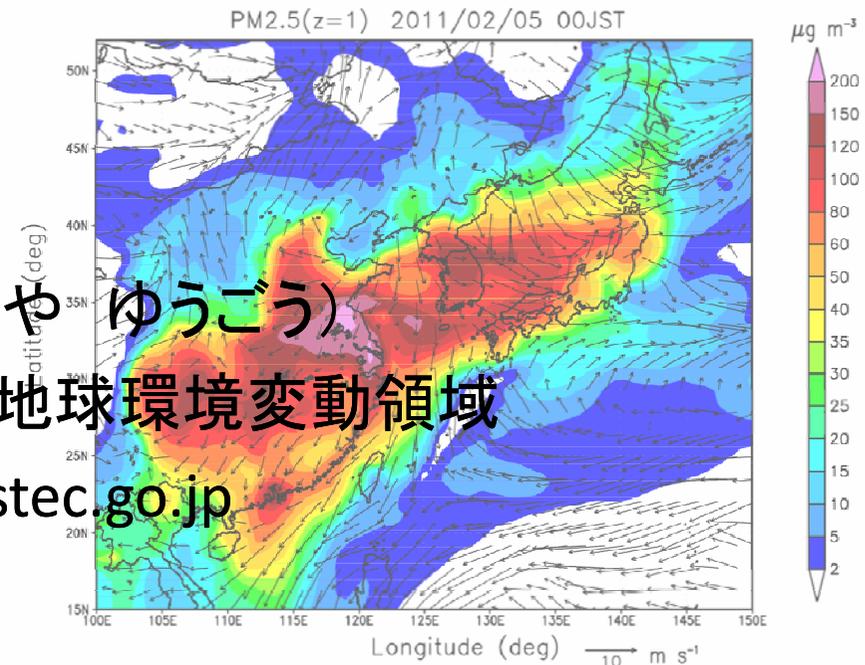


# 日本のPM<sub>2.5</sub>はどこからくるか ～越境汚染の寄与をさぐる～

1. PM<sub>2.5</sub>とは？最近の話題の背景
2. PM<sub>2.5</sub>はどこからどれだけ来るのか: オゾンと対比的に
3. 対策を効果的に進めるために



金谷有剛(かなや ゆうごう)  
海洋研究開発機構 地球環境変動領域  
yugo@jamstec.go.jp



# 2013年冬、PM<sub>2.5</sub>が大きな話題となる

## ●北京での記録的なスモッグ報道 (2013年1月13日)

一時間値で900  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

J-CASTニュース トピックス 社会

### PM2.5問題で中国に「高い関心」伝える 菅官房長官

2013/2/ 8 18:00

微小粒子状物質「PM<sub>2.5</sub><sup>8件</sup>」が中国から日本に飛来している問題で、菅義偉官房長官は2013年8日午後の定例会見で、外務省から中国側に対して「日本として高い関心を持っている」と伝えたことを明らかにした。あわせて、春節(旧正月)明けにも日中で協議し、問題解決に向けた協力体制について検討する。

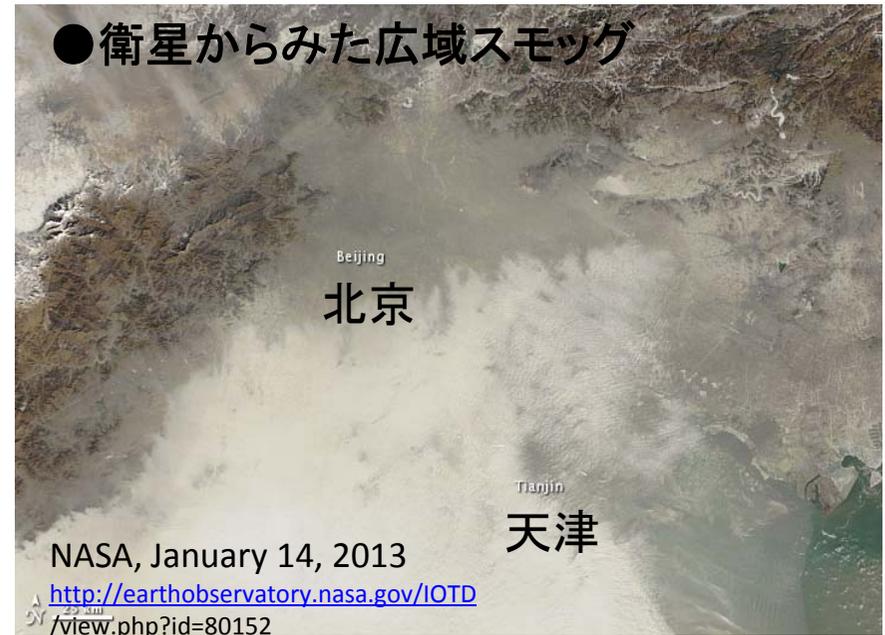
それ以外にも、環境省と外務省が連携して、「東アジア酸性雨モニタリングネットワーク」(EANET)を活用したPM<sub>2.5</sub><sup>8件</sup>の観測網の充実を呼びかける。



会見する菅義偉官房長官

<http://www.j-cast.com/2013/02/08164755.html>

## ●衛星からみた広域スモッグ



NASA, January 14, 2013

<http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=80152>



●実際の越境汚染の寄与は？  
有効な対策は？ 科学的知見が必要

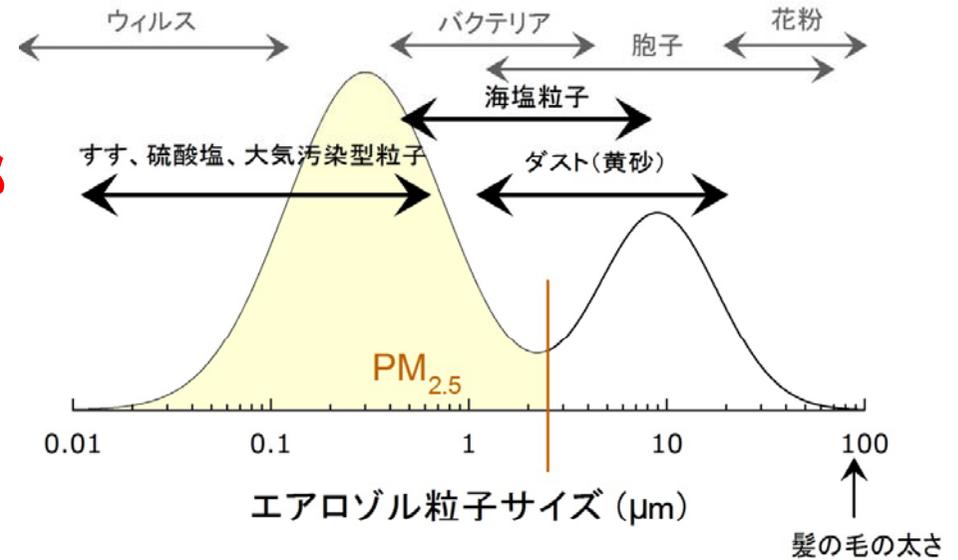
# PM<sub>2.5</sub>とは

空气中を漂う粒子状物質(エアロゾル)の一部

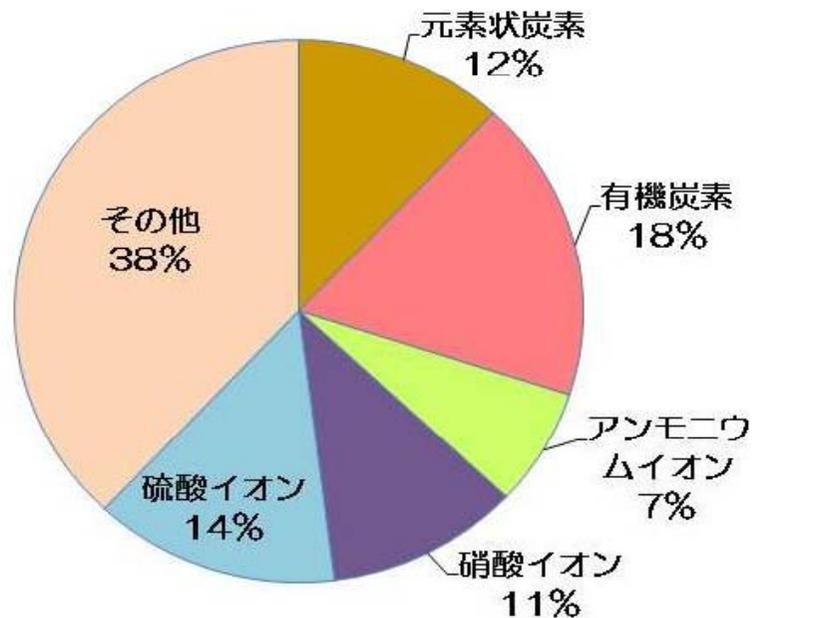
● **大きさ**: 2.5 μm以下の微小粒子

エアロゾル粒子(0.01 ~ 数十μm)の一部

● **組成**: 硫酸、硝酸、アンモニウムイオン、  
有機物、すす(元素状炭素)



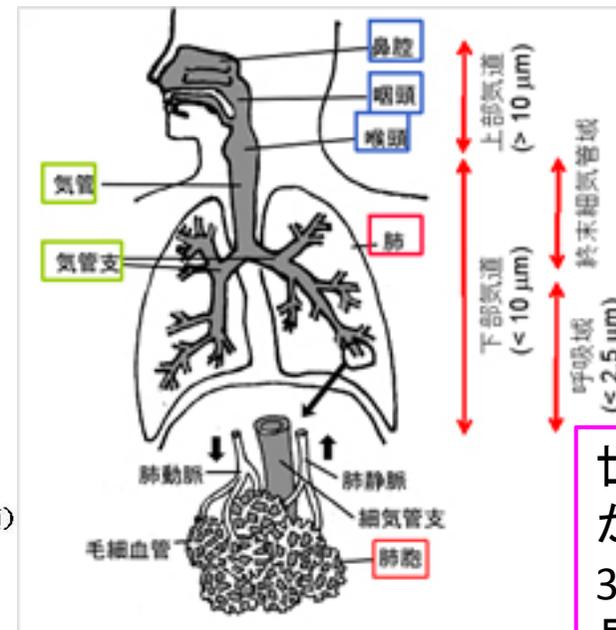
H22冬 (平均23 μg/m<sup>3</sup>)



PM<sub>2.5</sub>の濃度及び主要成分の割合 (県内5地点の平均値)  
(出典: 神奈川県公害防止推進協議会)

PM<sub>2.5</sub>濃度の単位: μg/m<sup>3</sup>  
(1 m<sup>3</sup>あたりマイクログラム)

● **健康に影響**(気候・気象にも影響)  
微小粒子は肺の奥まで入り込みやすい



世界ではPM<sub>2.5</sub>が原因で  
320万人以上が早死と推計

# PM<sub>2.5</sub>とは(続き)

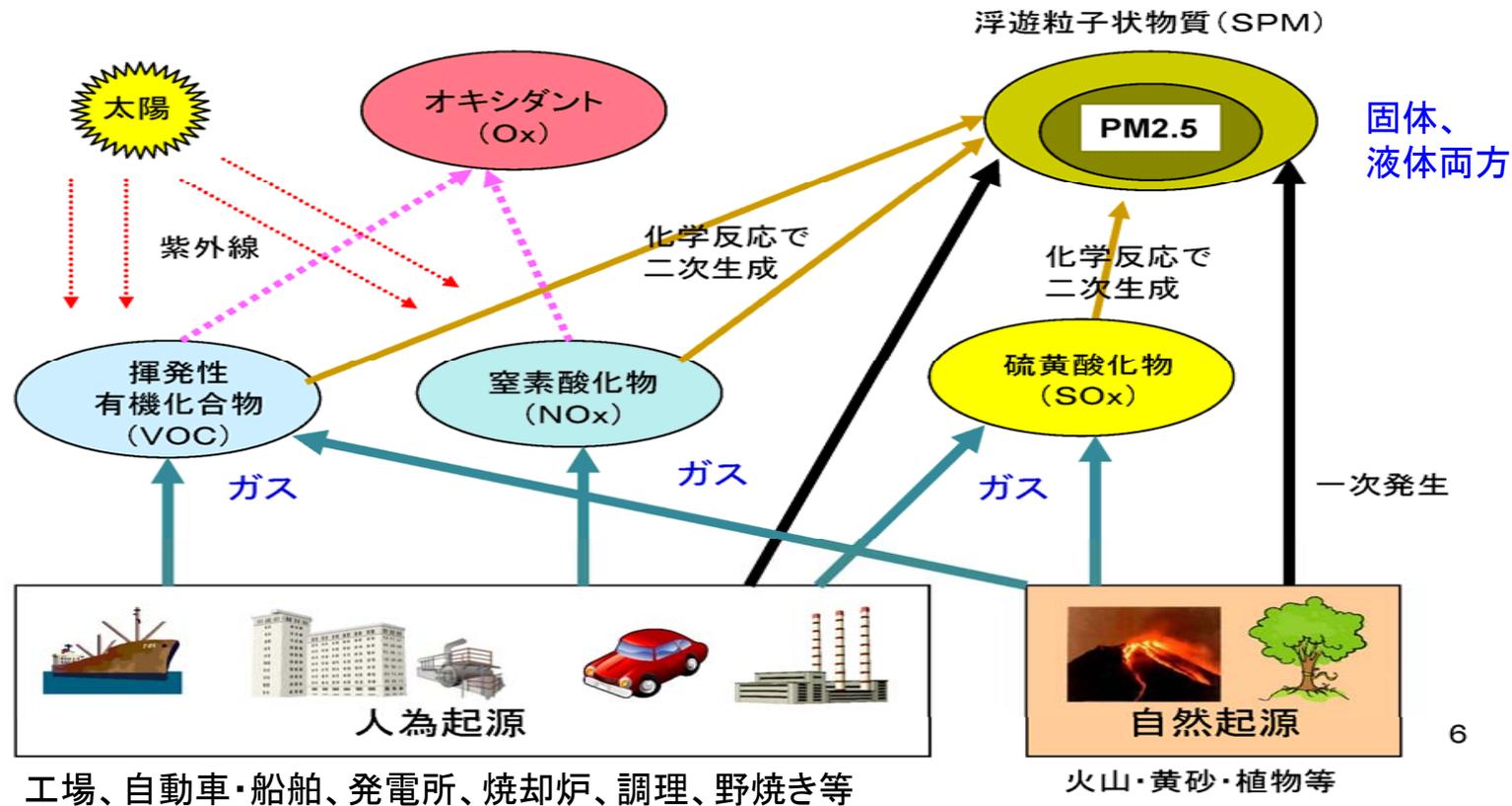
## ●多様な起源:

人間活動: 工場・車・発電所の排気、農業(施肥)、肉調理

自然起源: 火山ガス、砂嵐、植物、海の波飛沫、森林火災

～一次発生(直接排出)、二次生成(大気中でできる)、両方ある～

## ●空气中を漂っている時間: およそ～7日: 全球一様にはならない



# 越境大気汚染の最前線：福江島での観測

福江島大気環境観測施設  
(32.75° N, 128.68° E)

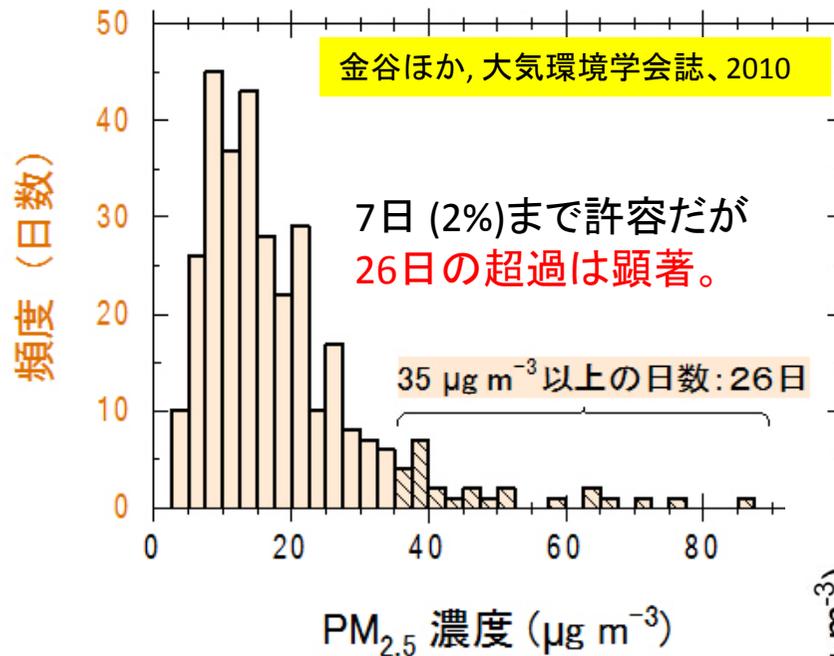


- 福江島大気環境観測施設：千葉大学、国立環境研究所等の共同運用サイト
- JAMSTECは2009年2月より観測を開始

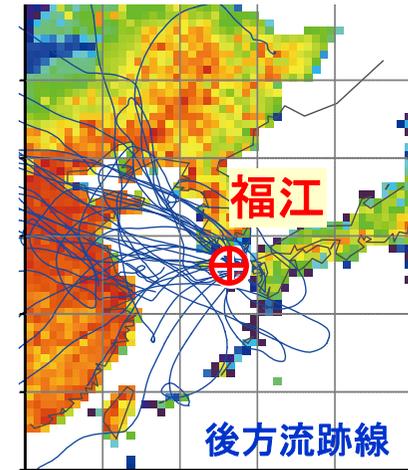
# 福江島PM<sub>2.5</sub>通年観測

※環境基準(2009): 年平均値: 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  以下、かつ1日平均値: 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  以下

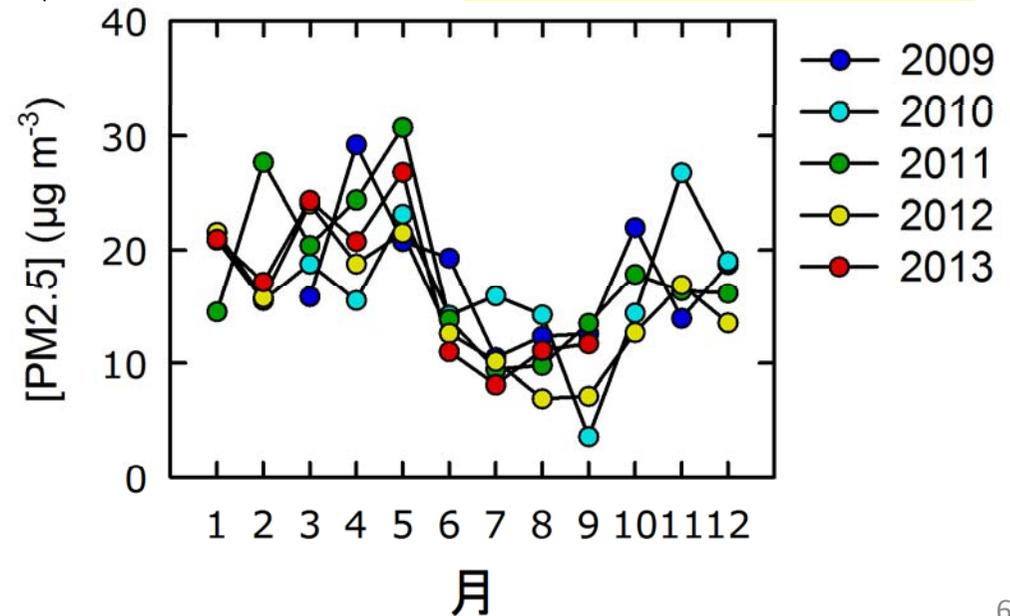
離島でさえPM<sub>2.5</sub>環境基準を超過: 越境大気汚染が主原因



◎超過日の気塊は主に大陸方面から



金谷, 日経サイエンス2013 を改訂



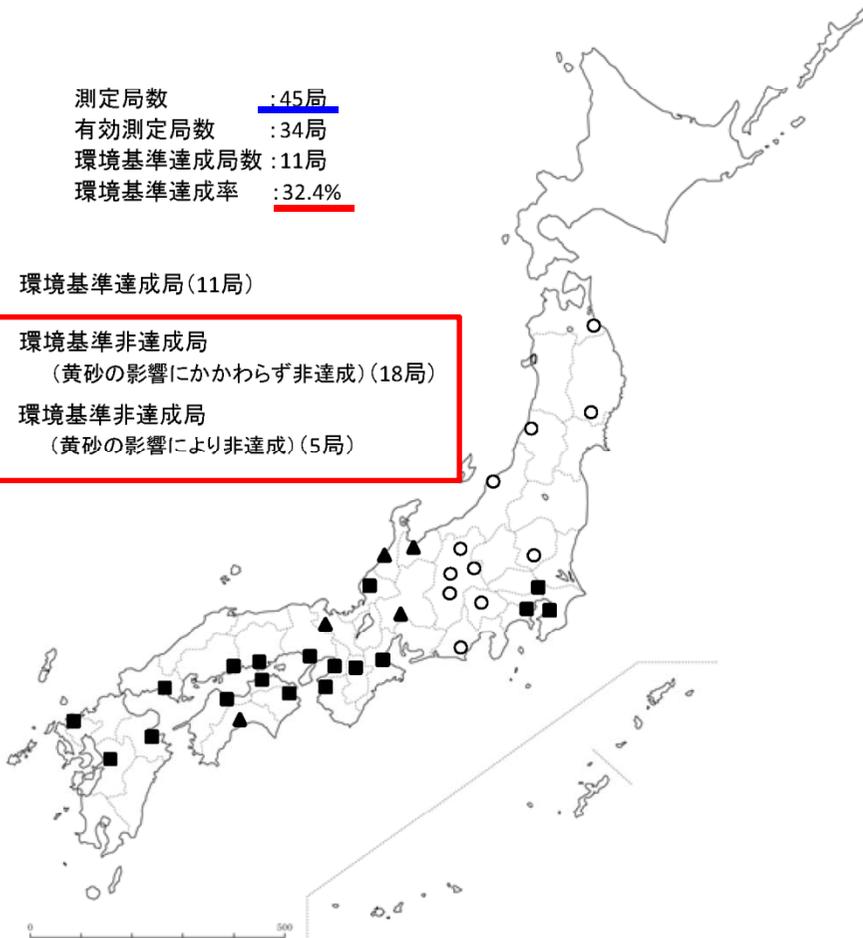
◎この5年で急増しているわけではない  
◎2013年1月も例年と大差なし  
→急に騒ぐのではなく10年規模で注視

# PM<sub>2.5</sub>環境基準達成状況 環境省

2010年度

測定局数 :45局  
有効測定局数 :34局  
環境基準達成局数 :11局  
環境基準達成率 :32.4%

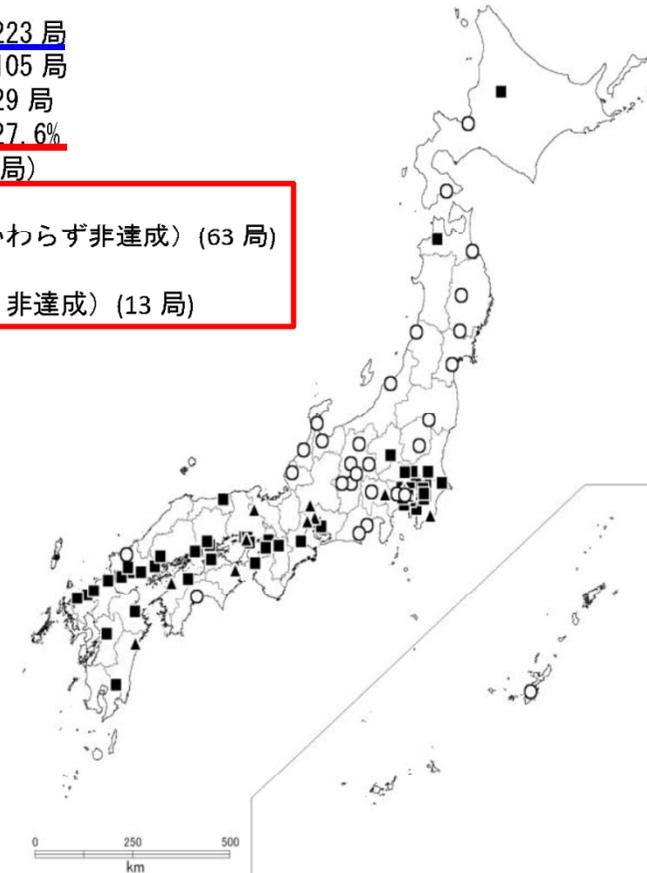
- 環境基準達成局(11局)
- 環境基準非達成局  
(黄砂の影響にかかわらず非達成)(18局)
- ▲ 環境基準非達成局  
(黄砂の影響により非達成)(5局)



2011年度

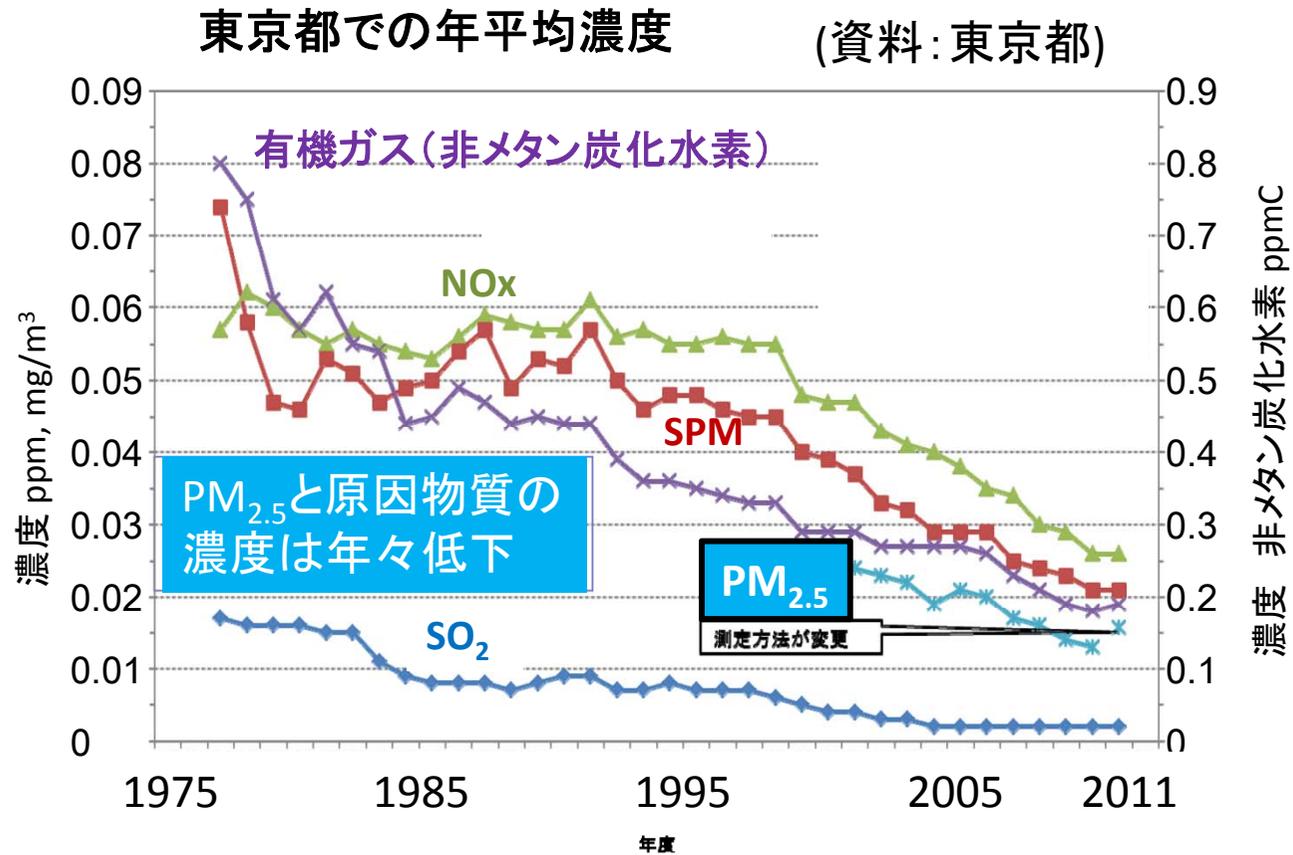
測定局数 :223局  
有効測定局数 :105局  
環境基準達成局数 :29局  
環境基準達成率 :27.6%

- 環境基準達成局(29局)
- 環境基準非達成局  
(黄砂の影響にかかわらず非達成)(63局)
- ▲ 環境基準非達成局  
(黄砂の影響により非達成)(13局)



- 達成率約3割: 西日本では概して非達成:大陸からの影響の可能性
- 現在:環境省による監視地点:約500カ所まで増加

# 日本でも首都圏ではPM<sub>2.5</sub>が年々低下傾向



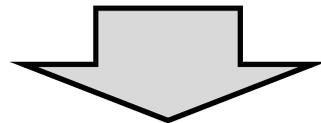
● 着実なSO<sub>2</sub>, NOx, 非メタン炭化水素の削減、PM<sub>2.5</sub>も低下傾向



## PM<sub>2.5</sub>はどこからどれだけ来るのか？

**観測**：発生場所に関する目印の情報から推測できる場合もあるが、割合に関する答えを出せない

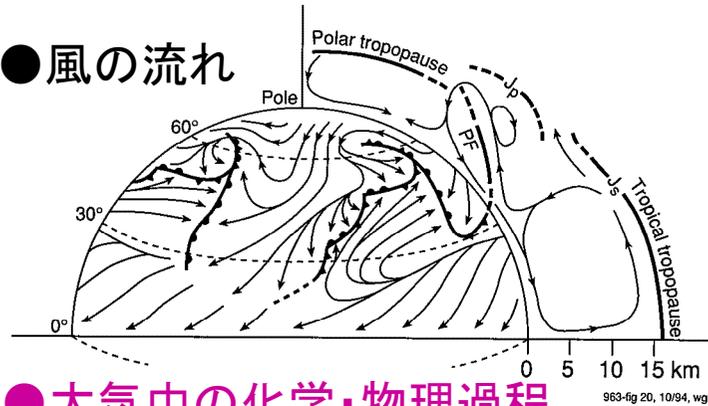
**モデルシミュレーション**：答えを出せるが信頼性検証が必要



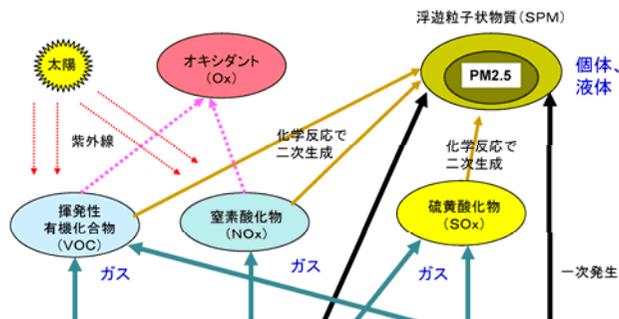
**観測**により**モデル**をよく検証、改良したのちに  
モデルを駆使して、  
どこからどれだけ来たものか(ソースレセプター関係)について答えを導く

# モデルシミュレーションを使う

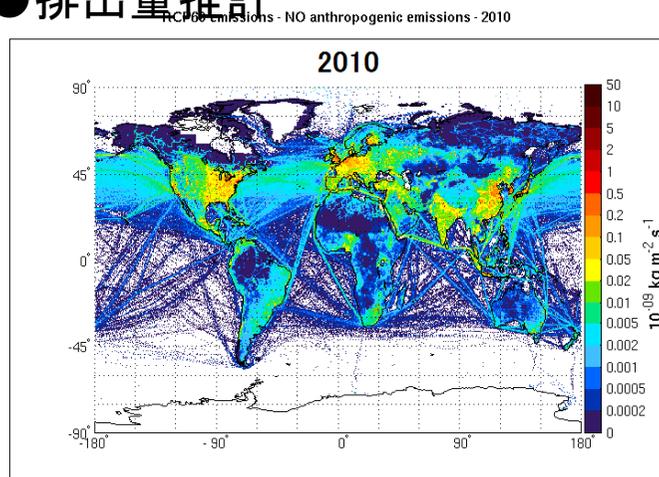
## ● 風の流れ



## ● 大気中の化学・物理過程



## ● 排出量推計



## ◎ 地球を格子状に区切る

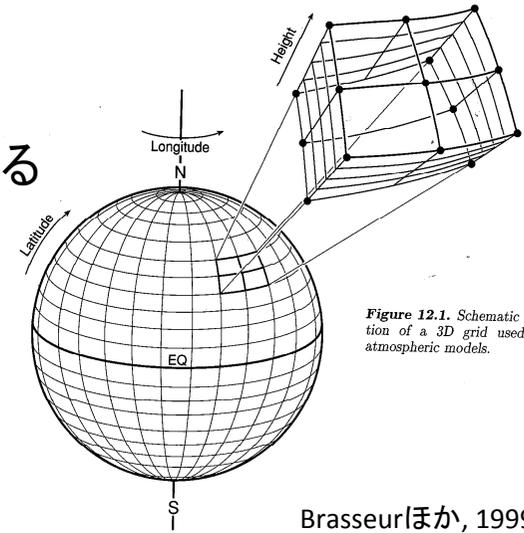
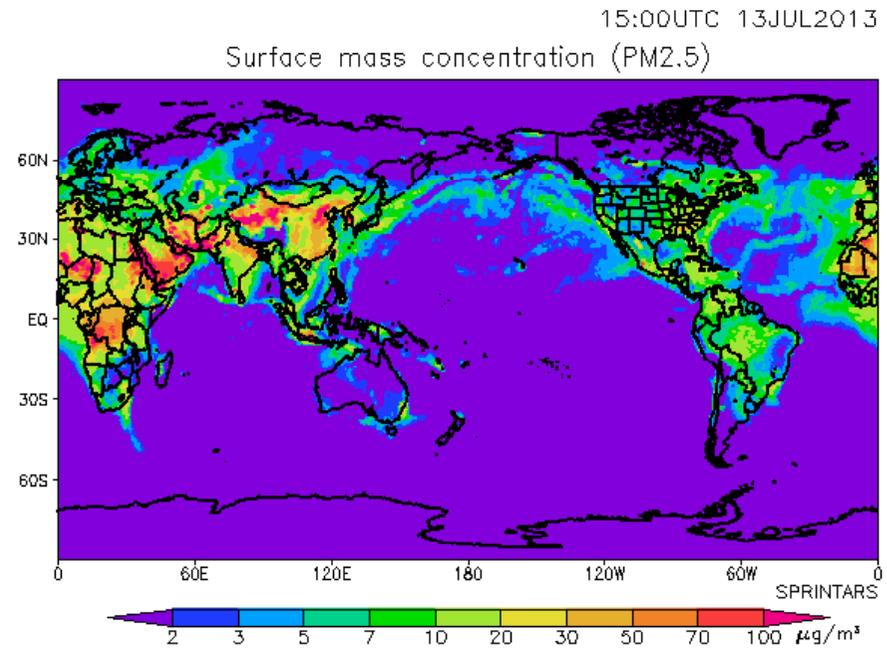


Figure 12.1. Schematic representation of a 3D grid used in global atmospheric models.

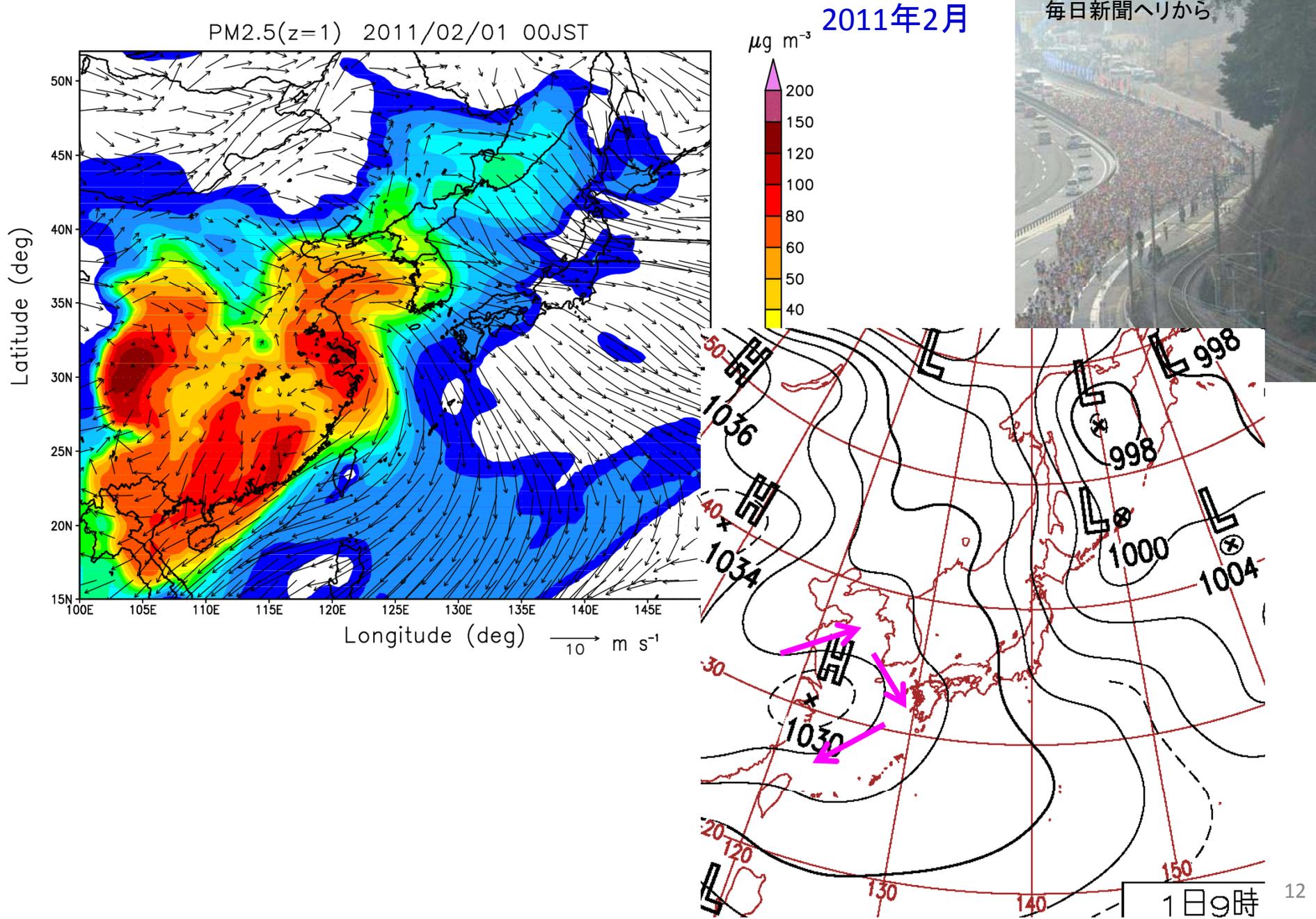
## 例: PM<sub>2.5</sub>濃度の時空間分布



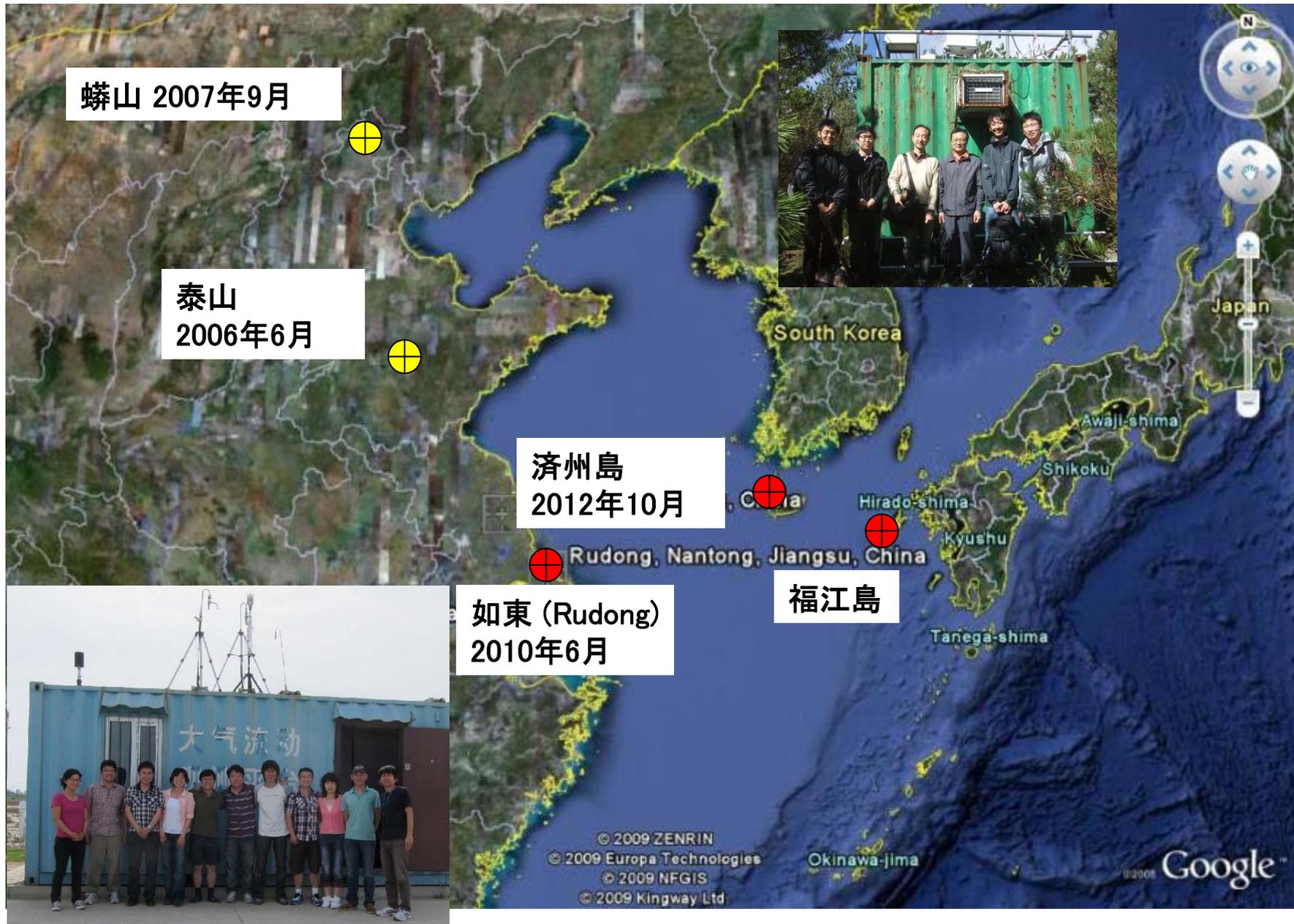
SPRINTARS, 竹村俊彦氏(九州大学)

# 越境大気汚染のシミュレーション事例

● 2011年2月  
別府大分マラソン  
毎日新聞ヘリから

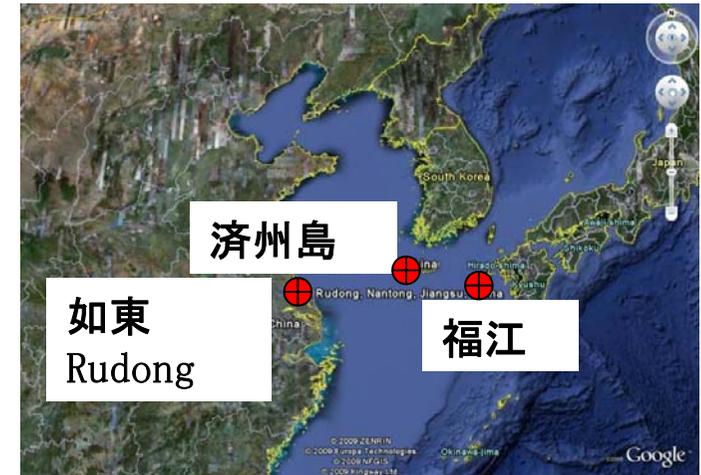
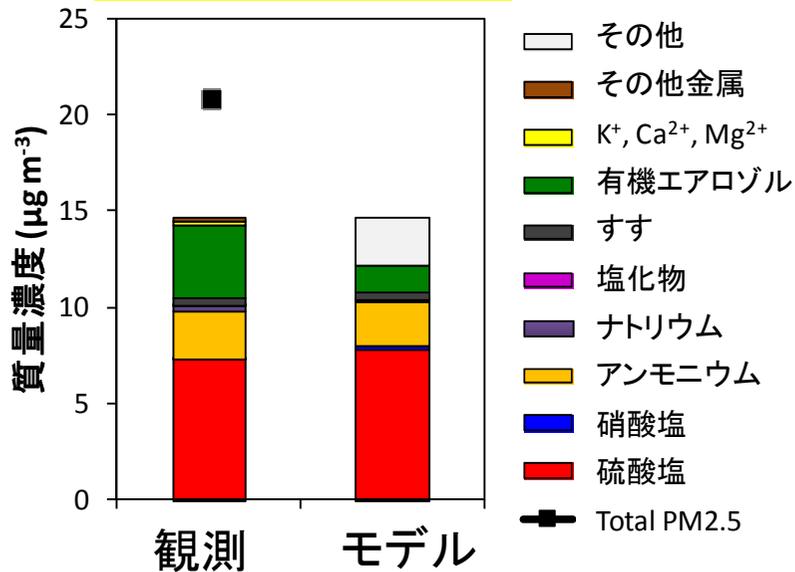


# 日本・中国・韓国での観測



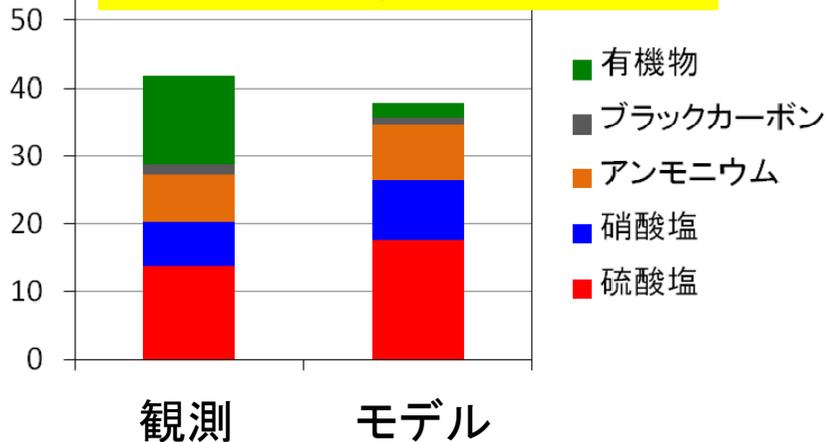
# PM<sub>2.5</sub> の組成(3地点) 観測 vs. モデル ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )

福江島 2009年春

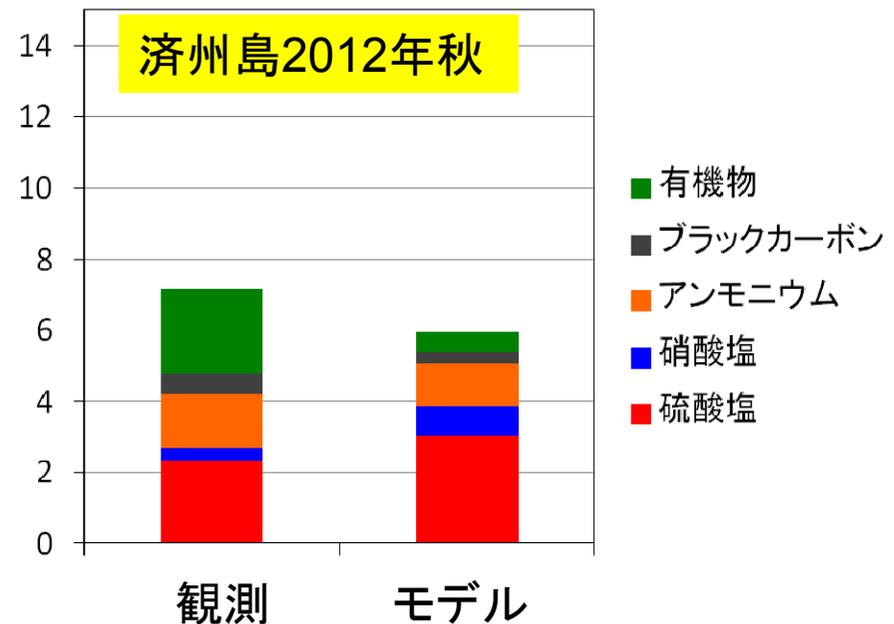


▶全量(乾燥)はよくモデルで再現。  
▶どこでも有機物濃度が5分の1と足りない  
→ 未知の成分?

如東(Rudong) 2010年春

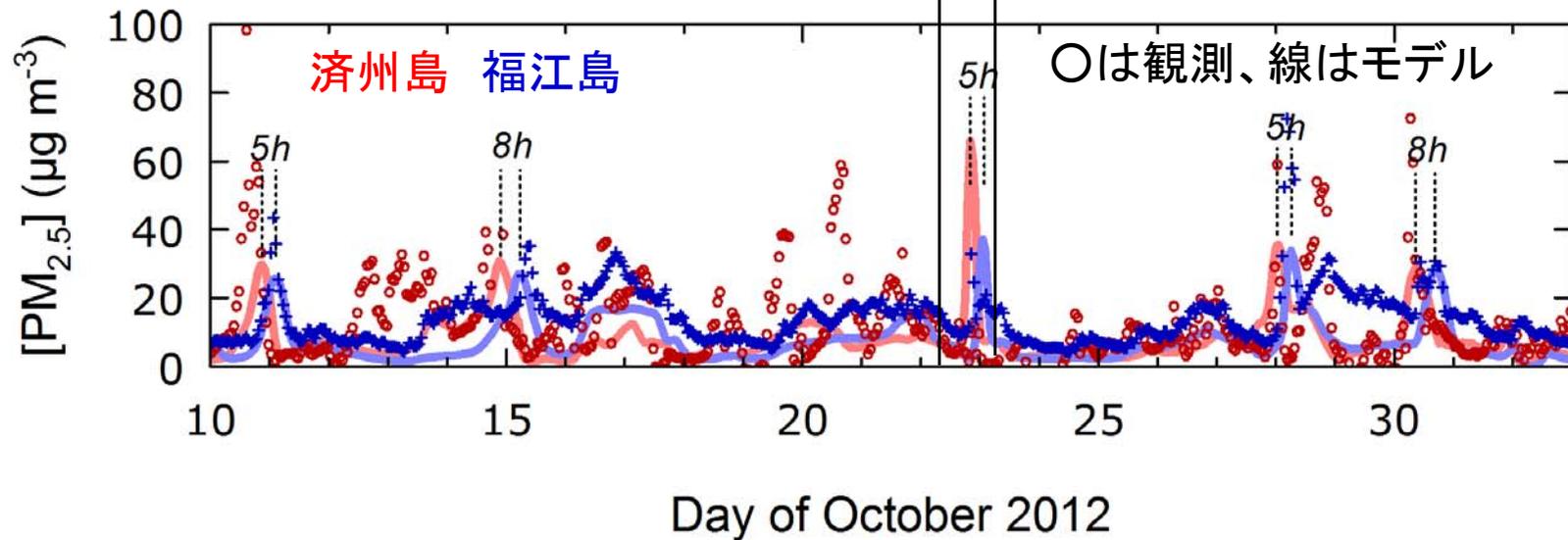
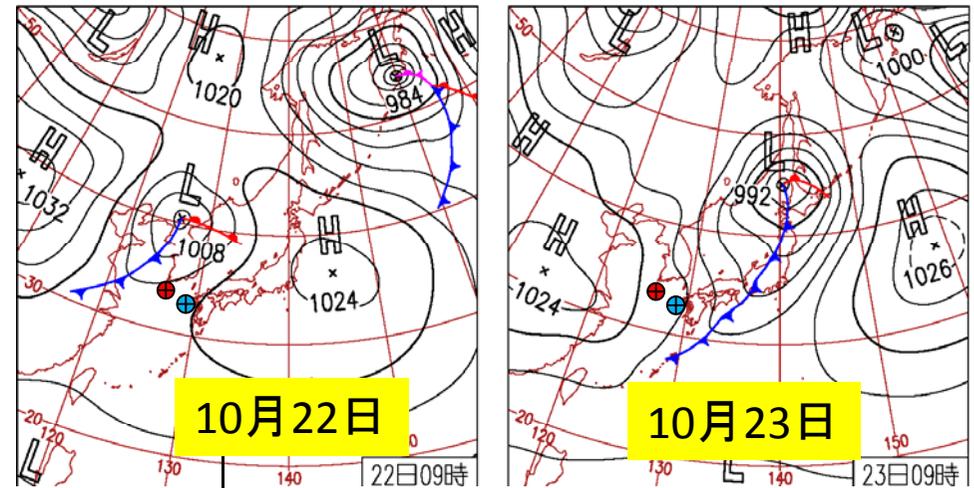
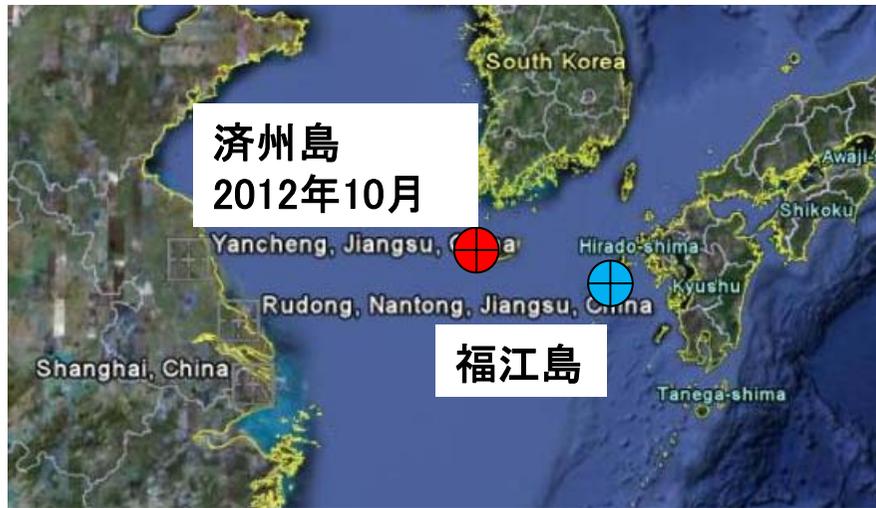


济州島2012年秋

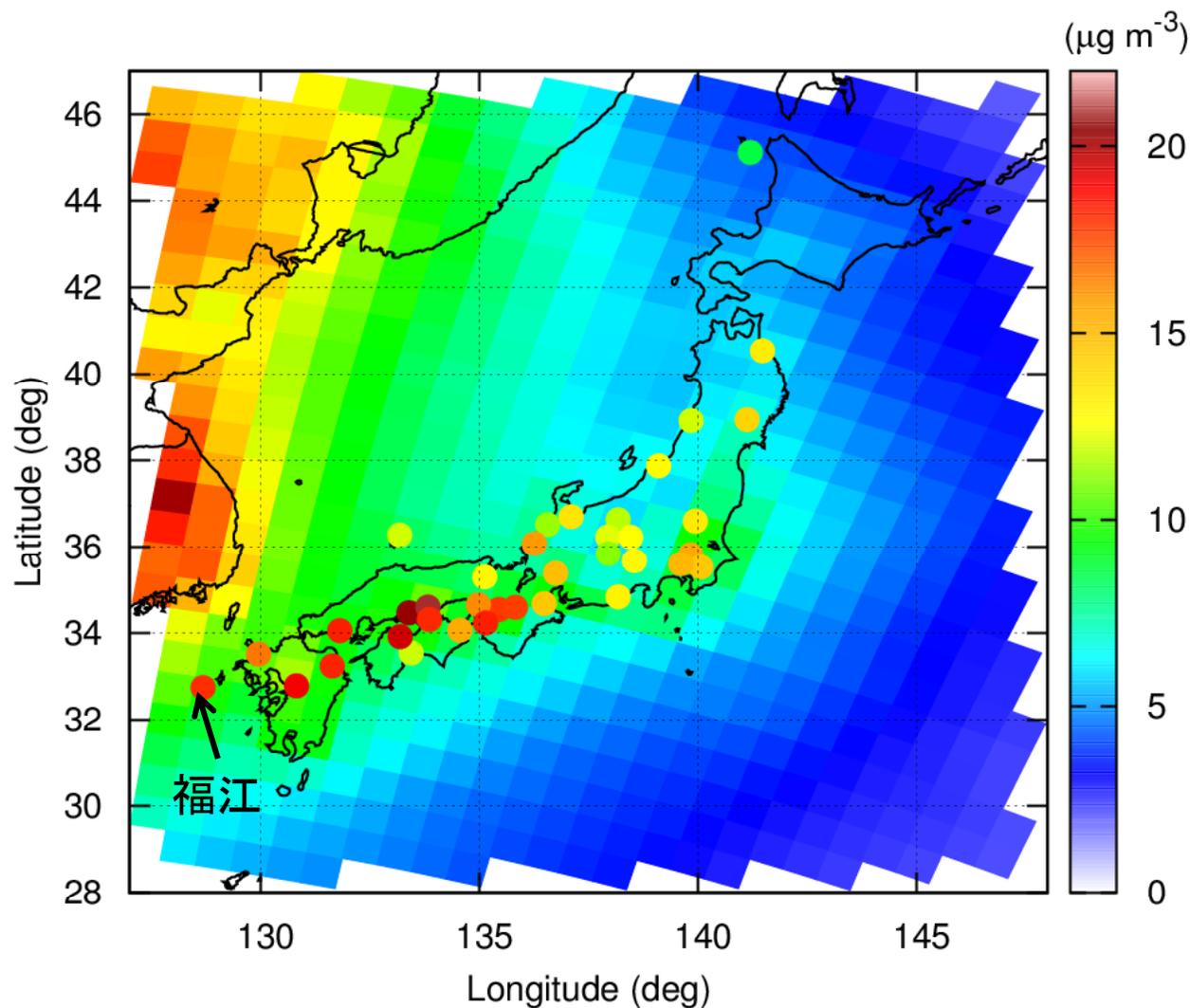


# 济州島と福江島での同時観測

- 前線の通過に伴って、大陸方面からPM<sub>2.5</sub>が济州島より5~8時間遅れで福江島へ到来

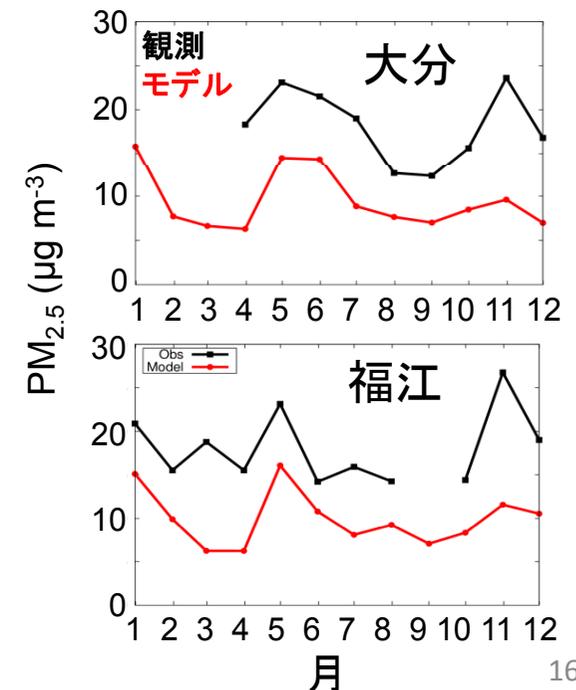


# CMAQによる広域PM<sub>2.5</sub>モデリング(2010年平均値)



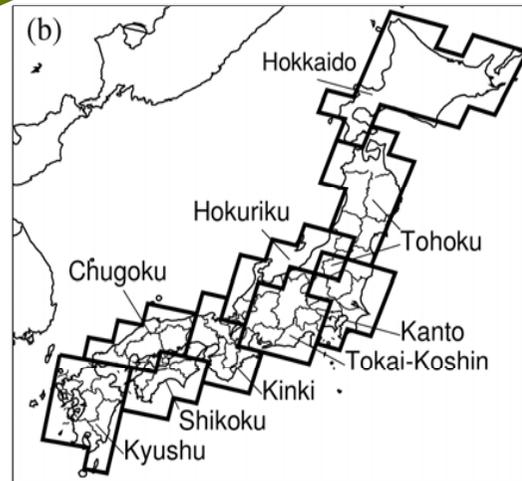
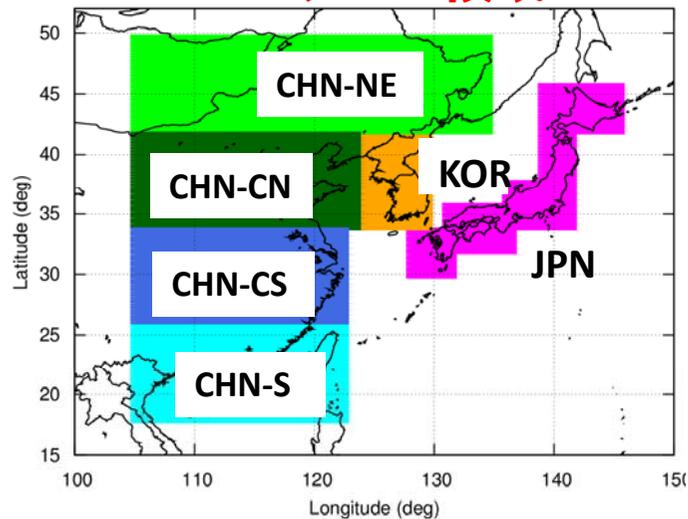
WRF-CMAQ, REAS2.0

◎東西濃度勾配・季節変化のモデル再現  
 ●モデル過小(水分、有機物)ではあるが発生源毎の相対寄与には効かない



# PM<sub>2.5</sub>年平均濃度に対する相対的寄与率

ソース領域 → レセプター領域



◎日本域(関東以西)への寄与:

国内 2~5割

朝鮮半島 0~1割

中国 4~6割

● 仮想的に各発生源地域からの発生量を20%削減した場合の応答を元に計算

年平均濃度への各地域からの寄与率 %

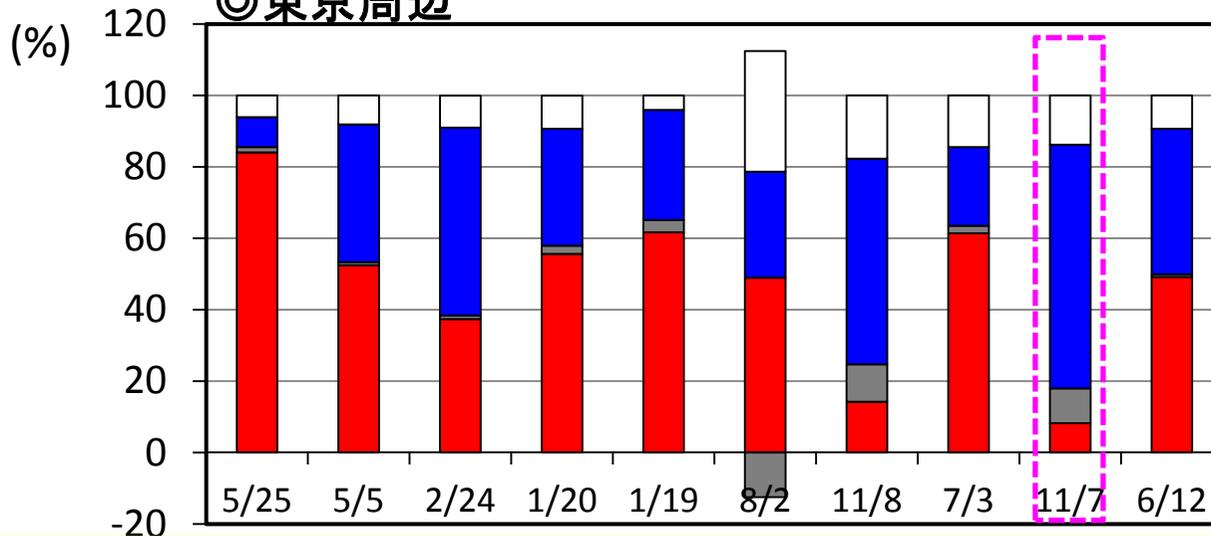
レセプター ソース	九州	中国	四国	近畿	北陸	関東
中国 (4地域合計)	61%	59%	59%	51%	55%	39%
朝鮮半島	10%	11%	8%	6%	5%	0%
日本	21%	25%	23%	36%	33%	51%

※複数のモデル比較から、不確かさの幅を評価し、国際的に通用する科学的な知見として確立していくことが必要

池田ほか、準備中、2013

# PM2.5高濃度日(上位10, 20日)の寄与率

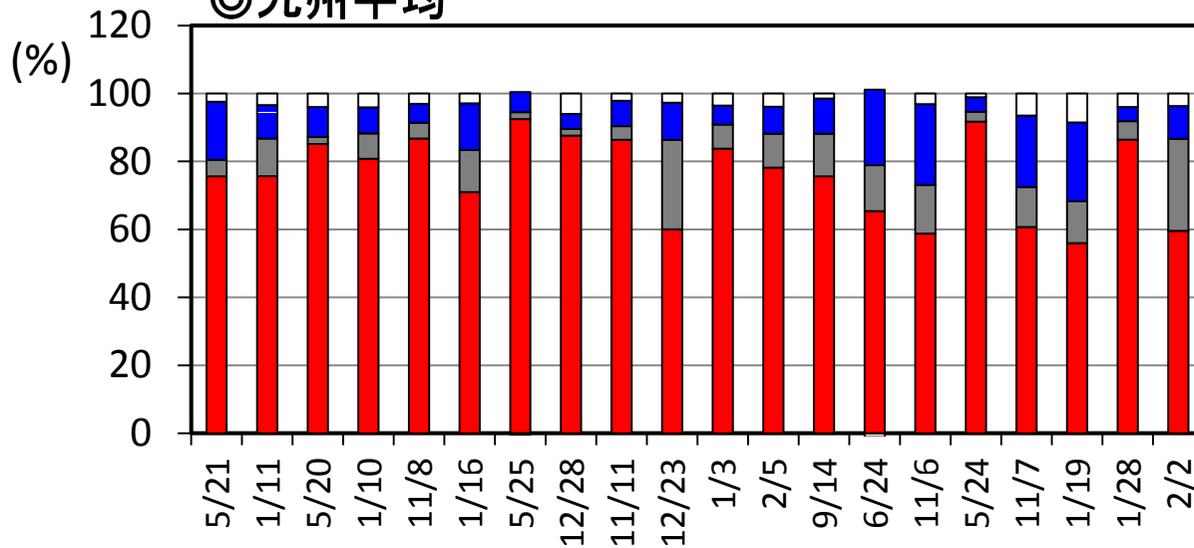
◎東京周辺



日本 : 8-68%  
 朝鮮半島: 0-10%  
 中国: 8-84%

PM2.5( $\mu\text{g m}^{-3}$ ): 30 → 24

◎九州平均

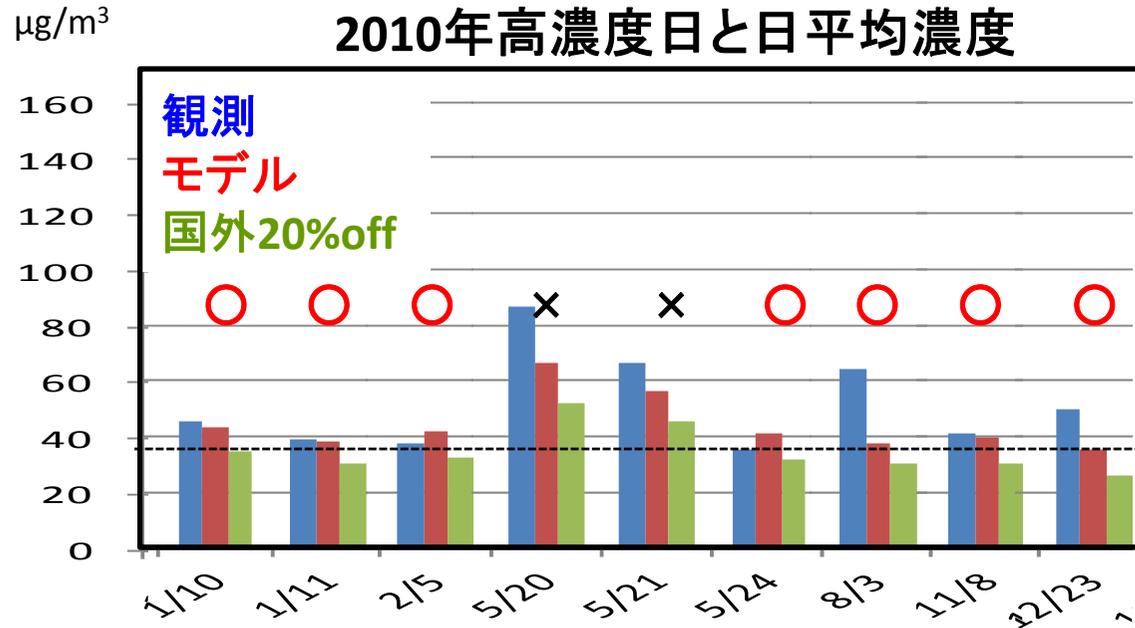


日本 : 4-24%  
 朝鮮半島: 2-27%  
 中国: 56-92%

PM2.5( $\mu\text{g m}^{-3}$ ): 52 → 21

◎平均的には寄与は年平均の場合と同様だが、東京周辺では国内の影響が支配的な日もある

# PM2.5: 効果的な対策のために ～中国・韓国排出量20%削減の効果(福江)～



池田ほか

- 観測・モデルとも35μg/m<sup>3</sup>超は9回。うち7回(○)は35μg/m<sup>3</sup>を下回る
- どの高濃度日でも濃度は約20%低下する(90%以上が越境輸送由来)

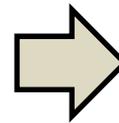
◎20%国外削減で福江での環境基準超過日数は軽減  
◎寄与率大→削減効果は大

# 20%削減は実現するか？

- 2011年には・・・

北京市の目標：2015年までにPM<sub>2.5</sub>を6%削減、  
環境基準達成は2030年

## ◎2013年の激甚汚染



◎2017年までにPM2.5の量を現在より25%減らす  
大気汚染への「宣戦布告」を発表 (2013.9)

- 実現性は？
- 今後も推移を注視するとともに、  
国際協力等によって加速的な改善を図る必要あり

## 北京◎宣战 PM2.5

北京市政府出台  
9月2日 2013—2017年清洁空气行动计划重点任务分解  
提出到2017年

全市空气质量明显改善，重污染天数较大幅度减少，  
PM2.5年均浓度下降25%以上，控制在60微克/立方米左右

**2017年公交出行比例超60%**  
中心城区公交出行比例力争达到52%  
公交占机动车出行比例达到60%以上  
中心城区公交专用道网络达到480公里以上

**2017年公共自行车通存通取**  
基本完成全市公共自行车设备安装及系统建设，区域内实现通存通取

**2014年开征挥发性有机物排污费**

**2013年**  
按照排污成本不低于治污成本，调整二氧化硫、氮氧化物排污费收费标准

**2014年**  
开征挥发性有机物排污费  
制定出台排污许可证和排污权交易实施方案、管理办法，启动排污许可证发放和交易试点

**2016年累计调整退出1200家污染企业**

**2013年起**  
北京将二氧化硫、氮氧化物、烟粉尘和挥发性有机物等主要污染物排放总量指标作为建设项目环评审批的前置条件

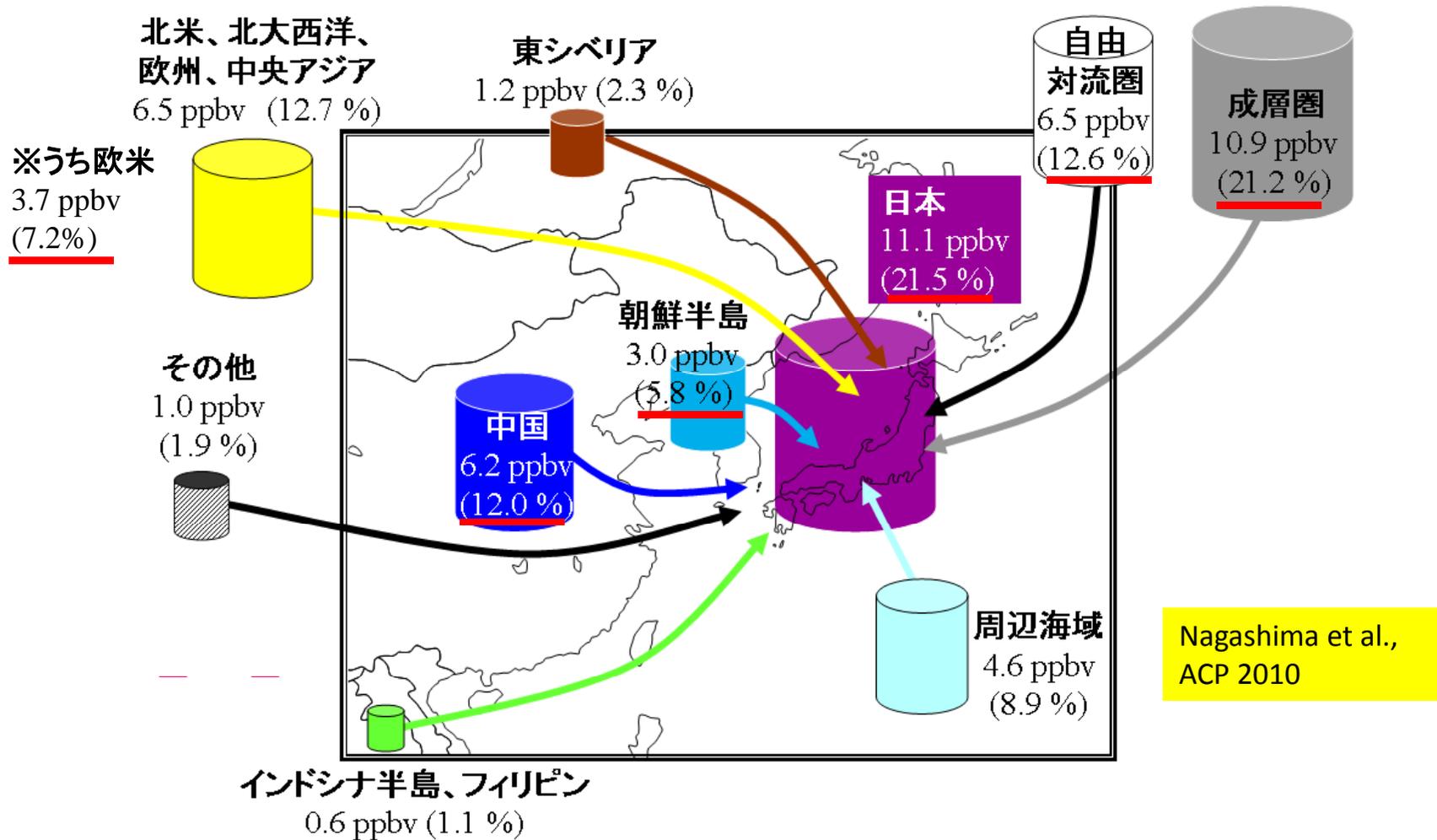
**到2016年**  
累计调整退出1200家不符合首都功能定位的污染企业

新华社记者 高敬 摄

# オゾンの中国からの越境割合はPM<sub>2.5</sub>の場合より小さい

起源は多様: 自国分22%、中国からの越境:12%、北米・欧州の寄与:7%

春(3-5月) 2000-2005年平均

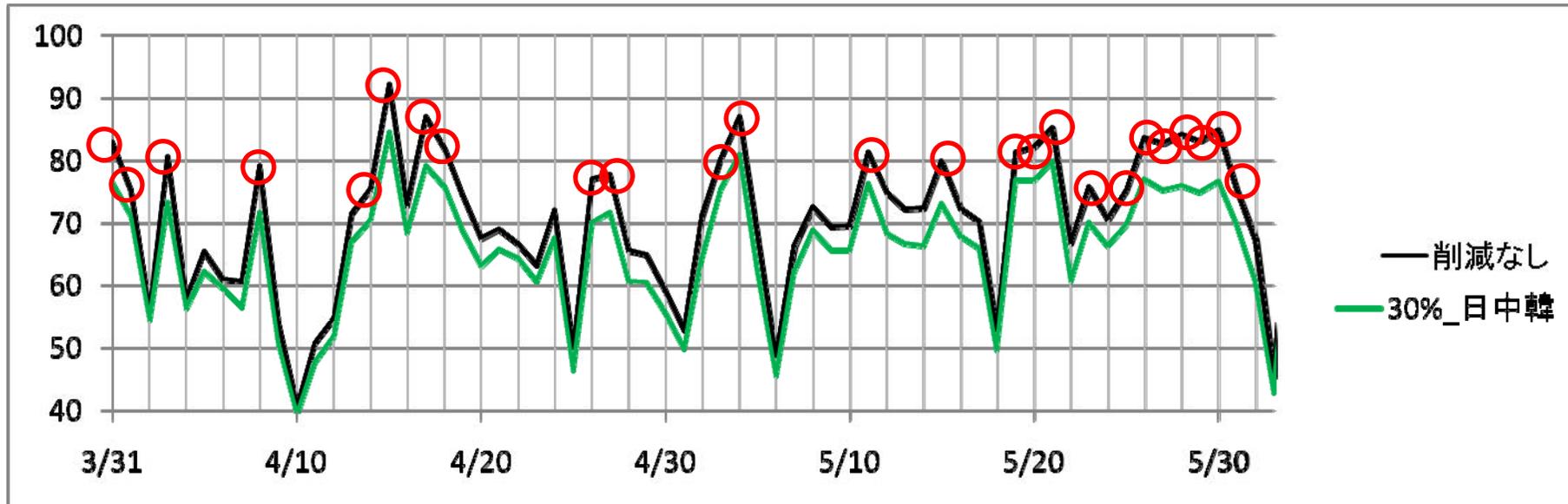


◎オゾンのほうがPM<sub>2.5</sub>よりも大気中の寿命が長く、欧州などより遠方からの影響も受ける  
◎PM<sub>2.5</sub>は近距離の影響を受けやすい、SO<sub>2</sub>など前駆気体の発生量が中国で顕著に多い

# オゾン高濃度日(8時間75ppb指標)の改善にはより厳しい対策が必要

春～夏に一定の効果を得るには日中韓で同時に排出量を30%削減が必要

北九州、4-5月、日中(10-18時)平均オゾン濃度(ppb, モデル)



◎3-8月では41日超過 (平均81.6ppb)

◎日中韓30%削減 → 7ppbの削減効果 (超過日)

## ●オゾンの特徴

◎起源地域が多様:改善のためには、より多国間での協調的な取り組みが必要

◎より高い経済発展段階でも削減がなされにくいNO<sub>x</sub>, VOCが前駆物質:対策の難しさ  
(PM<sub>2.5</sub>は脱硫などの取り組みやすい対策によって減少する)

# では排出削減が効果的な発生部門は？

家庭



<http://www.intechopen.com/books/the-impact-of-air-pollution-on-health-economy-environment-and-agricultural-sources/air-pollution-in-the-niger-delta-area-scope-challenges-and-remedies>

産業



<http://www.iza.ne.jp/news/newsarticle/world/china/626533/slideshow/546427/>

発電



<http://shinhito41.exblog.jp/m2009-12-01/>

輸送

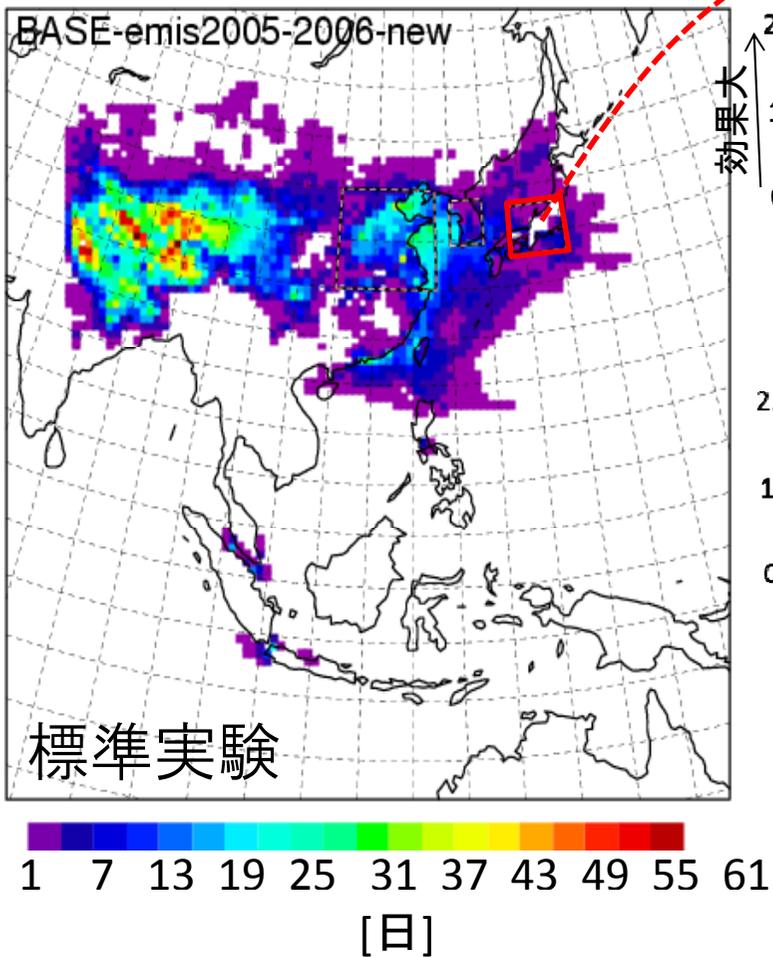


◎発生源4部門別・  
4地域別の削減効果  
モデルシミュレーションで  
見積もる

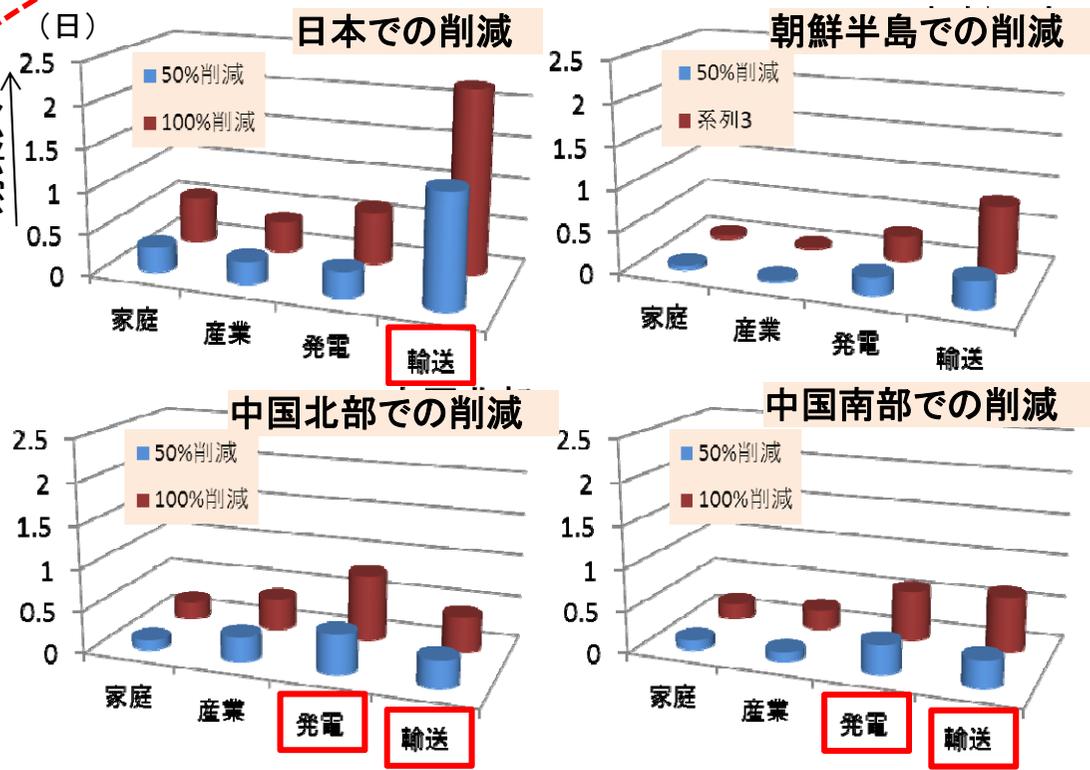
<http://shanghai-cool.jugem.jp>

# 日本中心部のオゾン高濃度日数に影響する地域・排出部門

日最高8時間値が75ppbを超える日数(4~8月)の分布



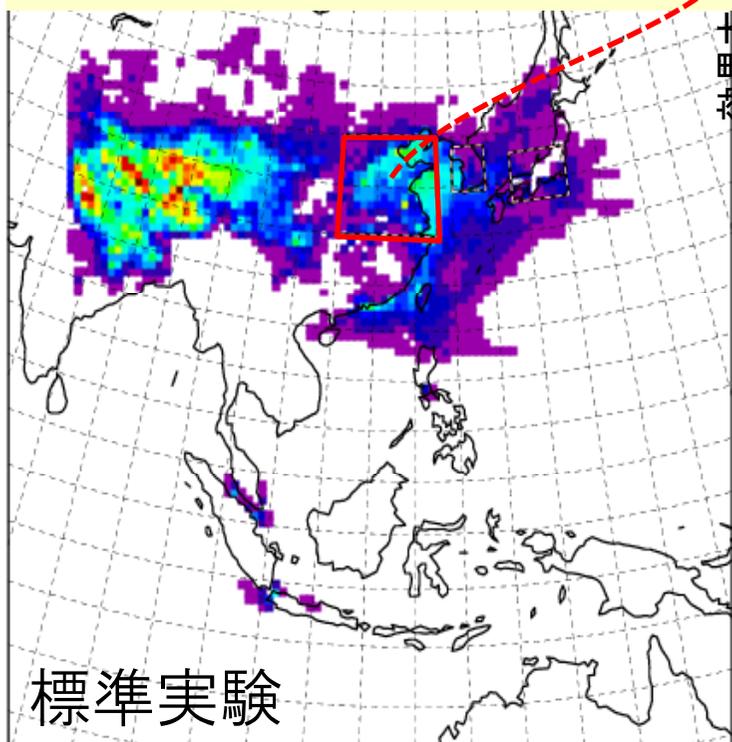
日本中心部(関東-中部-近畿を含む)で平均した高濃度日数(4.16日)の減少幅



- 日本での輸送削減効果が最大
- 中国北・南部での発電・輸送の削減が効果的

# 中国中東部のオゾン高濃度日数に影響する地域・排出部門

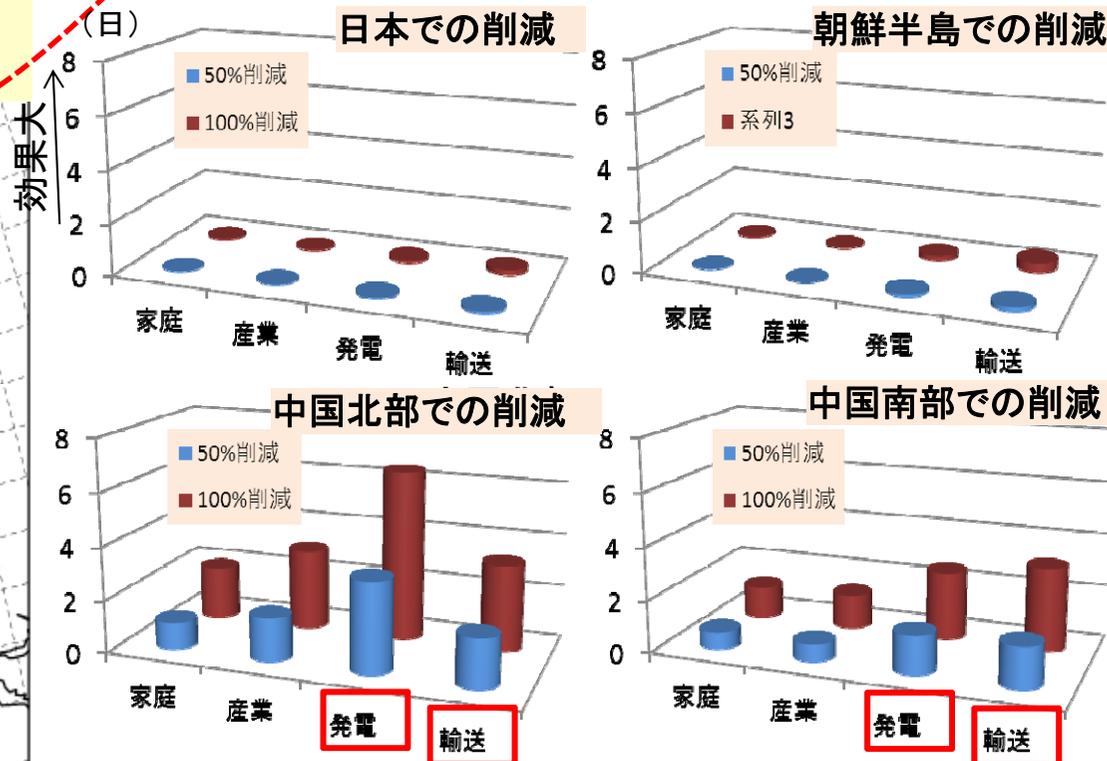
日最高8時間値が75ppbを超える日数(4~8月の期間中)の分布



標準実験  
1 7 13 19 25 31 37 43 49 55 61

[日]

中国中東部で平均した高濃度日数の減少幅



- 中国北部・南部 発電、輸送の削減が重要
- 日本オゾン削減戦略は中国でも意義あり

PM2.5など他の物質についても効果を把握し、将来目指すべき総合的な対応策へ組み込む

## まとめ

- 西日本のPM2.5には中国からの越境大気汚染の寄与が通年で5割以上。
- 寄与率が高いのは懸念すべきことだが、対策が確実に行われれば改善効果も大きい。(たとえば20%削減でも効果あり)
- 首都圏などでは日本からの寄与率も大きい。
- 有機エアロゾルの起源については未把握分が大きく、解明が必要。
- 対照的にオゾンについては、影響が大きい春季だけで計算しても中国寄与は1-2割であり、起源地域が多様である。改善のためには、より大きな削減幅が必要、より多国間での協調的な取り組みが必要。