

越境大気汚染は どこまでわかったか



金谷 有剛

(海洋研究開発機構・地球環境変動領域)

「科学的事実→等身大の越境汚染の実態」

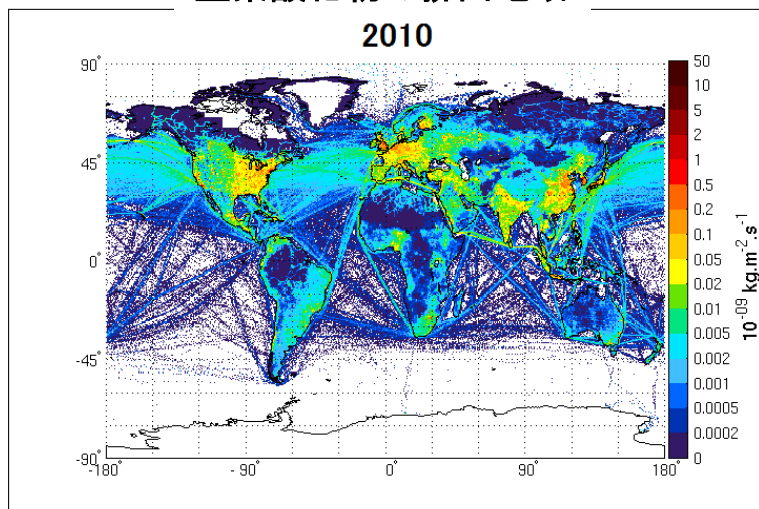
越境大気汚染とは

国境を越える大気汚染：大陸内・大陸間の寄与

←人間活動の大規模グローバル化(＋アジアの急速な発展)

※依然として「越境でない」大気汚染もある：複雑に混じり合う

窒素酸化物の排出地域



Lamarque et al., 2010

東京のスモッグ、
図で見る環境白書 1981



<理解のポイント>

- ◎実態と問題の深刻度
- ◎メカニズム(生成・輸送)
- ◎越境寄与分の把握
- ◎将来予測

現場観測・衛星観測

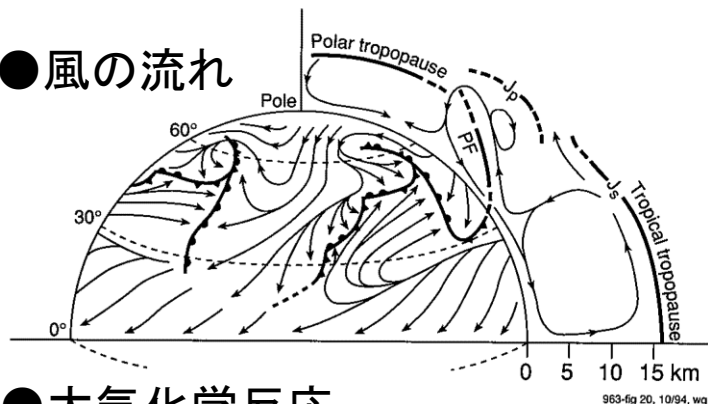


モデルシミュレーション

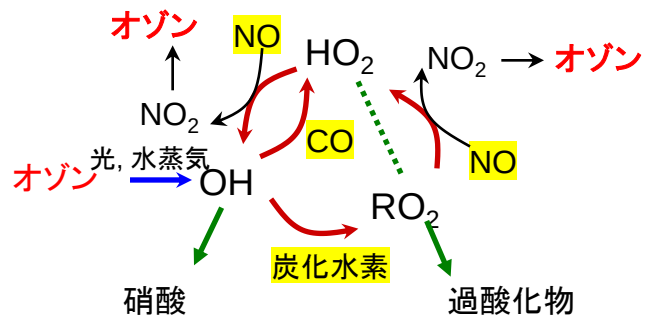
S-7プロジェクトテーマ1で
一体となった取り組み

モデルシミュレーションの出来がカギ

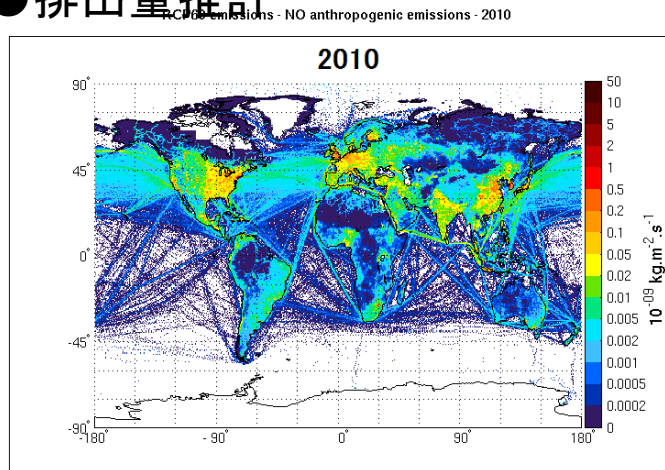
●風の流れ



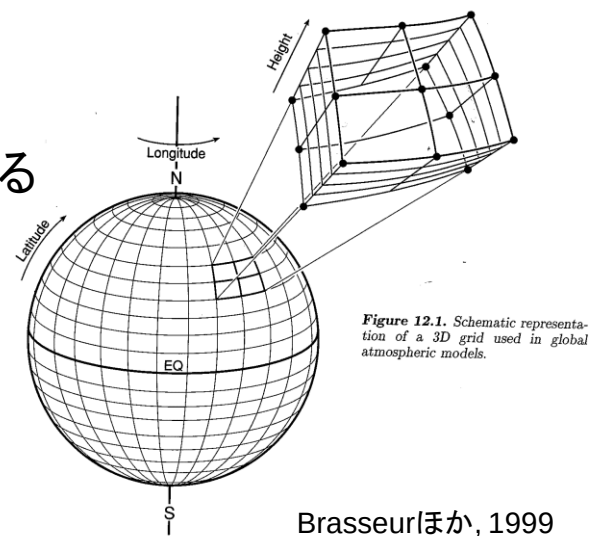
●大気化学反応



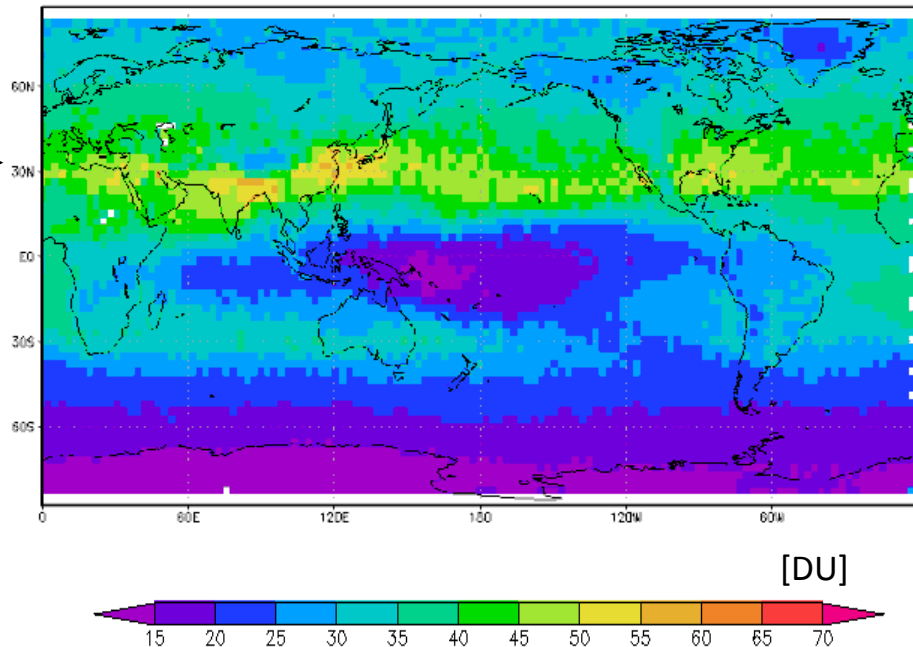
●排出量推計



◎地球を格子状に区切る



例: オゾン濃度の時空間分布



※他に沈着による消失過程も

対流圏オゾンとは

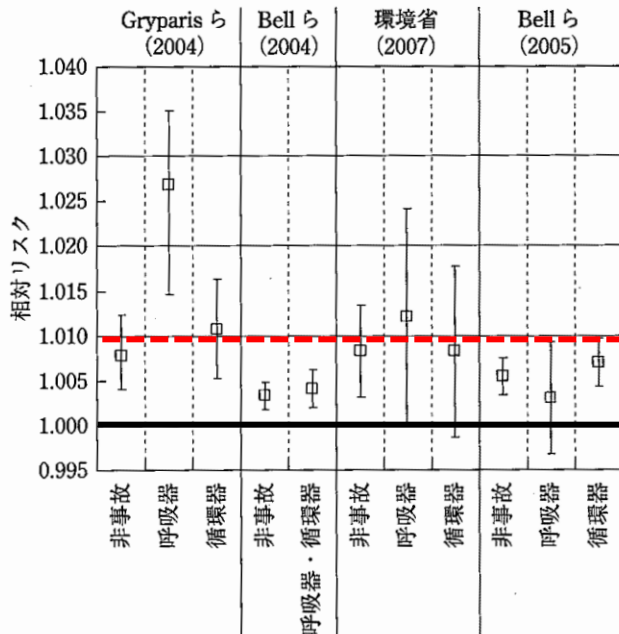
オゾン≡光化学オキシダント、光化学スモッグの主なガス成分

- 原料: **NO_x**(窒素酸化物), **VOC**(揮発性有機化合物)
(例: 車の排気ガス、発電所・工場のばい煙、バイオマス燃焼など)
- 太陽紫外線も必要、多段階の反応でできる**
- 一度できたオゾンは数日～数週間空气中を漂う

健康影響

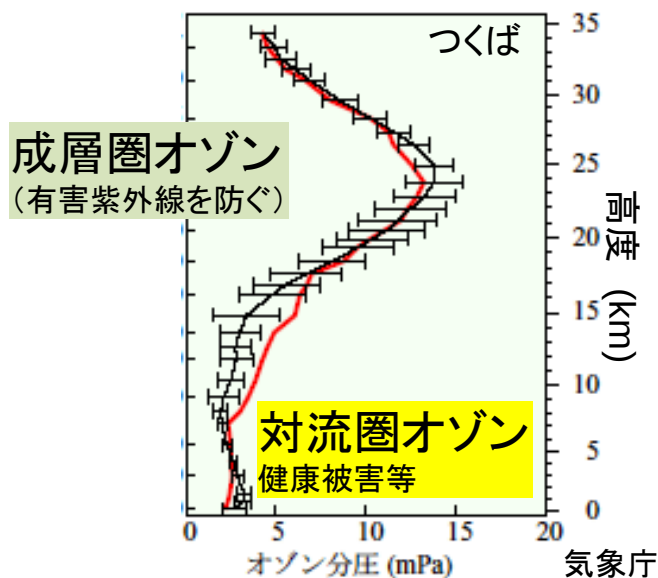
農作物影響

オゾン濃度8時間値10ppb増あたりの
余命短縮のリスク: **1%前後**



1%

【 水稲 】
オゾンによる被害



発症条件
0.15ppm のオゾン
日中 2 時間接触
接触時温度 30 ° C
湿度 60%

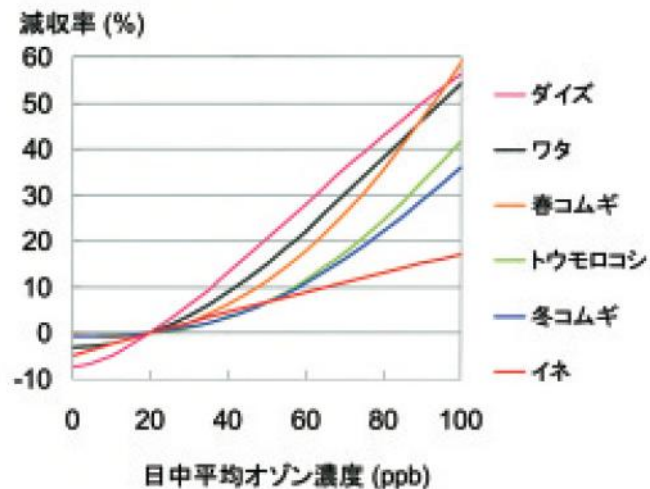
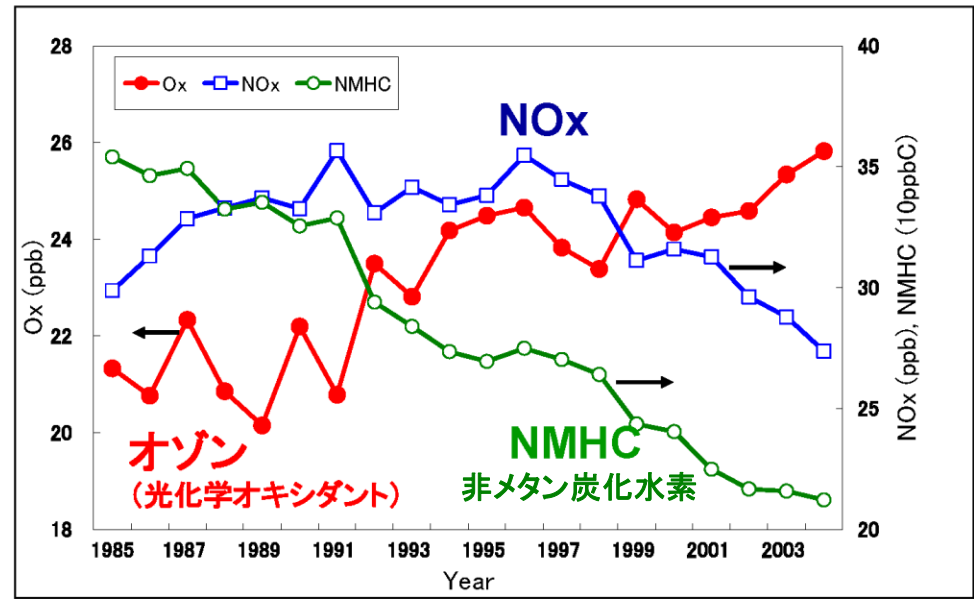


図5-1 オゾン濃度と農作物減収率の関係
(Lesserら, 1990, Skärbyら, 1993, Kobayashiら, 1995)

国内オゾン濃度の増加

オゾンの濃度の単位: ppb
(part per billion, 10億分の1)

国内常時監視局
1000局以上



大原、2007

注意報発令地域の広域化

(オゾン濃度>継続的に120ppb)



() 内は都道府県数を示す。

新潟県・大分県:
H19年初発令

高知県:H23年初発令

鹿児島県:
H21年度初発令

資料: 環境省「平成19年光化学大気汚染関係資料」



高知新聞

The Kochi Shimbun

南国市で光化学注意報

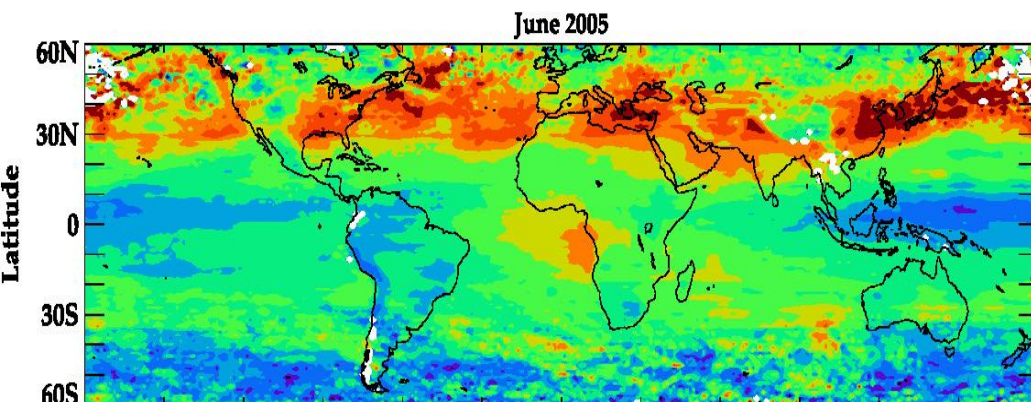
2011年04月12日08時16分

南国市で11日、光化学スモッグの原因となる光化学オキシダントの濃度が一定値を超え、高知県は同市に一時、光化学オキシダント注意報を発表した。県内で同注意報が出されたのは初めて。夜には解除された。

半球規模で影響しあう対流圏オゾン

●対流圏オゾンの帯

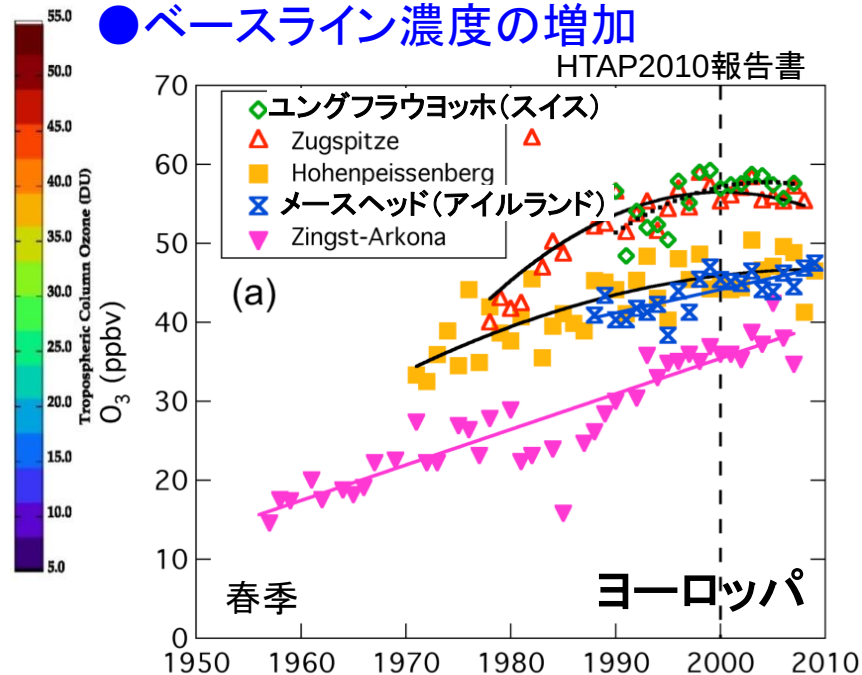
対流圏オゾン量 = オゾン全量(OMI) - 成層圏量(MLS)



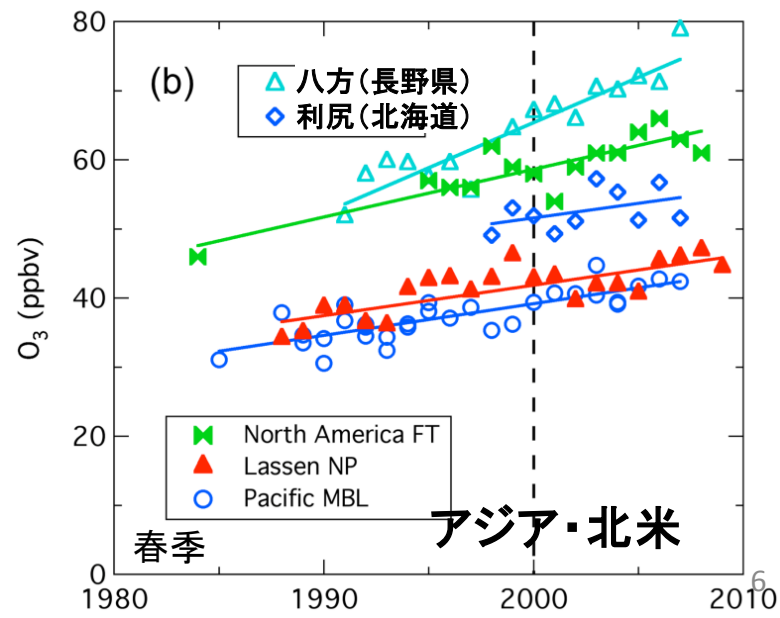
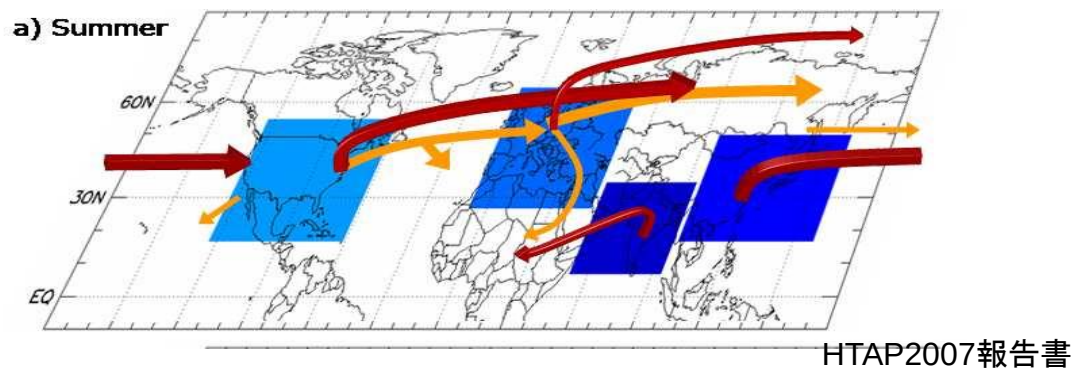
Ziemkeほか、2006

●ベースライン濃度の増加

HTAP2010報告書



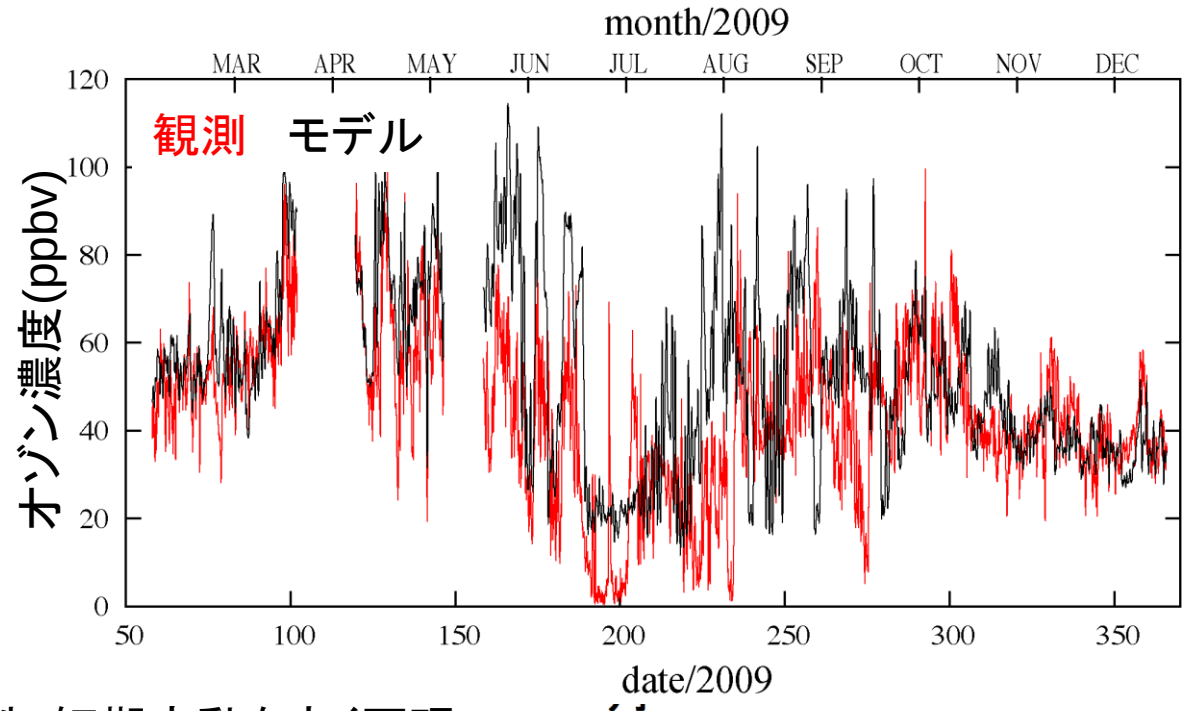
●大陸内だけでなく
遠い大陸からもオゾンが運ばれてきている



◎国内・大陸内・大陸間:どこから、どれくらい?

越境大気汚染の最前線：福江島での観測

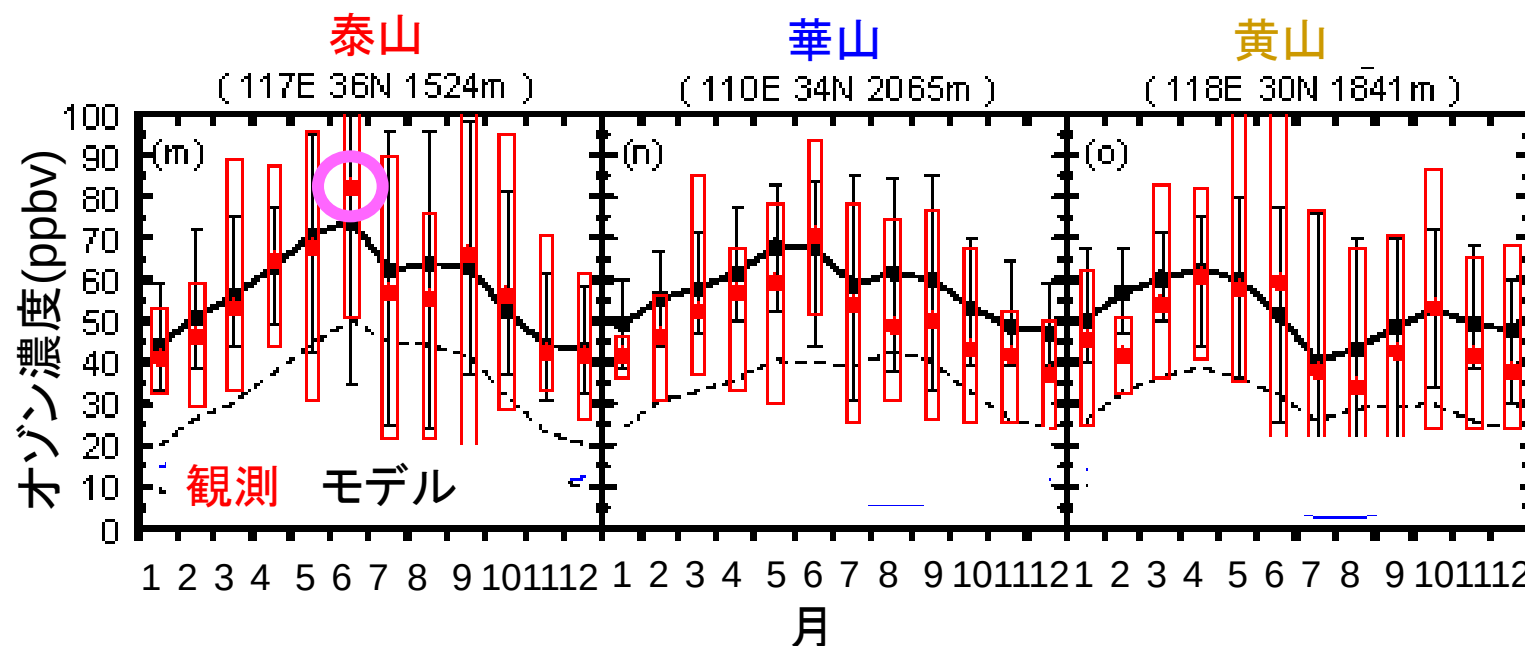
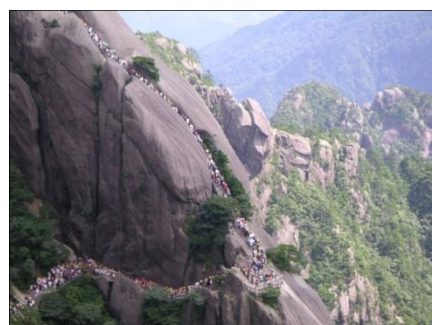
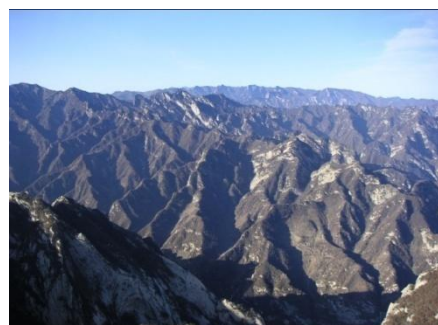
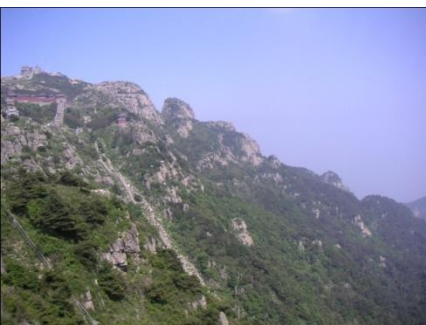
福江島大気環境観測施設
(32.75° N, 128.68° E)



●75ppb(米国基準レベル)超過:
4-5月に顕著、2-3月、8-11月にも
(夜間にも多い)

●モデルシミュレーションは季節性・短期変動を良く再現

中国・地域代表地点での実態観測



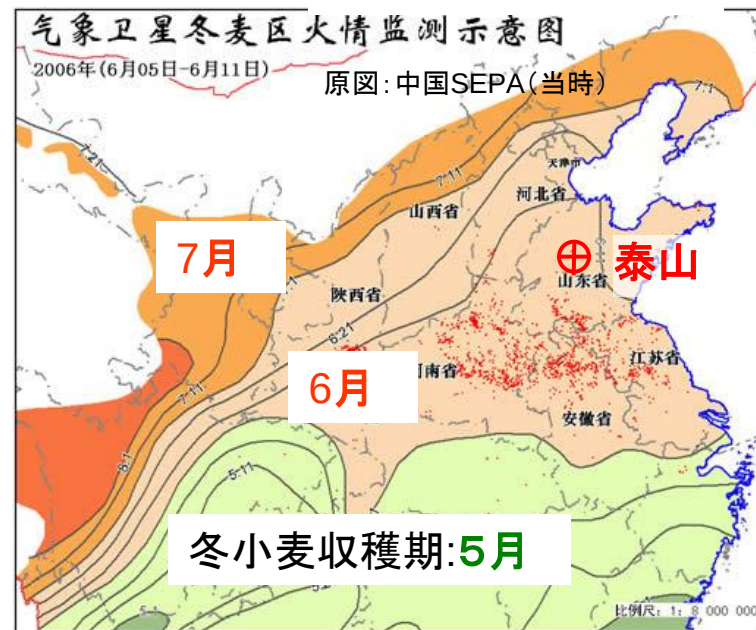
●モデルシミュレーションは季節性・濃度レベルを良く再現

泰山集中観測での実態解明

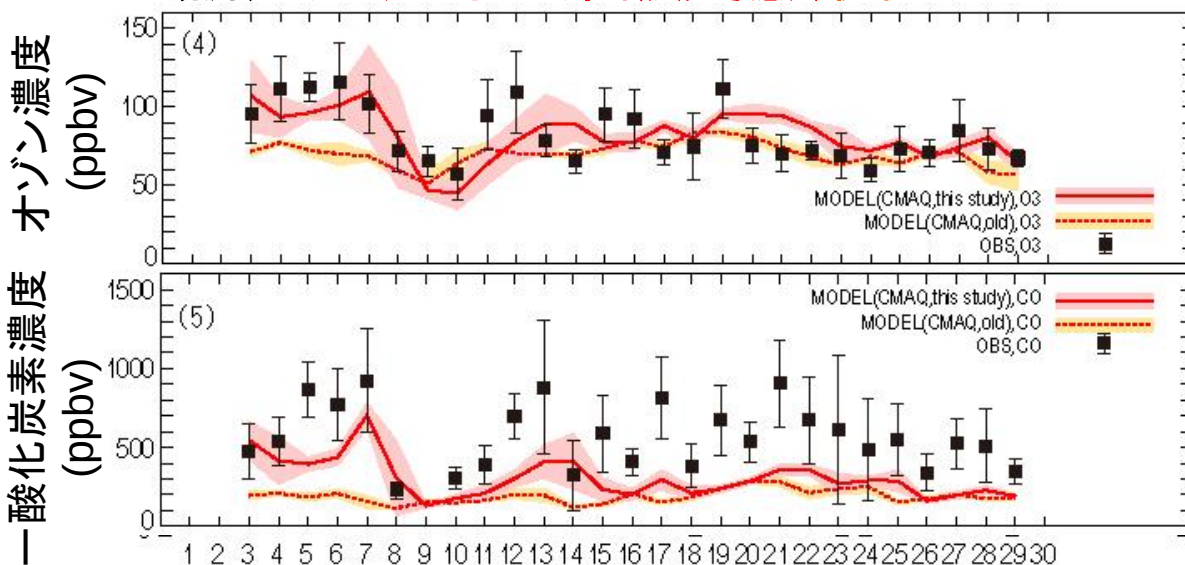
衛星からみた高温点

●高濃度オゾンの原因は？

(6月平均>80ppb, 1時間最高値>150ppb)



観測、モデル(バイオマス野外燃焼考慮)、従来モデル



2006年6月

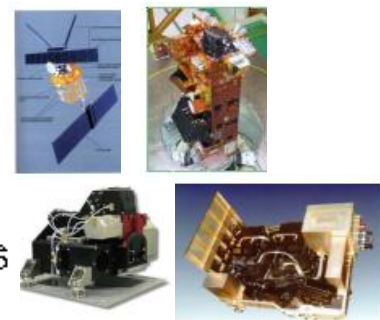
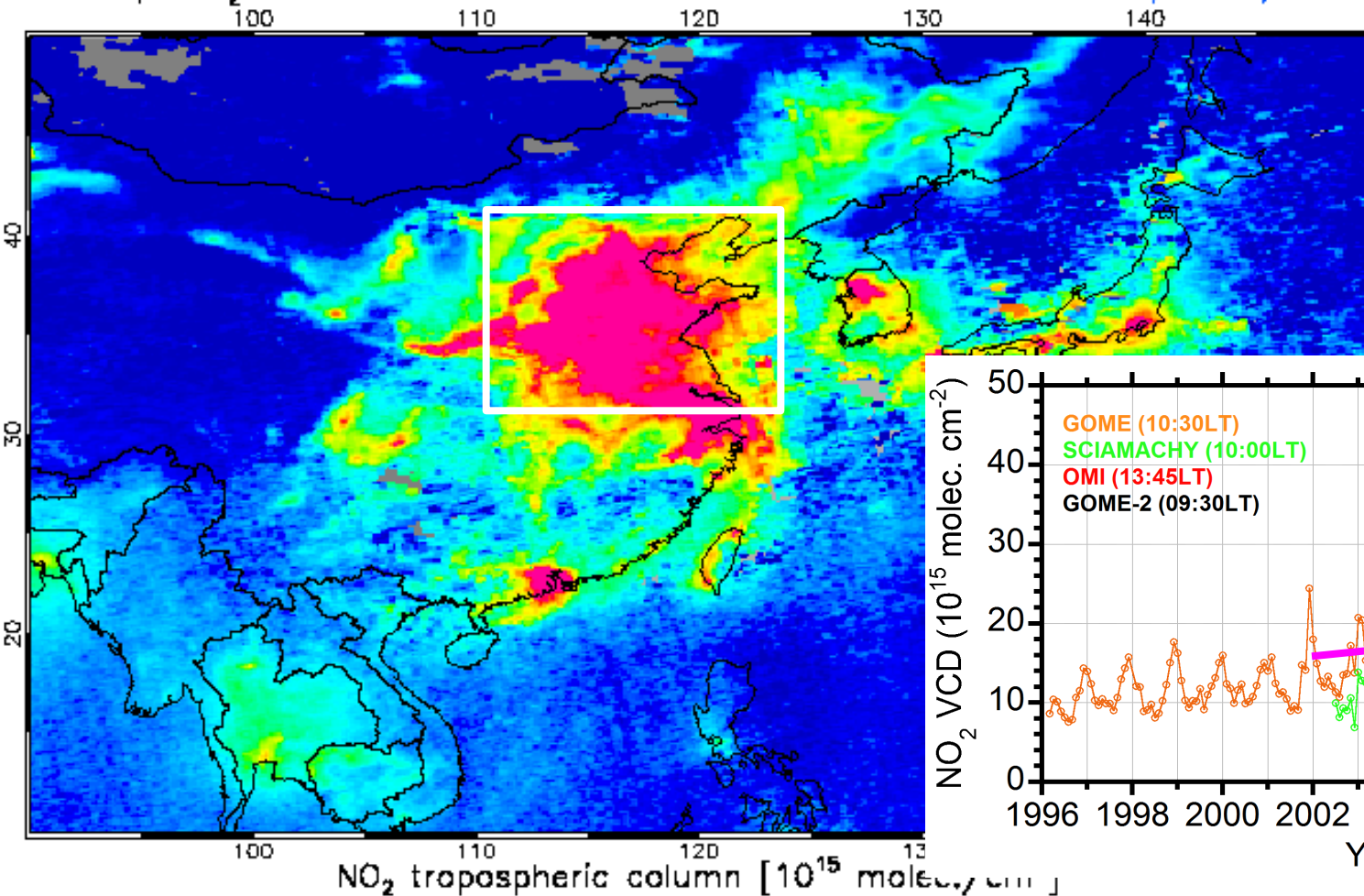


◎工業だけでなく
農業廃棄物の野外燃焼も

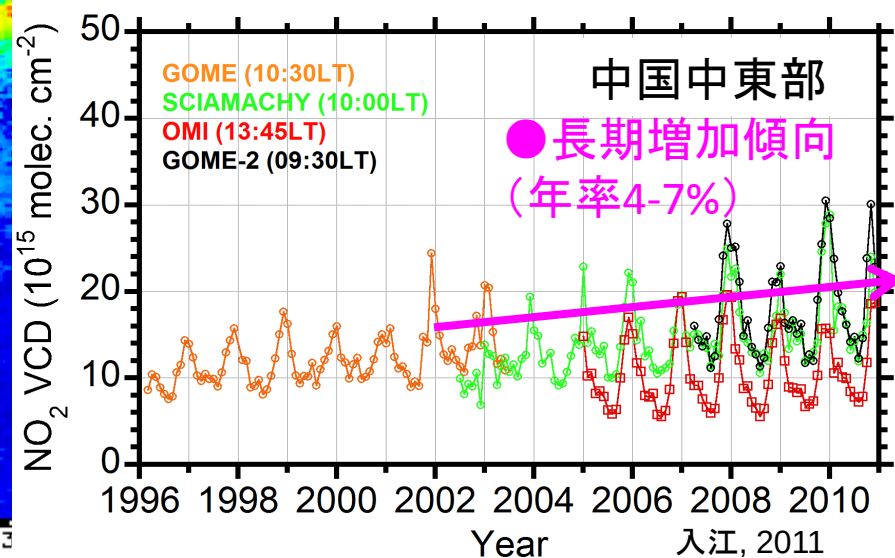
中国NO₂(二酸化窒素)排出増の裏付け: 人工衛星観測データ(2005-11)

OMI trop. NO₂ Jan. 2005

KNMI/NASA/NIVR



欧米の衛星センサー

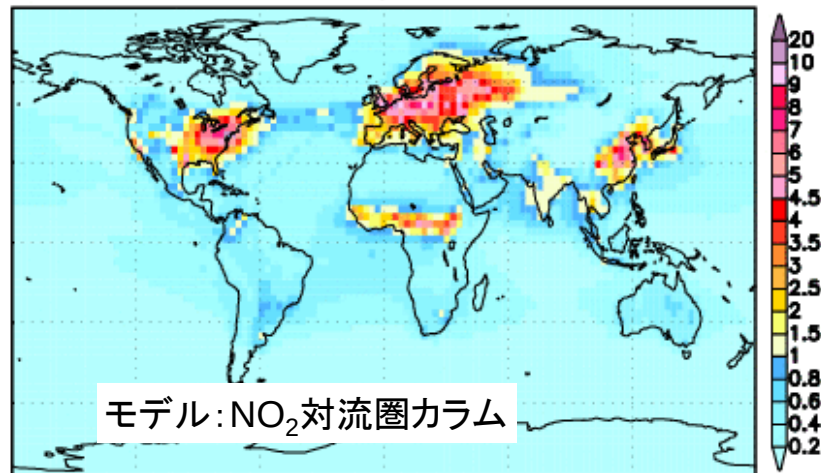


●排出インベントリ・モデルシミュレーション(空間分布、長期トレンド)の検証

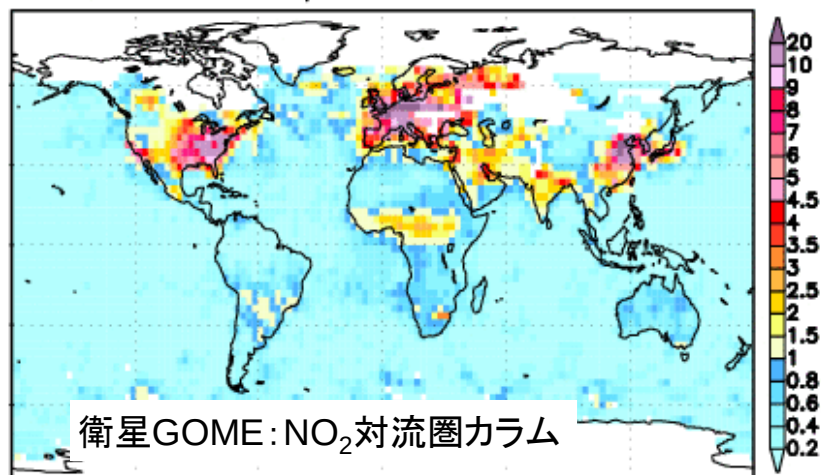
衛星データによる全球モデルの検証

対流圏NO₂分布、1月 (2000)

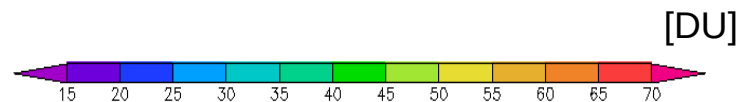
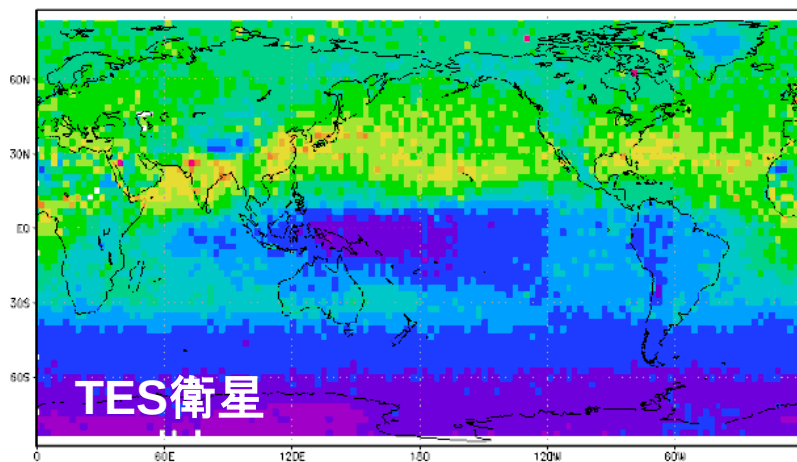
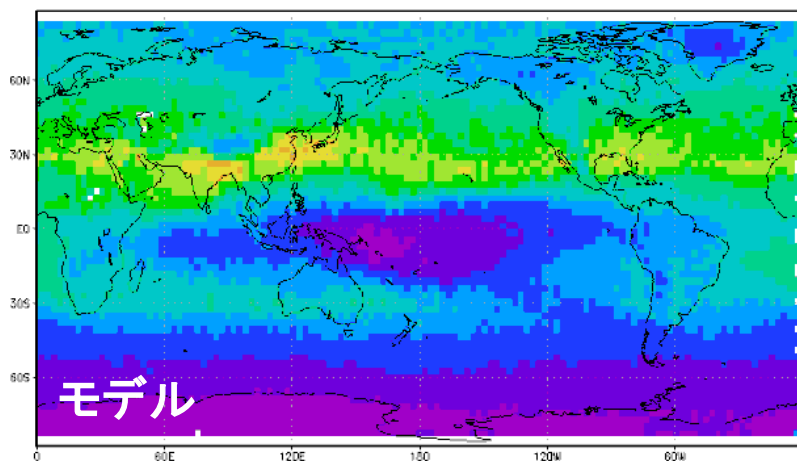
CHASER:S1 COLN02: 2000/Jan [E+15 molec/cm2]



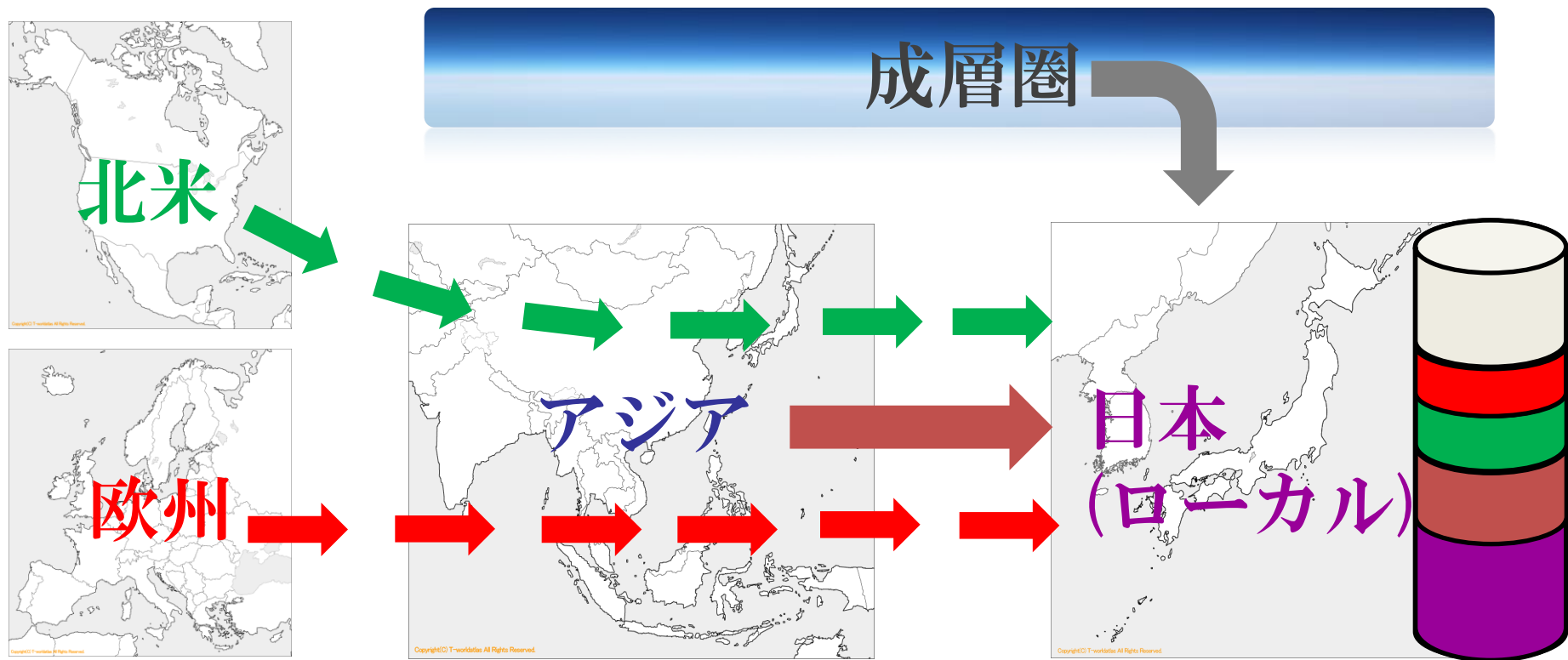
GOME COLN02: 2000/Jan [E+15 molec/cm2]



対流圏オゾン分布、3-5月 (2005-07)



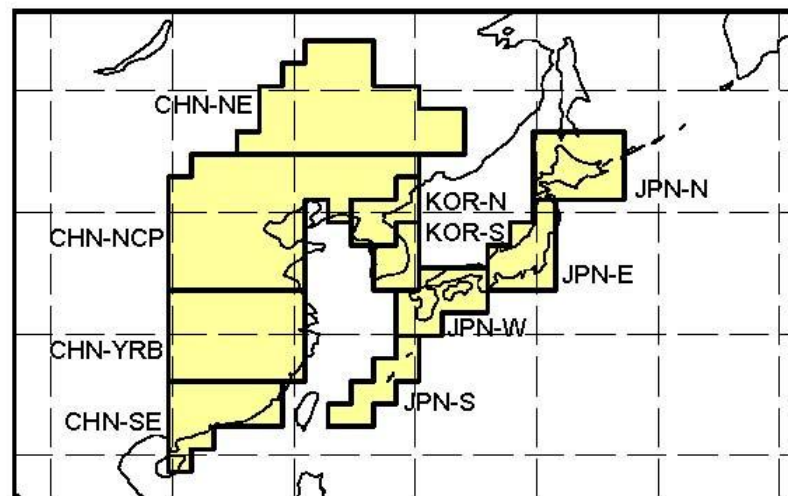
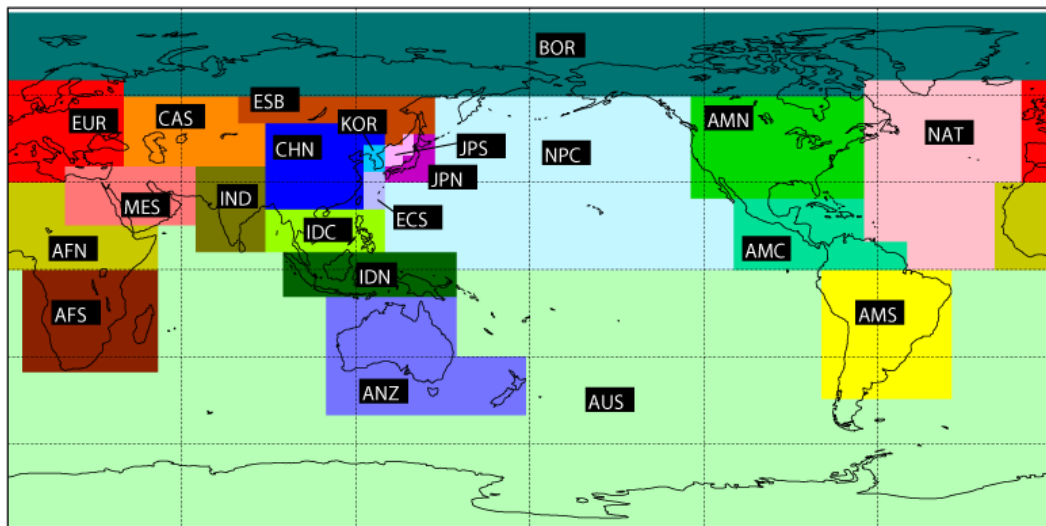
世界のどこで作られたオゾンが、日本に影響するか？



全球モデルでの「ソース・レセプター」解析

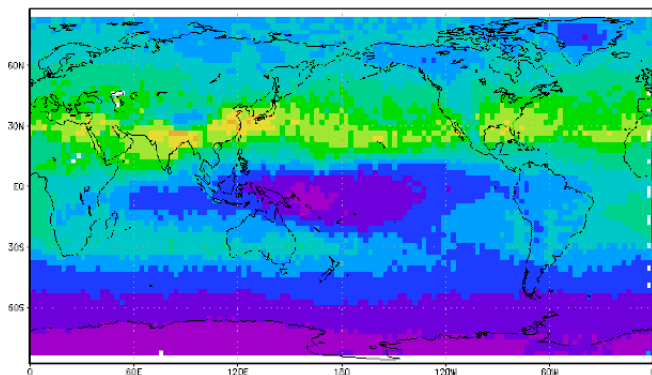
◎どこでできた(ソース)オゾンがどこ(レセプター)へ、どのくらい運ばれるか

ソース領域 → レセプター領域



45 地域に区分 (22地域x(境界層、自由対流圏) + 成層圏)

オゾン濃度分布 (ソース区分なし)



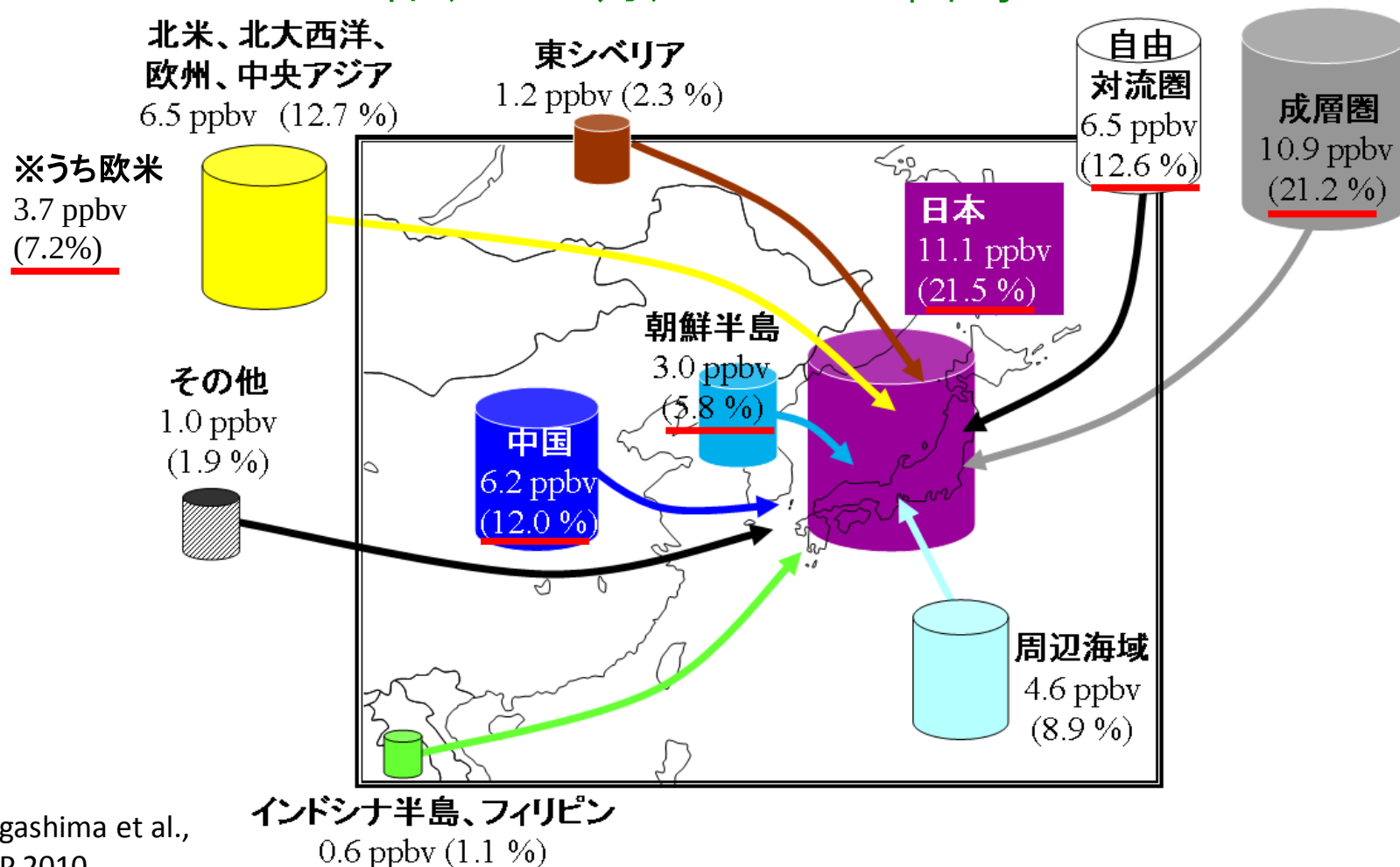
「大陸間」の寄与
「大陸内」の寄与
国内の寄与
に分けた解析が可能

日本地表オゾンの起源解析

春(3-5月)の日本オゾン起源は多様、中国・朝鮮半島の影響も大きい
自国分22%、中国からの越境:12%、北米・欧州からの寄与:7%

◎重層的な取り組みが有効・必要

春(3-5月) 2000-2005年平均



中国地表オゾンの起源解析

春(3-5月) 2000-2005年平均

中国も他地域からのオゾン流入を受けている。

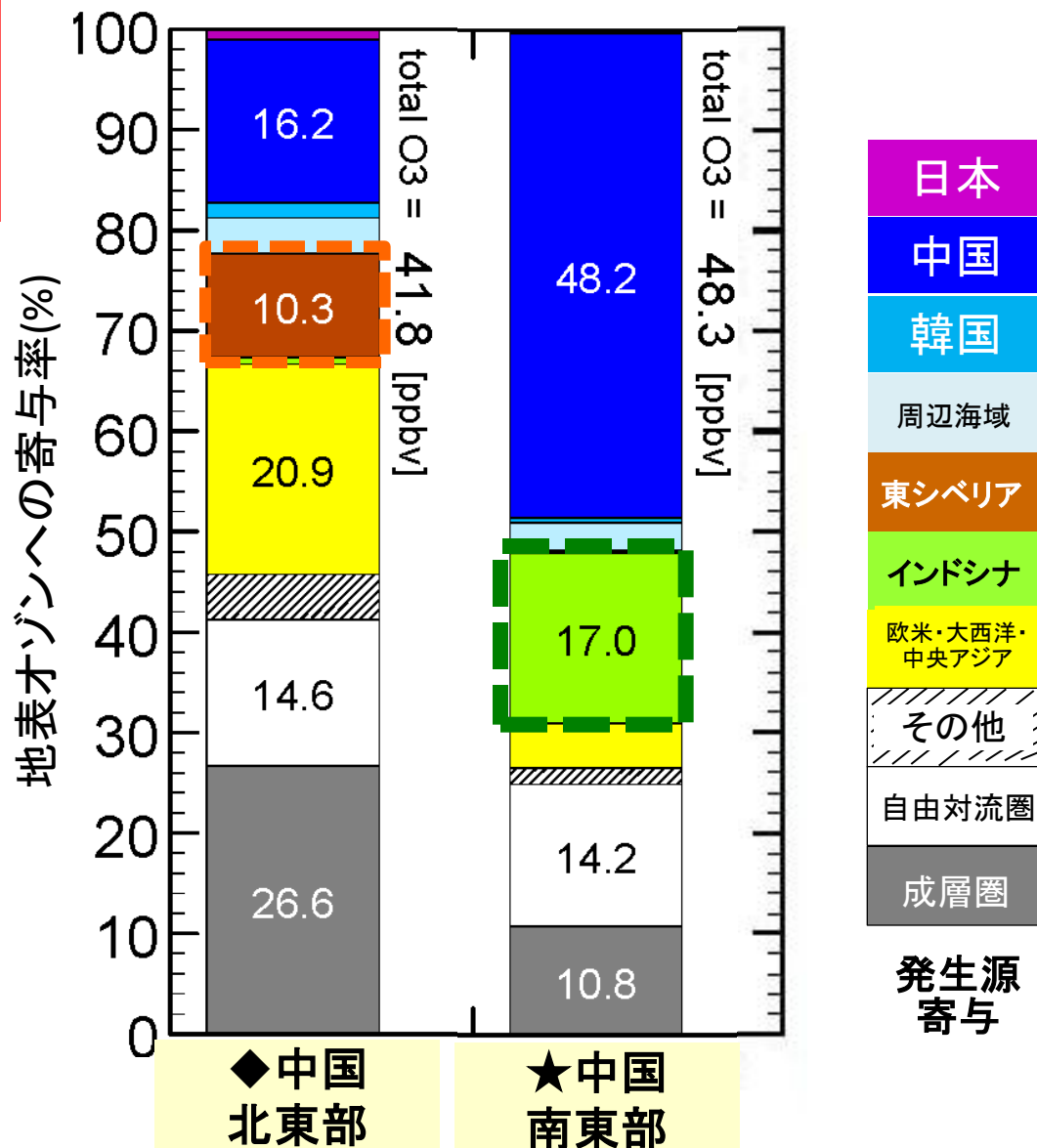
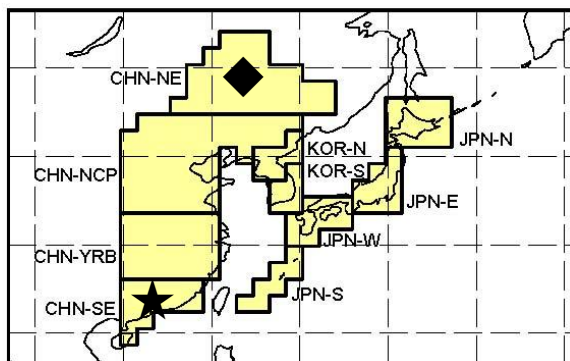
東南アジア(インドシナ)から
中国南東部へは17%の寄与

● 東シベリア→中国北東部 (10%)も

◎ 中国「への」越境輸送:

中国は単に発生源側ではない: 双方向性

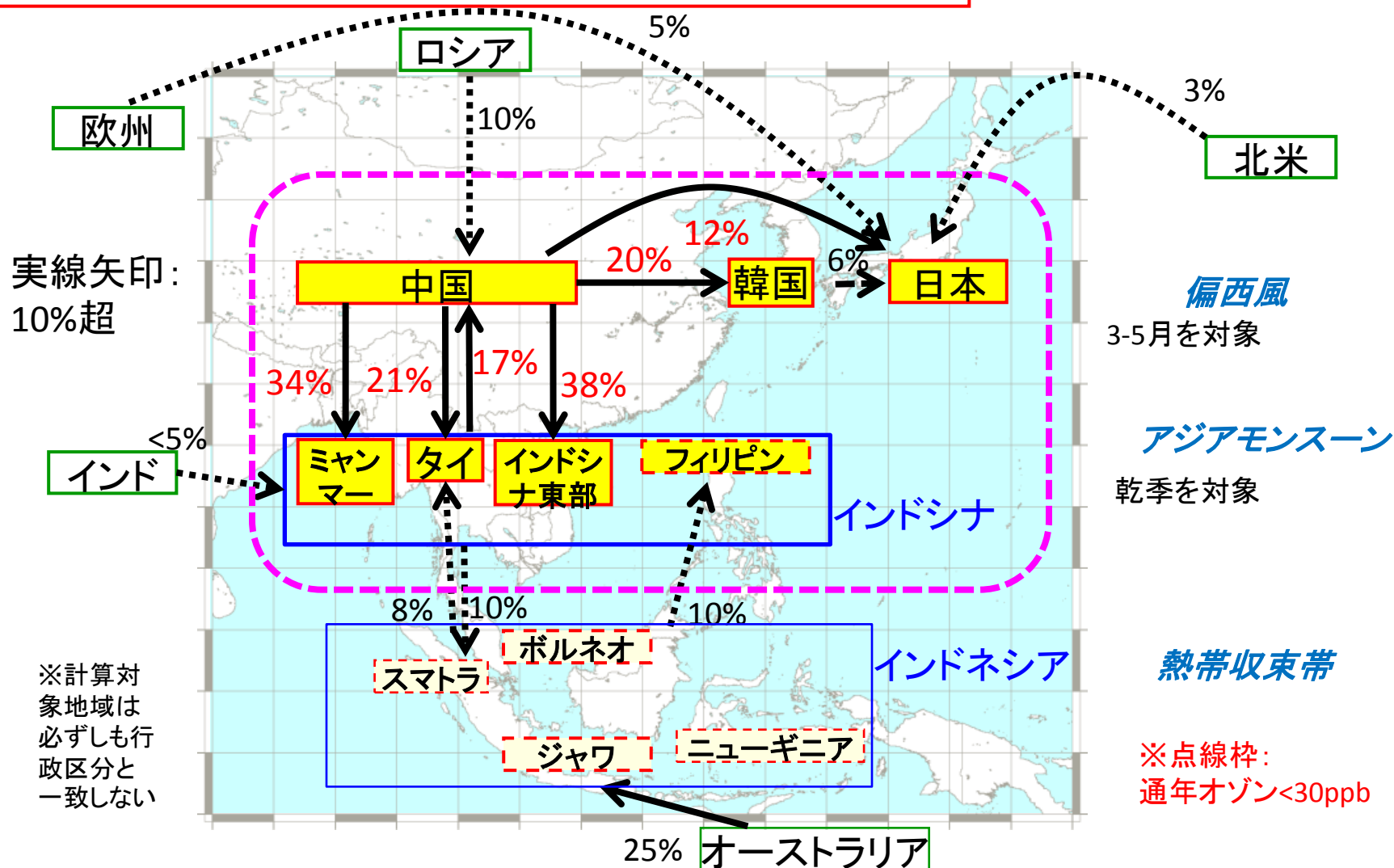
◎ 国際的な対応の場に中国を取り込みやすくするための重要な視点



オゾン流出入の利害関係地域評価

北東アジアに東南アジアを加えることでオゾン汚染の利害関係国(流入・流出の寄与率が10%超)地域をくることができる

◎国際協力の枠組み設定を支援する科学的知見

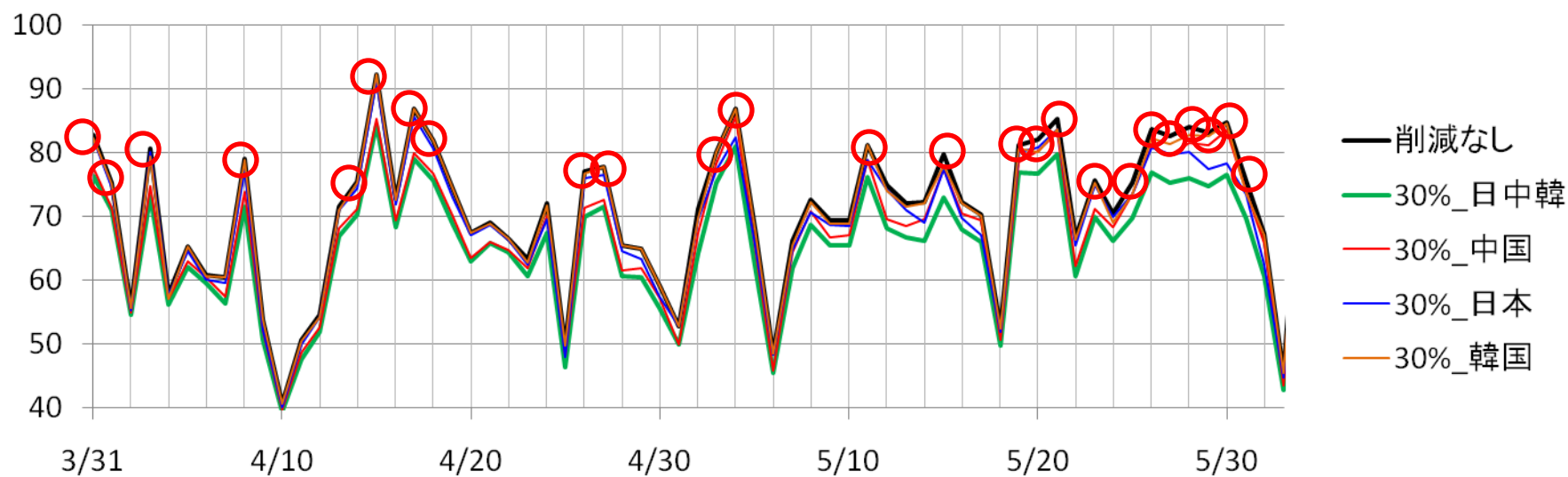


国内オゾン8時間75ppb達成のためには？

春～夏の日中8時間75ppb超過日の改善には、
日中韓で同時に排出量を30%削減することで一定の効果あり

◎東アジア領域規模モデル(WRF-CMAQ)での排出量削減感度評価

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)

(日本、中国の削減効果の大小は日により異なる)

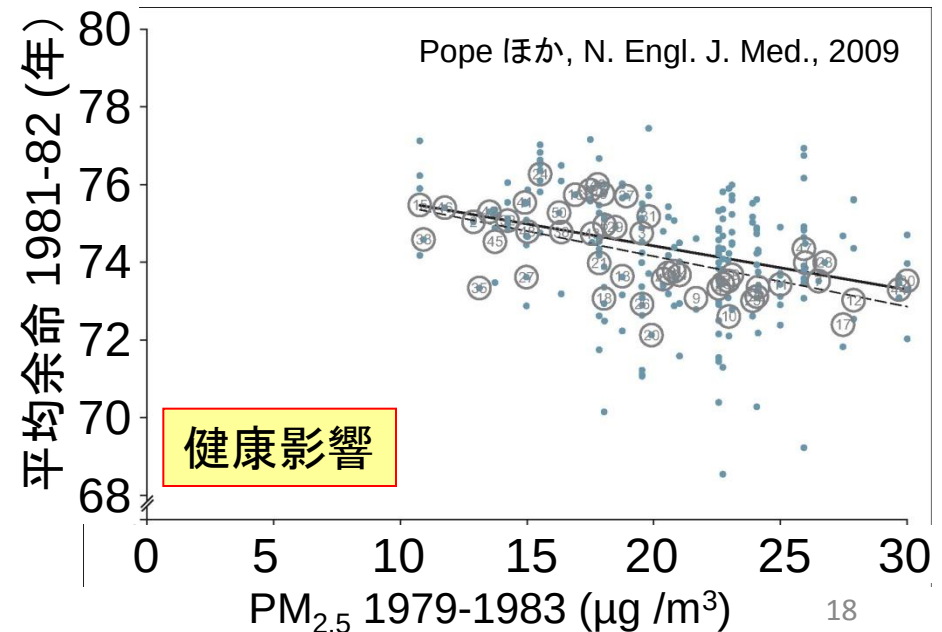
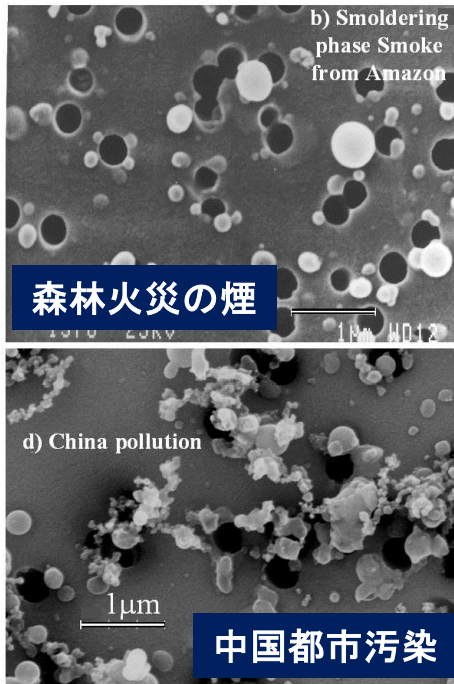
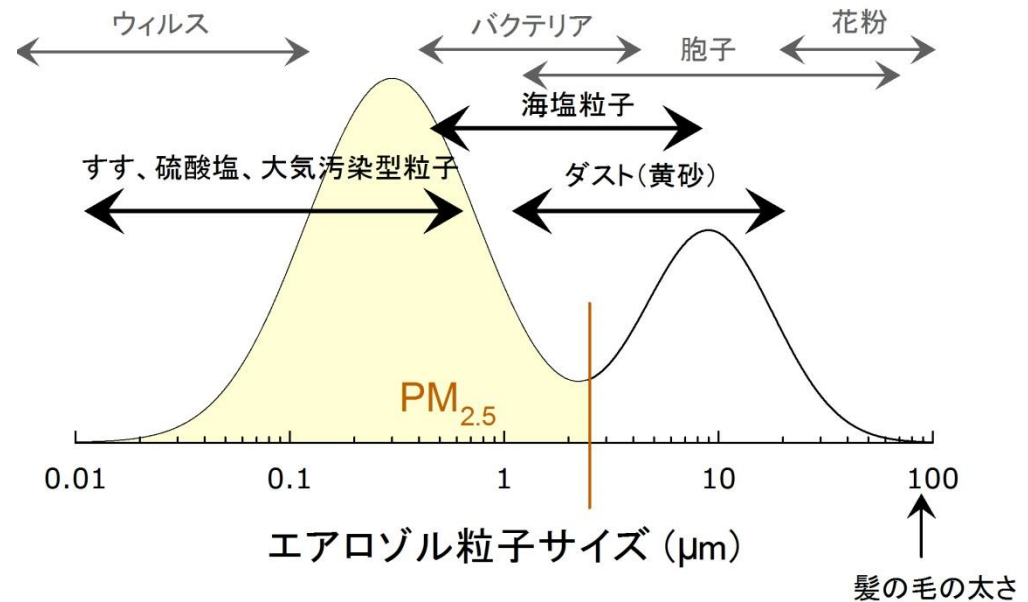
※高濃度イベントでの中国寄与: 7-32% (平均17%)

エアロゾルとは

空気中を漂う微粒子(チリ)

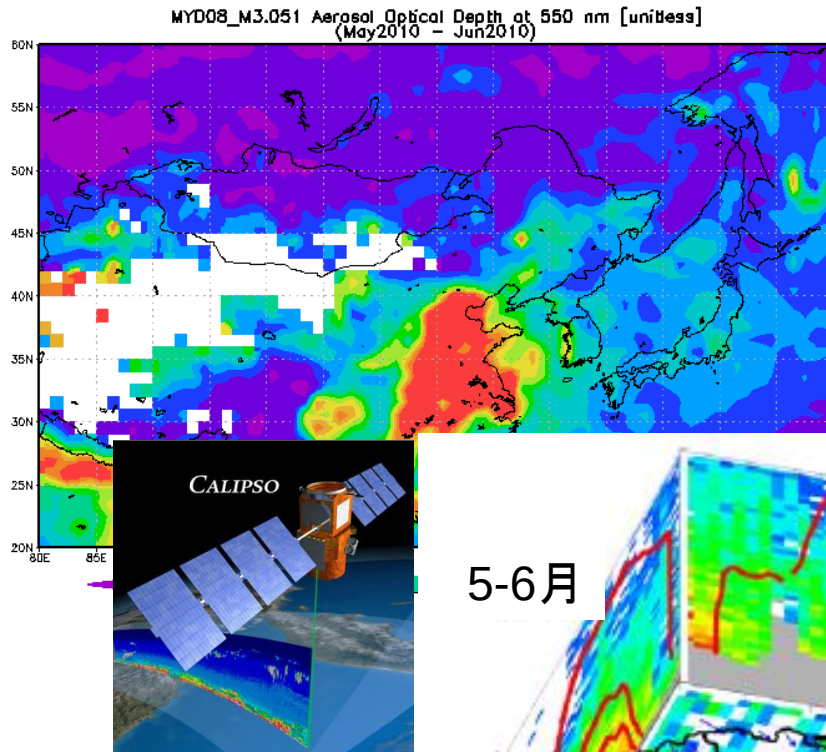
- 起源: 工場や車の排気ガス、肉調理、砂嵐、波飛沫
- 空気中での反応、温度変化
- 大きさ・形はさまざま
- PM_{2.5}: 2.5ミクロン以下の微小粒子
- 空気中を漂っている時間: およそ2~7日

<http://alg.umbc.edu/usaq/archives/001044.html>

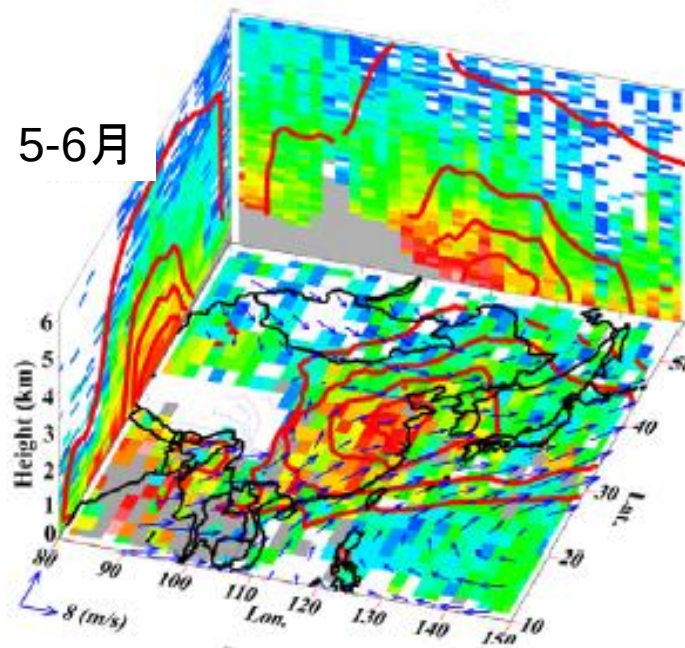


東アジアでのエアロゾル実態

衛星からみたエアロゾル光学的厚さ
(AOD)



◎衛星ライダー
からエアロゾルの
高度分布も
観測
(Hara ほか、2011)

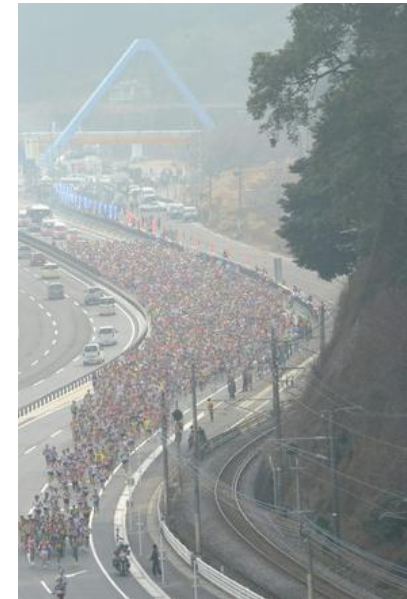


●中国中東部のエアロゾル量は顕著



<http://news.bbc.co.uk/2/hi/asia-pacific/7478923.stm>

● 2011年2月別府大分マラソン
毎日新聞ヘリから

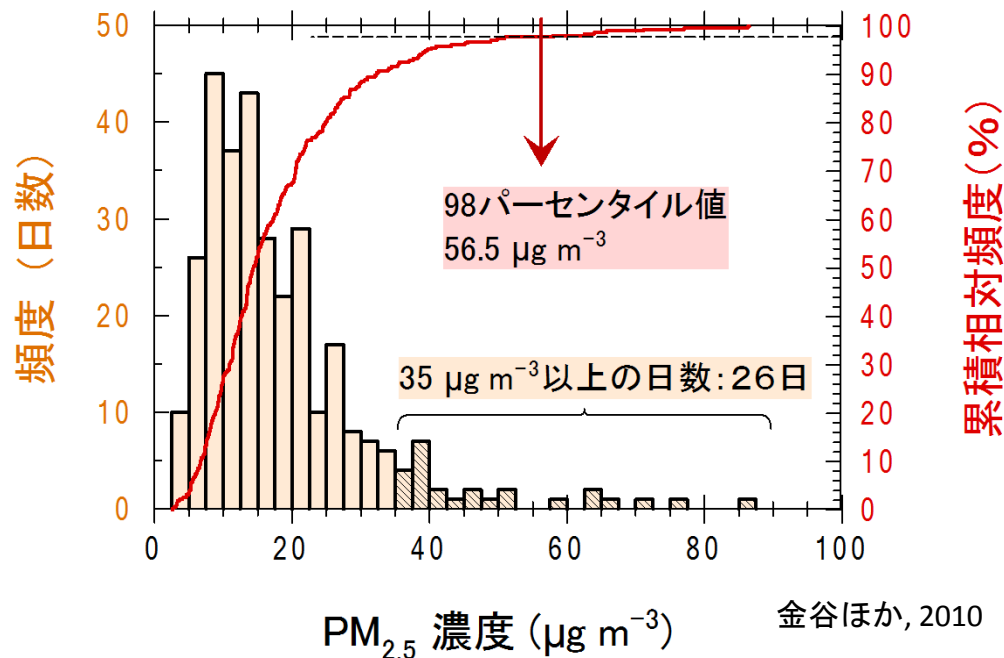


福江島PM_{2.5}通年観測

PM_{2.5}濃度の単位: $\mu\text{g}/\text{m}^3$
(1 m³あたりマイクログラム)

※そらまめ君で公表されているPM_{2.5}観測データは全国でまだ20か所程度

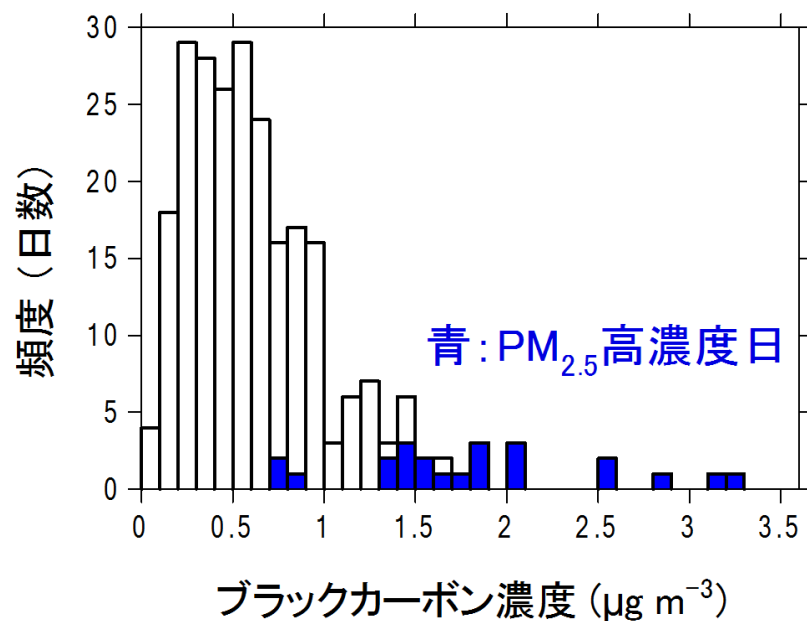
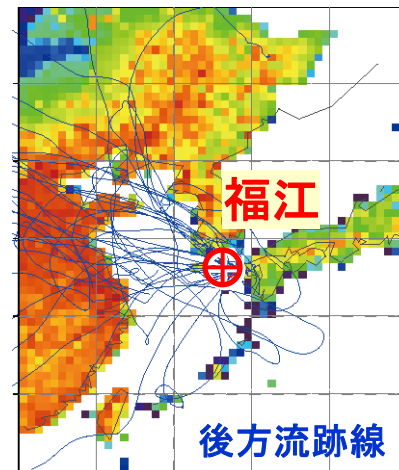
越境大気汚染が主原因で、PM_{2.5}濃度が環境基準を超過



※短期基準: 35 $\mu\text{g m}^{-3}$ 超の日数は7日 (2%)まで許容。
→ 26日の超過は顕著。

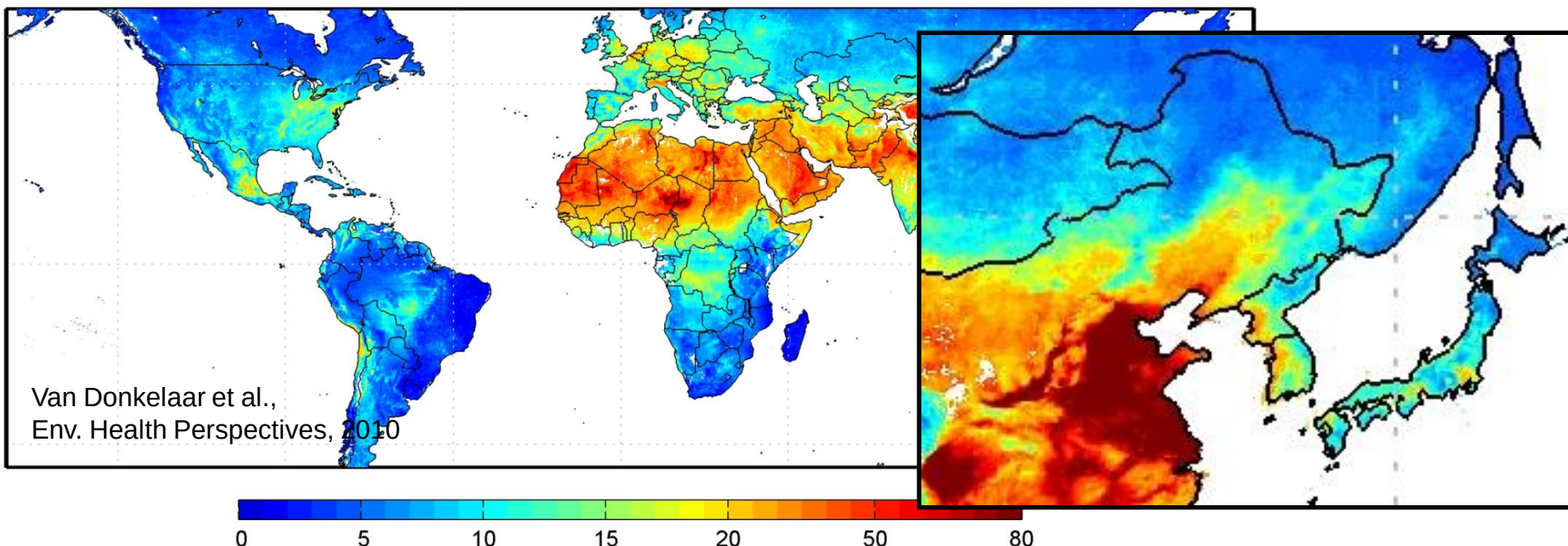
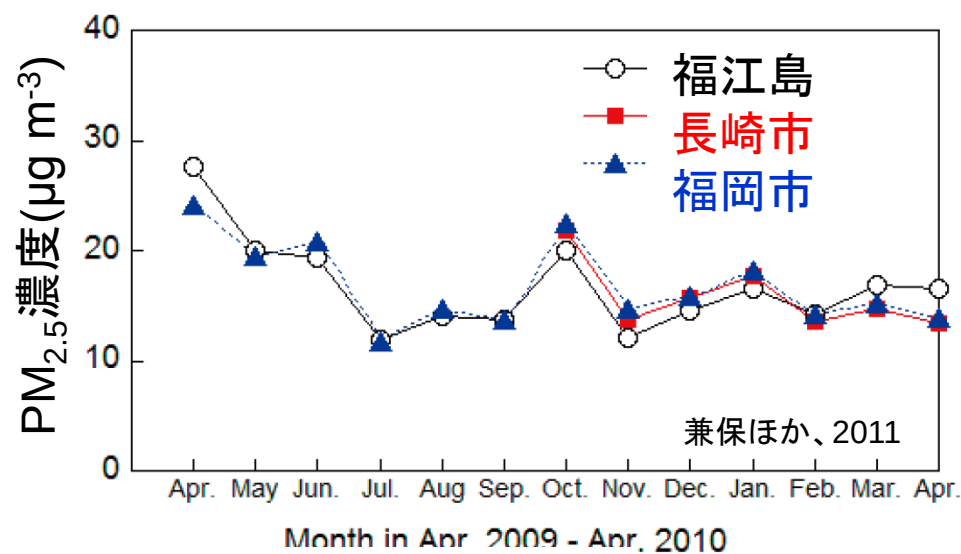
◎超過日は高濃度ブラックカーボンを観測
(→越境大気汚染を示唆)

◎超過日の
気塊は
主に大陸方
面から



福江島だけの問題ではない

- 長崎・福岡とよく一致：
広域現象、日本の都市の影響小
- 衛星からの光学エアロゾル観測から
PM_{2.5}導出の試み



Van Donkelaar et al.,
Env. Health Perspectives, 2010

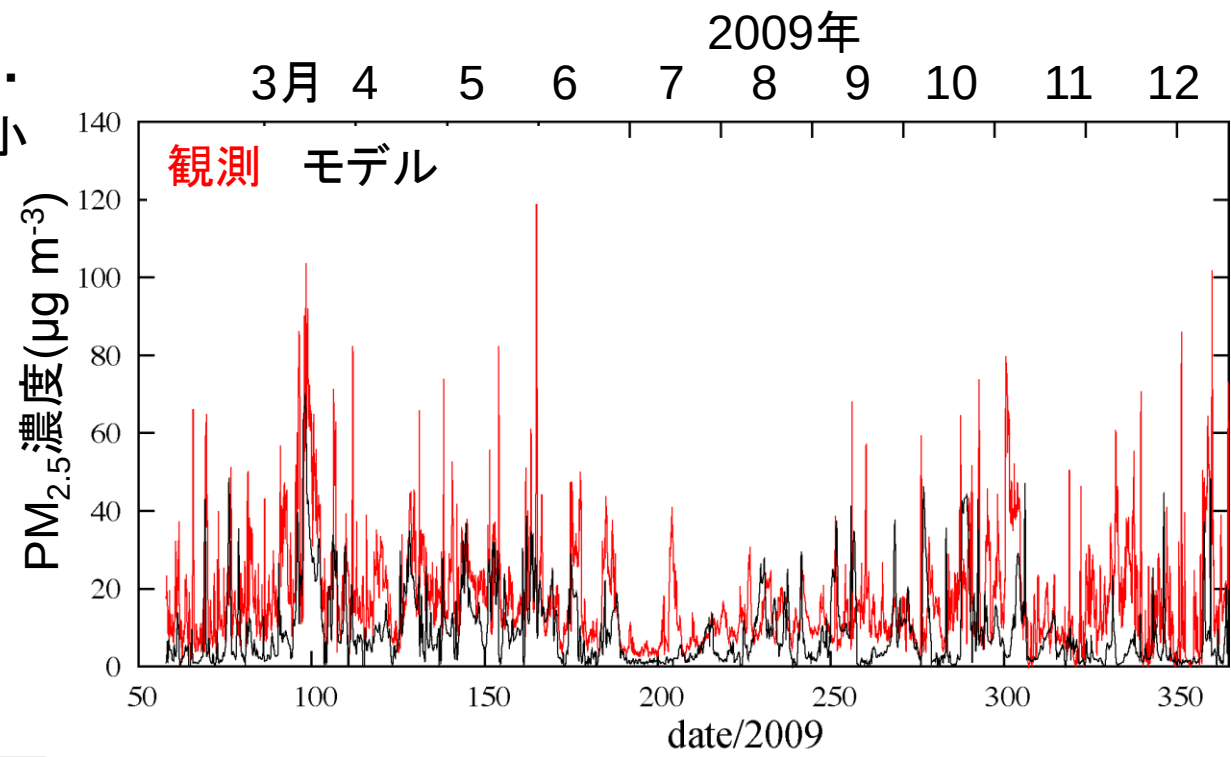
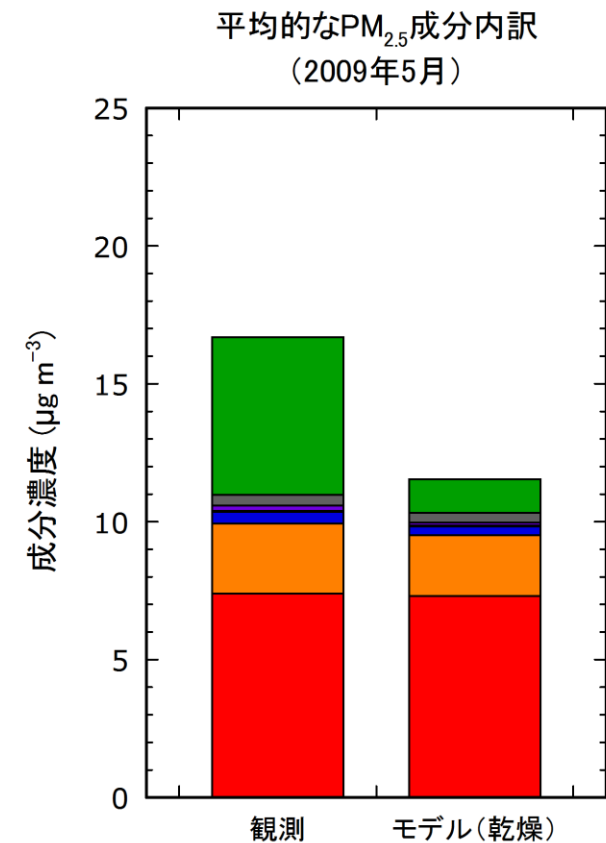
衛星観測から推定されたPM_{2.5} [μg/m³]

エアロゾル光学的厚さ(衛星) × 補正項 η (モデルから) = PM_{2.5}
 ※ηはエアロゾルサイズ、日変化、相対湿度、エアロゾル消散係数の鉛直構造の関数

※6年間(2001-2006)の平均の描像。
 日々変動等はまだ捉えられていない。

PM_{2.5}の内訳、モデルでの再現性

●モデル: 硫酸塩・アンモニウム・硝酸塩はよく一致、有機物を過小評価。

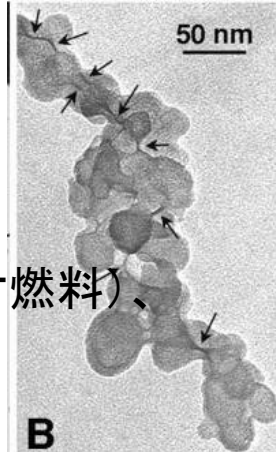


●モデル:
季節性・短期変動はある程度よく表現

→改良・検証ののち、オゾンと同様の
ソース・レセプター解析を行う計画

ブラックカーボン(すす)とは

- 小さい・複雑形、PM2.5の数%程度
- 起源: ディーゼル排ガス、家庭(石炭・バイオ燃料)、産業、野焼き
- 光吸収性、温暖化寄与物質



[http://www.sciencedaily.com/
releases/2008/08/08081416
3554.htm](http://www.sciencedaily.com/releases/2008/08/080814163554.htm)

UNEP/WMO, 2011

産業

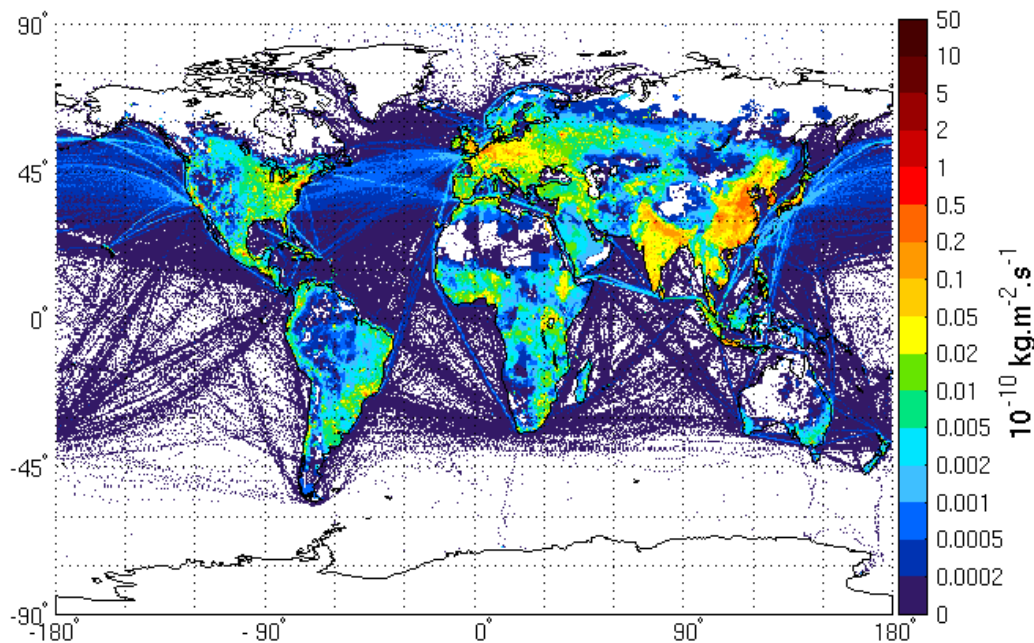


野焼き



ACCMIP emissions - BC anthropogenic emissions - 2000

人為起源分排出量推計(野焼き・森林火災除く)

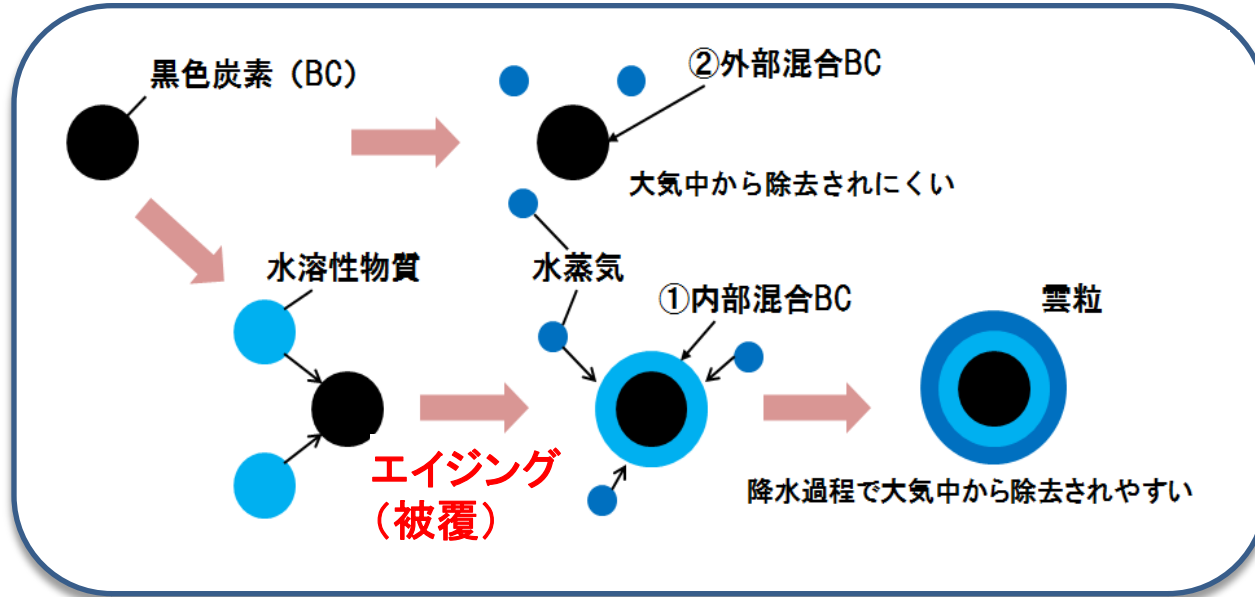


Lamarque et al., 2010



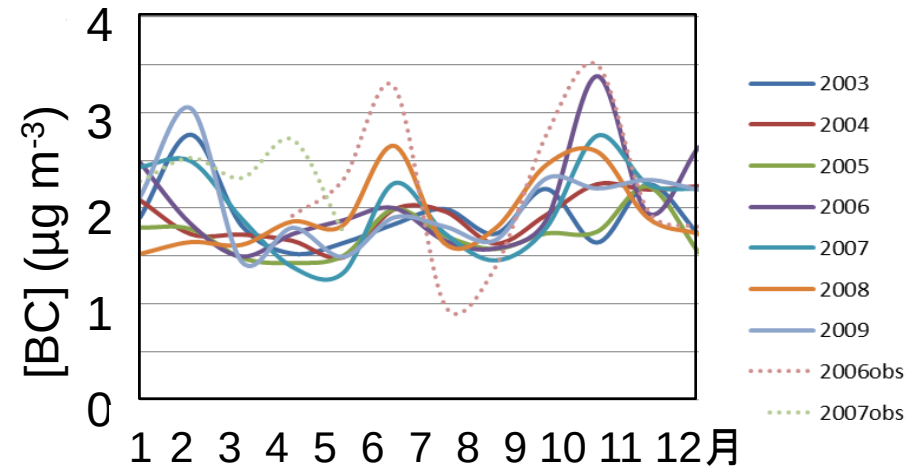
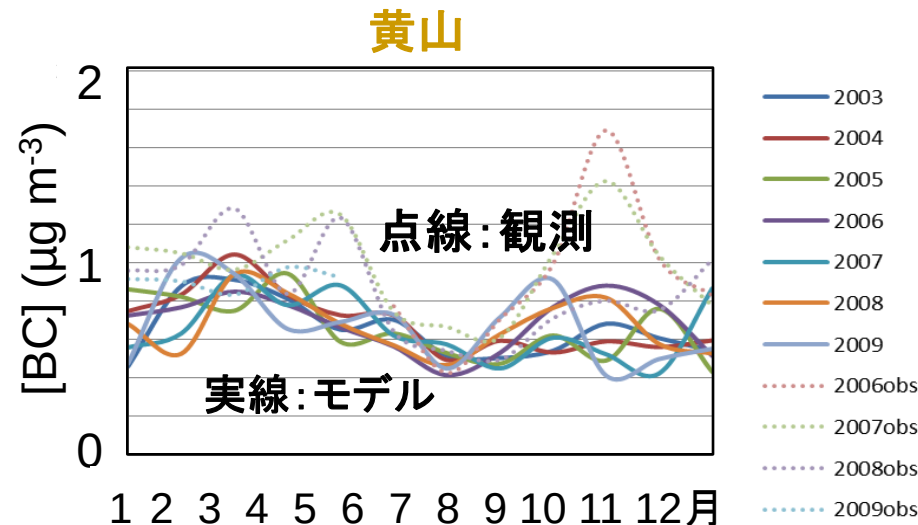
- 中国は全球の約30%
- 不確かさ 4倍程度

ブラックカーボンのモデル表現の改善と検証



須藤ほか、2011

泰山



◎モデルと観測の一致度良好 → ブラックカーボンの気候影響(コベネ)見積りの信頼性向上

越境大気汚染：わかってきたこと

実態：

- ◎国内(とくに九州北部等)ではオゾン75ppb超日多い、PM_{2.5}環境基準達成せず
- ◎中国での大気汚染実態を定量的に把握、NO₂増加(年率4-7%)

越境量の把握：観測(現場・衛星)による検証の上で・・・

- ◎春の日本オゾン起源は多様(国内22%、中国12%、欧米7%など)
- ◎中国も他地域からオゾン流入、オゾン汚染利害関係国は北東+東南アジア
- ◎春夏の高濃度日数の改善には、日中韓同時30%排出量削減が効果あり

わかっていないこと、取り組んでいること

- ◎ VOCの排出実態
- ◎ PM_{2.5}の起源地域別寄与、発生源別寄与(オゾンも)
- ◎削減シナリオに沿ったシミュレーション：有効性検討
- ◎広域大気汚染に関するアジア研究者レベルでの共通認識の醸成