

グローバル化する大気汚染

近藤豊

先端科学技術研究センター

小林和彦

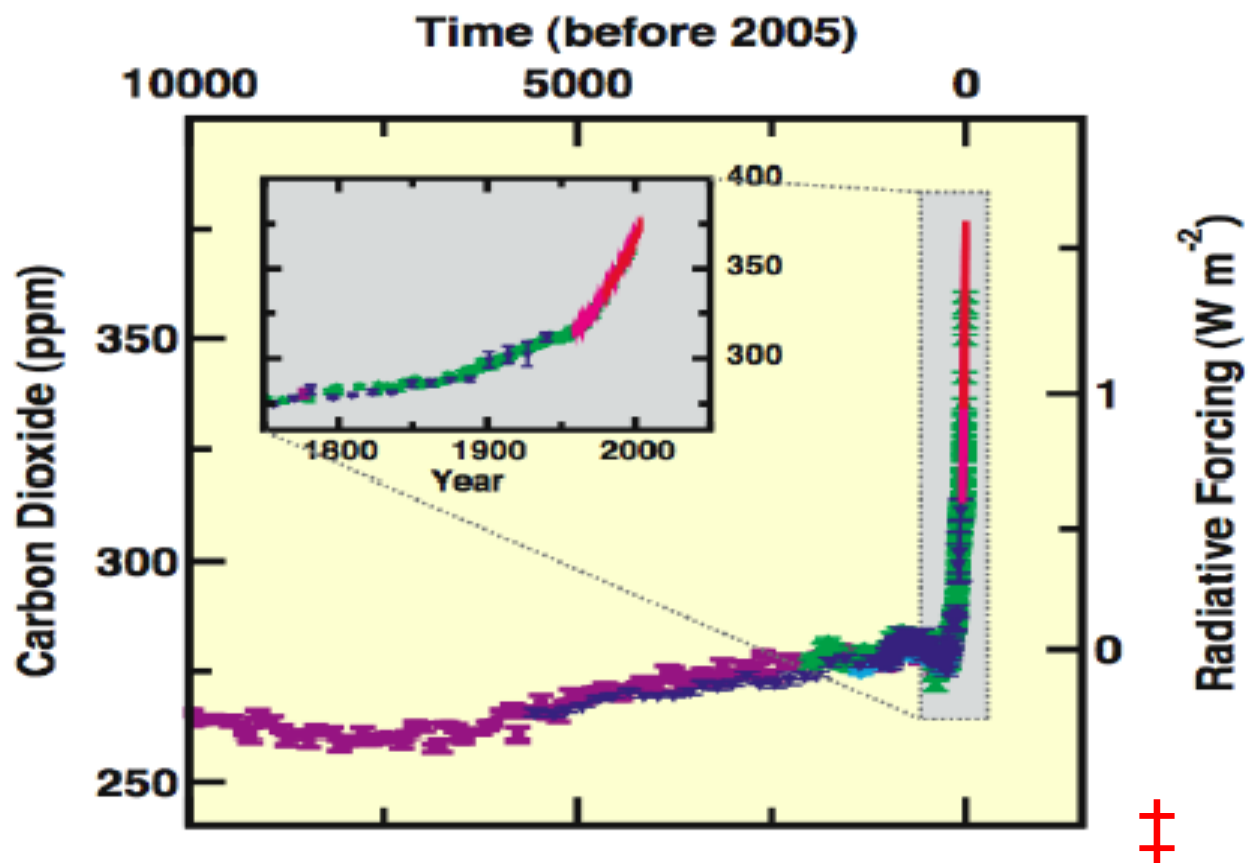
農学・生命科学研究科

2007年5月12日

†:このマークが付してある著作物は、第三者が有する著作物ですので、同著作物の再使用、同著作物の二次的著作物の創作等については、著作権者より直接使用許諾を得る必要があります。引用情報のない図版は、講演者の有する著作物の中から引用されたものです。

二酸化炭素の増加(化石年燃料の消費による)

from ice-Core and Modern Data

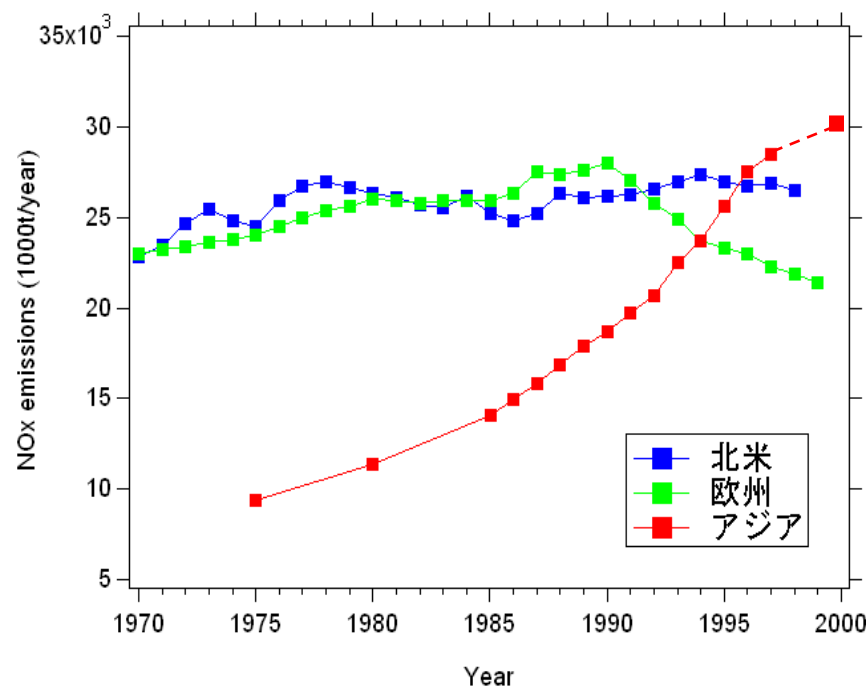


IPCC 4th assessment report WG1 SPM

CO₂は100年近く大気中に存在し、地球規模でほぼ一様の濃度
近年濃度が急増

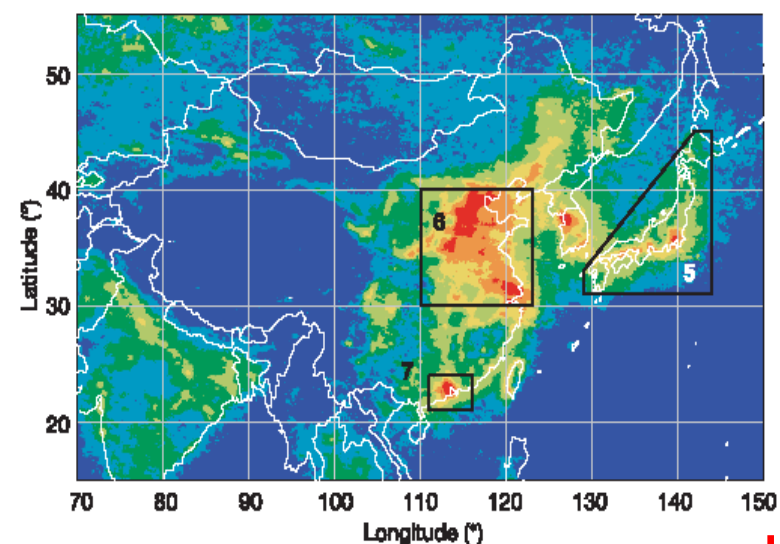
アジアにおける大気汚染物質の放出量の増加

Ohara, 2007



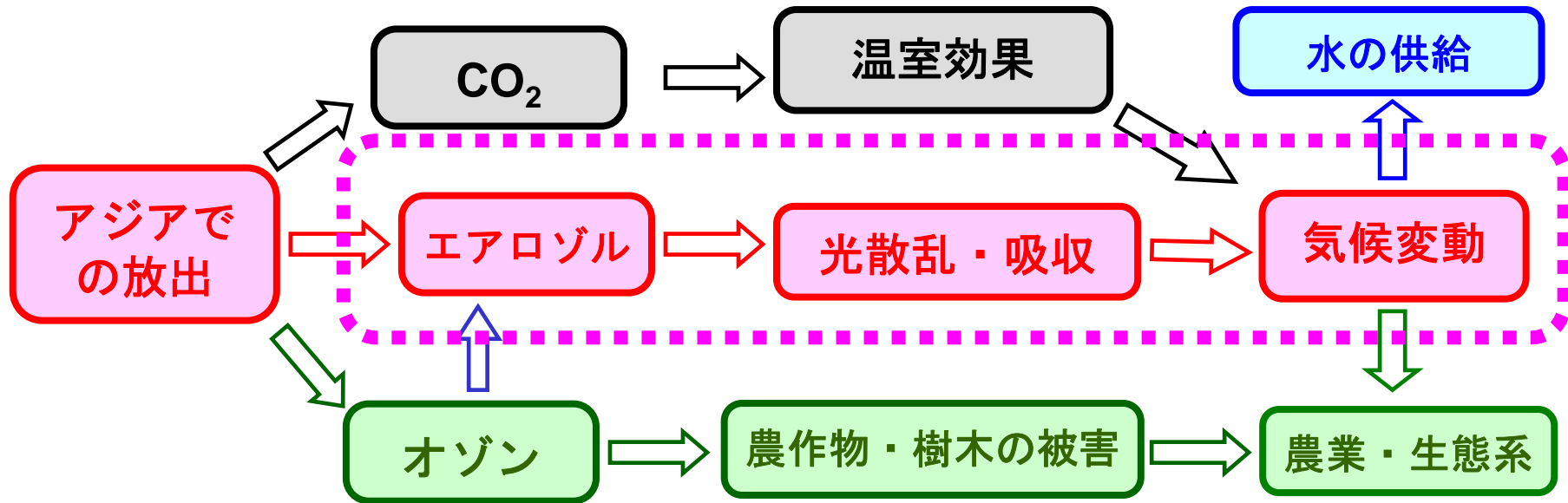
Richter et al., Nature, 2005

NO₂ 全量の衛星観測 (03年12月-04年11月)



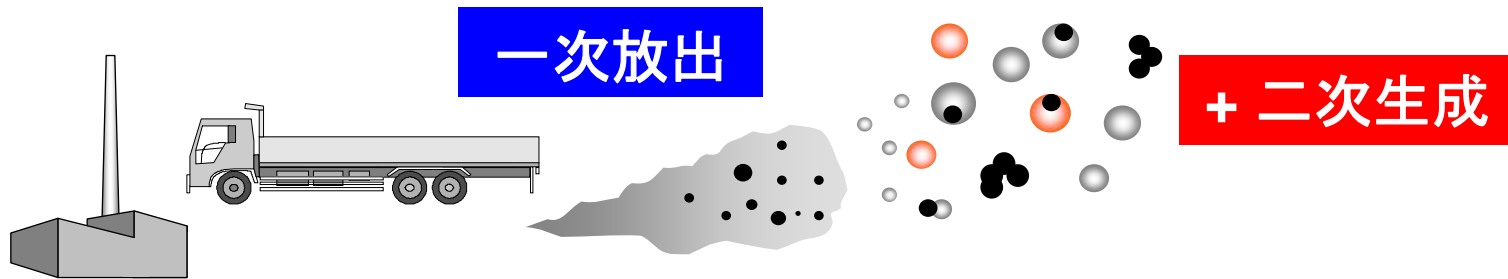
- アジアにおける大気汚染物質の放出量は大きく増加してきた。
- NO_x, オゾン、エアロゾルの滞在時間は1週間程度
→ 発生源近傍で高濃度

エアロゾル・オゾンの気候・生態系への影響

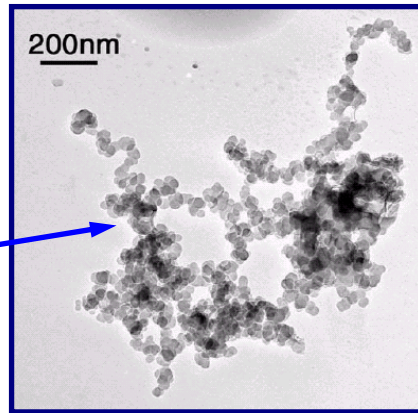


エアロゾルとオゾンは共通の発生源を持つ
オゾンの生成がエアロゾルの生成を促す(光化学スモッグ)
気候・水の供給・食料生産・健康など、人間の生存基盤に影響

エアロゾル 大気中の微粒子 (PM)

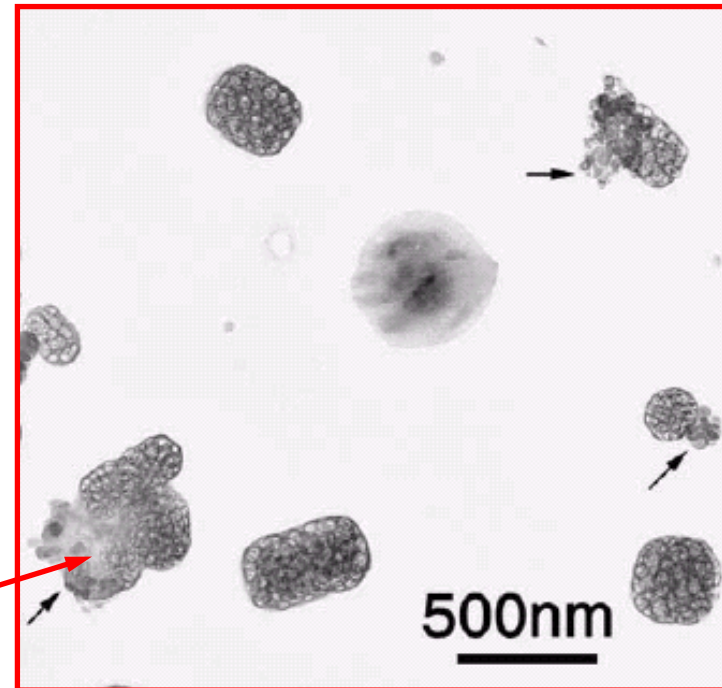


ブラックカーボン
(黒色) (20 nm程度
のナノ粒子が凝集)

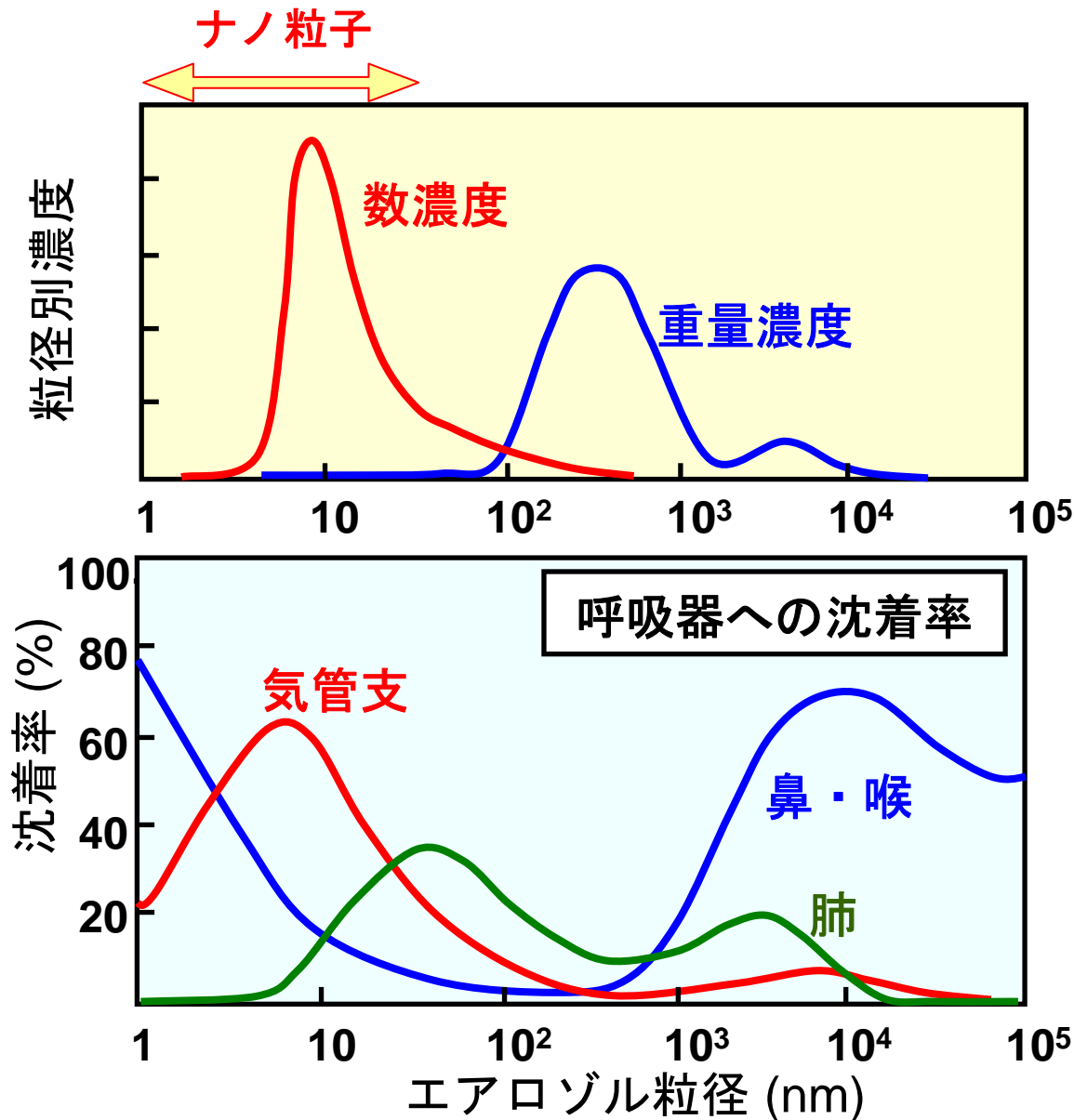


電子顕微鏡写真
[Li et al., 2003]

硫酸塩(白色)



エアロゾルの粒径と健康影響

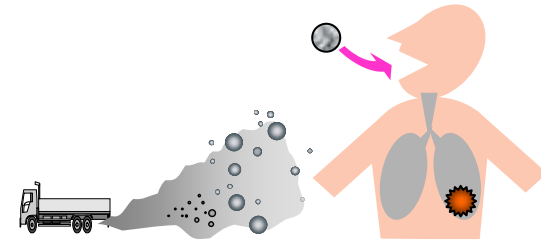


呼吸器への沈着率は
粒径に依存

肺や気管支に効率的に
沈着する粒径1 μm 以
下の微小粒子(PM1)が
重要

エアロゾル(PM2.5)の健康影響

1) 喘息など呼吸器への影響



2) 毒性

多環芳香族炭化水素

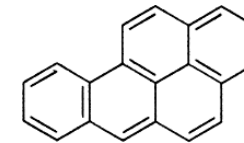
PAH (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon)

特に(Benzo [a] pyrene)など

ブラックカーボン(すす)に付着

1) **発癌性**

2) **DNAの異常**を起こし、新生児に異常



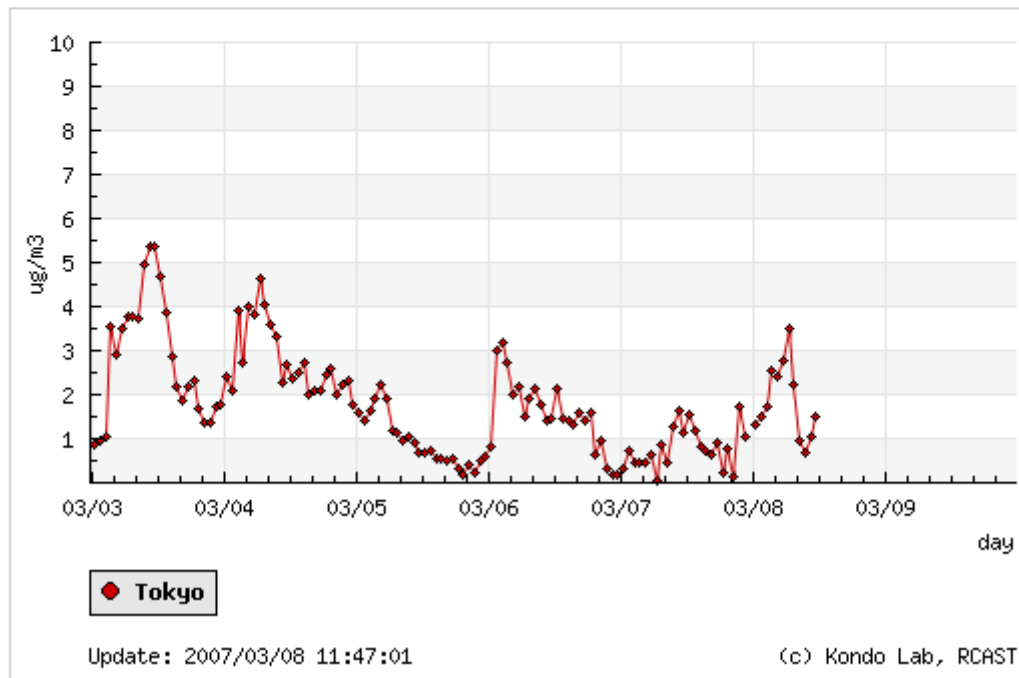
PM2.5の規制が検討されている(環境省)

ブラックカーボン粒子計測データをweb公開

黒色炭素粒子濃度の計測 —リアルタイム公開

On-line measurement of black carbon aerosol

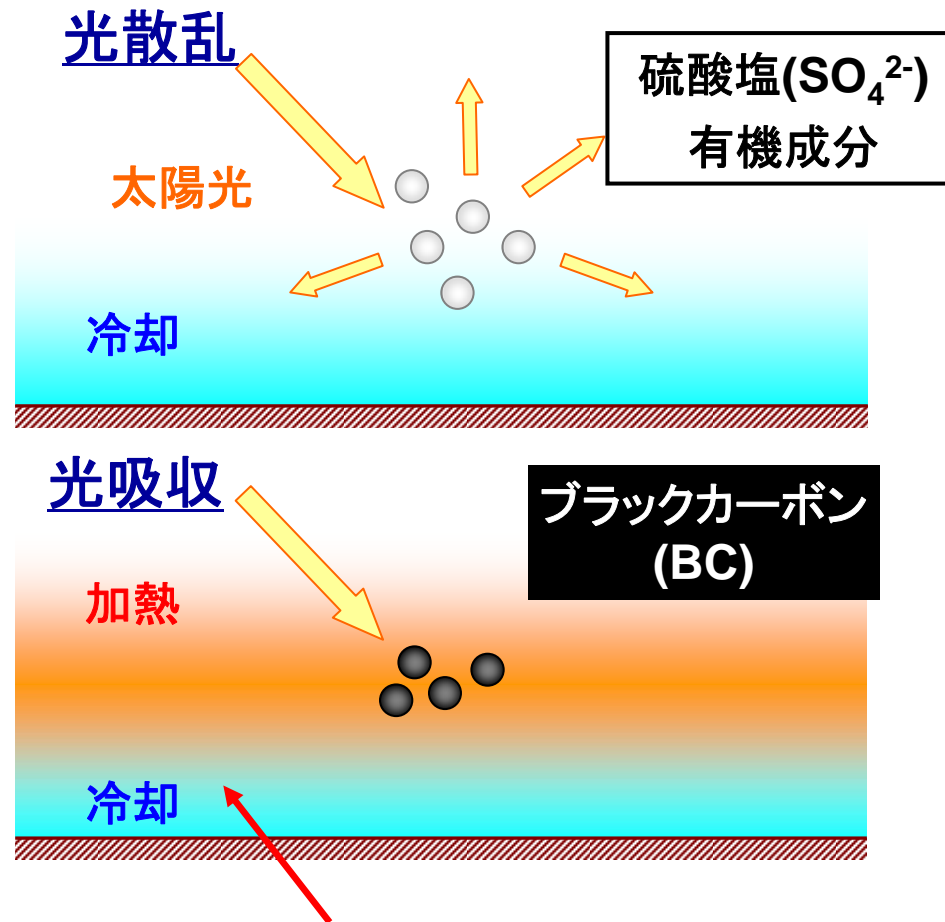
地球大気環境科学・近藤研究室が行っている黒色炭素粒子の連続観測データを公開しています。下のグラフは東大先端研で観測された黒色炭素粒子濃度(速報値)を指しています。縦軸は濃度、横軸は時間の経過を示しており、1時間毎の計測値が表示されています。



- ディーゼル車などから排出されるすす粒子の計測データをweb公開(世界初)
- SPM総量ではなく、成分毎のモニターを展開することが必要

<http://www.rcast.u-tokyo.ac.jp/ja/research/blackcarbon/>

エアロゾル (0.01-10 μm の微粒子)の気候影響



上空は加熱・地表は冷却され大気安定度が増す

エアロゾルの光散乱・吸収効果

モルジブ島の青空



北京の光化学スモッグ



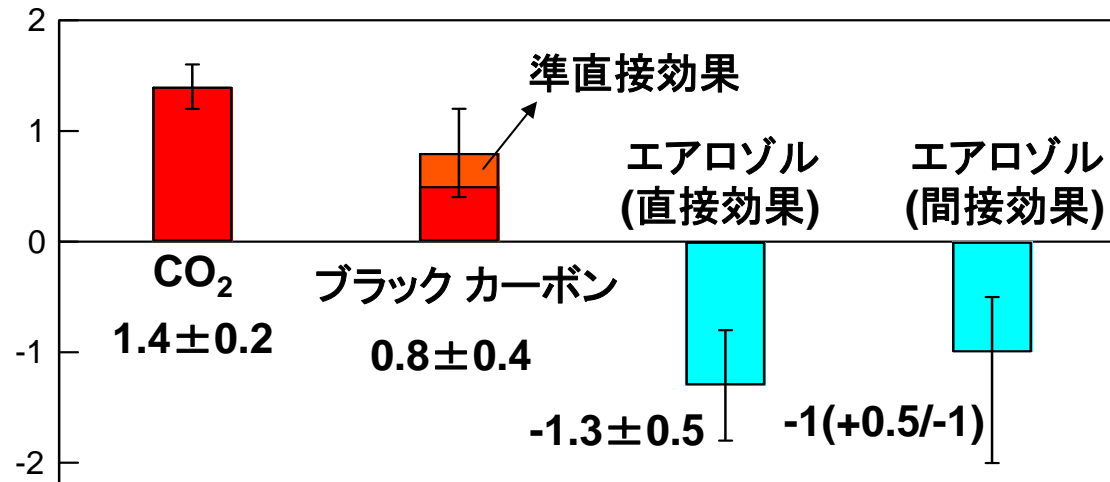
西安における黄砂



エアロゾル → 太陽可視光線の吸収・散乱を決める重要な要素

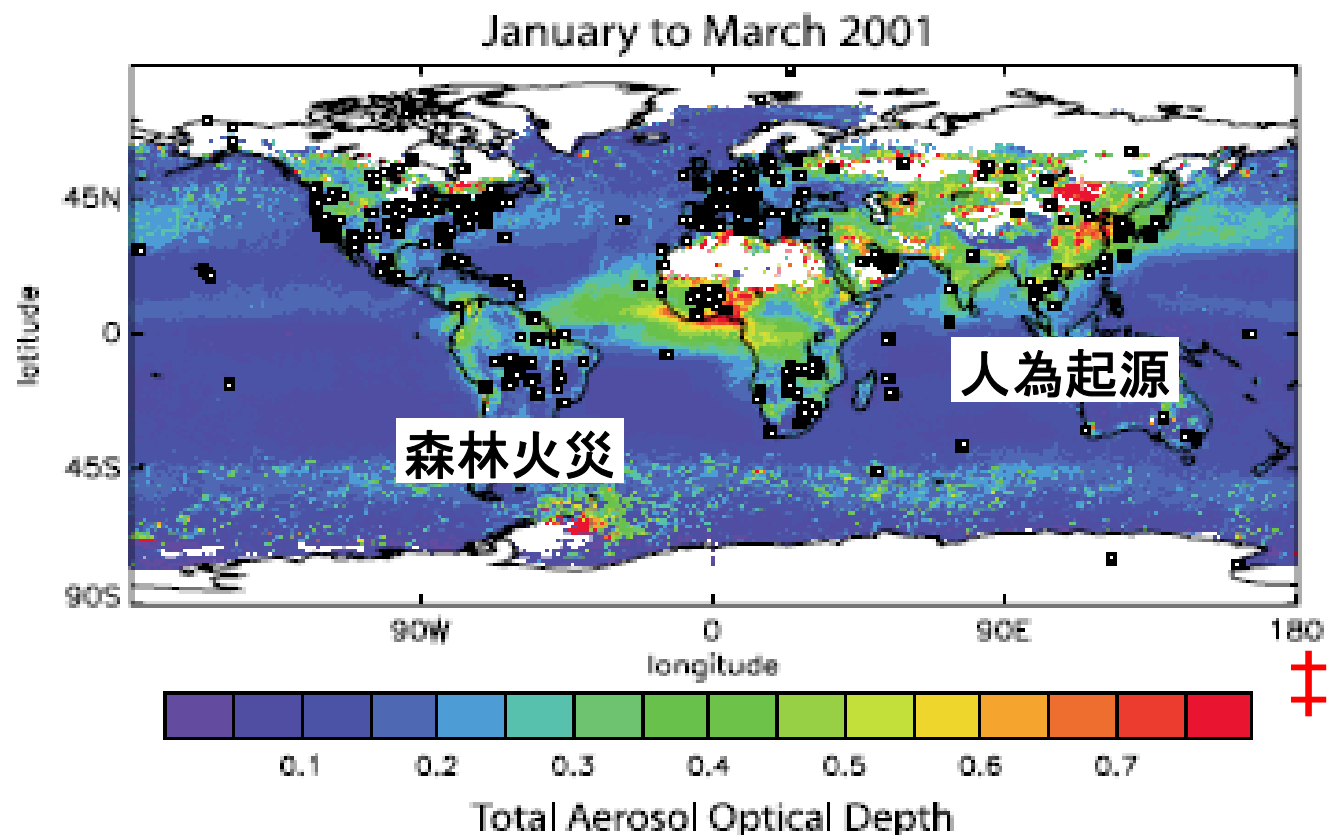
エアロゾルの温暖化影響

放射強制力 (W m^{-2}): 1850-2000 (IPCC 2001; Hansen, 2000)



- ・ ブラックカーボン(すす)が地球大気を加熱する効果は、CO₂の1/3程度に匹敵するという見積もりがある。この削減は、都市における健康影響と地球温暖化の両方にメリットがある。
- ・ 逆に、硫酸塩や有機物は地球大気を冷却する効果があるが、その定量的評価は不正確である。

人工衛星から見た地球規模のエアロゾル(春季)



アジアはグローバルに見ても、エアロゾル濃度が極めて高い
サイズ別のエアロゾル化学組成の正確な情報が必要

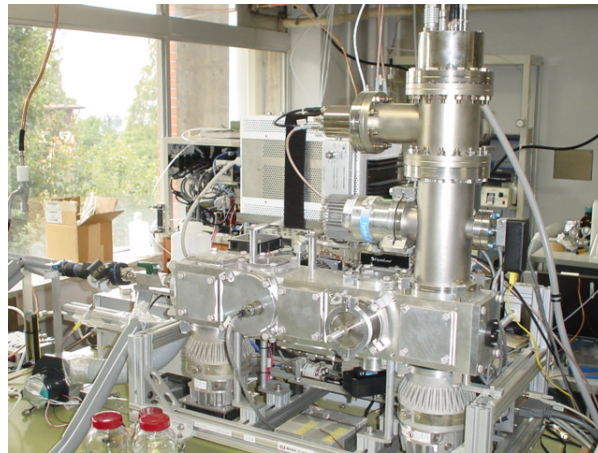
東京と中国での先端的なエアロゾル測定



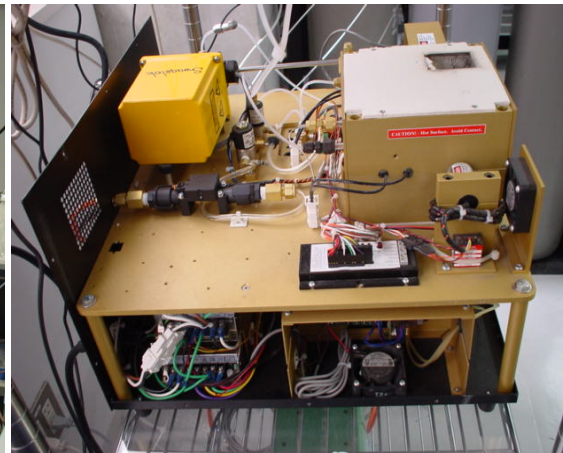
東京大学駒場キャンパス



北京大学キャンパス



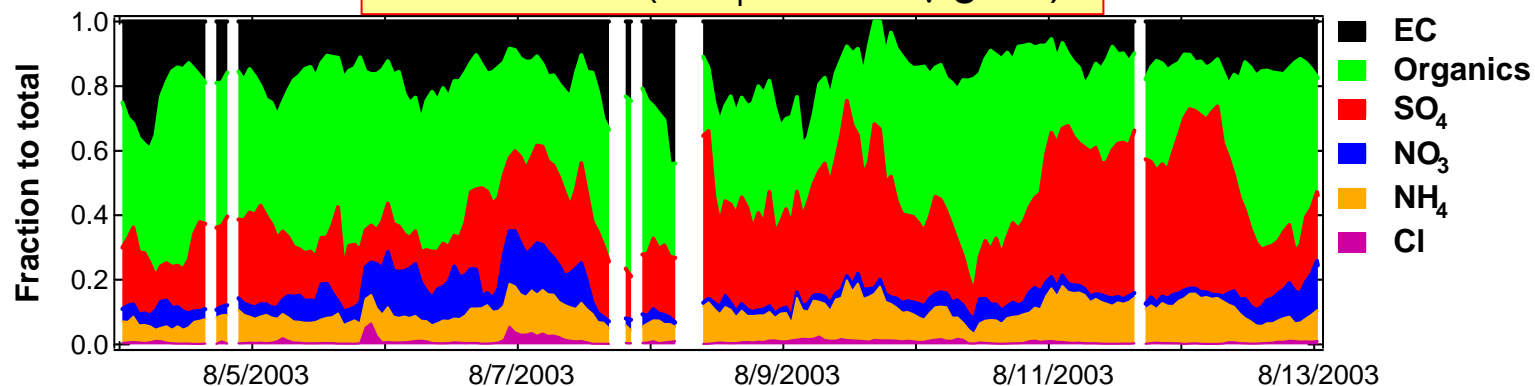
リアルタイム質量分析計



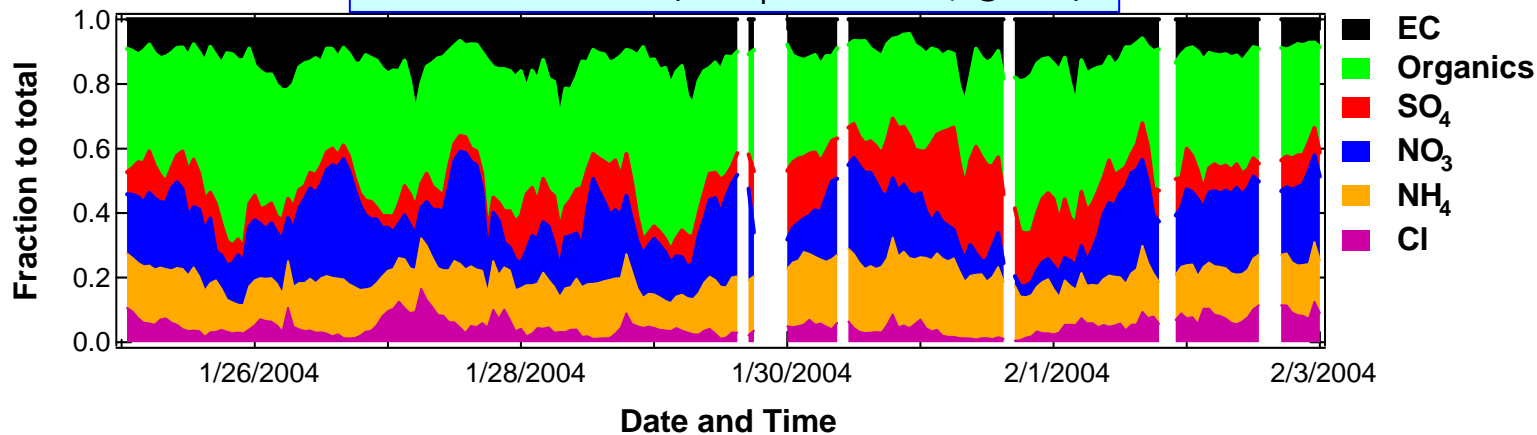
ブラックカーボン連続測定器

東京における観測結果

2003年8月 (PM₁ 平均17 μg/m³)

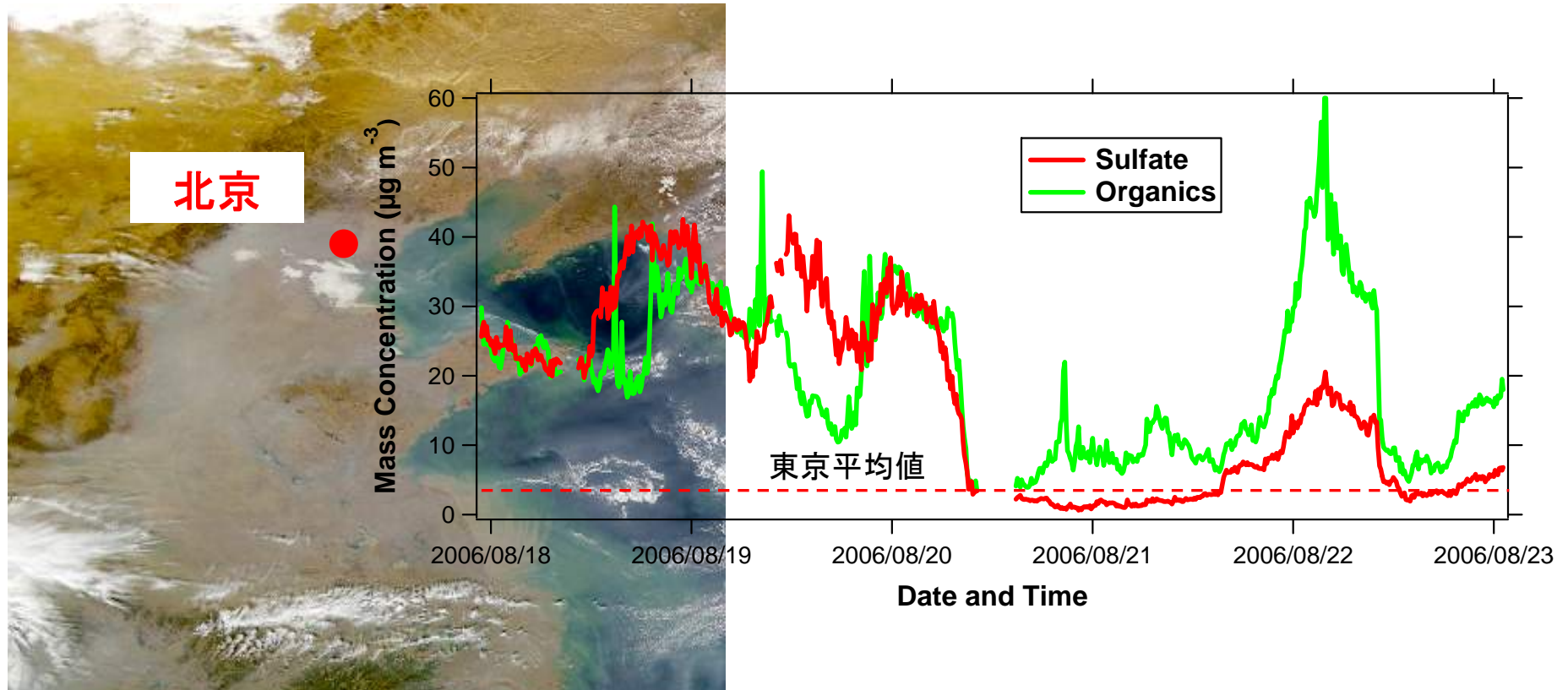


2004年1-2月 (PM₁ 平均20 μg/m³)



- エアロゾル化学組成の初めての系統的なデータ
- 有機成分、硫酸塩、硝酸塩が主要である。

北京周辺でのエアロゾルの化学組成 (Aug 2006)

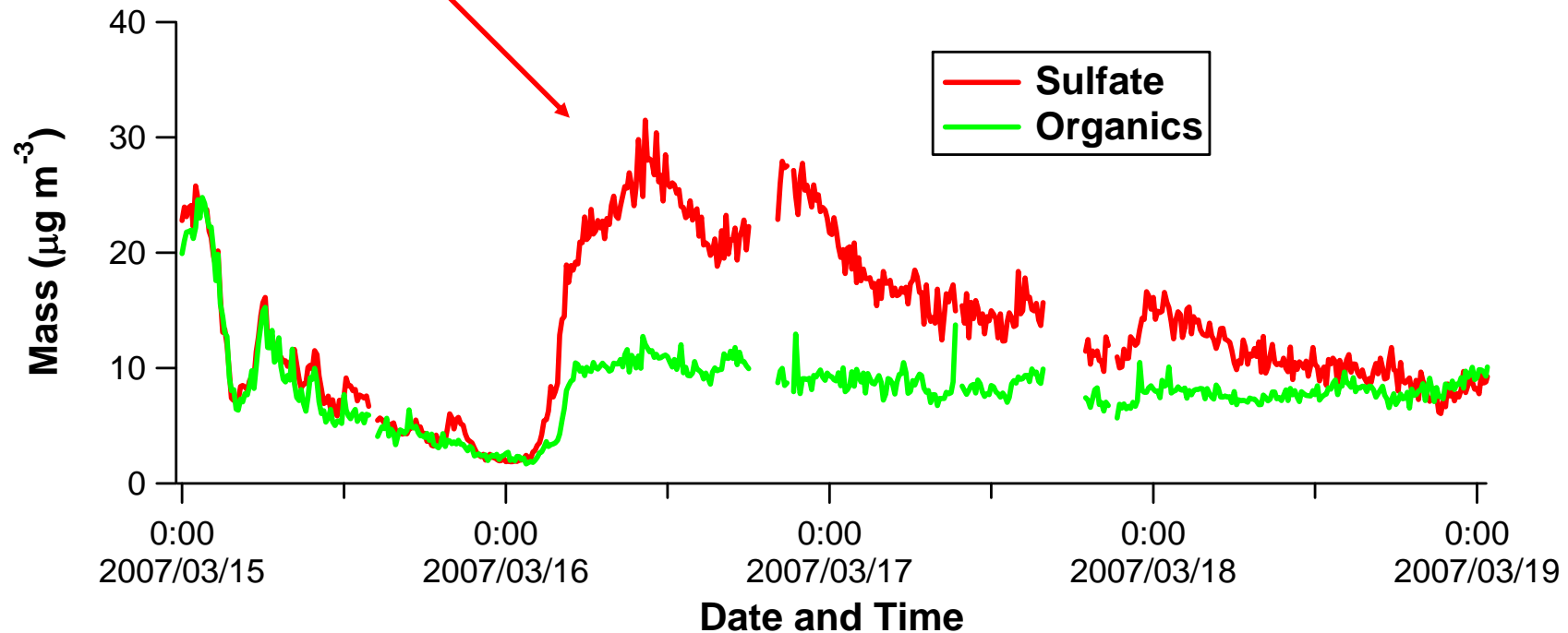


- 国際共同観測（中国、日本、韓国、ドイツ）
- サイズ毎のエアロゾル化学組成の世界初の観測。衛星から見える“もや”の組成を明確にした。
- 北京オリンピックに向けての“大気浄化プロジェクト”に大きな貢献

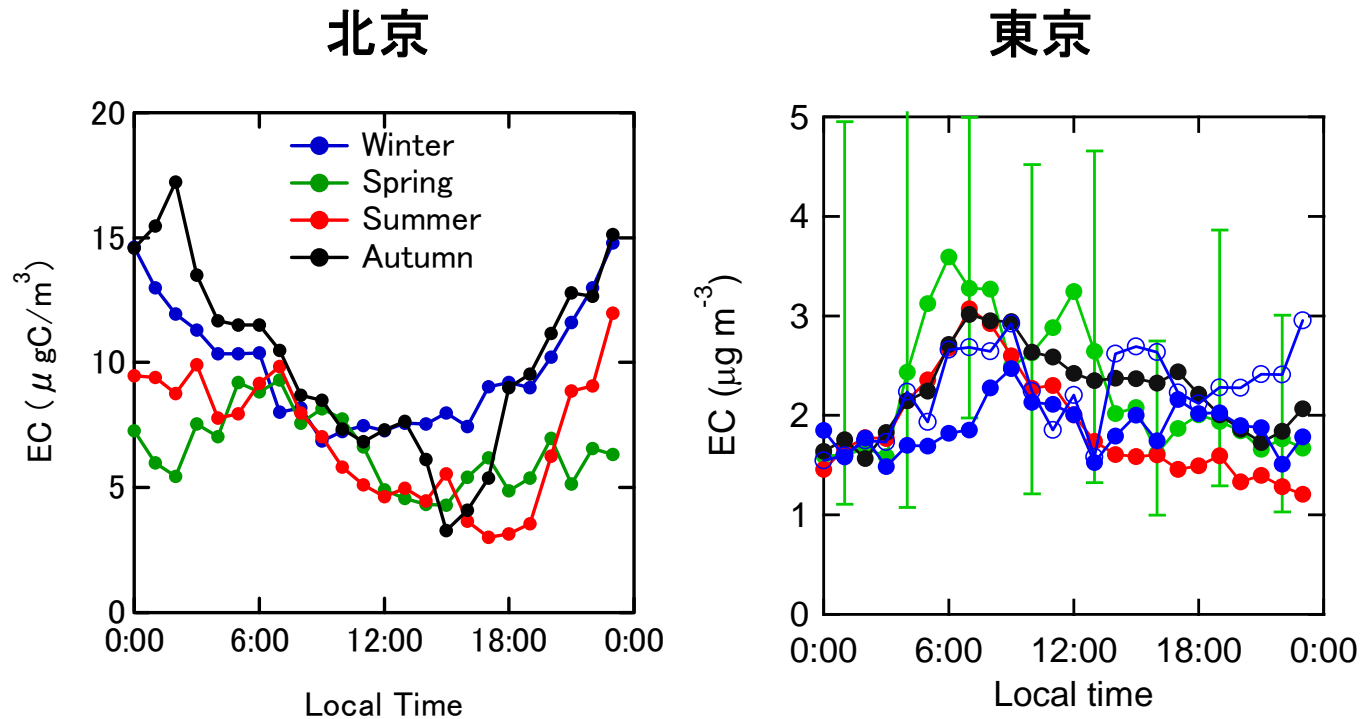
長崎県福江島における観測結果



- 春季において中国の影響を強く受ける
- 硫酸塩 SO_4 、有機物が主要成分
- 東京平均濃度 (2003年2月)
 $\text{SO}_4 = 2.5 \mu\text{g m}^{-3}$, $\text{Org} = 6.7 \mu\text{g m}^{-3}$



東京・北京のブラックカーボン(すす)濃度



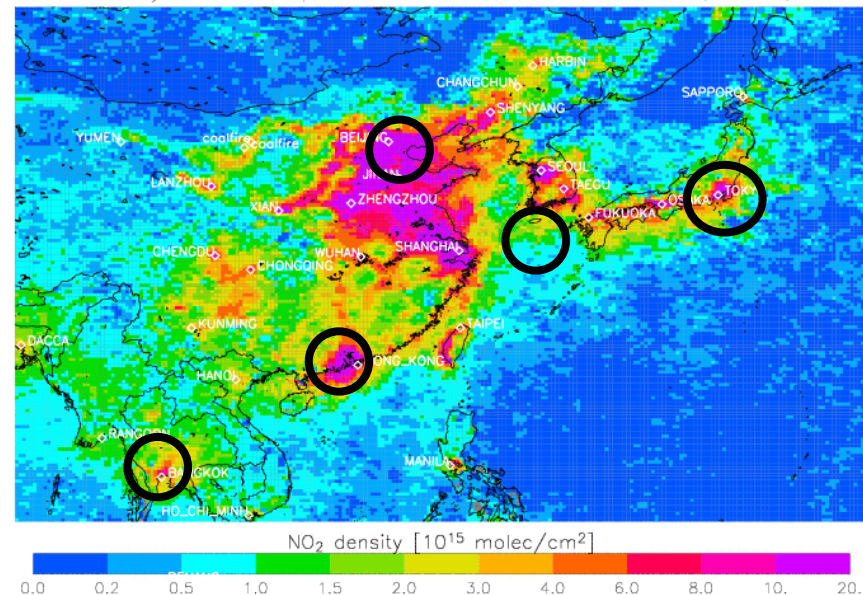
- 北京では東京の約3倍の濃度
 - 規則的な日変化。東京6時にピーク、北京は0時にピーク。
春季・夏季の暖房使用はなく、夜間の工場排出も少ない。
- ⇒ **ディーゼル車の寄与率が高いと考えられる**

アジアにおけるブラックカーボン(すす)の測定

東京 (年平均) $\sim 2 \mu\text{g m}^{-3}$
北京 (年平均) $\sim 6 \mu\text{g m}^{-3}$
濟州島 (春) $\sim 2 \mu\text{g m}^{-3}$
福江島 (春) $\sim ?$
広州 (夏) $\sim 5 \mu\text{g m}^{-3}$
バンコク (乾季) $\sim 6 \mu\text{g m}^{-3}$

Sciamachy mean trop. NO₂ 2003

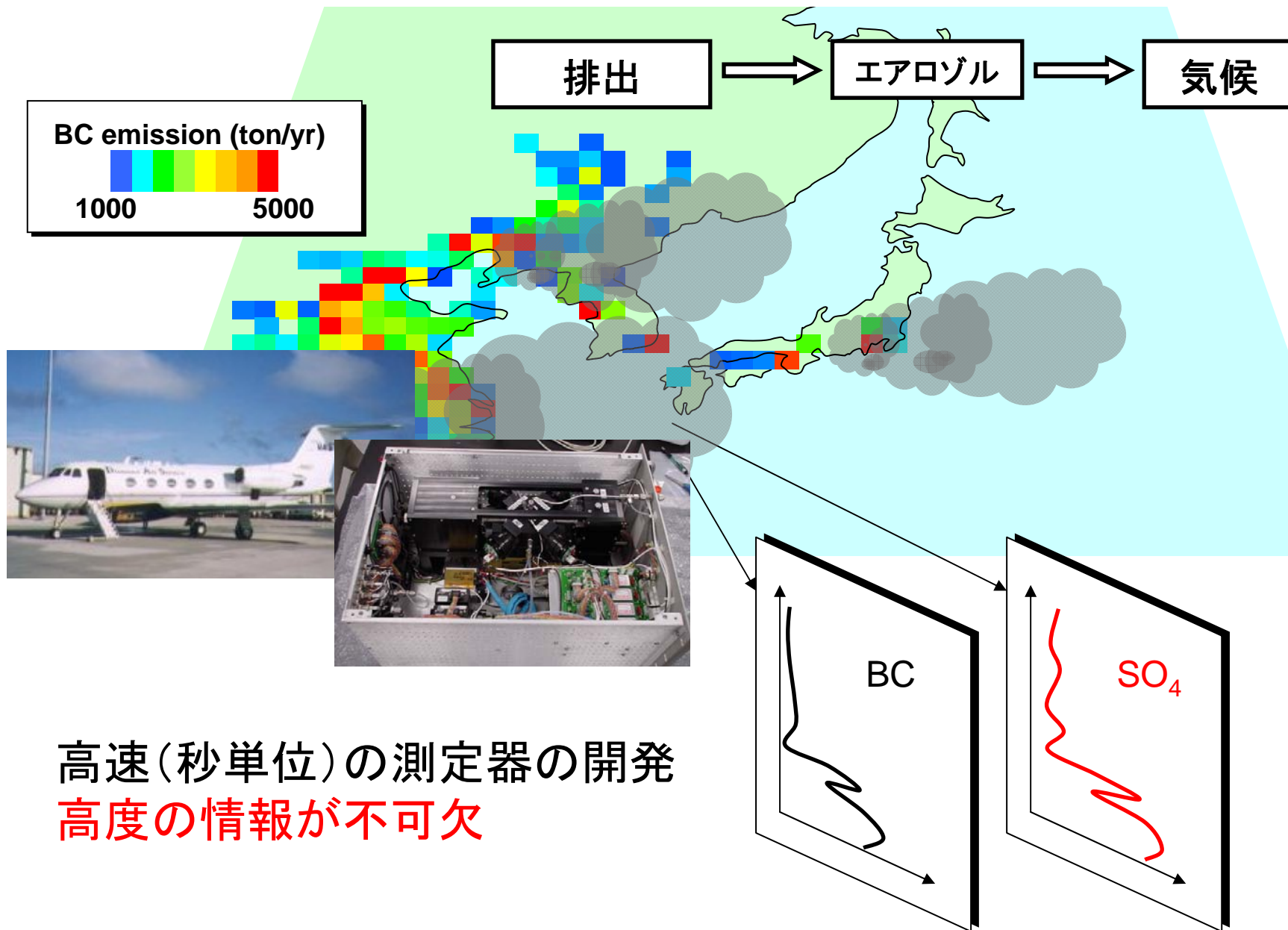
KNMI/IASB/ESA



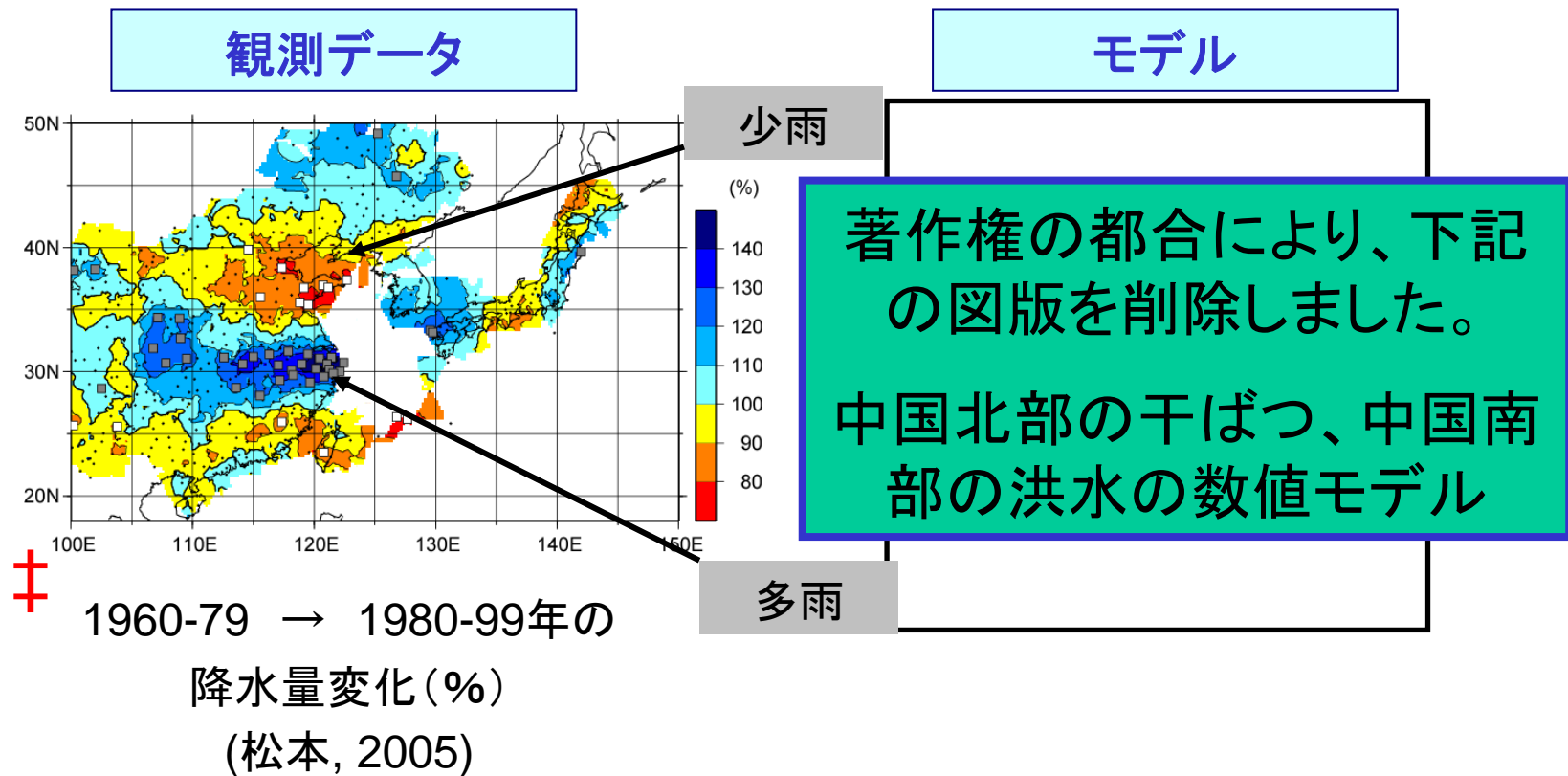
アジアの主要都市と周辺での信頼性のあるデータが集まりつつある

- 東京はアジアの主要都市の中では、エアロゾル濃度が低い→大気汚染低減対策のモデルケース
- これらの発生源から周辺域(東シナ海、九州・西日本など)にエアロゾルが拡散→広域大気汚染の正確な評価が今後必要

エアロゾルの高度分布(航空機観測)



数値モデルによるブラックカーボンの気候影響評価



ブラックカーボンの効果を入れたモデルは中国北部の干ばつ、中国南部の洪水の増加傾向を再現 (Menon *et al.*, 2002)

エアロゾルのまとめ

アジアは世界的なエアロゾル汚染地域

- アジアはグローバルに見て、極めてエアロゾルの濃度が高い。
- 日本は、アジア大陸のエアロゾルの影響をすでに受けている。
- アジアのエアロゾルは、今後一層拡大し、地球温暖化・水循環・人間の健康に大きな影響を及ぼす。
- ブラックカーボンの削減は健康・地球温暖化の両方に利点がある。
- エアロゾル対策にはアジア各国との協力が重要で、日本の貢献が期待される。

さらに詳細な情報・資料

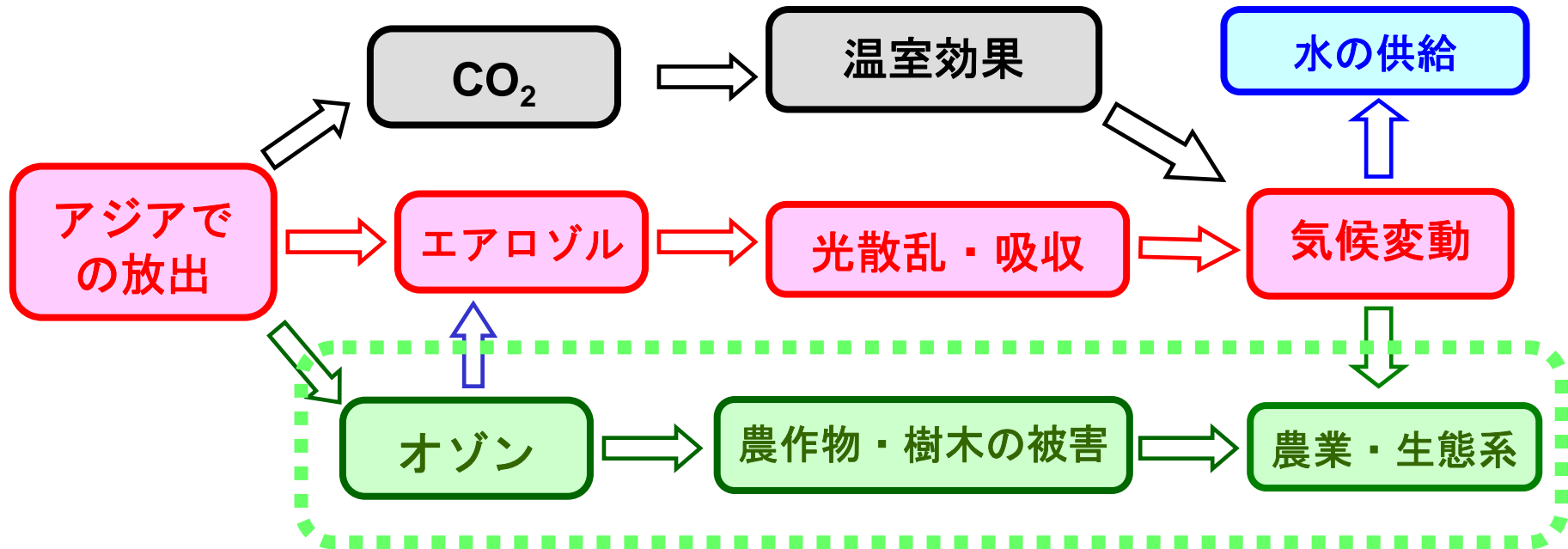
Home page

- <http://www.atmos.rcast.u-tokyo.ac.jp/>

Mail address

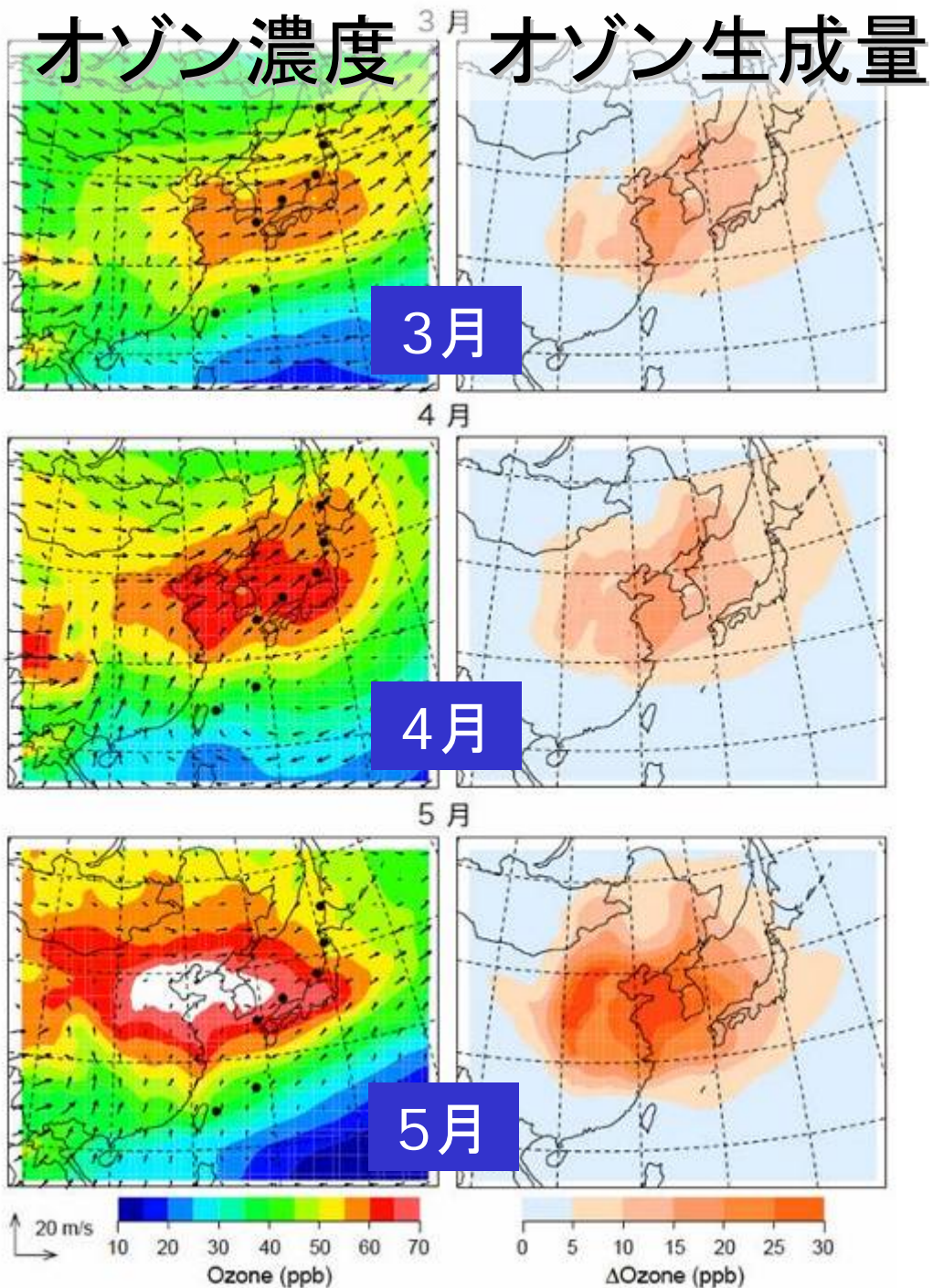
- y.kondo@atmos.rcast.u-tokyo.ac.jp

エアロゾル・オゾンの気候・生態系への影響



エアロゾルとオゾンは共通の発生源を持つ
オゾンの生成がエアロゾルの生成を促す(光化学スモッグ)
気候・水の供給・食料生産・健康など、人間の生存基盤に影響

東アジアの地表 オゾン濃度 (シミュレーション)



Tanimoto et al. (2006).
Geophys. Res. Lett. 32,
L21805

遠隔地でのオゾン濃度上昇

著作権の都合により、下記の図版を削除しました。

遠隔地でのオゾン濃度上昇
(長崎新聞)

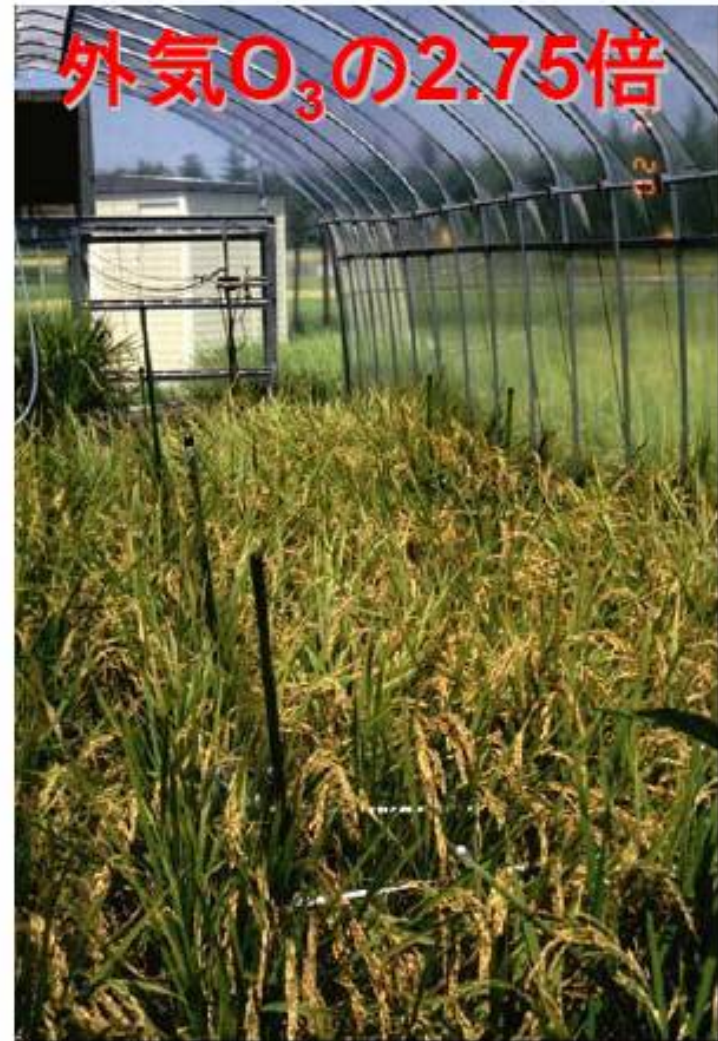
オゾンは強い酸化
力で、植物の葉の
組織を傷める



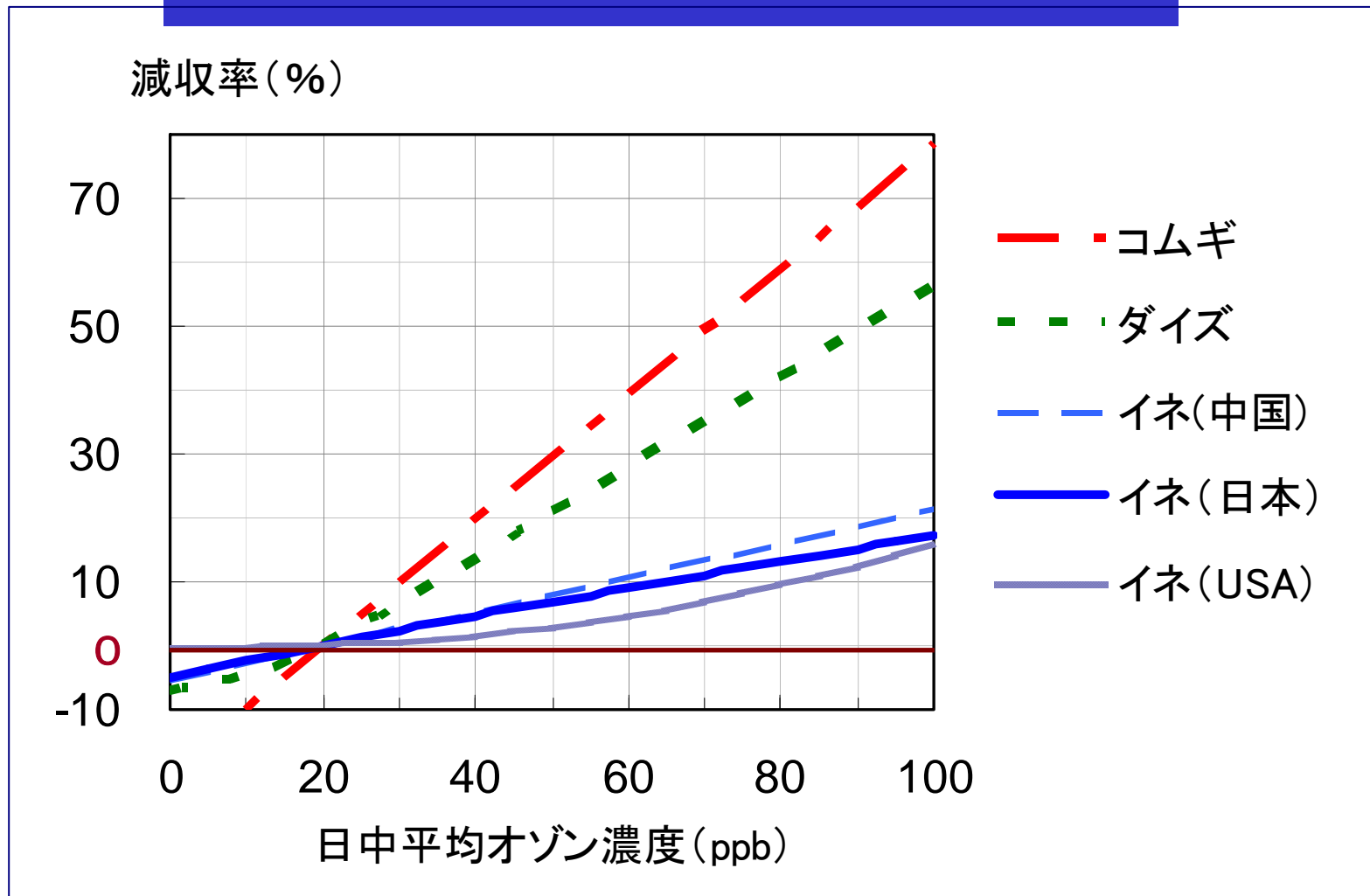
ホウレンソウ



オゾン濃度が高いと、植物の光合成速度が低下し、葉の老化が早まり



農作物収量が低下する



小林和彦 (2007) 資源環境対策 2007年6月号(印刷中)



アジアでは、今後も オゾン濃度が上昇して

著作権の都合により、下記の図版を削除しました。

アジアにおけるオゾン濃度上昇(今後)

図版は下記のURLからご参照下さい。

・引用論文(Wang et al. (2004). Atmos. Environ 38, 4383-4402.)アブストラクト:

[http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6VH3-4CPKYT5-1&_user=136130&_coverDate=08%2F31%2F2004&_rdoc=13&_fmt=summary&_orig=browse&_srch=doc-info\(%23toc%236055%232004%23999619973%23510535%23FLA%23display%23Volume\)&_cdi=6055&_sort=d&_docanchor=&view=c&_ct=15&_acct=C000010979&_version=1&_urlVersion=0&_userid=136130&md5=748174c3d5d9be5fe47fa7e3dd489fcf](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6VH3-4CPKYT5-1&_user=136130&_coverDate=08%2F31%2F2004&_rdoc=13&_fmt=summary&_orig=browse&_srch=doc-info(%23toc%236055%232004%23999619973%23510535%23FLA%23display%23Volume)&_cdi=6055&_sort=d&_docanchor=&view=c&_ct=15&_acct=C000010979&_version=1&_urlVersion=0&_userid=136130&md5=748174c3d5d9be5fe47fa7e3dd489fcf)

・引用画像:

[http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MiamiCaptionURL&_method=retrieve&_udi=B6VH3-4CPKYT5-1&_image=fig5&_ba=5&_user=136130&_coverDate=08%2F31%2F2004&_rdoc=13&_fmt=summary&_orig=browse&_srch=doc-info\(%23toc%236055%232004%23999619973%23510535%23FLA%23display%23Volume\)&_cdi=6055&view=c&_acct=C000010979&_version=1&_urlVersion=0&_userid=136130&md5=e85b15e5b9b21f107996b8e5bd3a6f26](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MiamiCaptionURL&_method=retrieve&_udi=B6VH3-4CPKYT5-1&_image=fig5&_ba=5&_user=136130&_coverDate=08%2F31%2F2004&_rdoc=13&_fmt=summary&_orig=browse&_srch=doc-info(%23toc%236055%232004%23999619973%23510535%23FLA%23display%23Volume)&_cdi=6055&view=c&_acct=C000010979&_version=1&_urlVersion=0&_userid=136130&md5=e85b15e5b9b21f107996b8e5bd3a6f26)

大きな農作物減収が予測される。

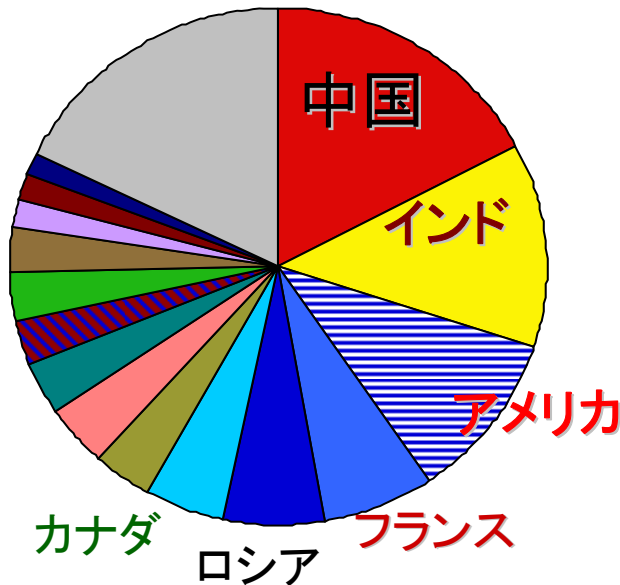
国	農作物	1990年の減収率 (%)			2020年の減収率 (%)		
		オゾン濃度の計算法			オゾン濃度の計算法		
		平均	累積	重み付き	平均	累積	重み付き
中国	冬コムギ	6	13	12	7	63	41
	春コムギ	1	1	3	2	30	22
	2期作イネ1	3			7		
	2期作イネ2	5			10		
	春トウモロコシ	8	3	1	16	39	24
	夏トウモロコシ	8	9	4	16	64	45
	ダイズ	23	19	15	33	45	37
日本	冬コムギ	7	5	6	9	16	14
	イネ	4			5		
	ダイズ	24	18	15	28	32	25
韓国	冬コムギ	9	13	30	8	50	47
	イネ						

Wang & Mauzerall (2004) Atmos Environ 38, 4383-4402

世界の穀物生産

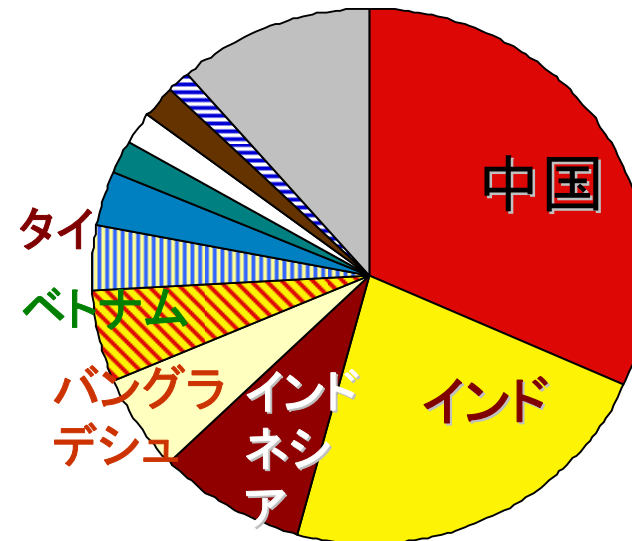
コムギ 5.8億トン
(2000年)

World: 576 million tons



コメ 6億トン
(2000年)

World: 599 million tons



オゾン濃度上昇の植物影響が 東アジアで重要な理由

- 人口増加と経済成長にともなって、大気汚染物質排出量が今後も増大する見込み
- 中国東部は世界最大の農業生産地帯
- 主要な農業生産地帯(中国東部)とオゾン濃度上昇地域が重なる
- 日本の植生・農作物への影響

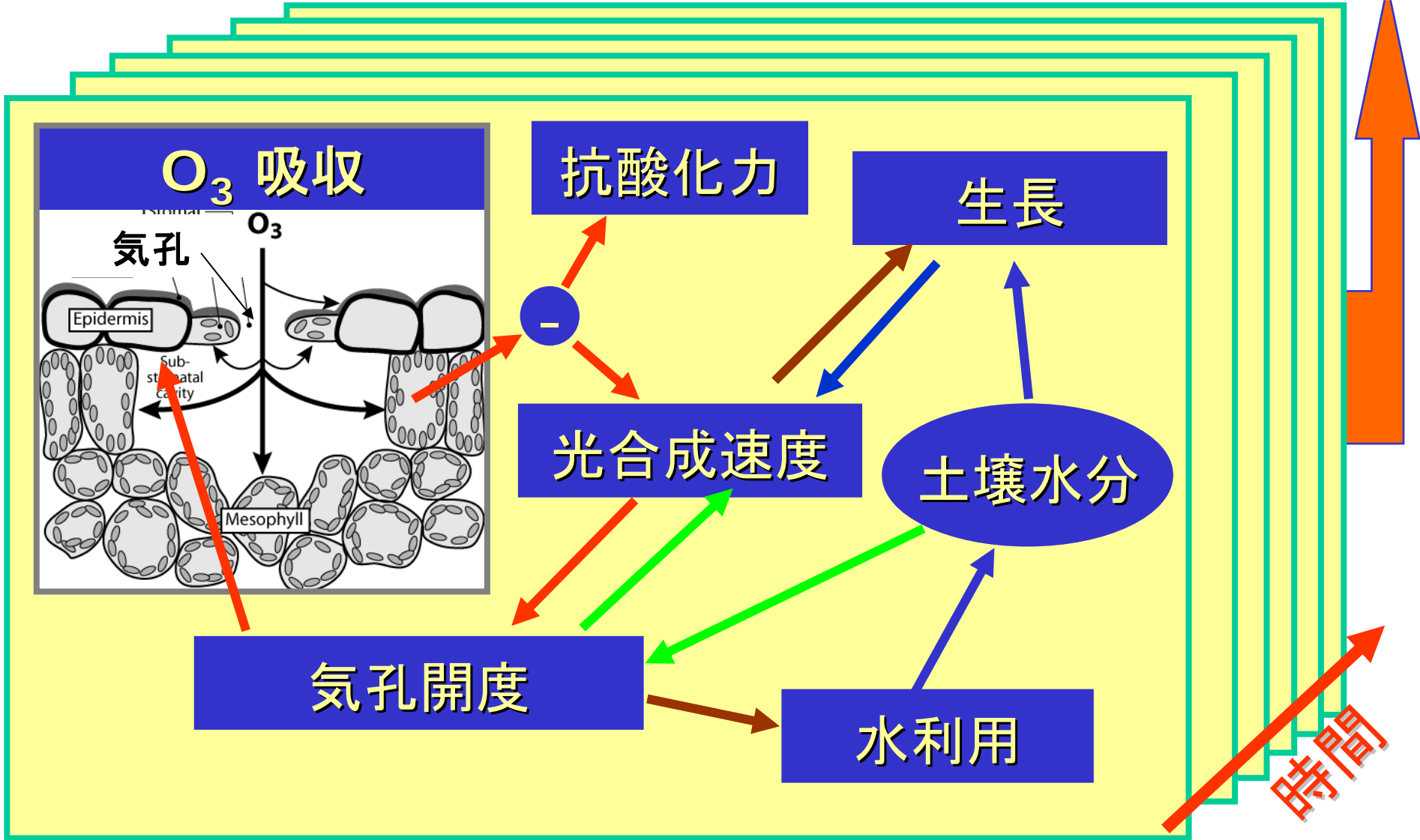
従来の農作物減収予測は、どのくらい確かか？

不確かさの要因

- 将来のNO_x, VOC 放出量予想
- 地表オゾン濃度の予測
- **オゾン濃度から農作物減収を予測**

オゾンによる農作物収量減少のしくみ

農作物収量



オゾンの影響
は、濃度でなく
吸収量で決ま
る(はず)

オゾン濃度の
高低
≠
オゾン吸収量
の多少

著作権の都合により、下記の図版を削除
しました。

オゾンの影響は、吸収量で決まる(はず)
図版は下記のURLからご参照下さい。

・引用論文(Emberson et al. (2000). Environ. Pollut. 109, 403-413.)アブストラクト:

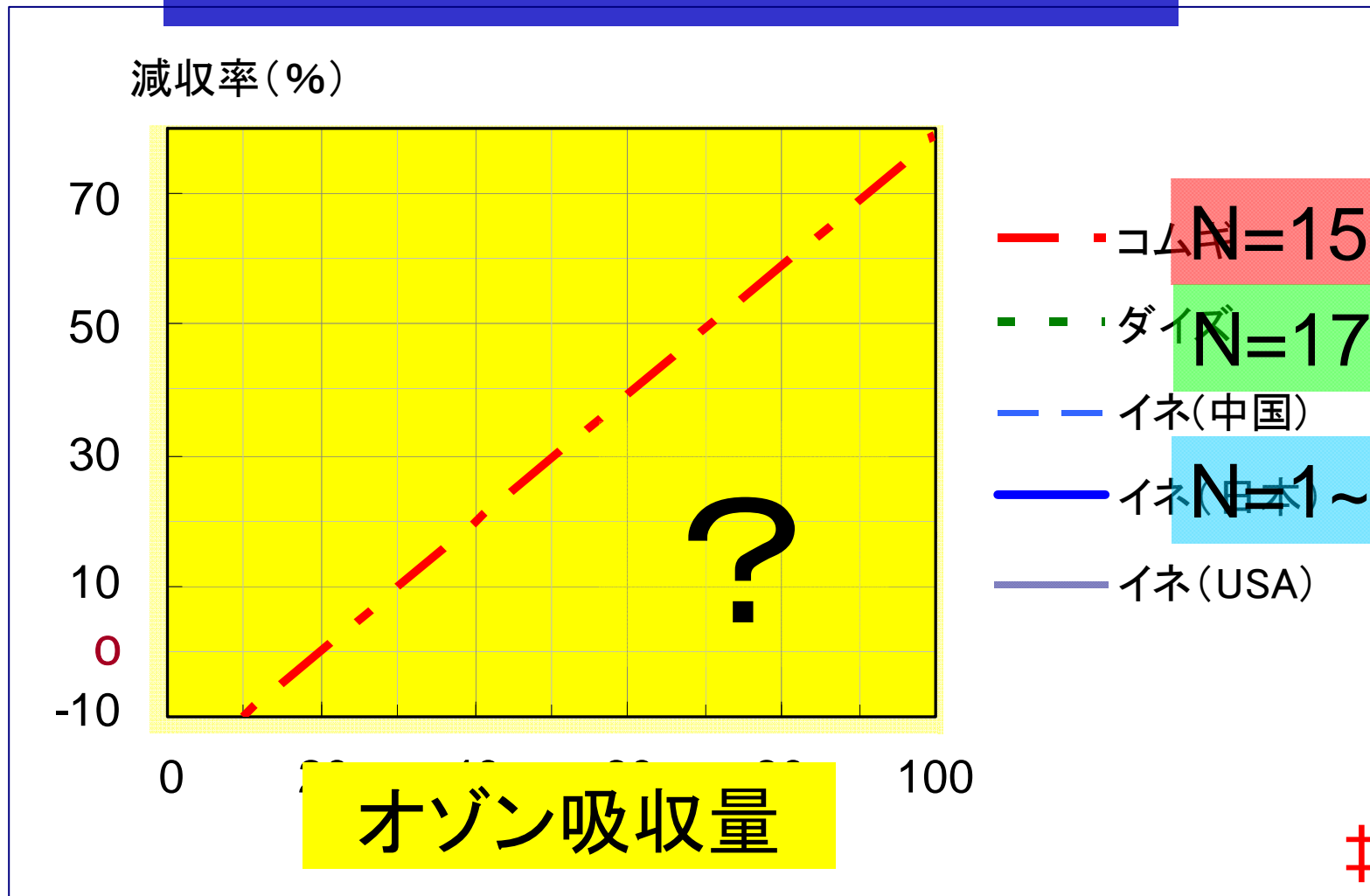
[http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6VB5-405KDST-5&_user=136130&_coverDate=09%2F30%2F2000&_rdoc=5&_fmt=summary&_orig=browse&_srch=doc-info\(%23toc%235917%232000%23998909996%23191879%23FLA%23display%23Volume\)&_cdi=5917&_sort=d&_docanchor=&view=c&_ct=19&_acct=C000010979&_version=1&_urlVersion=0&_userid=136130&md5=ce48986b20e7aa61ea821ac3461314dc](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6VB5-405KDST-5&_user=136130&_coverDate=09%2F30%2F2000&_rdoc=5&_fmt=summary&_orig=browse&_srch=doc-info(%23toc%235917%232000%23998909996%23191879%23FLA%23display%23Volume)&_cdi=5917&_sort=d&_docanchor=&view=c&_ct=19&_acct=C000010979&_version=1&_urlVersion=0&_userid=136130&md5=ce48986b20e7aa61ea821ac3461314dc)

・引用画像(2つ):

[http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MiamiCaptionURL&_method=retrieve&_udi=B6VB5-405KDST-5&_image=figgr1&_ba=1&_user=136130&_coverDate=09%2F30%2F2000&_rdoc=5&_fmt=summary&_orig=browse&_srch=doc-info\(%23toc%235917%232000%23998909996%23191879%23FLA%23display%23Volume\)&_cdi=5917&view=c&_acct=C000010979&_version=1&_urlVersion=0&_userid=136130&md5=34b228a41016adf4df6042aff82eed48](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MiamiCaptionURL&_method=retrieve&_udi=B6VB5-405KDST-5&_image=figgr1&_ba=1&_user=136130&_coverDate=09%2F30%2F2000&_rdoc=5&_fmt=summary&_orig=browse&_srch=doc-info(%23toc%235917%232000%23998909996%23191879%23FLA%23display%23Volume)&_cdi=5917&view=c&_acct=C000010979&_version=1&_urlVersion=0&_userid=136130&md5=34b228a41016adf4df6042aff82eed48)

[http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MiamiCaptionURL&_method=retrieve&_udi=B6VB5-405KDST-5&_image=figgr1&_ba=1&_user=136130&_coverDate=09%2F30%2F2000&_rdoc=5&_fmt=summary&_orig=browse&_srch=doc-info\(%23toc%235917%232000%23998909996%23191879%23FLA%23display%23Volume\)&_cdi=5917&view=c&_acct=C000010979&_version=1&_urlVersion=0&_userid=136130&md5=34b228a41016adf4df6042aff82eed48](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MiamiCaptionURL&_method=retrieve&_udi=B6VB5-405KDST-5&_image=figgr1&_ba=1&_user=136130&_coverDate=09%2F30%2F2000&_rdoc=5&_fmt=summary&_orig=browse&_srch=doc-info(%23toc%235917%232000%23998909996%23191879%23FLA%23display%23Volume)&_cdi=5917&view=c&_acct=C000010979&_version=1&_urlVersion=0&_userid=136130&md5=34b228a41016adf4df6042aff82eed48)

農作物収量が低下する



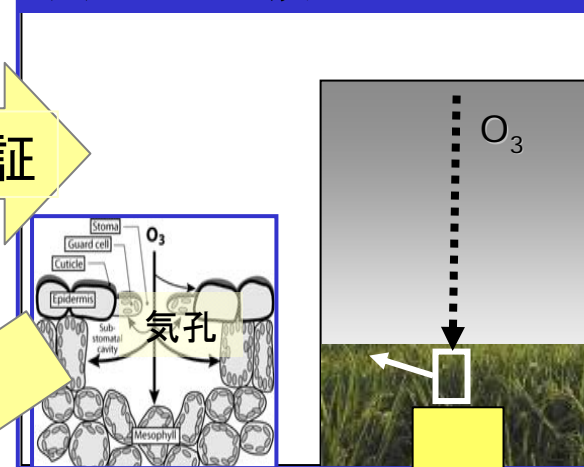
小林和彦 (2007) 資源環境対策 2007年6月号(印刷中)

東アジアのオゾン濃度上昇が 植生に及ぼすリスクの予測

(1) オゾン吸収量の観測



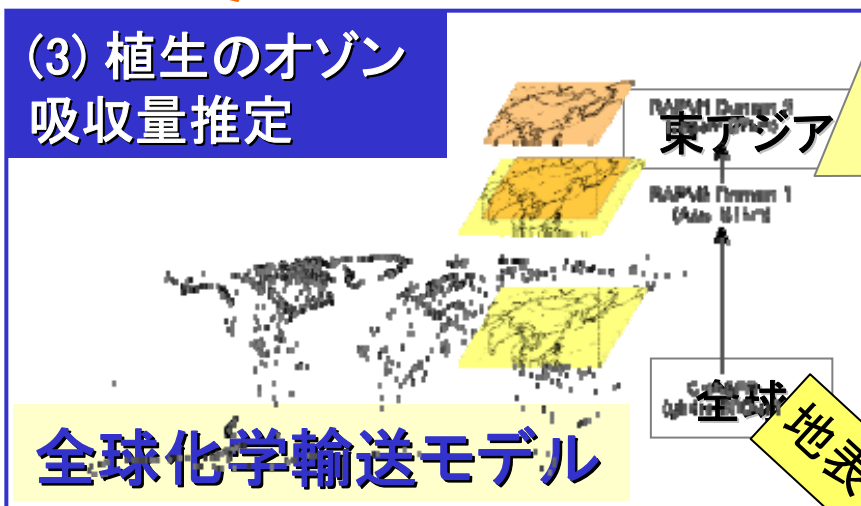
(2) オゾン吸収のモデル



モデルの検証

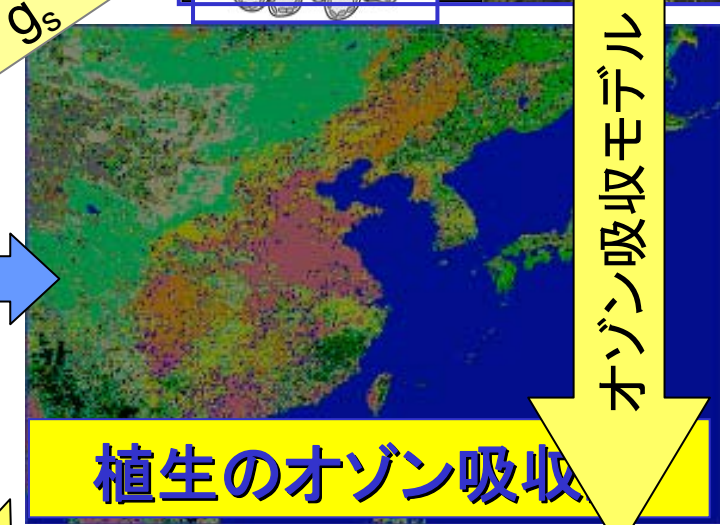
将来の排出シナリオ

(3) 植生のオゾン吸収量推定



全球化学輸送モデル

地表オゾン濃度



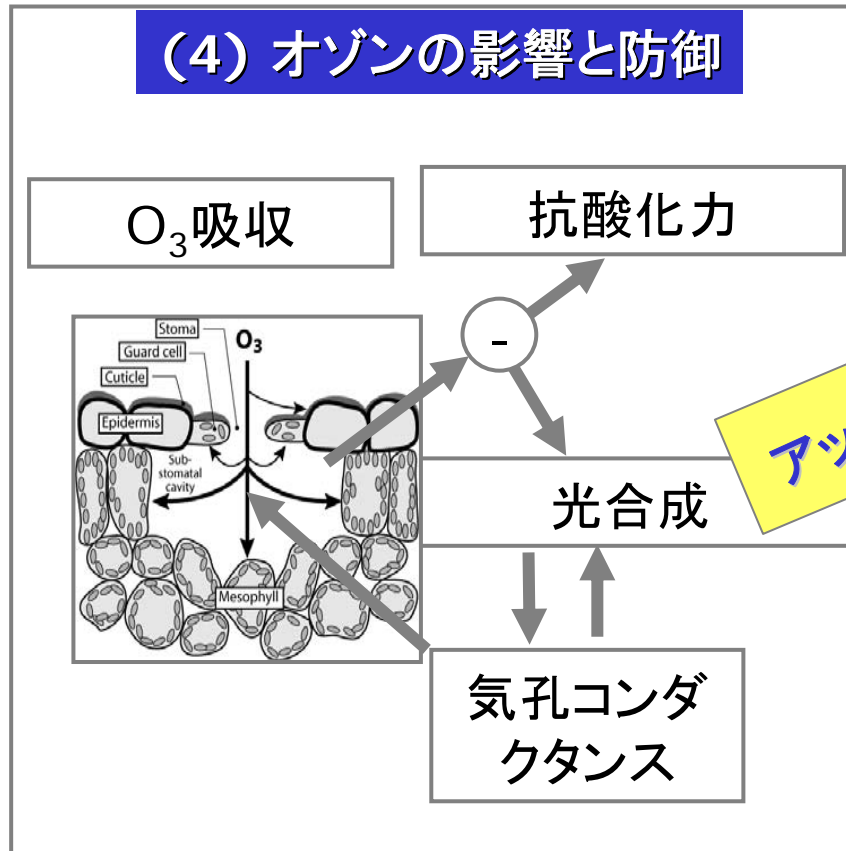
オゾン吸収モデル

g_s

東アジアの農作物生産に及ぼす オゾンの影響予測

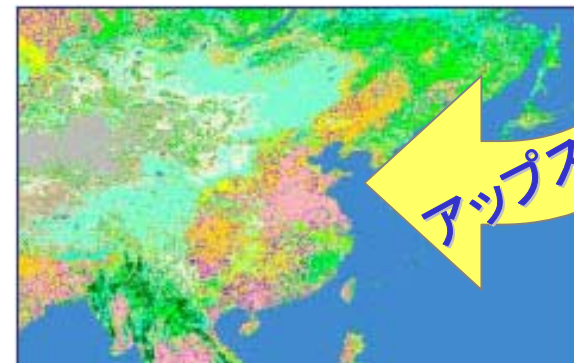
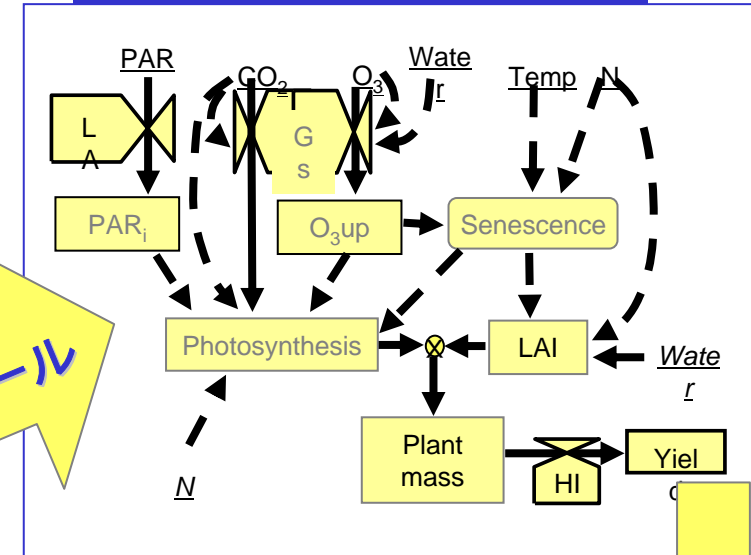
オゾン吸収

(4) オゾンの影響と防御



アップスケール

(5) 農作物生長モデル

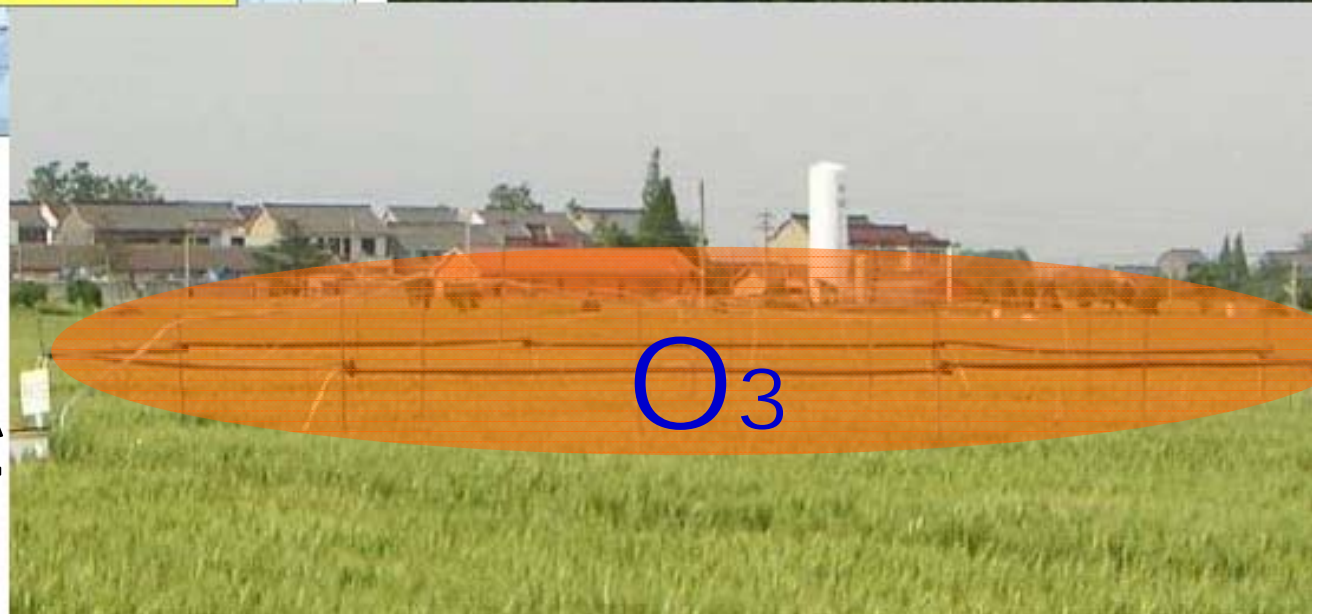


農作物の減収

オゾンフラックス観測・オゾン増加実験



中国科学院の
協力で2007年
から実施. イネと
コムギを対象



研究の先に あるもの

ヨーロッパでは、多数の農作物について、オゾン濃度と農作物収量の関係を定式化

著作権の都合により、下記の
図版を削除しました。

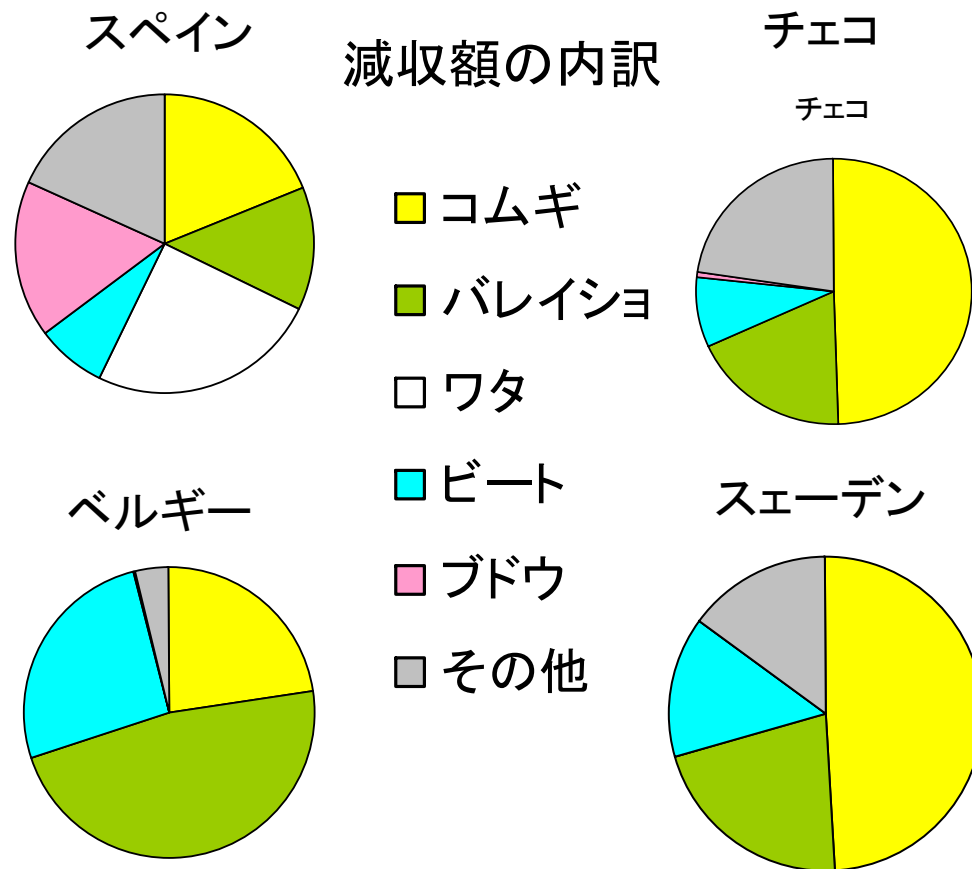
ヨーロッパにおけるオゾン濃度
と農作物収量

図版は下記のURLからご参照
下さい。

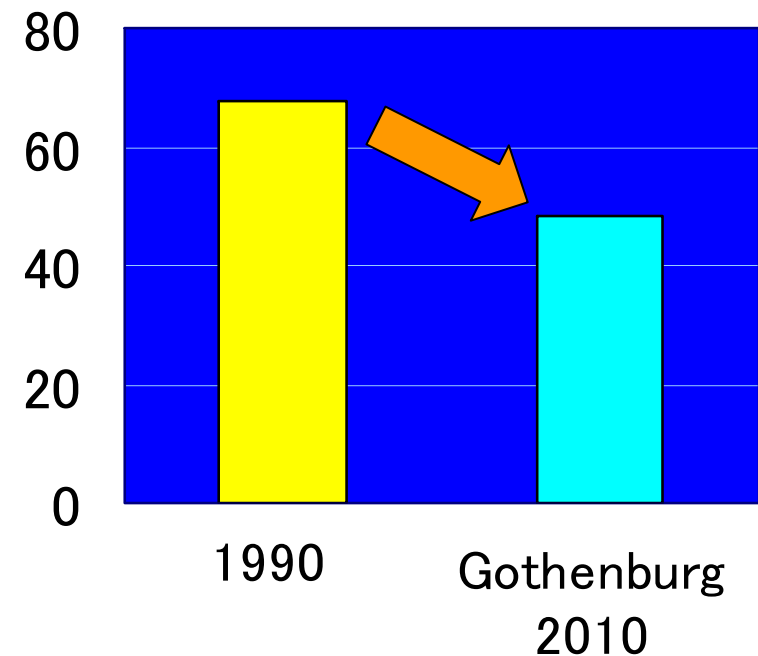
Mills et al. 2003

<http://www.ivl.se/rapporter/sok/polydoc/download.asp>

農作物の減収金額を推定



ヨーロッパ全体の農作物減収額(単位:億ユーロ)



長距離越境大気汚染 防止条約(1979-)

Gothenburgプロトコル
(1999): 2010年の放出量
を、対1990年比で
 S (-63%), NO_x (-41%),
 VOC (-40%), NH_3 (-16%)

著作権の都合により、下記の
図版を削除しました。
ヨーロッパの窒素効果量減少
図版は下記のURLからご参照
下さい。

http://www.unece.org/env/eb/2004_Irtap_eng.pdf

まとめ1

アジアは世界的な汚染地域

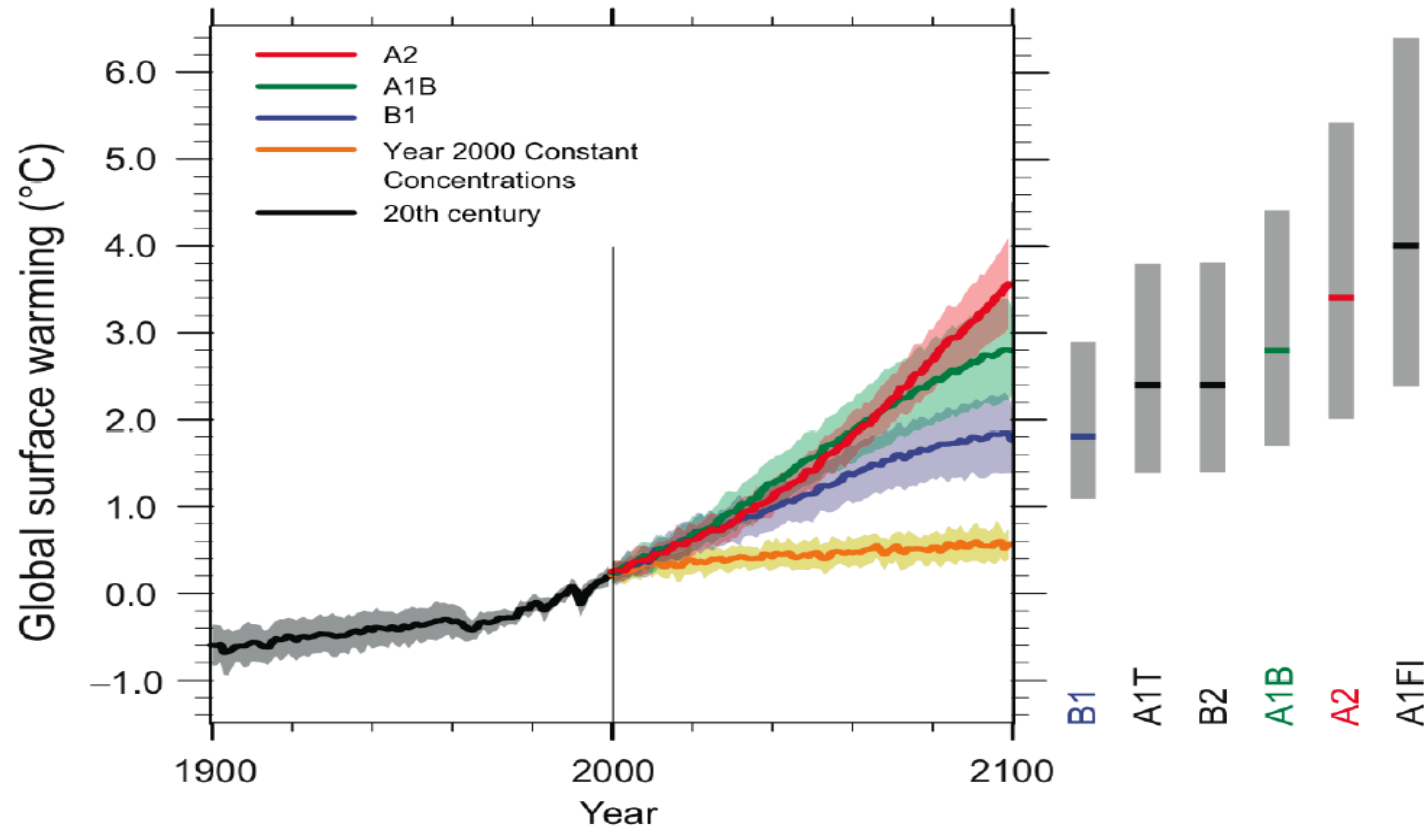
- アジアはグローバルに見て、極めて大気汚染のレベルが高い。
- 日本は、アジア大陸の大気汚染の影響をすでに受けている。
- アジアの大気汚染は、今後一層拡大し、地球温暖化、人間の健康、農作物や植物に大きな影響を及ぼす。

まとめ2

将来は(ある程度)選べる

- 将来の気候変動や大気汚染は、今後われわれが選ぶ排出シナリオによる。
- 科学的知見の蓄積や環境技術の供与など、日本がアジアに貢献できることは多い。
- アジア各国の協力による国際的大気環境管理のしくみが必要(ヨーロッパの長距離越境大気汚染防止条約が好例)

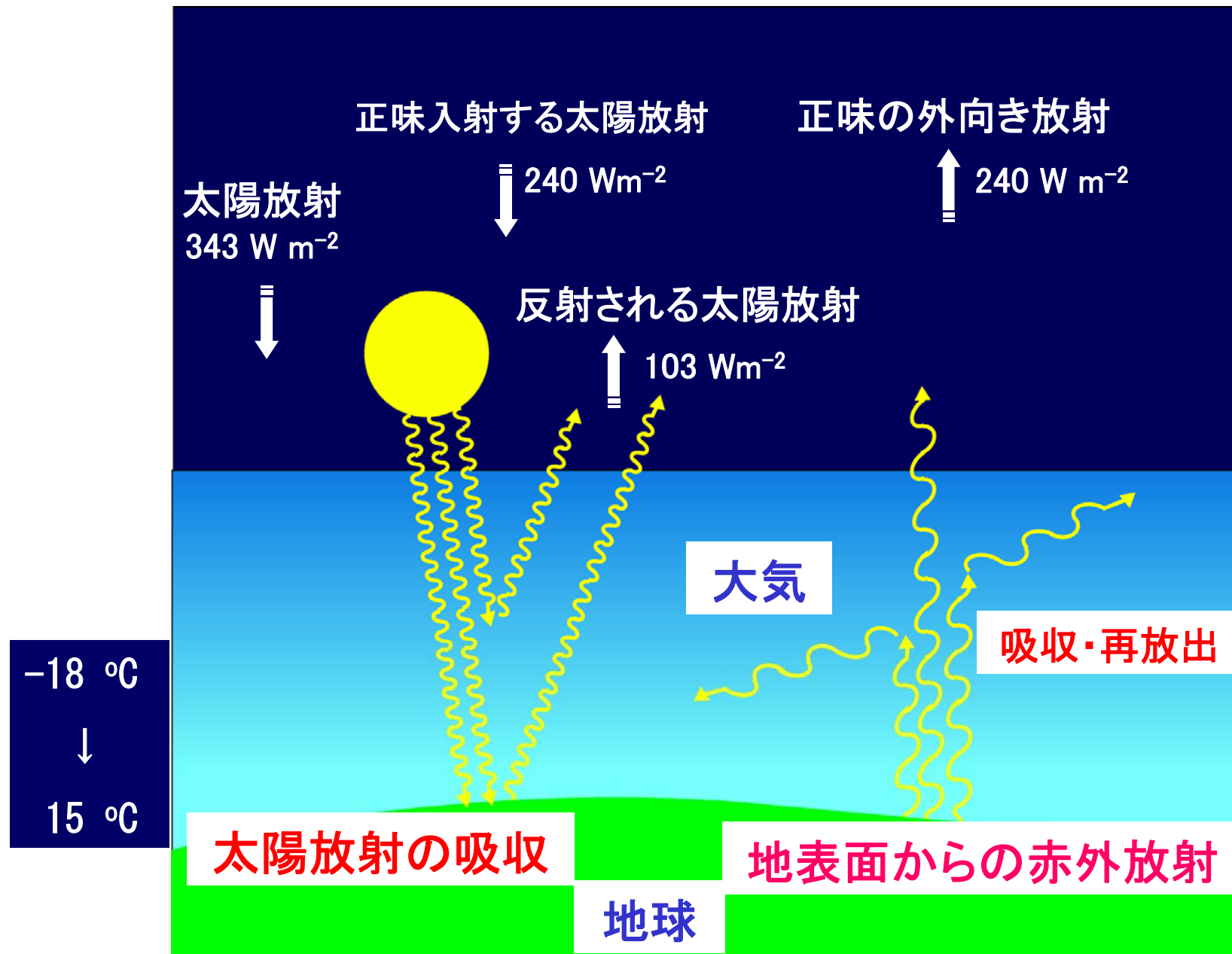
温暖化将来予測



IPCC 4th Assessment Report WG1 SPM

1906-2005年で気温が0.74°C上昇した
2100年までに2°C近く上昇すると予測
温度上昇は、排出シナリオにより変わる

大気其自然の「温室効果」



ブラックカーボン(すす)の発生源分布

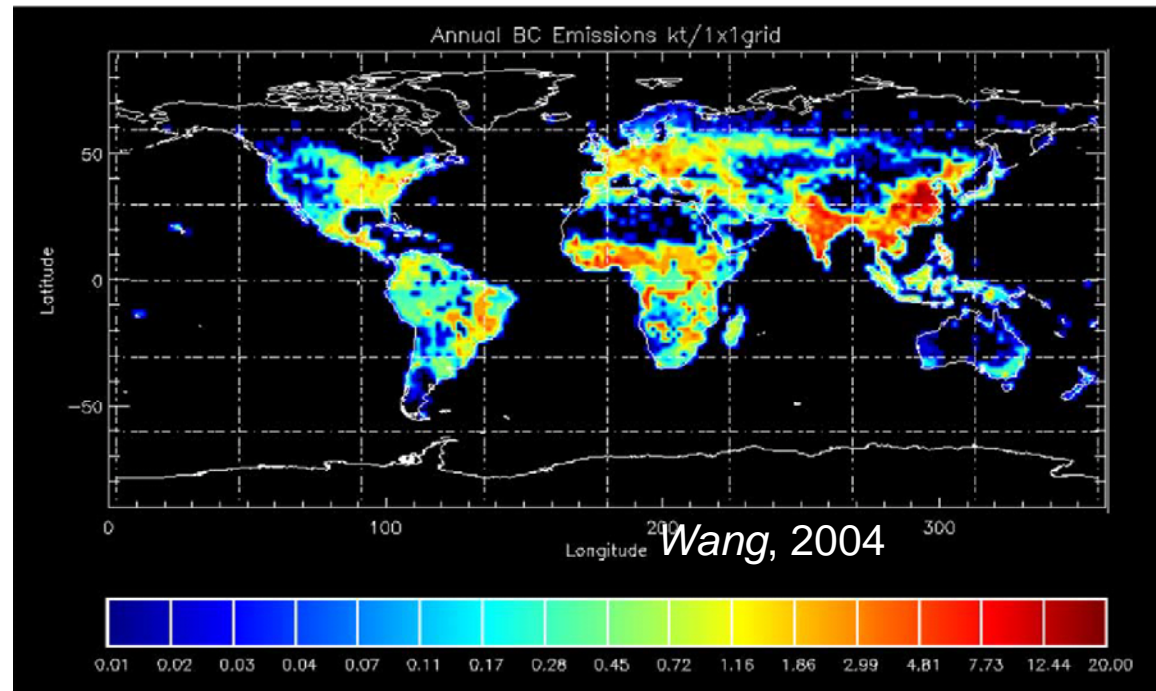


Figure 1. Annual emissions of black carbon aerosols used in the study. The unit is GgC per $1^\circ \times 1^\circ$ grid.

多様な発生源



自動車

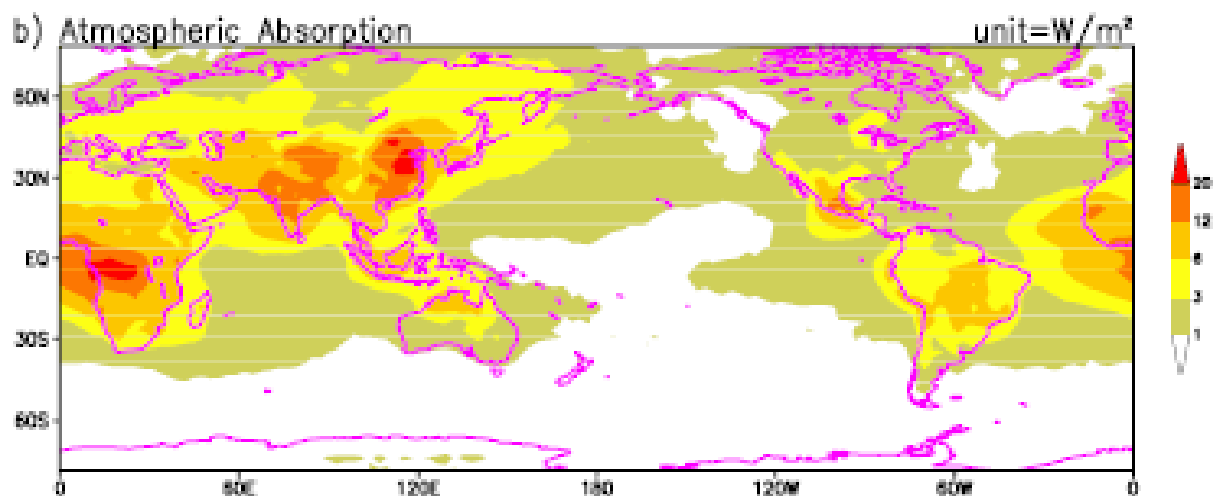
森林
火災



石炭
かまど

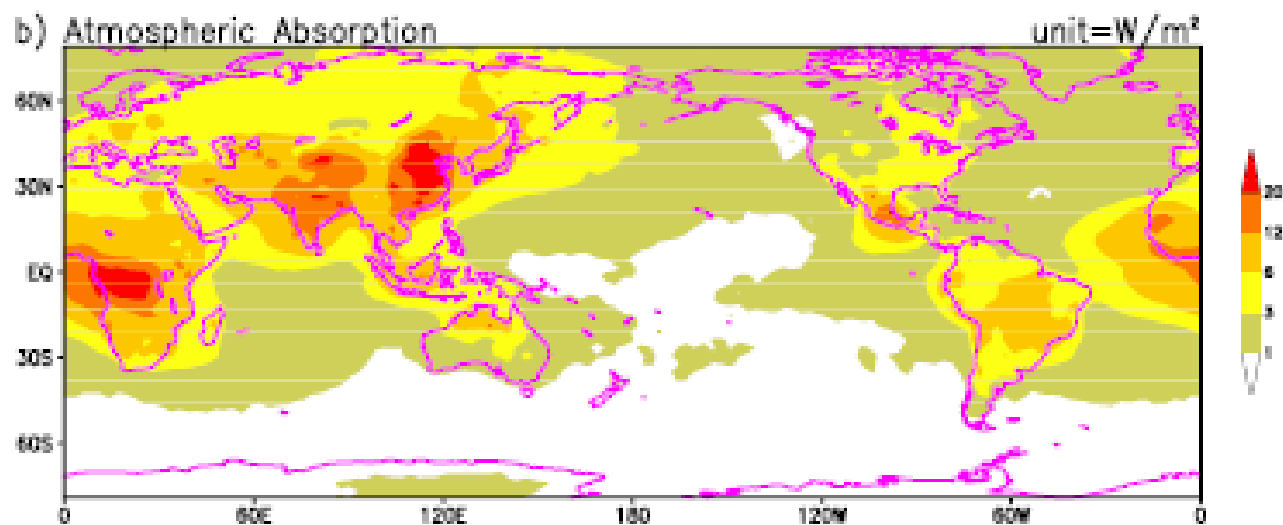
- 放出量が多く、しかも不確定性が大きいアジアでのデータが特に重要

ブラックカーボンによる大気加熱(年平均)



中国・インドを中心にブラックカーボンによる加熱が大きい
高度分布やブラックカーボンの形状・形態の情報が必要

ブラックカーボンによる大気加熱(年平均)



中国・インドを中心にブラックカーボンによる加熱が大きい
ブラックカーボンの高度分布や正確な濃度・形態の情報が必要