

# 地球環境とリモートセンシング

(前期 木曜日 2時限 10:30-12:00)

- |                    |             |
|--------------------|-------------|
| 1 序論 - 開始にあたって -   | 建石隆太郎 4月14日 |
| 2 リモートセンシング(RS)の基礎 | 梶原康司 4月21日  |
| 3 地球観測の歴史と将来       | 本多嘉明 4月28日  |
| 4 地球環境問題(1) 砂漠化    | 石山隆 5月12日   |
| 5 地球環境問題(2) 地球温暖化  | 高村民雄 5月19日  |

## 6 地球環境問題(3)

### 大気環境(オゾンホール・大気汚染)

竹内延夫 5月26日

<http://ume.cr.chiba-u.ac.jp/050526>

# 大気環境とは

鉛直分布は大きく変化する

対流圏が我々が生活する空間である

成層圏も地球環境に影響大

空間scaleと時間scaleに比例に近い関係

地球環境問題には

地球温暖化

酸性雨

オゾン層破壊

我々の生活は

地域環境(大気汚染)

と密接に結びつく

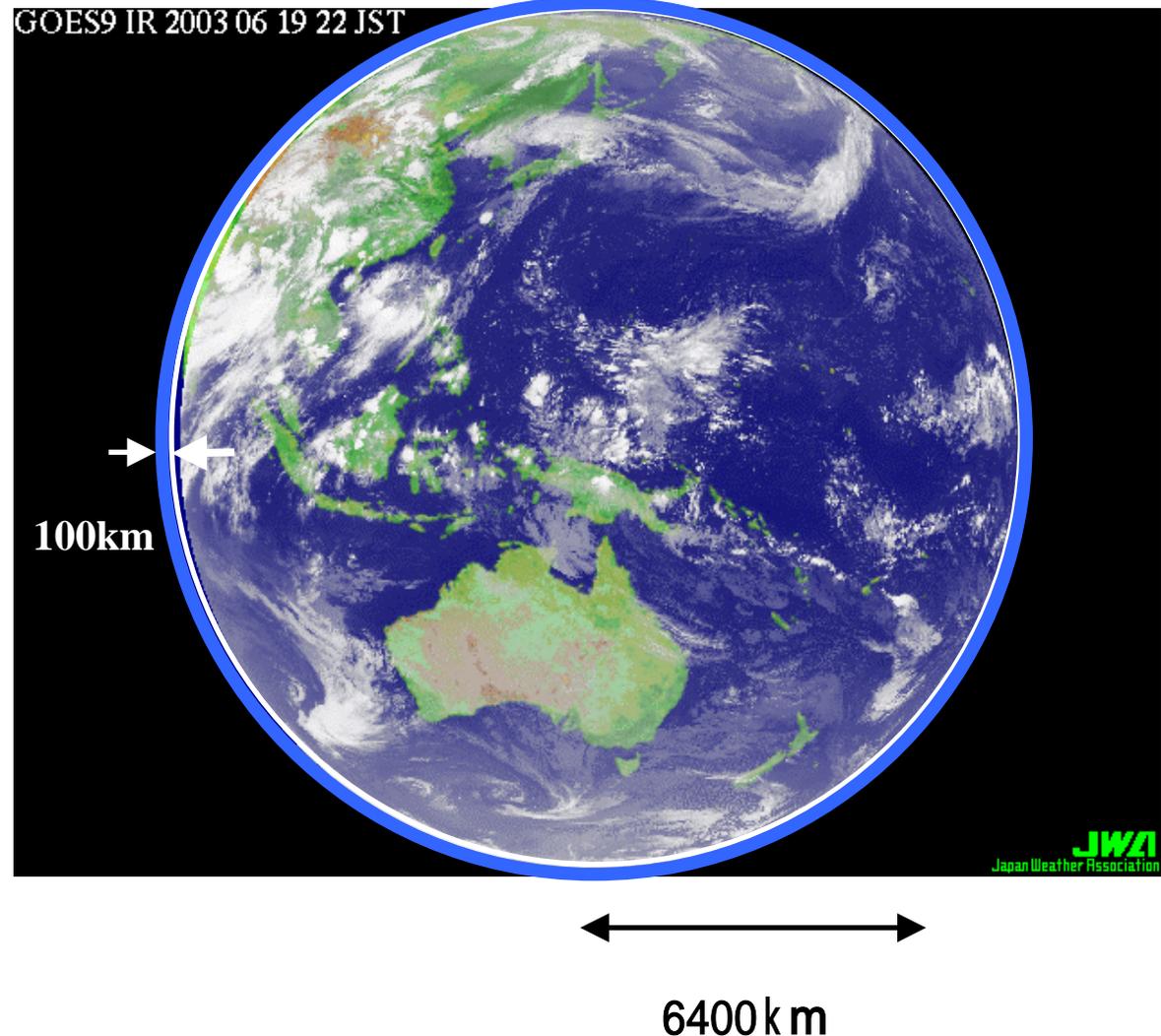
# 地球大気

地球半径 ~ 6400km 大気 100km

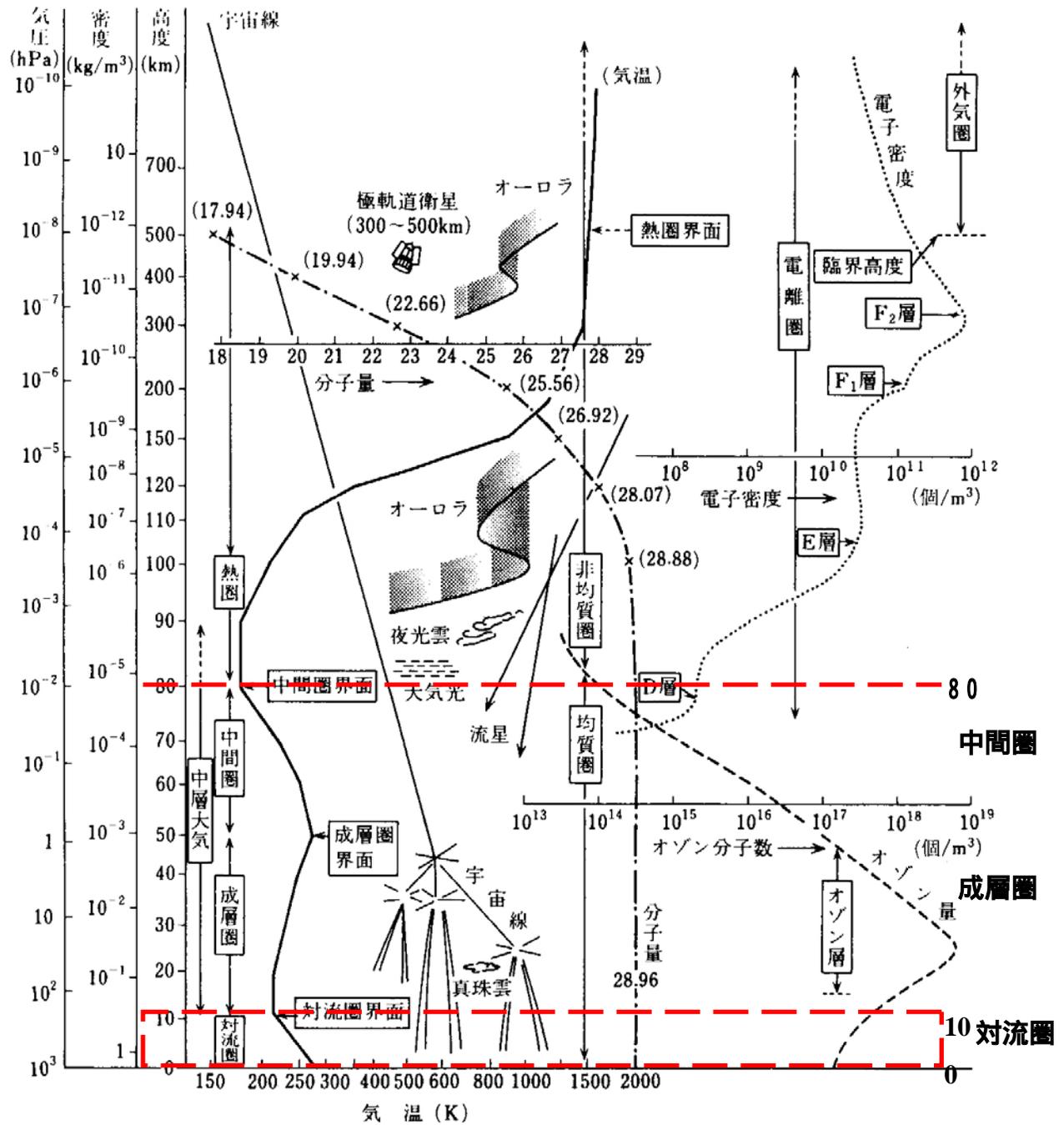
地球の半径に比べ、大気の層は非常に薄い

## 大気的重要性

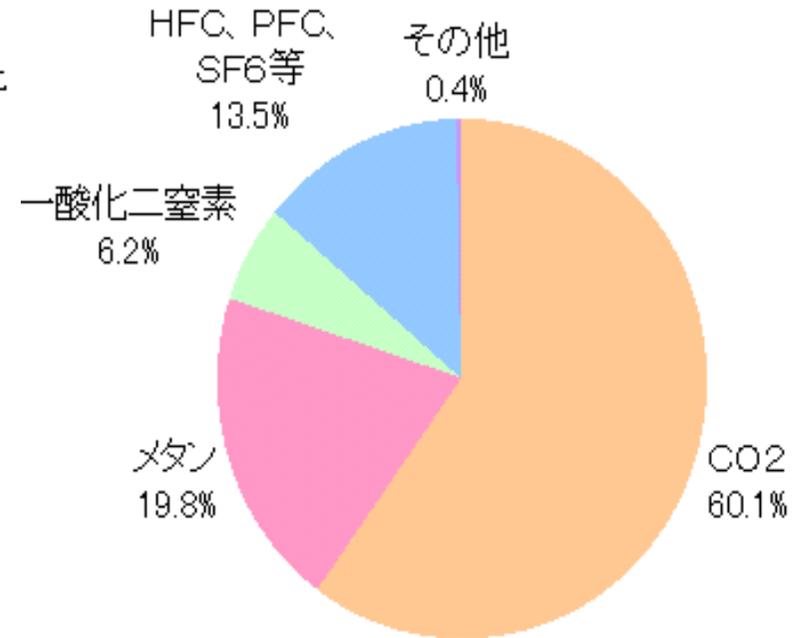
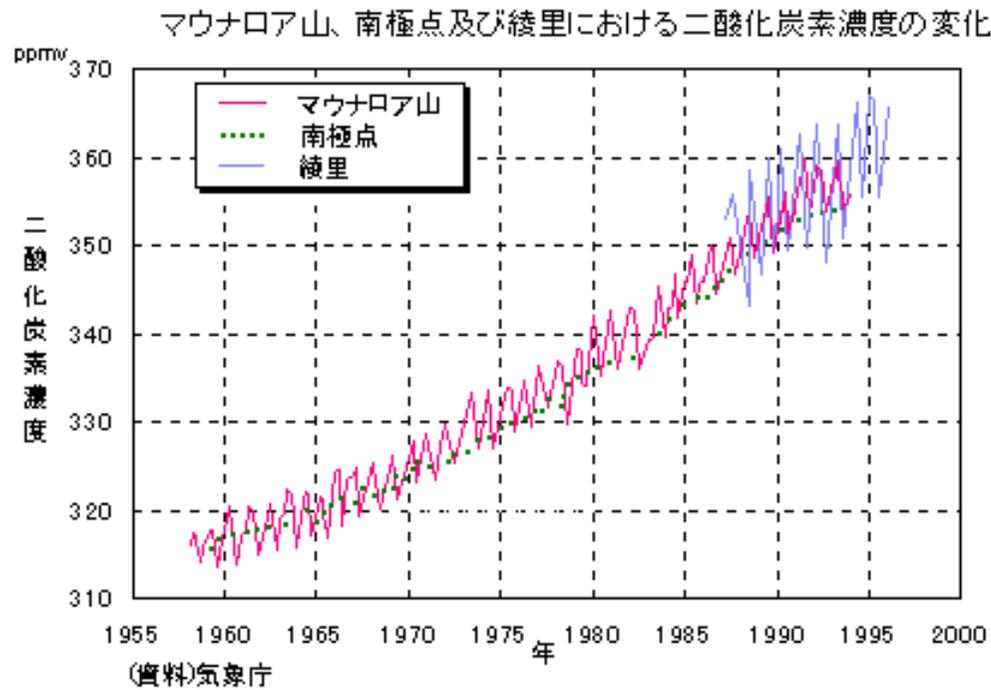
呼吸作用、  
燃焼過程、  
放射からの保護、  
気象現象、  
生活空間



# 大気の鉛直構造



# 地球温暖化



(IPCC第三次評価報告書より作成)

温室効果ガスの地球温暖化への寄与度  
(世界全体)

## 授業の内容

- リモートセンシングの手法
- オゾン層とオゾンホール
- 大気汚染の発生源、大気質
- $\text{NO}_2$ 、 $\text{SO}_2$ 、TSP (SPM)、BC
- 中国の大気汚染
- バイオマス燃焼(森林火災) / 黄砂
- 地上RS:ライダー
- 衛星データ
- レポート問題

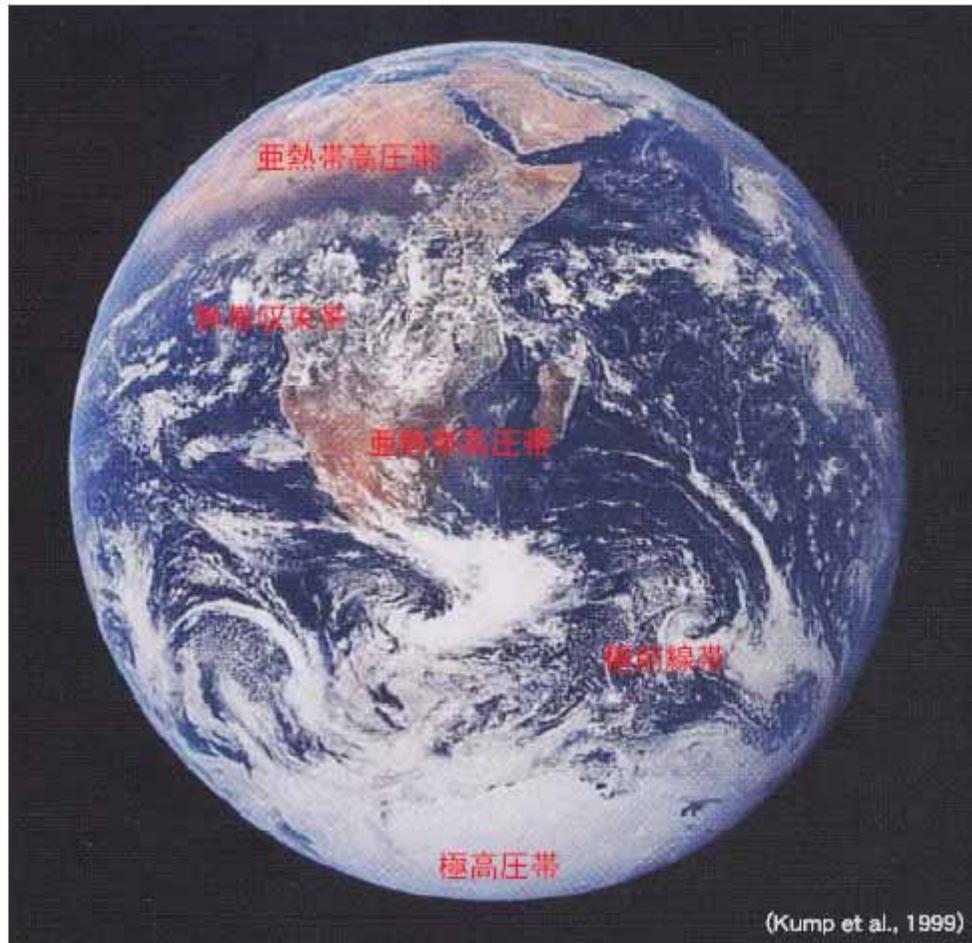
# リモートセンシング手法 ―― 衛星観測 ――

衛星の観測は広域を短時間で周期的に観測できるので大気の観測に重要である。

## 大気循環

### 地球観測衛星

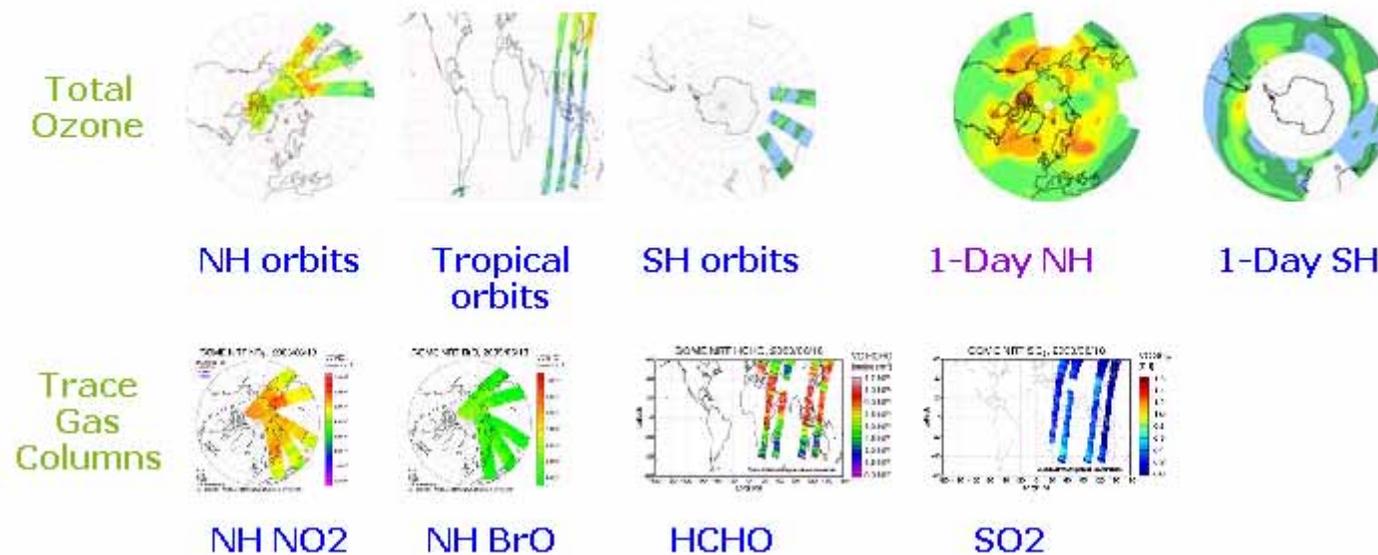
ADEOS、  
ADEOS 、  
TERRA、AQUA、  
ENVISAT、



Today's image (GOME-2 onboard ERS-2/1995)

は ほぼreal timeで気体の濃度分布を出している。

### Today's Images



<http://www-iup.physik.uni-bremen.de/gome/>

# リモートセンシング(遠隔計測)手法

## 地上ベースの光学的手法

Lidar - - 全自動、lidar networkが今後の趨勢

種類: Mie/ Rayleigh-scattering lidar 例1: PAL

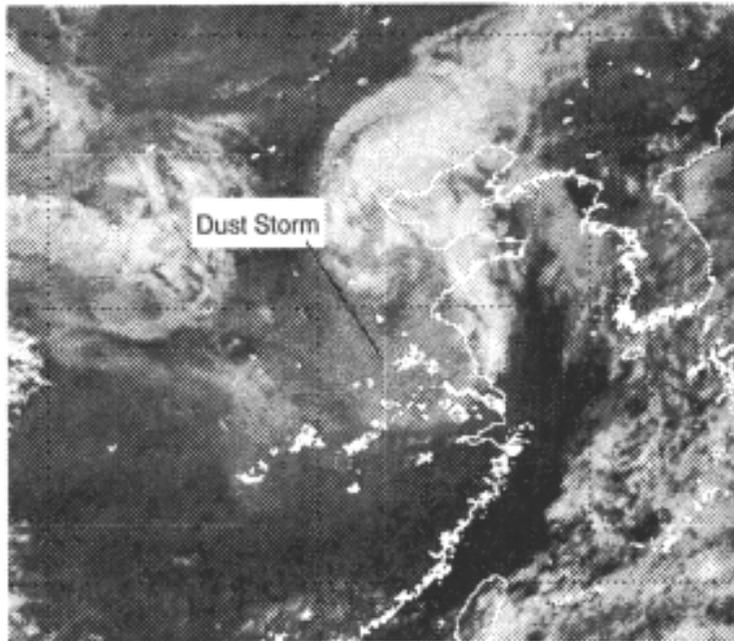
DIAL 例2: NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> DIAL

Raman lidar

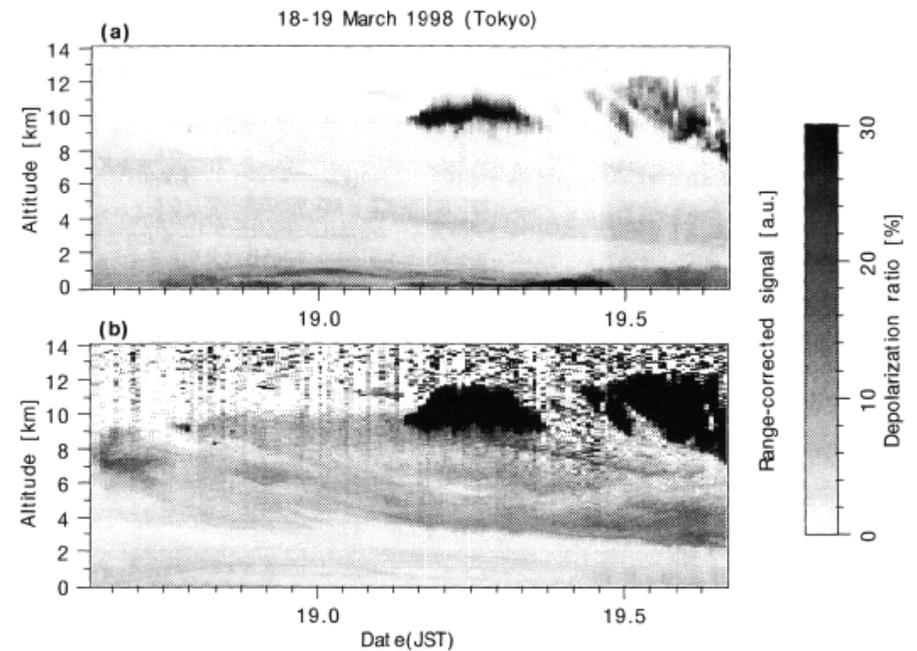
fluorescent lidar

coherent lidar

# AD-Net 黄砂のライダー観測網



The dust storm seen by GMS-5 in China on April 16, 1998.



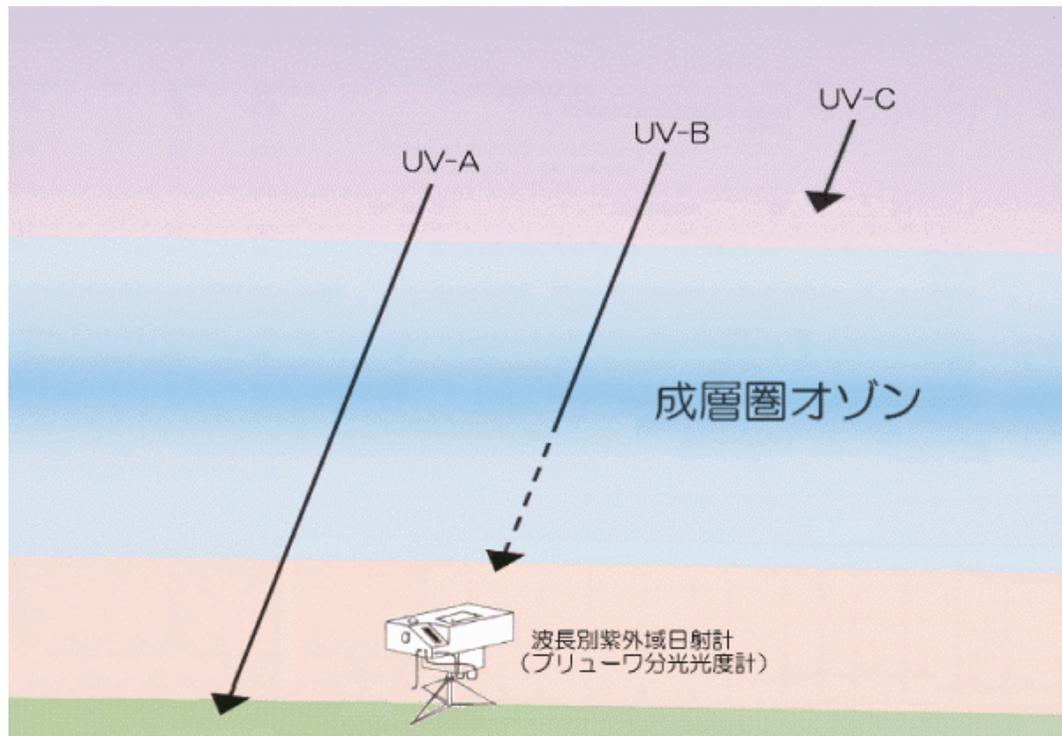
(a) Time to height indication (THI) of range-corrected signal (a) and depolarization ratio S/P (b) observed by the polarization lidar at TUMM in Tokyo on March 18 and 19, 1998. Please note that the upper limits of gray-scale are lowered than the maximum to emphasize the dust layers.

Proc. Optical Remote Sensing for Industry and Environmental Monitoring, Beijing 1998

# 紫外域日射観測

## 紫外線

太陽からの日射は、波長により、赤外線、可視光線および紫外線に分けられます。  
紫外線(UV)の中でも、波長によりA・B・Cと大別されています。



### 各領域の紫外線とオゾン層の関係

気象庁では、ブリュワー分光光度計を用いたB領域紫外域日射(UV-B)観測を札幌、つくば、鹿児島、那覇の4官署で行っている。

○UV-A (315-400 nm) 大気による吸収をあまり受けずに地表に到達します。生物に与える影響はUV-Bに比較して少ないです。

太陽からの日射にしめる割合は数%程度です。

○UV-B (280-315 nm) 成層圏オゾンによりかなりの部分が吸収され、残りが地表に到達します。生物に大きな影響を与えます。

太陽からの日射にしめる割合は0.1%程度です。

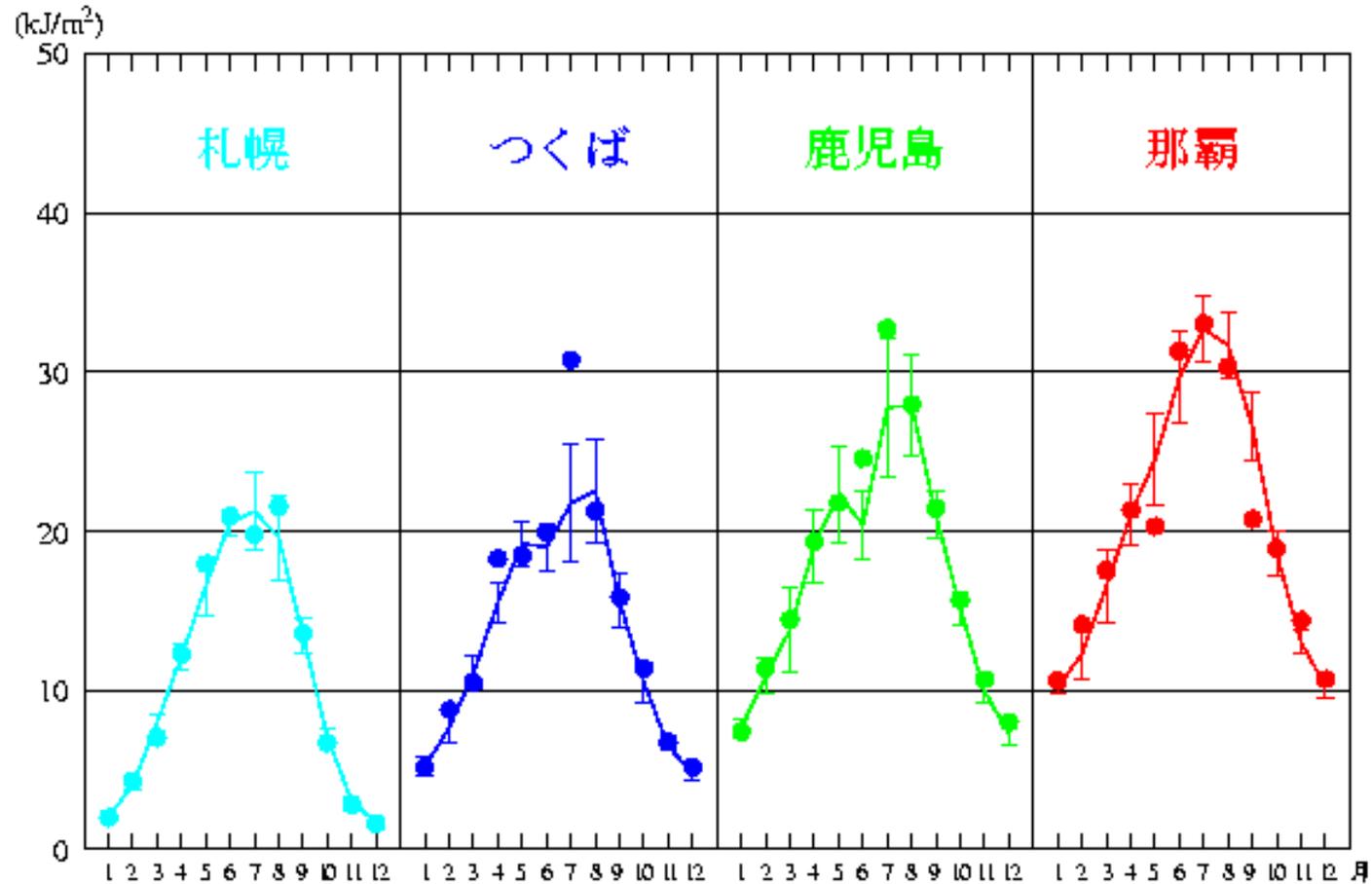
○UV-C (100-280 nm) オゾン層よりも上空でほとんど吸収され、地表には到達しません。

# 紫外域日射観測

地上に到達する有害紫外線 (UV-B) の強度を波長別に観測しています。

地上に到達するUV-B量は太陽高度、雲量及びオゾン全量等により変化します。そのため、高緯度よりも低緯度の方が強く、また冬弱く、夏強くなる季節変化をします。

国内の晴れた日の観測結果によれば、オゾンが少ないときにUV-Bが強くなることが確かめられています。



国内平均UV-B紫外域日射量と参照値(2001年)

印は2001年の月平均値、折線は参照値(1991～2000年、つくばは1990～2000年の平均値)、縦棒はその標準偏差。

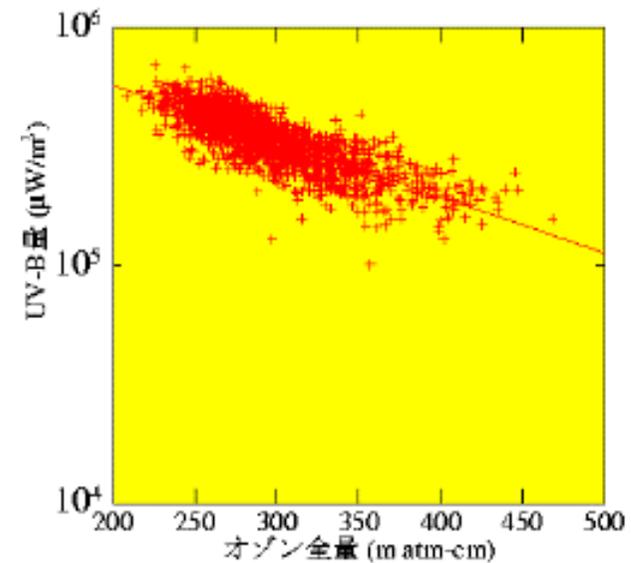
# ブルーワー



ブルーワ分光光度計を用いた  
波長別紫外域日射観測(つくば)

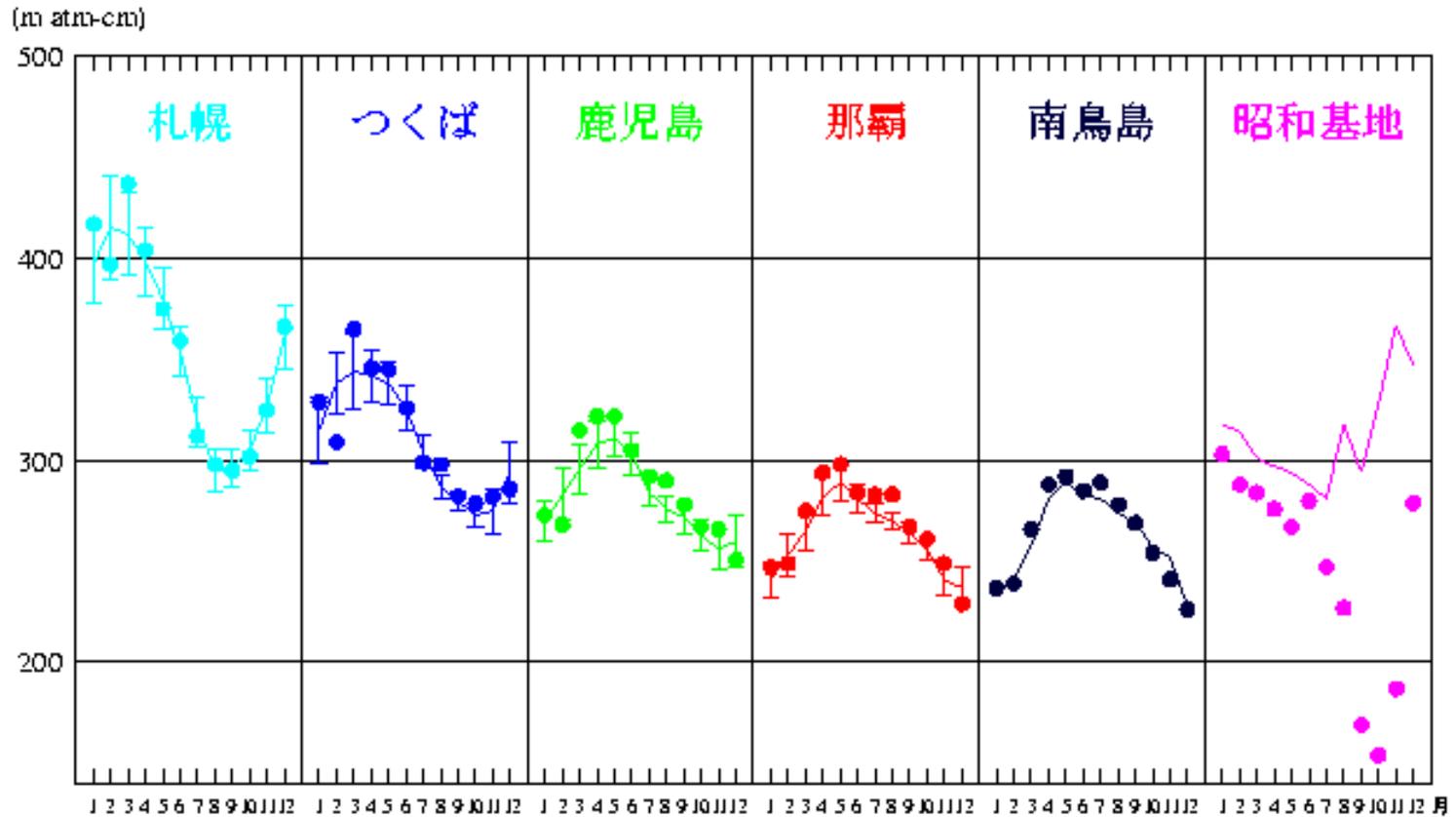


ドブソンオゾン分光光度計を用いた  
オゾン全量の観測(札幌)



オゾン全量とUV-B量の関係  
太陽高度角23°、晴天時のデータ。

# オゾン層の観測



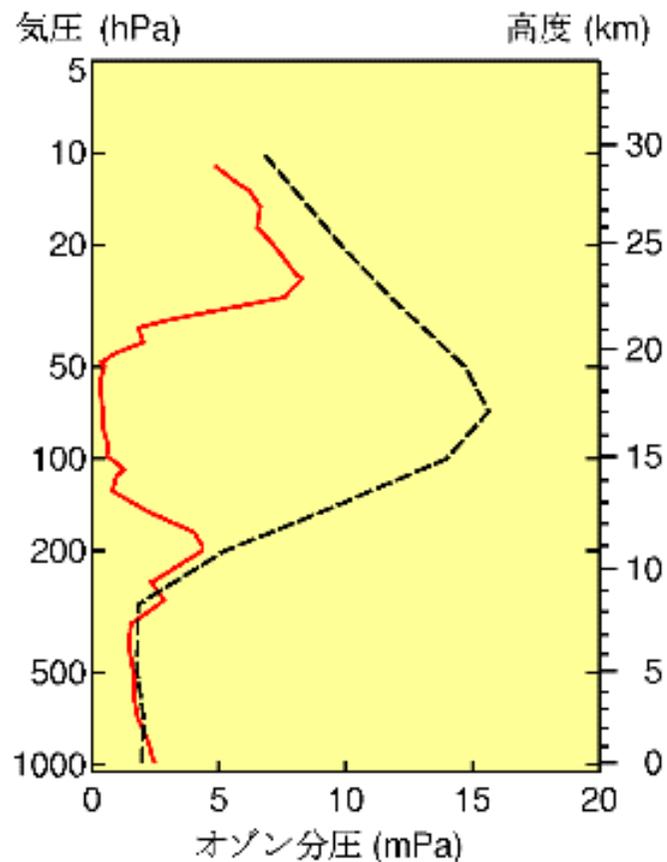
## 国内平均オゾン全量と参照値(2001年)

印は2001年の月平均値、折線は参照値(1971～2000年の平均値)、縦棒はその標準偏差。  
 ただし、  
 南鳥島の参照値は1994～2000年の平均値、昭和基地の参照値は1961～1980年の平均値。

# オゾンゾンデ観測(オゾン層の観測)



オゾンゾンデを用いた上空の  
オゾンの直接観測(昭和基地)

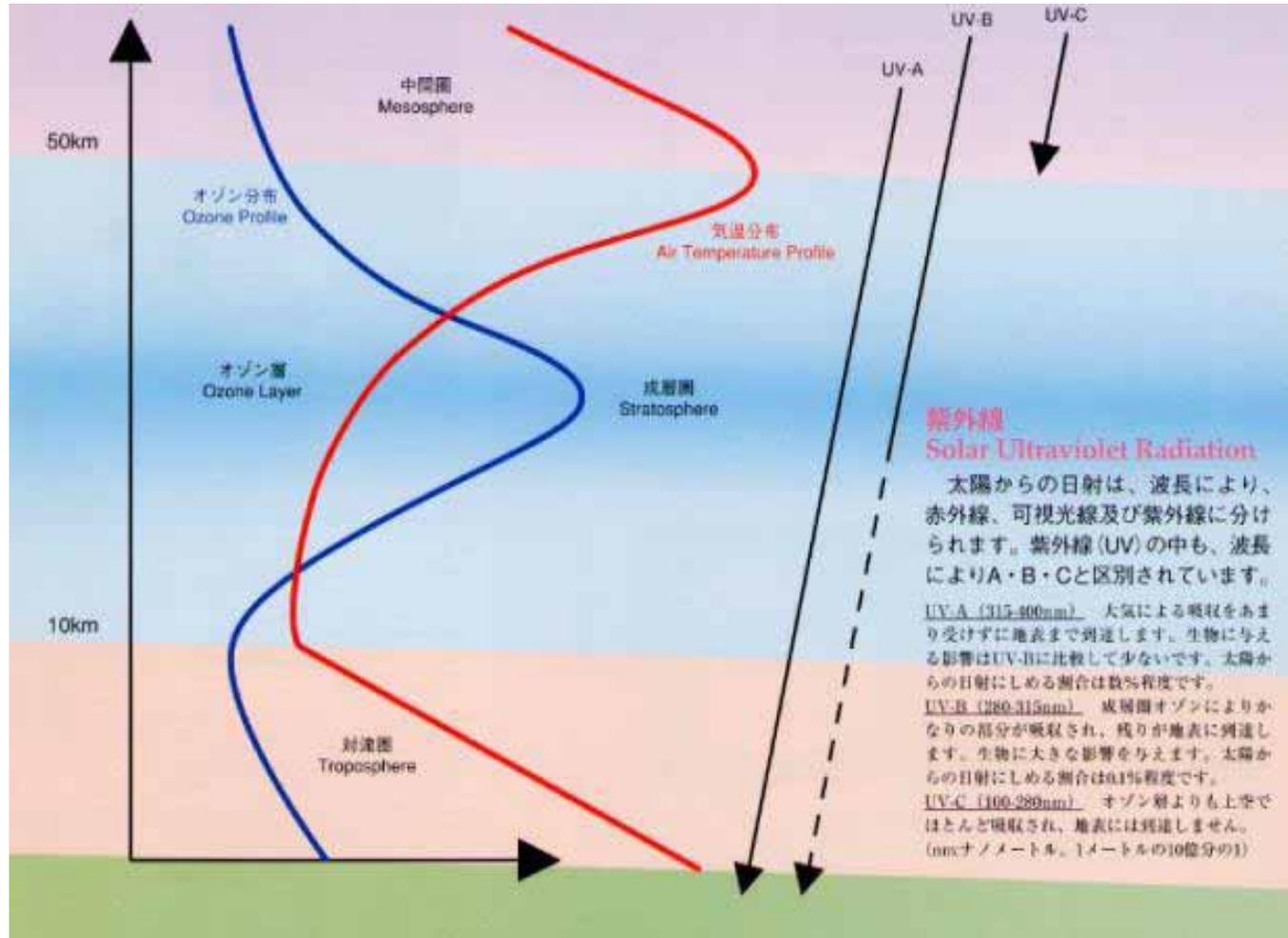


オゾンホール時期の昭和基地におけるオゾンの鉛直分布の  
一例

実線は2001年10月16日のプロファイル。  
破線は1961～1980年の10月の月平均。

# オゾン層とは

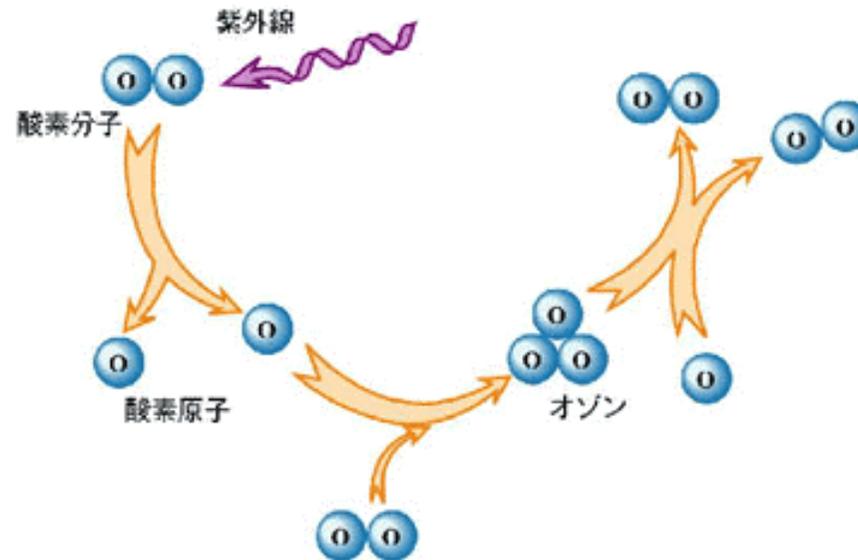
オゾンは酸素原子3個からなる化学作用の強い気体です。オゾンは成層圏(10~50km)に多く存在しており、このオゾンの多い層を一般的にオゾン層といいます。成層圏オゾンは、太陽からの有害な紫外線の多くを吸収し、地上の生態系を保護しています。また成層圏オゾンは、成層圏の大気を暖める役割があり、地球の気候の形成に大きく関わっています。



大気の構造

## オゾンの生成・消滅

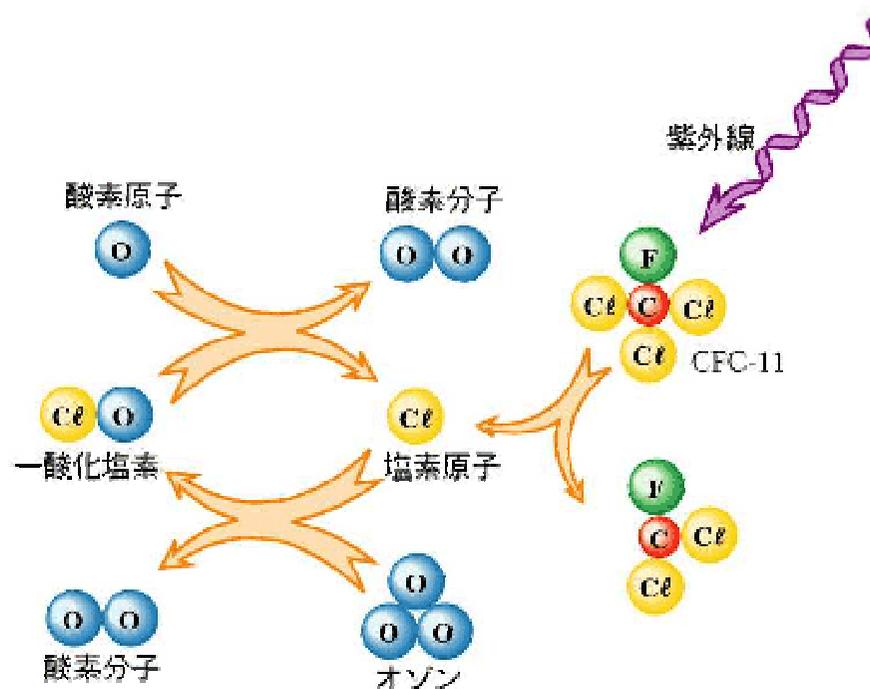
高度30kmより上空では紫外線により酸素分子からオゾンが生成されています。一方オゾンは酸素原子と反応することにより消滅しています。上空のオゾンはこれらの生成・消滅のバランスを保ちながら存在しています。



# オゾン層の破壊

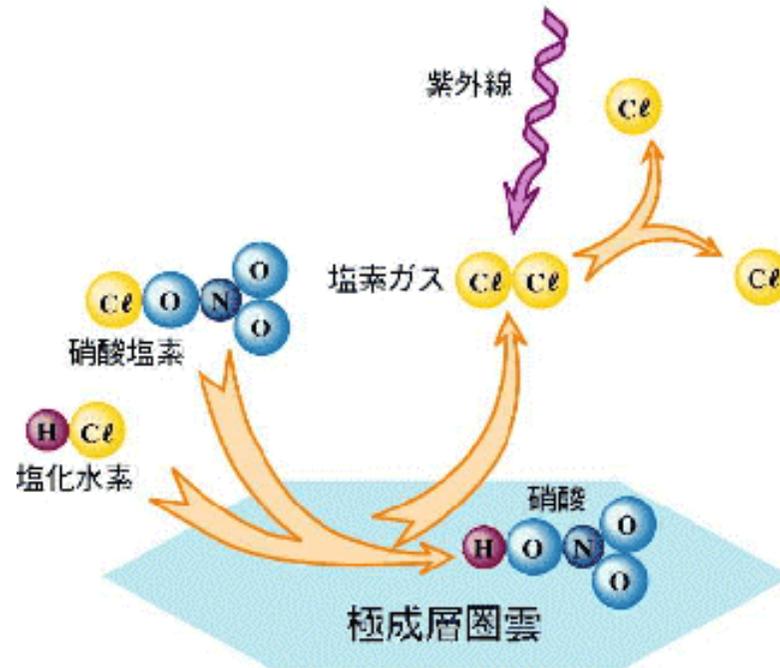
現在、人造物質であるクロロフルオロカーボン(CFCs; フロンとも呼ばれています)等に起因する塩素、臭素によるオゾン層破壊が熱帯地域を除くほぼ地球全体で進行しています。そのオゾン層破壊は、特に南極域の春季に発生するオゾンホールに顕著に表れています。このようなオゾン層の破壊に伴って有害紫外線(UV-B)の増加が懸念されています。

上空40km付近では、紫外線によってクロロフルオロカーボン等から解離した塩素原子がオゾンを次々と破壊しています。



# 下部成層圏でのオゾン破壊

高度30kmより下の成層圏では、塩素原子は通常、オゾンを破壊しない化合物に姿を変えて存在しています。ところが、南北両極、特に南極上空の高度15～20km付近では冬に著しく低温の状態となり、極域成層圏雲(PSCs)と呼ばれる雲が発生します。この雲粒子の表面及び太陽からの紫外線による光化学反応によって、塩素が活発化してオゾンを破壊します。オゾンホールはこれらの反応によりオゾンが急速に破壊されて形成されます。火山噴火による硫酸粒子の表面でも、同じようにオゾンを破壊する反応が起こります。



(昭和基地)

## オゾン全量 昭和基地上空 (1999.2-2000.1)



**オゾンホール：**  
極夜明け後，春先にかけて出現。夏には消失

## オゾンの分解



●水素酸化物 HO<sub>x</sub> ……生物活動 (CH<sub>4</sub>)



●窒素酸化物 NO<sub>x</sub> ……微生物活動 (N<sub>2</sub>O)



●塩素酸化物 ClO<sub>x</sub> ……生物活動 (CH<sub>3</sub>Cl: 塩化メチル)



火山活動 (FCl: フッ化塩素)

◆フロン (CFC: クロロフルオカーボン)

フロン-11



フロン-12



……塩素酸化物の80%は人為的



\*X: 触媒として作用

オゾン分解物質 → 化学的不活性化化合物の形成

水素酸化物  
窒素酸化物  
塩素酸化物



硝酸ガス  $\text{HNO}_3$

塩酸ガス  $\text{HCl}$

硝酸塩素  $\text{ClONO}_2$

$\text{ClO} + \text{NO}_2 + \text{気体分子}$

$\rightarrow \text{ClONO}_2 + \text{気体分子}$

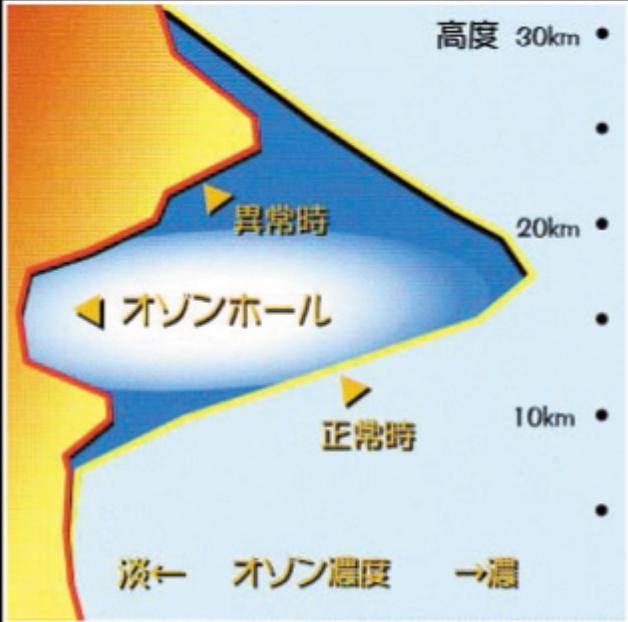
オゾン分解物質は・・・

- ・オゾン分解サイクルからはずれる
- ・対流圏に戻る

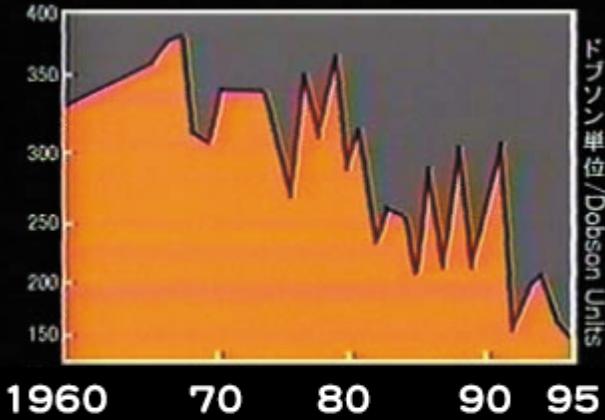
\* オゾン分解サイクルの抑制

# オゾンホール

## オゾンホール

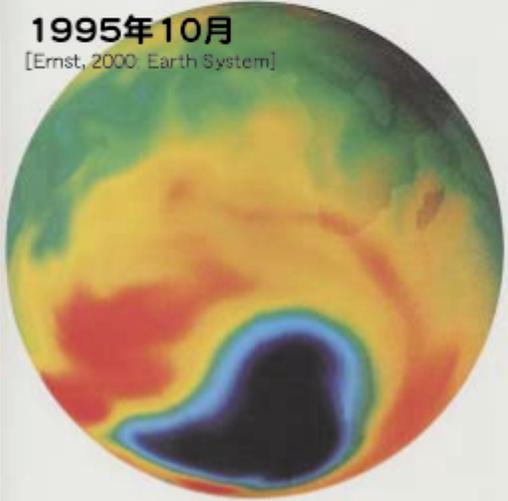


## オゾン全量 (10月)



## 1995年10月

[Ernst, 2000 Earth System]



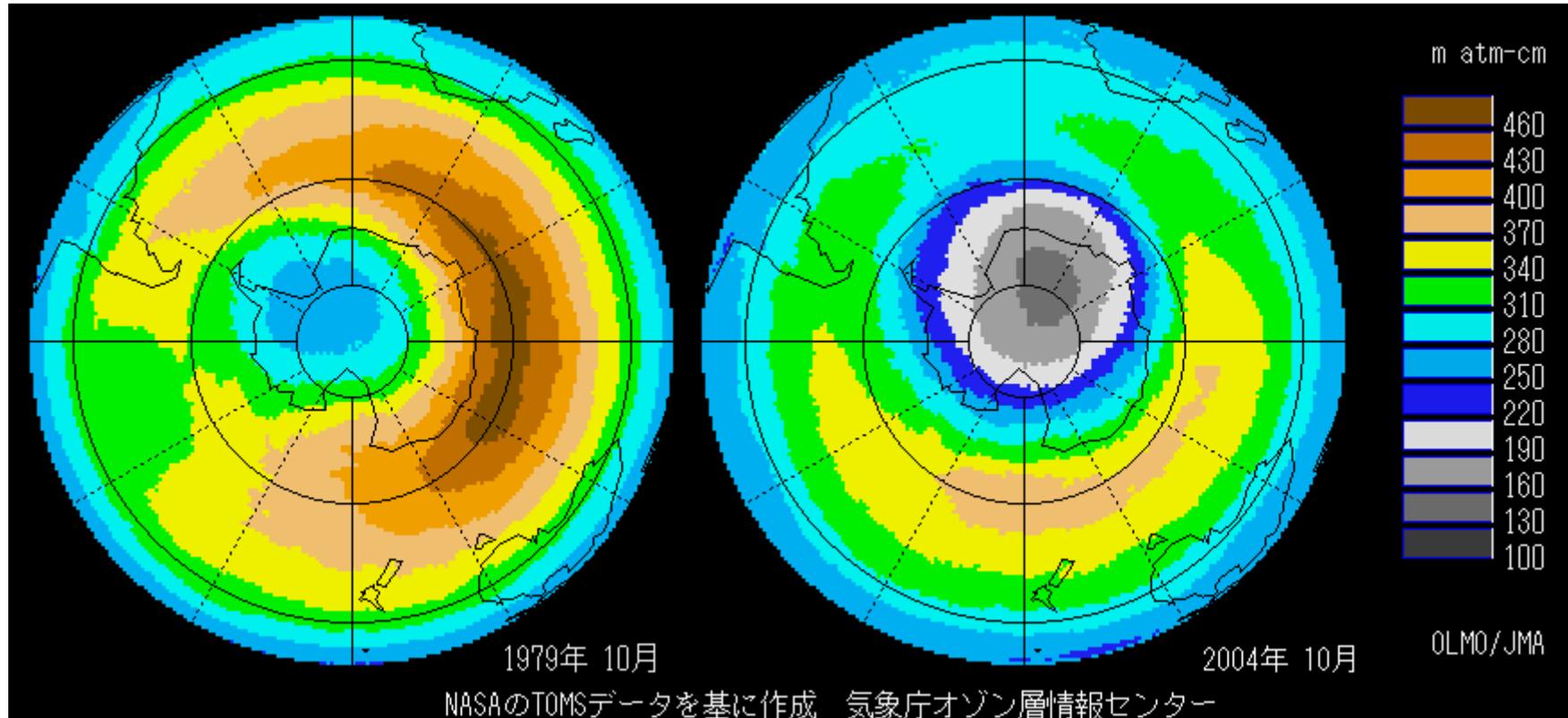
# オゾンホール(1)

## オゾン層破壊の状況

クロロフルオロカーボンなどから生じた塩素・臭素によるオゾン層破壊が、熱帯地域を除くほぼ全世界で現れています。日本でも北に位置する観測点ほどはっきりとしたオゾンの減少が観測されています。現在、オゾン層を破壊する物質は世界的な取り決めにより規制され、成層圏の塩素などの量はほぼピークとなっており、今後は徐々に減少すると考えられています。しかし、オゾン層破壊は、温室効果ガス増加などの影響も受けることから、2020年頃まで続く可能性があると推定されています。

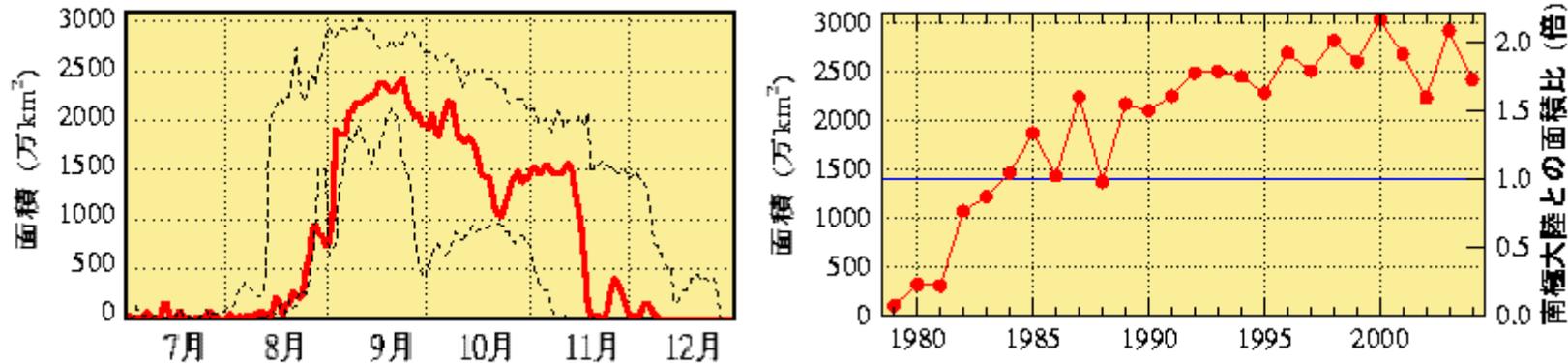
**オゾン全量**: 上空のオゾンの総量をオゾン全量と呼びます。オゾン全量は、仮に上空のオゾンを地上に全て集めたとした時の厚さで表します。300m atm-cmは3mmの厚さになります。

## オゾンホール(2)



1979年、2004年それぞれの10月の月平均オゾン全量の南半球分布  
米国航空宇宙局(NASA)提供のTOMSデータをもとに気象庁が作成。  
TOMSは、人工衛星に搭載されたオゾン全量等を観測するセンサー

# オゾンホール(3)



(左)2004年のオゾンホール面積の推移、(右)オゾンホール  
面積最大値の経年変化

米国航空宇宙局提供のTOMSデータをもとに気象庁が作成。

# 今後の予測

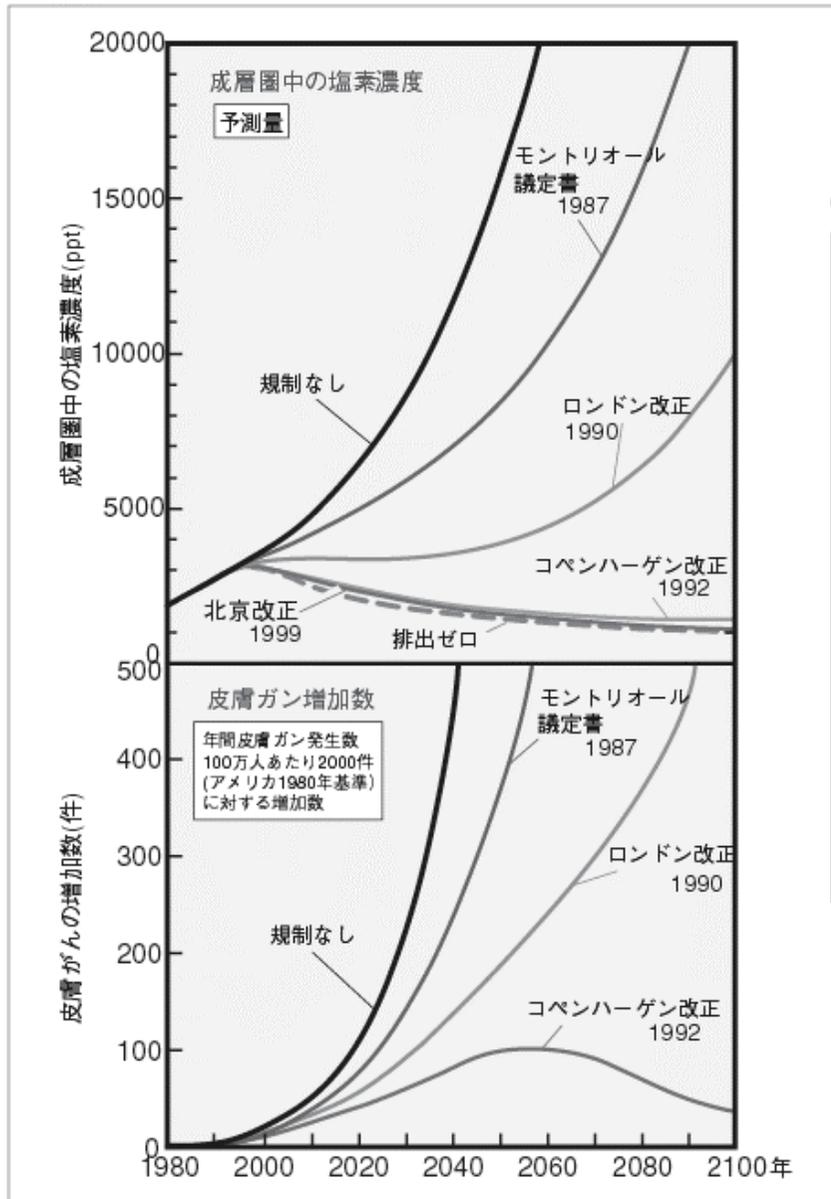
オゾンホールと春季北極域のオゾン全量の予測  
オゾン層保護の規制シナリオ、温室効果ガスのシナリオ：  
「化学気候モデル」(3次元モデル)

オゾン層の回復が始まる時期：2010年代まで遅れるが、  
ほぼ単純にオゾン層の回復が予測される。

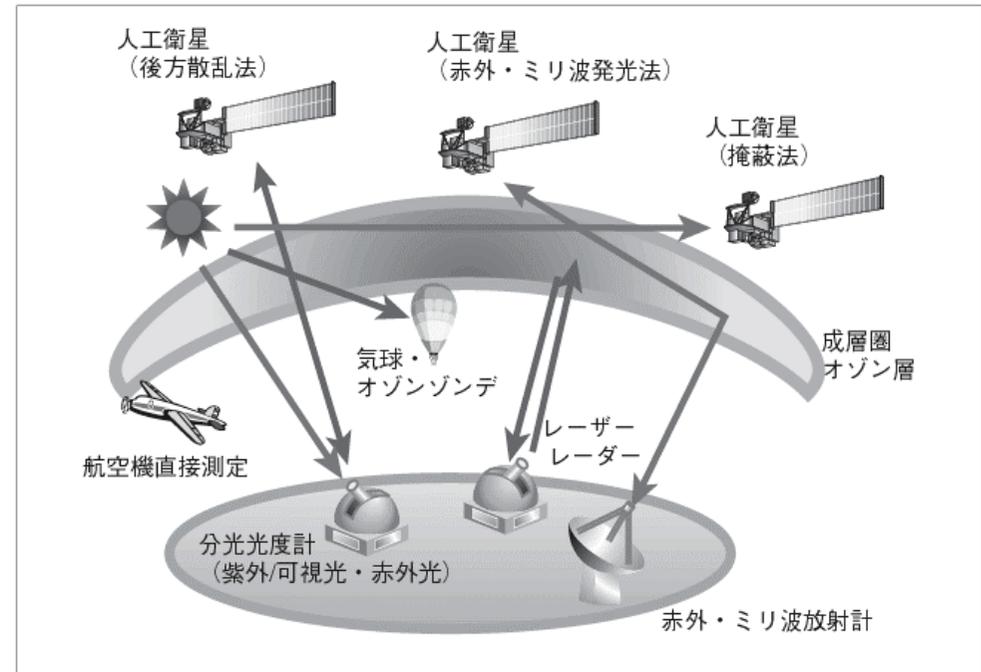
解説：中根英昭：オゾン層の現状とオゾン層研究

[http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/stfc/stt043j/0410\\_04\\_feature\\_articles/200410\\_fa02/200410\\_fa02.html](http://www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/stfc/stt043j/0410_04_feature_articles/200410_fa02/200410_fa02.html)

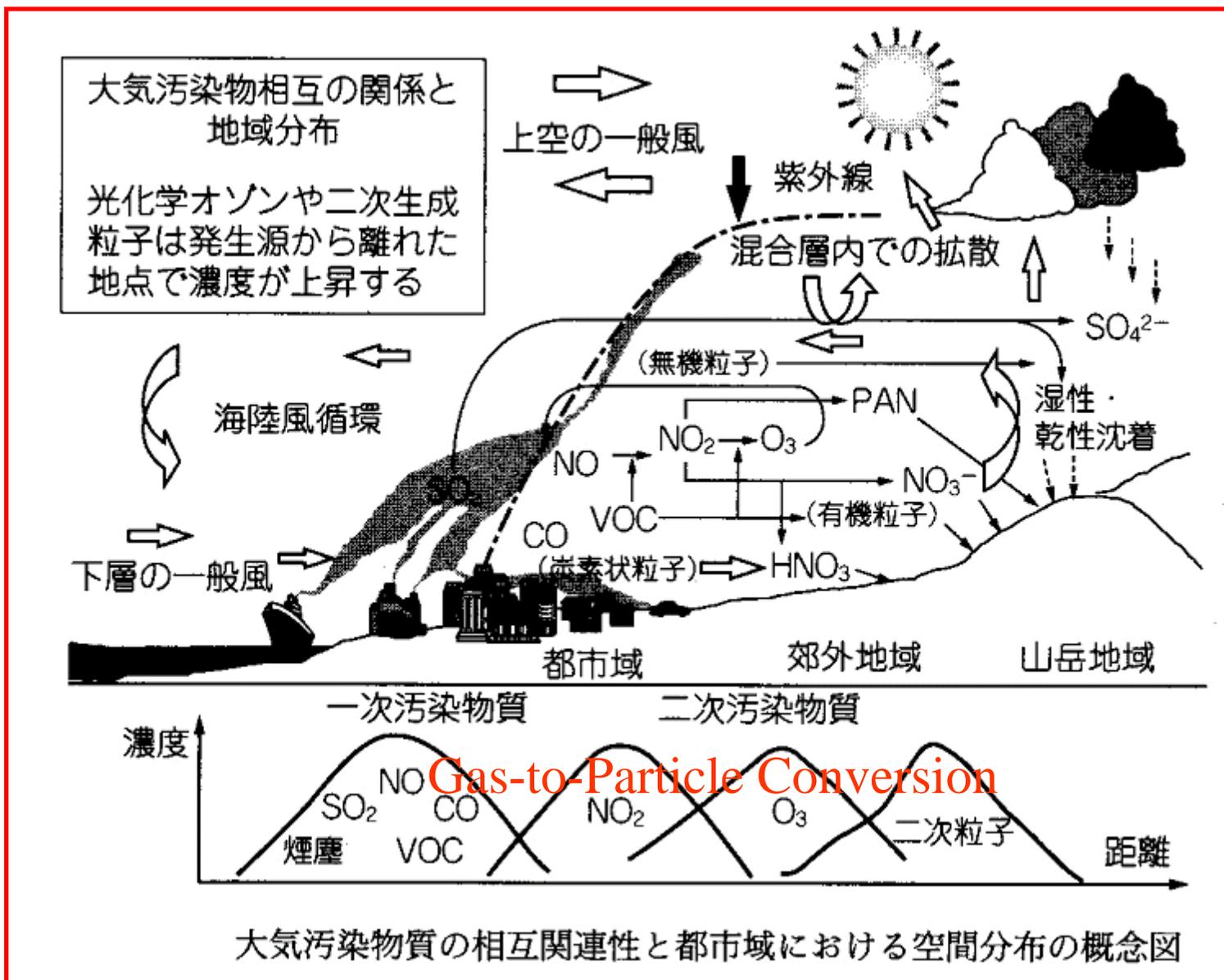
図表1 成層圏塩素濃度の過去 - 現在 - 将来シナリオ (上段) と、オゾン破壊による皮膚がん増加の将来シナリオ (下) <sup>1)</sup>



図表10 衛星、飛翔体および地上からのオゾン層の観測手法



# 大気汚染



# 大気汚染--環境基準

## 二酸化硫黄(SO<sub>2</sub>)

1時間値の1日平均値が0.04ppm以下で、かつ、1時間値が0.1ppm以下

## 光化学オキシダント(O<sub>x</sub>)

1時間値が0.06ppm以下

## 二酸化窒素(NO<sub>2</sub>)

1時間値の1日平均値が0.04ppmから0.06ppmまでのゾーン内又はそれ以下

## 一酸化炭素(CO)

1時間値の1日平均値が10ppm以下でかつ1時間値の8時間平均値が20ppm以下

## 浮遊粒子状物質(SPM)

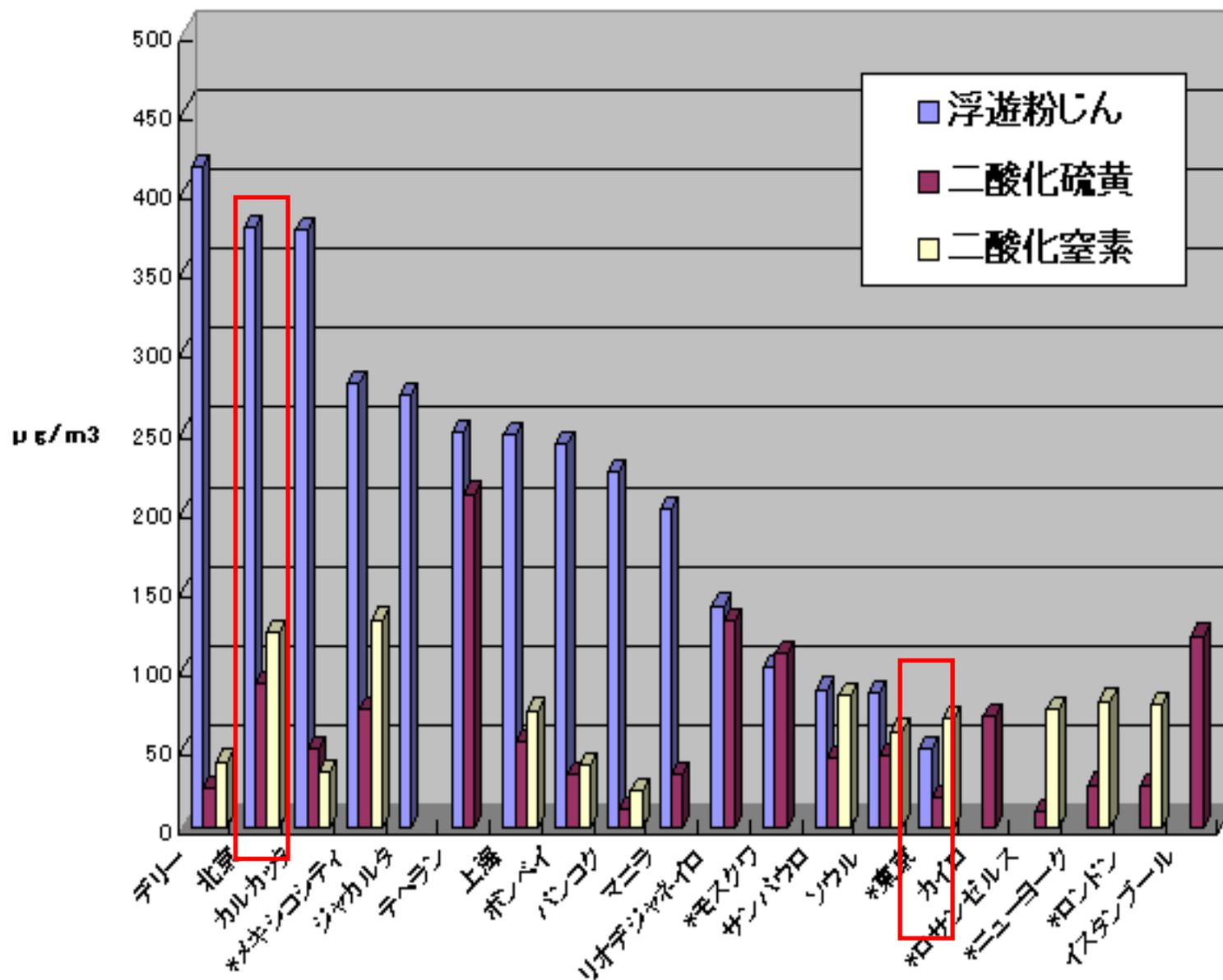
1時間値の1日平均値が0.10mg/m<sup>3</sup>以下で、かつ、1時間値が0.20mg/m<sup>3</sup>以下

## 化学物質(優先取組物質22種)

ベンゼン、トリクロロエチレン、テトラクロロエチレン、ジクロロメタン、...

**ダイオキシン(2000年):** TEQ換算 4 pg / 日 / 体重1kg

# 世界主要都市の大気汚染状況 (1995)



\*印はOECD加盟国

資料: World Development Indicators 1998, World Bank

◎主要諸国の硫黄酸化物及び窒素酸化物の排出量 (1999年)

(酸性雨への影響)

単位：万トン

国名	SOx	NOx
カナダ (SOxのみ1997)	269	206
米国	1,712	2,304
フランス (1998)	84	165
ドイツ	83	164
イタリア	92	149
イギリス	119	160
日本	87	165
中国 (1995)	2,282	964

黄砂がキャンセル

Air quality in northern Chinese cities is very poor  
中国北部都市の大気質は非常に悪い

# 大気質

Annual Daily Average Concentrations in 1995 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

1995年における1日の年平均濃度( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

## 中国の大気質

		NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	TSP
Beijing	北京	122	90	377
Changchun	長春	64	21	381
Dalian	大連	100	61	185
Harbin	ハルビン	30	23	359
Lanzhou	蘭州	104	102	732
Shenyang	瀋陽	73	99	374
Shijiazhuang	石家荘	61	129	308
Taiyuan	太原	55	211	568
Tianjin	天津	50	82	306
WHO Guidelines		150	100-150	150-230

## 地域の大気汚染問題

- ・ **長距離輸送**: 北中国→朝鮮→日本→北米(?!)
  - ・ 地域の**視程悪化**、日射の減少—西域の砂塵嵐との結合
  - ・ **酸性雨**、硫酸塩・硝酸塩沈着(肥料使用による $\text{NH}_3$ の寄与)、**表面水の富栄養化**
  - ・ 地域的な**オゾン生成**( $\text{CO}$ と $\text{CH}_4$ が寄与する有機物+ $\text{NO}_x$ の反応)
  - ・ 石炭燃焼による**微量元素**(特にHg)の発生

## 東北アジアの大気における重要な大気質とその起源

- ・ 黒色炭素 (BC) (元素状炭素 : EC、すす) [家庭での燃料燃焼、ディーゼル車両]
- ・ SO<sub>2</sub>と硫酸エアロゾル [石炭燃焼]
- ・ CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、他の温暖化気体 [化石燃料、農業]
- ・ NO<sub>x</sub>、硝酸エアロゾル、他の窒素化合物 [交通]
- ・ 非メタン揮発性有機化合物 (NMVOC) [多数]
- ・ オゾン [NO<sub>x</sub>とNMVOCから生成]
- ・ アンモニア [主として農業]
- ・ Hgのような微量元素 [化石燃料の燃焼]
- ・ 金属粉塵 [乾燥、半乾燥地域からの風による輸送]

BC、OCやSO<sub>4</sub>のような微小粒子は地域規模、大陸規模の問題や地球温暖化の要件となっている。対流圏オゾンは現在重要な温暖化気体と見なされている。

# 黒色炭素 (BC)の重要性は最近認識されてきた

## Linkages of Air Pollution to Climate Change

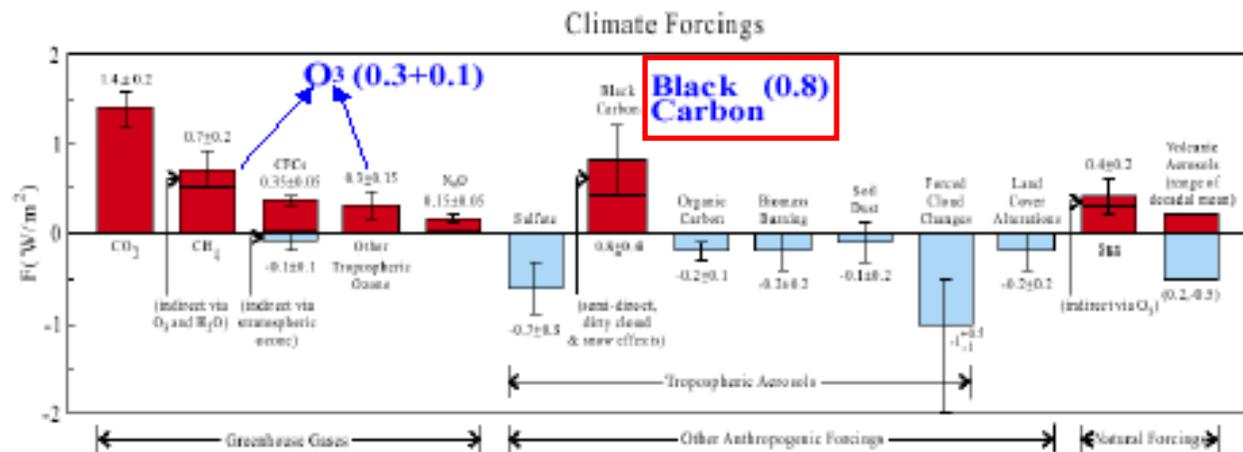


Figure 2. Estimated change of climate forcings between 1850 and 2000.

(Hansen et al., PNAS, 2001)

## 典型的な電力発電、家庭での燃料燃焼における 発生係数 (Gg/PJ)

		SO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub> *	NO <sub>x</sub>	CO	BC**	CO <sub>2</sub>
coal	石炭	0.61	0.06	0.30	0.02	0.00001	96
oil	石油	0.26	0.07	0.20	0.02	0.008	77
gas	ガス	0.01	0.01	0.15	0.03	0	56
[coal]	[石炭]	0.51	0.07	0.08	3.5	0.18	96
[biofuel]	[薪炭]	0.06	0.06	0.05	5.1	0.07	110

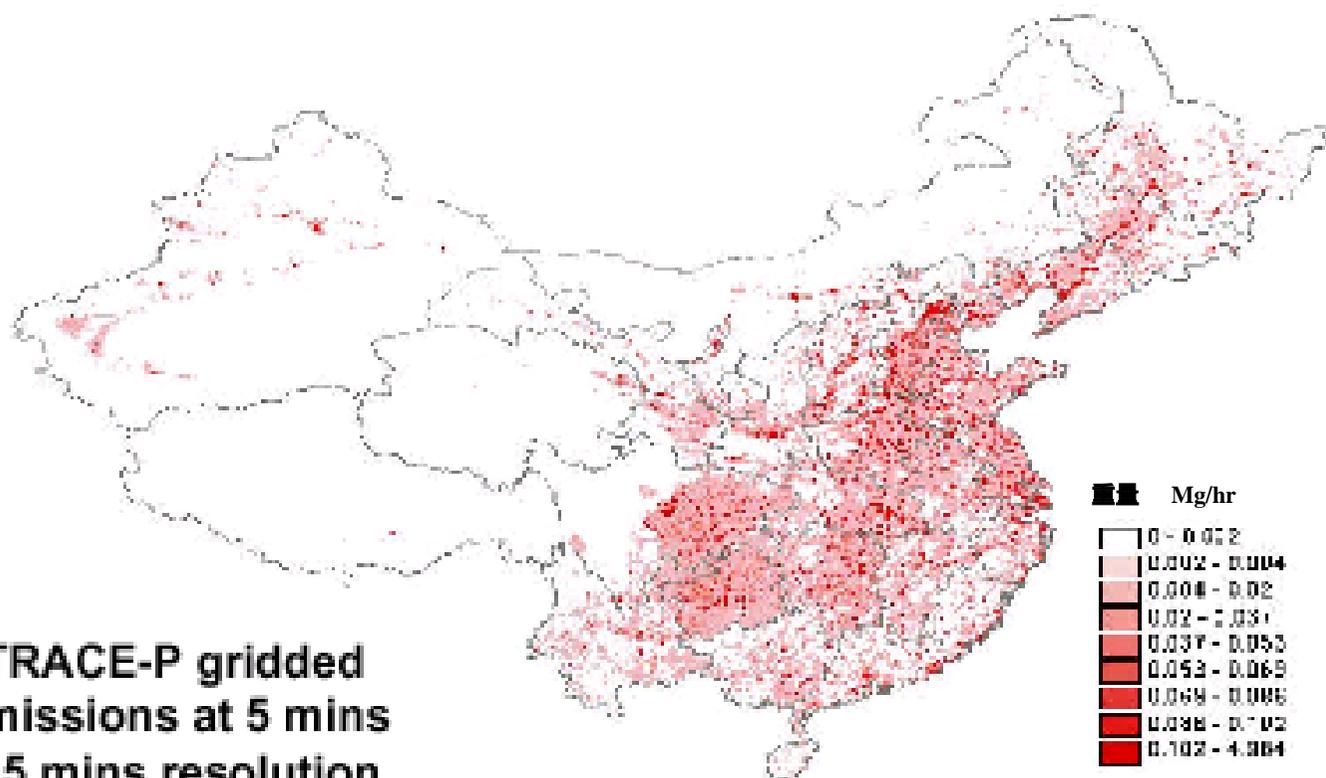
\*with controls, such as FGD for coal, low-sulfur oil, briquettes, etc.

\*\*black carbon, i.e., sub-micron elemental carbon

[...] = residential fuel use

# Black carbon

中国における**煤**の発生：田園の中心部を通過して南西から北東へ広く広がっている

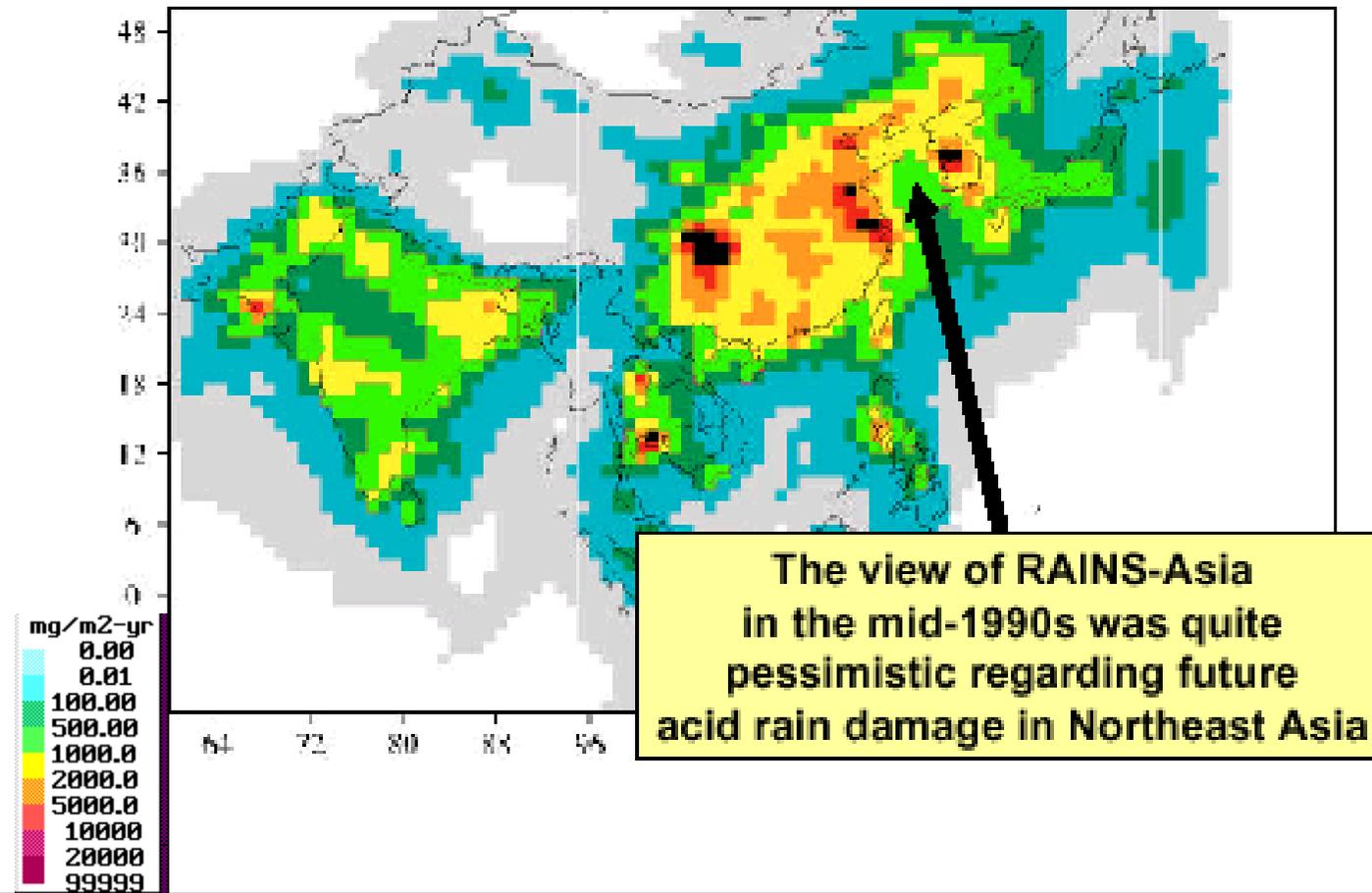


TRACE-P gridded  
emissions at 5 mins  
x 5 mins resolution

10km × 10kmの格子

# 硫黄酸化物

付加的な対策無しには**硫黄酸化物**の沈着は被害は2020年まで大きな被害をもたらすことが予想される。



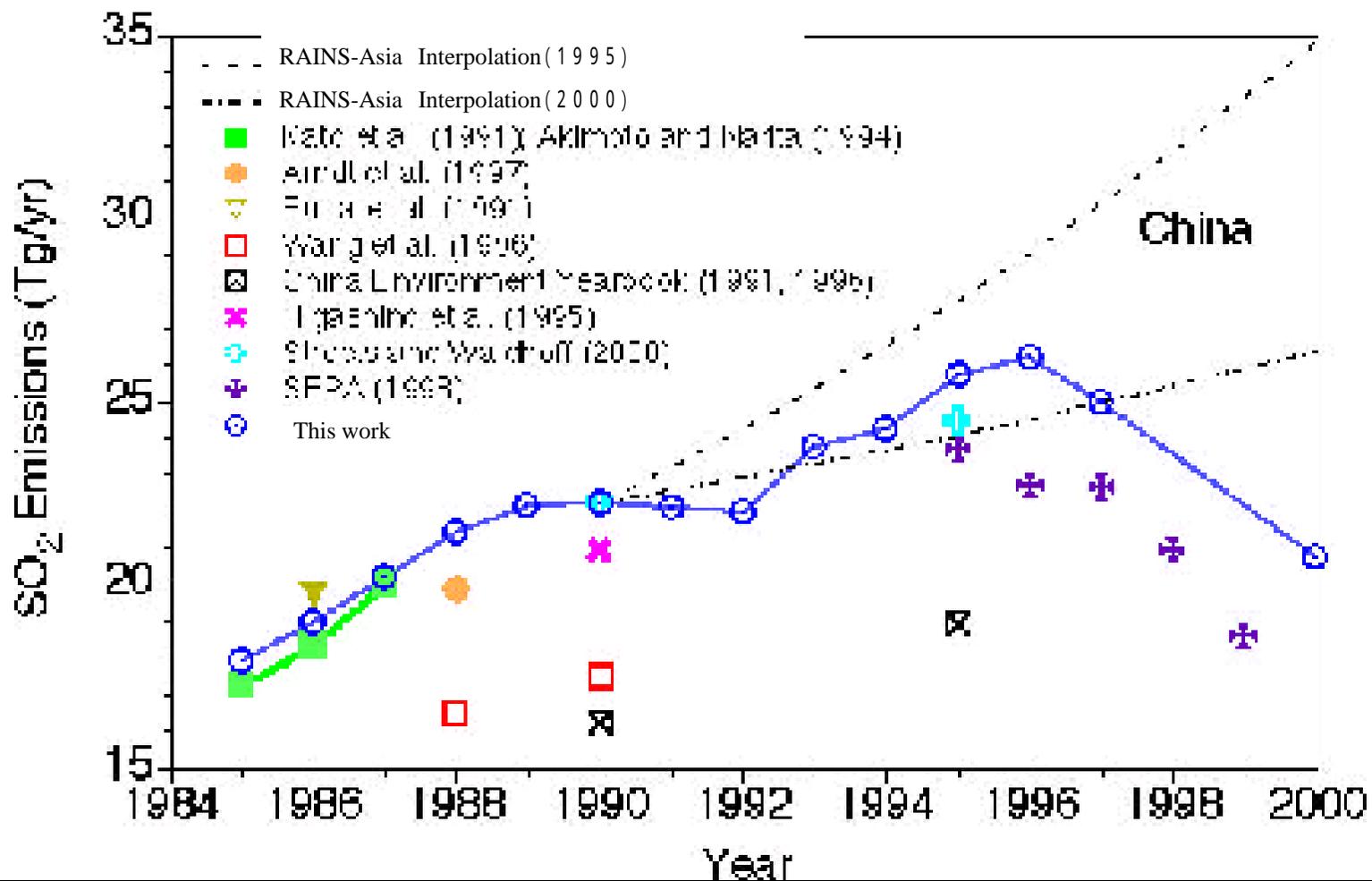
## 中国では1996年以来、大気汚染の発生に大きな変化があった:その理由は

- ・ 1997-8年の東、東南アジアの経済不況
- ・ 工場と電力発電の、脱石炭の動き
- ・ 重工業から、high techとサービス業への構造変化
- ・ エネルギー効率と燃料の質の向上
- ・ 多くの小、非効率、高含硫黄炭鉱の閉山と石炭の供給過剰の減少
- ・ 電力の高価格による需要の減少
- ・ 電力と石炭市場の開放
- ・ 大都市における住宅の燃料の石炭から電気・ガスへの切換
- ・ エネルギー利用機関の技術的な進歩

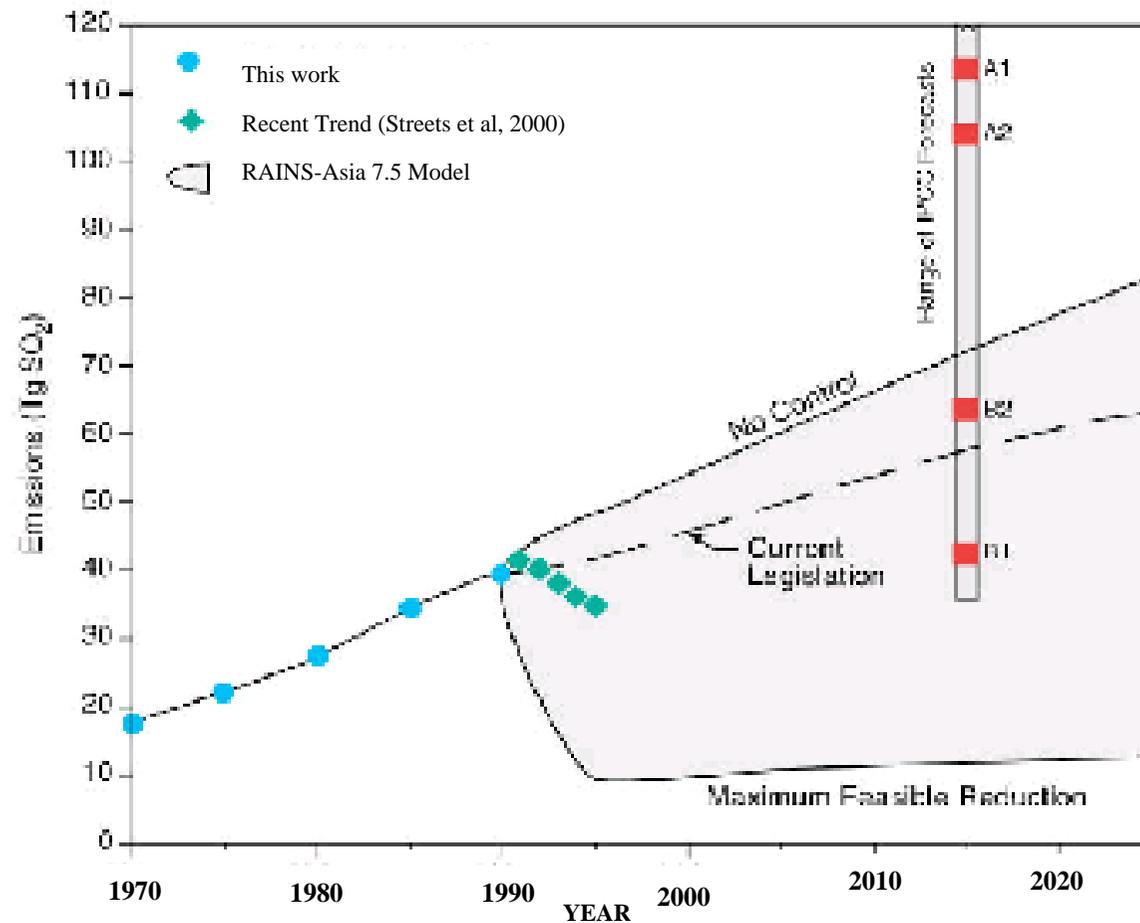
(出典: Sinton & Fridley, Energy Policy 28 671 (2000))

# 最近の中国のSO<sub>2</sub>発生量の傾向

(Streets et al., *Atmos. Environ.*, 34,4413, 2000)



# 将来のアジアのSO<sub>2</sub>の発生量は最近のIPCCの予測より少ない(?)



Long-term emission changes in Asia are reflected in sulfate aerosol measurements at Midway Island (Prospero et al., 2001)

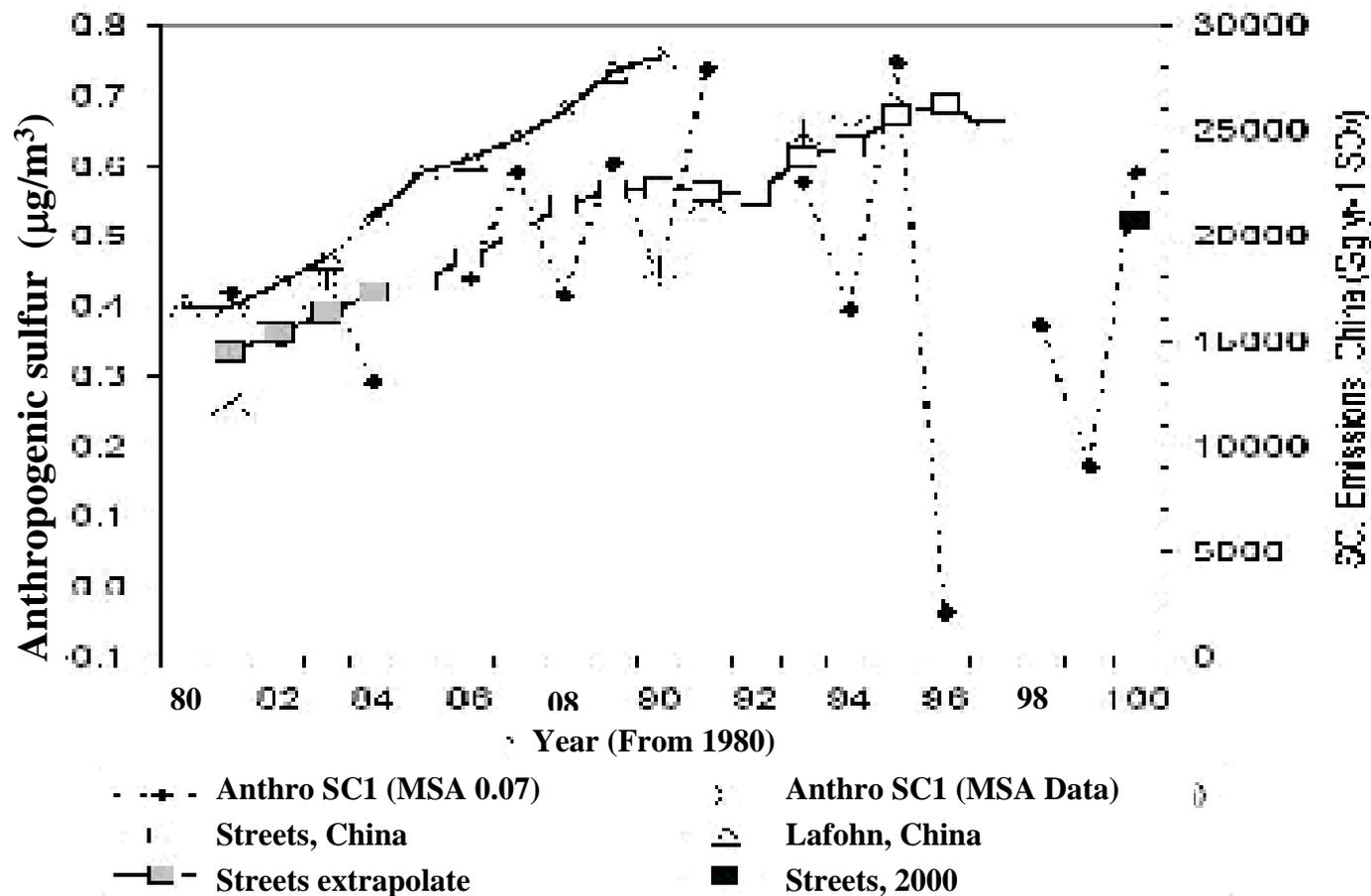
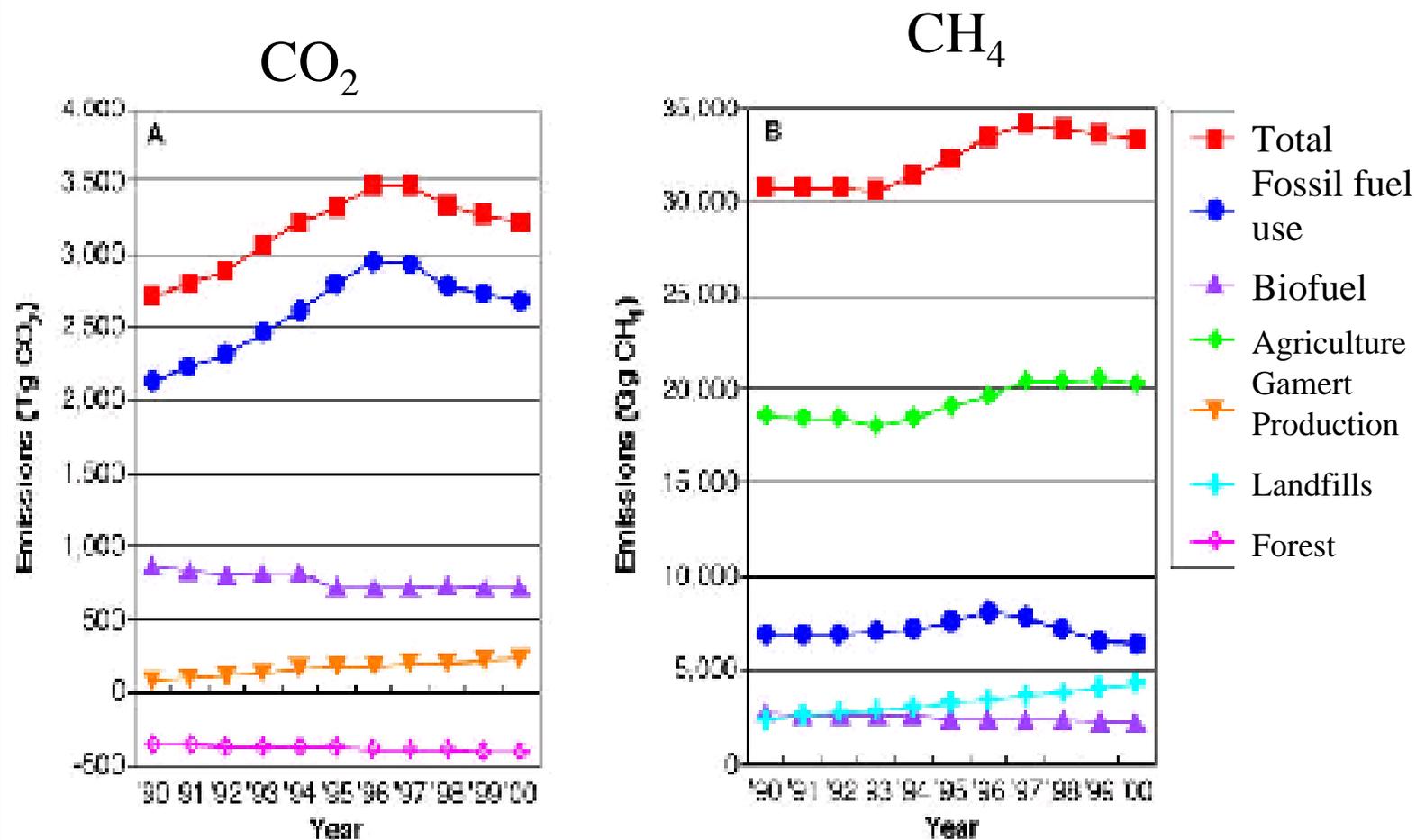
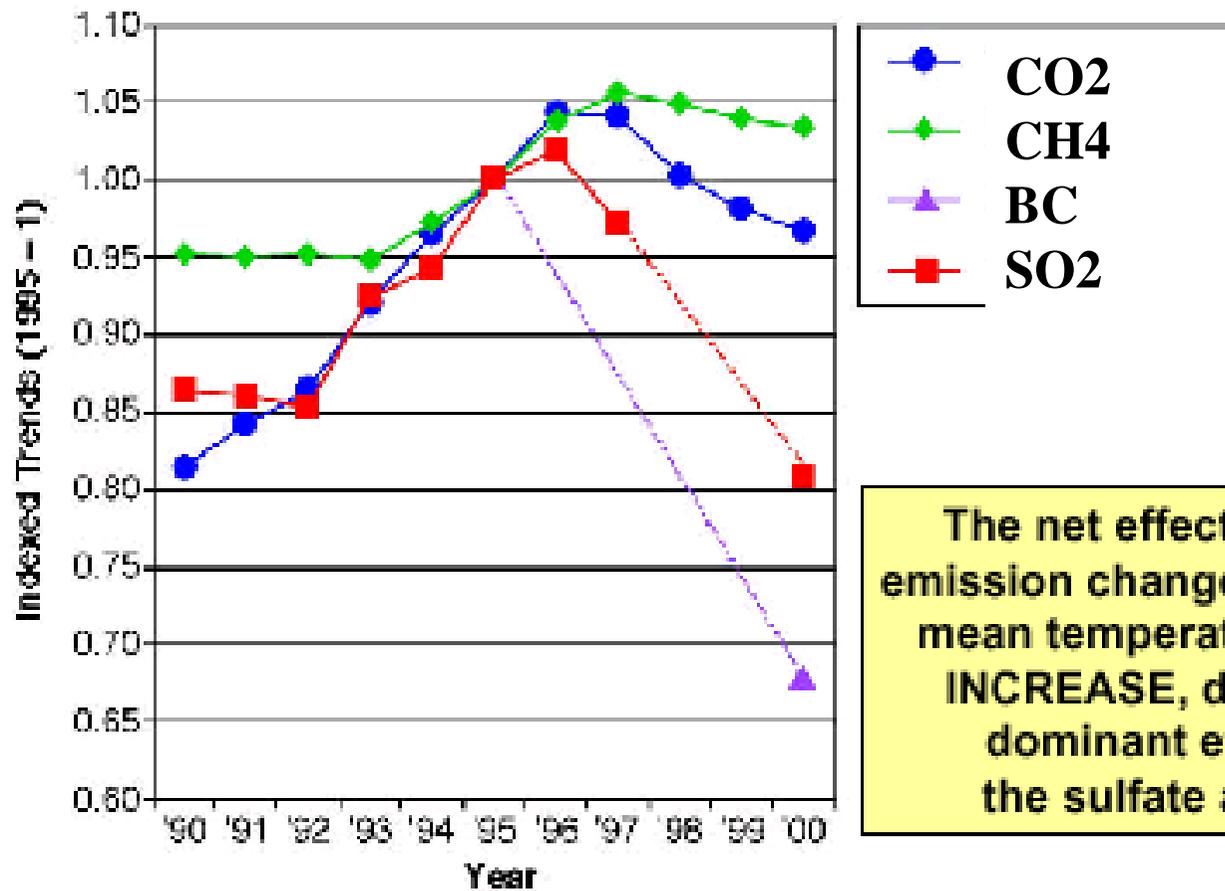


Fig. 7

# 中国におけるCO<sub>2</sub>とCH<sub>4</sub>の発生量の年平均発生量 (Streets, 2001)

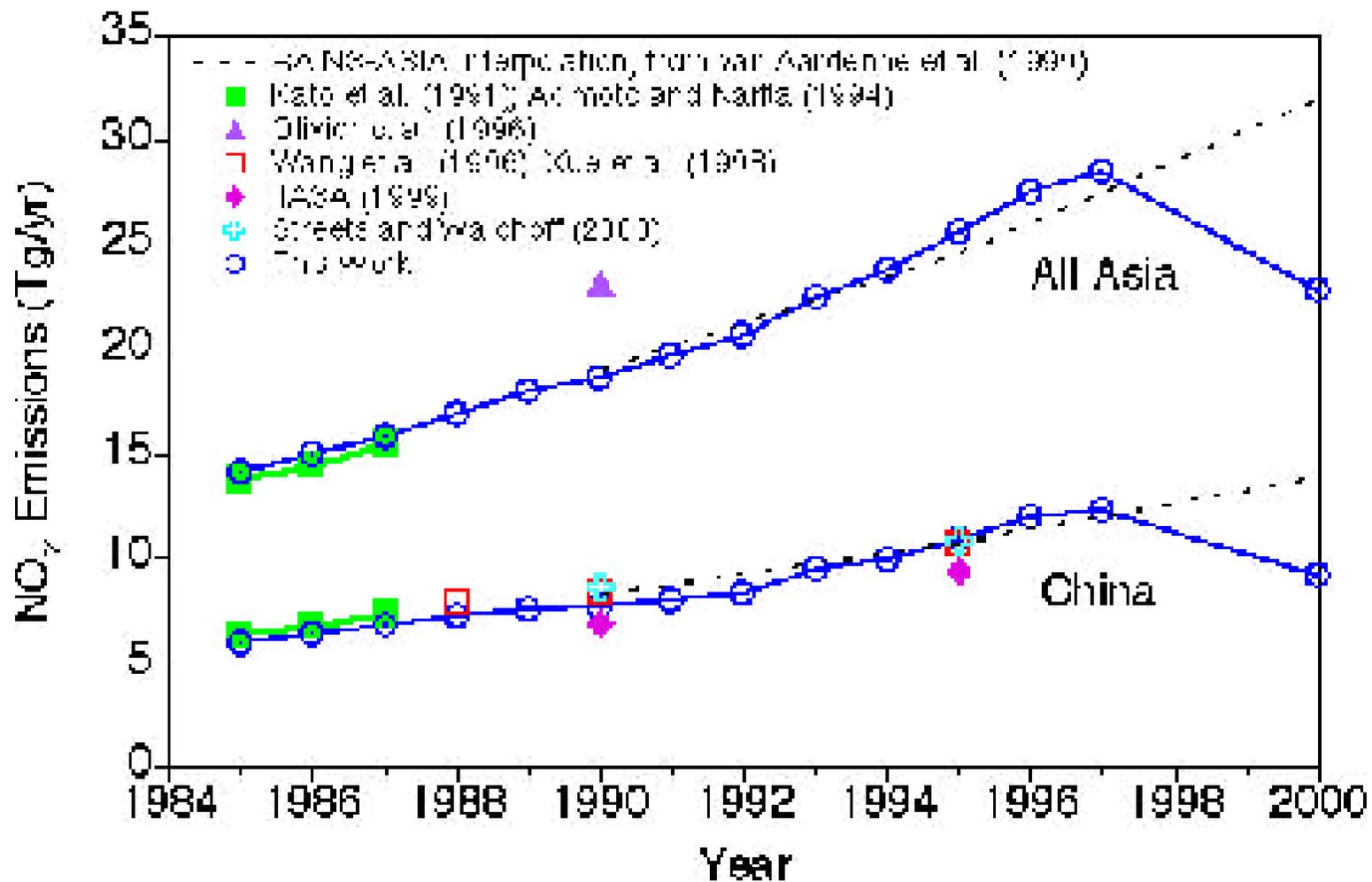


## 中国における温暖化ガスの発生量の傾向



The net effect of these emission changes on global mean temperatures is an **INCREASE**, due to the dominant effect of the sulfate aerosol

## 最近のアジアにおけるNO<sub>x</sub>発生の状況も減少傾向を示す

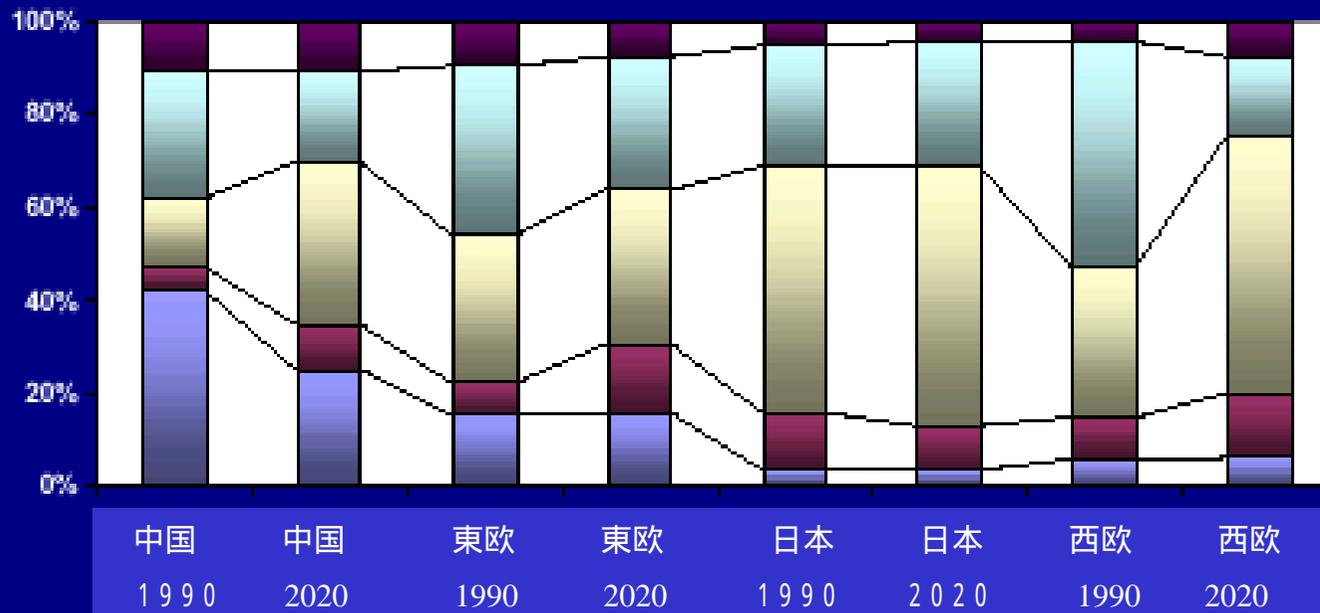


## 中国における非メタン揮発性有機物はいろ いろの発生源からおこり、急速に増大

Sector	1990	1995	2000	2010	2020
Stationary combustion 固定燃烧	5804	5509	5225	5004	4557
Extraction, processing and handling of fossil fuels	517	707	924	1293	1755
Chemical industry 化学工場 石油	78	134	206	369	528
Solvent use ( <i>excluding paint use</i> )	580	761	1245	2059	2828
Paint use	640	1031	1472	2235	3039
Transport	2317	3567	5071	4495	3559
Waste disposal	868	889	880	860	837
Miscellaneous	302	521	611	896	1106
Total	11105	13120	15634	17211	18209

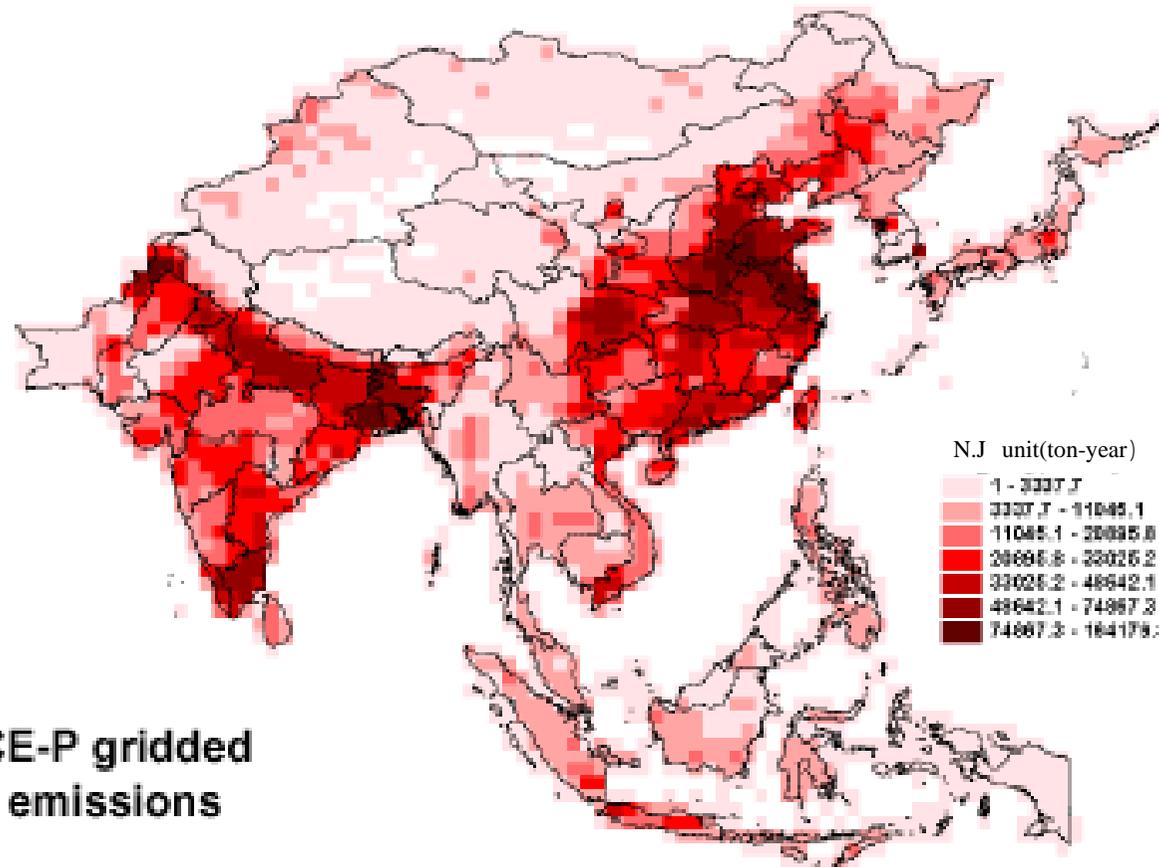
# 非メタン揮発性有機炭素の排出分布は世界各地で異なる

THE WORLD



- 固定燃焼
- 石油精製&販売
- 溶媒&化学工場
- 交通
- 他

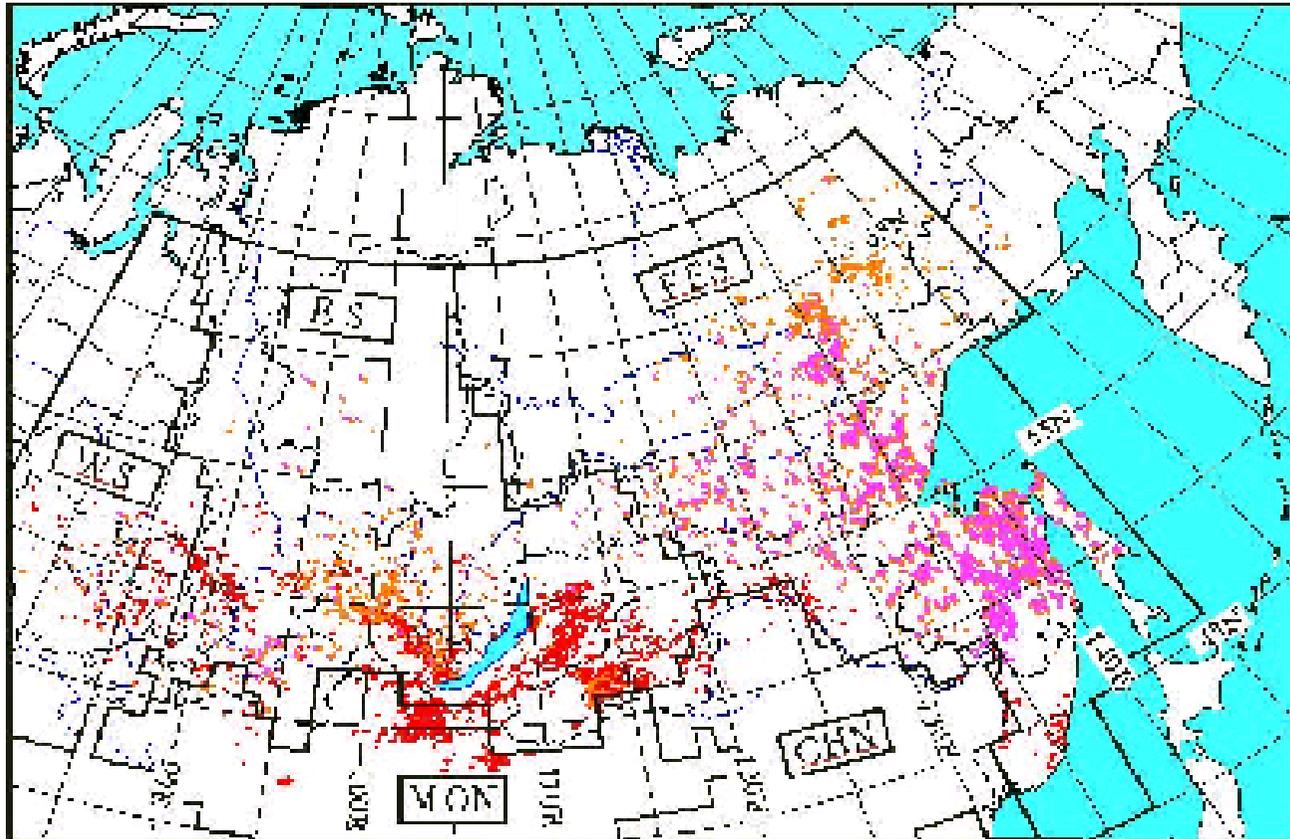
アンモニアの発生はアジアで多い(動物と肥料の使用)  
硫酸アンモニウム塩の発生に重要



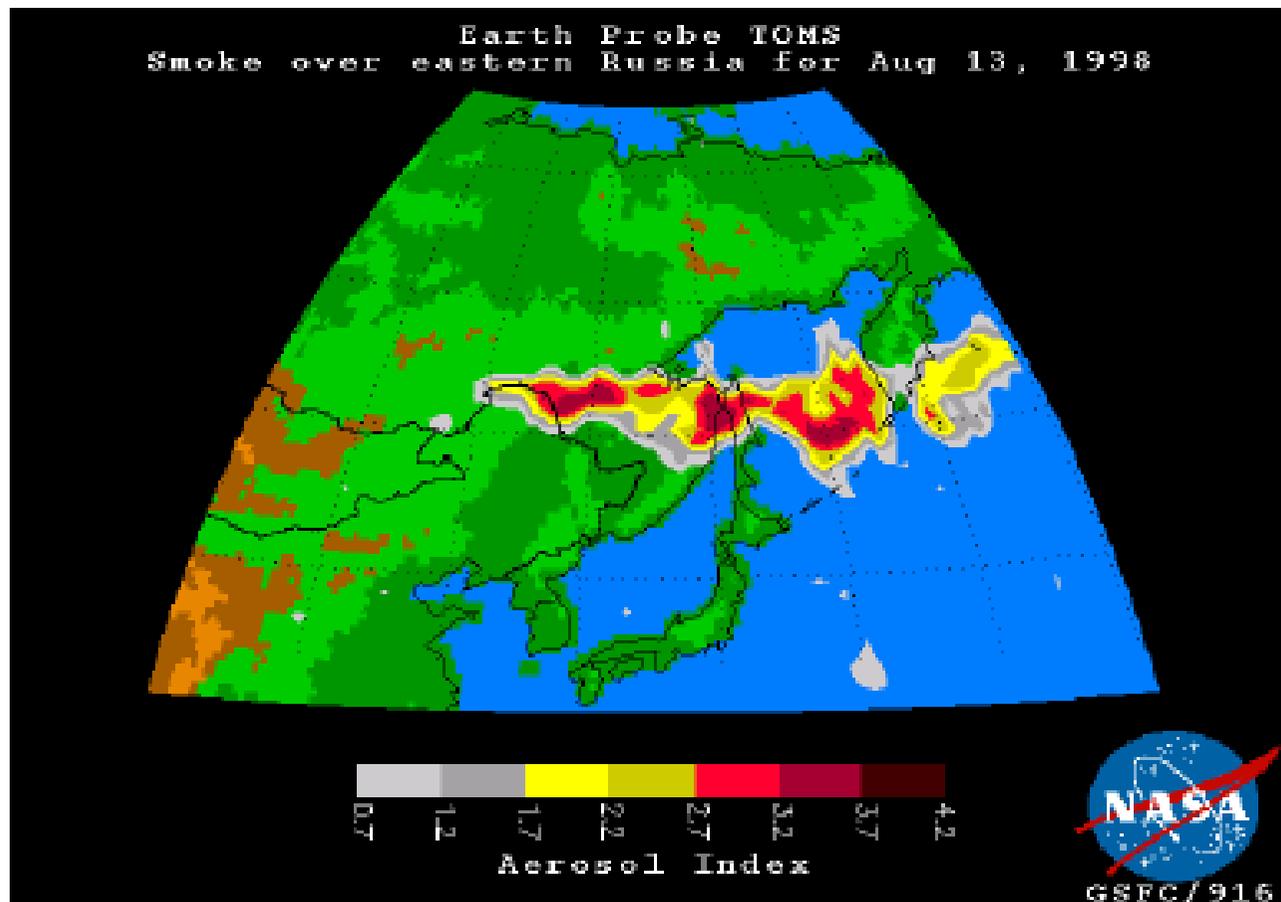
TRACE-P gridded  
NH<sub>3</sub> emissions

# Biomass burning

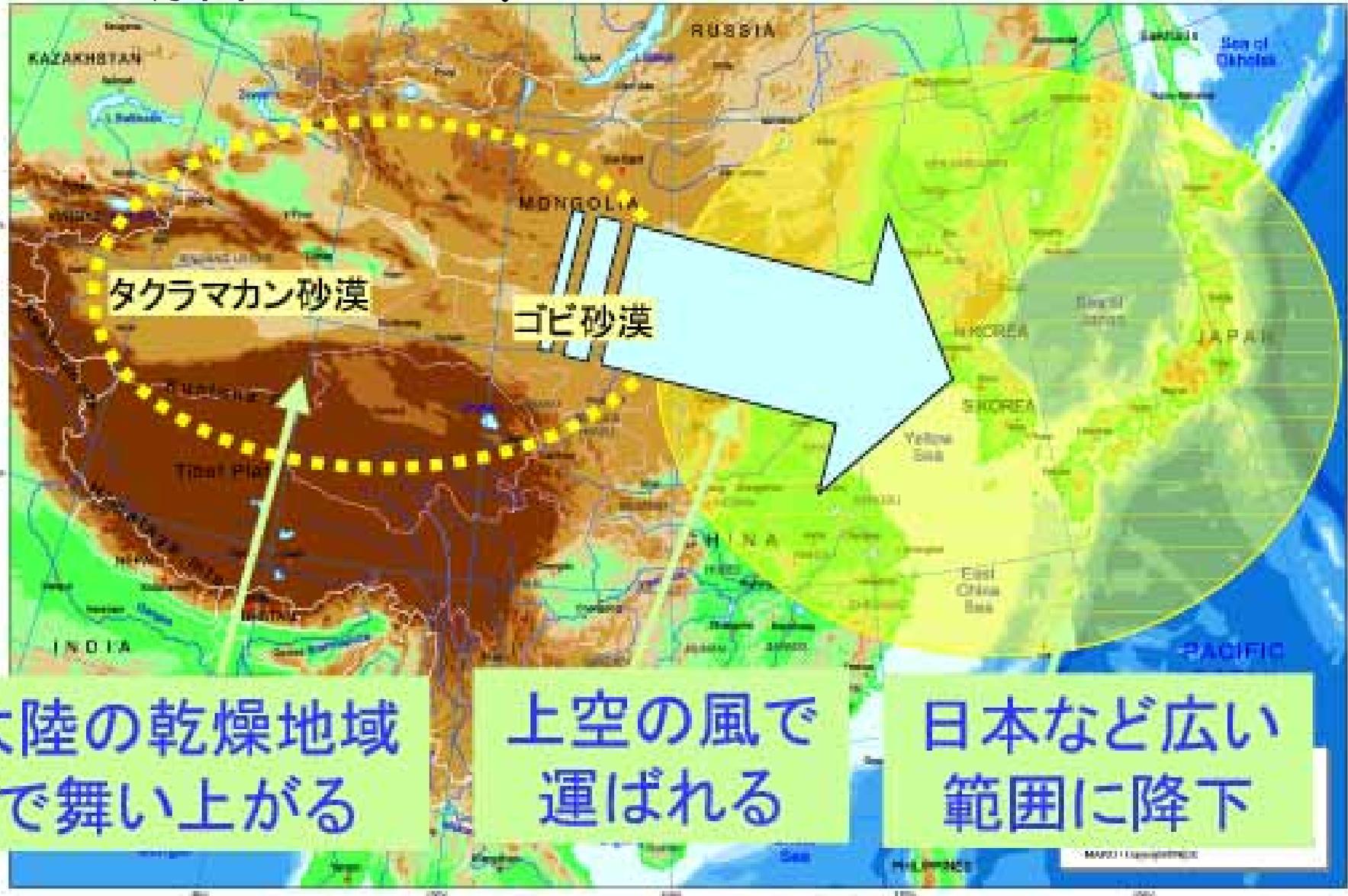
バイオマス燃焼は半球の空気の質に大きな影響を与える。  
図は1998年のシベリアの森林火災



TOMSのAI(aerosol index)データはシベリアの排煙が東アジア、太平洋を越すことを示す



**黄砂** は春先に大陸の乾燥地域から舞上がり、TSPの主要な原因となっている。



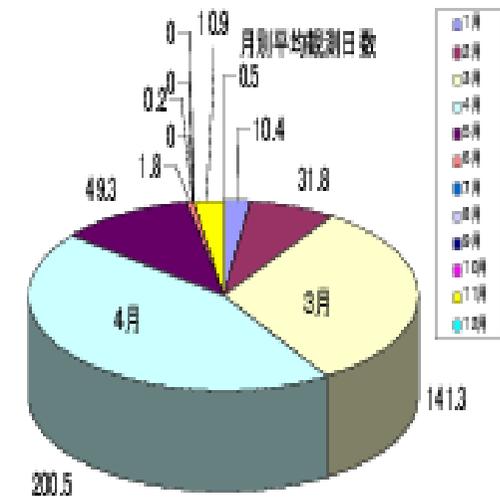
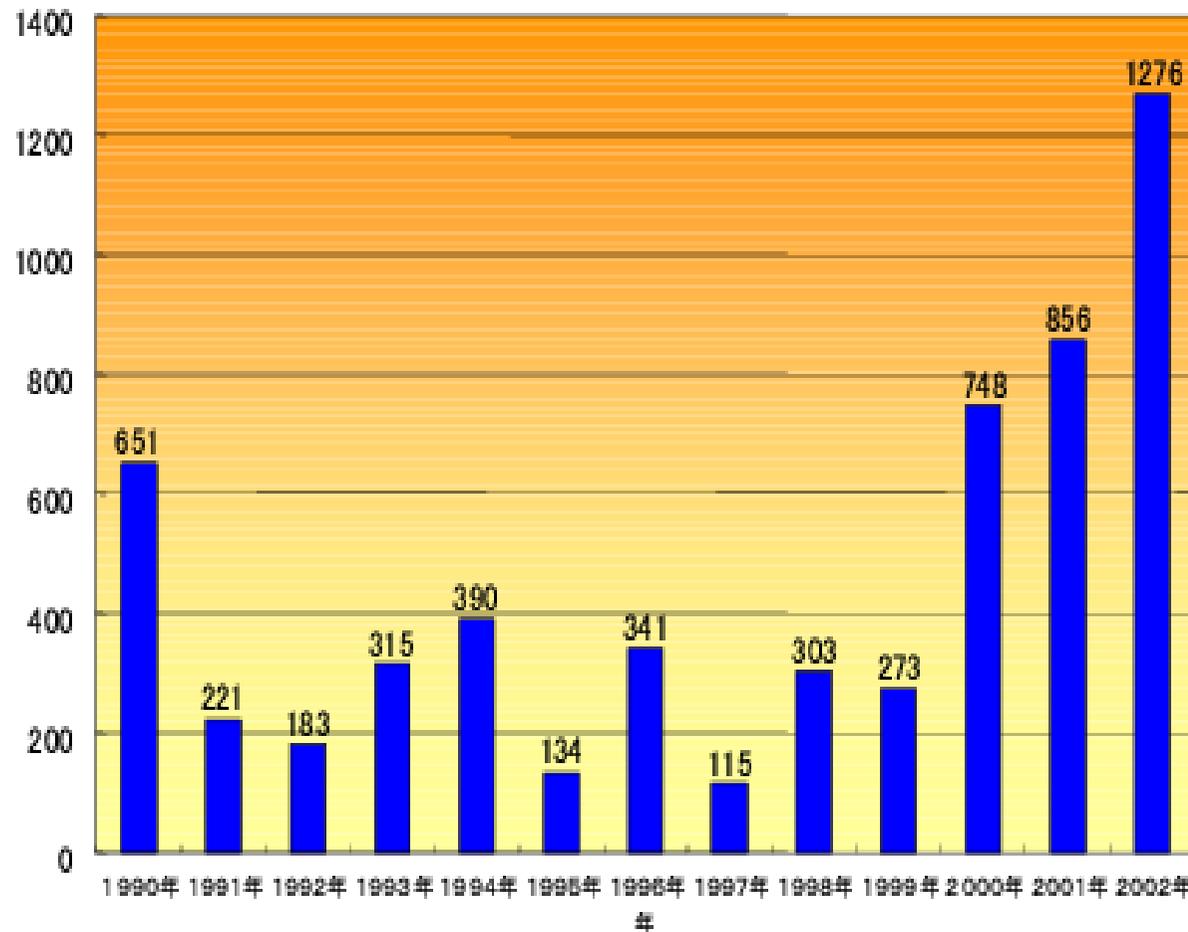
# 黄砂

77%が3,4月に集中している。

観測日数

## 年別黄砂観測日数

観測日数は各地で観測された延べ日数  
(同じ日に5箇所で観測された場合は5となる)



一般的に春(3月、4月)に多い

(7月から9月は0, 11月は10.9)

## 黄砂(衛星画像)

(黄砂発生後)

The April 19, 2001 SeaWiFS image (right) clearly shows dust effects.

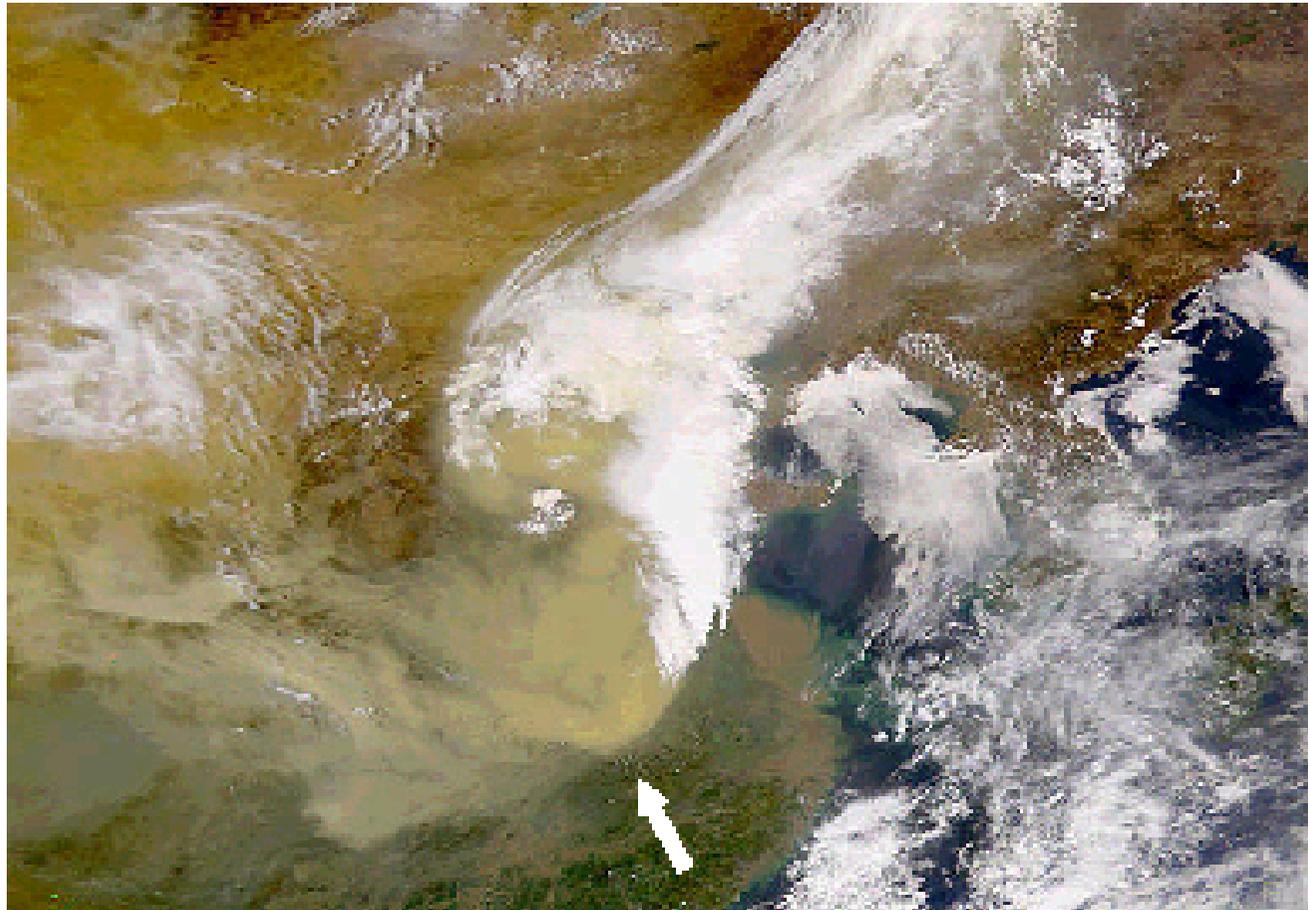


SeaWiFS on March 28, 2001  
before the dust storms

(黄砂の発生前)

# 黄砂

黄砂:1998年4月16日、濃いダストストームが形成され、前線により東方へ押し出されていった(SeaWifs)



# TRACE-P

TRACE-P (Transport and Chemical Evolution over the Pacific)  
ACE-Asia (Asian Pacific Regional Aerosol Characterization  
Experiment)



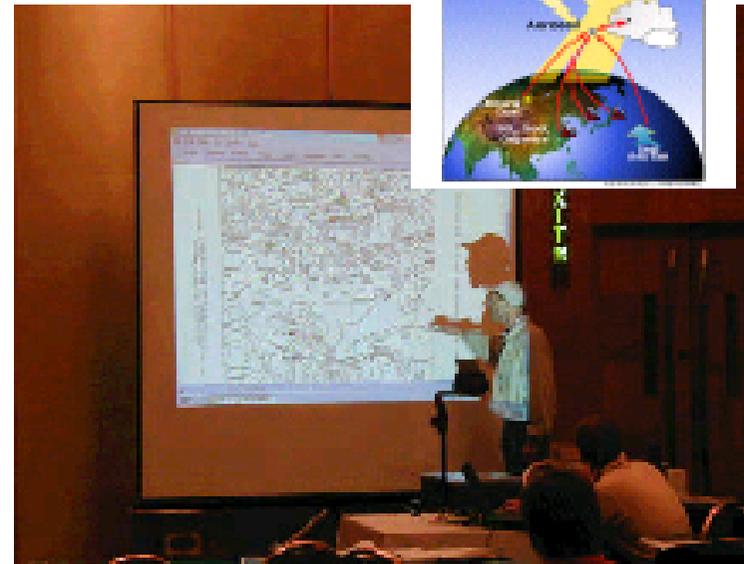
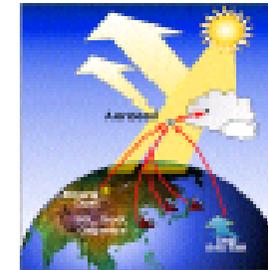
Theoretical  
modeling



Experimental  
measurements



International Global Aerosols Chemistry Project  
**ACE-Asia**  
Radiation Forcing due to Anthropogenic  
Aerosols over the Asian Pacific Region



## TRACE-PやACE-Asiaで作成された2000年におけるアジアでの 排出量マップ

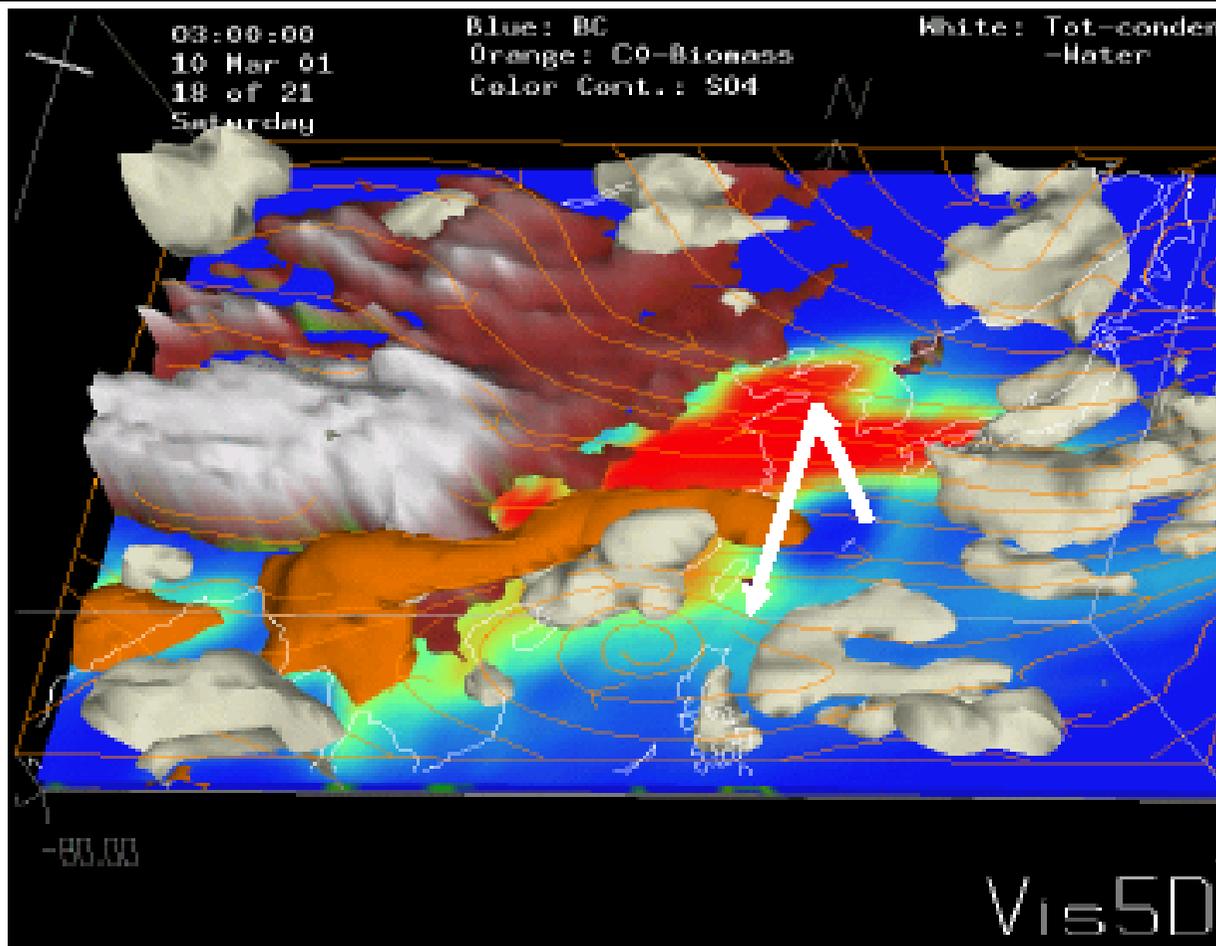
Updates will be posted on our University of Iowa web site:

[http://www.cgrer.uiowa.edu/people/carmichael/ACCESS/Emission-data\\_main.html](http://www.cgrer.uiowa.edu/people/carmichael/ACCESS/Emission-data_main.html)

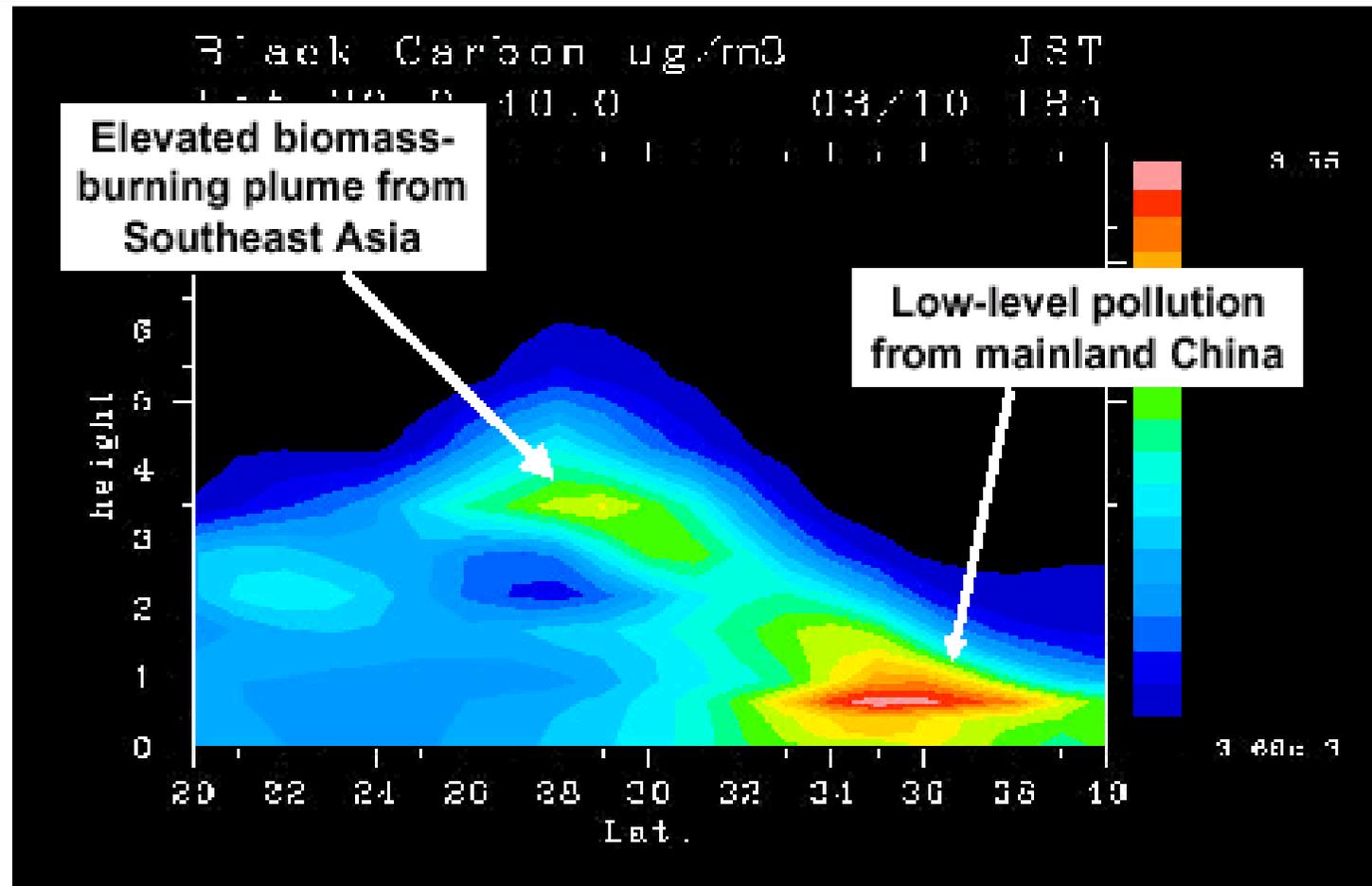
Region	Year 2000 Emissions (Tg)						
	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	NM <sub>VOC</sub>	BC	OC	NH <sub>3</sub>
China	20.8	9.2	84.1	14.7	0.91	2.63	13.3
Other East Asia	2.3	4.3	9.9	3.7	0.08	0.17	0.88
of which, Japan	0.8	2.2	4.2	1.9	0.04	0.04	0.35
Southeast Asia	3.1	3.4	28.9	11.1	0.31	1.35	3.0
Indian Subcontinent	7.1	4.6	51.7	10.7	0.62	2.77	9.4
of which, India	5.5	4.0	41.4	8.6	0.48	2.15	7.2
International Ships	1.1	1.3	0.1	0.0	0.07	0.05	0.0
Asia Total	34.4	22.8	174.7	40.3	1.98	6.98	26.6

Note: Summary emissions as of 7/23/01. Full biomass burning emissions to be added later.

2001年3月10日、TRACE-PのDC8機は中国からの人工大気汚染気塊(赤)と東南アジアからの森林火災排煙(橙)を横切った



化学物質の予測モデルはTRACE-P期間の汚染状況を的確に予測した。



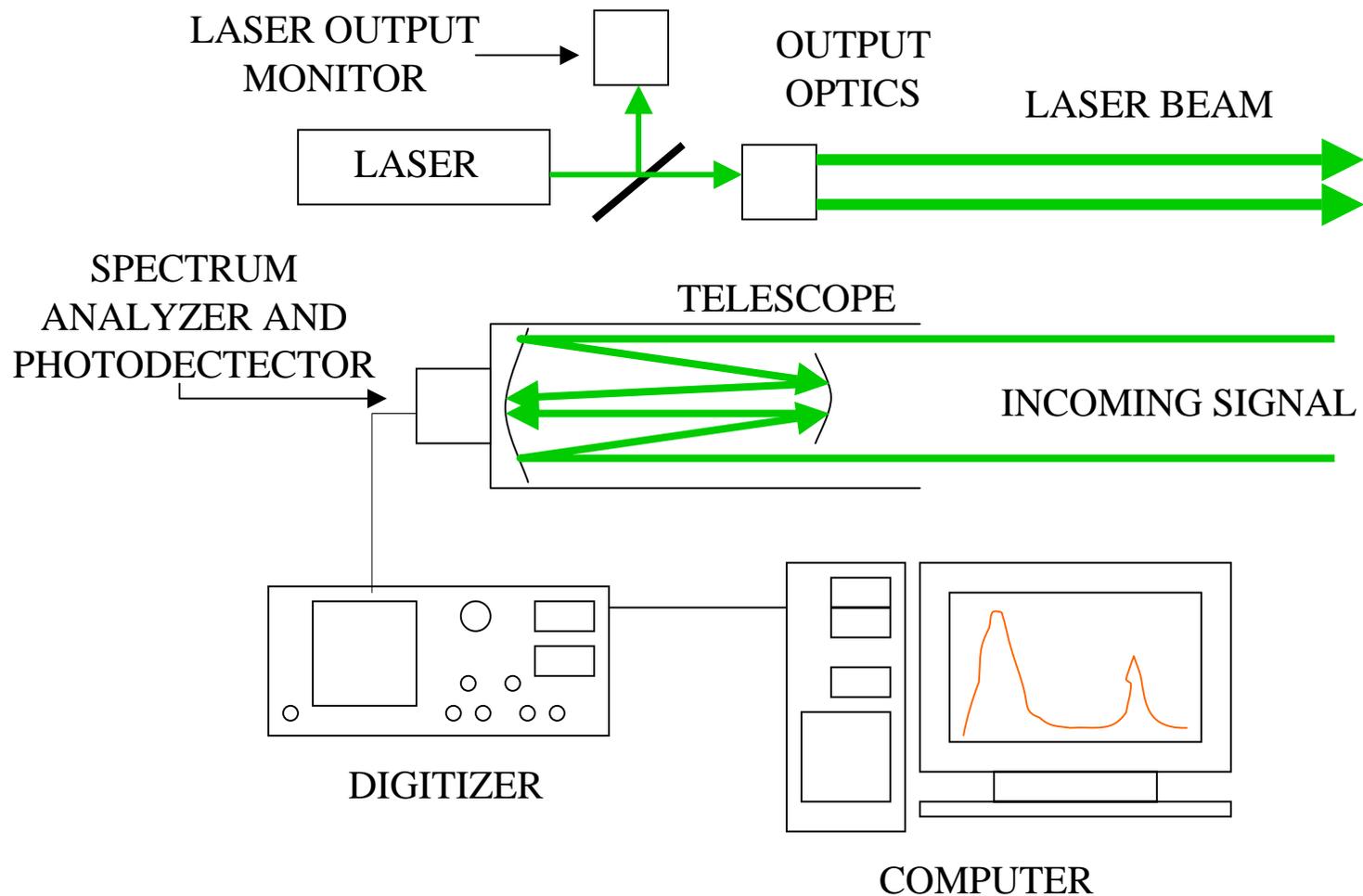
# 中間結論

北東アジアにおける大気汚染は複雑さを増している。

- ・ 微小粒子がアジアの都市と農村部の台所での肺吸入の影響の原因となっている
- ・ 有機物質が増加し、オゾン発生の原因を作っている
- ・ 金属ダストが大気汚染に影響し、地域の健康被害の原因の可能性がある。
- ・ 植物燃焼 (Biomass burning) は大気汚染のsourceであるが、その量的推定は難しい。
- ・ 微小粒子は容易に太平洋を越え、北半球に拡散する。
- ・ BCや硫酸化物のようなエアロゾルはhazeの原因となり、温暖化ガスとして影響することが認識されてきた。

(最近のTRACE-PやACE-Asiaはエアロゾルの解明に重要)

# The Basic Lidar System



# リモートセンシング(遠隔計測)手法

## 地上ベースの光学的手法

Lidar - - 全自動、lidar networkが今後の趨勢

種類: Mie/ Rayleigh-scattering lidar

DIAL

Raman lidar

fluorescent lidar

coherent lidar

長光路吸収法 - - DOAS

(Differential Optical Absorption Spectroscopy)



# PAL (Portable automatic lidar)

DPSS レーザーを使用(長寿命)

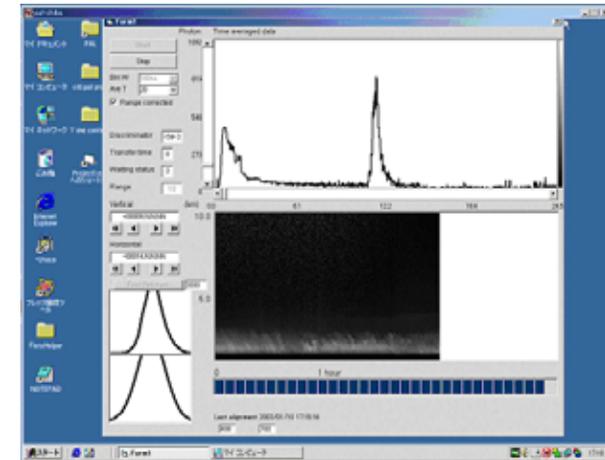
大気汚染の観測

無人連続観測

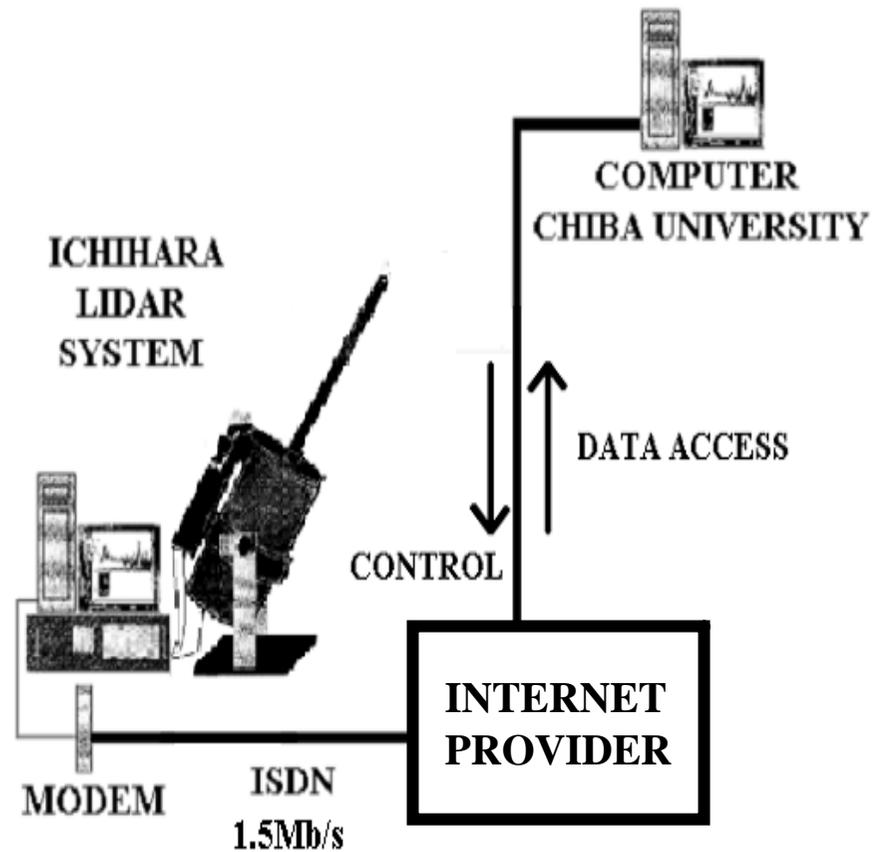
短時間分解能

遠隔モニター、遠隔操作可能

ほぼ EYE-safe



# Remotely Controlled Lidar System

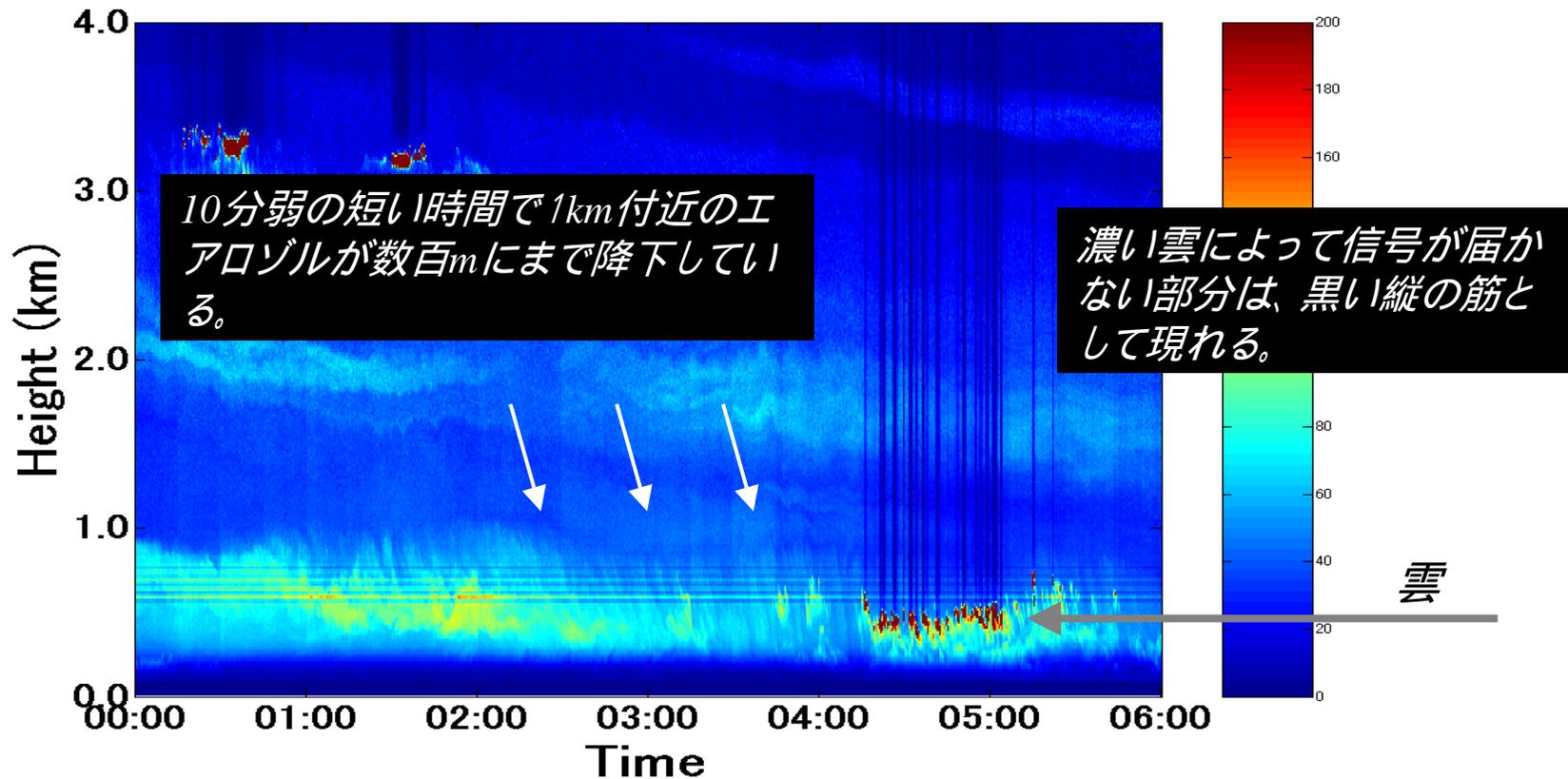


# エアロゾルの降下

- 下向きエアロゾルの運動と第2のエアロゾル層 -

- Downdraft motion of aerosol and secondary aerosol layer -

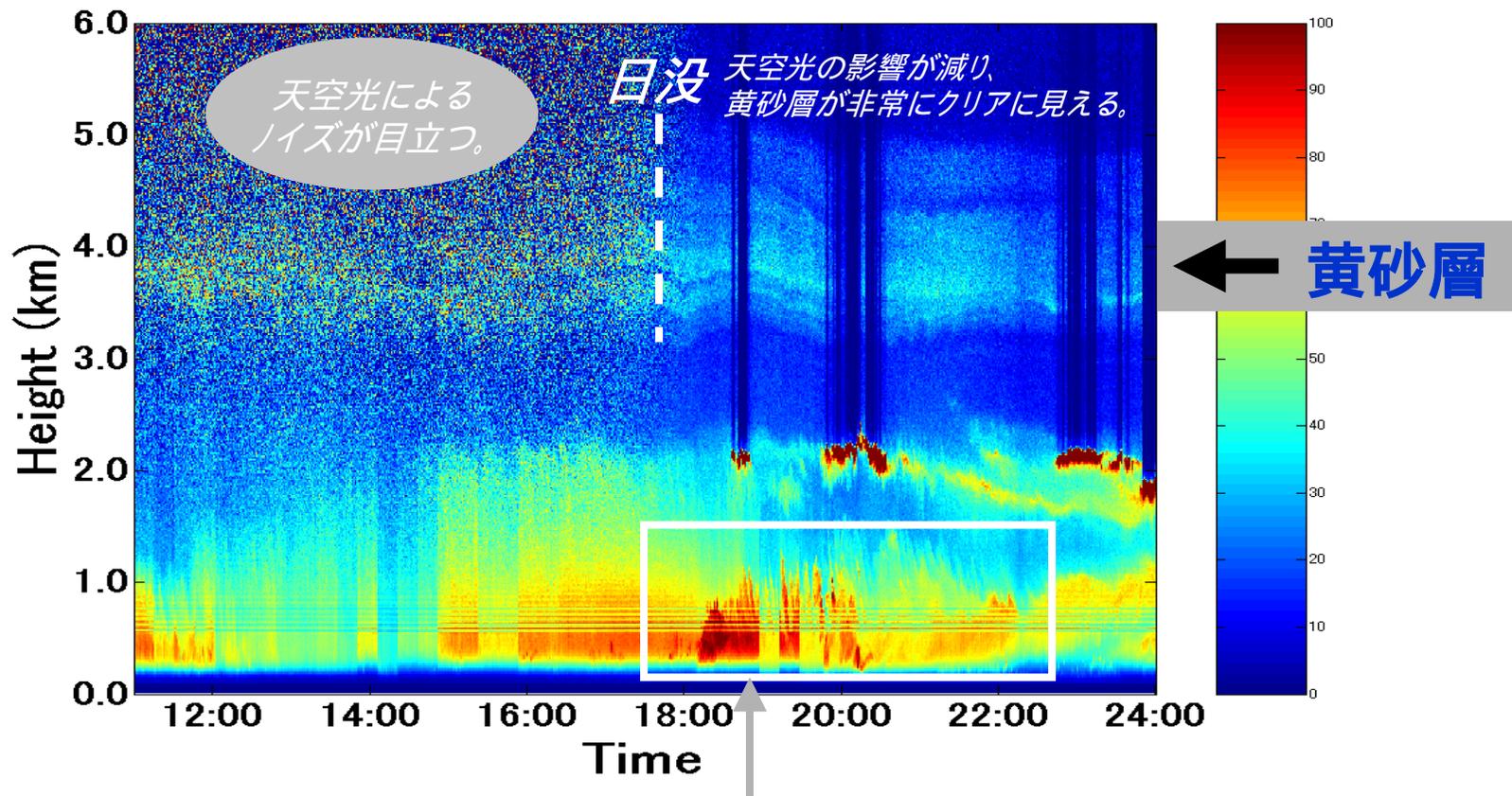
→ 下降する気流の影響で、エアロゾルの激しい下方向への運動が観測された例である。



# 黄砂

- 2003年3月12日の黄砂観測 -  
- Kosa monitoring on March 12, 2003 -

→ この日、千葉県でも黄砂の飛来がはっきりと観測された(4 km付近)。



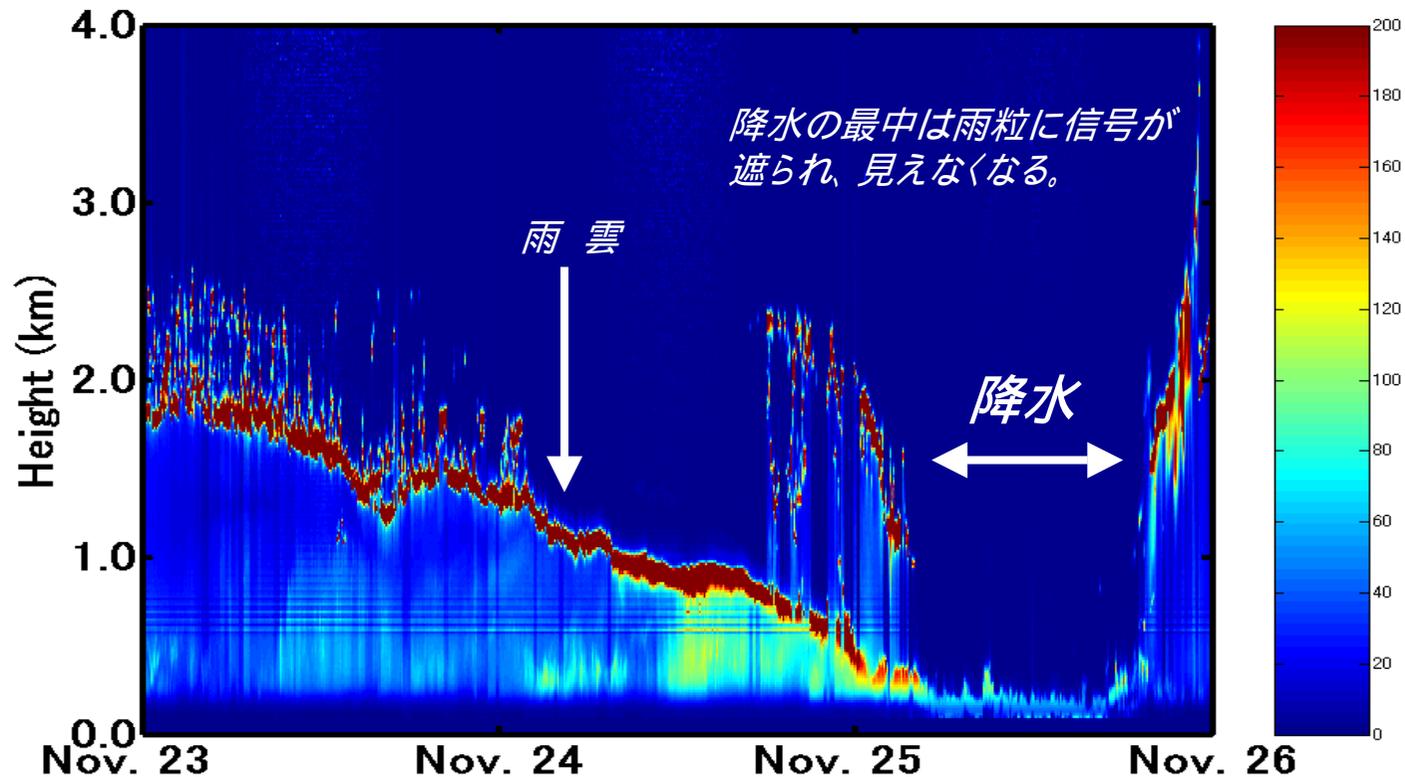
低層のエアロゾルの激しい変動の様子が確認できる

# 雨雲

- 雨雲の下降と降雨の予測 -

- Descent of rain cloud and prediction of rain event -

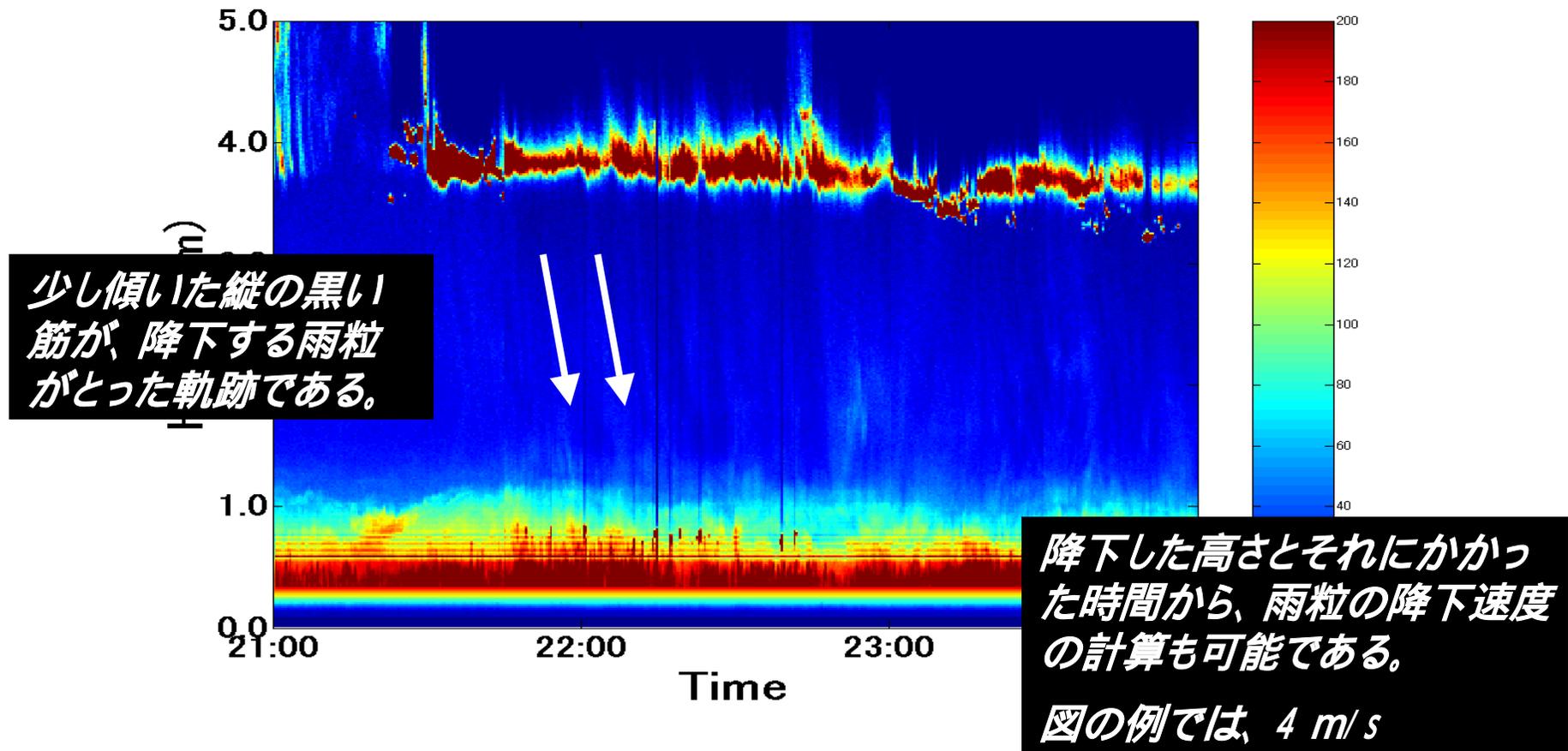
➡ 2 km付近にあった雨雲が次第に降下し、降水が始まって終わるまでの様子。



# 雨粒の降下

- 雨脚の観測 (雨粒の下降速度) -
- Observation of rain streaks (Speed of rain drop falling) -

→ 降水量が少なく、断続的に降雨が起こる場合、粒の降下の様子が観測できることがある。

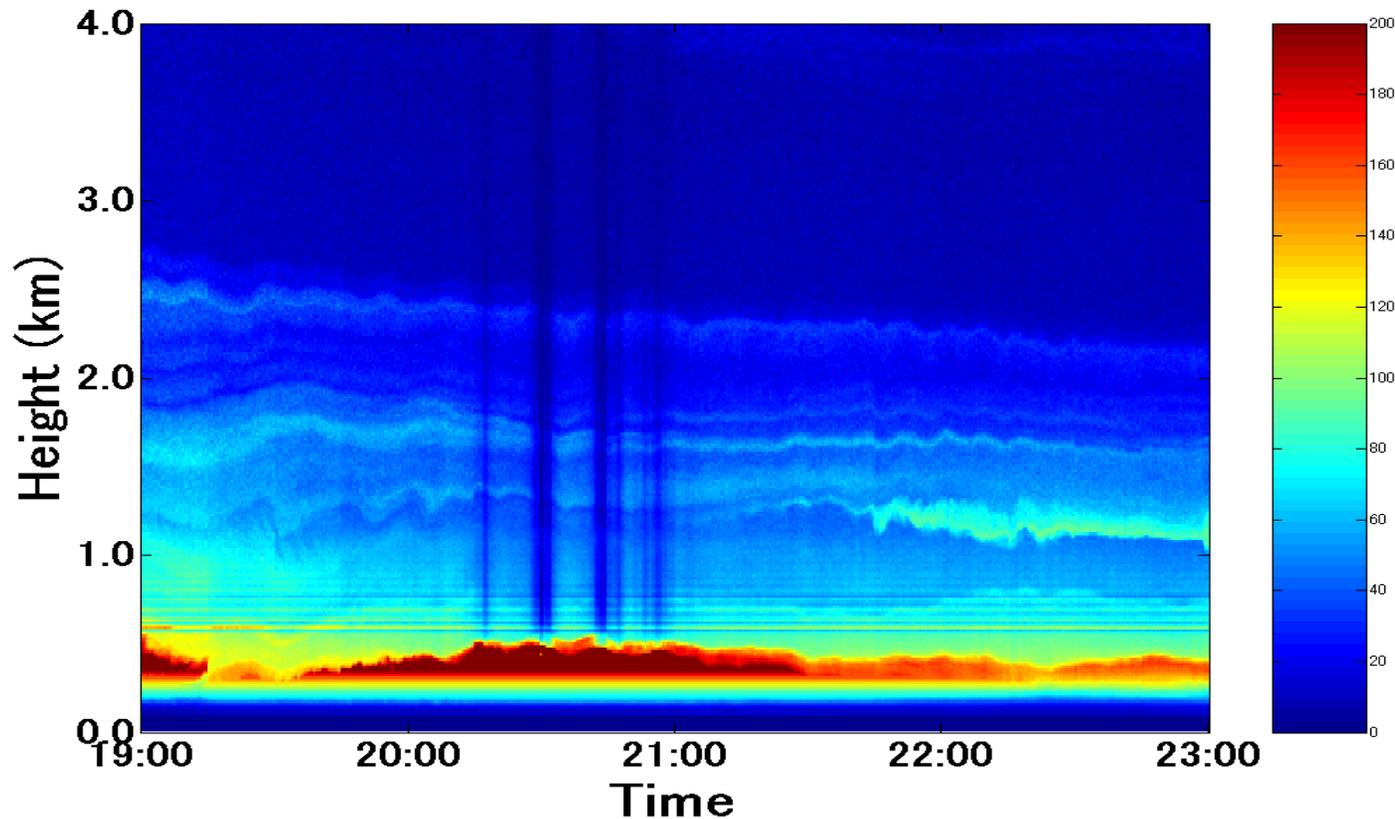


# 多層構造のエアロゾル

- エアロゾルの多層構造と振動的振る舞い -

- Multiple layer structure and oscillatory behavior of aerosols -

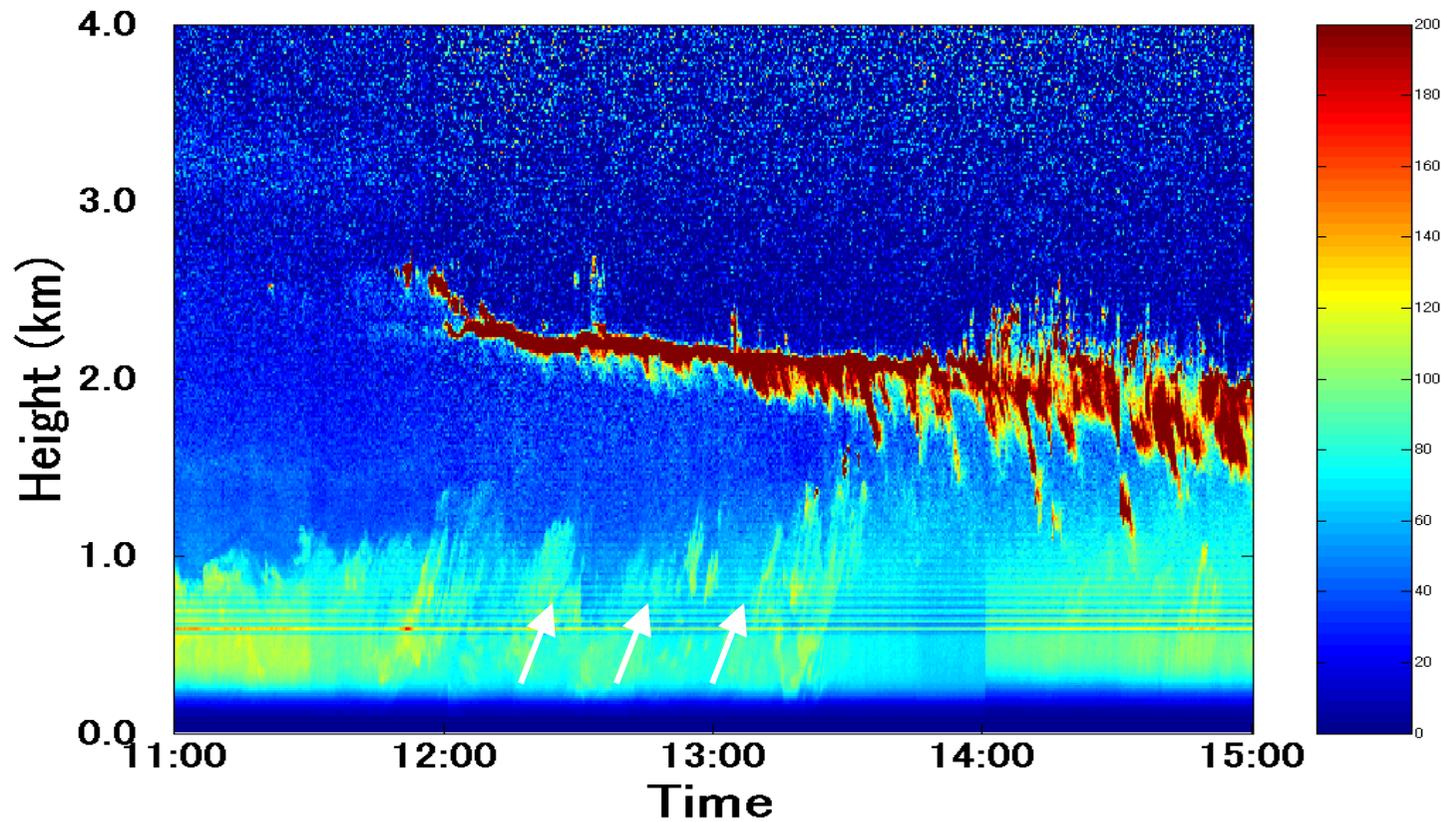
➡ 大気が非常に安定な場合、上下に振動しながら移動するエアロゾルが観測されることがある。下図はその例で、さらに、複数のエアロゾル層が折り重なるように存在していることがわかる。



# エアロゾルの上昇

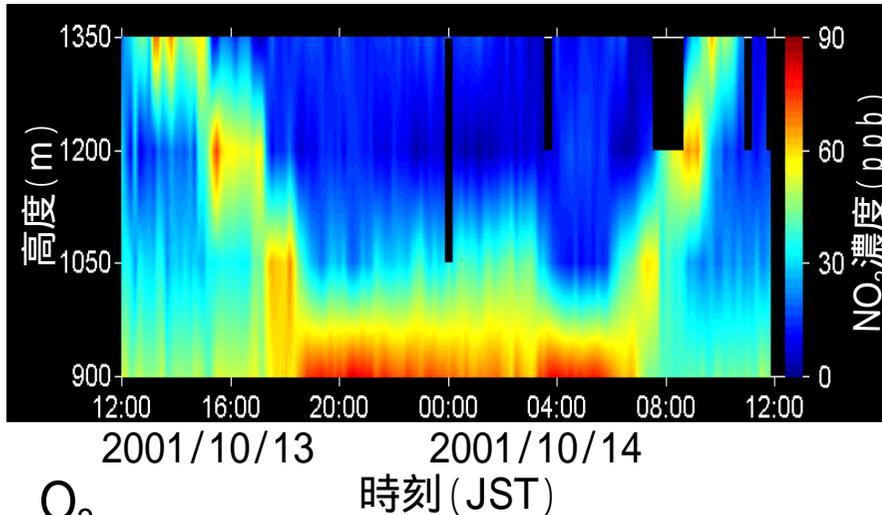
- エアロゾルの上向き運動 -
- Updraft Motion of Aerosols -

➡ 上昇気流によりエアロゾルが短い時間に上方へ激しく移動する様子が見られる。

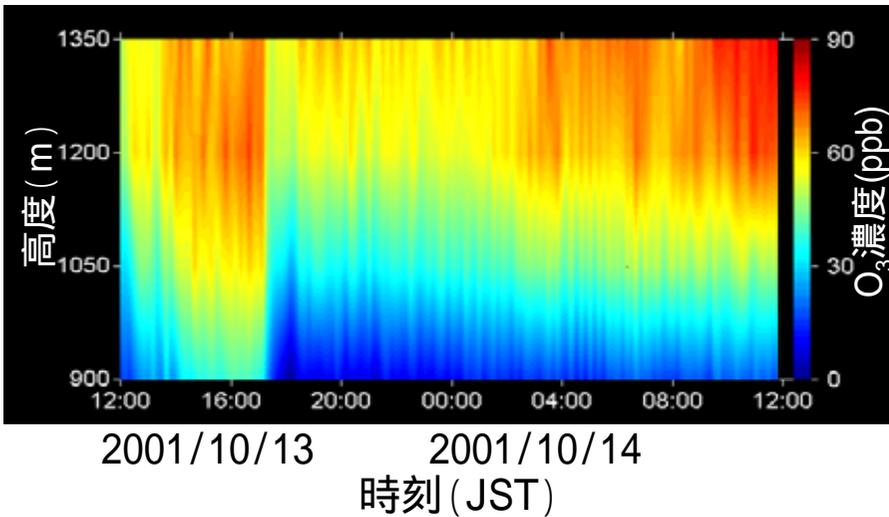


# NO<sub>2</sub>とO<sub>3</sub>の24時間連続同時計測

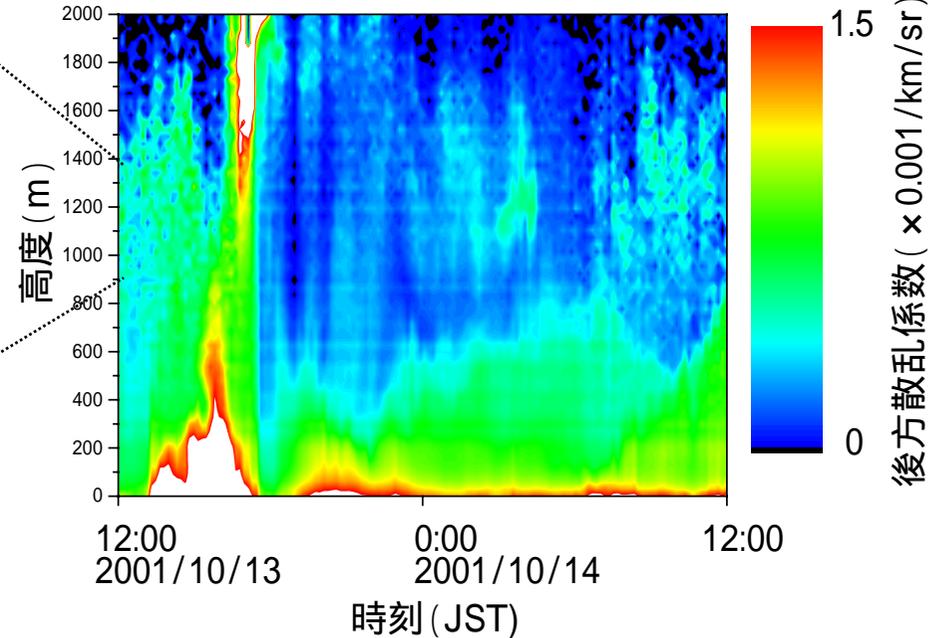
NO<sub>2</sub>



O<sub>3</sub>



シーロメータによる混合層高度計測



高濃度NO<sub>2</sub>と混合層の高度変化が定性的に一致



高濃度NO<sub>2</sub>が混合層内に閉じ込められたことを示唆

NO<sub>2</sub>とO<sub>3</sub>濃度の高度分布を同時に24時間連続でメンテナンスなしに計測

# 衛星データホームページ

NOAA/AVHRR

千葉大: <http://ceres7tx.cr.chiba-u.ac.jp/ja/>

環日本海環境ウォッチ: <http://www.nowpap3.go.jp/jsw/main.php>

GMS/VISSR

千葉大: <http://ceres7tx.cr.chiba-u.ac.jp/ja/>

高知大学: <http://weather.is.kochi-u.ac.jp/QL.html>

ERS-2/GOME (O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, BrO, H<sub>2</sub>CO)

GOME HP: <http://www-iup.physik.uni-bremen.de/gome/>

EP/TOMS (O<sub>3</sub>)

O<sub>3</sub>: <http://jwocky.gsfc.nasa.gov/eptoms/ep.html>

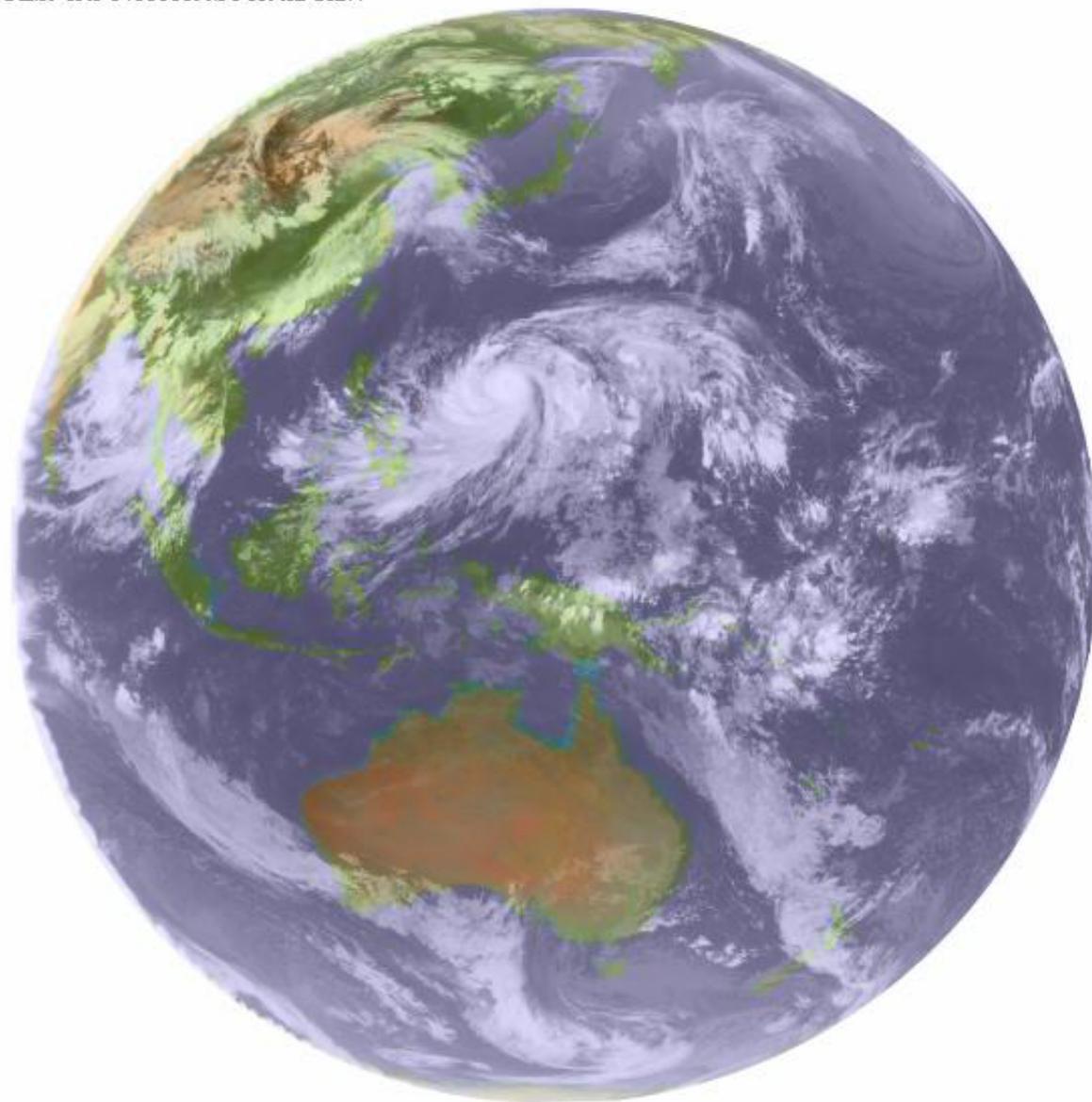
AI: <http://toms.gsfc.nasa.gov/aerosols/aerosols.html>

MODIS(Aqua), SeaWiFS

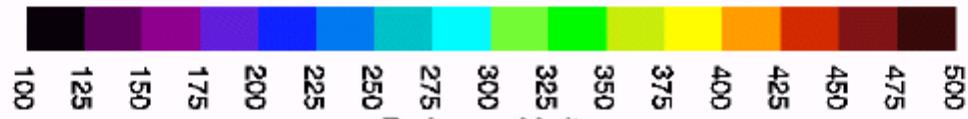
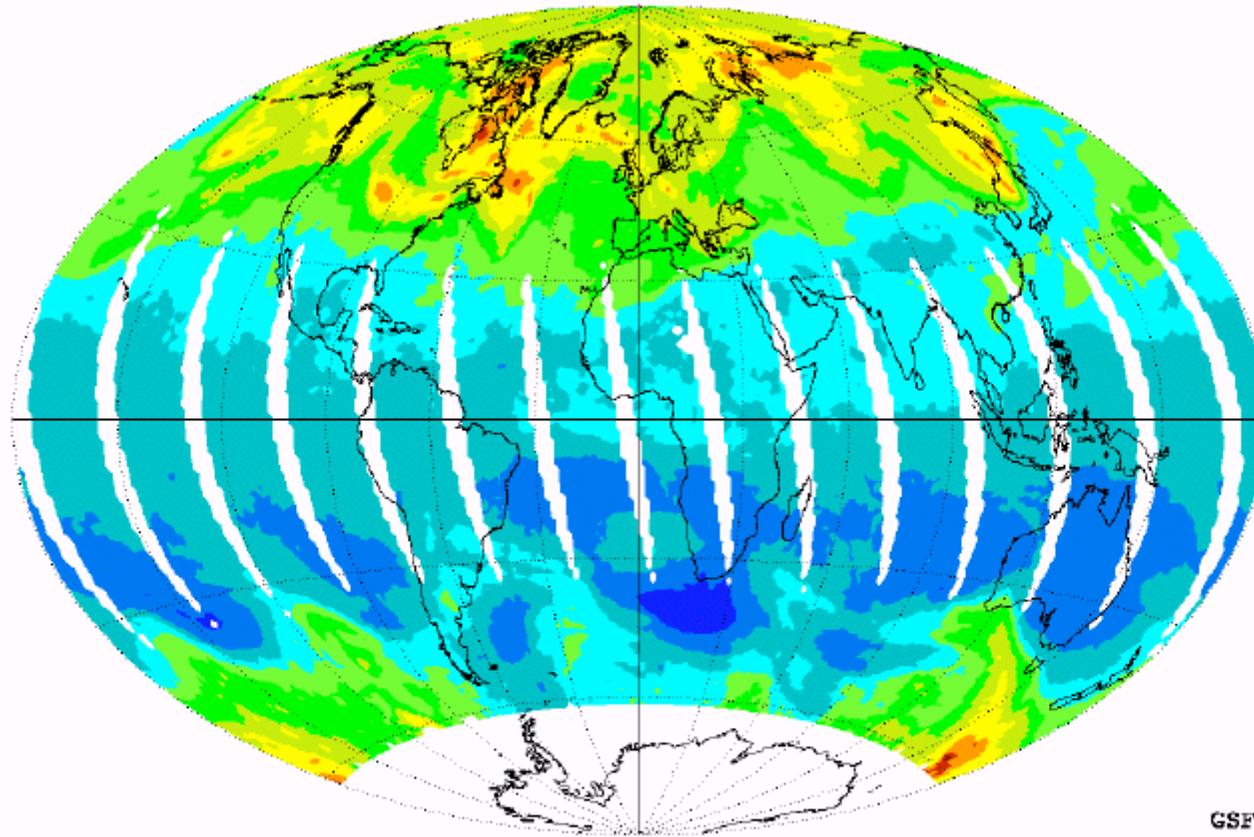
Level 3: <http://seawifs.gsfc.nasa.gov/cgi/level3.pl>

# 高知大学

GOES9 IR1 04061619JST Kochi Univ.



# EP/TOMS Total Ozone Jun 1, 2004



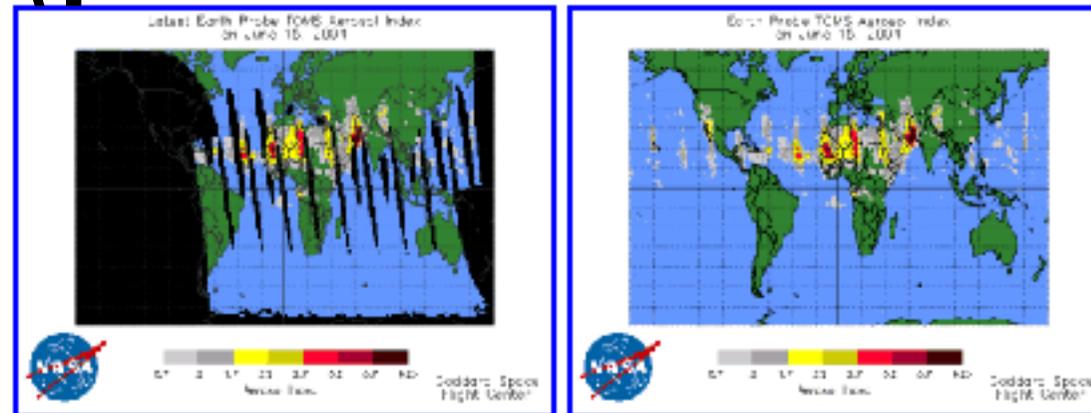
Dobson Units

Dark Gray < 100 and > 500 DU

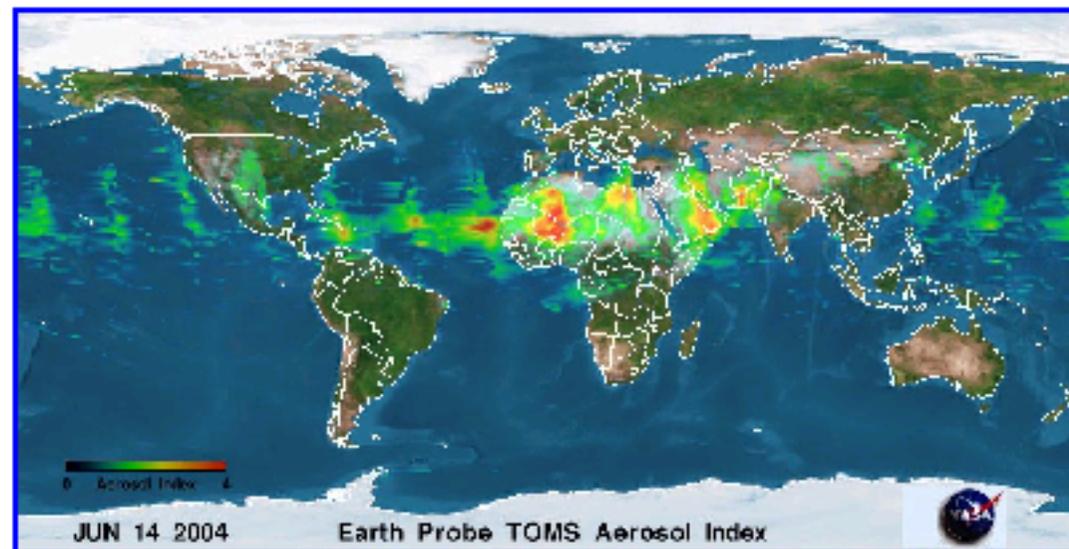
GSFC/916



# TOMS—AI



## Current Aerosol Hot Spots



Access to [Earth Probe TOMS Data and Image Archive](#)

# GOME NO<sub>2</sub>

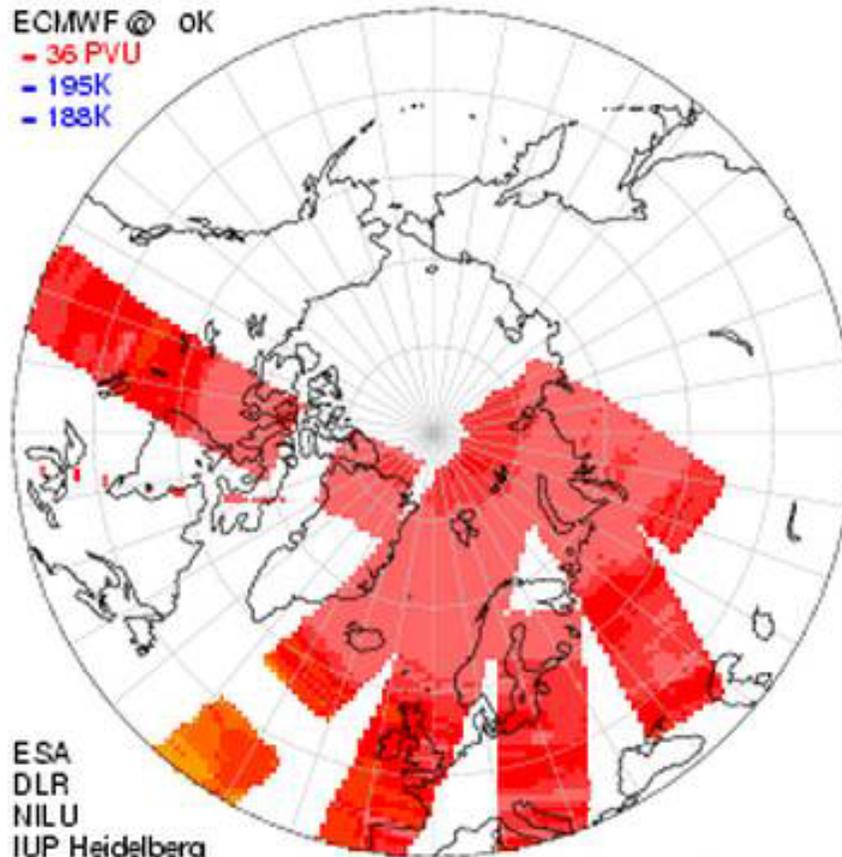
GOME NRT NO<sub>2</sub>, 2004/06/11

ECMWF @ OK

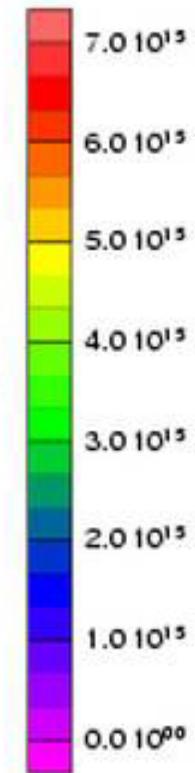
- 35 PVU

- 195K

- 188K



VC NO<sub>2</sub>  
[molec cm<sup>-2</sup>]



ESA  
DLR  
NILU  
IUP Heidelberg  
IUP Bremen [Andreas.Fichter@iup.physik.uni-bremen.de](mailto:Andreas.Fichter@iup.physik.uni-bremen.de)

# レポート

(日本の大気汚染も良い事にしました)

次のいずれかを選んで、回答しなさい(1枚以上2枚程度)。

1. 最近、中国の大気汚染は変ってきたといわれる。どのように変ってきたのか、を述べよ。
2. 中国以外の国を選んで、大気汚染について調べなさい。回答には文献を明記しなさい。
3. リモートセンシング技術が大気汚染の研究・監視にどう役立つかを述べなさい。
4. オゾンホール生成・消滅、環境的視点、現状などについて調べて、自分の意見を述べなさい。

締切: 6月24日(金)

総合校舎 1階 レポート提出のボックスへ



