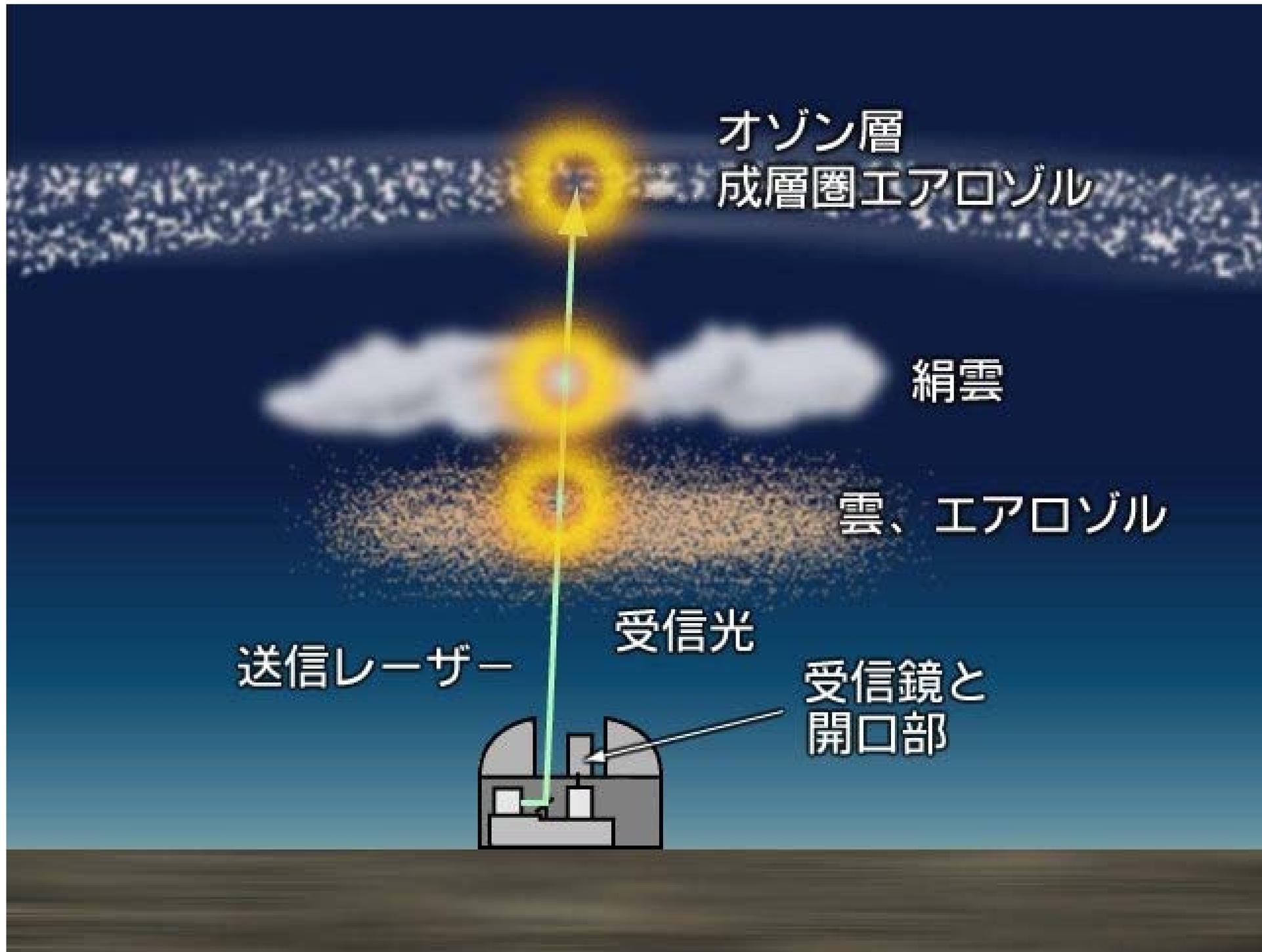


# ライダー

(レーザー光を使うレー  
ダー)を用いた黄砂・  
PM2.5・花粉・CO<sub>2</sub>・風  
の観測



# ライダー(レーザーライダー)

## Lidar (Laser Radar)

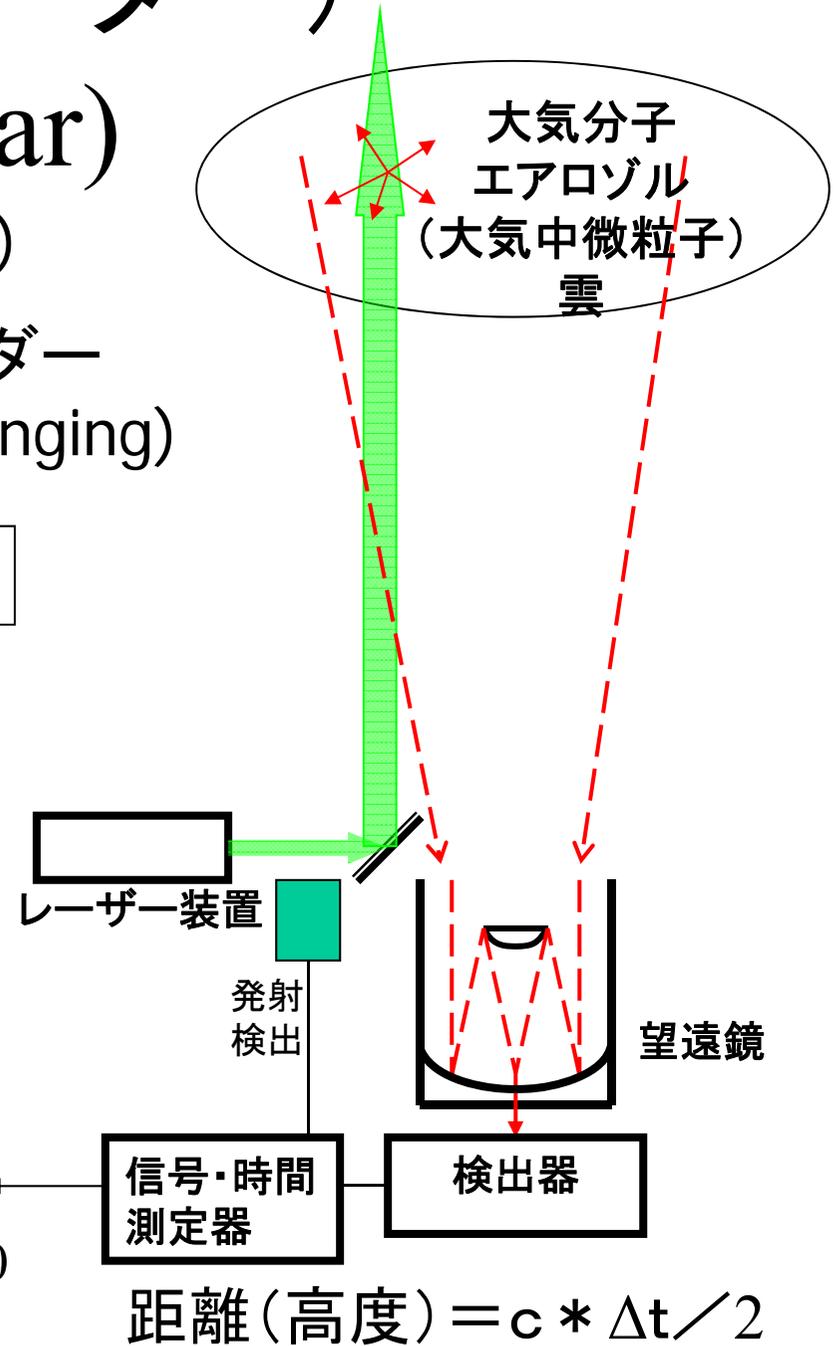
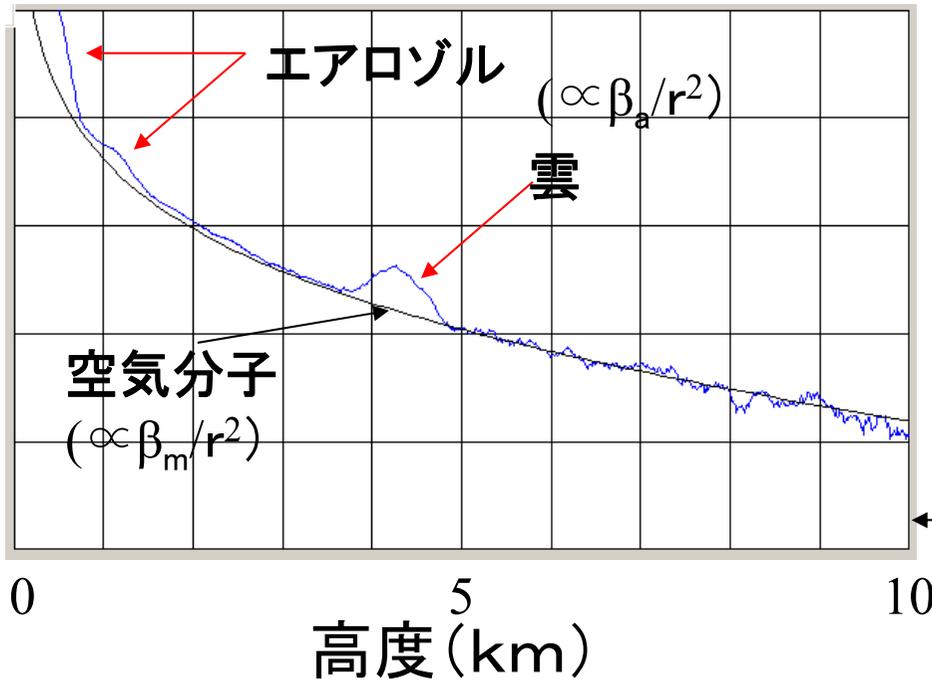
(Light Detection and Ranging)

パルス状のレーザー光を使うレーダー

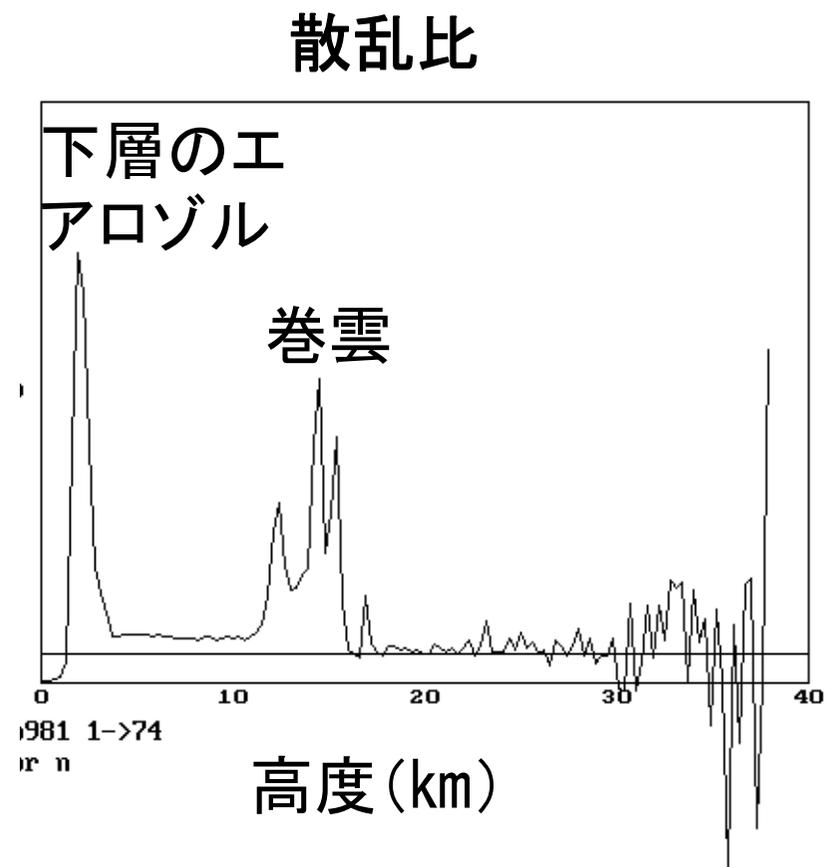
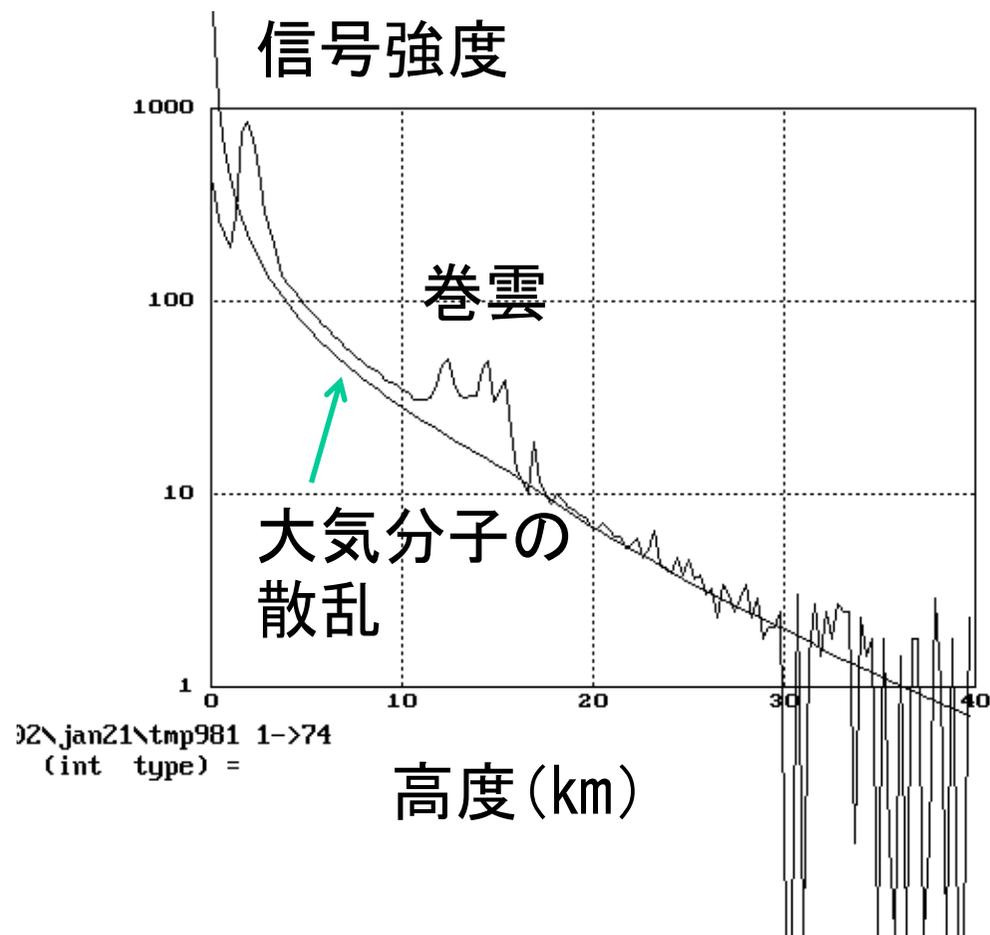
(Radar: Radio Detection and Ranging)

$$\text{散乱比} = (\beta_a + \beta_m) / \beta_m$$

信号強度

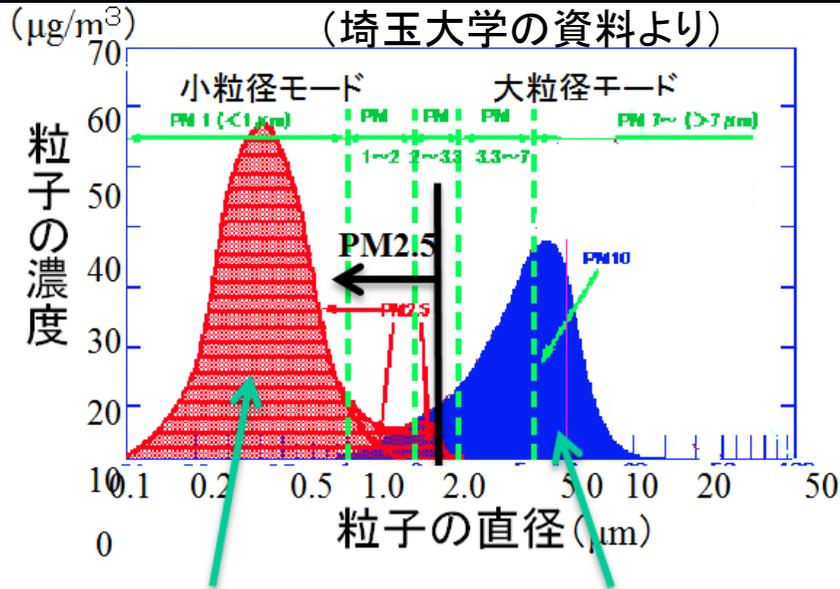


# ライダー観測における信号強度



信号強度 = 大気分子の散乱 + エアロゾル・雲の散乱 - 吸収

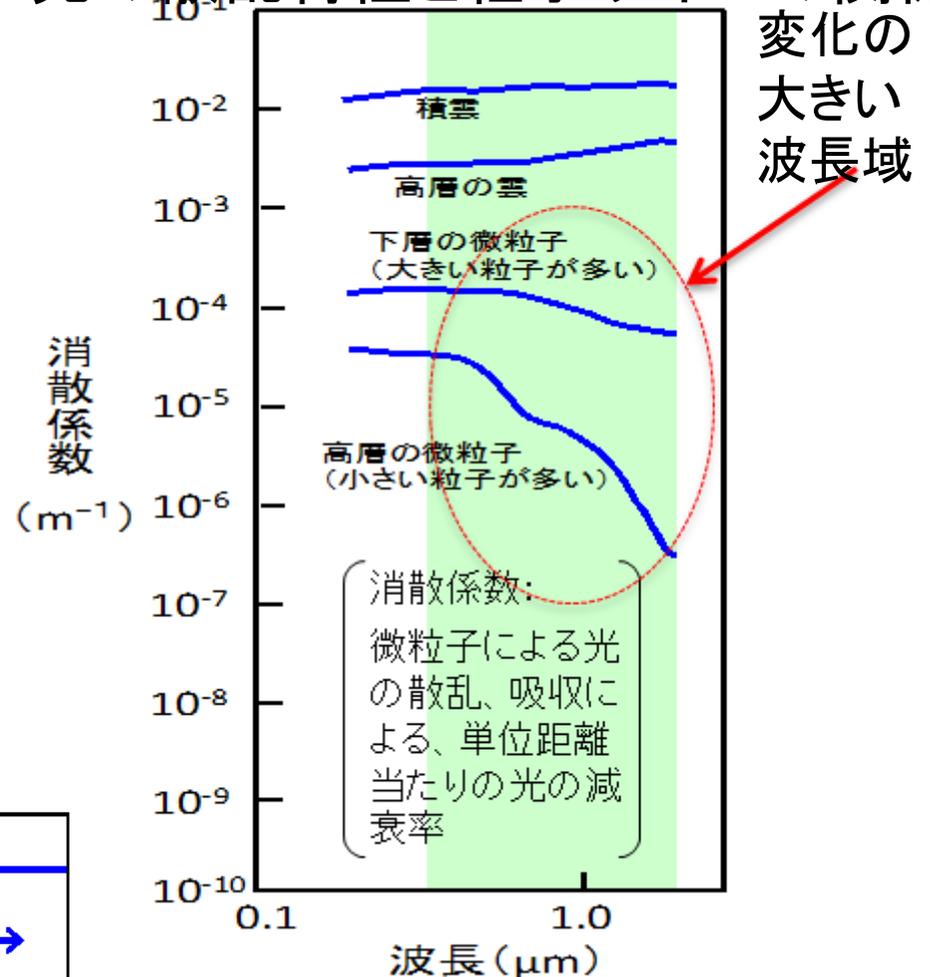
# 大気中の微粒子のサイズ分布の特徴



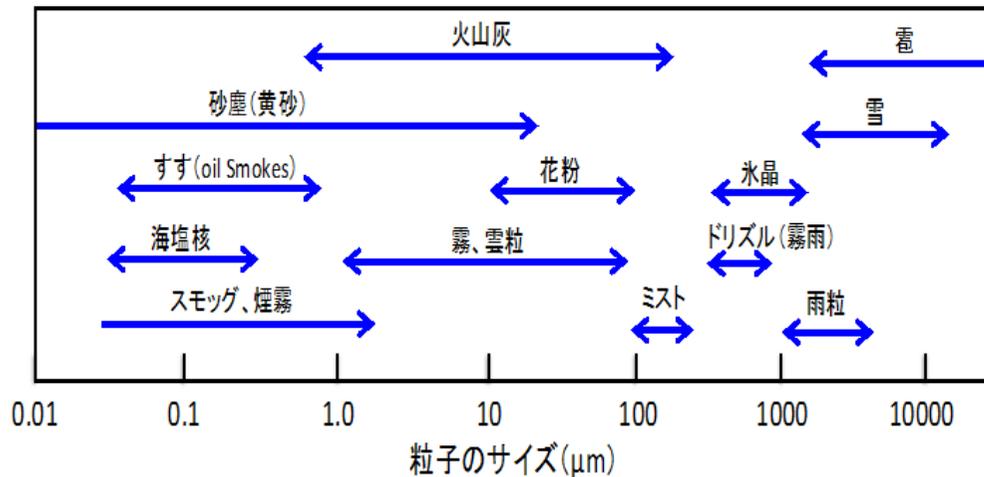
すす、微細な砂塵 (黄砂)、煙霧、スモッグなどを含む。

砂塵粒子 (黄砂)、花粉などを含む。

## 光の散乱特性と粒子サイズの関係



## 大気中の様々な粒子のサイズ



微粒子による光の散乱は、可視光域～近赤外域で光の波長と粒子サイズの関係の変化が大きい。

粒子のサイズ情報

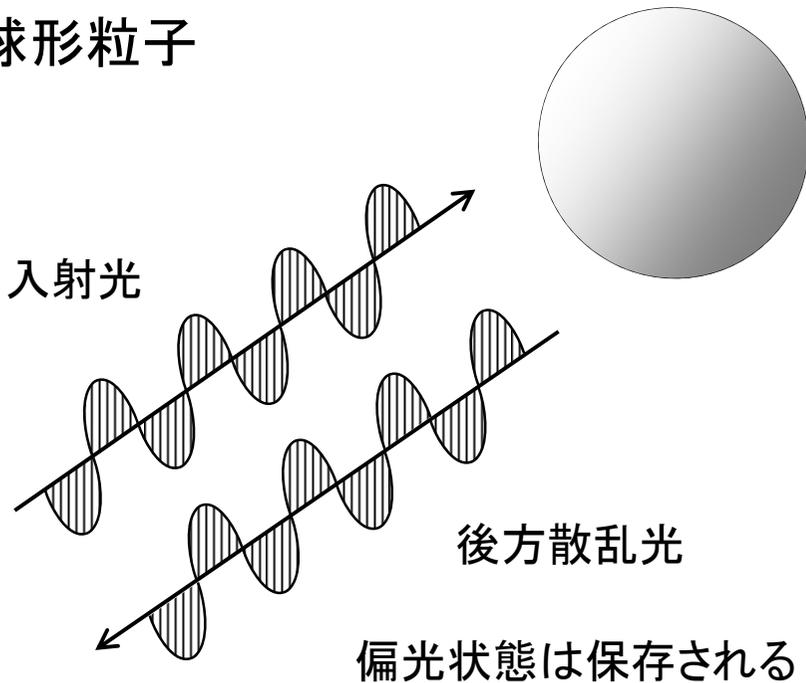
可視・近赤外 2波長以上

# 偏光と偏光解消度

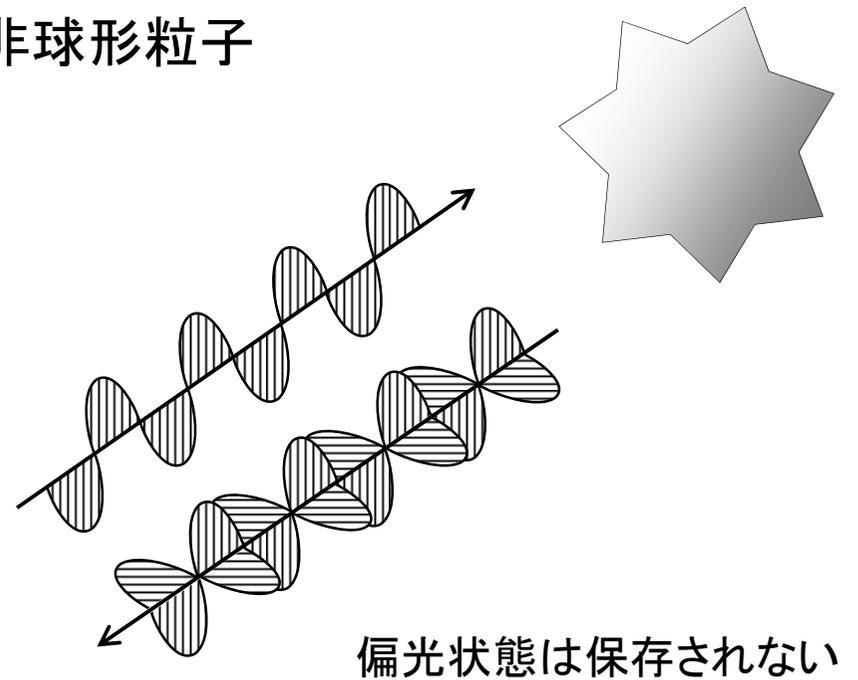
光は進行方向に対して、垂直な電場と磁場の成分を持つ横波であり、その2つの独立な成分を持つ。

レーザー光は完全に直線偏光している。粒子によって散乱される光は、散乱体の粒子の形状によって、入射するレーザー光の偏光状態が保存されないことがある。

球形粒子



非球形粒子

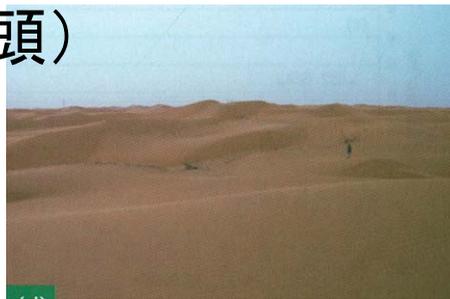


硫酸液滴、水滴粒子など

(福大 白石先生のご厚意による)

火山灰やダストなど

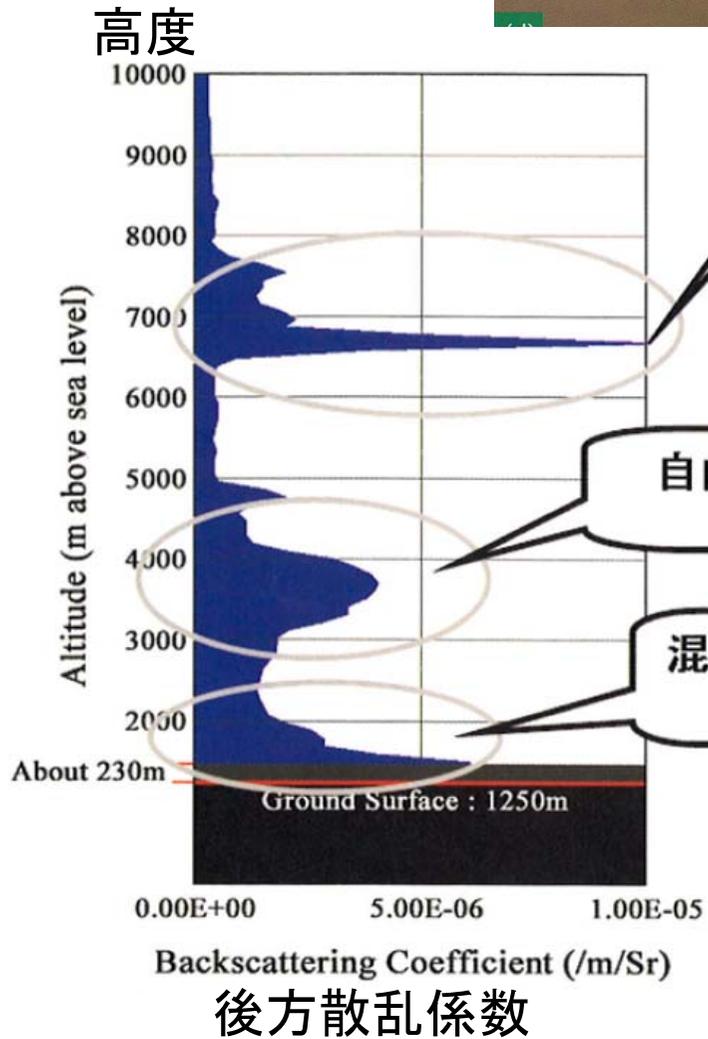
# 観測の事例(沙坡頭) 中国砂漠地帯 ダスト層(黄砂)



(a)

(b)

写真2 (a) 視程が良い時の沙坡頭付近の状態 (b) ダストが舞い上がり視程が悪くなった状態



2002年8月3-4日

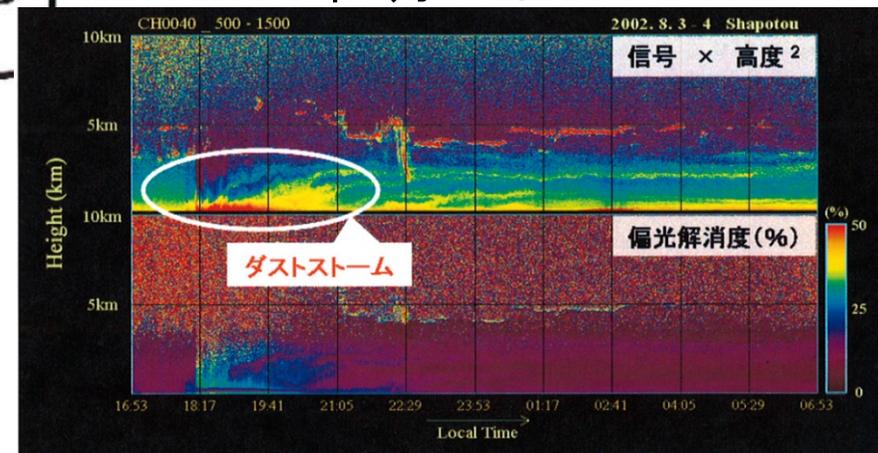
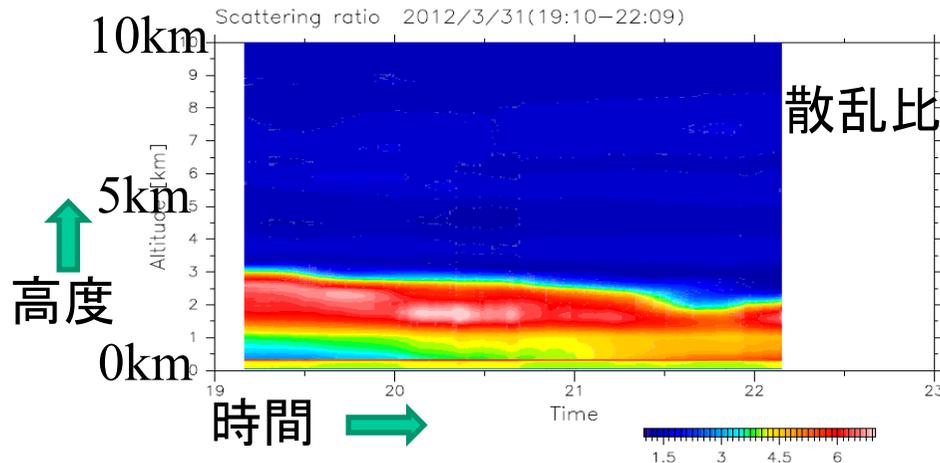


図10 8月3日に観測されたダストストーム時の受信信号強度と偏光解消度の時間-高度断面

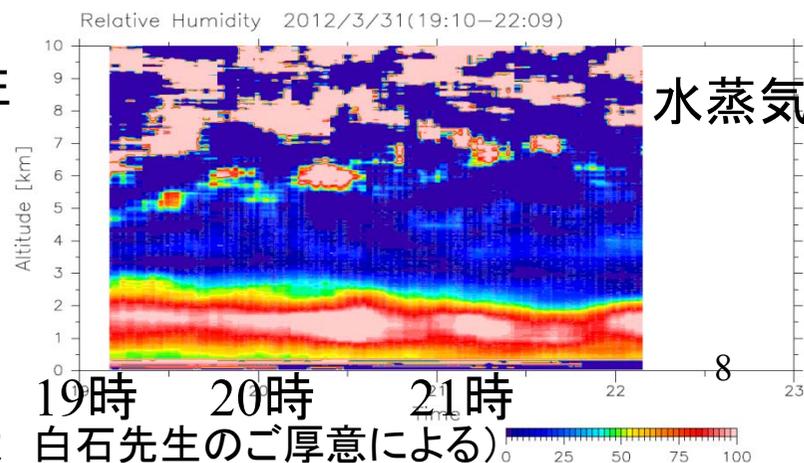
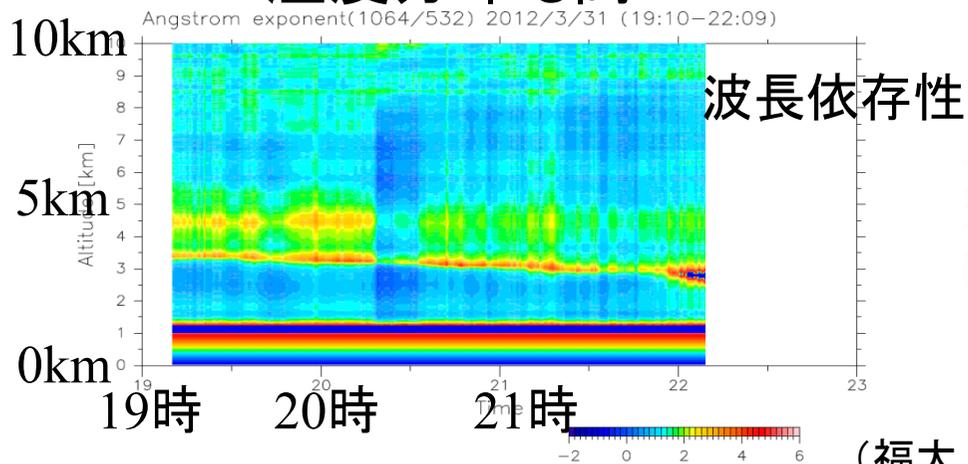
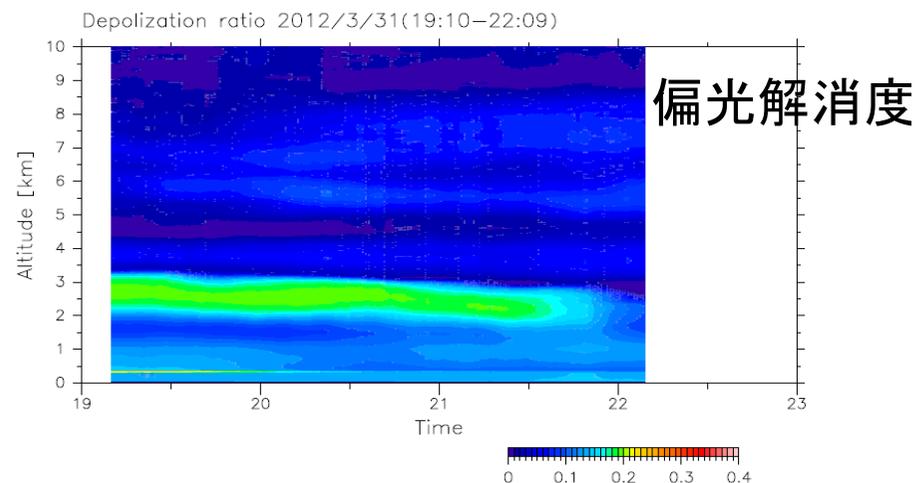
観測の事例(福岡)  
 黄砂、PM2.5(汚染大気)

**2012年3月31日の観測事例**  
 黄砂(高度2-3km)と汚染大気  
 (1-2km)が福岡に飛来し、その  
 高度分布が詳細に観測される



黄砂 非球形粒子が多く、  
 偏光解消度が高い

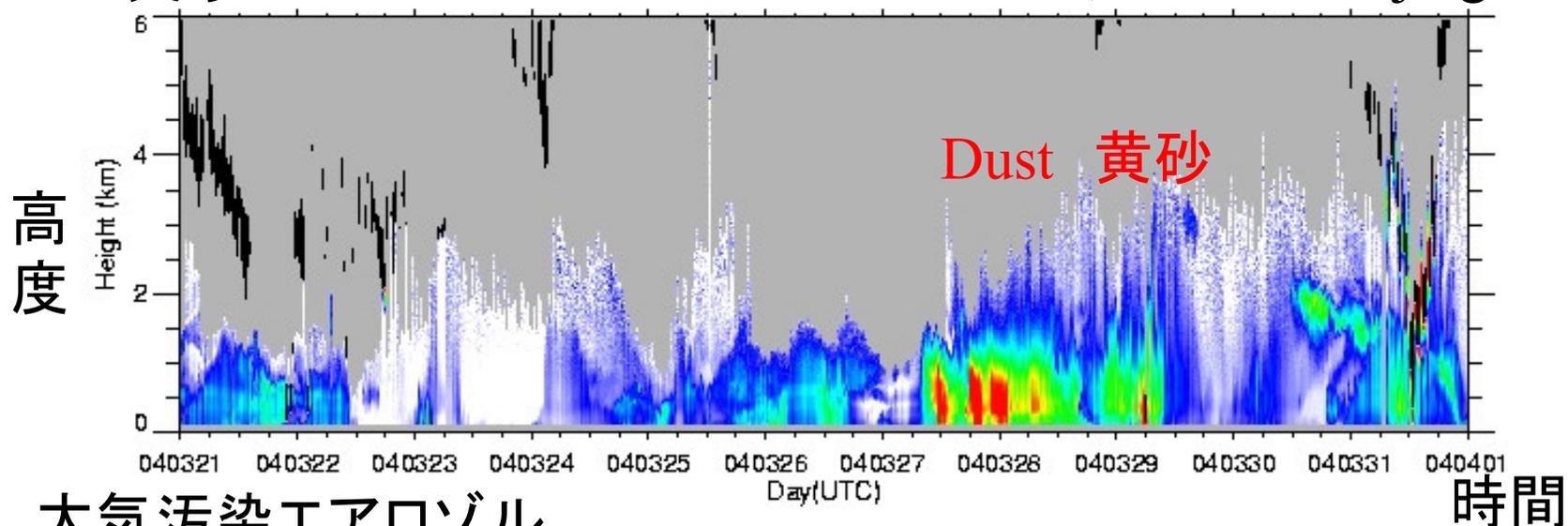
汚染大気 液滴が多く存在し、  
 偏光解消度は低い。  
 湿度分布も高い



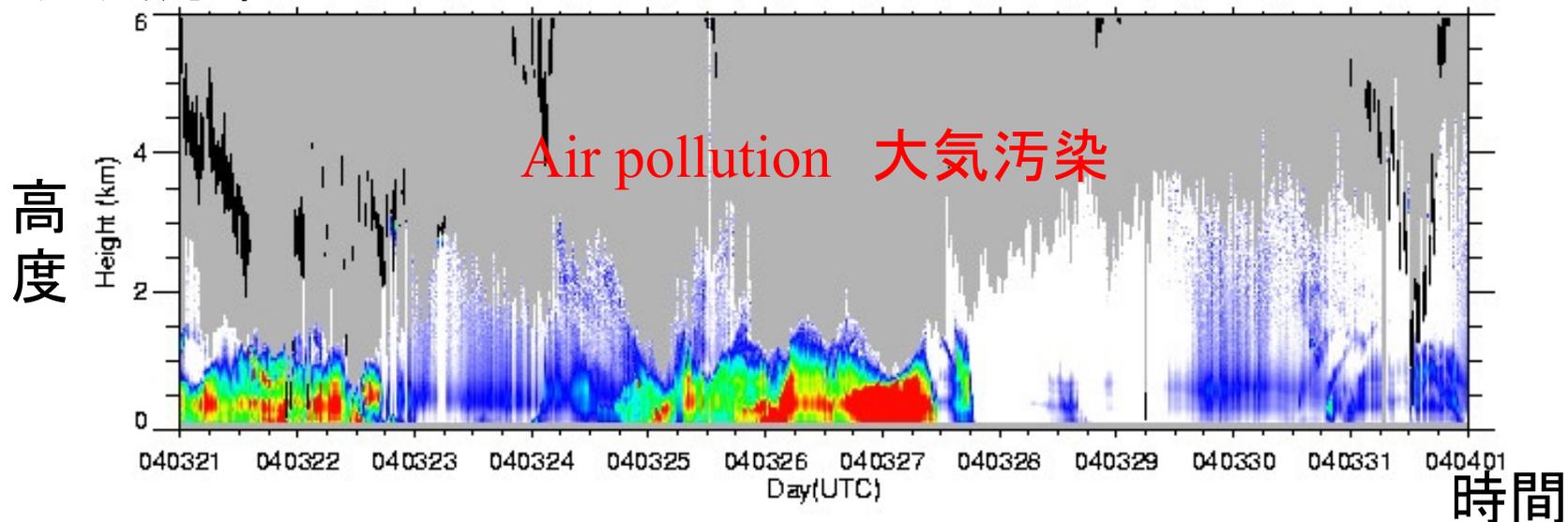
(福大 白石先生のご厚意による)

黄砂

3月 21-31日, 2004年 Beijing 北京



大気汚染エアロゾル



偏光解消度を使って非球形粒子(黄砂)と球形粒子(大気汚染粒子)を分離して、それぞれの高度分布を推定できる

(環境研 杉本室長のご厚意による)

# PM2.5

粒径が $2.5 \mu\text{m}$ 以下の粒子状物質の総称  
 $\mu\text{m}$ (マイクロメートル、 $10^{-6}\text{m}$ )は  $\text{mm}$  ( $10^{-3}\text{m}$ )  
の1000分の1

- ・SPM( $\doteq$ PM7)  
日本の粒子状物質の基準
- ・PM10  
日本以外の従来の基準

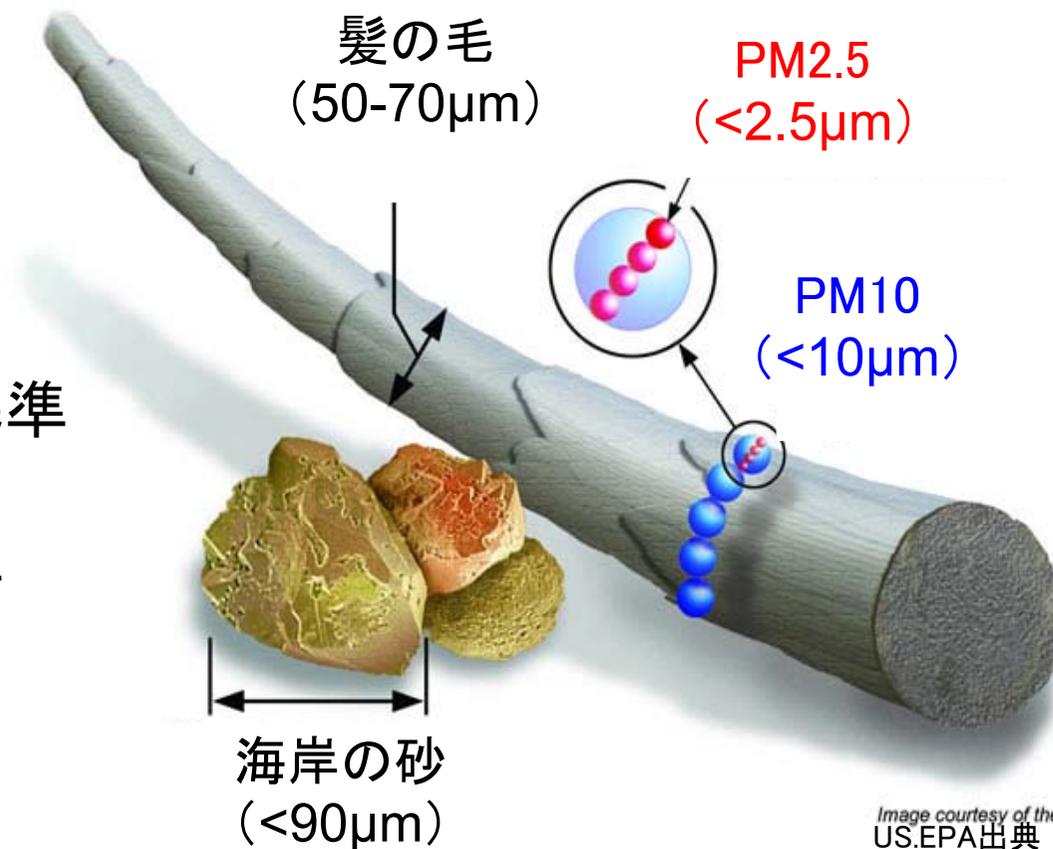


Image courtesy of the U.S. EPA  
US.EPA出典

# 北京の大気汚染

2004-4-28 (API=138)

API: 大気汚染指数  
API<50 優  
API<100 良  
API最悪で500



2004-10-24 (API=142)



2006-12-30 (API=139)



2010-2-25 (API=153)

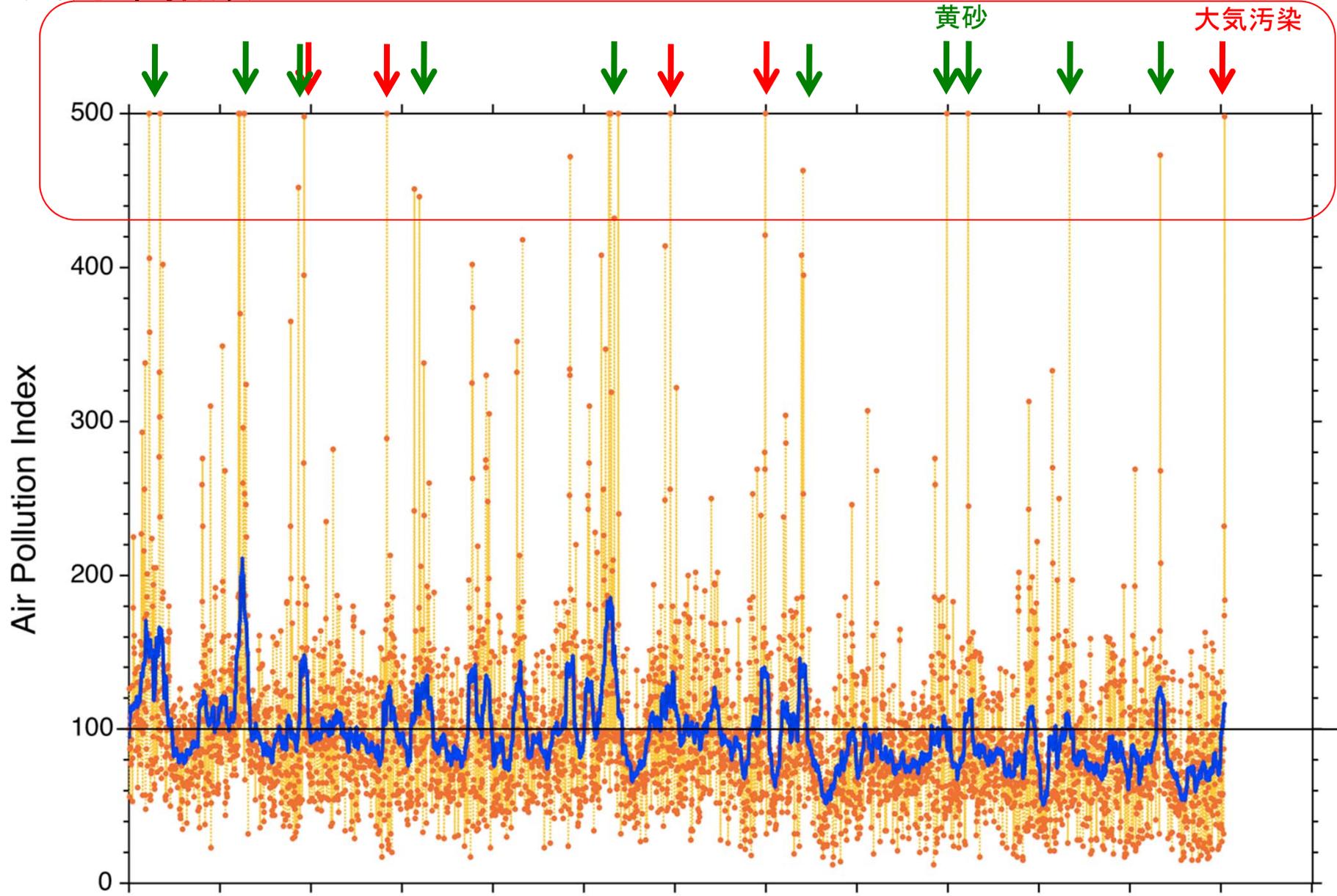


(環境研 杉本室長のご厚意による)

# 北京市の大気汚染の推移

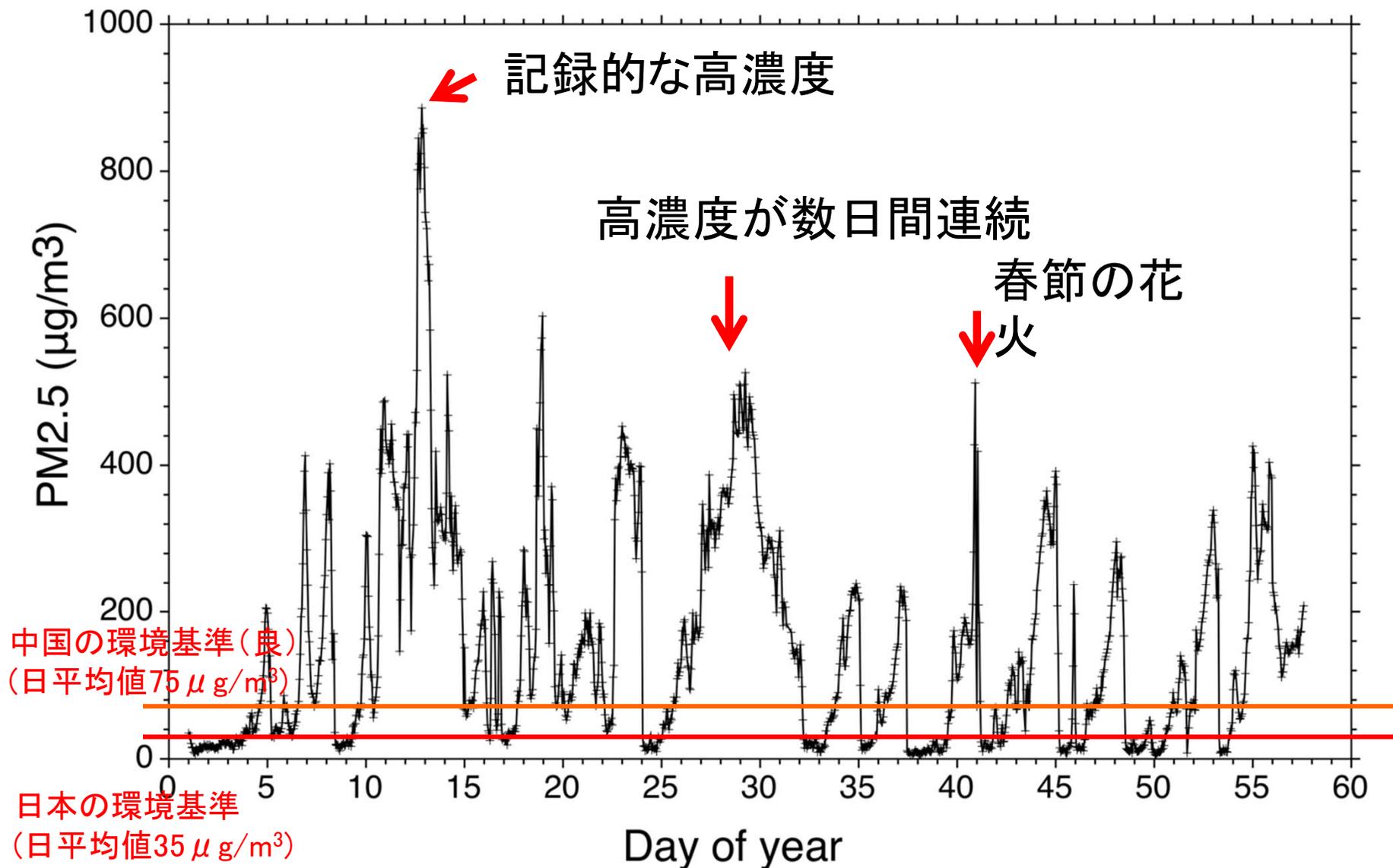
中国環境保護部データセンター  
ホームページのデータから作成

## 大気汚染指数



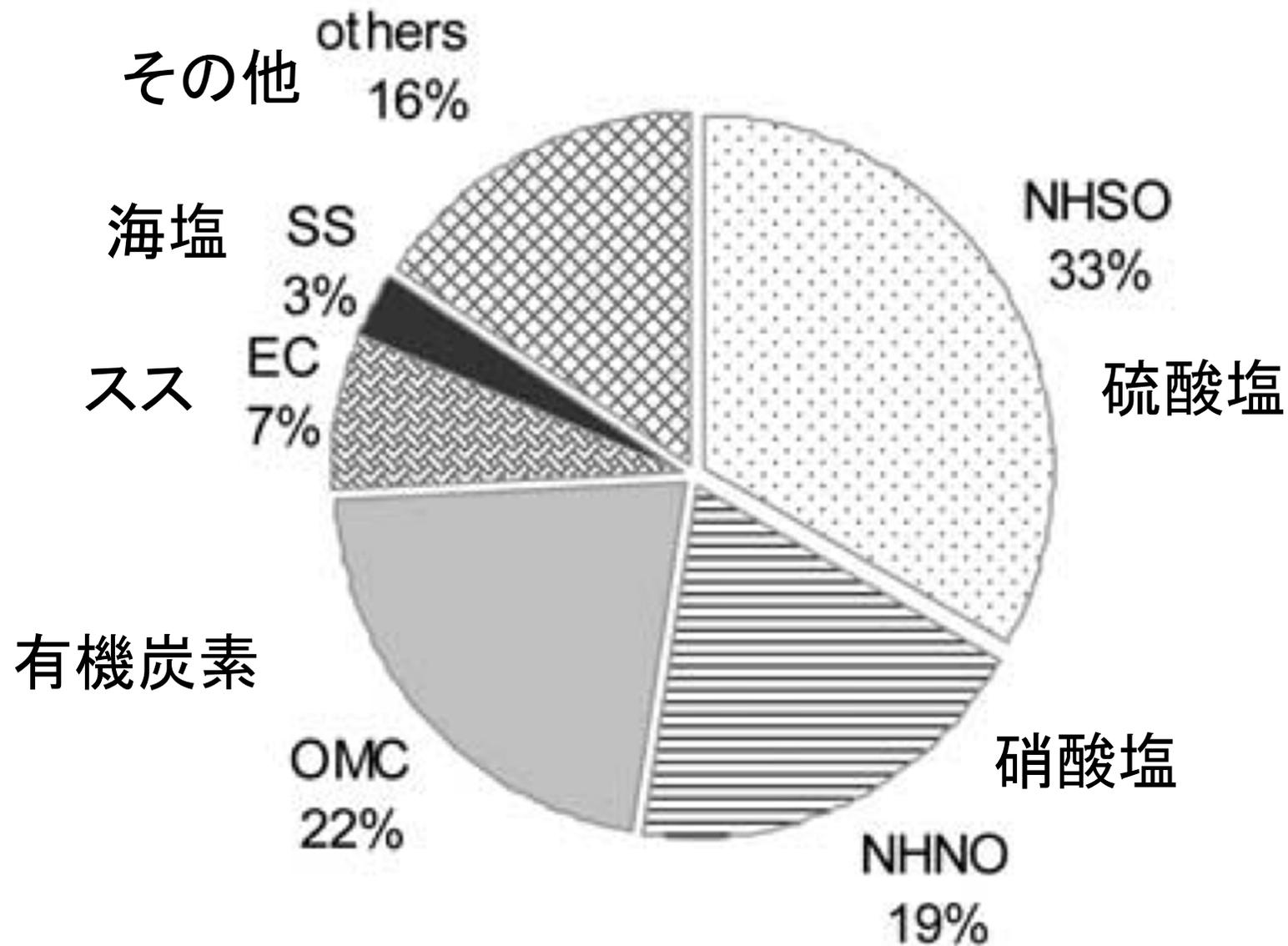
(環境研 杉本室長のご厚意による)

# 北京のアメリカ大使館で測定されたPM2.5 (2013年1-2月)

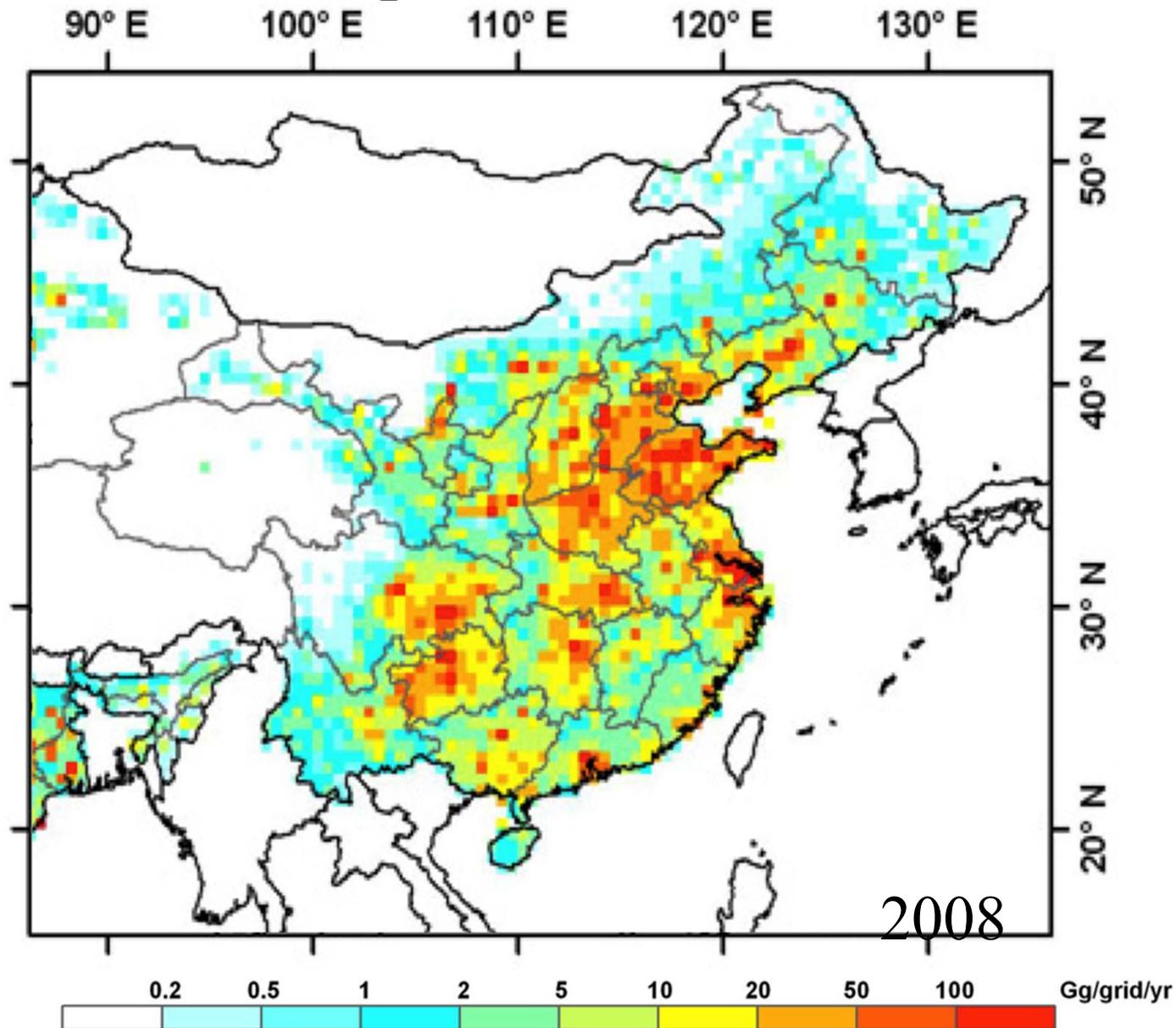


(環境研 杉本室長のご厚意による)

# PM2.5の種別(北京の一例)



# SO<sub>2</sub>の排出量マップ



Z. Liu, Q. Zhang, D. Streets, Atmos. Chem. Phys.

2011より引用

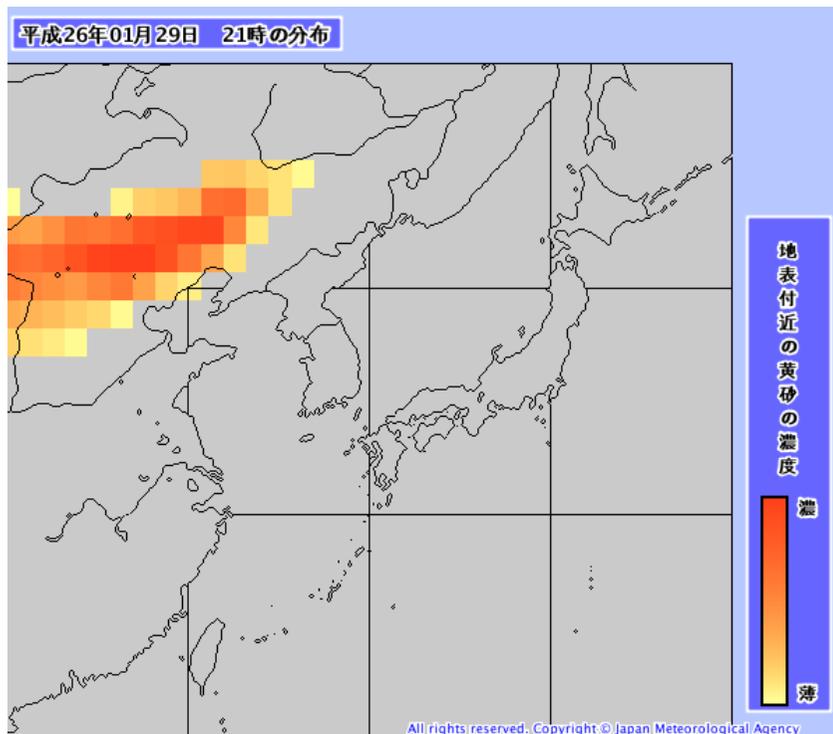
(環境研 杉本室長のご厚意による)

# 黄砂や大気汚染物質のモデルによる予測とライダーデータの比較



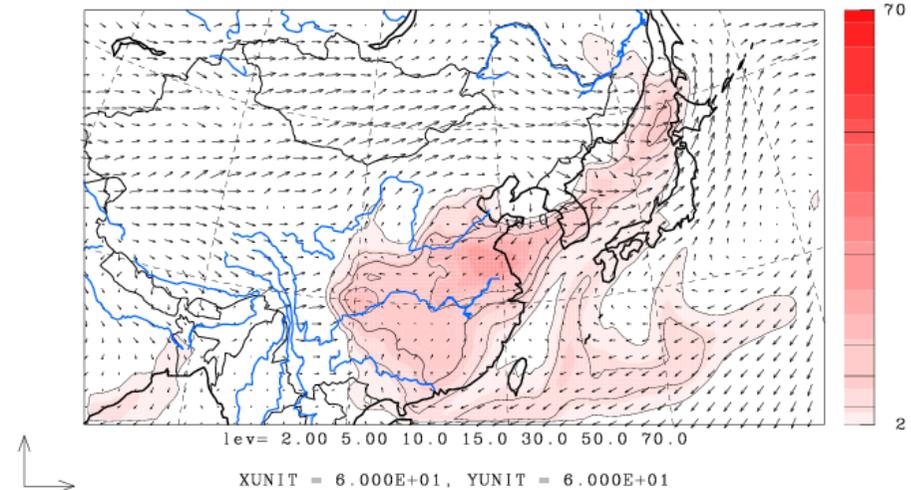
より正確な予報へ

気象庁  
黄砂予測図(地表付近の黄砂の濃度)



硫酸塩エアロゾル(大気汚染物質)  
の予想分布  
(高度0-1km平均値)

U-V&Sulfate m/s&ug/m3 JST  
2014/01/28.09:00:00

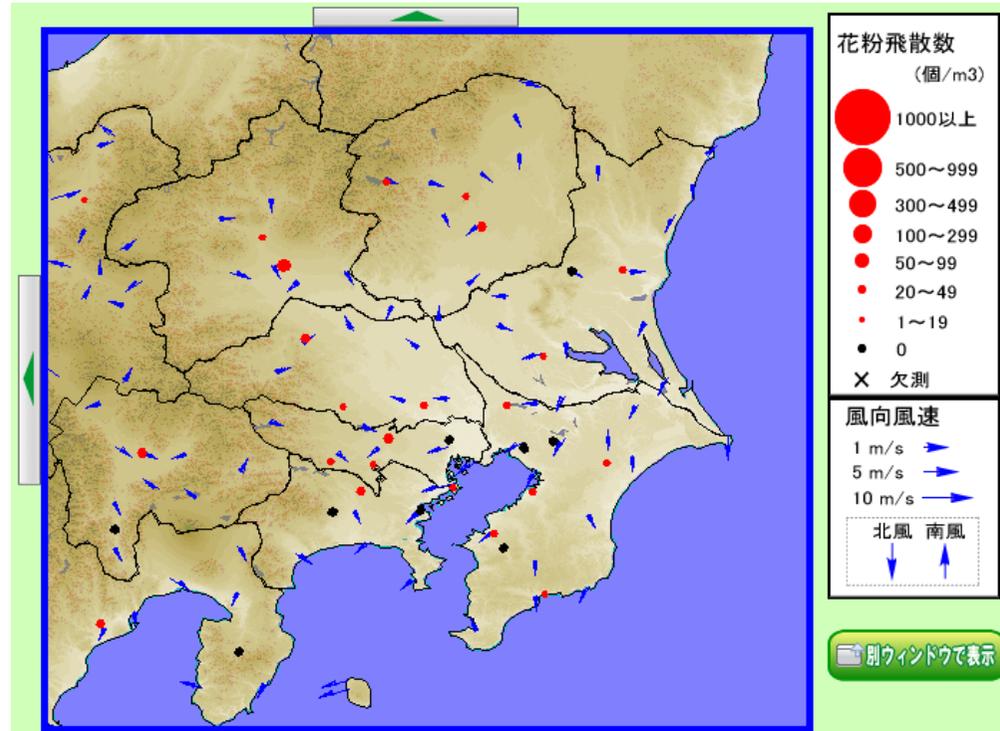


<http://www.jma.go.jp/jp/kosafcst/>

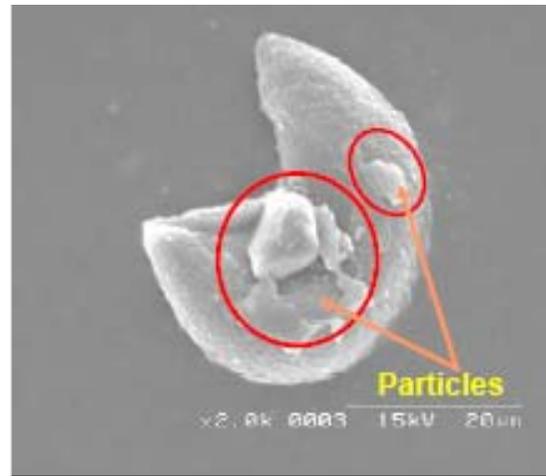
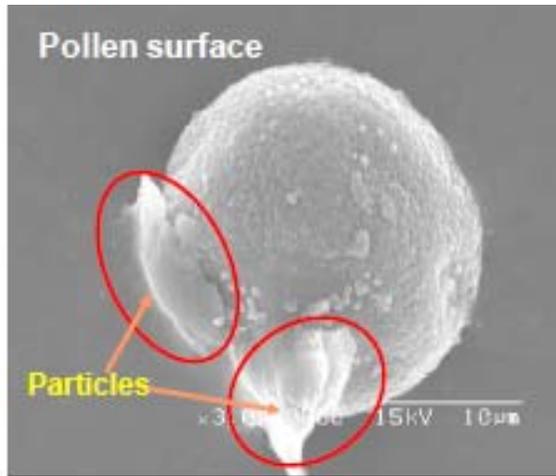
<http://www-cfors.nies.go.jp/~cfors/index-j.html>

中国での発生源対策が大事であり 日本は貢献できるはず！

# 環境省花粉観測システム(はなこさん)



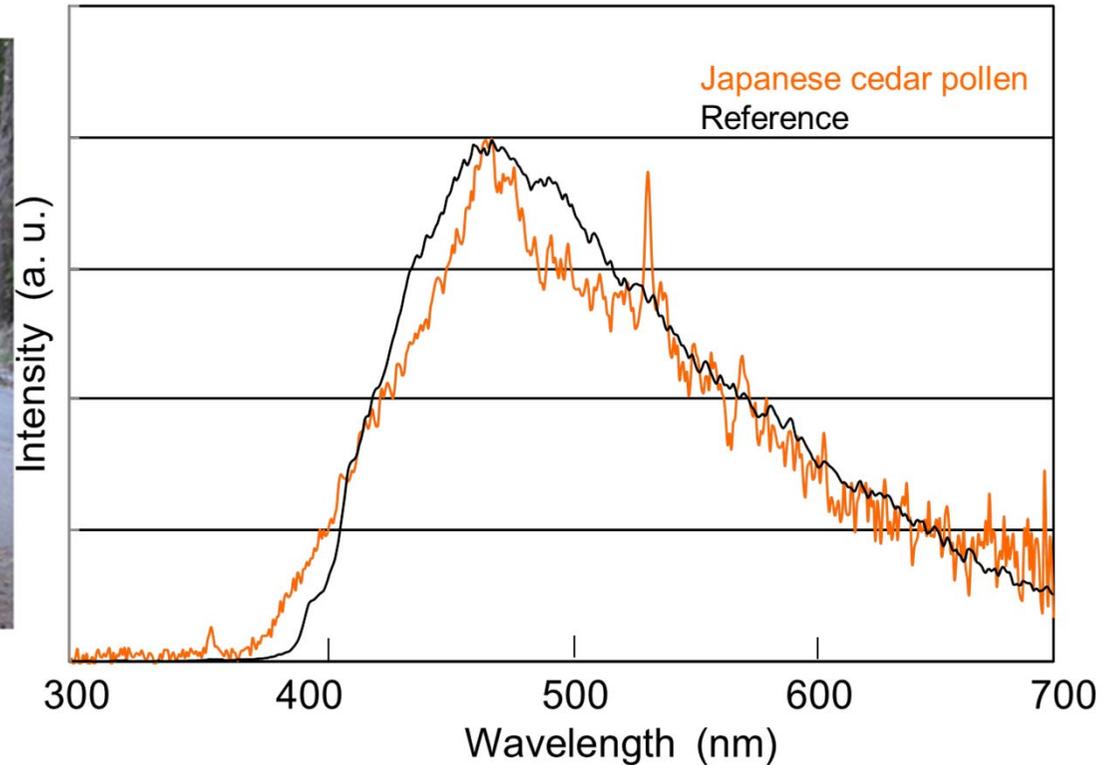
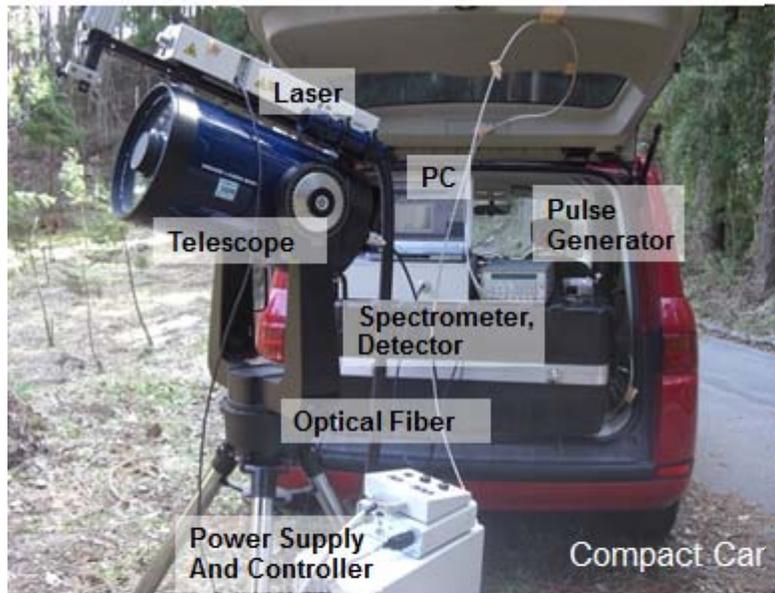
大気汚染物質はスギ花粉症を増強するといわれている。



埼玉大学の資料から

図5. さいたま市で捕集されたスギ花粉上に大気中の粒子が付着している様子。

# スギ花粉のライダー計測

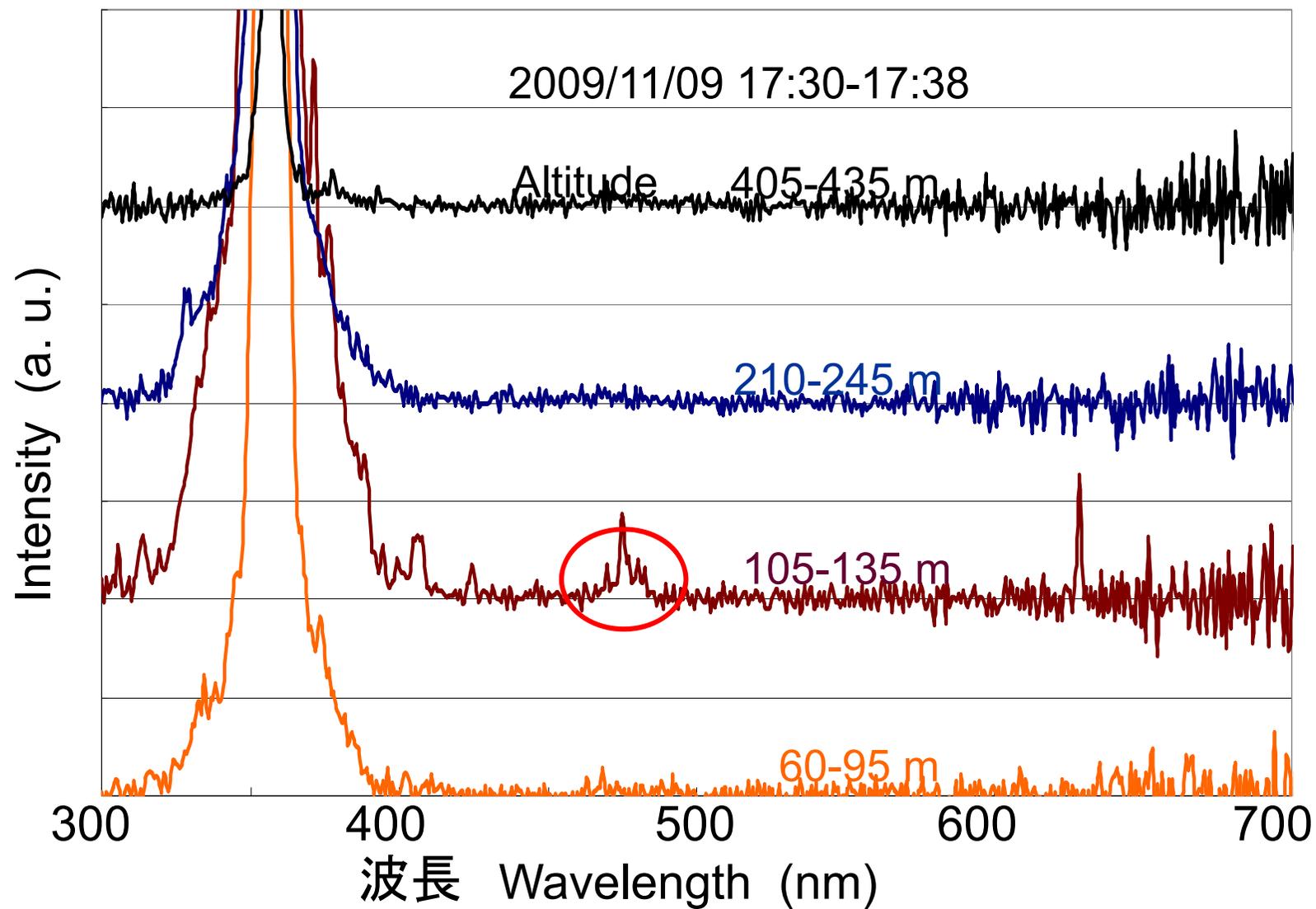


## Mobile LIFS lidar

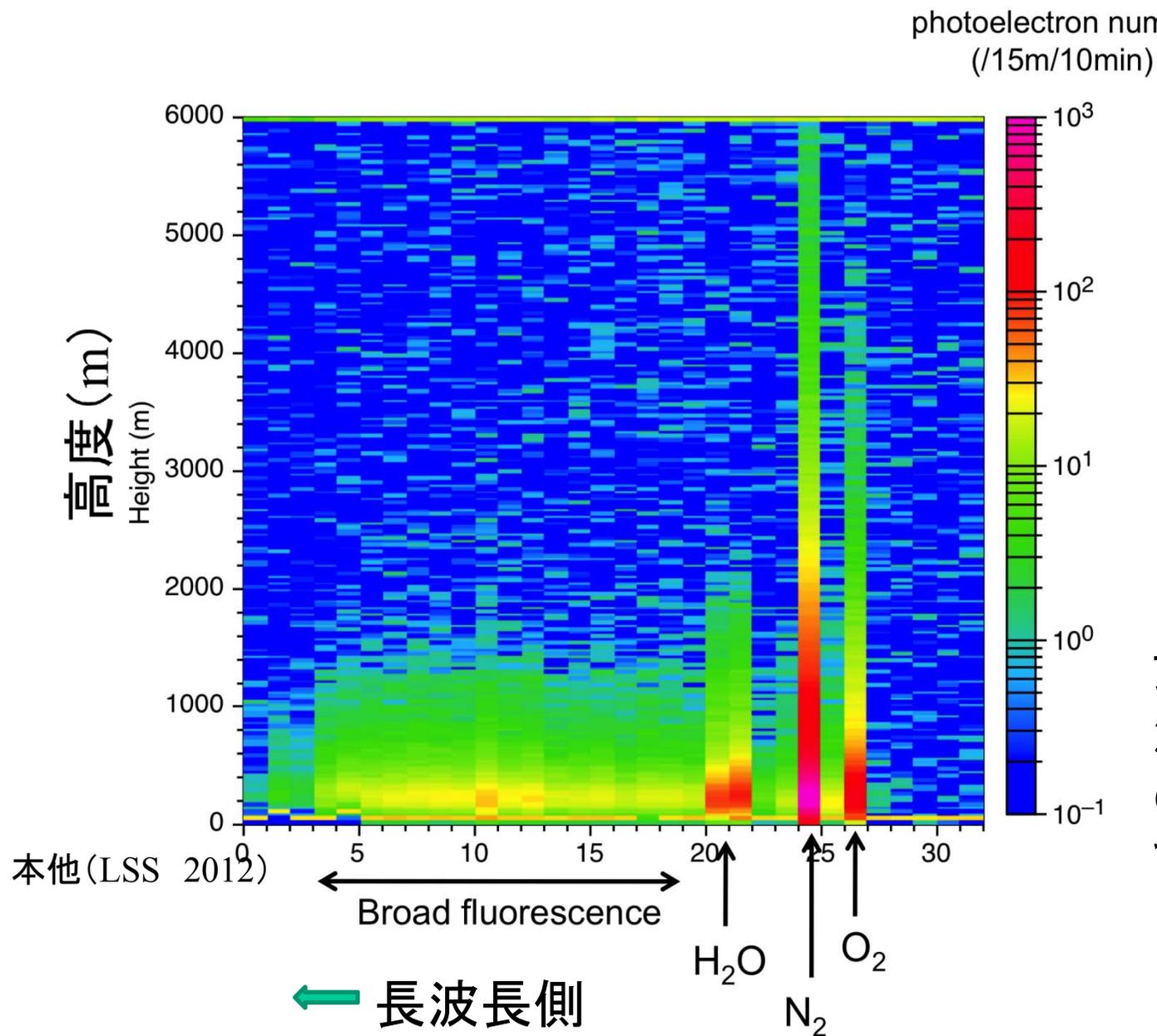
Laser  
355 nm  
10 mJ/pulse 6 ns 10 Hz  
Telescope  
Cassegrainian Type  $\phi$  25 cm  
Spectrometer  
220-860 nm Resolution 3 nm  
Detector  
MCP-Gated-ICCD  
(synchronized detection)

信州大学 齊藤教授のご厚意による

# ライダーによるエアロゾルからの蛍光の観測



# ライダーによるエアロゾルからの蛍光の観測



分光ライダーにより  
O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>Oラマン  
散乱とブロードな蛍  
光が見えてくる。

黄砂、花粉、大気  
汚染エアロゾル等  
の区別ができる可  
能性がある。

# ライダーによる火山雲の観測 Predicting and Validating the Tracking of a Volcanic Ash Cloud during the 2006 Eruption of Mt. Augustine Volcano

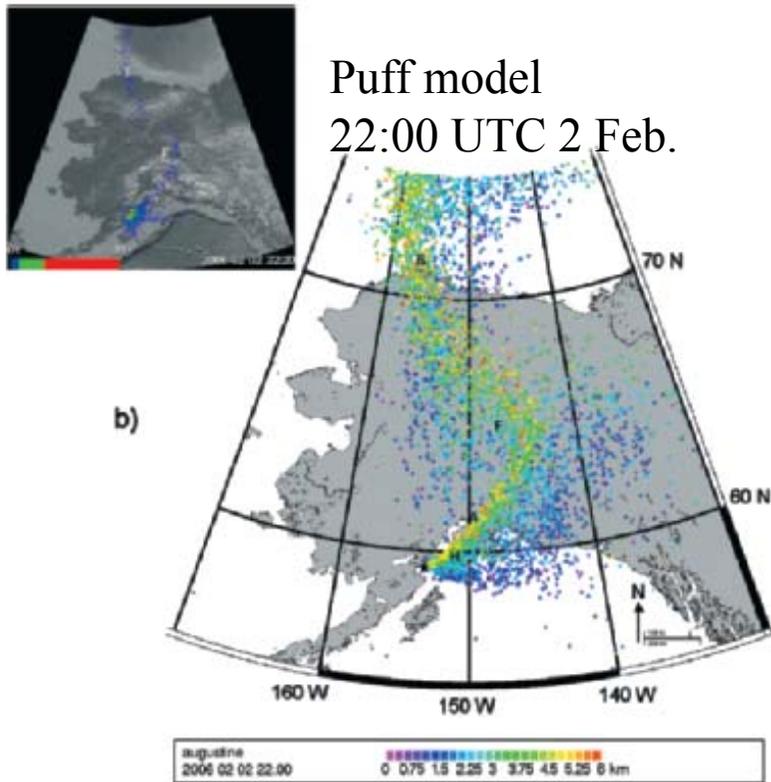
BY P. W. WEBLEY, D. ATKINSON, R. L. COLLINS, K. DEAN, J. FOCHESSATTO,  
K. SASSEN, C. F. CAHILL, A. PRATA, C. J. FLYNN, AND K. MIZUTANI

NOVEMBER 2008 **BAMS** | 1647

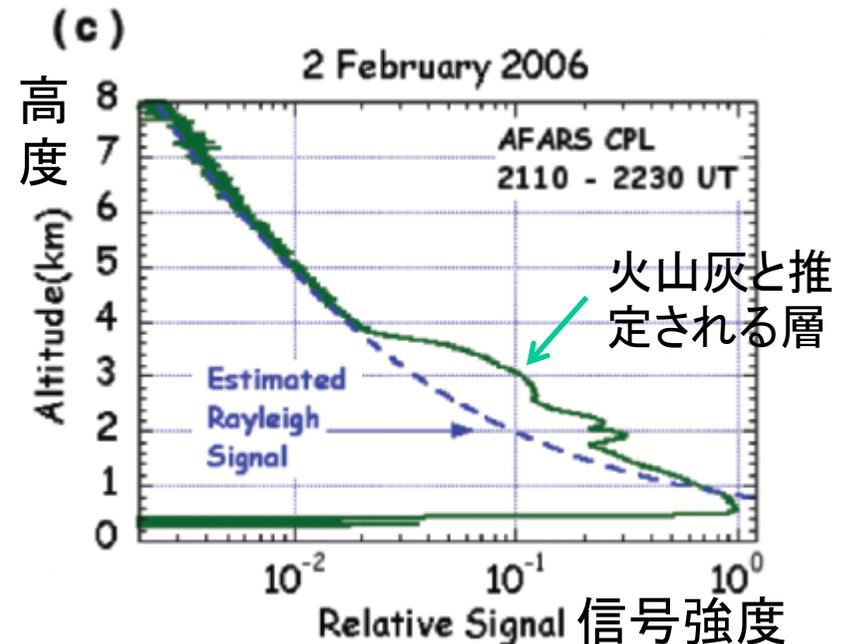
2006年1月2日  
Augustine山の噴火



FIG. 2. Volcanic eruption cloud from Augustine Volcano at 2200 UTC 30 January 2006 (1300 AKST), courtesy of Game McGimsey (AVO/USGS).



## フェアバンクスのライダーによる火山雲の観測



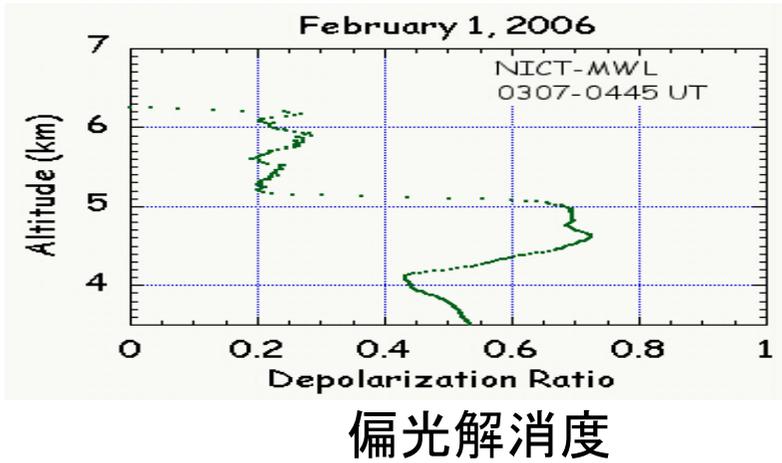
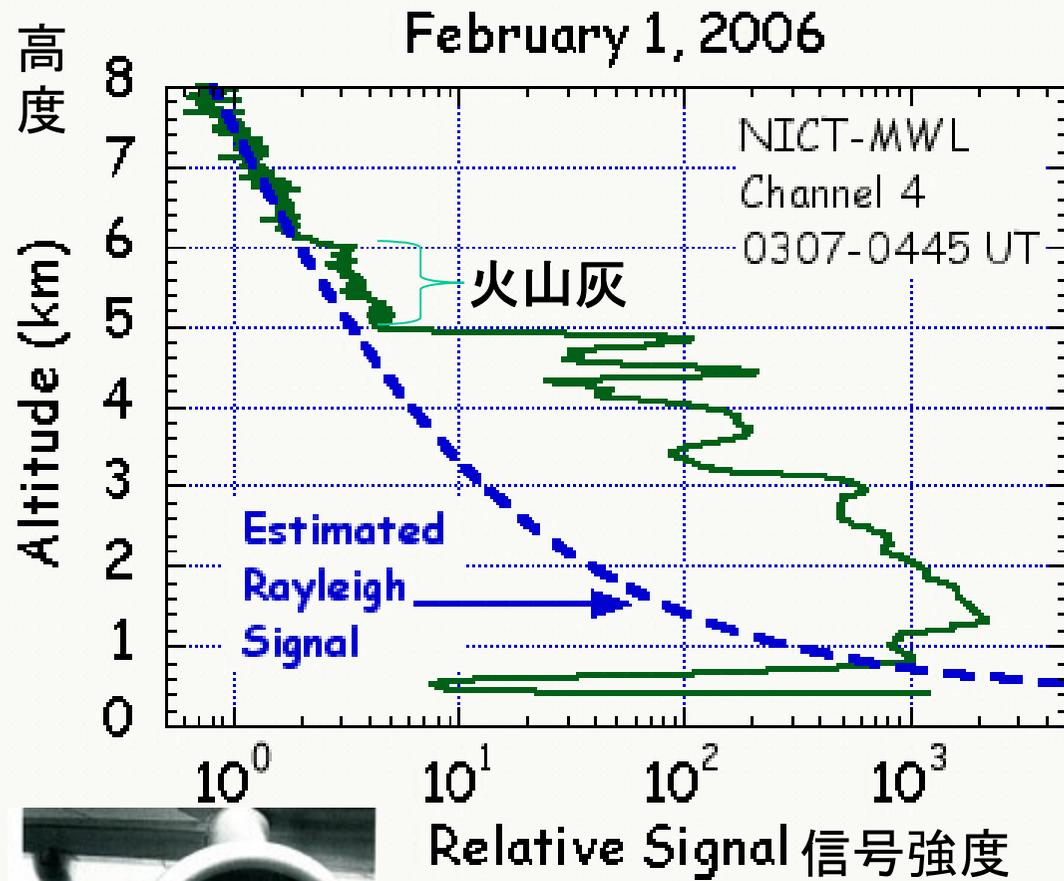
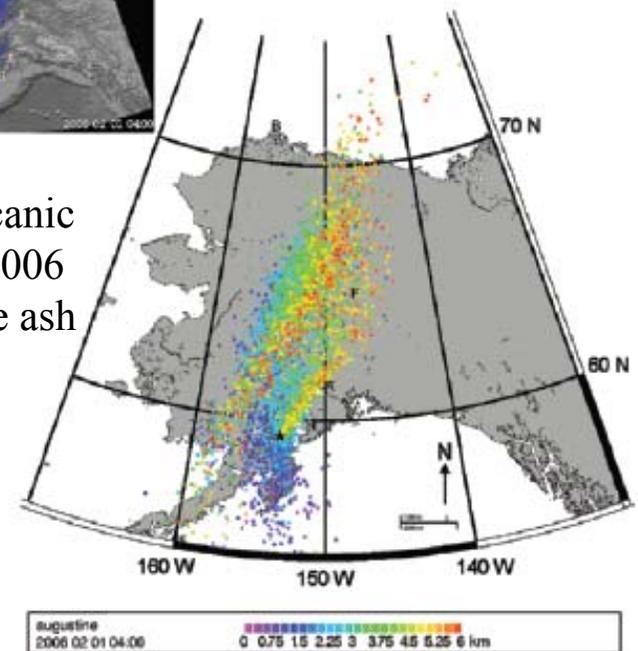
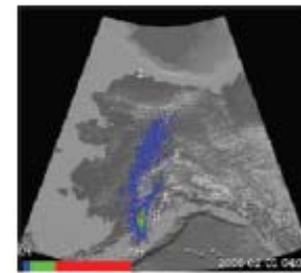
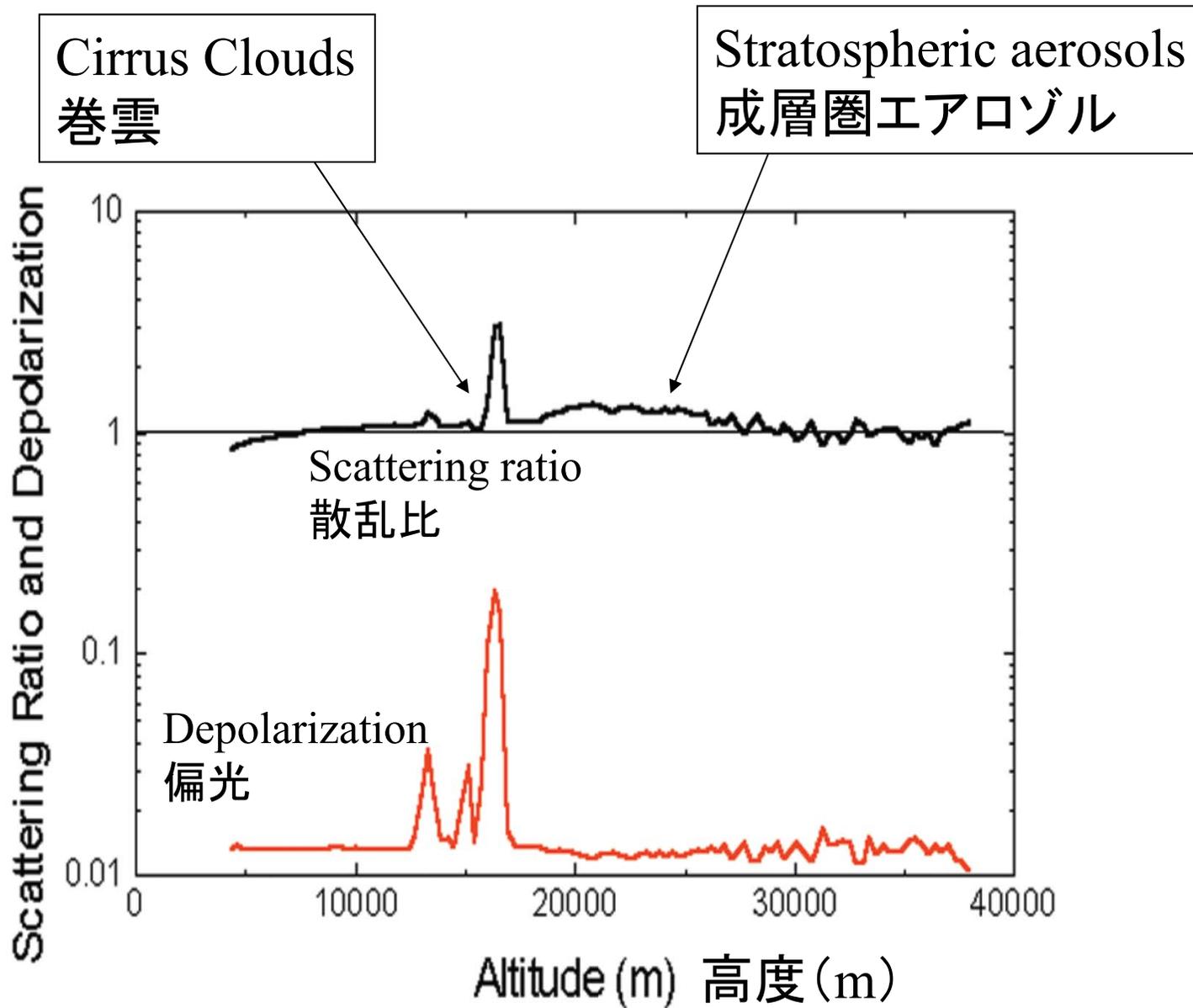


Figure 30. Crew examines one of the Boeing 747 jet engines that suffered extensive damage when the jet encountered an ash cloud on December 15, 1989. Copyrighted photograph by Bob Hamilton, Anchorage Daily News, reprinted by permission.

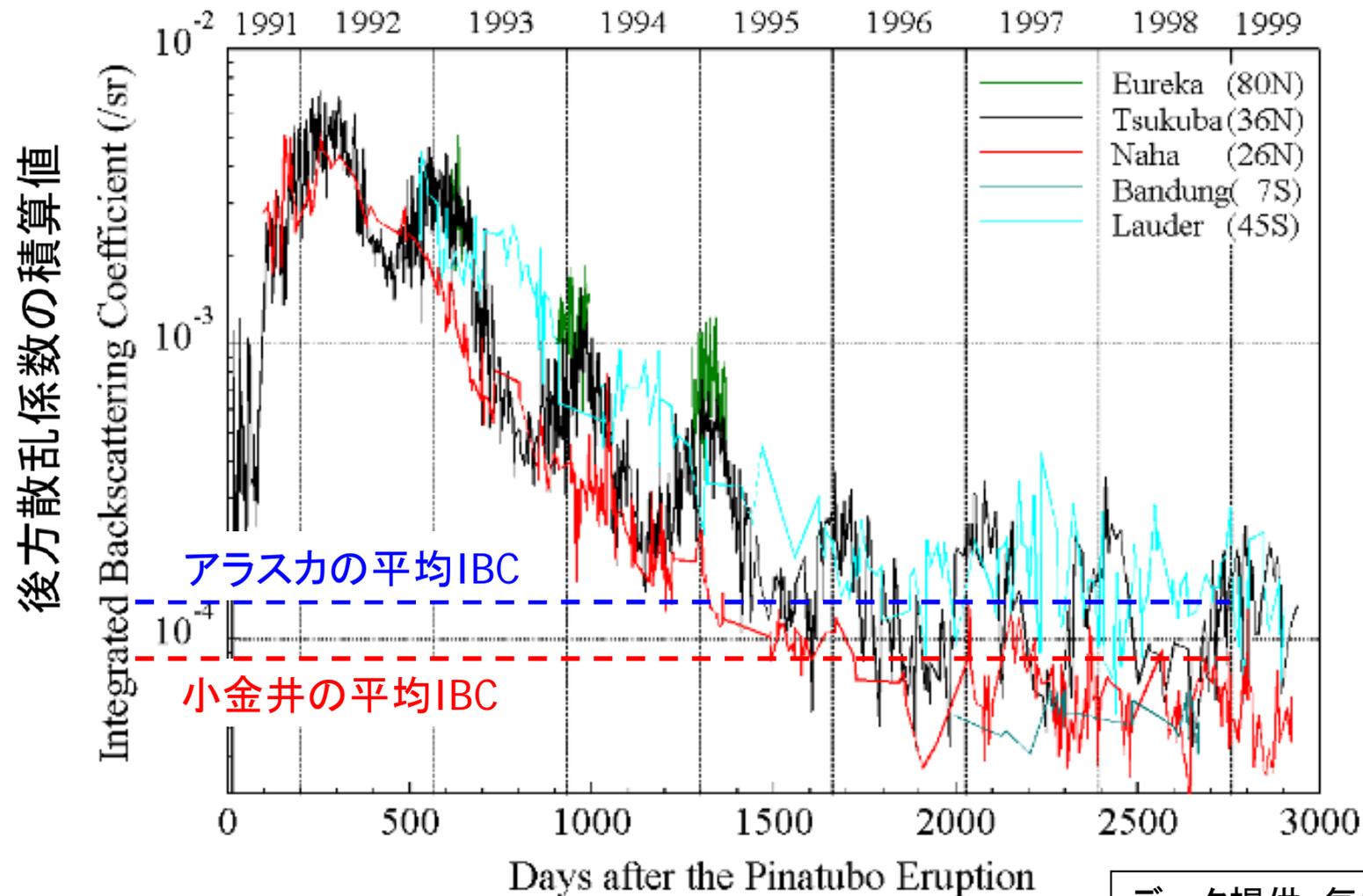
1989年12月15日、ボーイング747型機はアンカレジ空港に着陸態勢に入り、Redoubt火山の小噴火に伴う火山灰の雲の中を通過した。その時、4つのエンジンがすべて停止し、飛行機は8分間の間エンジン停止したまま 高度28,000フィートから14,000フィートまで落下した。





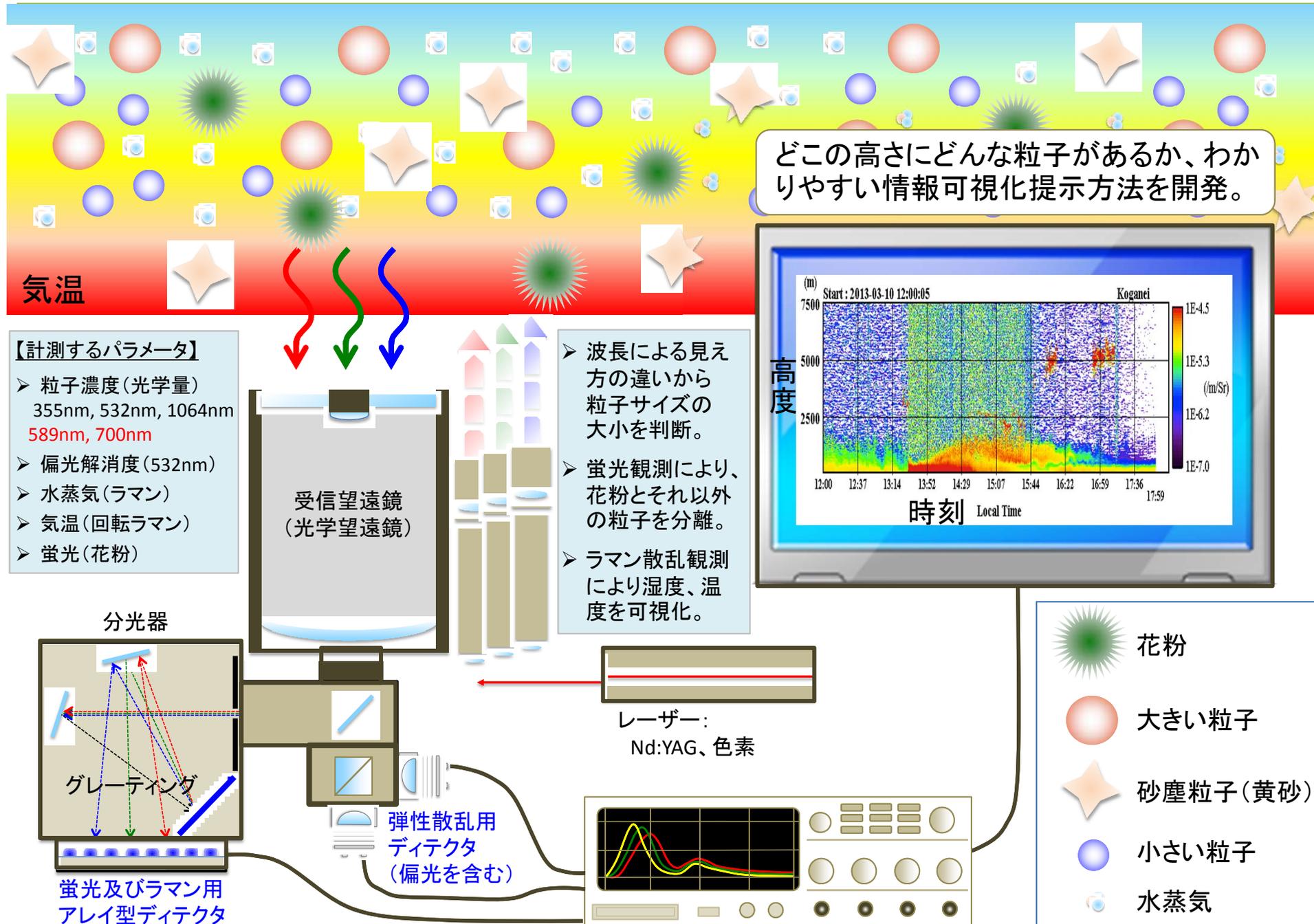
Scattering Ratio and Depolarization Ratio observed in Thailand.

# ピナツボ火山噴火後の成層圏IBCの推移



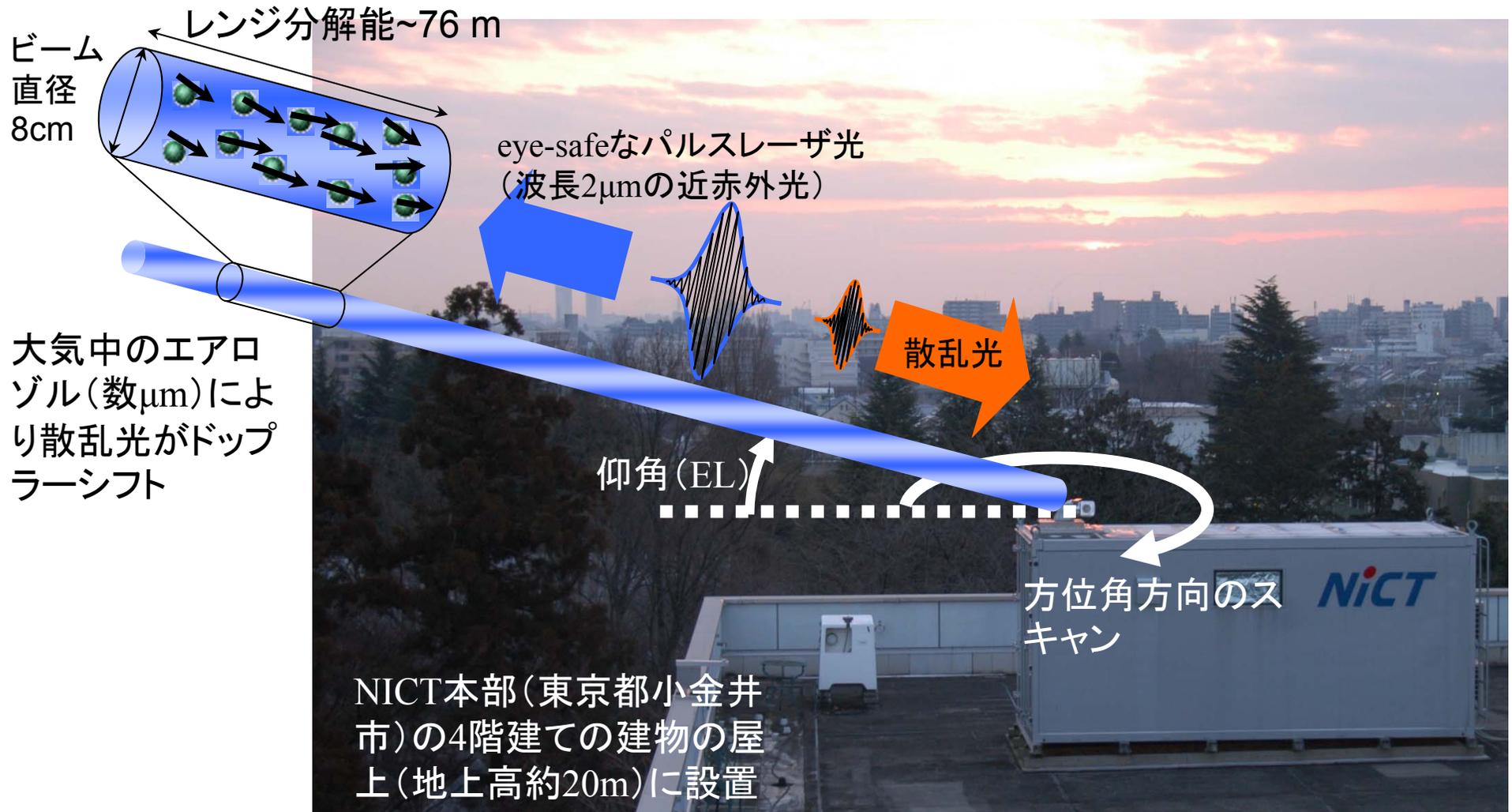
データ提供: 気象研、永井氏

# ライダーによるPM2.5関連物質モニタリングの概念図 at 福岡



- ライダーにより大気中浮遊微粒子(エアロゾル:黄砂、汚染物質(含むPM2.5)、花粉、雲、火山灰等)の高度分布を計測することができる。
- 散乱光の波長依存性、偏光等からエアロゾルの種類分けができる。
- 肺の奥まで入りやすく健康被害の大きいPM2.5は主に大気汚染で生成する硫酸塩、硝酸塩、有機エアロゾル、ススなど。小粒径の黄砂粒子もPM2.5に含まれる。
- 多波長分光ライダーにより、黄砂、PM2.5,有機エアロゾル、花粉等を観測できる。これらのデータを疫学調査と比較できる可能性がある。
- 観測データとモデルの比較により予測精度を上げる必要がある。

# NICTのCO<sub>2</sub>・風計測用ライダー (コヒーレントドップラーライダー)



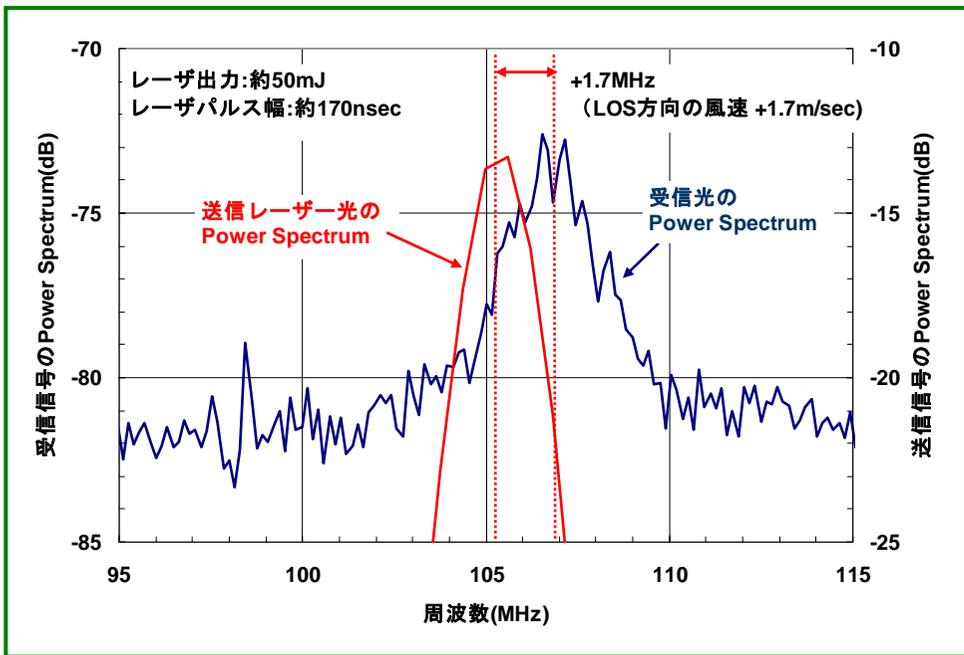
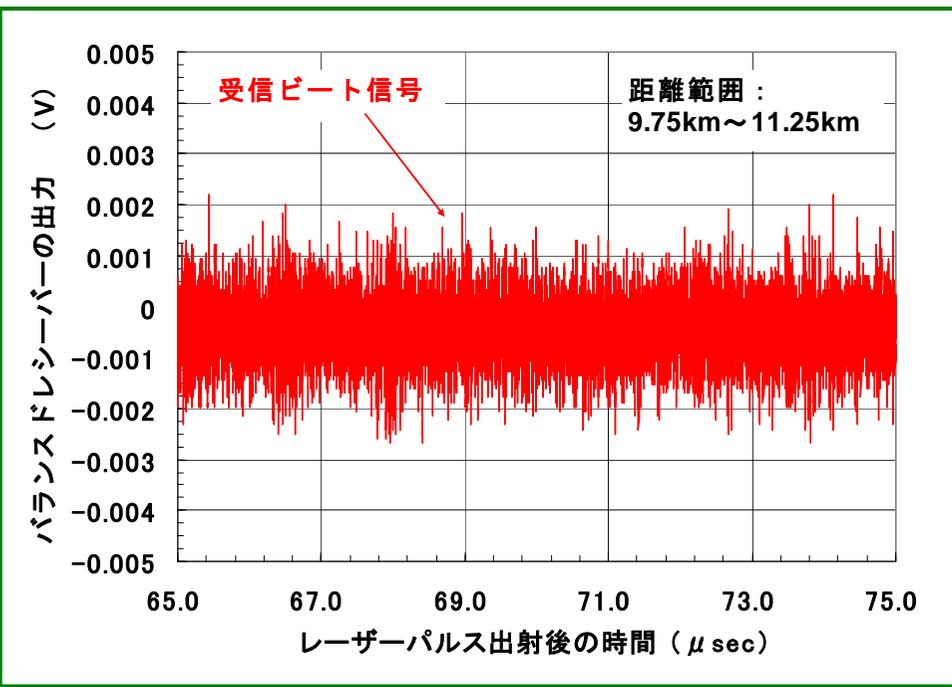
コヒーレント(ドップラー)ライダーでは光の波としての性質を使い、受信はヘテロダイン検出(電波と同じ)で行います。

# コヒーレントライダーの受信信号

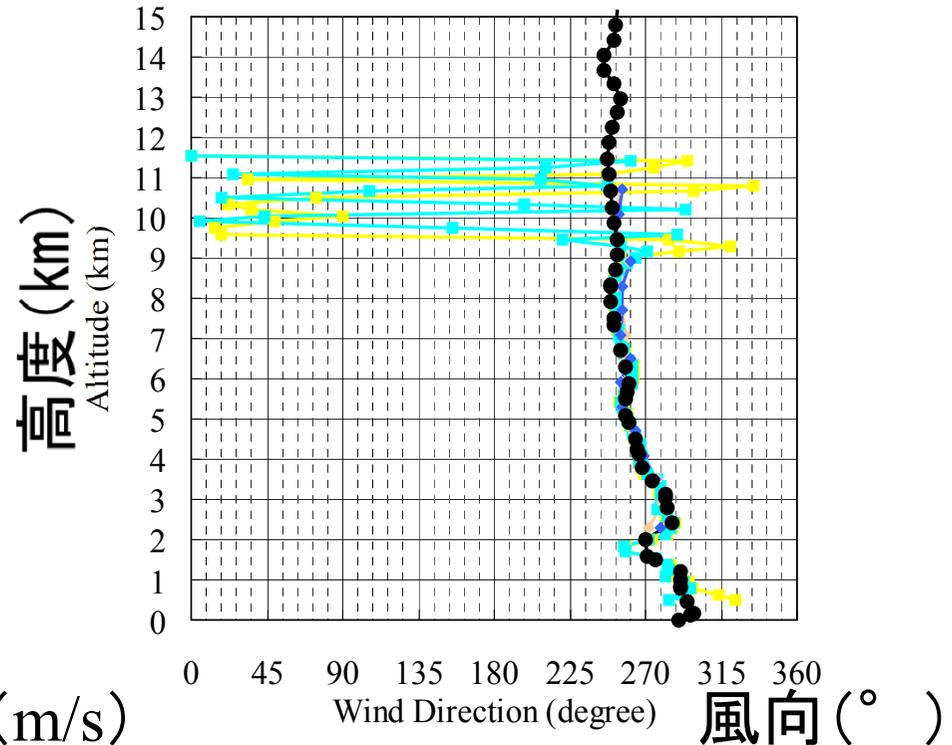
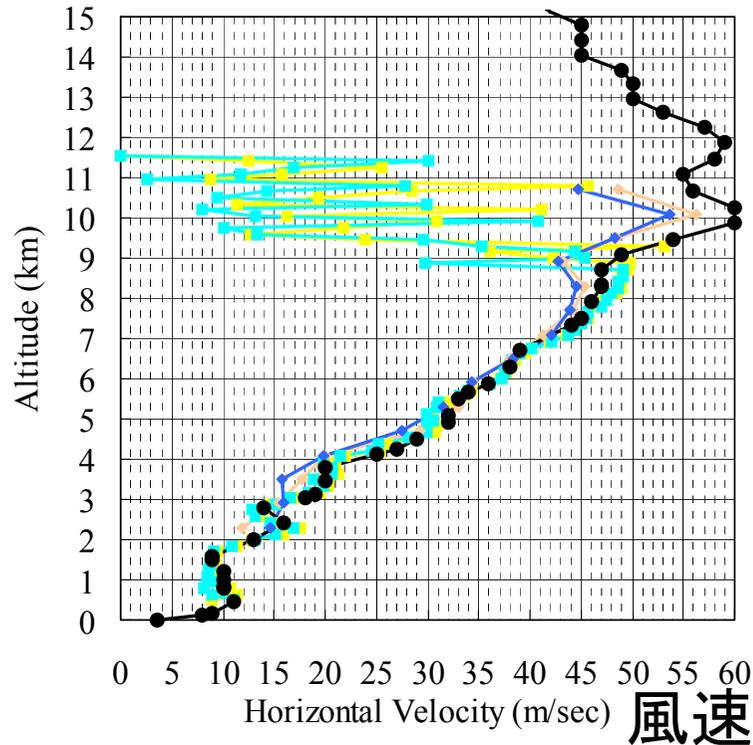
Beat signal



Spectrum



# 地上設置コヒーレントドップラーライダーによる風の高度分布計測



**稚内で観測 (Sep.04, 2002) されたコヒーレントドップラーライダー (CDL)、VHF レーダー (VR)、と気球 (Sonde) による風速・風向観測の比較**

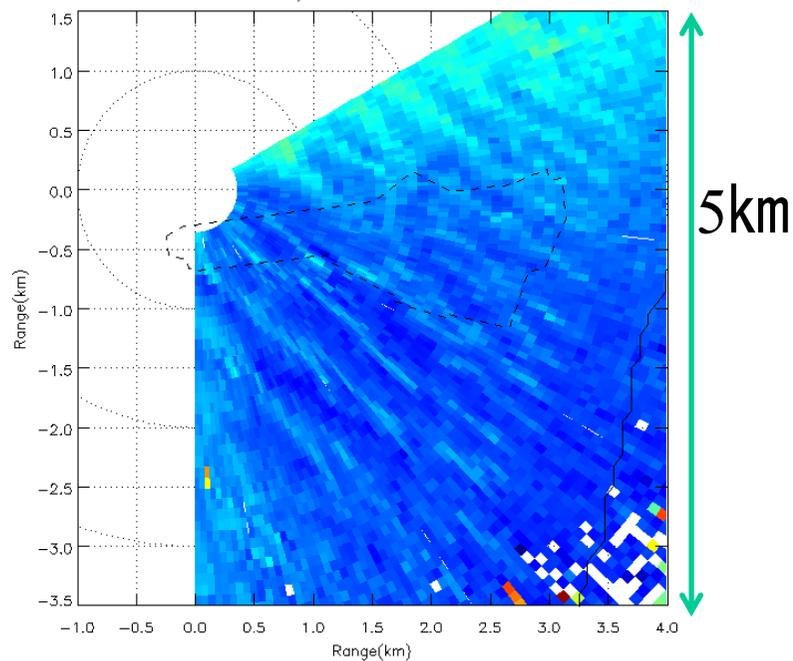
(左図は1軸ウェッジスキャナーをつけたCDL)

# CDL地上観測



仰角1度

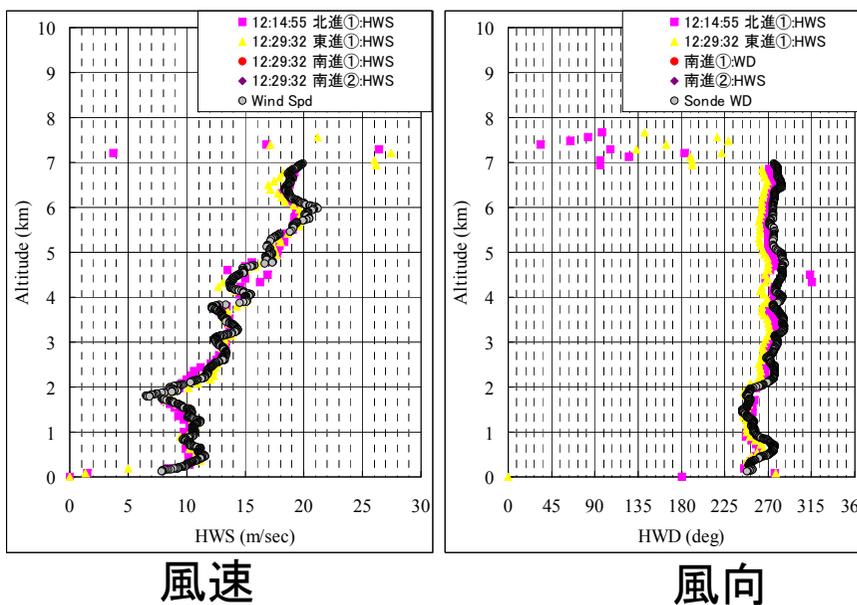
PPI : AZ=180.0- 60.2deg , EL=1.00deg  
2007-06-19/13:01:06.375-13:02:05.859



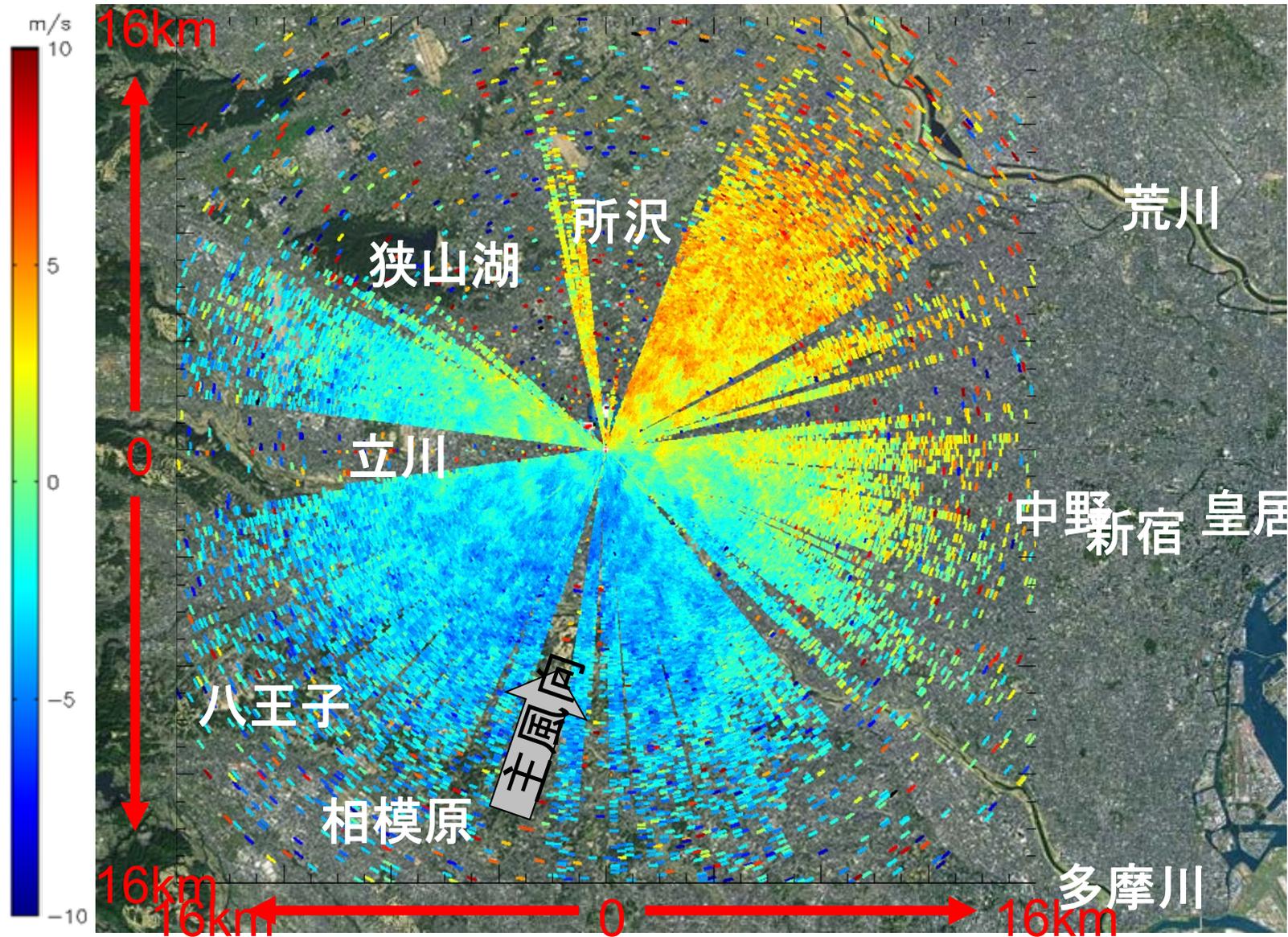
# CDL航空機観測



航空機搭載ドップラーライダーによる風  
観測 海面反射による速度補正後



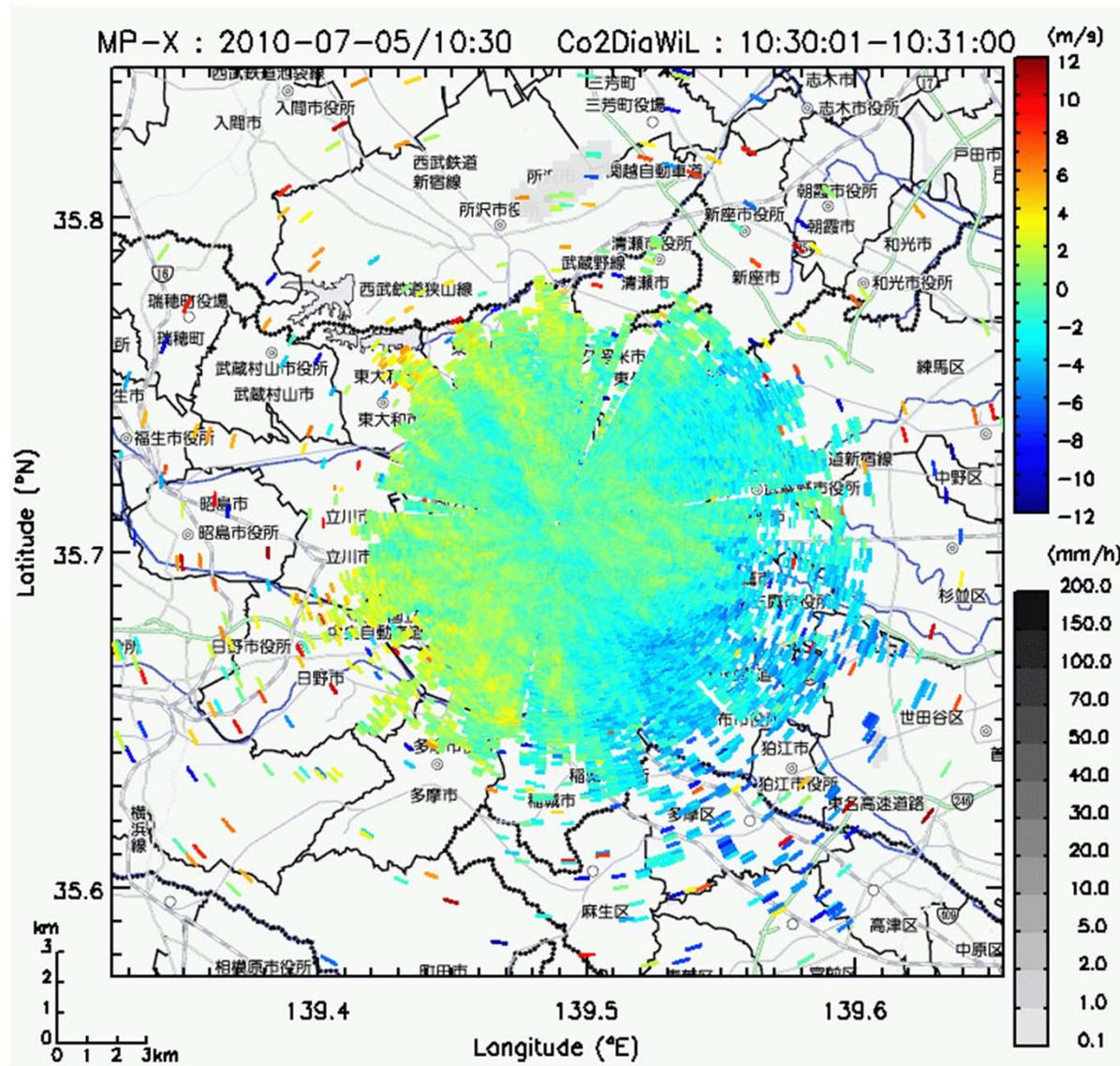
# NICTのCO<sub>2</sub>・風計測用ライダーによる風の計測例



Co2DiaWiLによる小金井からのEL=2°でのPPI観測

# 降雨域とその周辺の風速場

降雨域 ( XバンドMPLレーダの合成雨量) とその周辺の風速場 (ドップラーライダー)



カラー: NICTドップラーライダーの視線方向風速 (暖色が追い風、寒色が向い風)

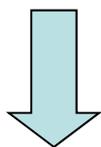
白黒: 国土交通省XバンドMPLレーダの合成雨量

2010年7月5日の板橋豪雨の時の、東京都西部の雨量(黒で表示)と、ドップラーライダーで観測した風(カラーで表示)の分布を表しています。猛烈な雨をもたらした積乱雲に向かって強い南東風が吹き込んでいる様子が、ドップラーライダーによって捉えられています。

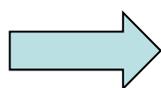
# ドップラーライダーによる首都圏風、雲・エアロゾル観測網

## 豪雨、突風他の気象予測と港湾(空港、東京湾)の安全航行

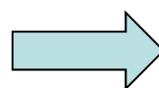
ドップラーライダーは晴天時(雲・雨の無い時)に風を計測。ドップラーレーダと相補的。しかし、現在のドップラーライダーは測定距離がNICT製でも15km程度(レーダは50km以上を計測)。



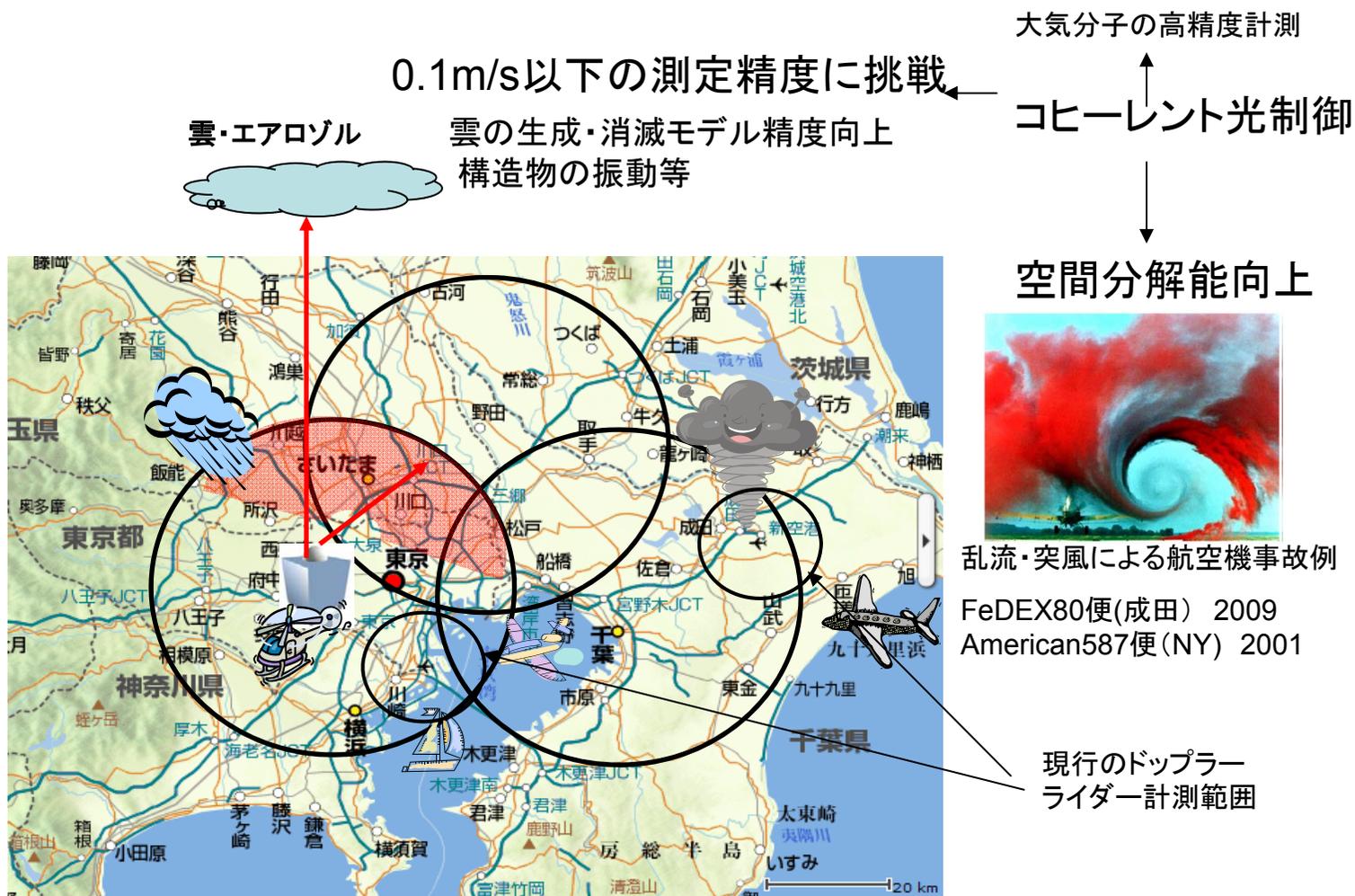
20km以上を測定できるようにする



首都圏を数台のドップラーライダーでカバー

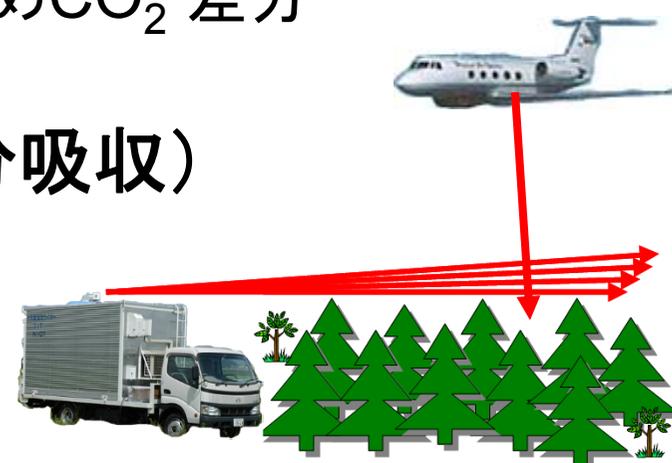
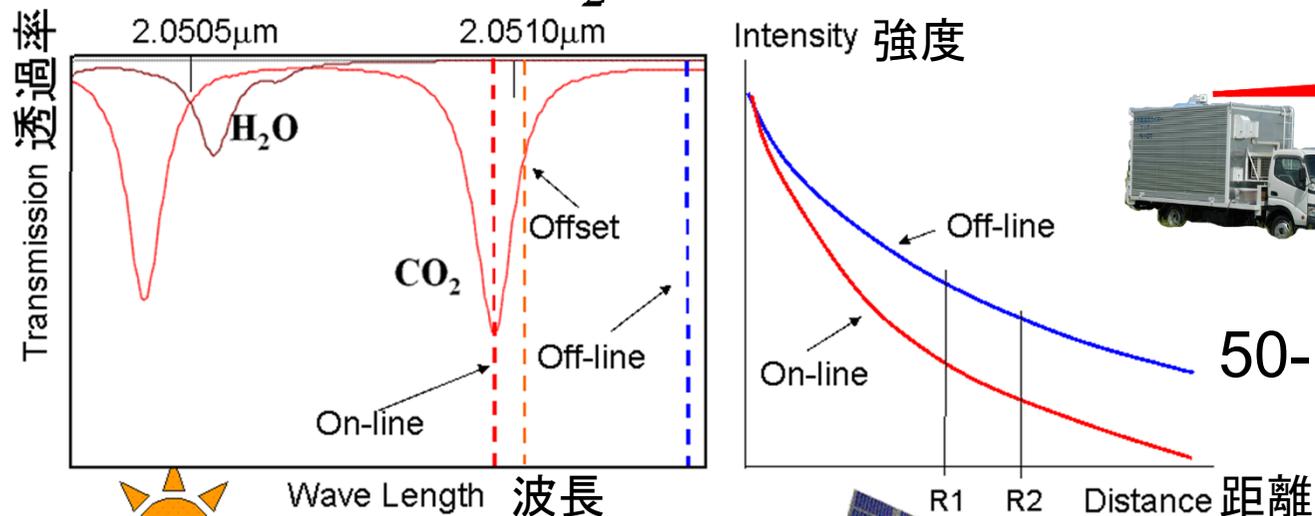


乱流や突風の実況計測  
気象予測改善

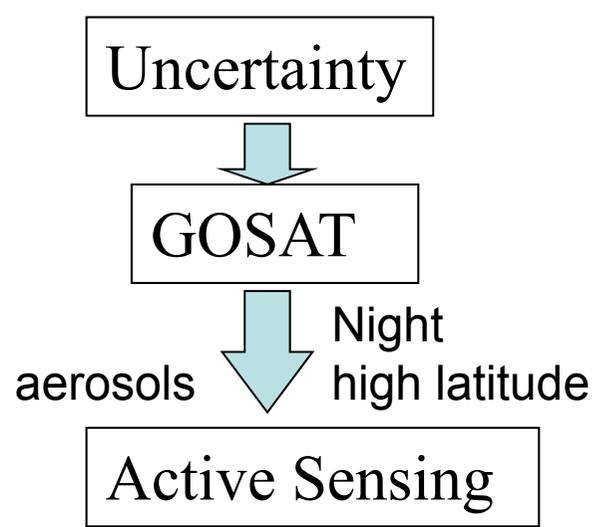
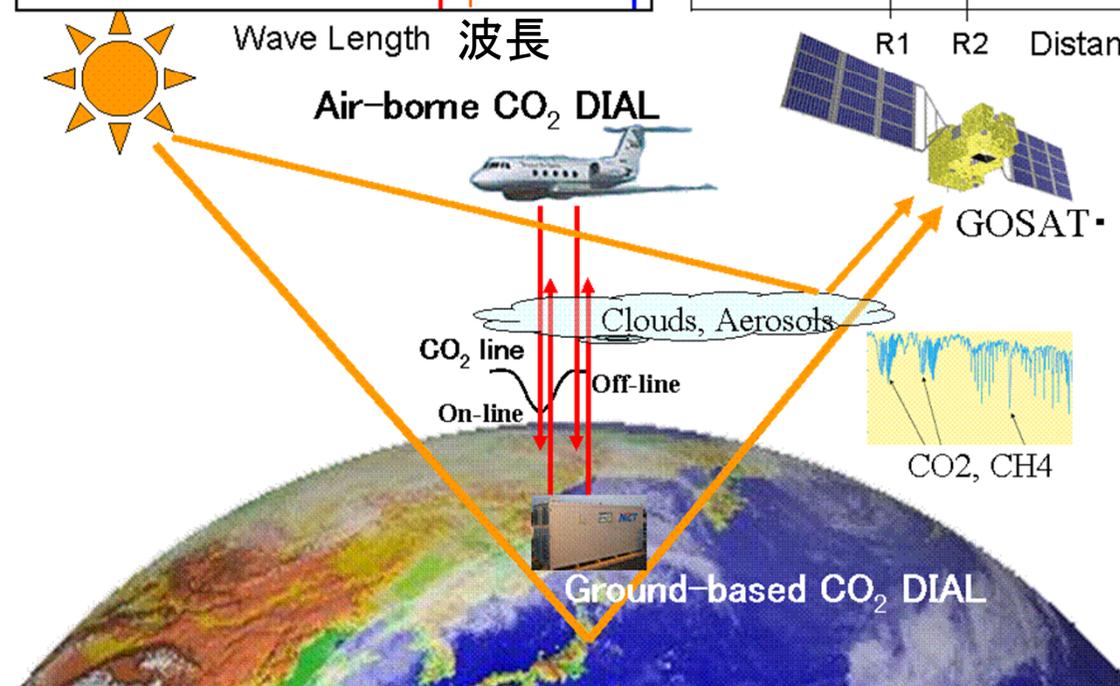


NICTでは地球温暖化対策に貢献するためCO<sub>2</sub> 差分吸収ライダーの研究開発を行っている

## CO<sub>2</sub> 計測方法(差分吸収)



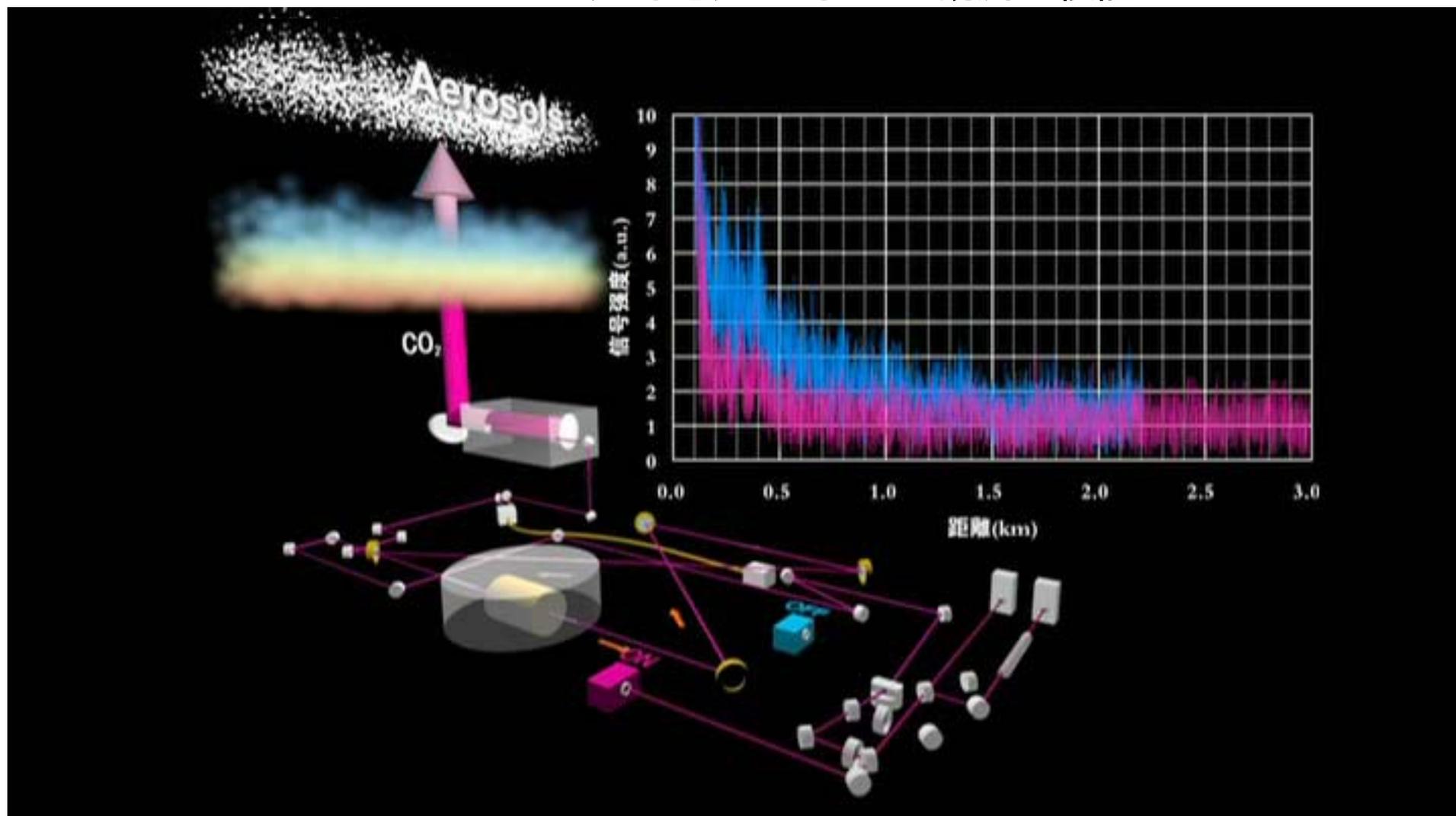
50-100mJ at 20-40Hz



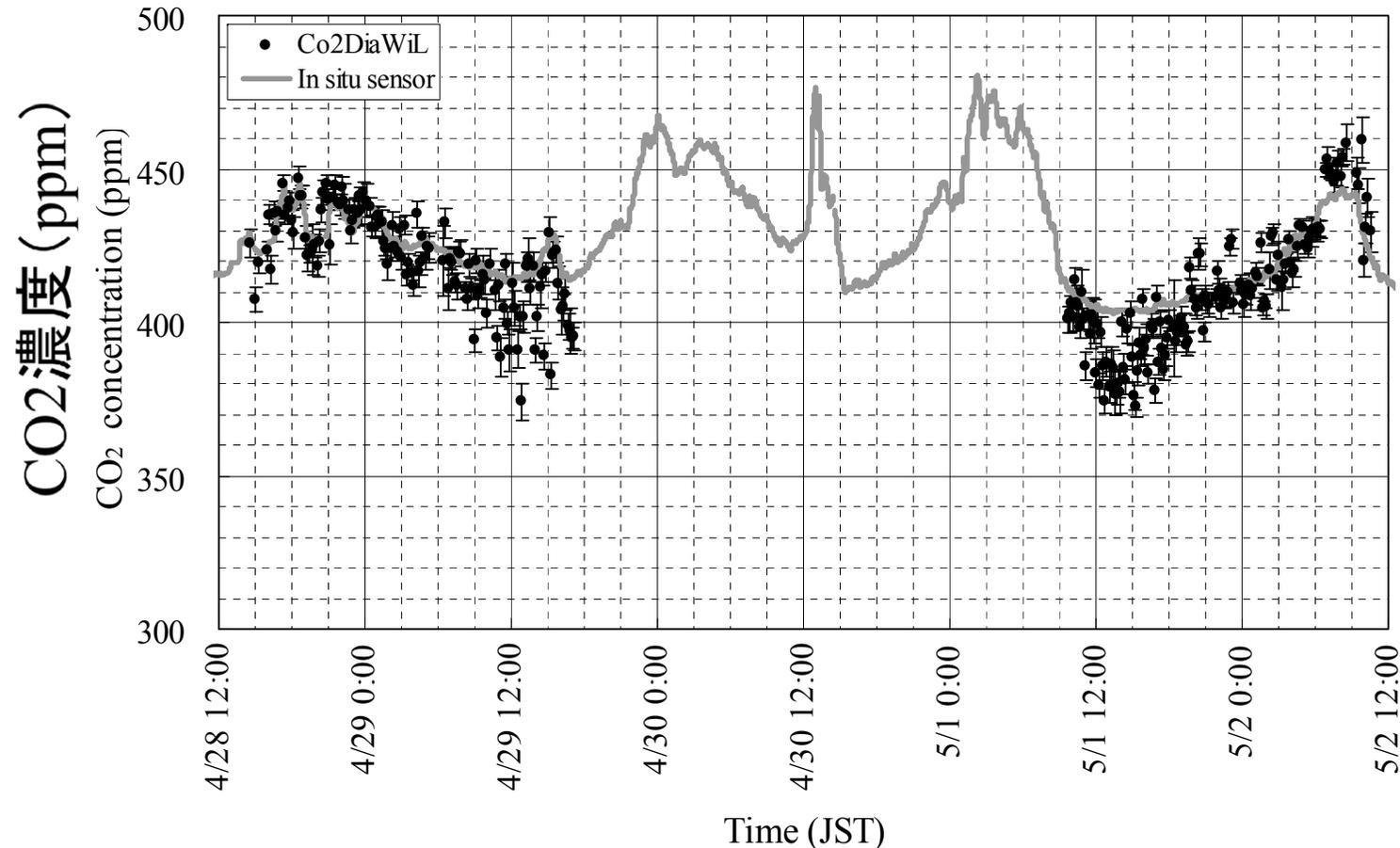
# NICTのCO<sub>2</sub>・風計測用ライダーによるCO<sub>2</sub>観測

## Coherent 2- $\mu$ m Differential Absorption and Wind Lidar(CoDiaWiL)

- 地上でのCO<sub>2</sub>分布計測 局地的なCO<sub>2</sub>吸排出
- 将来の衛星観測を目指した技術開発
- GOSAT(いぶき)による CO<sub>2</sub>観測の検証



# CO<sub>2</sub>・風計測用ライダーによるCO<sub>2</sub>観測例 (10分積分 1500m-柱密度, 水平方向)

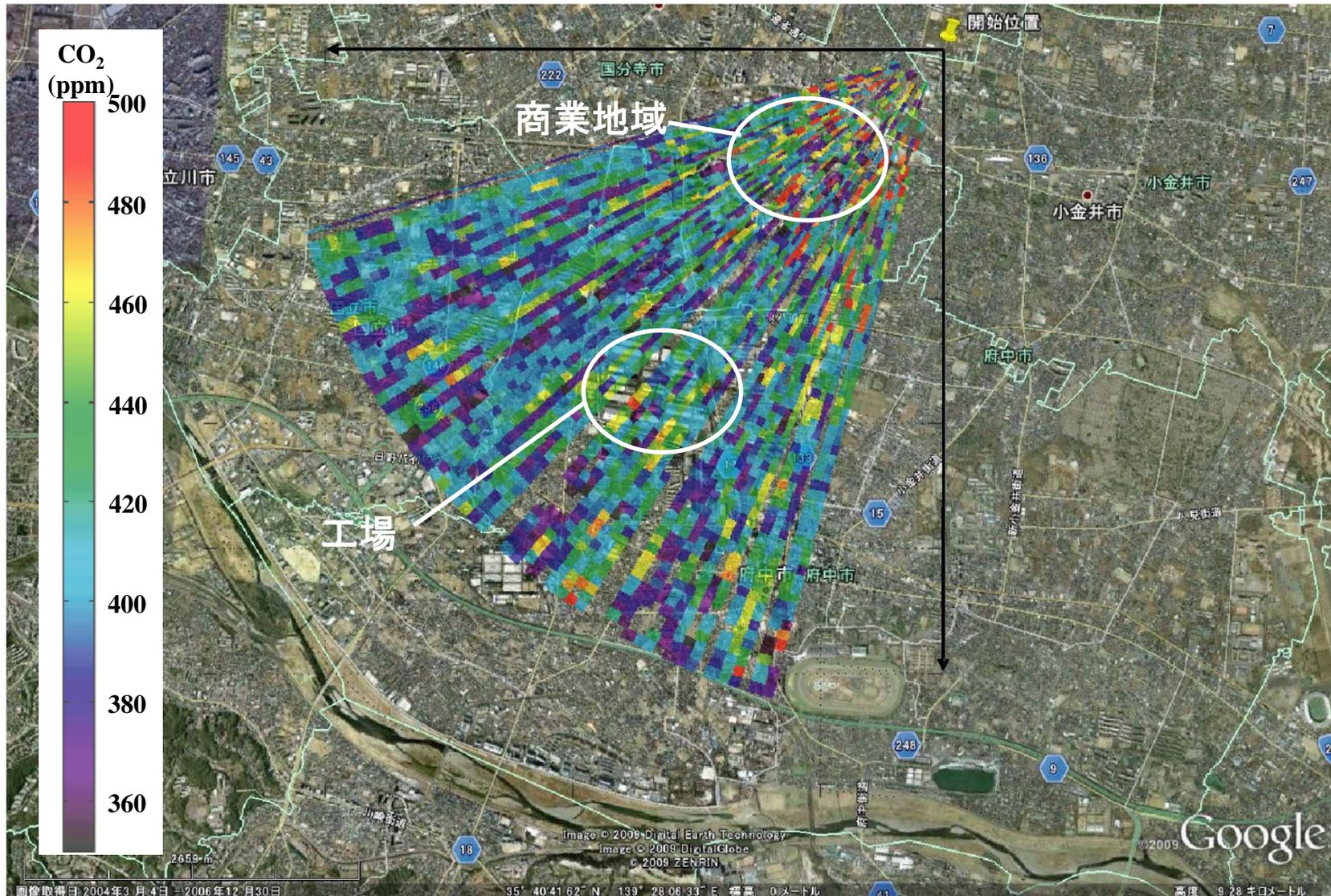


Error was in the range between 0.7 to 1.3% for 10 minutes integration measurement.

CO<sub>2</sub> concentration estimated by using the modified HITRAN2004 was 3 % smaller than those by using modified HITRAN2008.

# CO<sub>2</sub>・風計測用ライダーによるCO<sub>2</sub> 密度分布観測

(Dec. 17, 2009 16:47-17:20 JST, AZ=277-337, EL=2.0)



平面分布観測にはまだSN不足 → より高感度のライダー開発

# CO<sub>2</sub>混合比(XCO<sub>2</sub>)観測例

## GOSATとの比較実験 February 14, 20, and 23, 2010

Integral interval	February 14, 2010			February 20, 2010			February 23, 2010		
	In-Situ	DIAL	GOSAT	In-Situ	DIAL	GOSAT	In-Situ	DIAL	GOSAT
0.4-1.0	406.2	408.9±4.2		402.4	401.7±4.6		No data	400.6±4.4	
0.4-2.0	401.8	-		399.2	393.5±4.0		No data	407.3±4.7	
0.4-3.0	398.9	-		397.4	-		No data	400.0±4.5	
0.4-10.5	394.7	390.6±5.1*		-	-		No data	-	
0.066-		391.3	394.6			390.3			395-396

\* Cloud.

35.708,  
139.488

(Ver.02.09  
35.706,139.494)

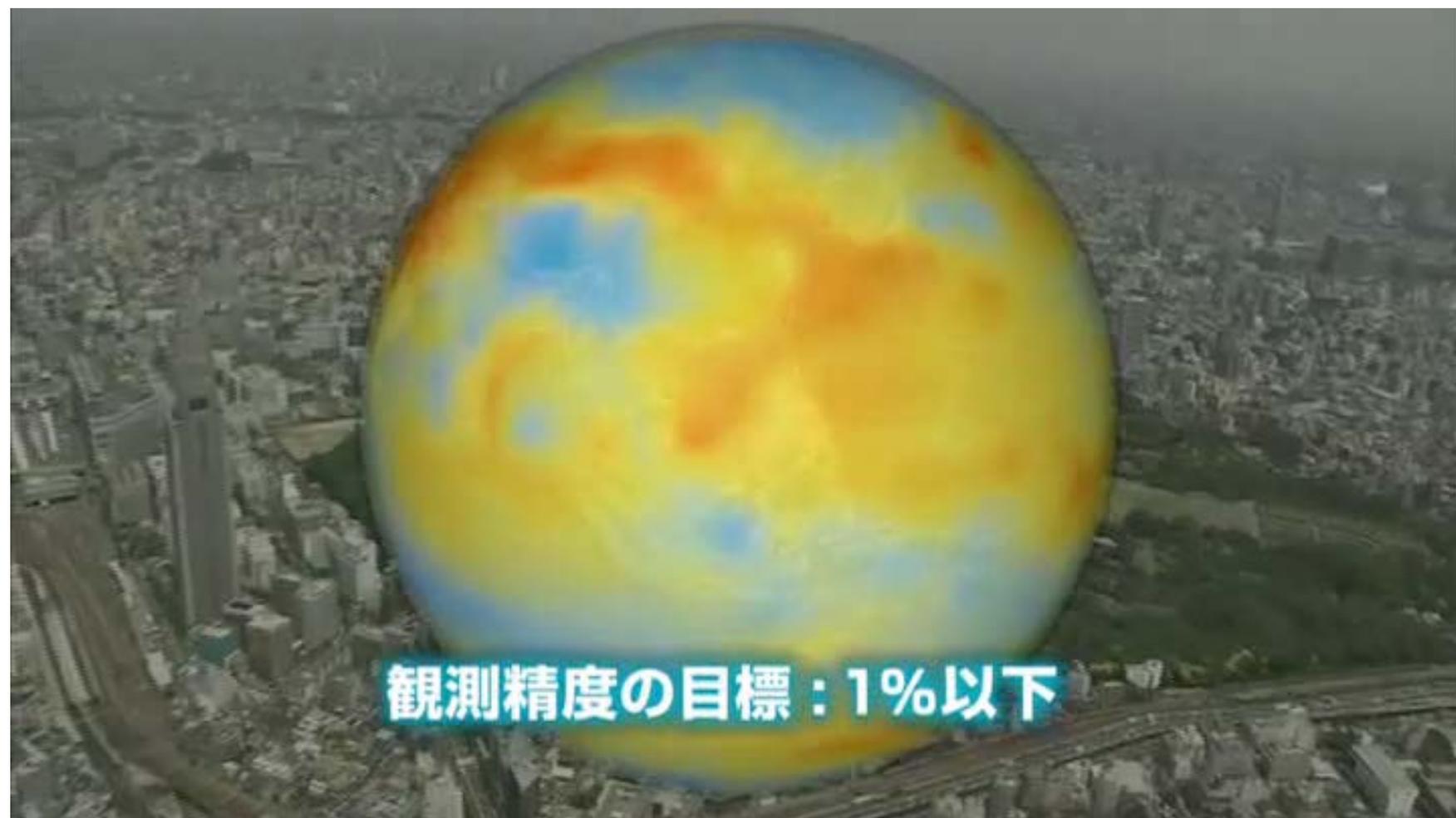
(Ver.02.09  
35.705,139.493)

(Ver.02.00/.09  
35.703,139.709  
35.564,139.695)



GOSATによる観測地点画像

Error source	Uncertainty	Measurement Error
Meteorological elements		
Pressure	±1 hPa	0.0%
Temperature	±0.5 °C	< 0.1%
RH	±5%	< 0.1%
Frequency stability of Laser		
On-line	1.0 MHz	< 0.1%
Off-line	1.0 MHz	0.0%



観測精度の目標：1%以下

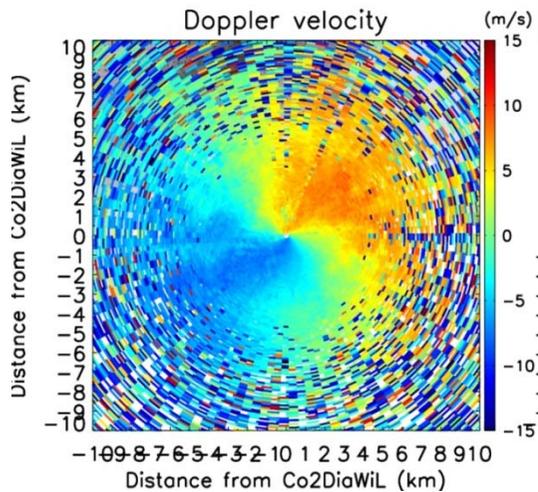
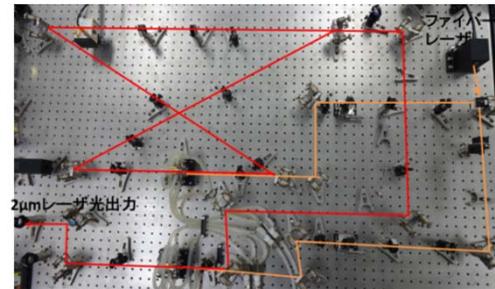
# NICTで進めつつあるコヒーレントライダーの研究開発



可動型システムの開発

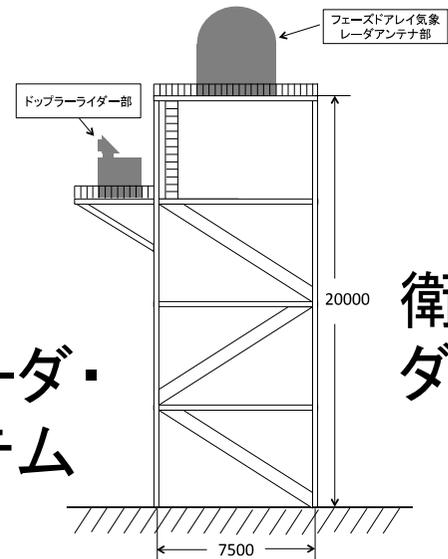


高効率なレーザーシステムの開発



ライダーデータの  
情報利用高度化

神戸・沖縄にレーダ・  
ライダー複合システム  
(H24補正)



衛星搭載ライダーの研究



# 航空機と衛星搭載による風やCO<sub>2</sub>分布観測

航空機 日本列島とその周辺部

衛星 グローバル(全地球)



- 離れた場所から風やCO<sub>2</sub>濃度分布を測定するCO<sub>2</sub>・風計測用ライダーを開発した。
- 光源は目に安全な2μmで発振する高出力のLD励起伝導冷却型固体レーザー
- 可動型の装置を開発中である。  
コンテナ設置や航空機搭載による機動的な観測が可能になる。
- より遠くまで観測を可能にする技術開発を行っている。
- 衛星搭載によるグローバルな風・CO<sub>2</sub>観測のための基盤研究を行っている。