

# 電波工学2参考資料： 大気・気象レーダー

佐藤 亨

# 観測対象とレーダシステム

- 気象レーダ  
対象：雨滴、氷晶、霧粒、雲粒など  
周波数：S帯～W帯(3GHz～100GHz)  
アンテナ直径：1～5m、出力：1kW～300kW
- 大気レーダ  
対象：大気乱流、電子などによる屈折率変動  
周波数：VHF帯～S帯(30MHz～3GHz)  
アンテナ直径：2～300m、出力：2kW～4MW

# 降雨観測の問題点

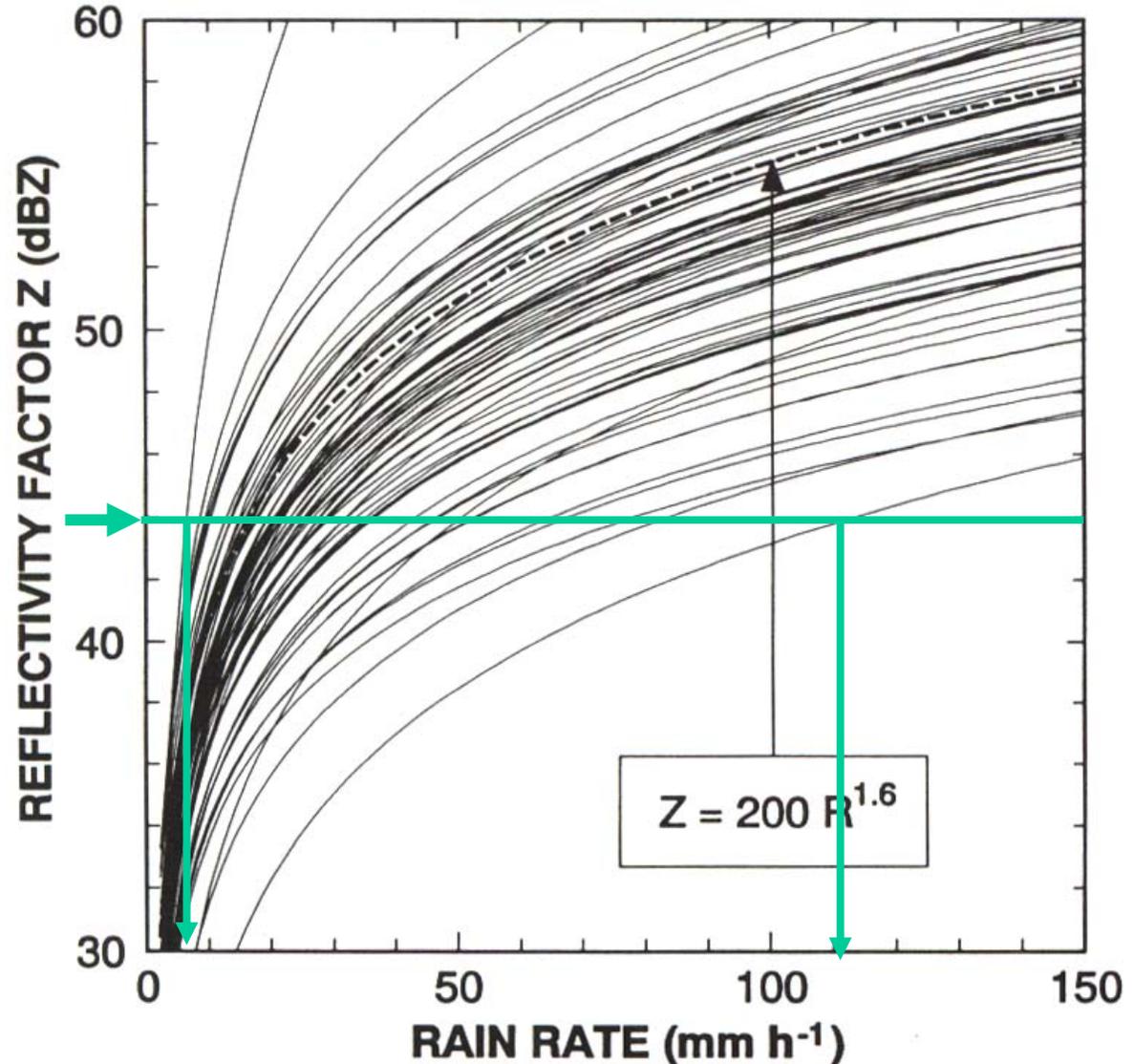
- 雨滴散乱強度:  $Z = \int_0^{\infty} N(D)D^6 dD$
- 降雨強度:  $R = \frac{\pi}{6} \int_0^{\infty} N(D)D^3 v(D) dD$

$D$ : 粒径  $N(D)$ : 粒径分布  $v(D)$ : 落下速度

- 「雨の降り方」によって散乱強度と降雨強度の関係が大きく変化する

# 降雨強度と散乱強度の関係

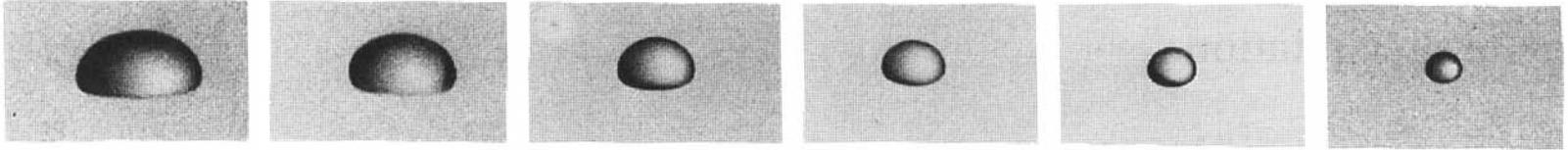
- 同一の降雨強度でも降雨粒径分布により散乱強度に10倍以上の差が出ることがある
- 何らかの補正が必要



# 降雨推定精度の改善法

- レーダー-AMeDAS法: 地上降雨計雨量をレーダーのZで補間する(気象庁)
- ドップラー法: 散乱波のドップラー効果により落下速度  $v(D)$  を推定(米国の観測網)
- 2周波法: 雨滴散乱強度の周波数依存性を利用(GPM衛星で利用予定)
- 2重偏波法: 雨滴の扁平性を利用

# 2重偏波レーダー

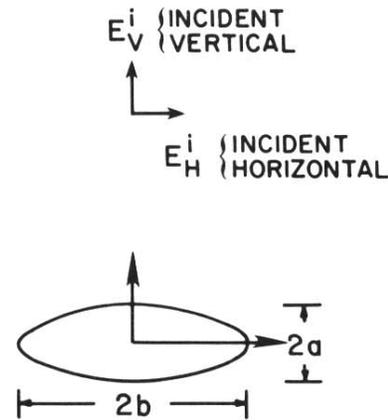
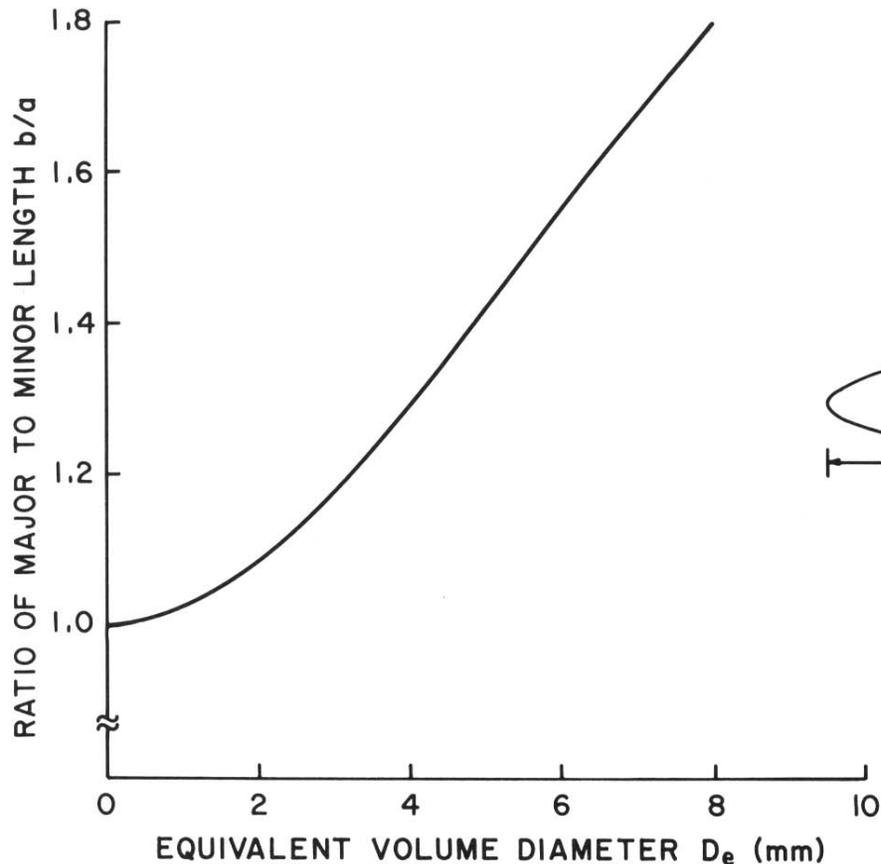


- 雨滴は大きいほど扁平となる

- 垂直・水平偏波の散乱強度比

$$Z_{DR} = 10 \log(\eta_{hh} / \eta_{vv})$$

を測定し平均粒径を推定する



# 衛星搭載降雨レーダー

## TRMM-PR

太陽電池パドル  
Solar Array

追跡・データ中継用アンテナ  
High Gain Antenna (HGA)

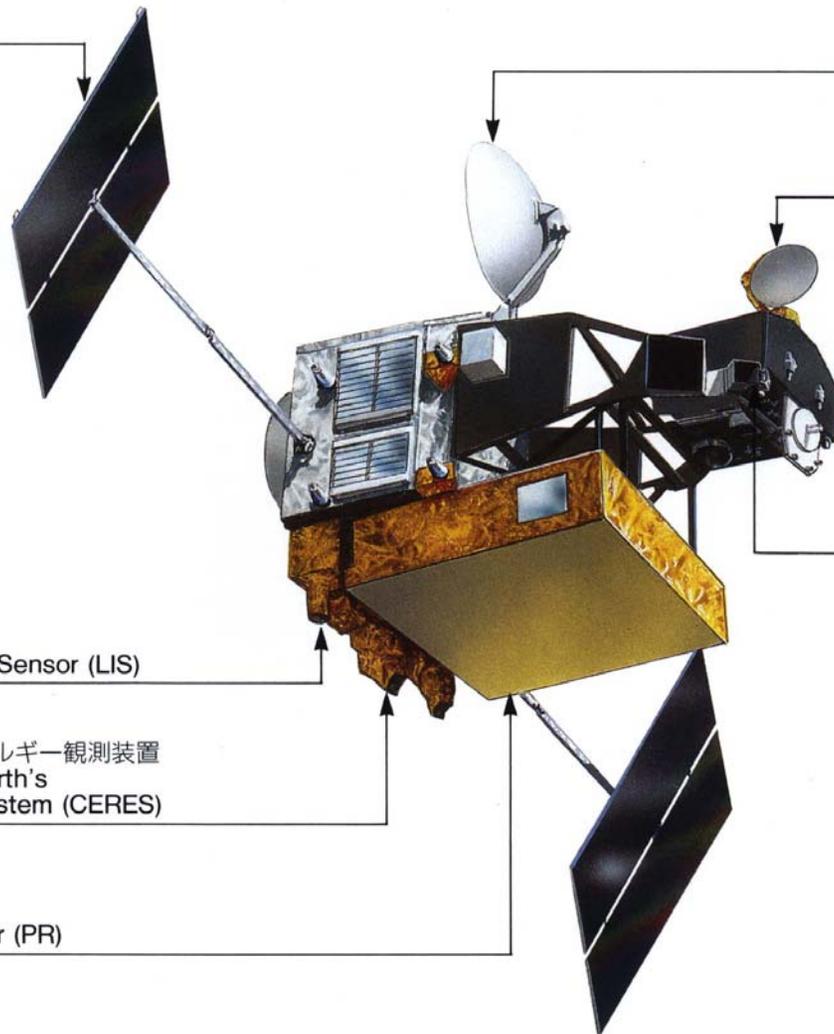
TRMMマイクロ波観測装置  
TRMM Microwave Imager (TMI)

可視赤外線観測装置  
Visible Infrared Scanner (VIRS)

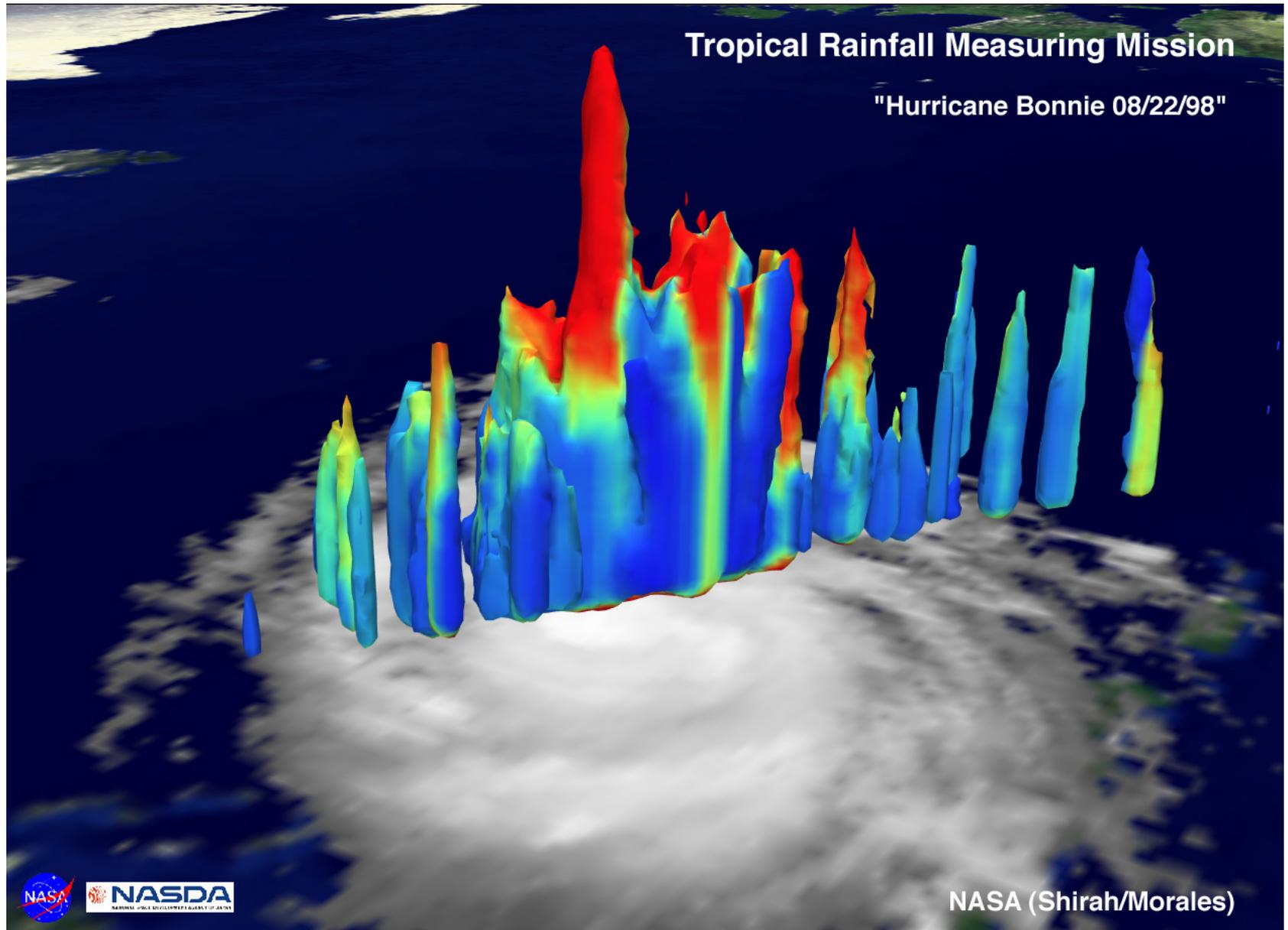
雷観測装置  
Lightning Imaging Sensor (LIS)

雲及び地球放射エネルギー観測装置  
Clouds and the Earth's  
Radiant Energy System (CERES)

降雨レーダー  
Precipitation Radar (PR)

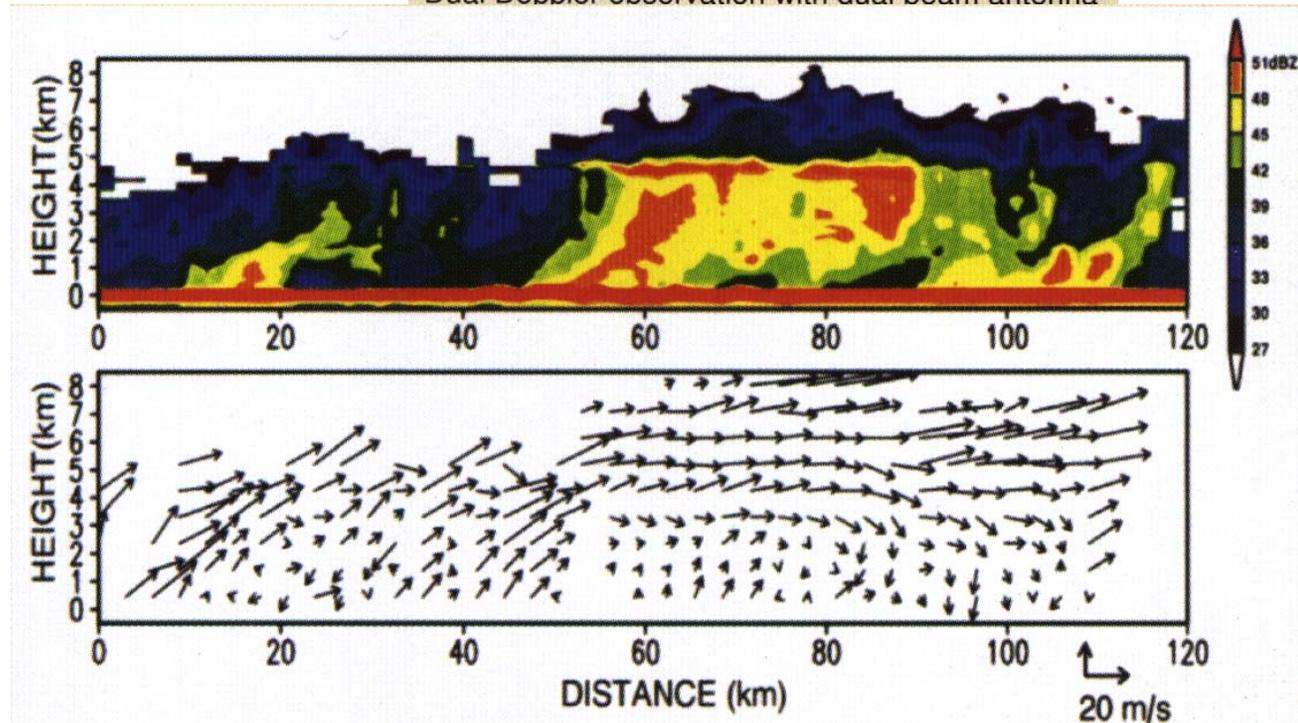
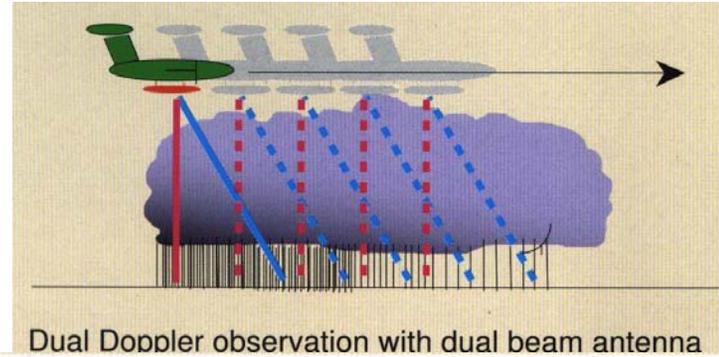


# TRMM-PRによるハリケーンの観測例



# 航空機搭載ドップラーレーダー CAMPR (情報通信研究機構)

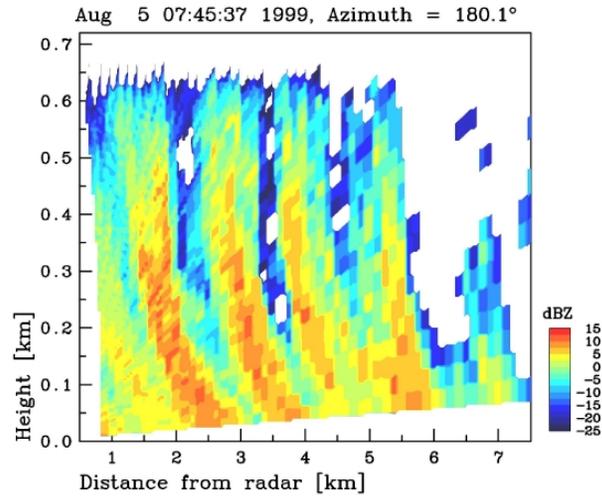
- 2ビームで同一地点を異なる方向から観測し速度ベクトルを推定
- 進行方向に直交する面内でビームを走査することにより3次元速度場を観測可能



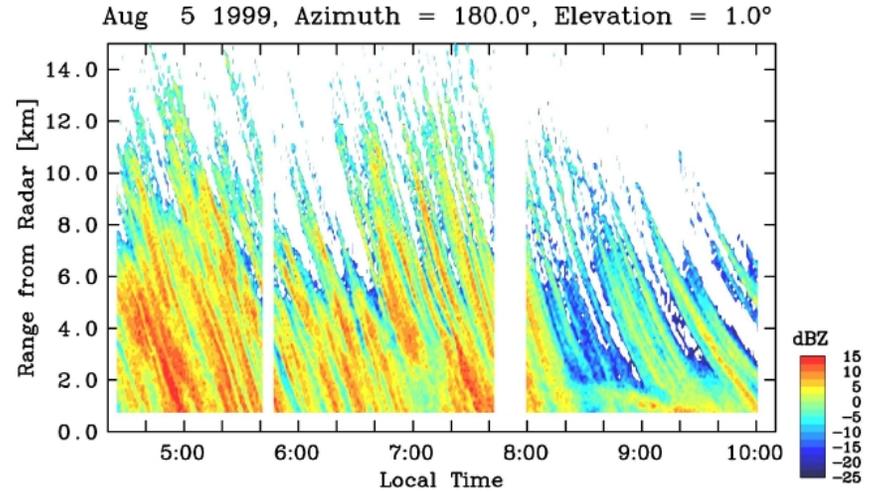
# ミリ波(35GHz)気象ドップラーレーダー (三菱電機・京都大学)



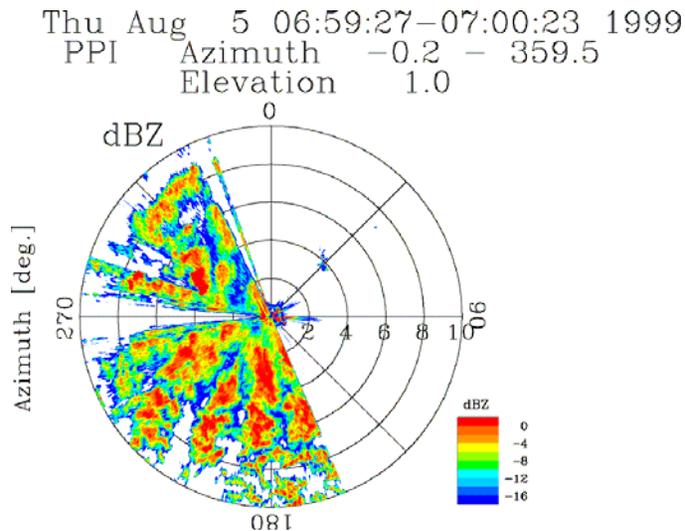
# ミリ波ドップラーレーダーによる霧の観測



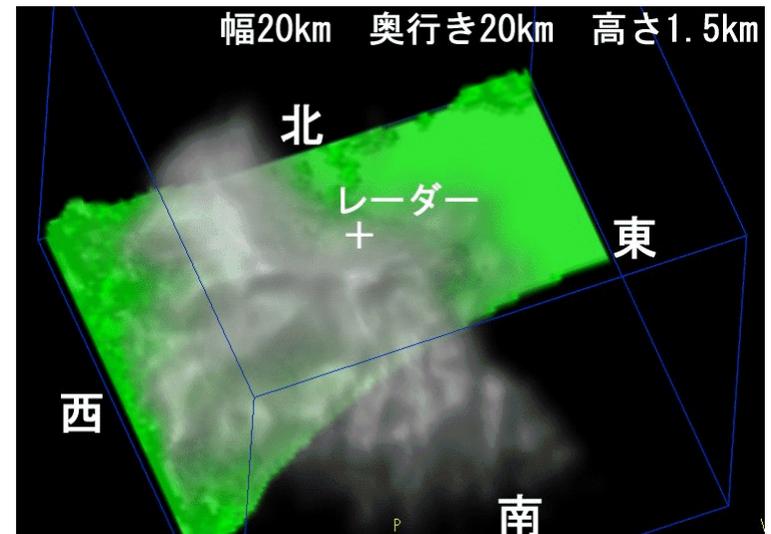
鉛直断面



時間距離変化



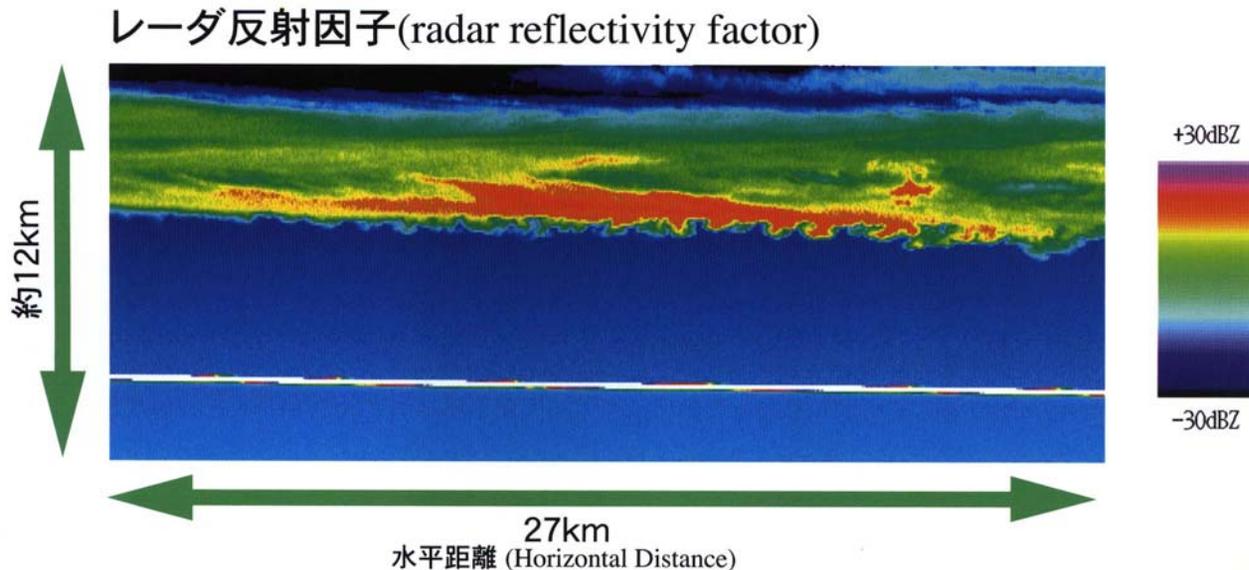
水平分布



3次元表示

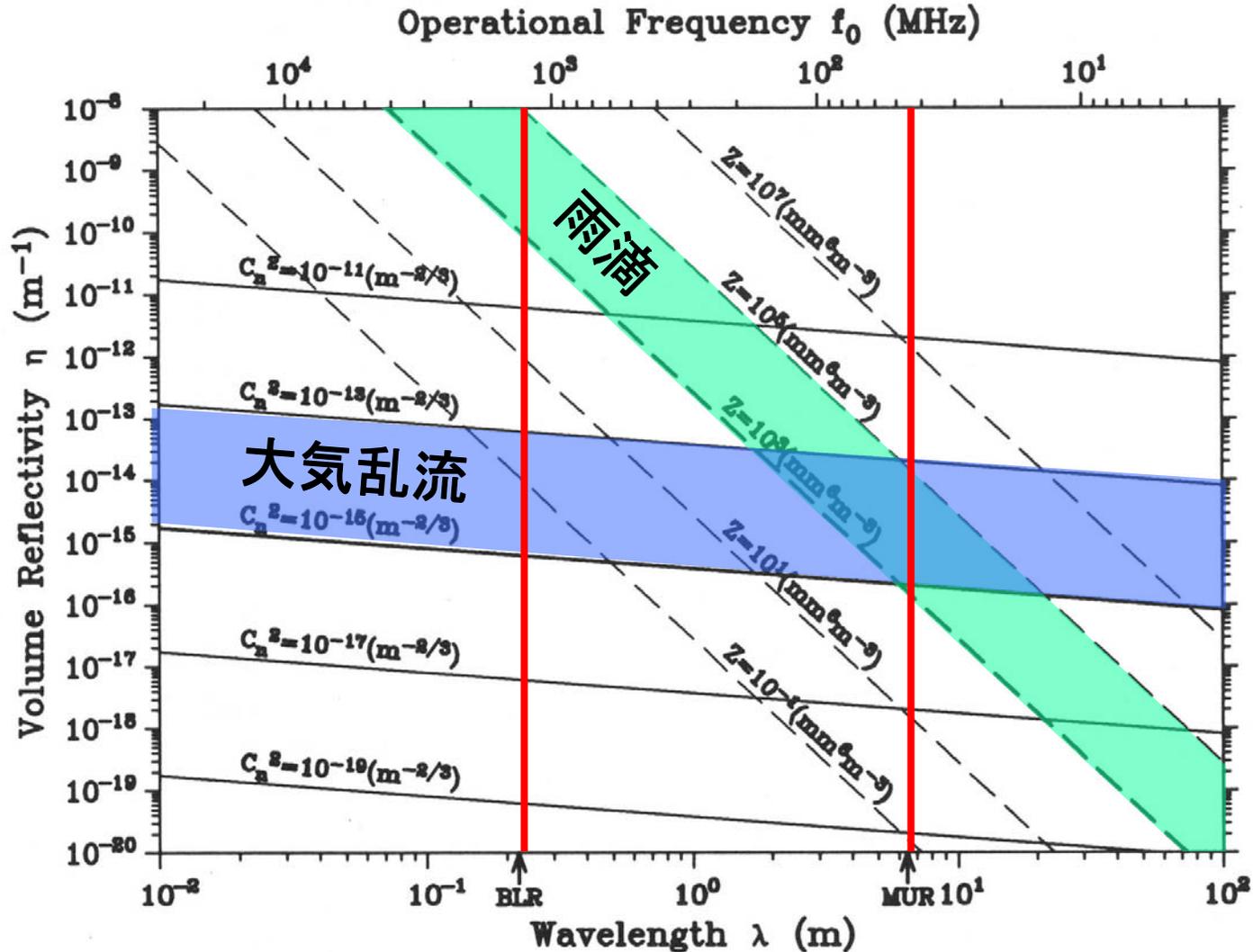
# 航空機搭載雲レーダー SPIDER (情報通信研究機構)

- 微小な雲粒を捉えるため  
95GHzを使用
- 進行方向に直交する面内  
でビーム走査し3次元画像  
を観測

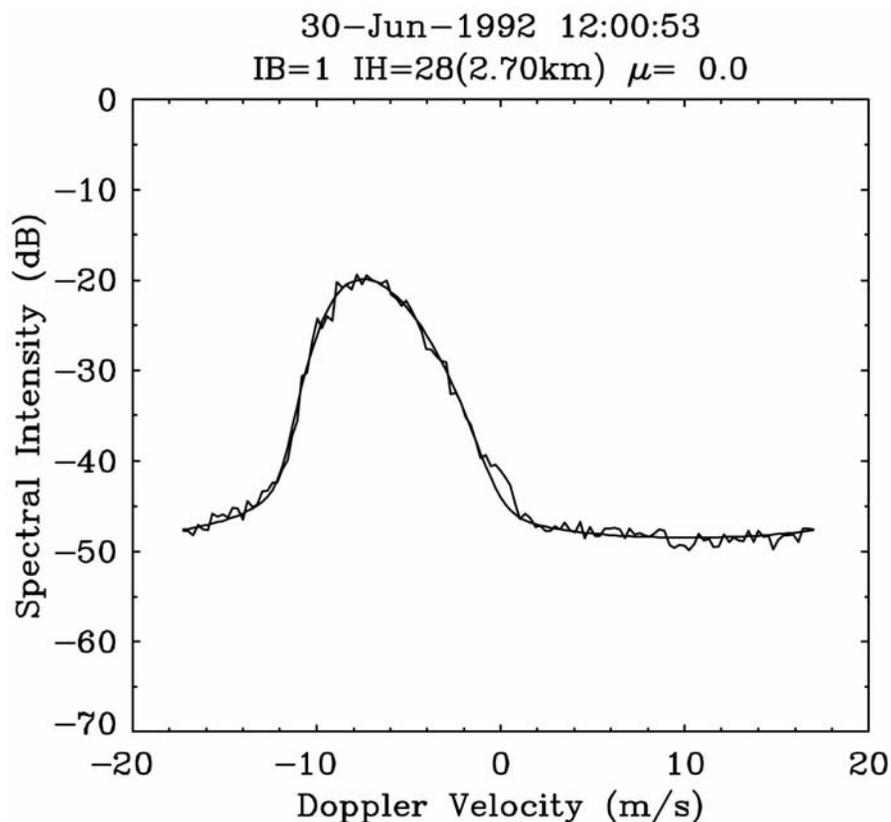


# 降水粒子からの散乱と 大気乱流による散乱

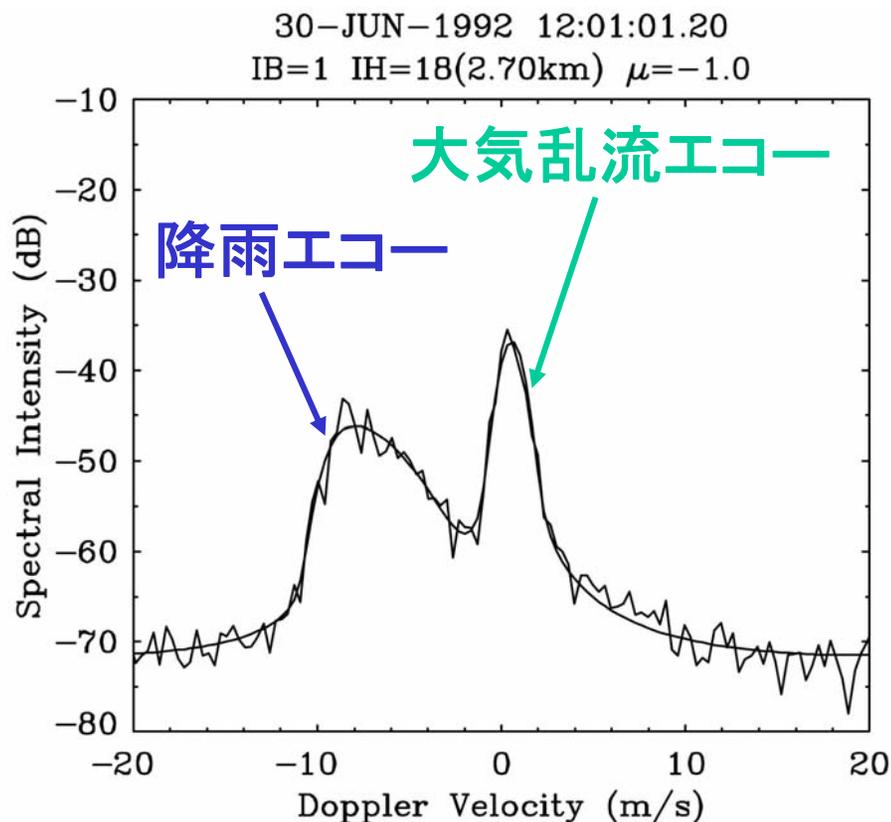
- 雨滴: 波長の  
の-4乗に  
比例
- 大気乱流:  
波長の  
-1/3乗に  
比例



# 境界層レーダー(1.3GHz) と MURレーダー(46.5MHz)

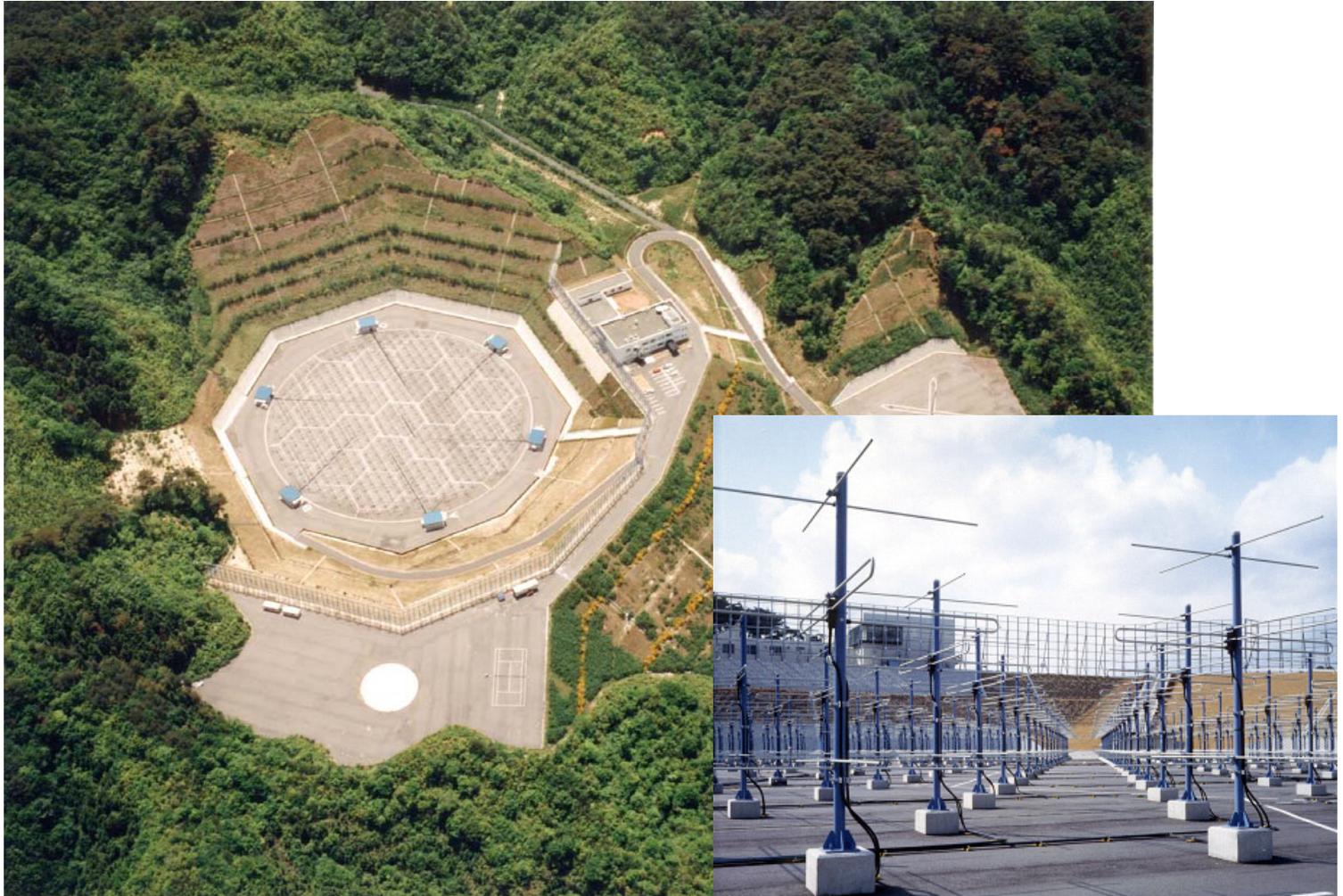


アンテナ直径: 2m  
送信電力: 1kW



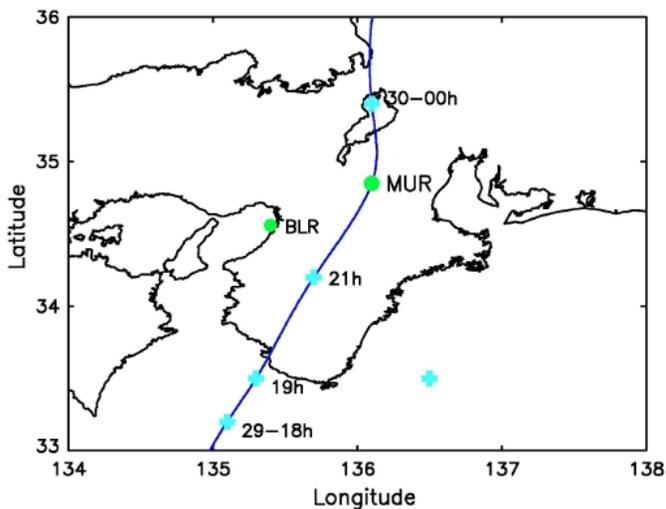
アンテナ直径: 103m  
送信電力: 1MW

# MUレーダー (京大大学生存圏研究所)

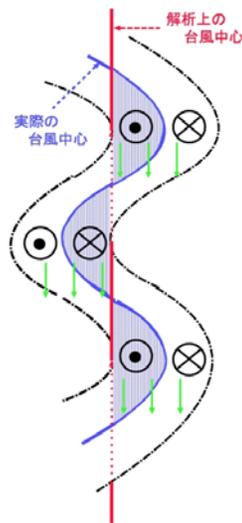


(滋賀県甲賀市信楽町; 1984年)

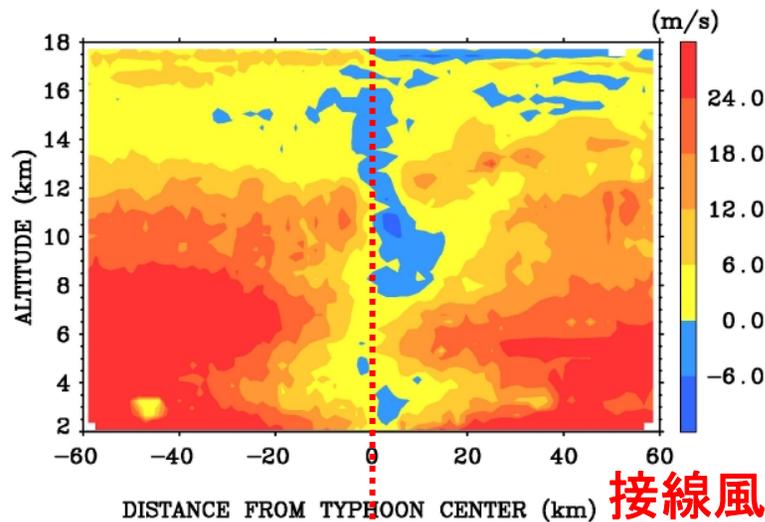
# MUレーダーによる台風9426号の観測



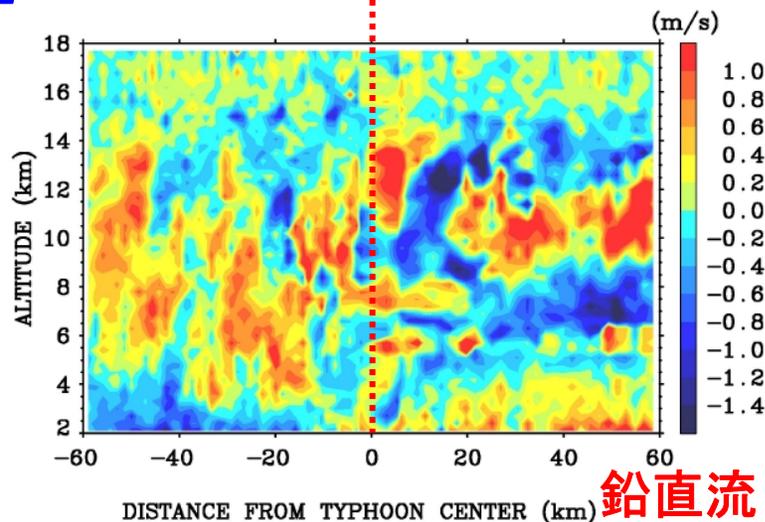
台風の経路



眼の螺旋構造



台風中心



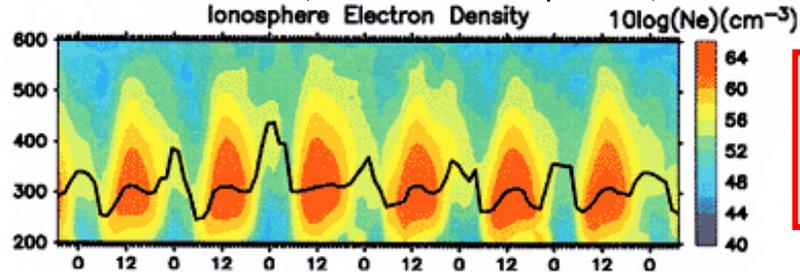
台風が中心がMUレーダー上空を通過  
台風が眼が螺旋構造  
眼の内部で下降流

➡ 直接観測

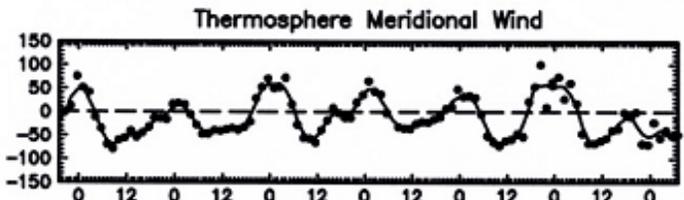
# 中層大気と電離圏の大気波動

時間変動

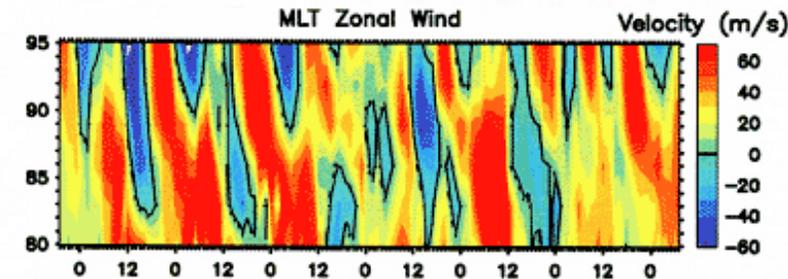
MTEC-E (Oct. 20 -27,2000)



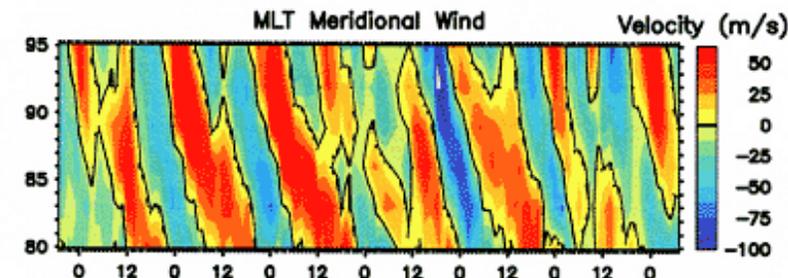
電離圏



熱圏

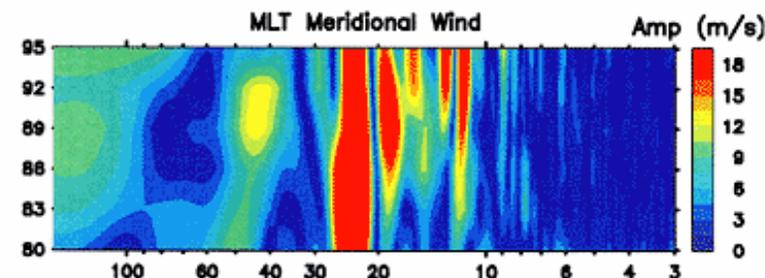
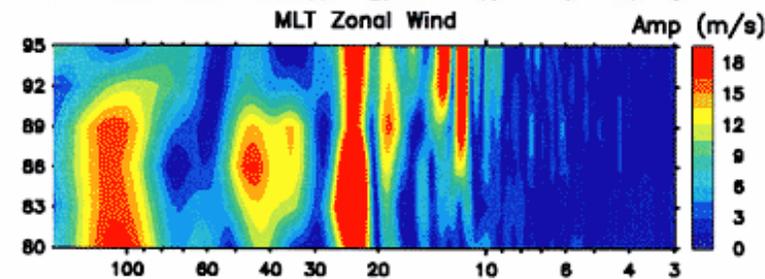
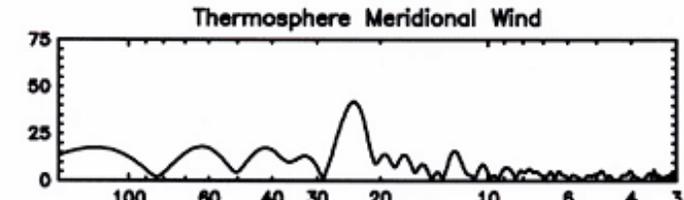
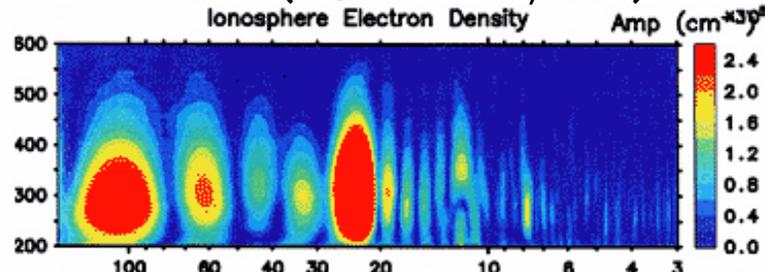


中間圏

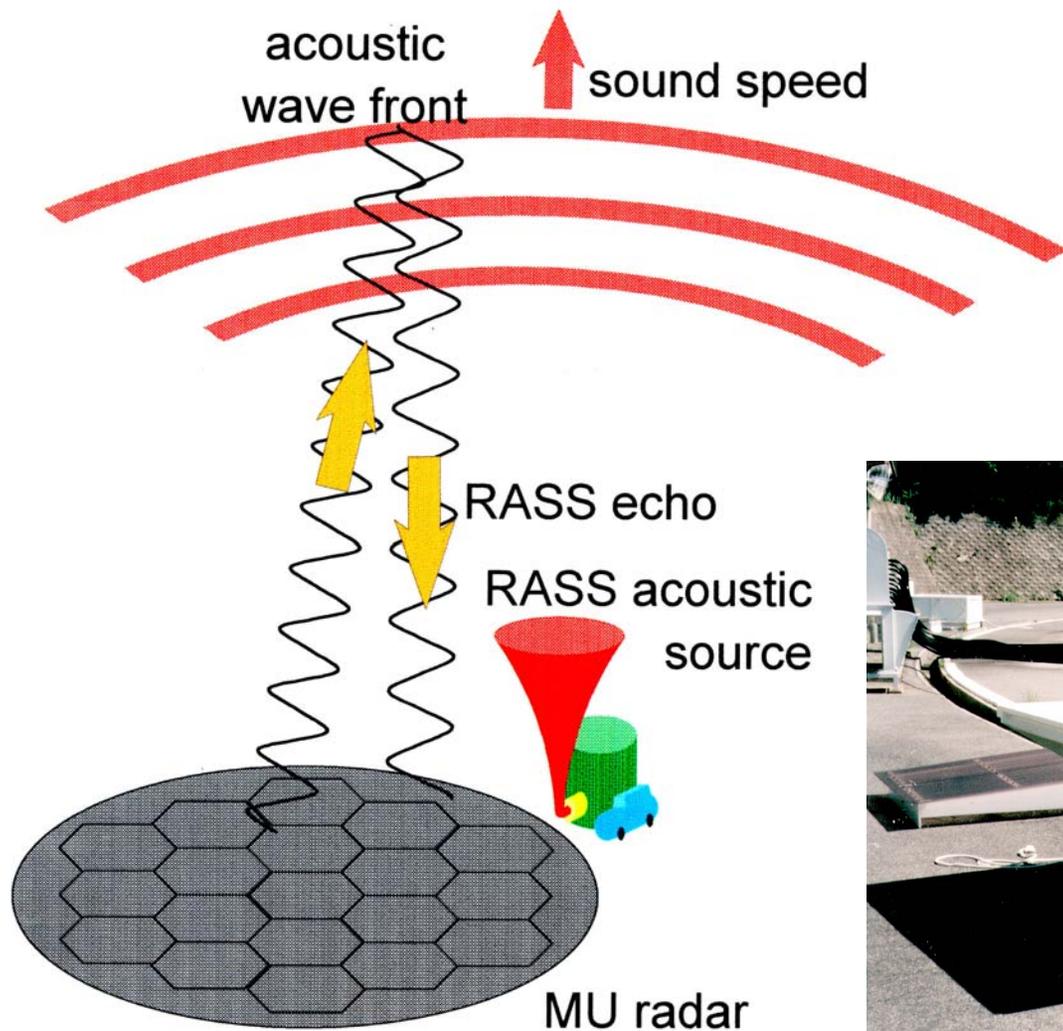


スペクトル変動

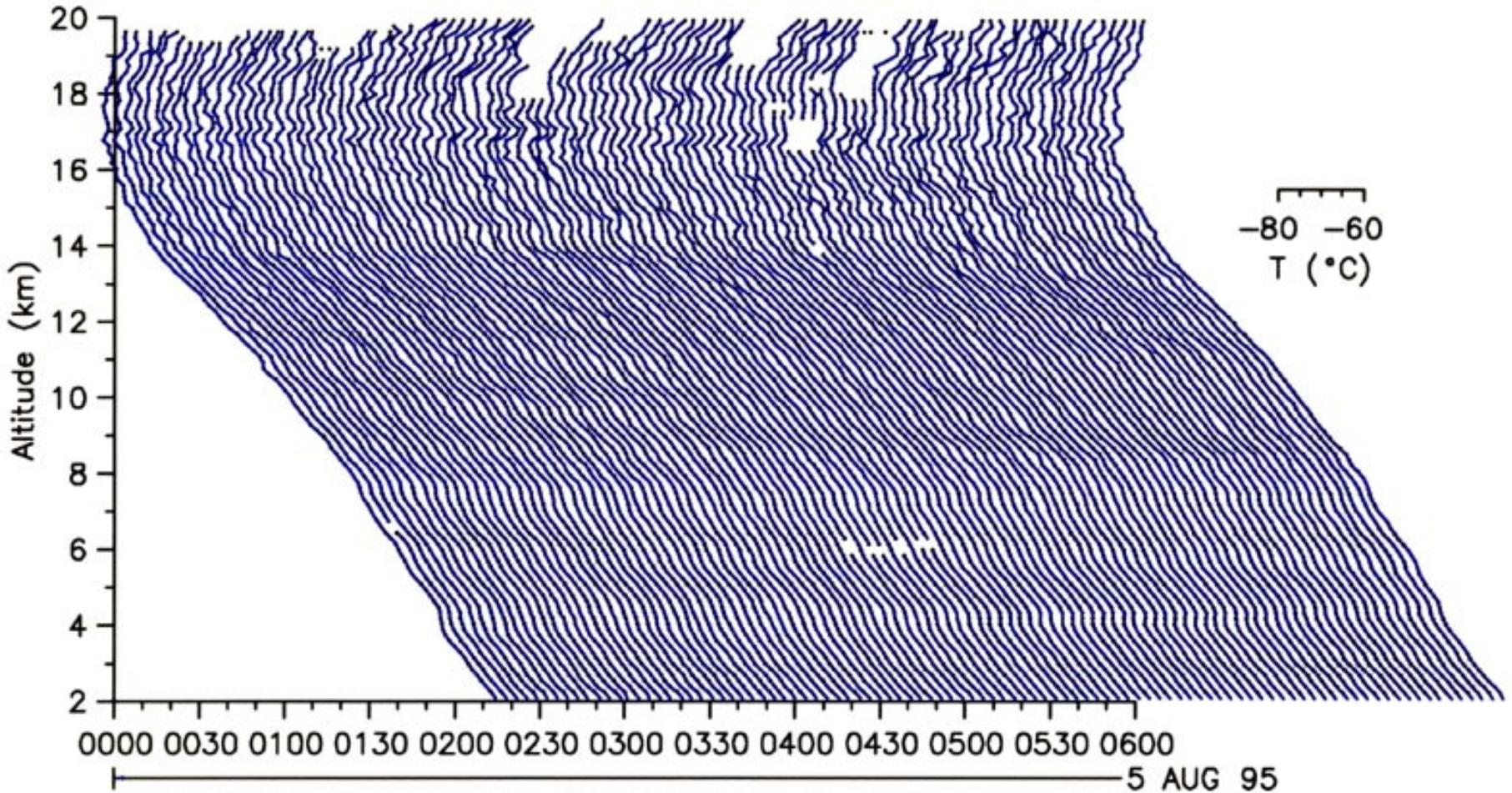
MTEC-E (Oct. 20 -27,2000)



# 電波・音波併用法(RASS)による大気温度推定



# RASSによる大気温度の推定

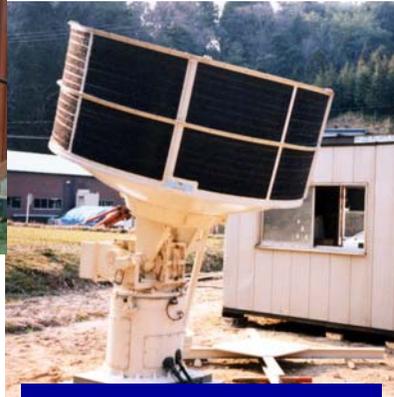


約3分毎に温度推定可能

# 小型大気レーダーの開発(京都大学)



Lバンド境界層レーダー1号機



1号機(改良版)



Lバンド境界層レーダー2号機



Lバンド下部対流圏レーダー (LTR)

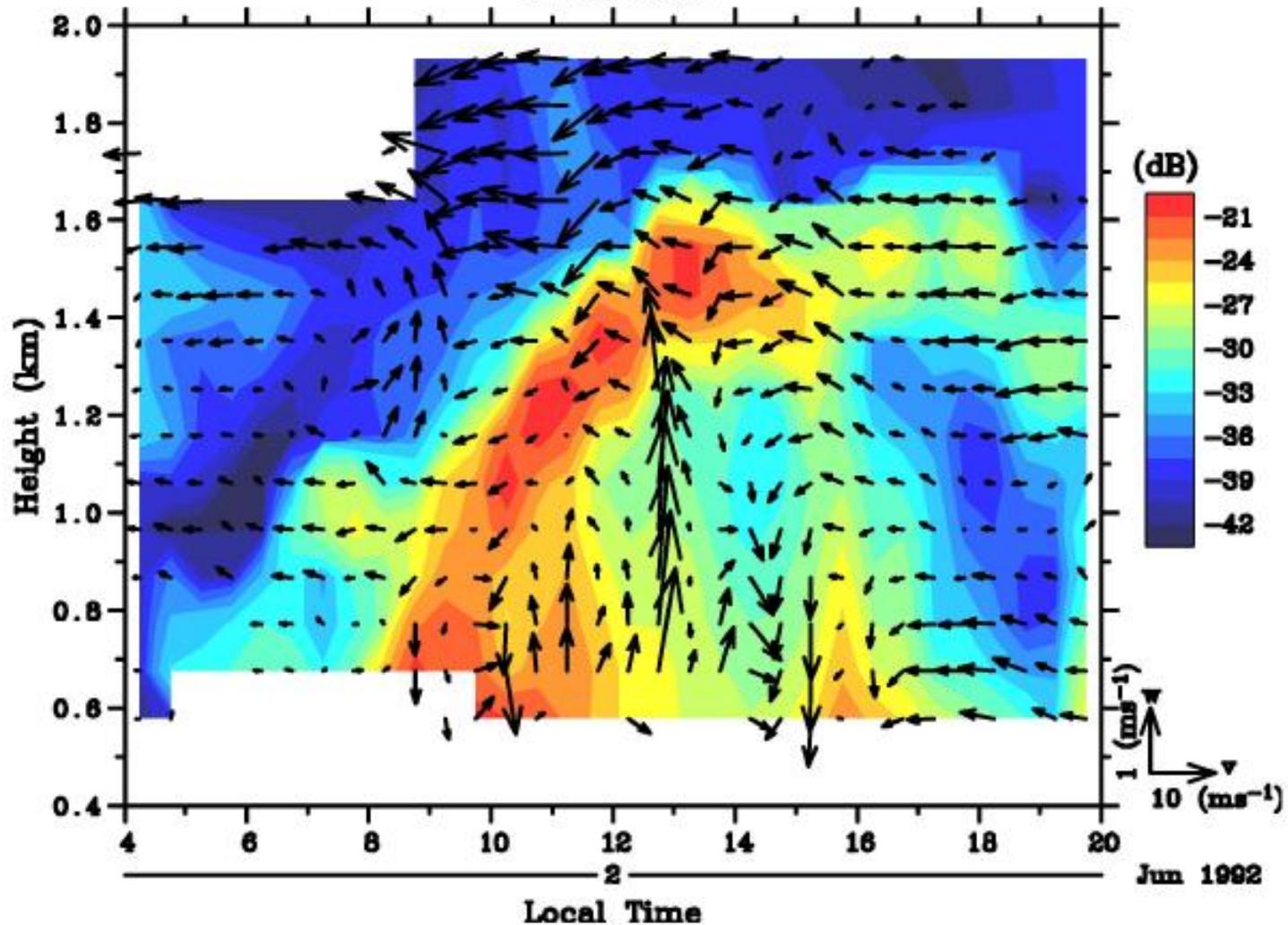


Sバンド境界層レーダー

# 境界層レーダーで観測された 大気境界層の日変化

Meridional-Vertical Velocity  
Echo Power (Az, Ze) = (90, 15)

2 Jun 1992





# 今後の展望

- 気象レーダー: 粒径分布の影響を補正する各種技術の開発、衛星・航空機・船舶など移動体搭載レーダーの普及、ミリ波など高周波への拡大(氷晶、霧、雲の定量的観測)
- 大気レーダー: ネットワーク観測の拡大・充実、光学測器(ライダー、イメージャ)などとのセンサーフュージョンによる観測領域・対象の拡張