

宇宙からの雲・降水観測

熊谷博

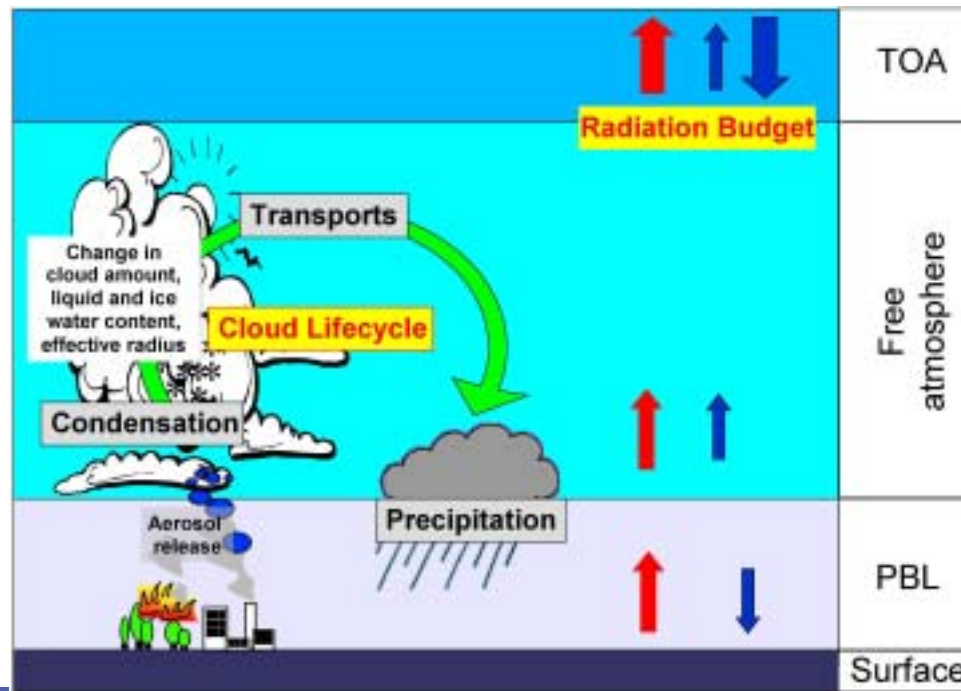
情報通信研究機構

(NICT: National Institute of Information and
Communications Technology)

URSI-F 500回記念講演会
2005年12月16日

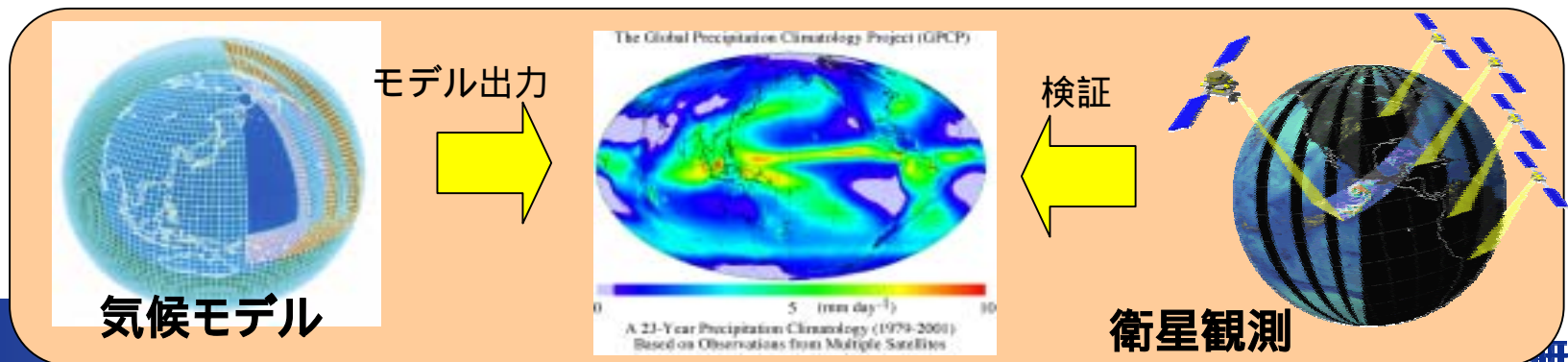
雲・降水観測の枠組み (1)

- ◆ 気候・気象現象の数値モデル化の進展： 地球シミュレータの利用
- ◆ モデル化における最大の問題点：
 - 雲・エアロゾルのモデル化: 雲・エアロゾルの垂直分布のデータ皆無
 - エアロゾル間接効果の評価と雲パラメタリゼーション
- ◆ モデルの検証用データとしての雲・降水観測
 - TRMM/ GPM観測データ
 - 雲レーダ/ライダーによる雲のプロフィルデータ (CloudSat, EarthCARE)



雲・降水観測の枠組み (2)

- 降水気象学の理解
 - 対流性降雨による潜熱プロファイル解析
 - エル・ニーニョ等の異常気象の理解
- 気象予報の精度向上
 - TRMMデータにより有効性実証
 - 台風進路予測の改善
 - GPMによる本格的データ実利用
- 水循環・水資源管理への利用
- 気候変動の検証
 - 降雨は、気候変動の高感度な指標

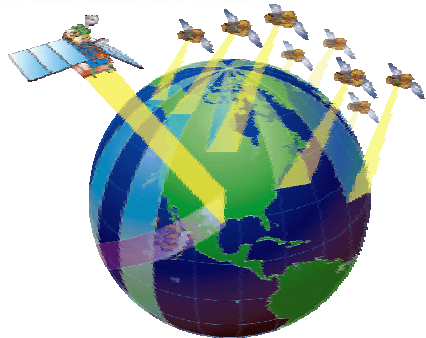
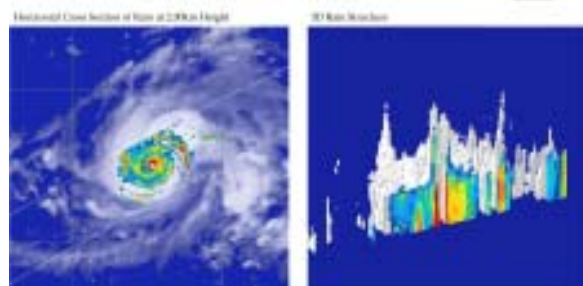


雲・降水の能動リモートセンシング

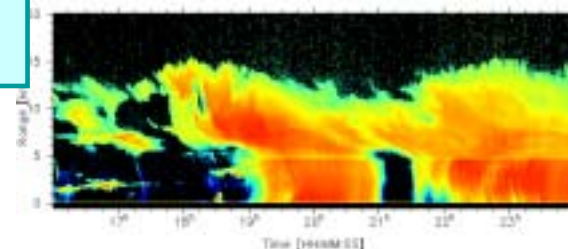
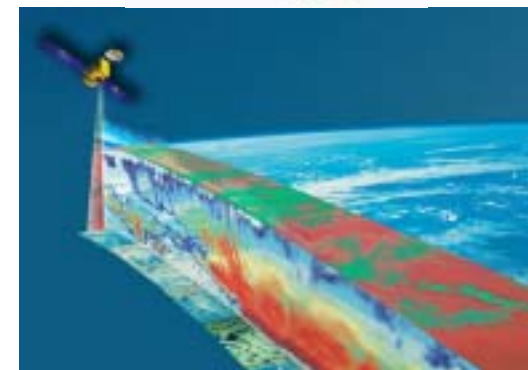


能動観測の重要性

1. 垂直プロファイル観測
(降雨タイプ識別、放射エネルギーフラックスの高度変化)
2. オーバーラップの問題解決
(多層雲、0度C層高度による降雨相識別)
3. 背景によらない高精度測定
(マイクロ波放射計との比較)
4. ドップラー観測機能
(力学、粒径、雲寿命等)



宇宙からの降雨観測



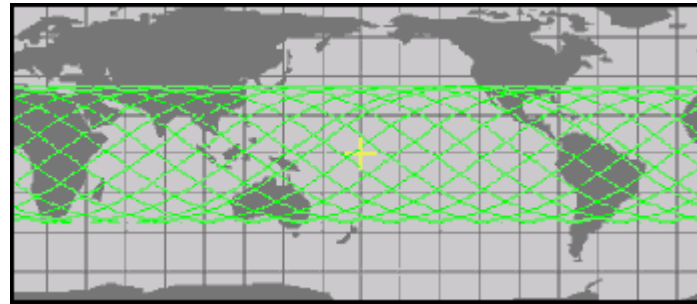
宇宙からの雲観測



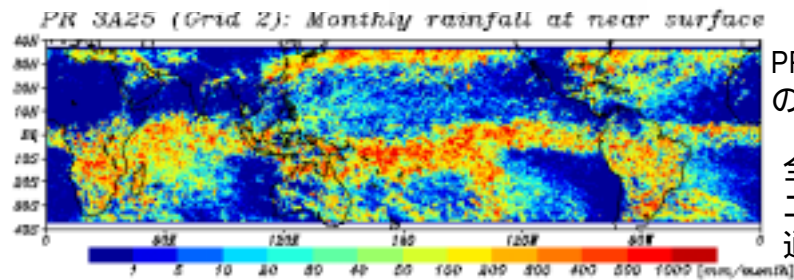
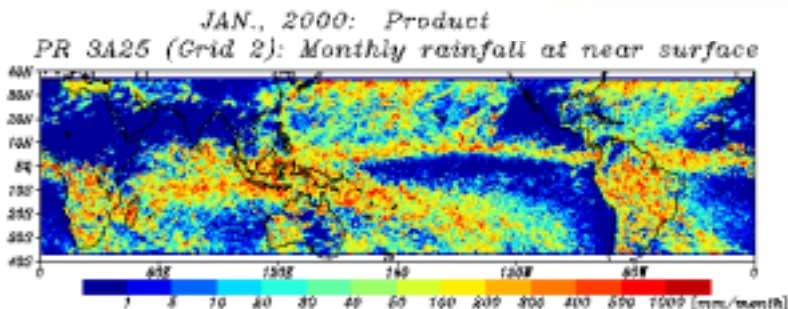
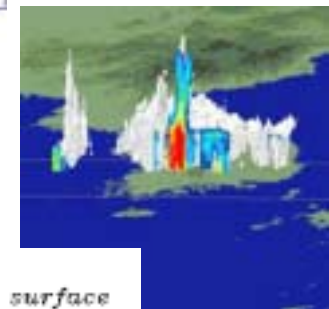
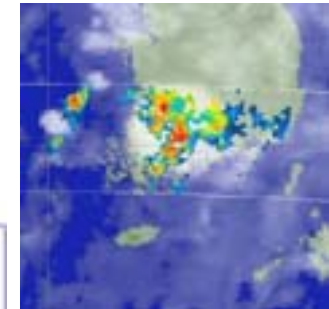
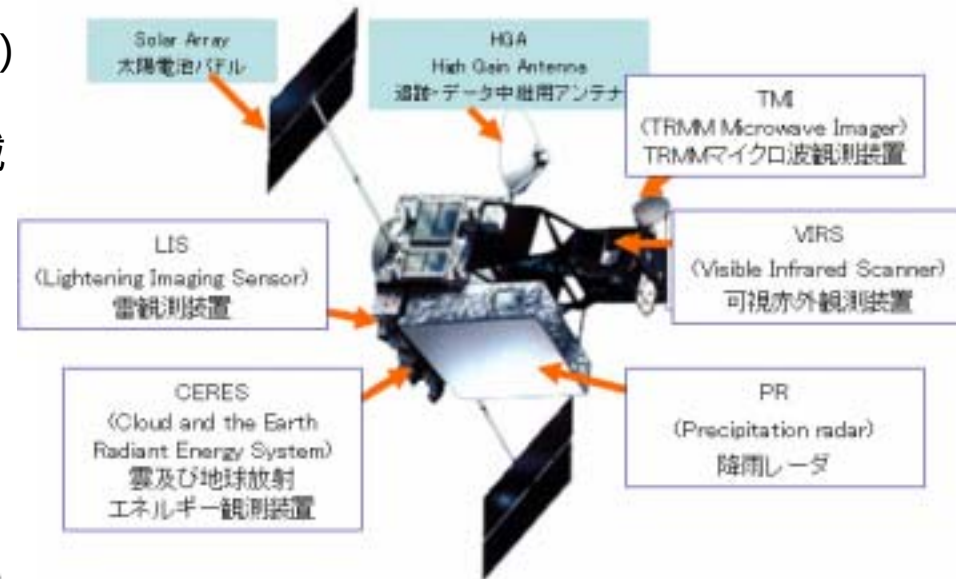
I. 宇宙からの降雨観測

TRMM/GPM: 開発と成果

TRMMの概要



熱帯降雨観測衛星 (TRMM)
 1997年11月打ち上げ
 世界初の降雨レーダ搭載
 ENSOの解明
 地球温暖化監視
 7年に及ぶ継続観測
 気象予報に導入
 洪水予測へ利用



PRが観測した韓国の豪雨

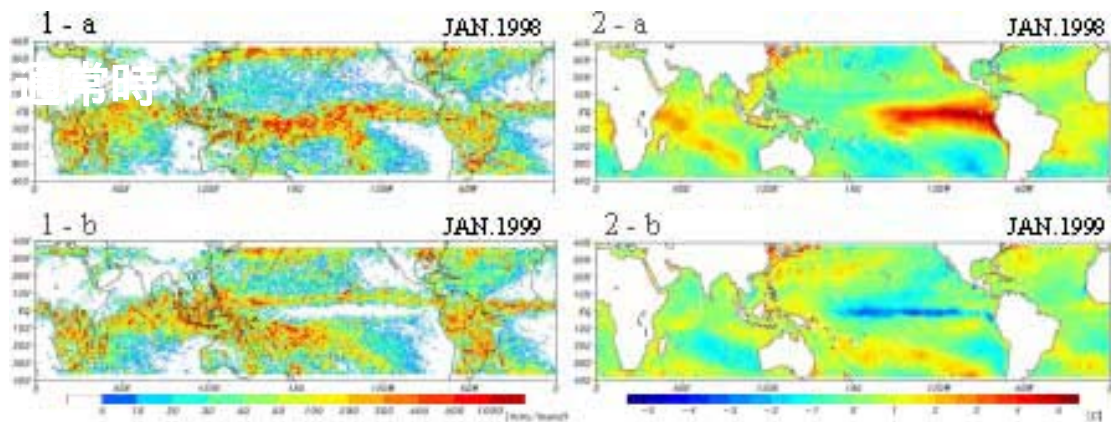
全球降水量
 エルニーニョ年(左)
 通常年(右)

エル・ニーニョ

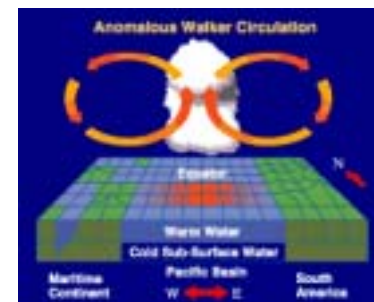
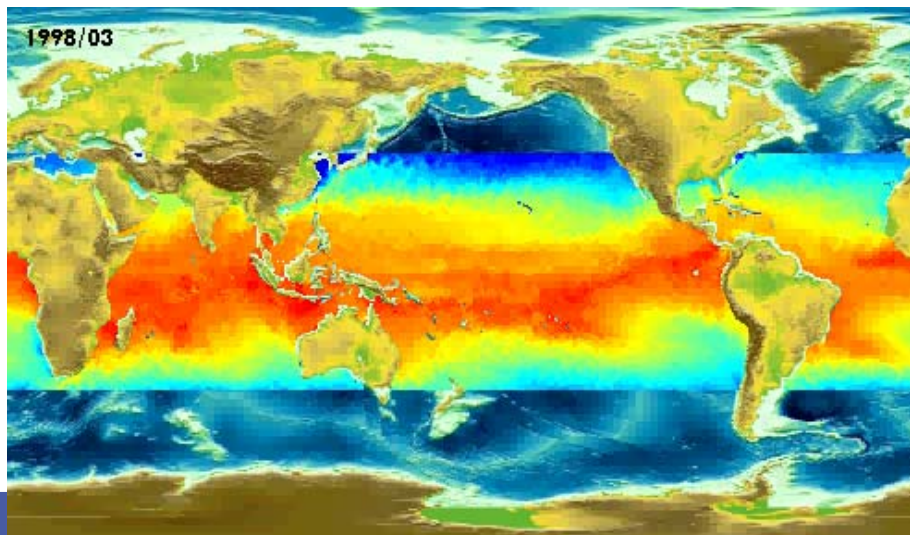
- 1997/98のエルニーニョと降水量の変動がTRMMにより観測された。

エルニーニョ時
降水量(左)
海面水温(右)

通常時



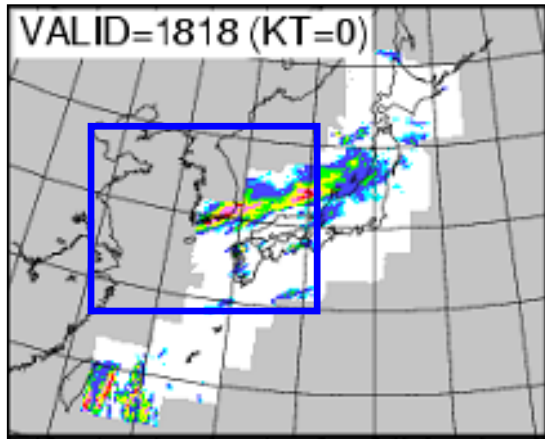
海面水温



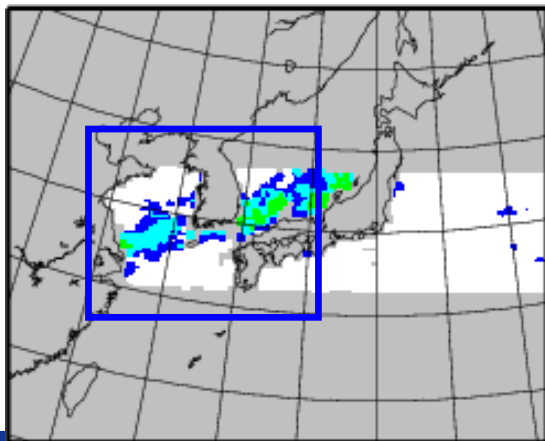
気象予報への応用

- データ同化手法によりTRMMデータを予報モデルへ
- JMAにおいて現業化

INPUT
Ground radar data

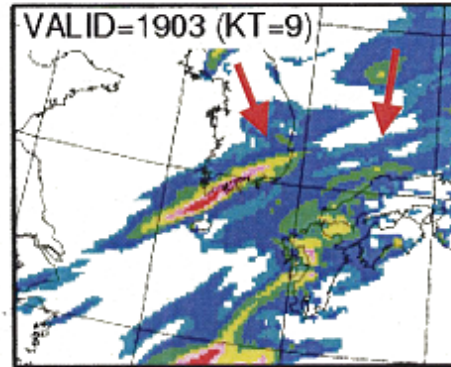


TRMM/TMI data

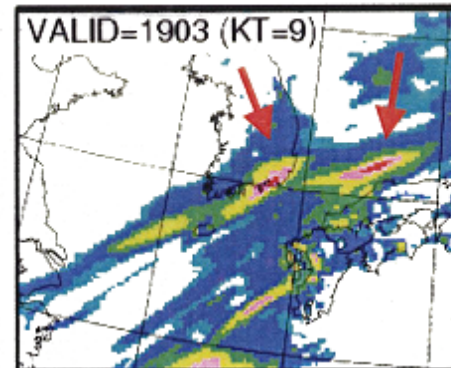


**9-hrs
Forecast**

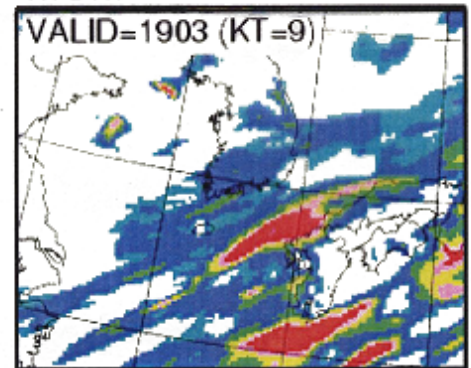
4D-VAR. without TMI



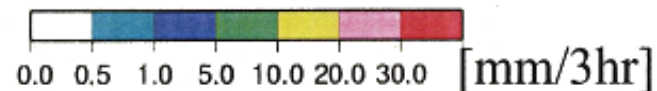
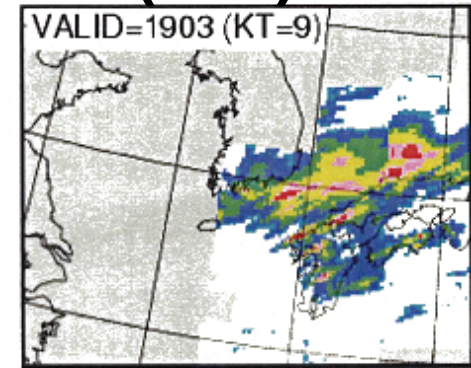
4D-VAR. with TMI



MSM



R/A (Truth)

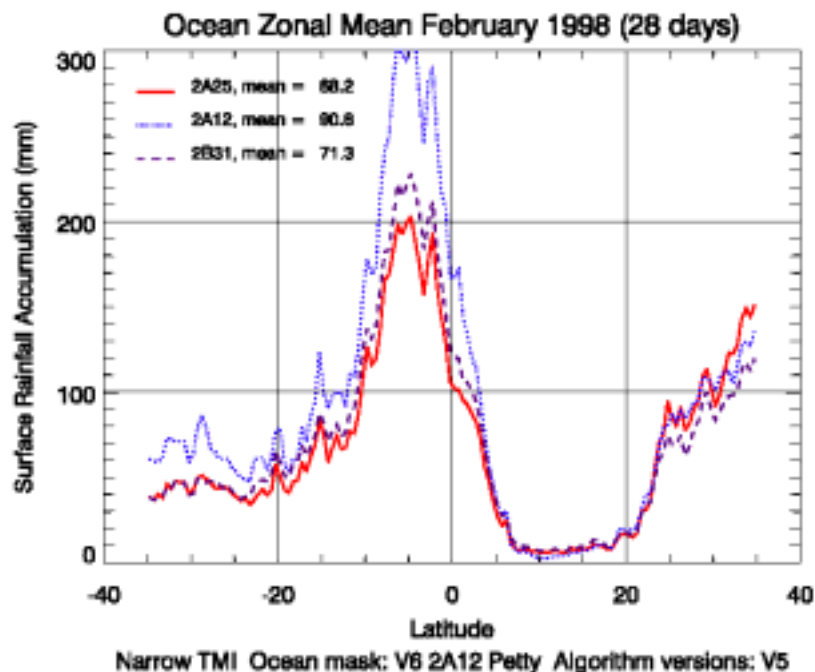


8

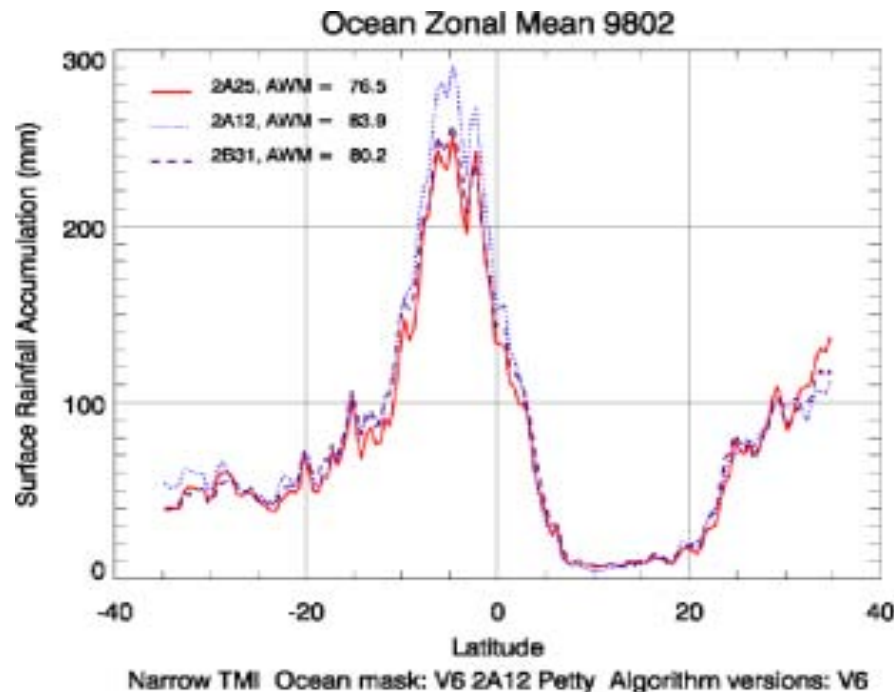
TRMMアルゴリズムの進化

昨年から再処理が始まったバージョン6(V6)のアルゴリズムでは異なるアルゴリズム間の経度方向に平均した降雨推定量の差が月平均で10%以下となった。

V5



V6

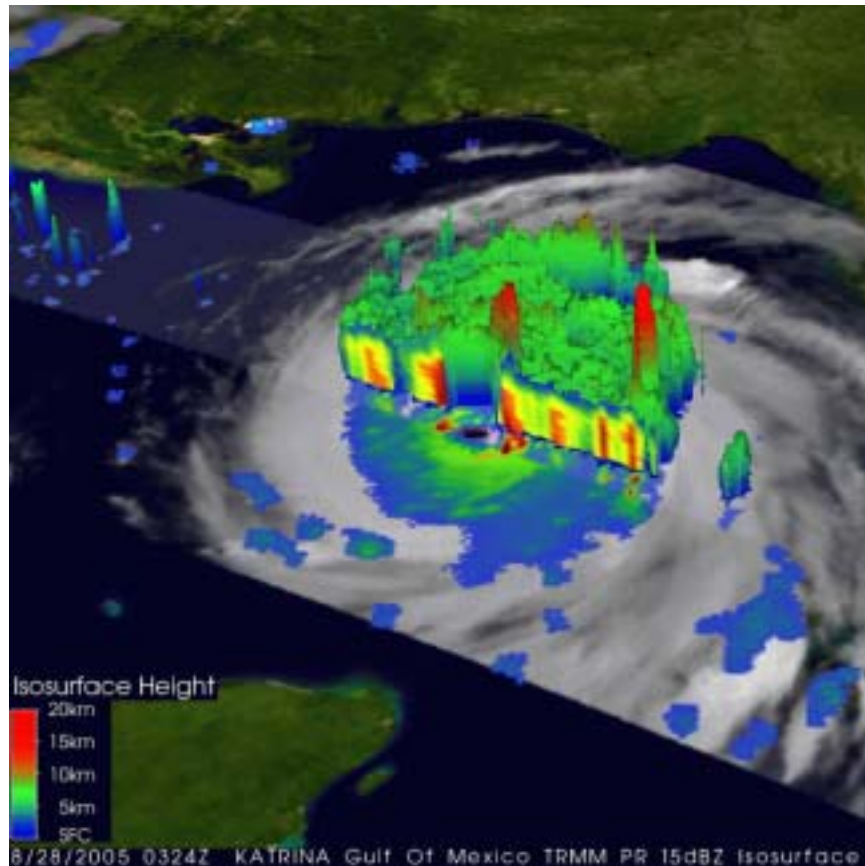


2A12: マイクロ波放射計(TMI)アルゴリズム

2A25: 降雨レーダ(PR)アルゴリズム

2A31: PR/TMI複合アルゴリズム

Recent results by TRMM PR applied to Hurricane monitoring and forecasts in USA



Hurricane Katrina (NASA HP)



Hurricane Wilma (NASA HP)

全球降水観測計画(GPM)の構成

主衛星

二周波降水レーダ

- ◇降水の高精度、高感度観測
- ◇マイクロ波放射計衛星群の校正、検証

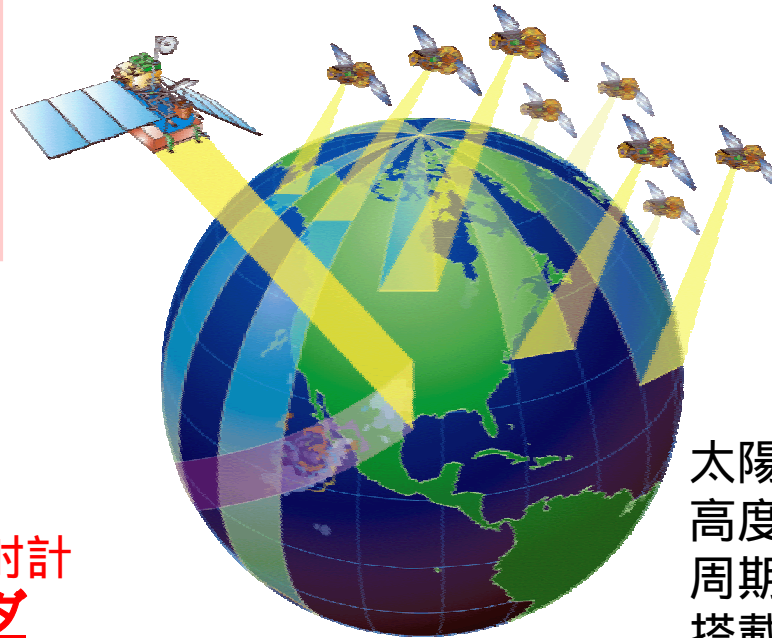
太陽非同期軌道

軌道傾斜角 約68度

高度 約400km

周期 約92分

搭載機器 **マイクロ波放射計**
二周波降水レーダ



副衛星群(8機)

既計画のNPOESS等の衛星と連携

+

マイクロ波放射計衛星を
数機打ち上げ

=

**約3時間毎の全球降水
観測**を実現

太陽同期軌道

高度 約600km

周期 約100分

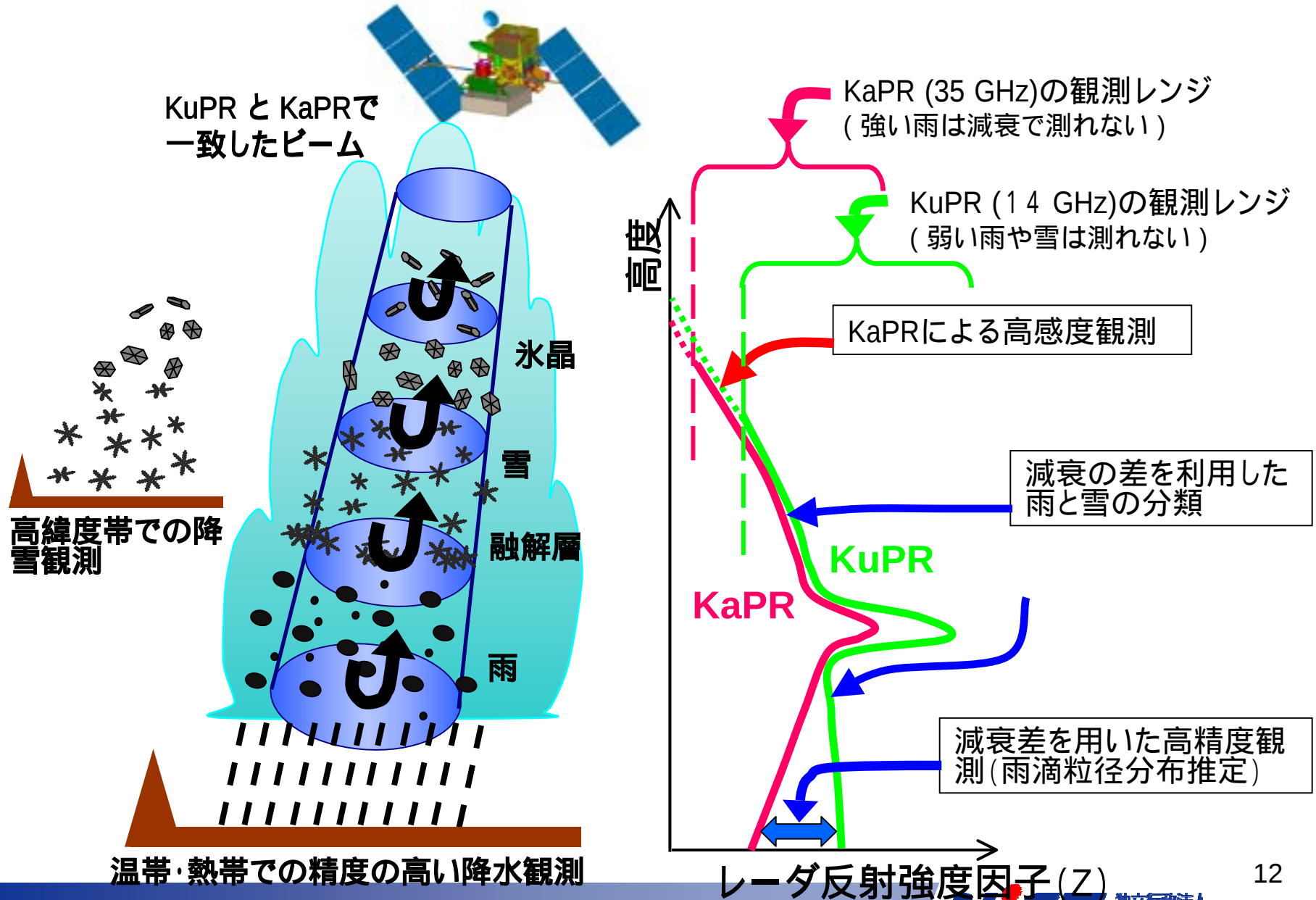
搭載機器 **マイクロ波放射計**他

打上げ: 2010年目標

ミッション: 5年目標

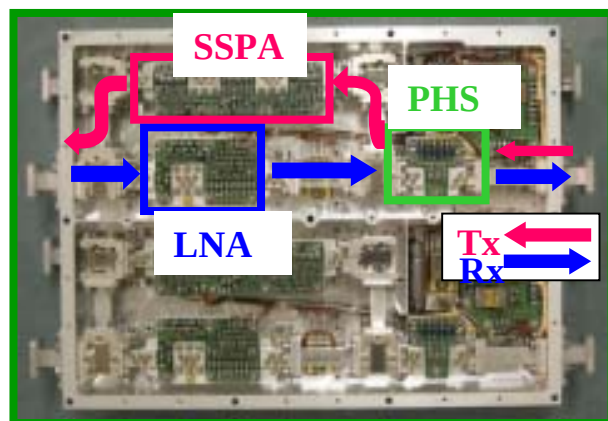
協力機関: NASDA(二周波降水レーダ、ロケット)、
NASA(主衛星バス、副衛星2機程度、マイクロ波放射計)、
ESA(副衛星)、NOAA(NPOESS) 等

2周波降水レーダの観測原理

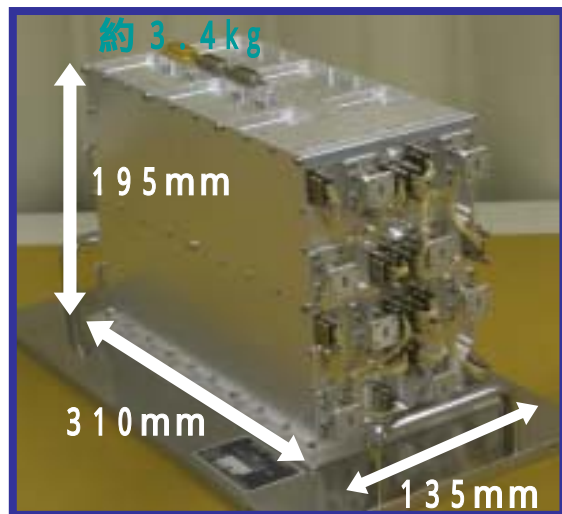


GPM開発計画の現状と今後の計画

KaPR TRモジュールBBM製作



KaPR 送受信 Unit BBMの内部



KaPR 送受信 Unit BBM 外観

➤35 GHz帯レーダTRモジュールBBM開発(H15)

➤NICTは、今後Ka帯レーダの送受信系のエンジニアリングモデルの開発を実施；その成果はJAXAに引き継がれ、衛星搭載用Ka帯レーダの開発が行われる。

➤二周波レーダアルゴリズムを開発し、GPMのデータ処理、降雨推定アルゴリズムに適用する。

➤地上降雨レーダ等を活用し、検証データを取得し、より高精度な降水観測を目指す。

➤GPMの実現と目標達成を目指す：全球降水マップの3時間毎の出力により、降水データの実利用、気象予報への導入、水資源管理、災害防止等へ貢献する。

GPMの科学のおよび社会的貢献

二周波降水レーダによる高精度観測

- 高感度化 (弱い雨や雪の観測)
- 正確な降水強度の推定
- 雨と雪の分離



GPMによる3時間毎の全球降水観測

— 地球温暖化、気候変動

気候変動に伴う降水量、雨域の変動のモニタリング

— 天気予報精度向上

準リアルタイムでの数値予報モデル利用

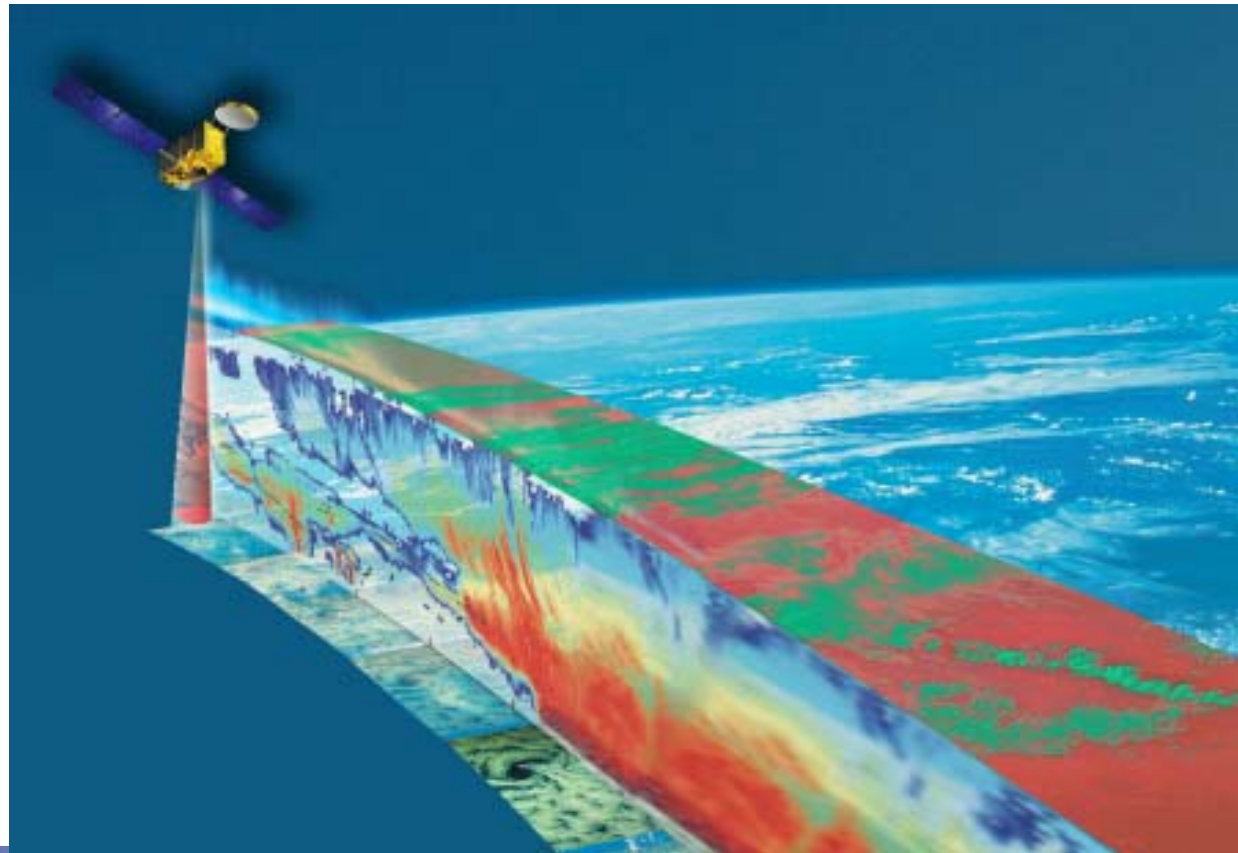
— 水資源管理

洪水予測、河川管理、ダム貯水量の調節、農業用水の確保

— 農業生産性予測

II 宇宙からの雲観測技術

雲・エアロゾル放射収支衛星計画: EarthCARE



EarthCAREの目的 -背景1-

地球温暖化を予測する
数値気候モデルの
現状(最新のIPCC)

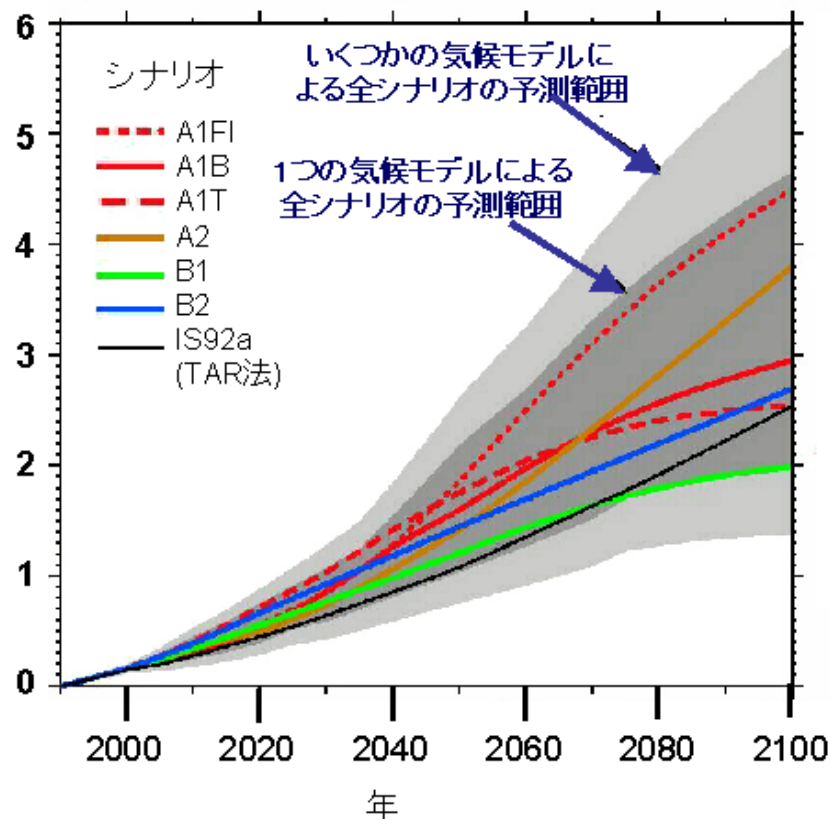
・100年後の温暖化

予測範囲:

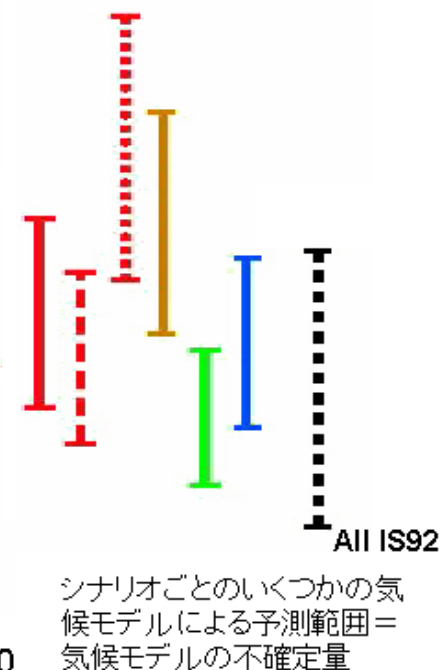
1.4 ~ 5.8 度

(排出量シナリオの幅
+ モデル間の誤差)

気温変化の予測と誤差範囲



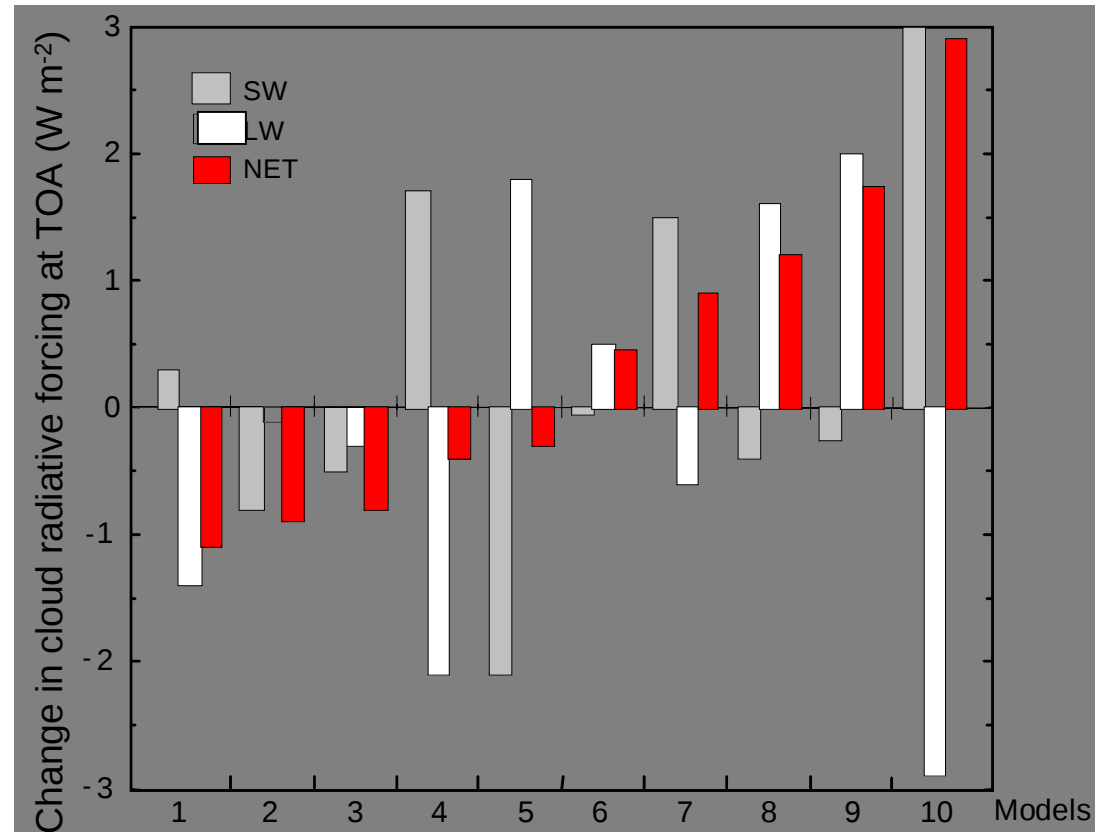
IPCC (2001)



EarthCAREの目的 -背景2-

雲のモデル化の困難さ (内部要因)

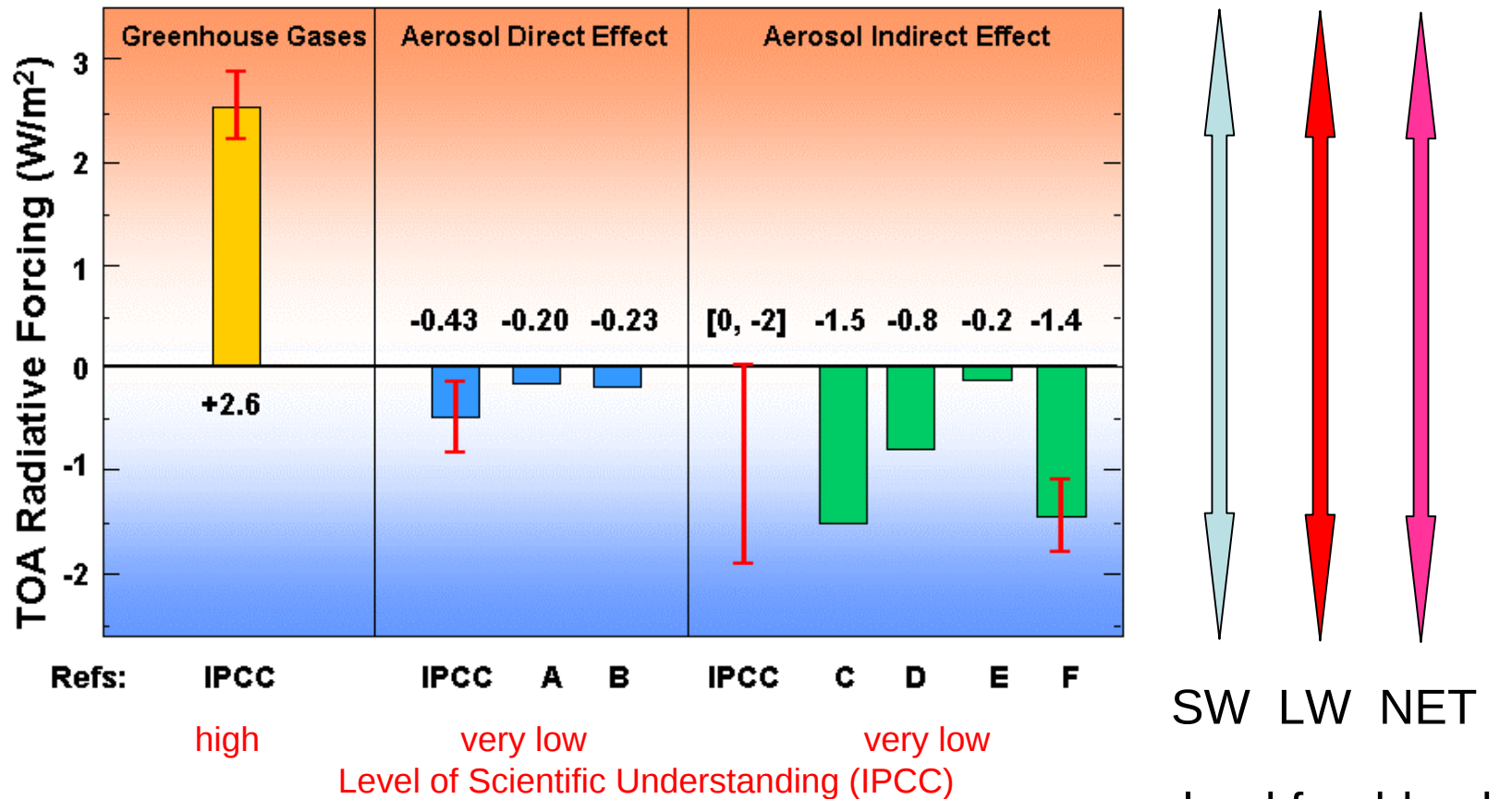
- ・雲による放射強制力の変化はモデルにより大きく異なる
- ・気候予測モデルの中で、雲の取り扱いが遅れている
- ・温暖化予測誤差の大きな要因であり、かつ最近においても改善されていない(IPCC)
- ・新しい観測手法/データが必要



Le Treut & McAvaney (2000)

Scientific Justification

Climate – Forcing Changes 1750 to 2000



Recent work:

- Reduced uncertainty for direct aerosol effect on radiation
- Still very large uncertainty on indirect effect on clouds (albedo and lifetime) and any effect on ice clouds still unknown.

EarthCAREの期待される成果と 社会的波及効果

- 地球温暖化予測における最大の不確定要因の
解明に対する最も効果的なアプローチ
- 雲・エアロゾルプロセスの理解と数値モデルの検証
 - 雲のパラメタリゼーションの検証と改善
 - エアロゾル間接効果の推定精度向上(雲の粒径、寿命)
- 地球温暖化予測精度の向上
 - モデルに起因する誤差を1/2
 - 数値気象・気候モデル改善

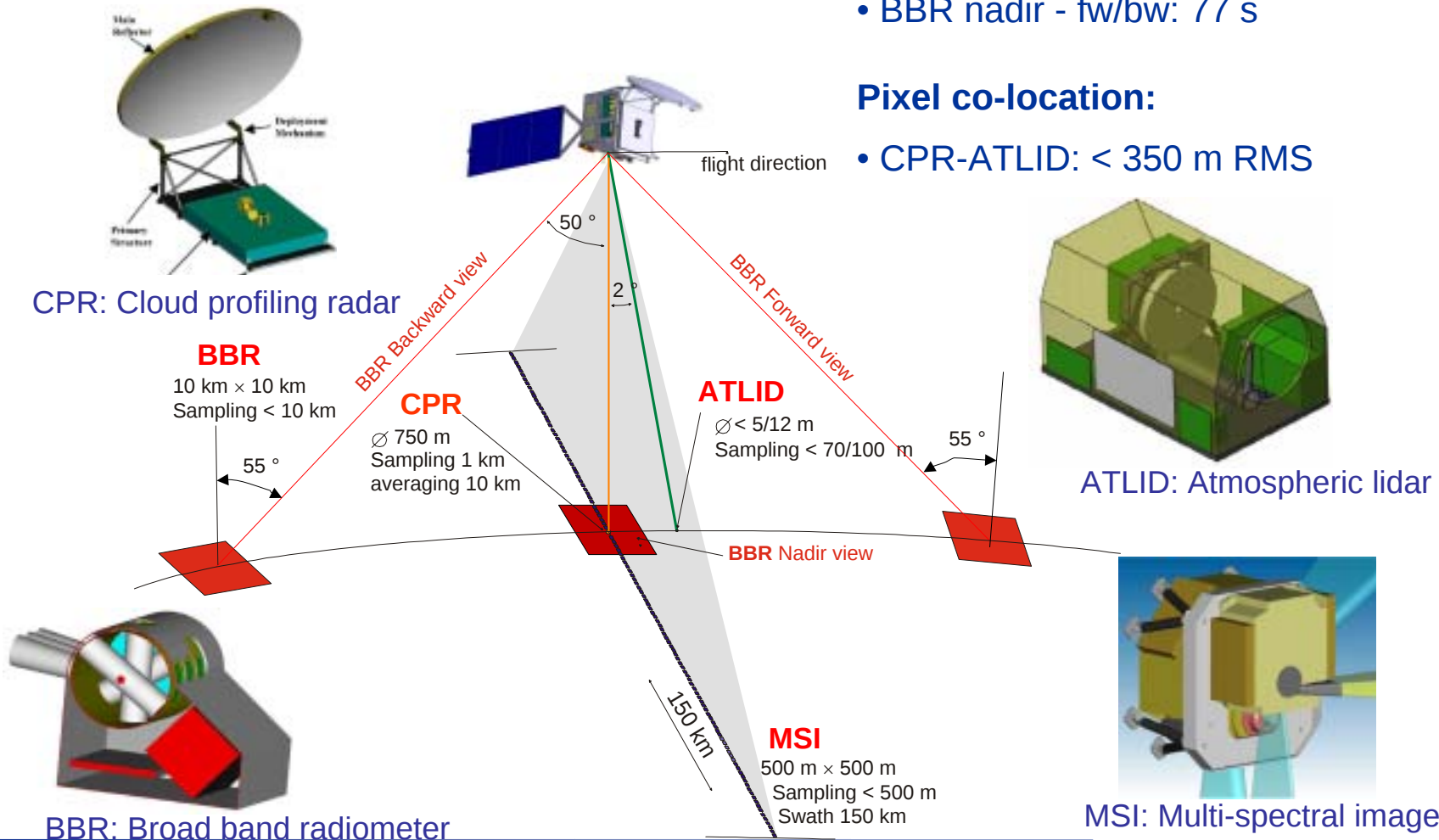
Instruments and viewing geometry

Time difference between acquisitions:

- CPR-ATLID: 2.2 s
- BBR nadir - fw/bw: 77 s

Pixel co-location:

- CPR-ATLID: < 350 m RMS



MSI: Multi-spectral imager 20

CPR設計概要



重量: 213 kg
消費電力: 300W

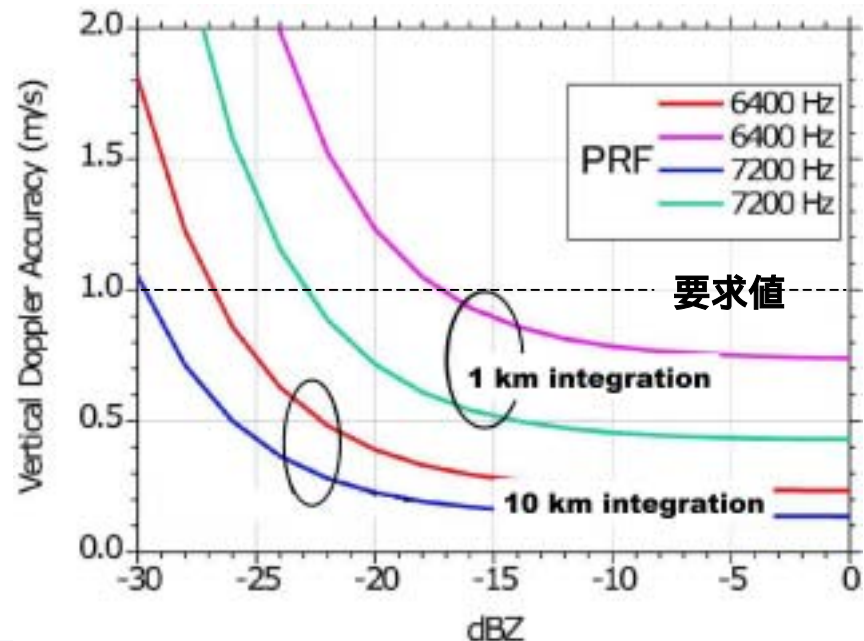
主要な要求条件および設計性能

中心周波数:	94.05 GHz
瞬時フットプリント(直径):	750 m
観測高度レンジ:	-0.5 km – 20 km (高緯度では12 km)
高度分解能:	400 m (100 m サンプリング)
沿軌道方向サンプリング:	1 km (900 – 1000 パルス積分)
感度:	≤ -36 dBZ at TOA (沿軌道10 km 積分)
ドップラー測定精度:	≤ 1 m/s (下図参照)

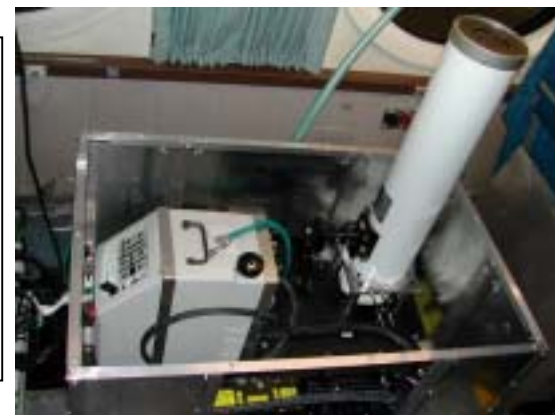
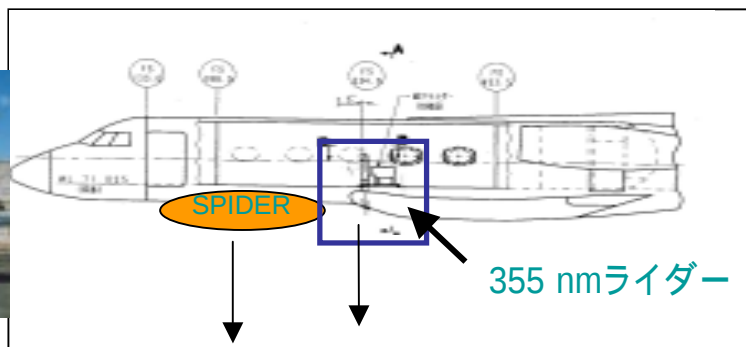
ドップラー測定精度と対象の レーダ反射因子dBZの関係

パルス繰り返し周波数:

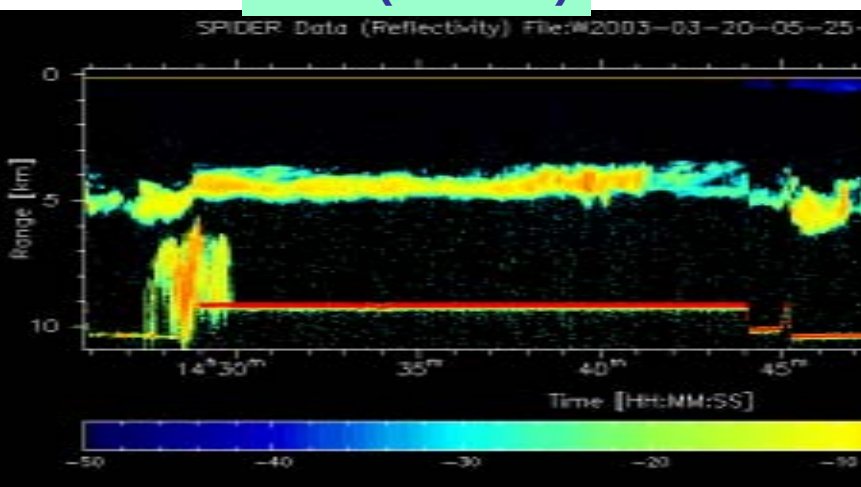
- ~ 6400 Hz 緯度 $\pm 60^\circ$ 以内
- ~ 7200 Hz 緯度 $\pm 60^\circ$ 以上



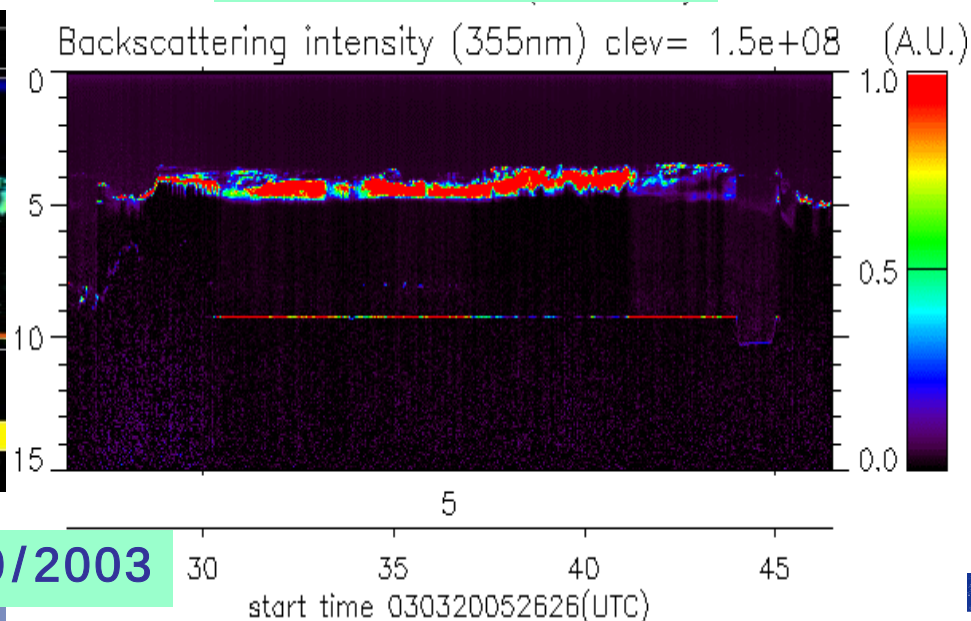
Airborne radar-lidar developed for APEX-E3/ECAV-Campaign (3/15-4/16/2003) Funded by JST, M-Env, ESA, JAXA, NICT



CPR (95 GHz)



Lidar (355 nm)



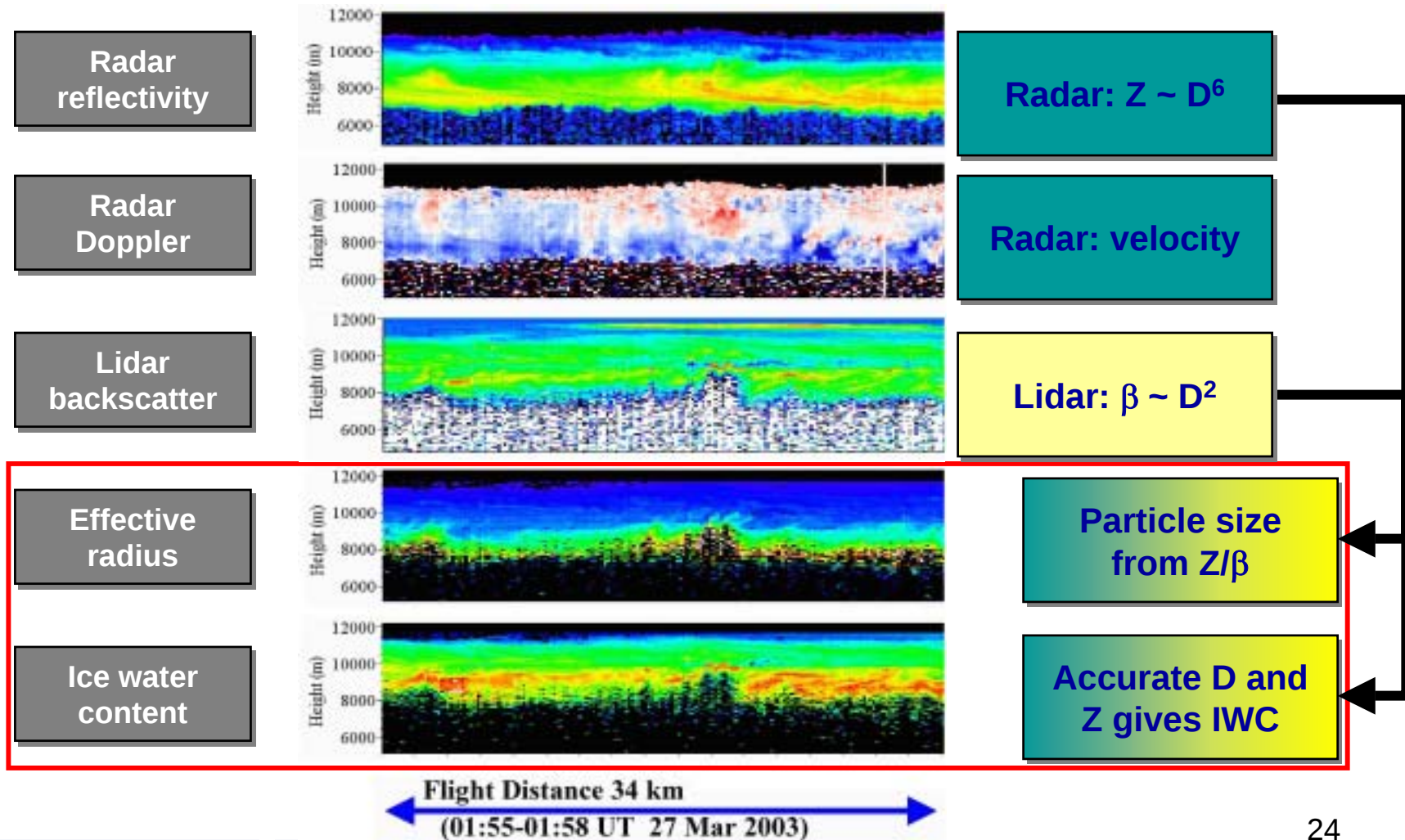
3/20/2003

start time 030320052626(UTC)

雲レーダ・ライダー観測とシナジーアルゴリズム

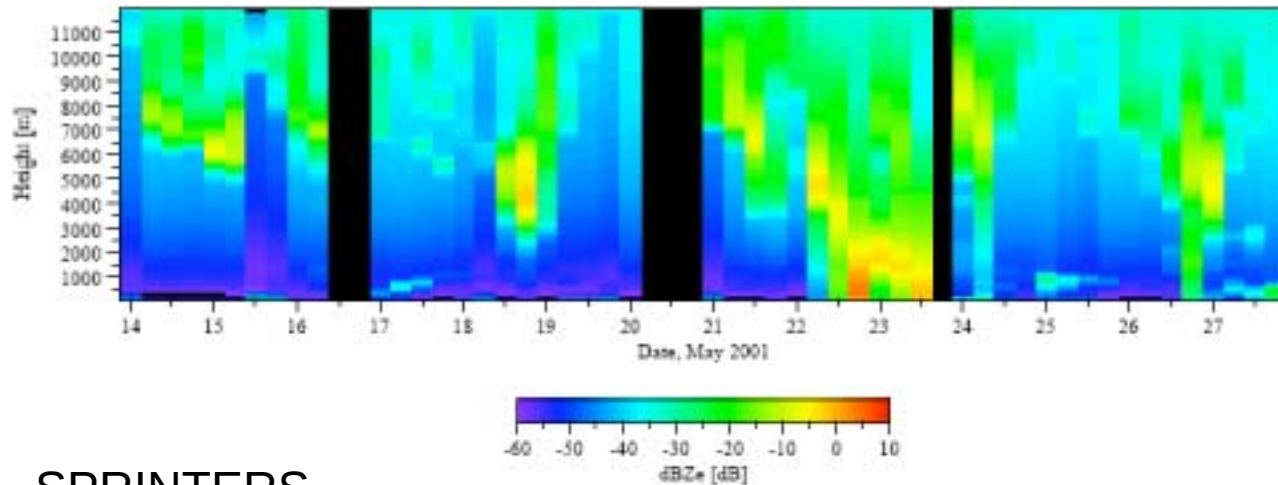
APEC-E3/ECAV航空機観測

APEX/ECAV 2003, Japan

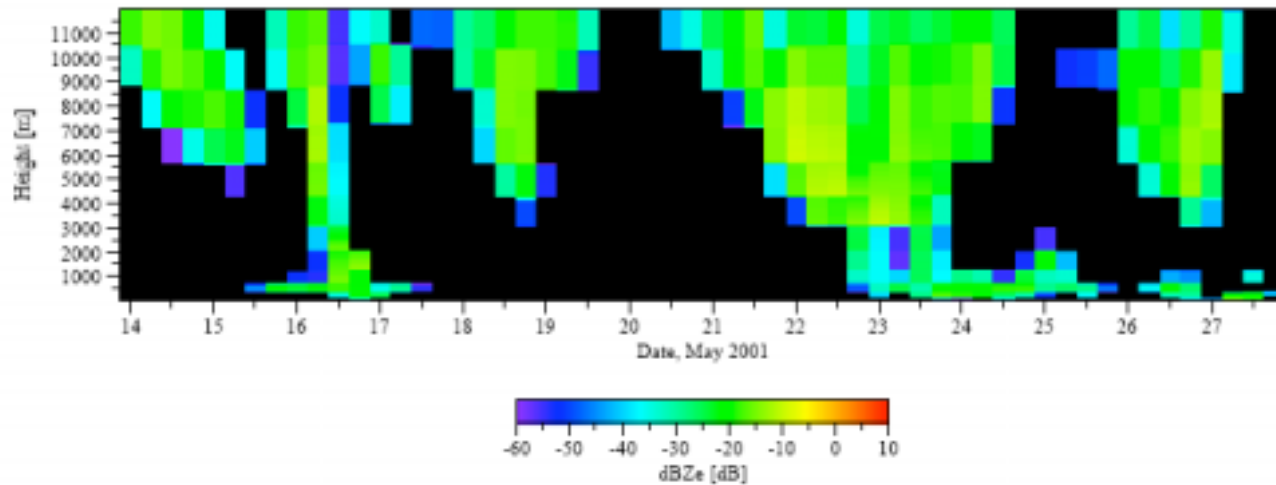


雲レーダ観測とGCMとの比較

SPIDER on Mirai at Mid-latitude

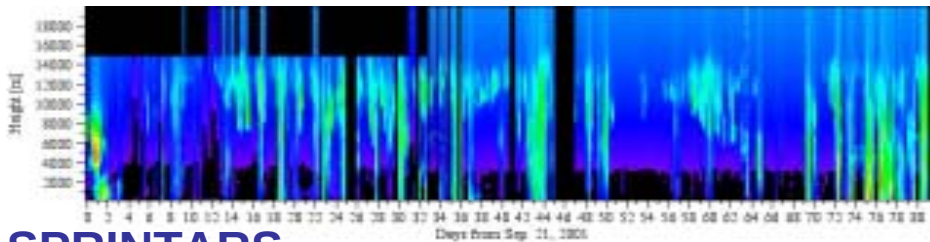


SPRINTERS

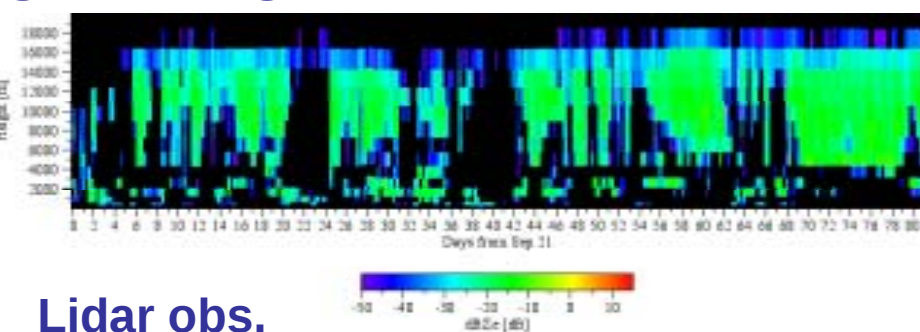


Shipborne Observation (Mirai 2001) vs. GCM

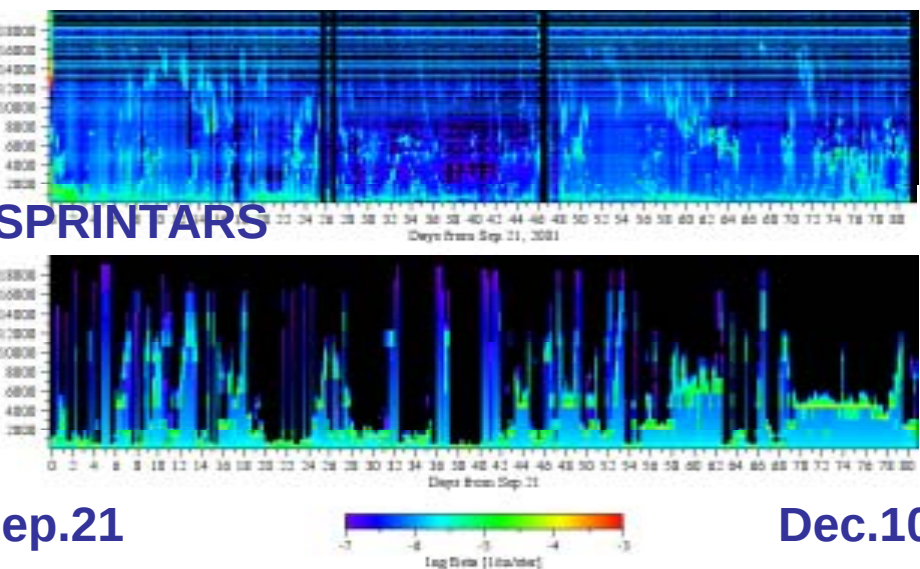
Radar obs.



SPRINTARS

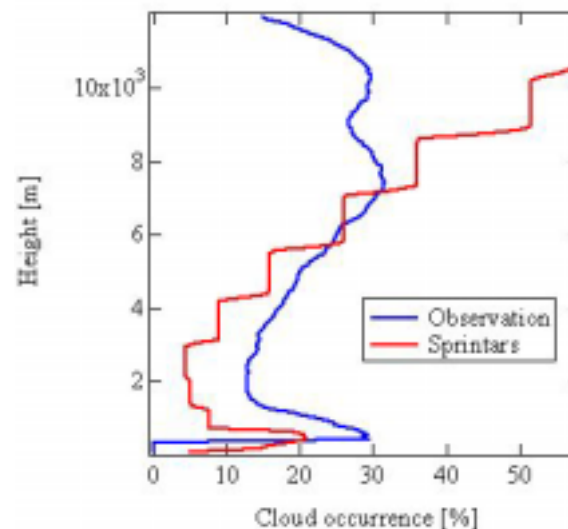


Lidar obs.

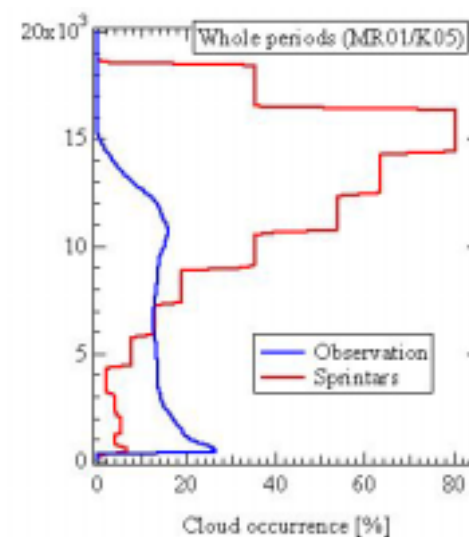


Sep.21

Dec.10



Mid-lat



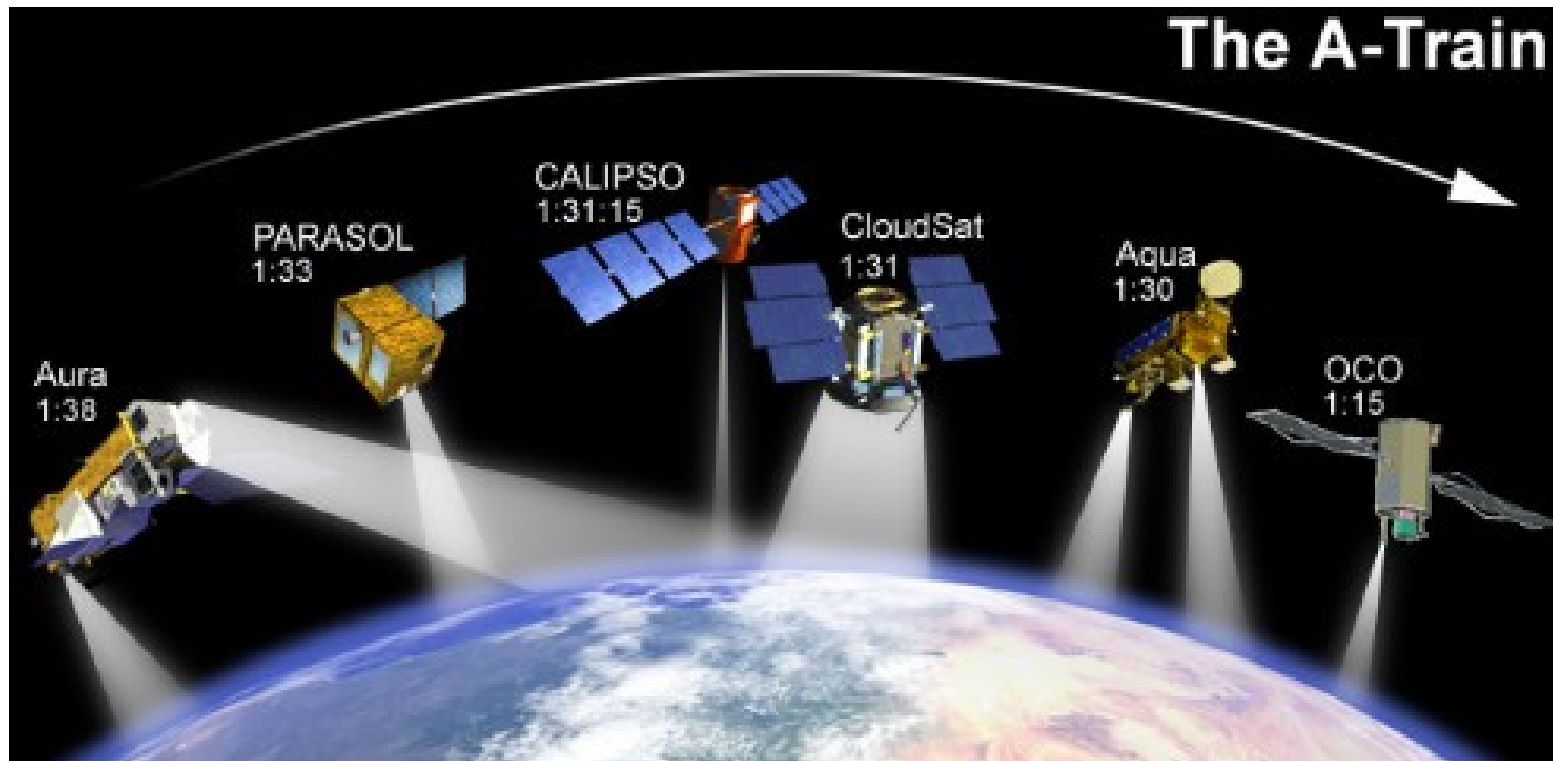
Mid-lat
And Tropics

Issue:
GCM overestimates clouds in high altitude
and underestimates low clouds in mid-
latitude and tropics; Okamoto(2004)

26

A-Train計画 (NASA)

CloudSat, Calipso: Feb 2006



まとめ

- TRMM/GPMにおけるNICTの貢献
 - 世界初の衛星搭載降雨レーダ開発と長期観測
 - レーダ開発、検証
 - アルゴリズム開発と改良
 - 科学面とともに数値予報、防災への貢献
 - GPM計画による継続的観測
- 雲・エアロゾル・放射ミッションの重要性
 - 雲・エアロゾルプロセスの解明
 - 地球温暖化予測、気象モデル改善へ大きな期待
 - EarthCAREにおける挑戦的技術課題
 - 雲レーダ (SPIDER) による事前データ取得と科学的貢献
 - モデル検証、関連科学活動の活性化
- NICTの役割: 社会的重要性と技術的先進性を兼ね備えたミッションの構築と新技術への挑戦