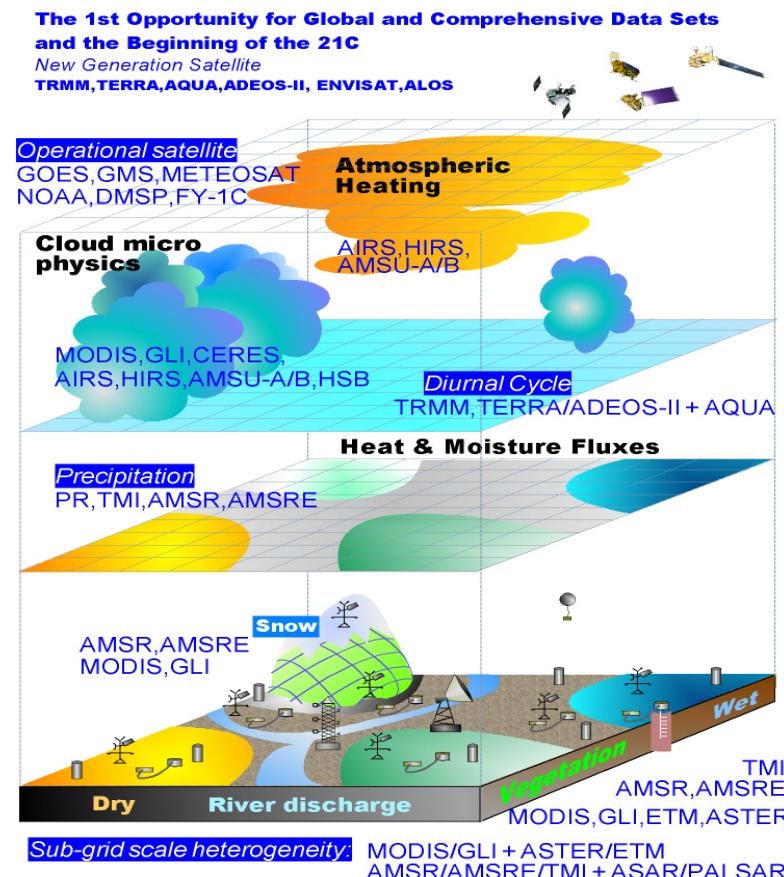
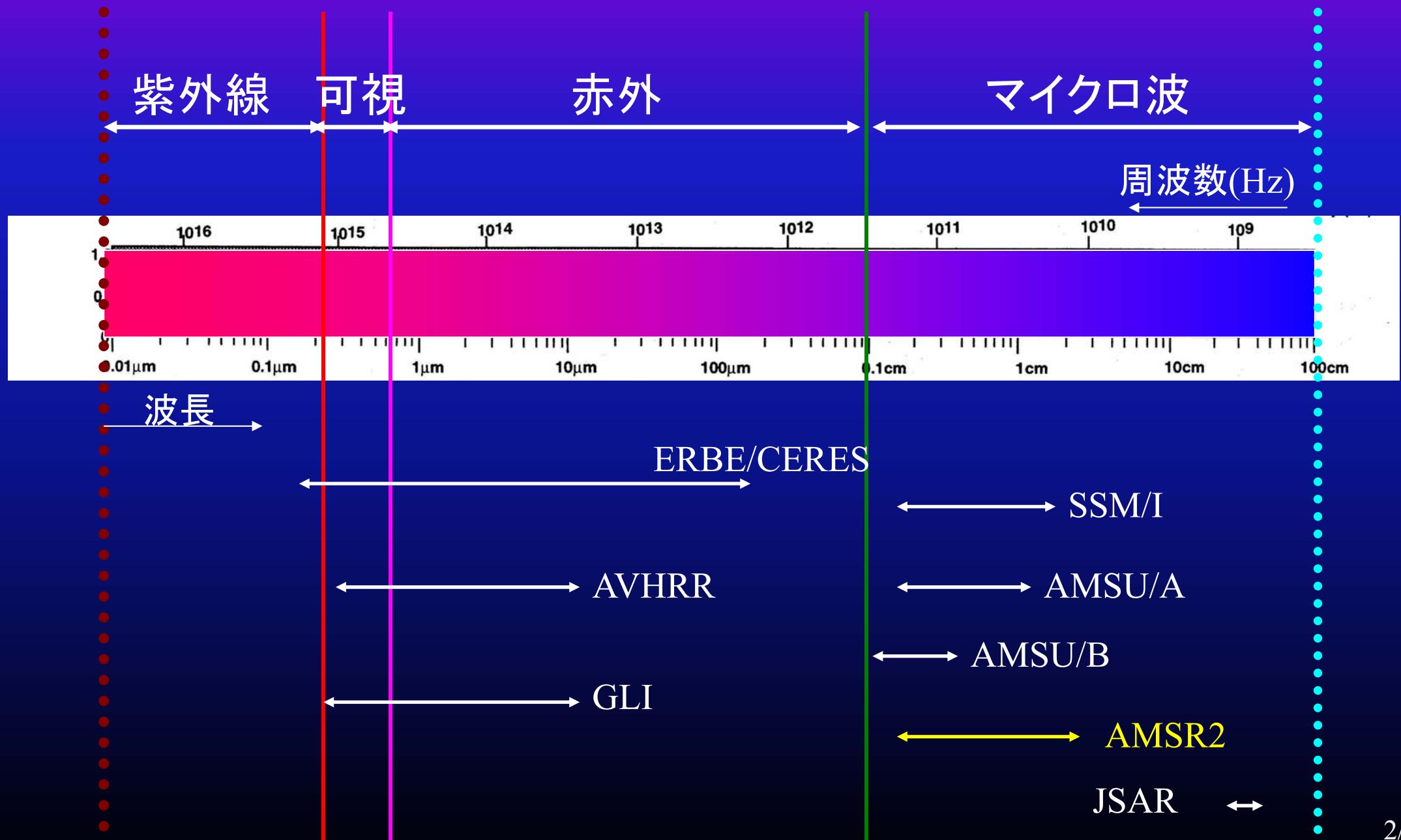


AMSR2による陸域水循環の観測と解明

小池俊雄(東京大学)



観測波長の多様化



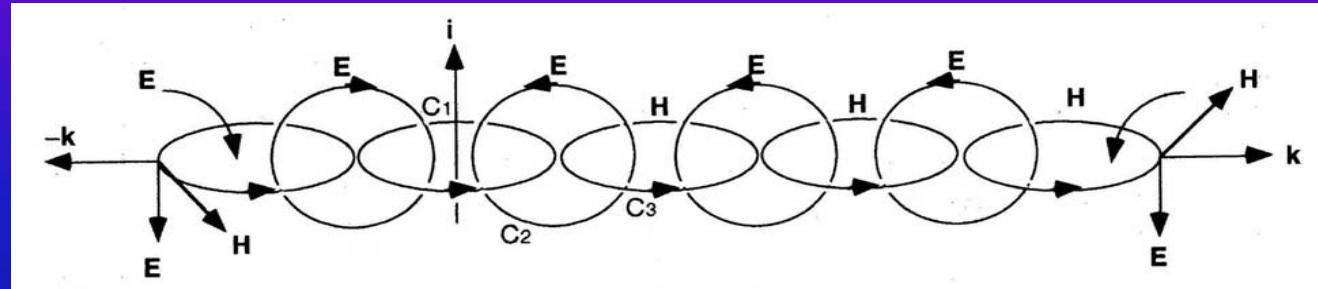


陸域水循環観測に有利なマイクロ波

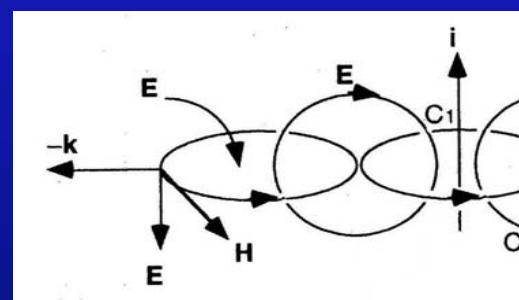
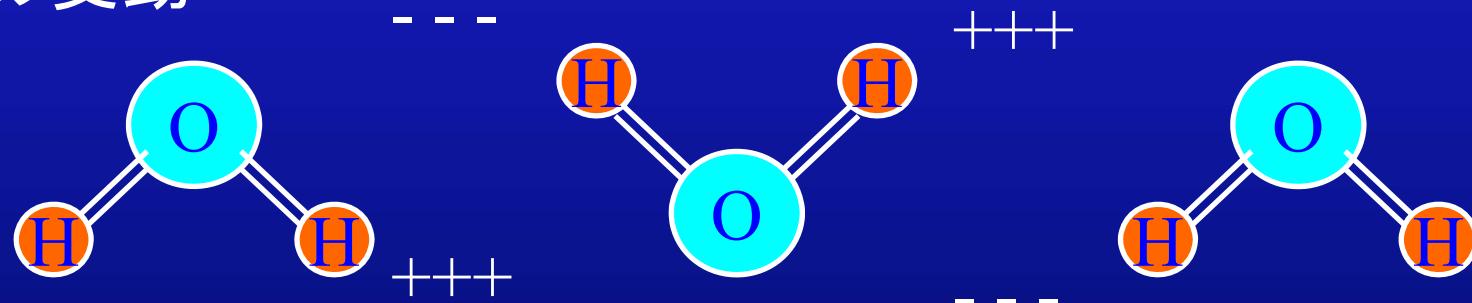
誘電特性：水を感じやすい。

陸域水循環観測に有利なマイクロ波

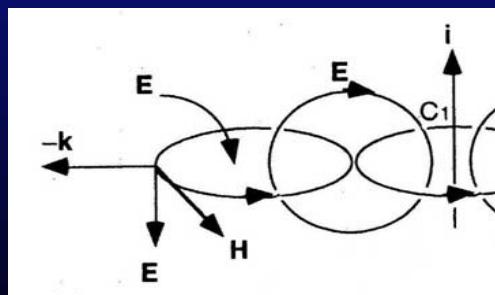
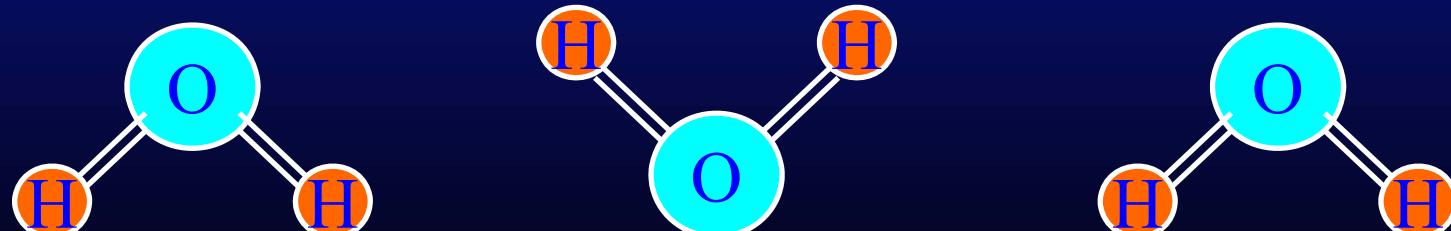
電磁波の伝播原理



電界の変動

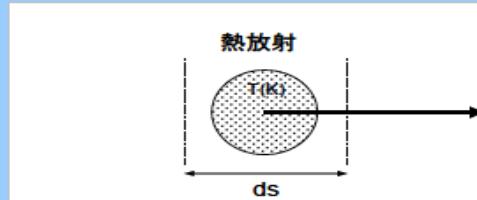


分子の熱運動

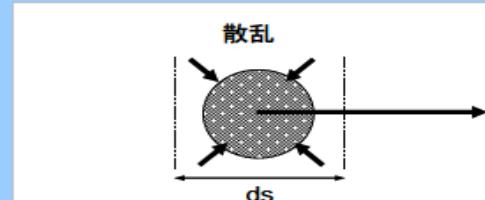


マイクロ波放射伝達理論

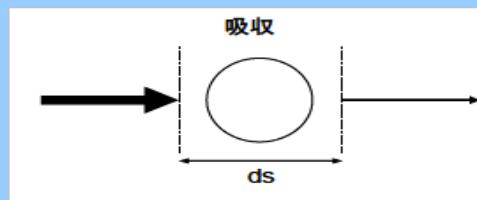
物体からの熱放射と散乱によりエネルギーが射出される。



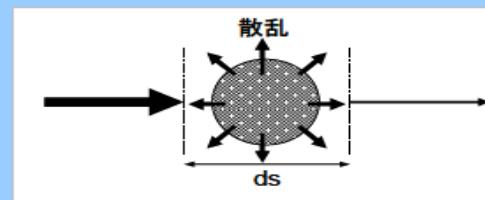
物体の熱放射による射出



物体の散乱による射出



物体の吸収による消散



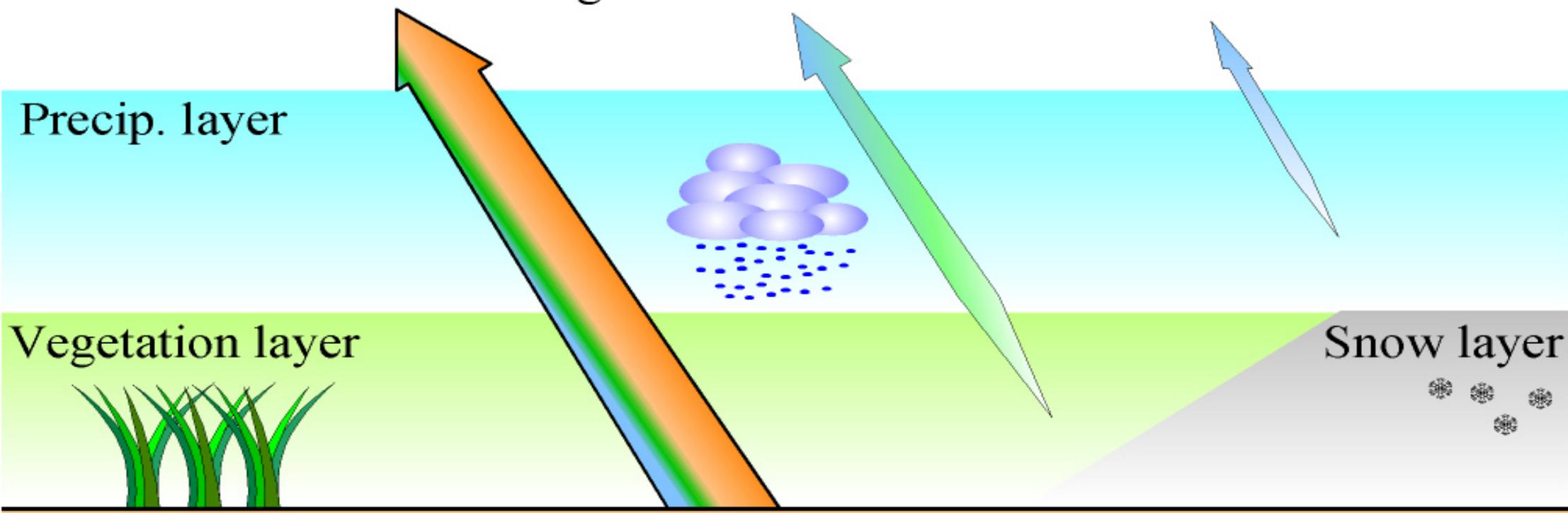
物体の散乱による消散

$$T_b = T_{bs} e^{-\tau_c} e^{-\tau_r} + (1-\omega_c) (1-e^{-\tau_c}) T_c e^{-\tau_r} + \sum (1-\omega_i) (1-e^{-\tau_i}) T_i$$

surface radiation

vegetation emission

rainfall emission





陸域水循環観測に有利なマイクロ波

誘電特性：水を感じやすい。

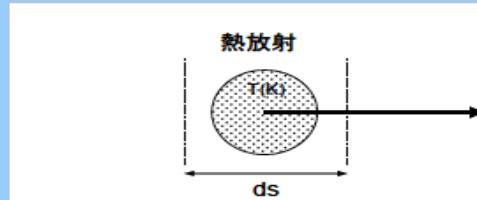
波長>>雲粒：全天候センサ

波長～雪粒，葉：定量評価

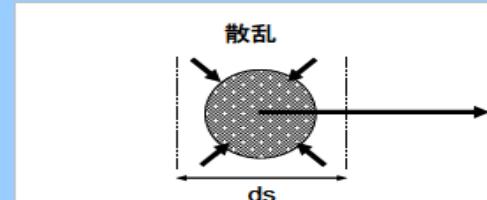
エネルギー原は太陽光ではない
→夜間センサ，日周変化

マイクロ波放射伝達理論

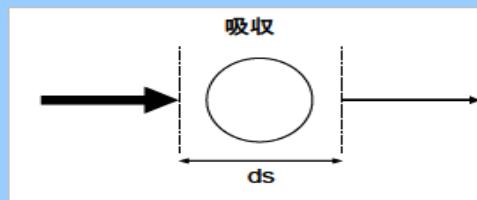
物体からの熱放射と散乱によりエネルギーが射出される。



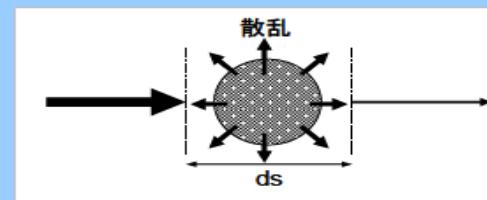
物体の熱放射による射出



物体の散乱による射出



物体の吸収による消散



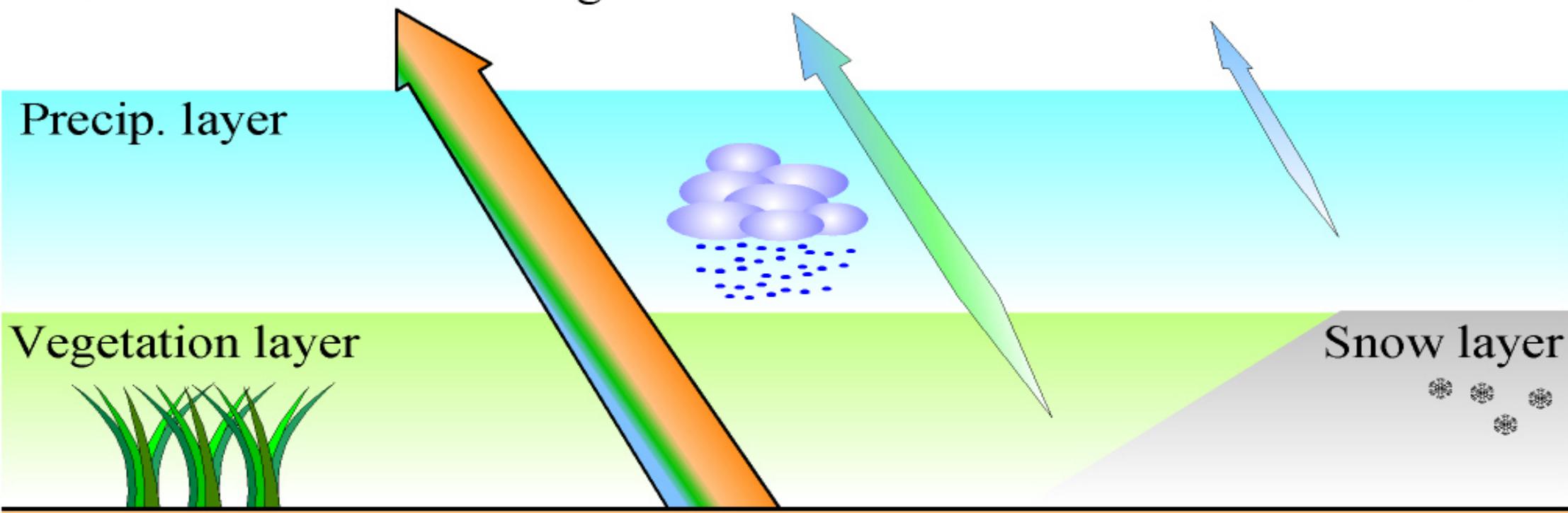
物体の散乱による消散

$$T_b = T_{bs} e^{-\tau_c} e^{-\tau_r} + (1-\omega_c) (1-e^{-\tau_c}) T_c e^{-\tau_r} + \sum (1-\omega_i) (1-e^{-\tau_i}) T_i$$

surface radiation

vegetation emission

rainfall emission



マイクロ波放射伝達モデル

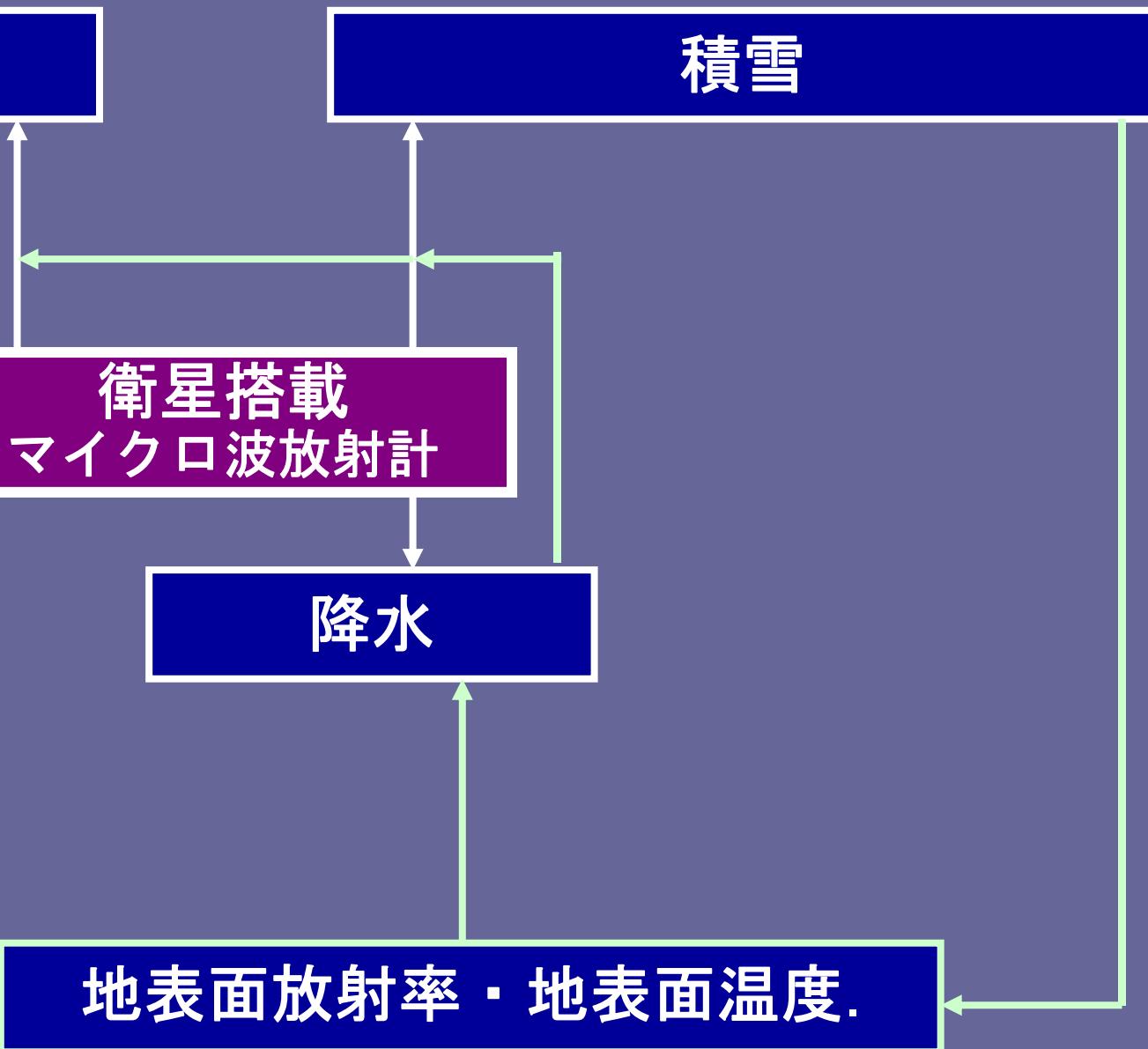
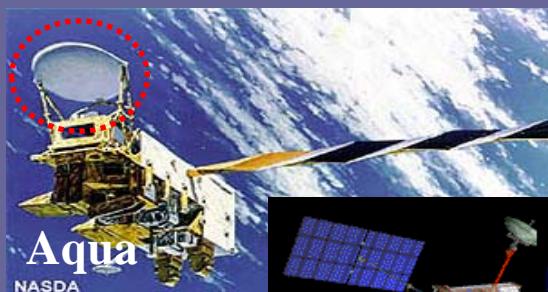
土壤水分

積雪

衛星搭載
マイクロ波放射計

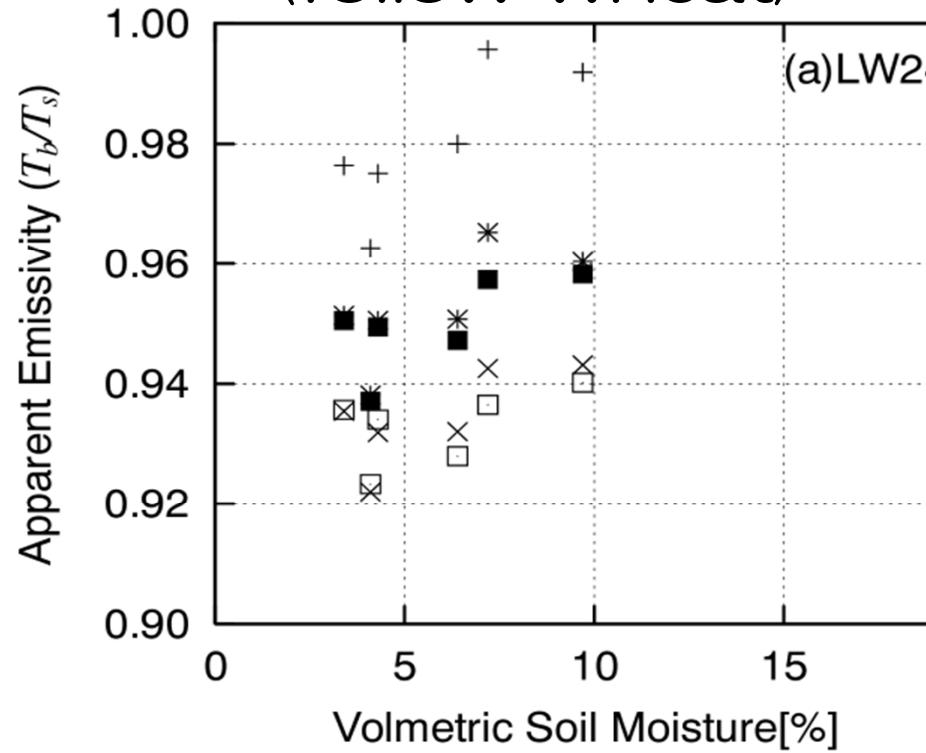
降水

地表面放射率・地表面温度.

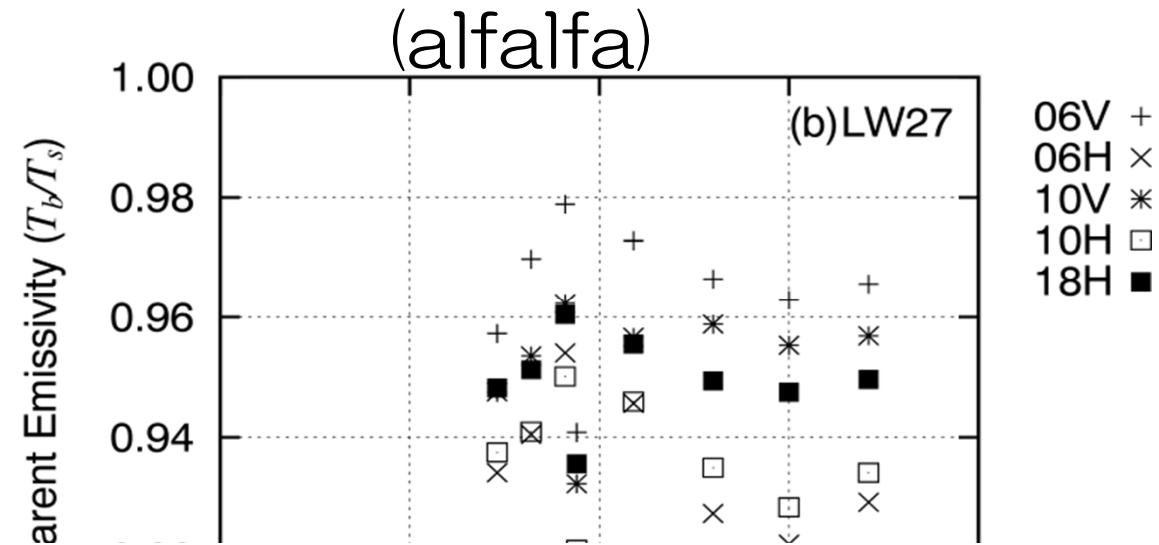


Apparent Emissivity

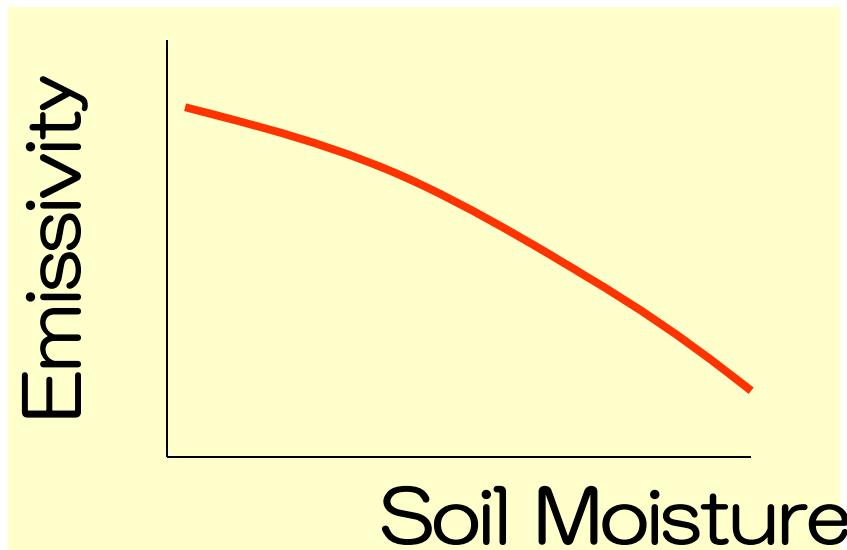
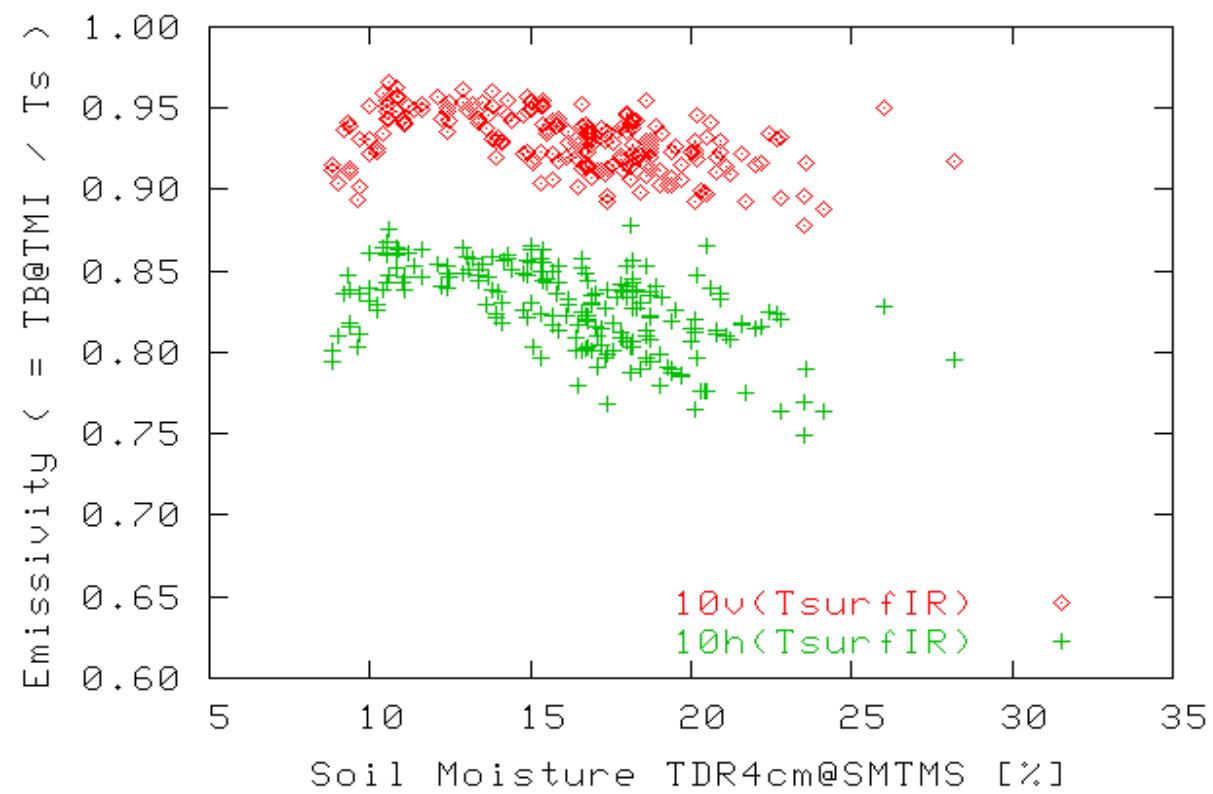
(follow wheat)

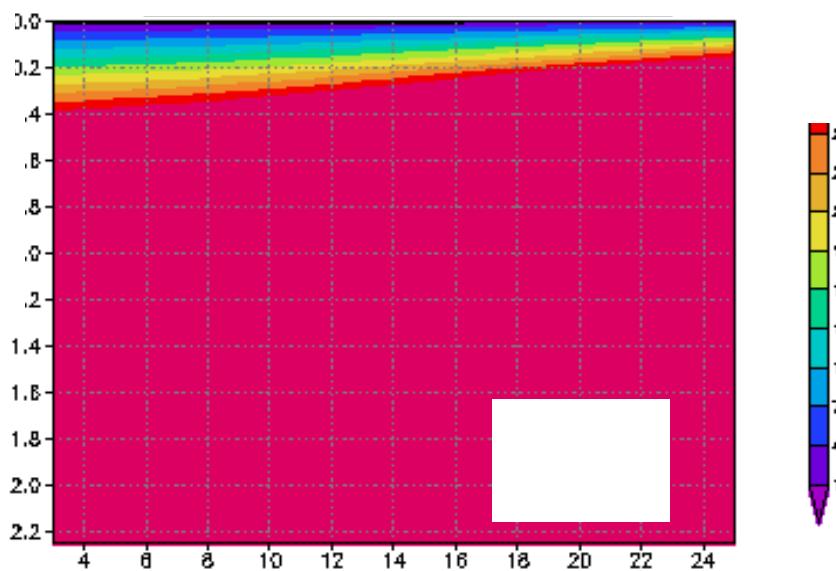
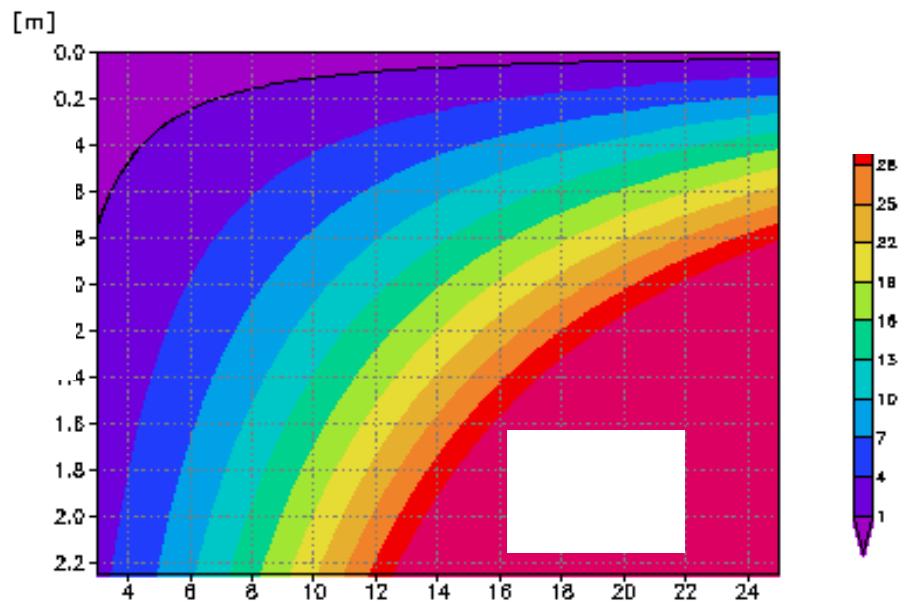
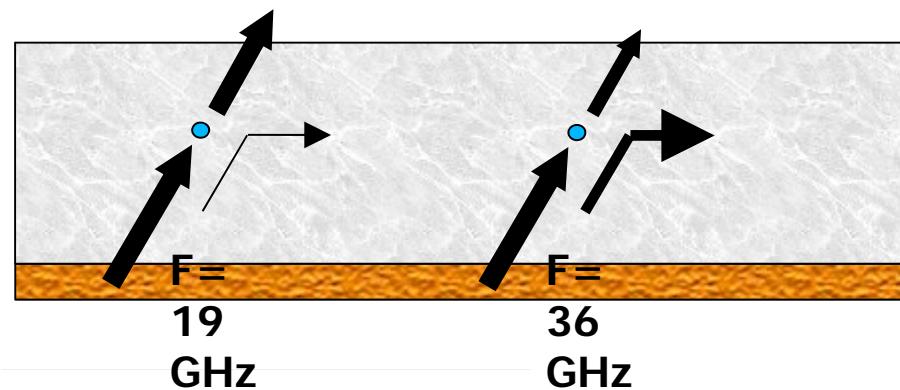
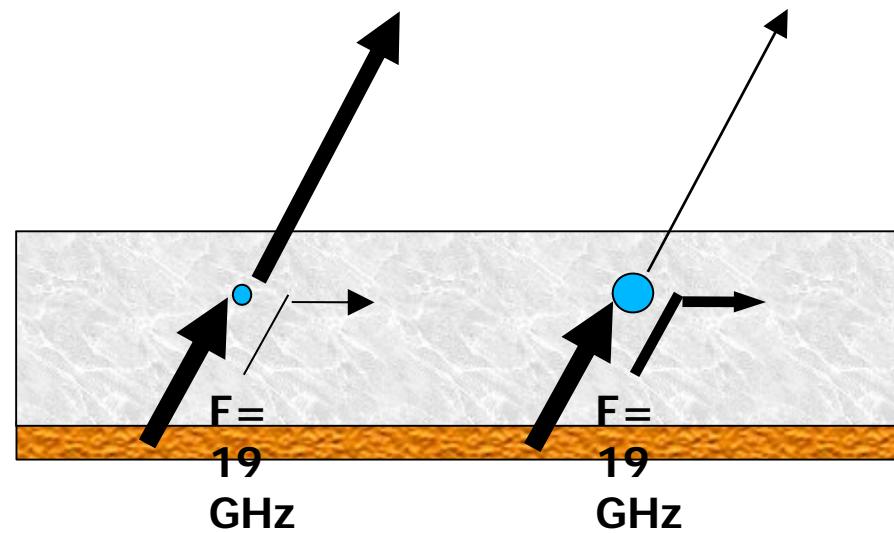
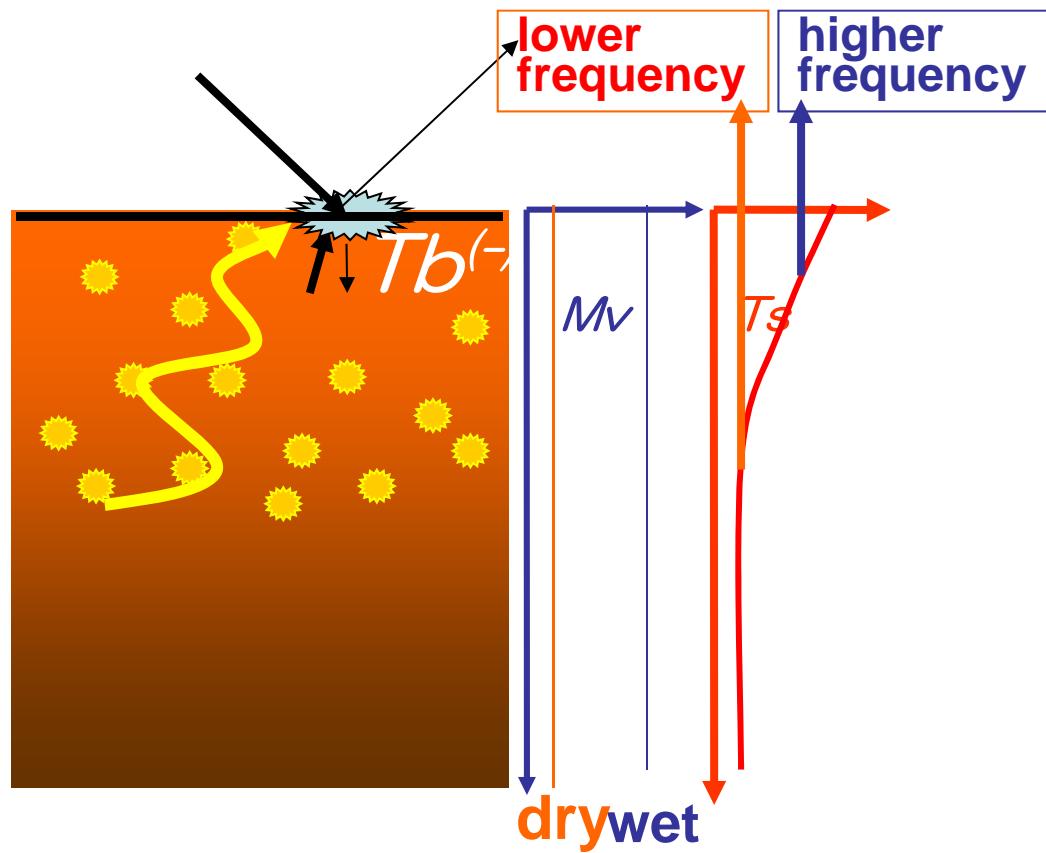


(alfalfa)



D66 < 10GHz, JJA 1998, Tsurf FIR@AWS

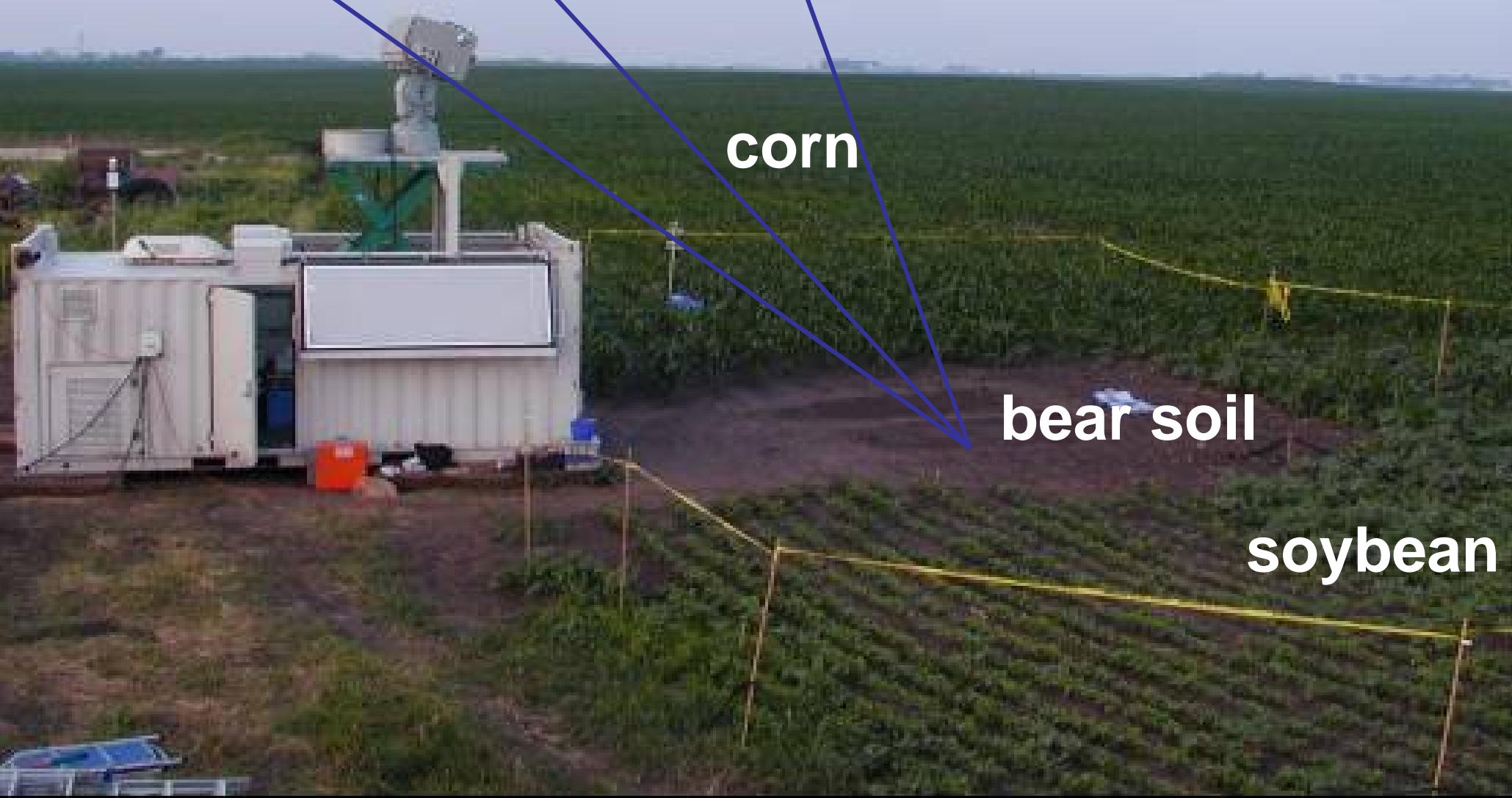






Identification of the Radiative Transfer Equation by the SMEX02 Data Sets

$$T_{bp} = [1 - \{(1-Q) \cdot \Gamma(\theta, p) + Q \cdot \Gamma(\theta, q)\} \cdot e^{-h' \cos^2 \theta}] \cdot T_s \cdot e^{-\tau_c} + (1 - \omega_p) \cdot T_c \cdot (1 - e^{-\tau_c})$$



Identification of the Radiative Transfer Equation by the SMEX02 Data Sets

$$T_{bp} = [1 - \{(1-Q) \cdot \Gamma(\theta, p) + Q \cdot \Gamma(\theta, q)\} \cdot e^{-h' \cos^2 \theta}] \cdot T_s \cdot e^{-\tau_c} + (1 - \omega_p) \cdot T_c \cdot (1 - e^{-\tau_c})$$

$$\tau_c = \frac{b \cdot W_c}{\cos \theta} = \frac{b' \cdot \lambda^\chi \cdot W_c}{\cos \theta}$$

Jackson, T. J. (1999)

corn



bear soil

soybean



Brightness Temperature

$$Tb_p = Tb_{sp} e^{-\tau/\mu} + (1 - \omega)(1 - e^{-\tau/\mu}) Tc$$

Radiation from
land surface

upward radiation
from vegetation

p ; h or v polarization
 τ ; optical depth
 μ ; incident angle
 ω ; single scatt. albedo
 Tc ; canopy physical temp.

Index of Soil Wetness : Isw

$$Isw = \frac{Tb_i - Tb_j}{\frac{1}{2}(Tb_i + Tb_j)}$$

$i > j$; frequency

High Freq. $\Gamma \rightarrow$ small, $e \rightarrow$ large

Low Freq. $\Gamma \rightarrow$ large, $e \rightarrow$ small

Polarization Index: PI

$$PI = \frac{Tb_v - Tb_H}{\frac{1}{2}(Tb_v + Tb_H)}$$

in bare soil

$e_v > e_h$

depends on soil moisture

dense veg. \rightarrow PI:small

low veg. \rightarrow PI:large

Soil Moisture = PI – Vegetation

Removing the Effect of Physical Temp.

$$Tb = e \times T$$

ルックアップテーブル

Index of Soil Wetness(Koike,1996)

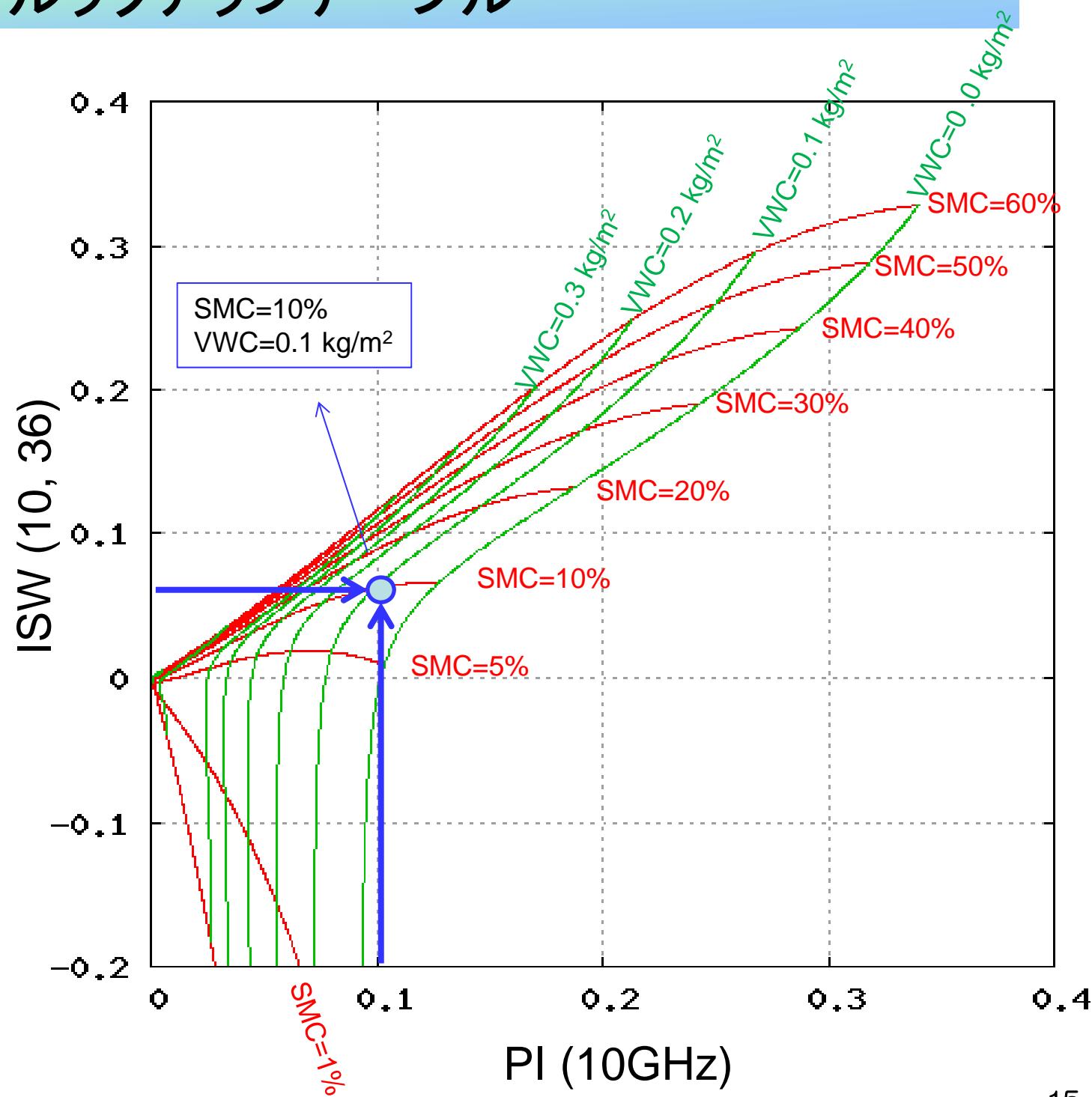
$$ISW = \frac{T_{B36H} - T_{B10H}}{\frac{1}{2}(T_{B36H} + T_{B10H})}$$

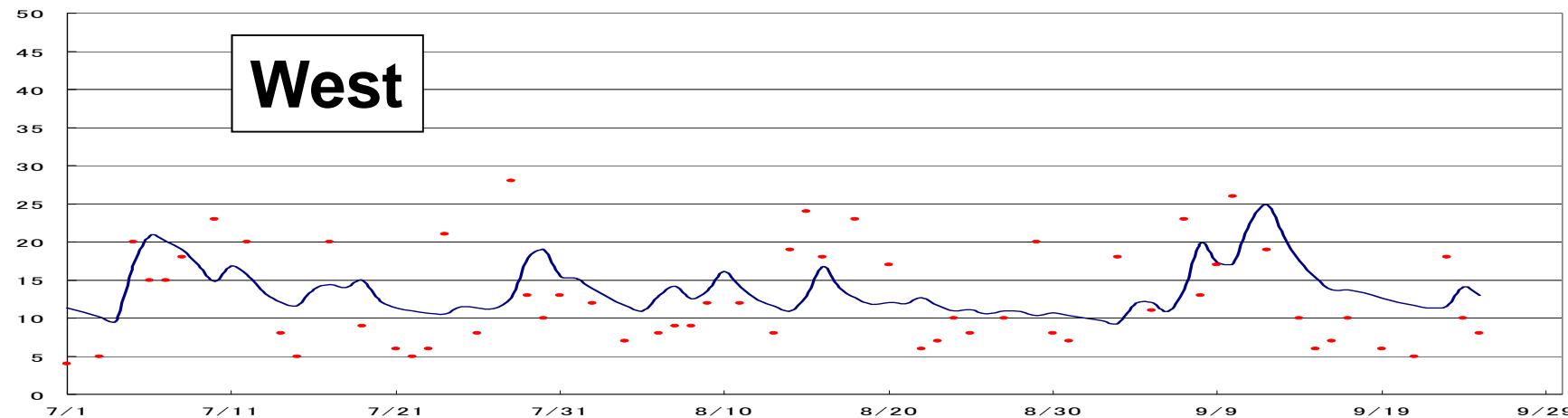
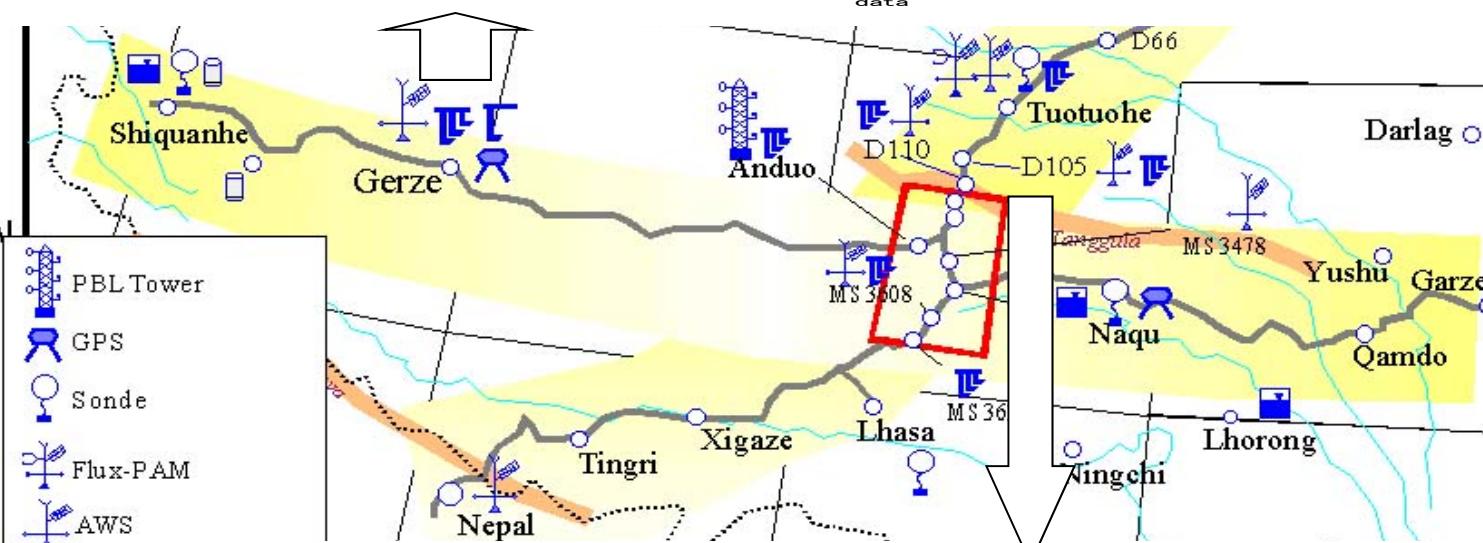
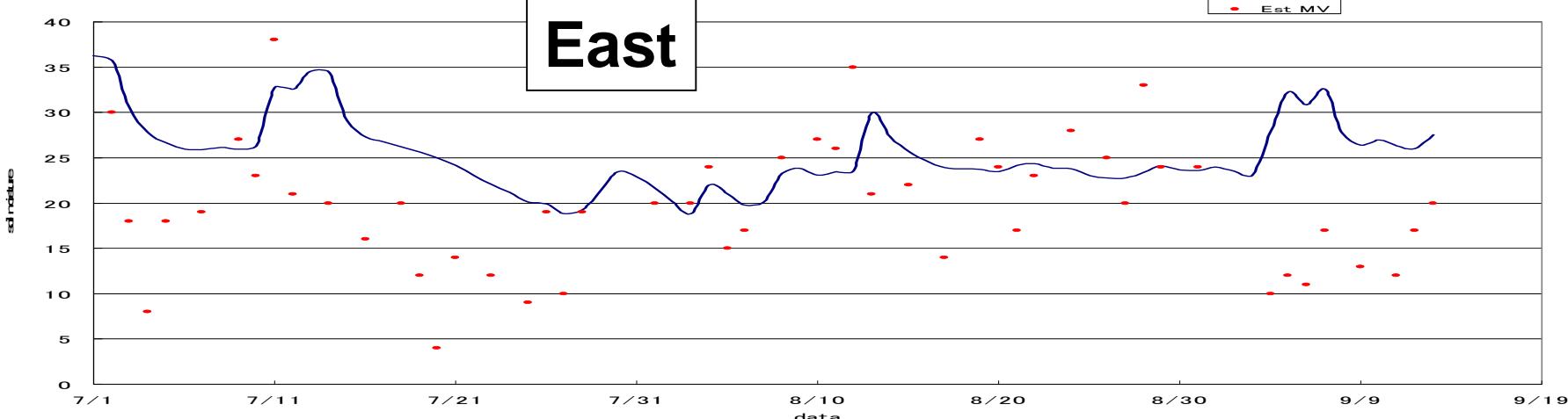
Polarization Index(Shimonetta,1998)

$$PI = \frac{T_{B10V} - T_{B10H}}{\frac{1}{2}(T_{B10V} + T_{B10H})}$$

Look-up table;

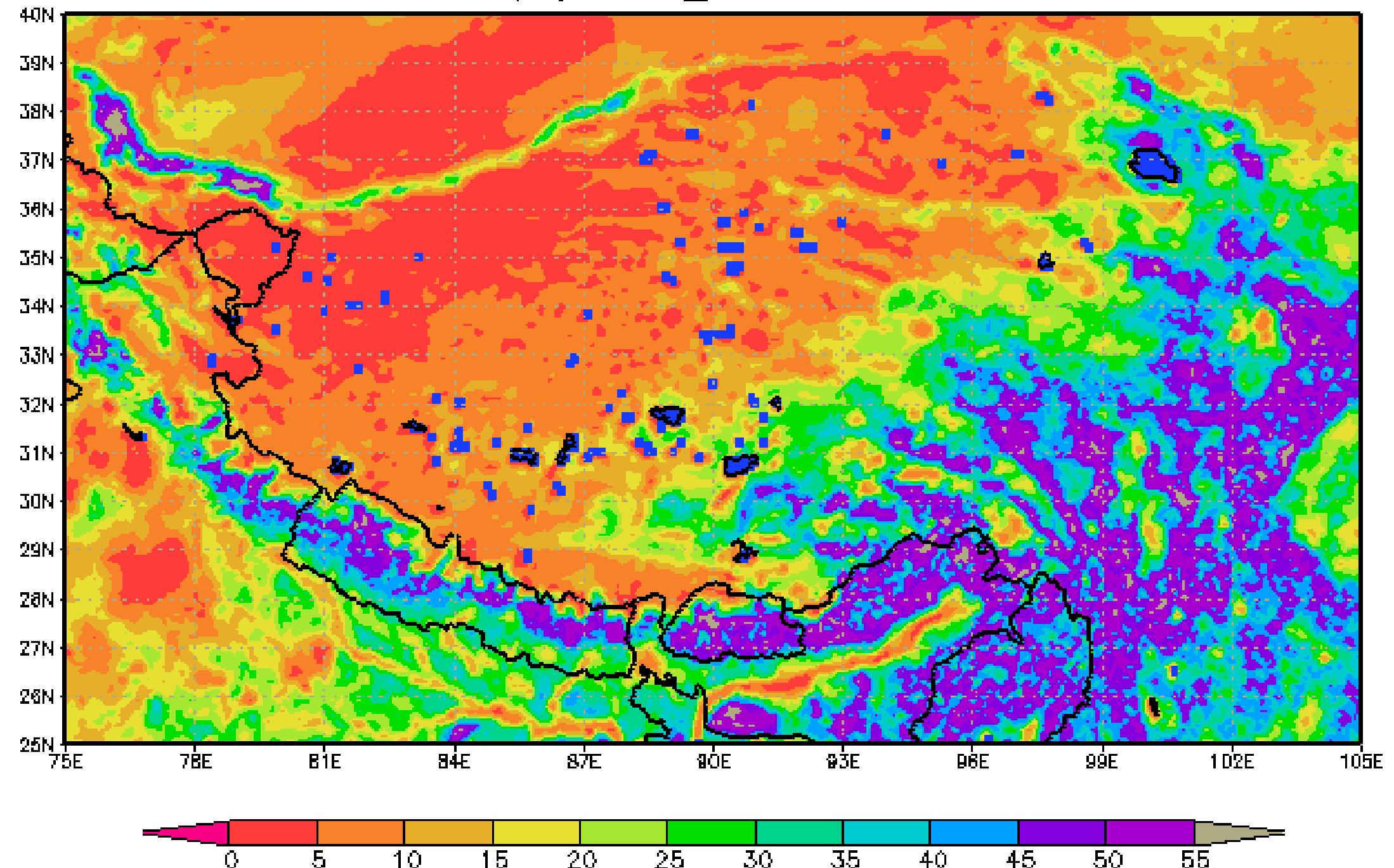
- Soil moisture: range of 0.000–0.600 m³m⁻³, step size of 0.001 m³m⁻³;
- Vegetation water content: range of 0.000–1.800 kg/m², step size of 0.001 kg/m²;
- Fractional vegetation coverage: range of 1–100%, step size of 1%; and
- Soil and vegetation physical temperature: 293 K (fixed).



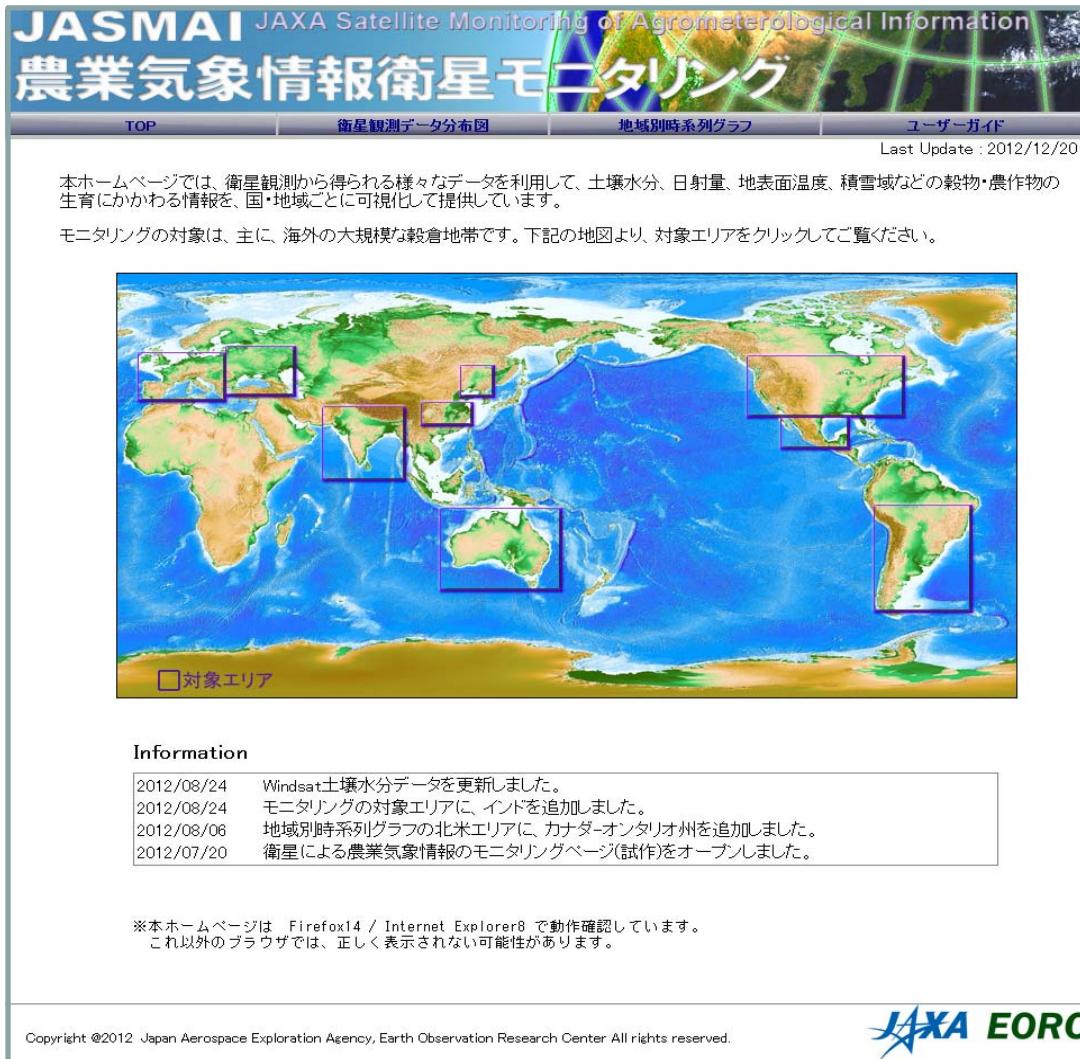
West**5.7%****average of
the absolute errors****8.1%****East**

Seasonal Variation of the Soil Moisture in the Tibetan Plateau

6G Mv(%) tibet_D 2003SEP–last



JAXA Satellite Monitoring of Agrometeorological Information (JASMAI)



- Monitoring area**
- North America
 - Mexico
 - South America
 - China
 - North-East China
 - Indo
 - Russia & Ukraine
 - Europe

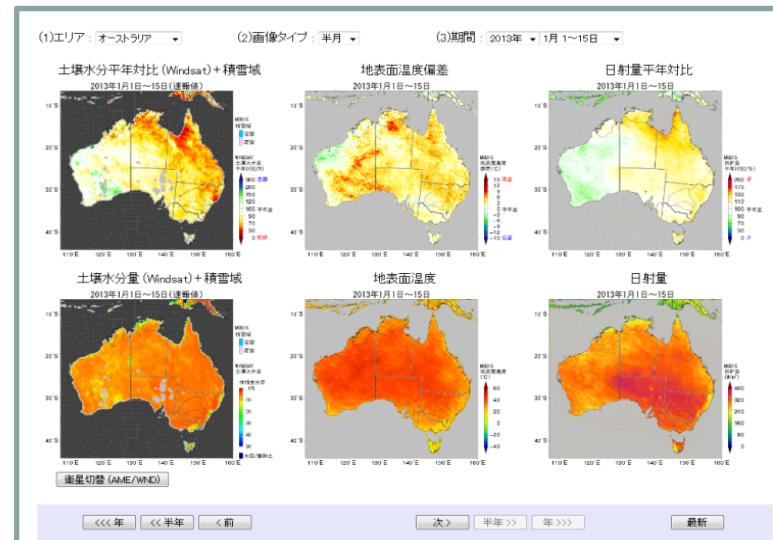
Contents

- Distribution map (15days, monthly)
- Time series graph (10days)

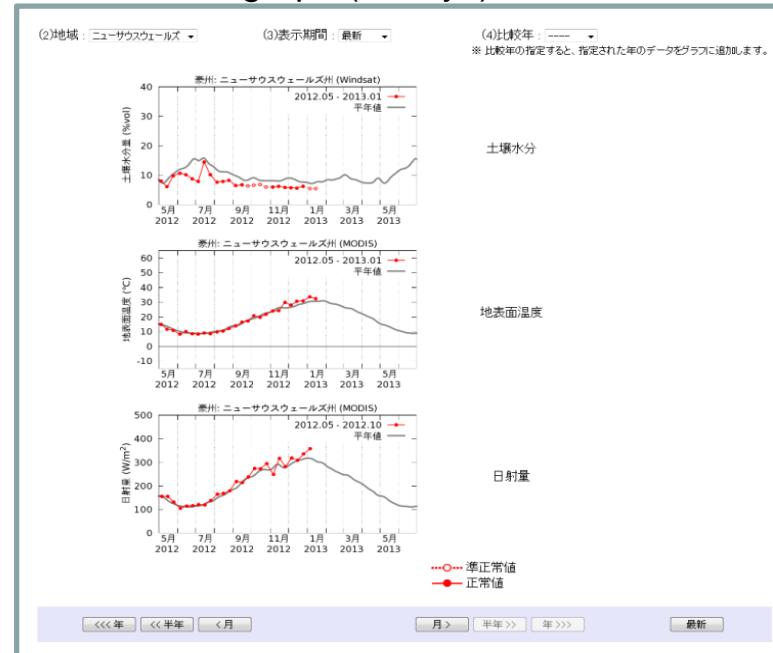
Product

- Soil moisture (AMSR-E/Windsat/AMSR2)
- Snow cover(MODIS)
- Surface temp.(MODIS)
- Solar radiation(MODIS)

Distribution map (15days, monthly)



Time series graph (10days)



マイクロ波放射伝達モデル

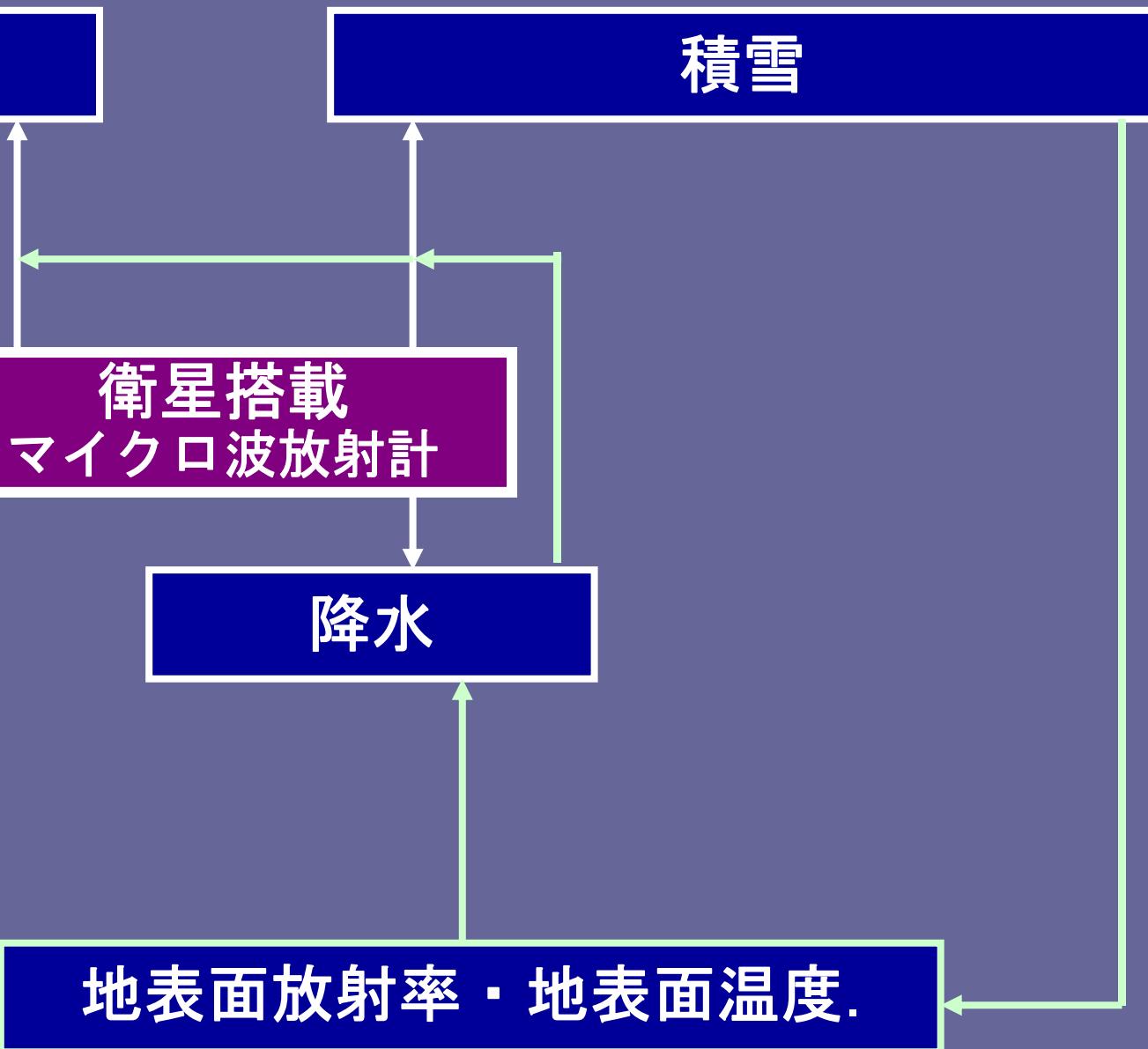
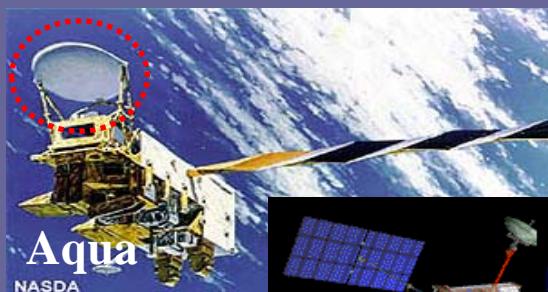
土壤水分

積雪

衛星搭載
マイクロ波放射計

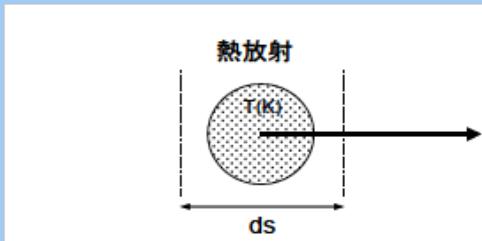
降水

地表面放射率・地表面温度.

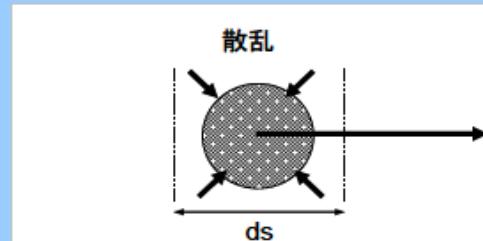


マイクロ波放射伝達理論

物体からの熱放射と散乱によりエネルギーが射出される。

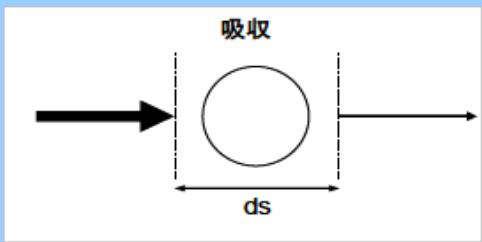


物体の熱放射による射出

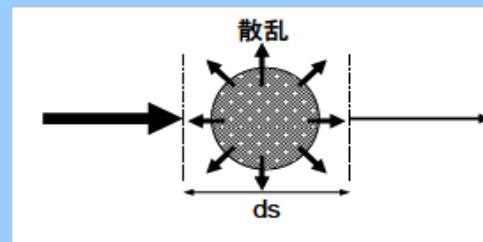


物体の散乱による射出

物体に流入する放射エネルギーは、伝播中に存在する物体により一部は吸收され、一部は物体により散乱されることにより伝播中に減衰する。



物体の吸収による消散



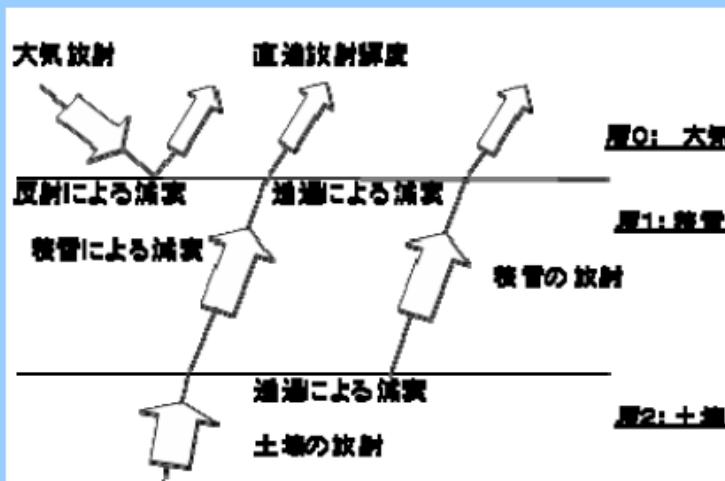
物体の散乱による消散

大気（層0）—積雪層（1）—土壤（層2）の3層構造を考える：

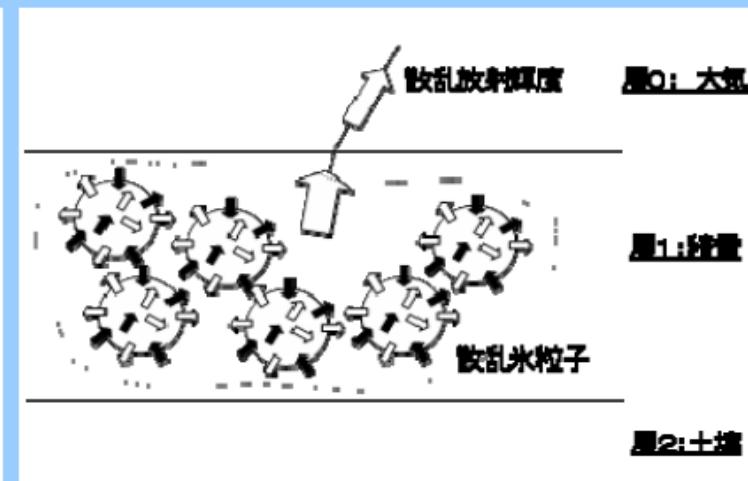
土壤放射エネルギーは積雪からの熱放射と共に、その伝播過程で積雪により吸收され減衰する。

土壤放射エネルギーは雪粒子による散乱により減衰する。同時に雪粒子の散乱によりエネルギーが射出される。

雪面からは、前者による直達放射輝度と後者による散乱放射輝度が、放射され、この両放射輝度の和が、人工衛星に搭載されたマイクロ波センサに輝度温度として受信される。



直達放射

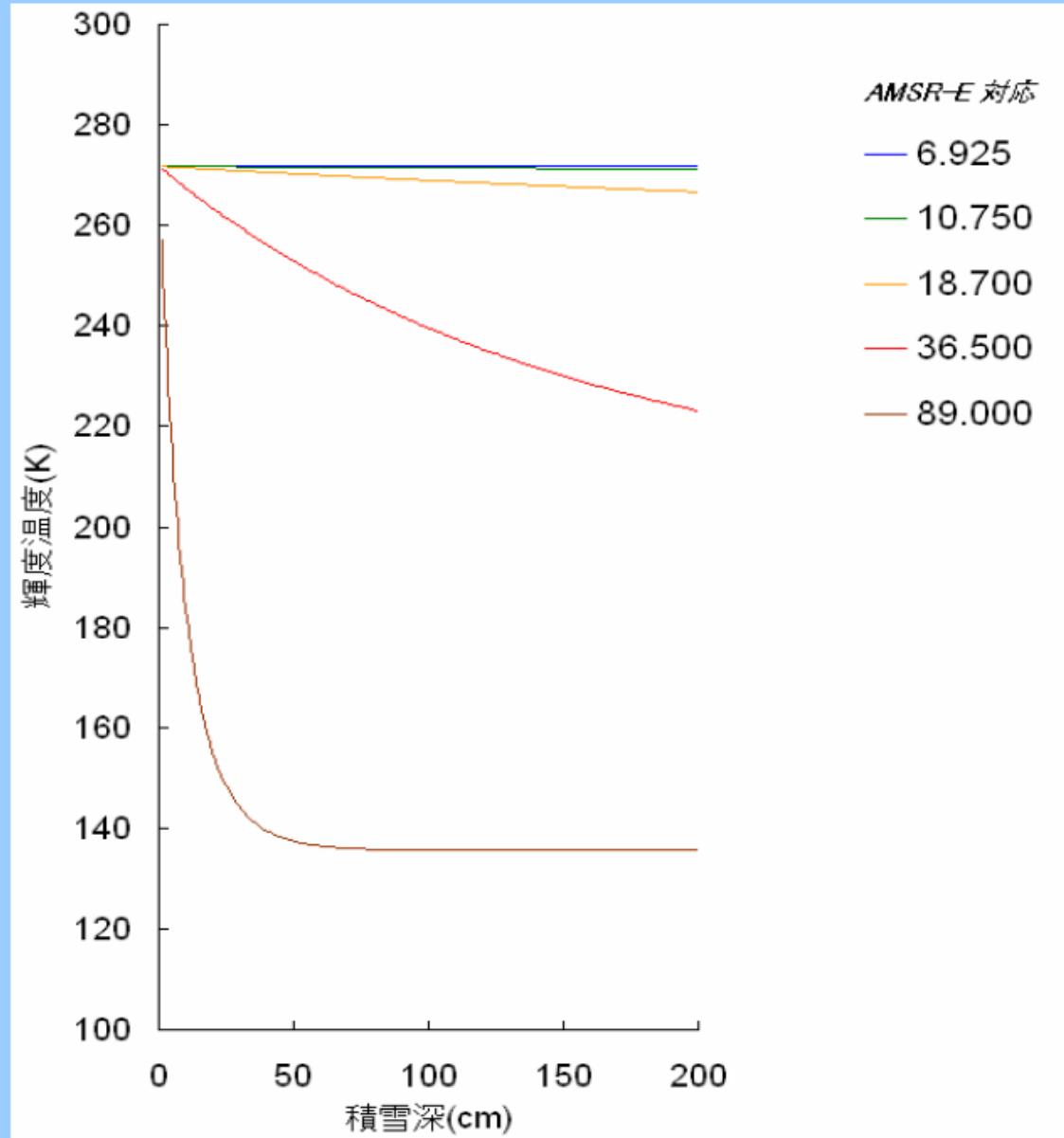


散乱放射

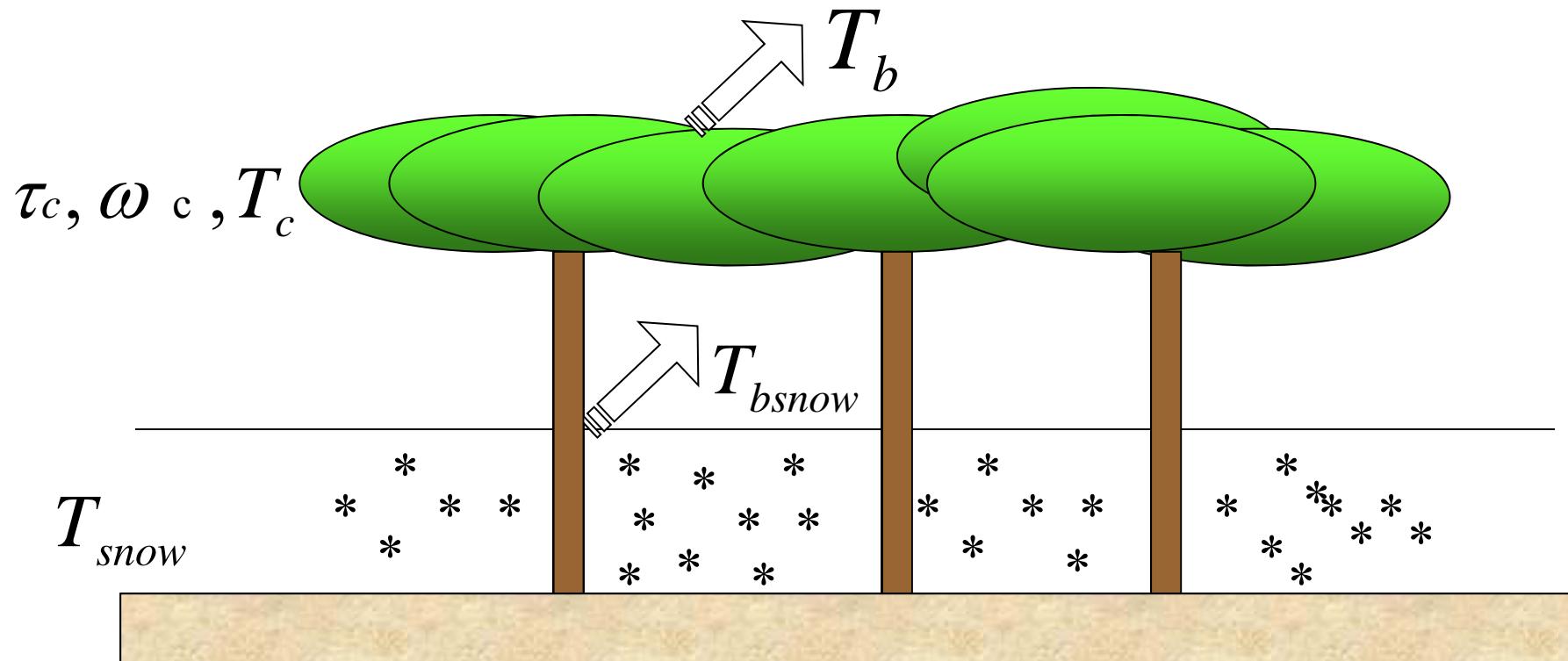
マイクロ波輝度温度

人工衛星のマイクロ波センサにより計測される輝度温度は、周波数帯により大きく異なる。

1980年代の積雪衛星プロダクトの研究者は、
大きく異なる周波数特性を利用し、**2つの周波数の輝度温度の差**から積雪量を推定する手
法を検討。



植生の影響評価



$$T_b = T_{bsnow} e^{-\tau_c/\mu} + (1 - \omega_c)(1 - e^{-\tau_c/\mu})T_c$$

$$NDVI \rightarrow LAI \rightarrow W_c \rightarrow \tau_c$$

$$T_c = T_{snow}, \quad \omega_c = 0$$



Fraser in Colorado

積雪アルゴリズム

Input Data



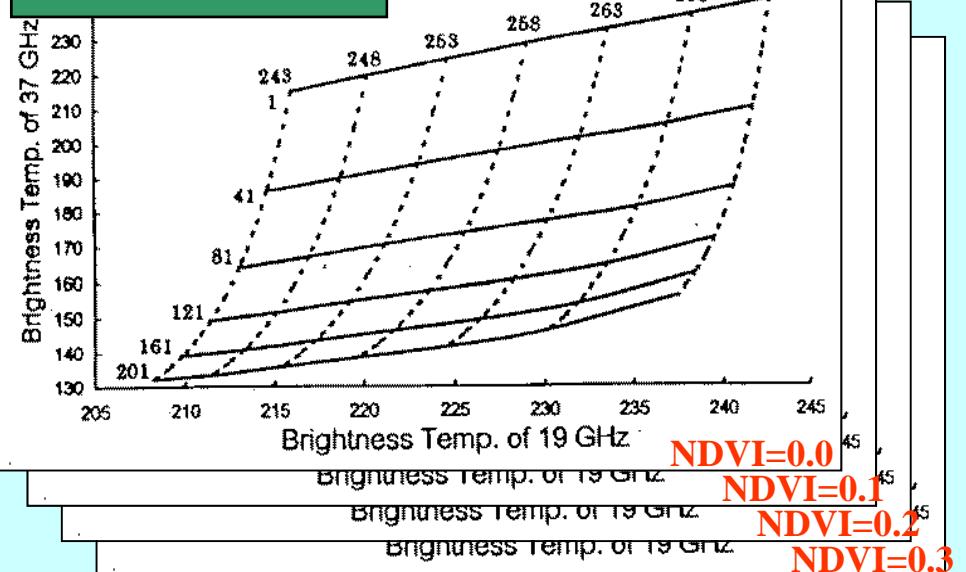
TB



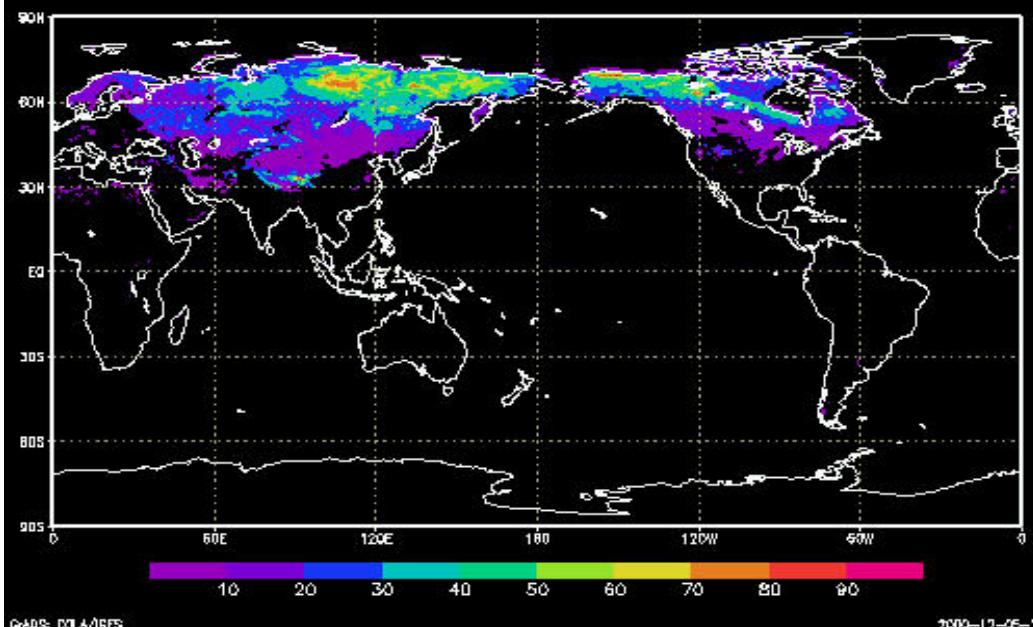
NDVI



ルックアップテーブル



Output Snow Depth

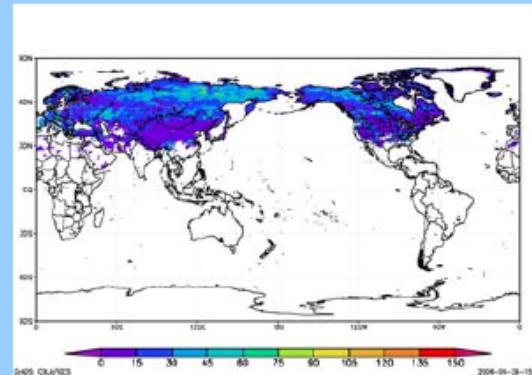


受動型マイクロ波衛星データに基づく

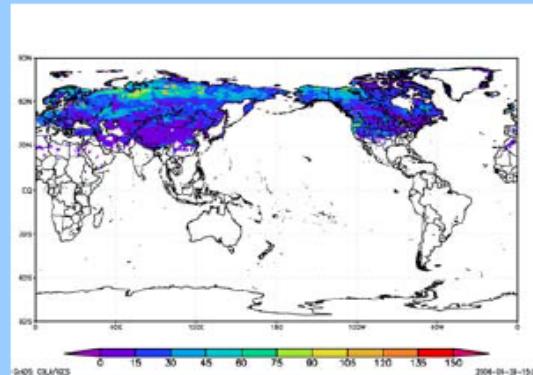
積雪衛星プロダクトによる北半球積雪深の長期推定

1992年から1999年までの積雪分布

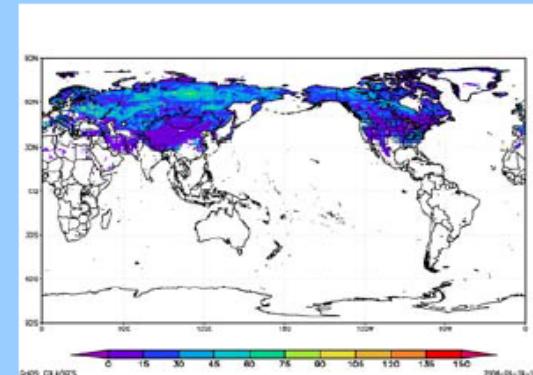
1992年



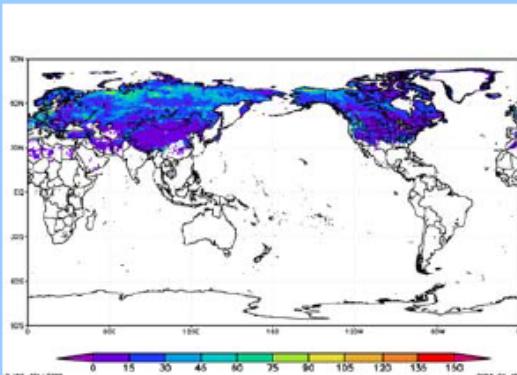
1993年



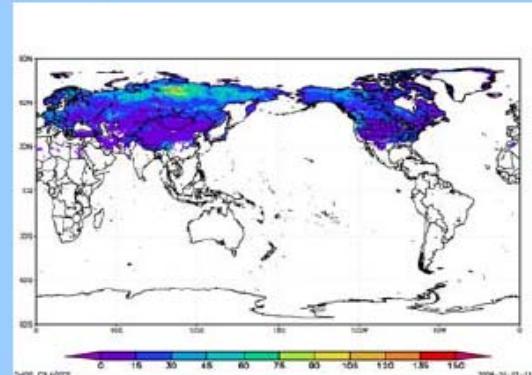
1994年



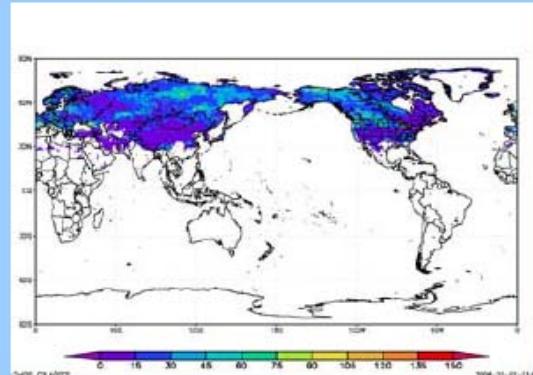
1995年



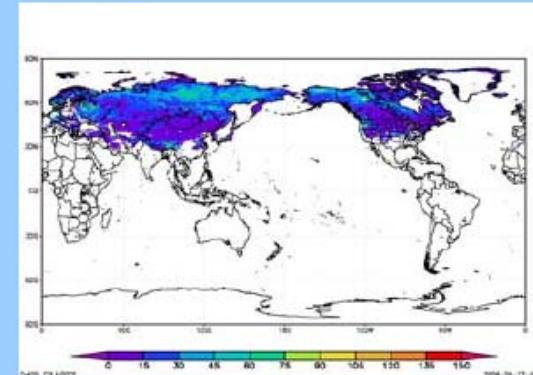
1996年



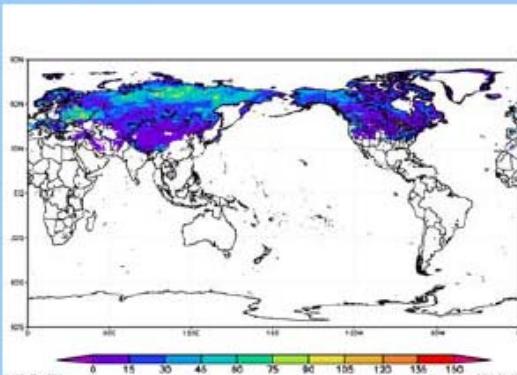
1997年



1998年



1999年



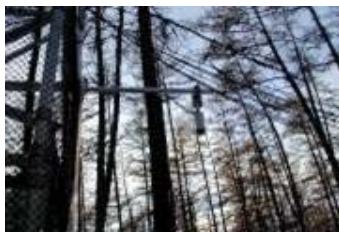
AMSR2 Validation Site : Siberia



Kenkeme site



Molot site



Larch Tower site



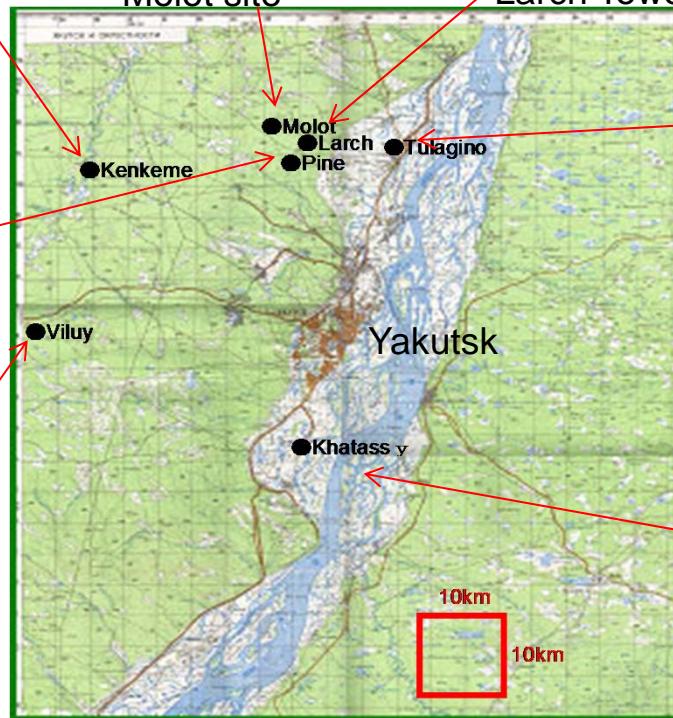
Siberia
Validation
Site



Pine Tower site



Viluy site



Tulagino site



Khatassy site



Snow depth
(Ultrasonic distance meter)



Air Temperature

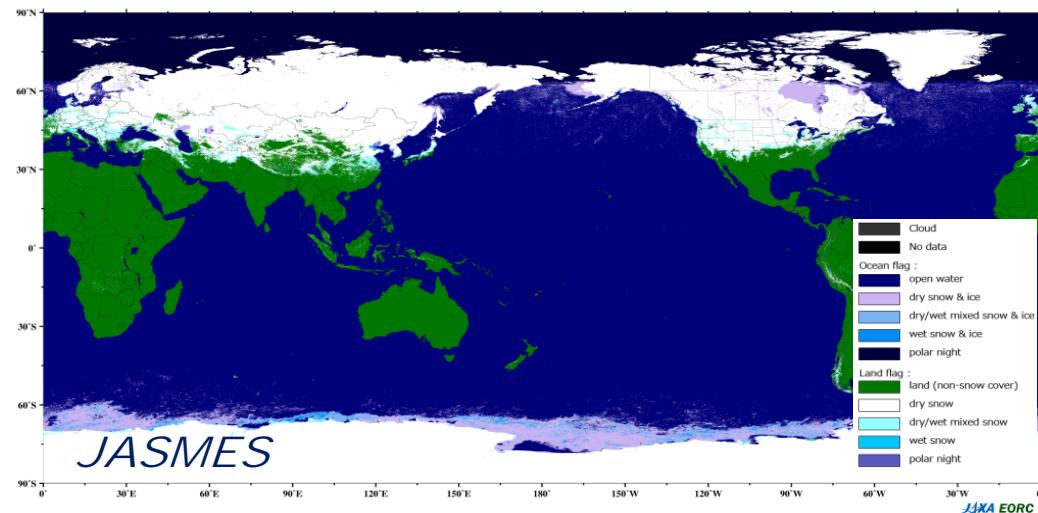
Site Name	Larch tower	Pine tower	Tulagino	Kenkeme	Molot	Khatassy	Viluy
Latitude	62.15'18"	62.14'29"	62.15'18"	62.13'51"	62.16'14"	61.54'17"	62.03'50"
Longitude	129.37'08"	129.39'02"	129.52'12"	129.08'09"	129.32'49"	129.36'58"	129.05'57"
Sorrounding area	Larch Forest	Pine Forest	Open Field	Forst,Open	Mixed Forest	Open Filed	Pine Forest
Installed height [m]	3.000	4.100	1.280	1.800	1.770	1.792	1.360
Obs. Interval	2hour	2hour	2hour	2hour	2hour	2hour	2hour

This site started in 2001 as the AMSR/AMSR-E validation site. Since then, the site is maintained by the University of Tokyo in the cooperation with the Institute for Biological Problems of Cryolithozone.

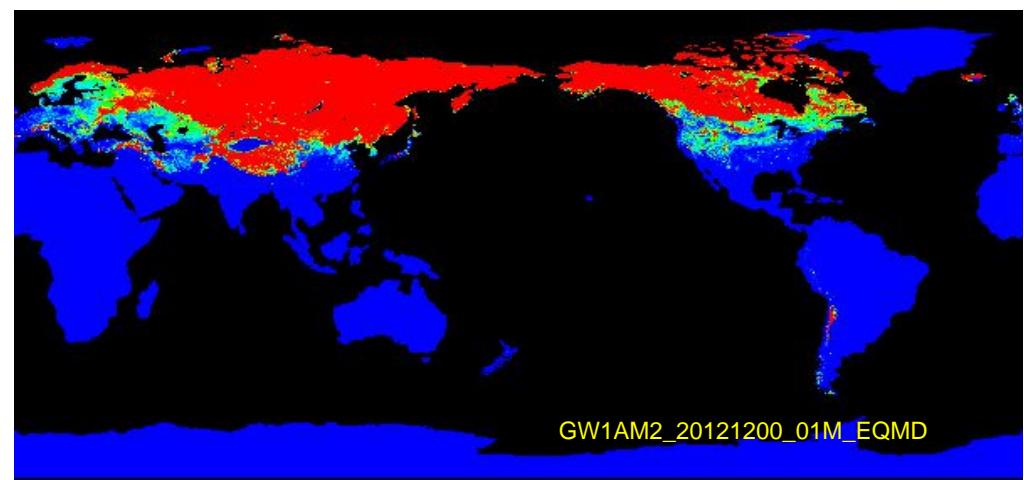
Snow Cover (December,2012)

JAXA/EORC
RESTEC

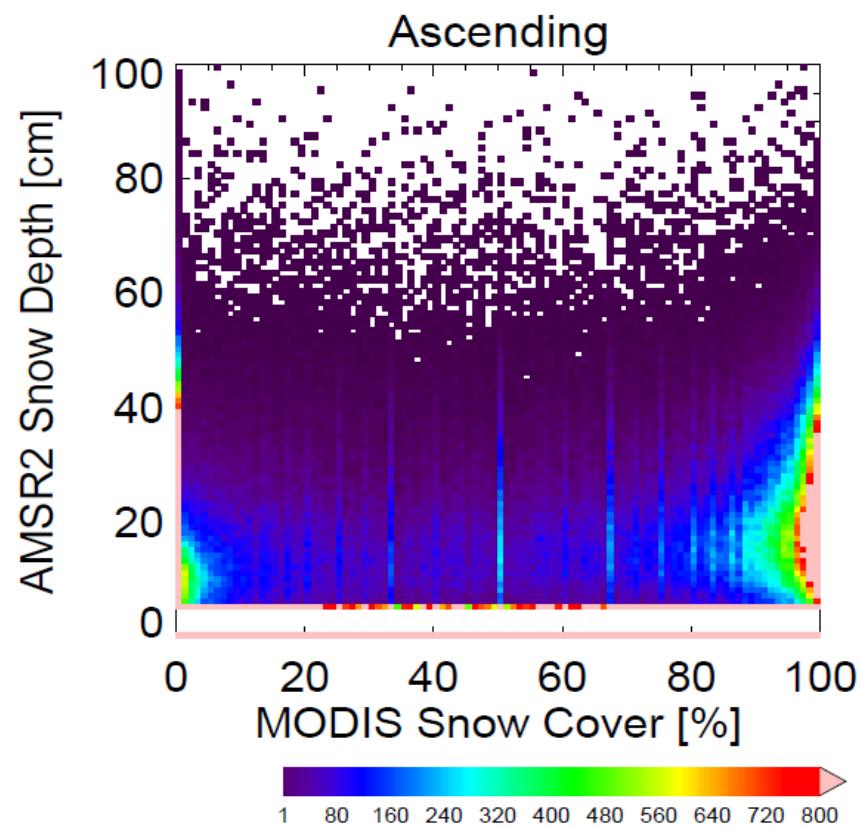
MODIS / Snow Cover Extent (December,2012)



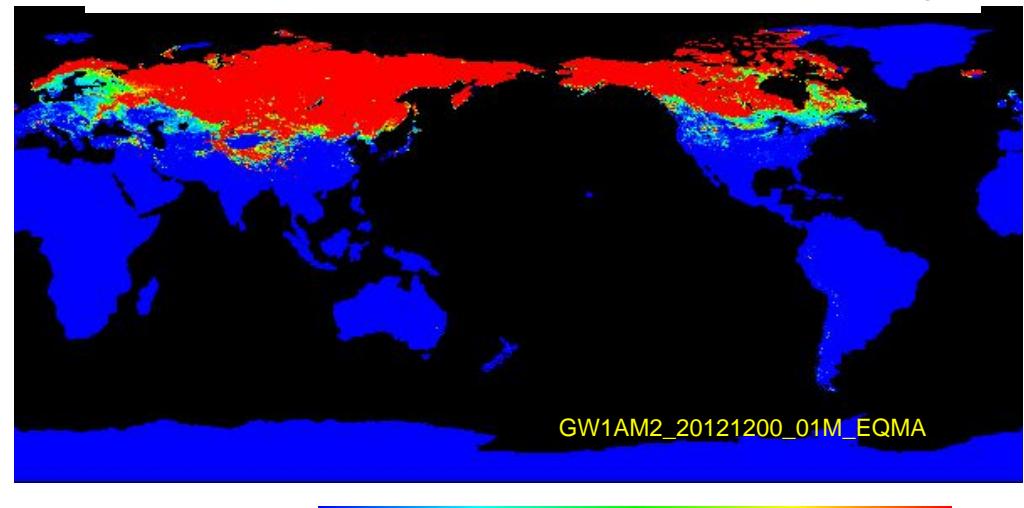
AMSR2 Snow Depth (December,2012, Descending)



Ascending



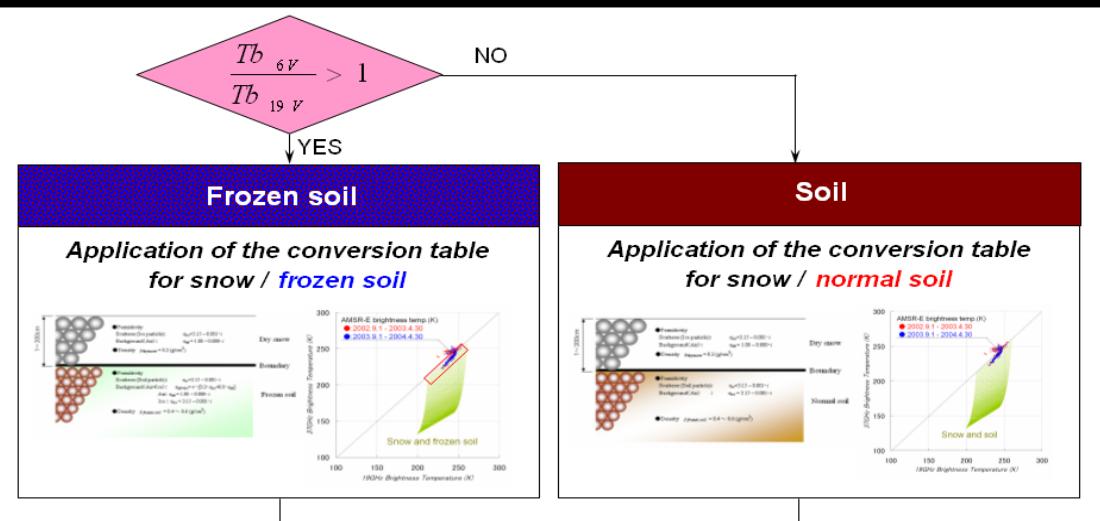
AMSR2 Snow Depth (December,2012, Ascending)



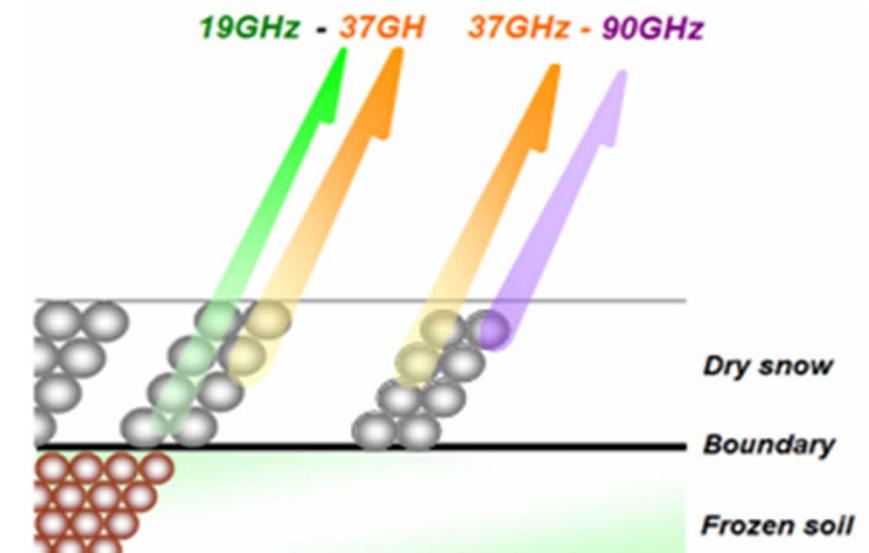
Component of the estimation method for the evaluation of snow distribution over the Tibetan plateau

Decision criteria for frozen soil

based on 6 and 19GHz

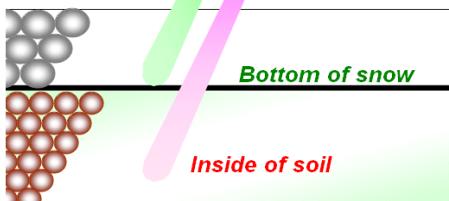


Decision criteria for the apparent snow cover based on 19, 37 and 89GHz



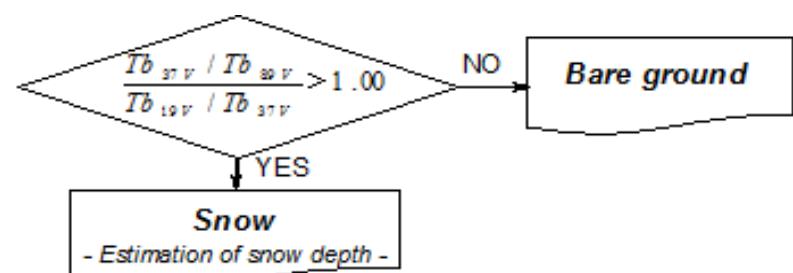
19GHz brightness temp.

6GHz brightness temp.

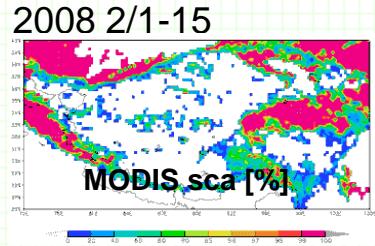
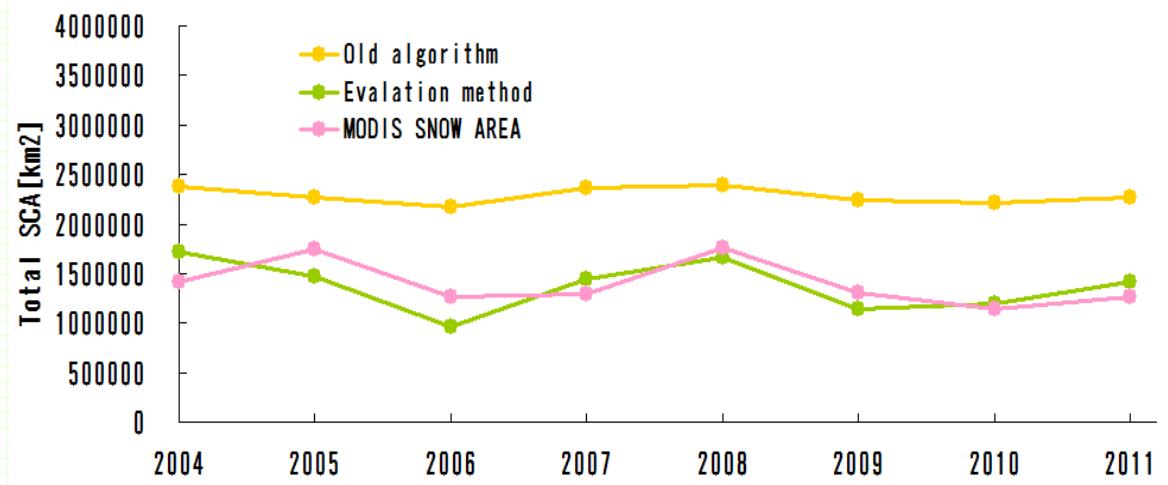
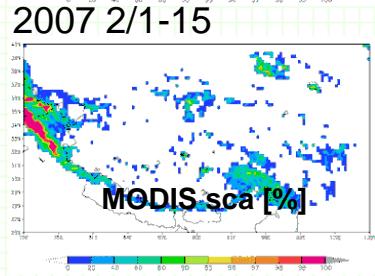
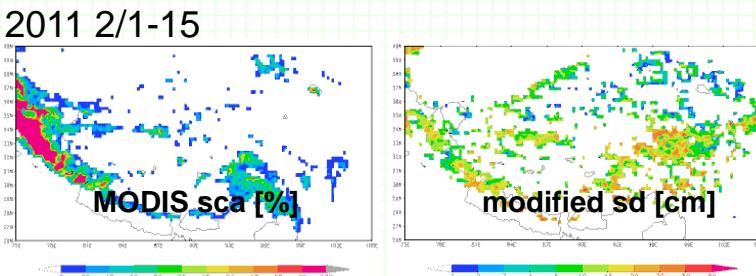
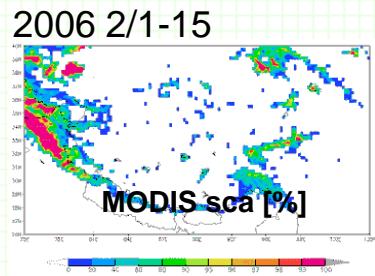
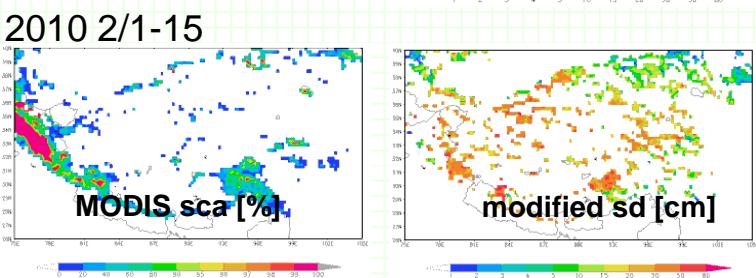
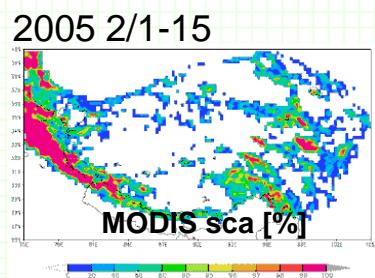
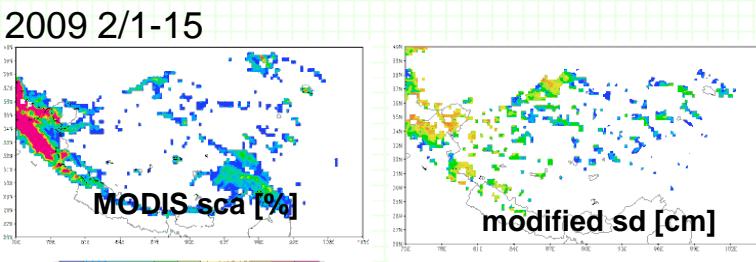
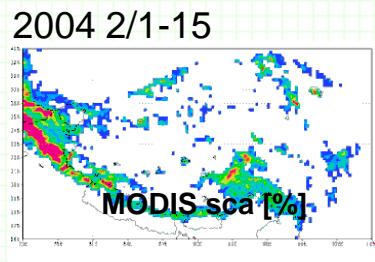


$$\frac{Tb_{6v}}{Tb_{19v}} > 1$$

$$\frac{(Tb_{37v} \times Tb_{90v}^{-1})}{(Tb_{19v} \times Tb_{37v}^{-1})} > 1$$



Comparison with the estimated snow distribution and MODIS's snow cover area over the Tibetan Plateau



マイクロ波放射伝達モデル

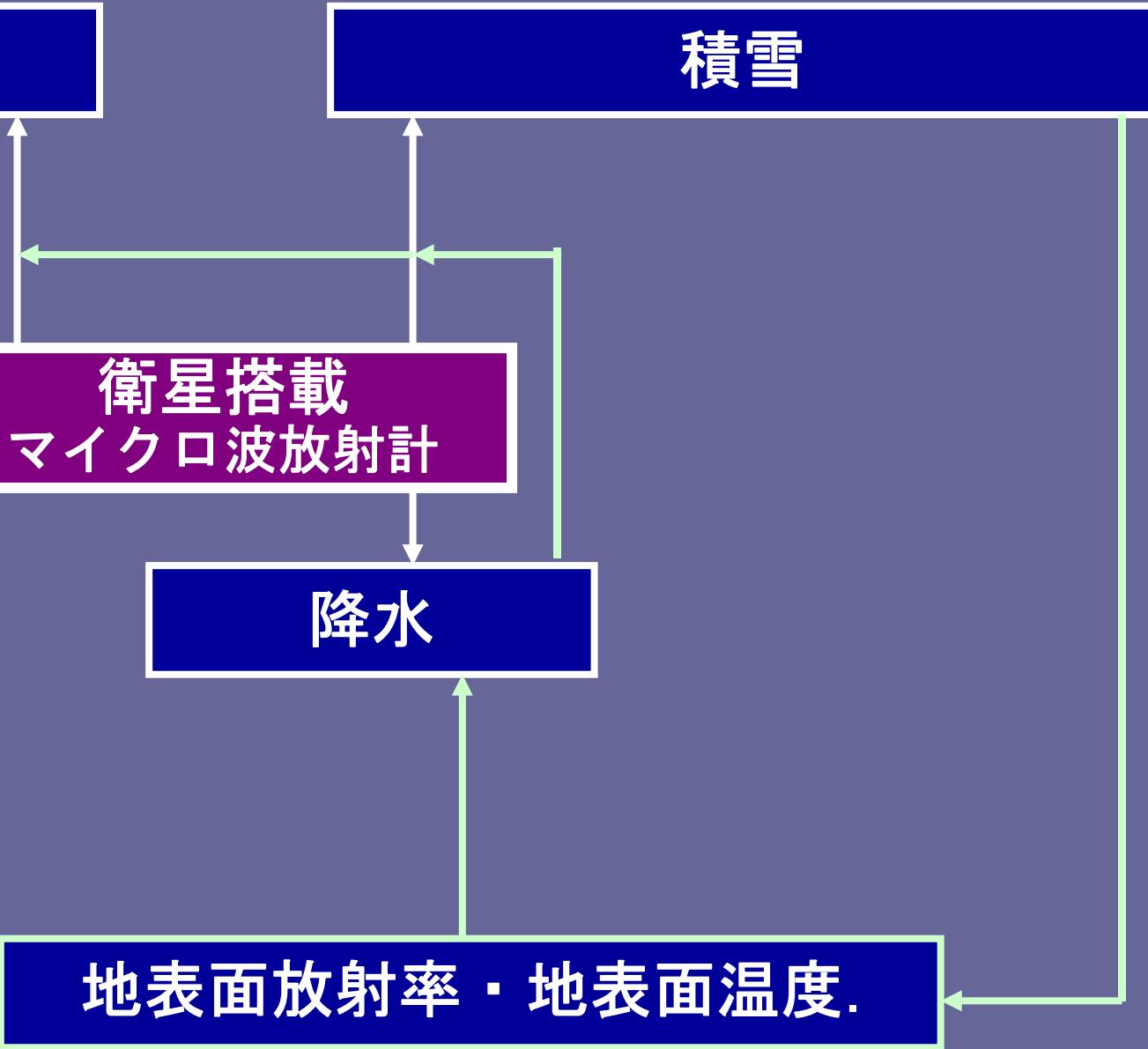
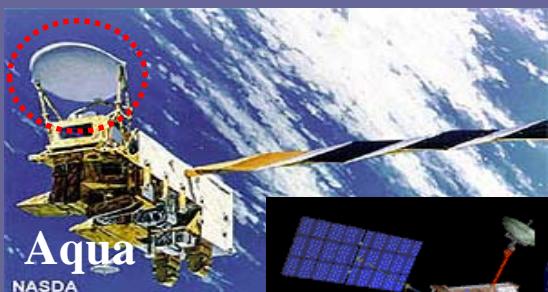
土壤水分

積雪

衛星搭載
マイクロ波放射計

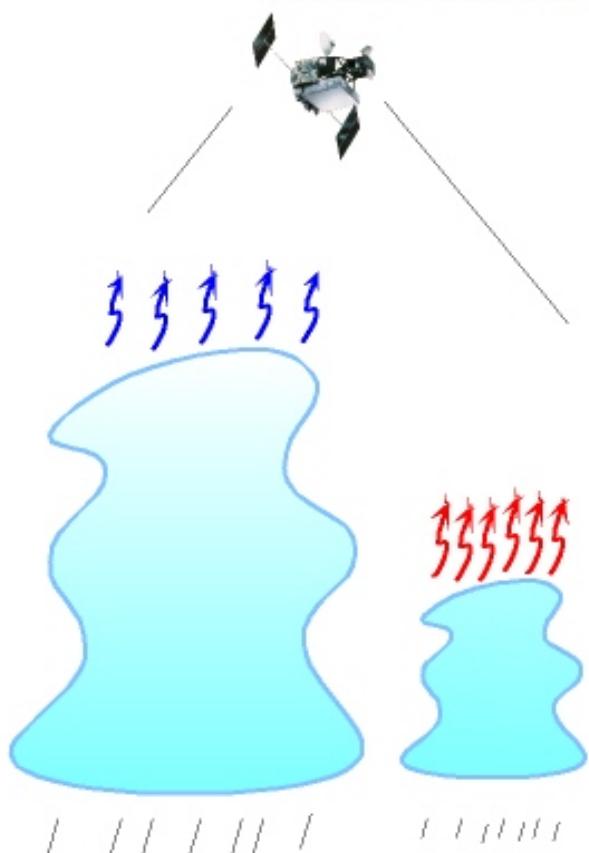
降水

地表面放射率・地表面温度.



衛星による降水観測

Visible/Infrared Radiometer

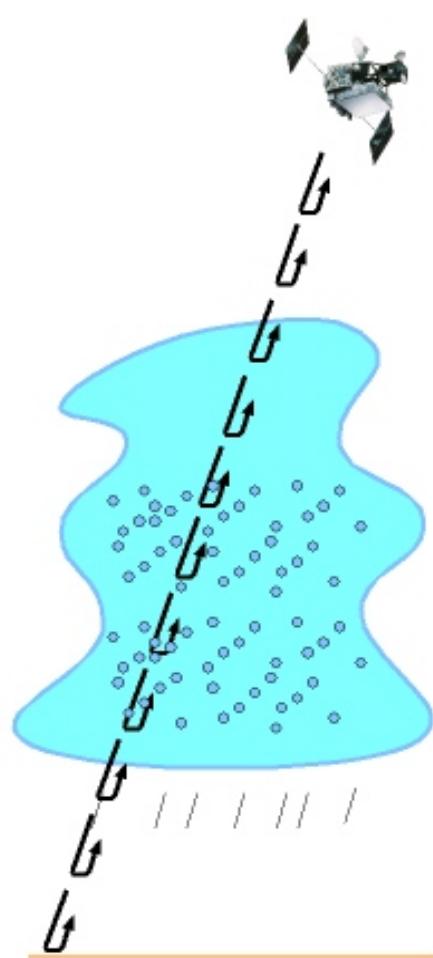


Rain Gauge



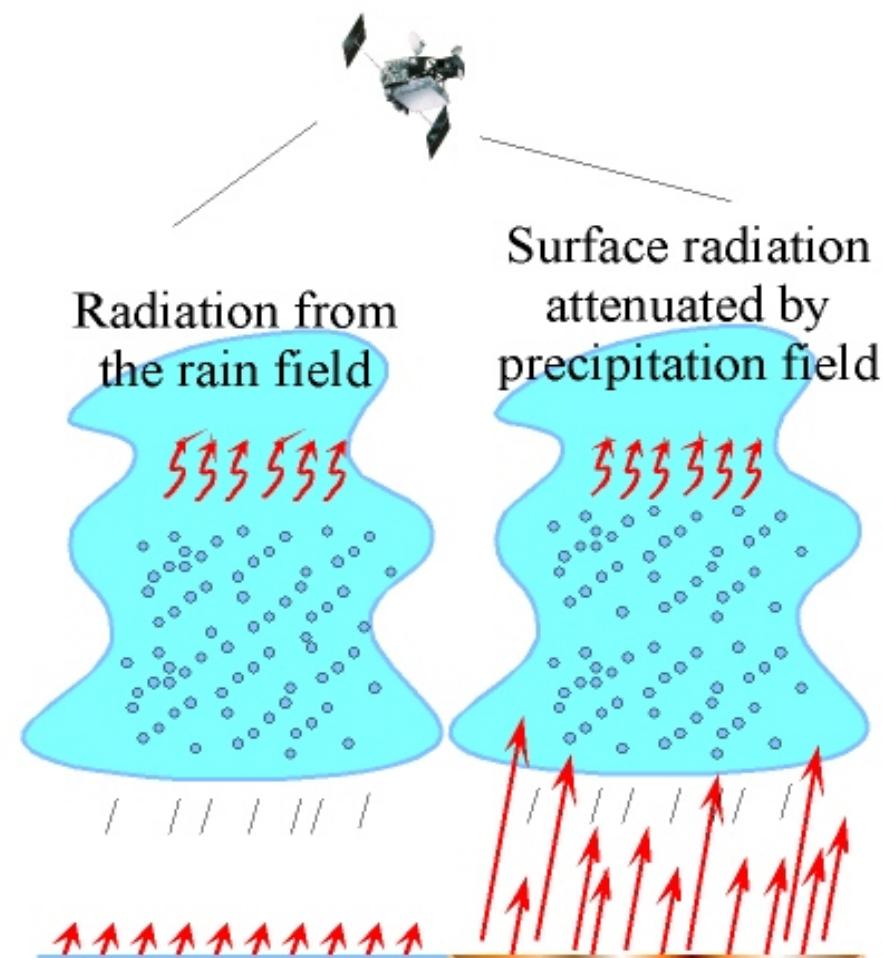
On site calibration

Radar



3-D Observation
Narrow Swath

Microwave Radiometer



Homogeneous
Small Radiation

Heterogeneous
Large Radiation

Surface radiation
attenuated by
precipitation field

Radiation from
the rain field

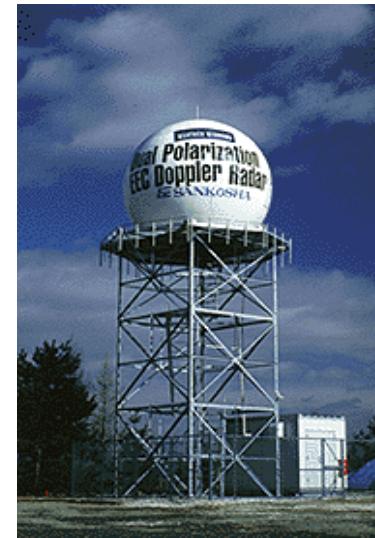
Integrated Field Campaign in Fukui



MicroRainRadar



Satellite



3D Doppler Radar



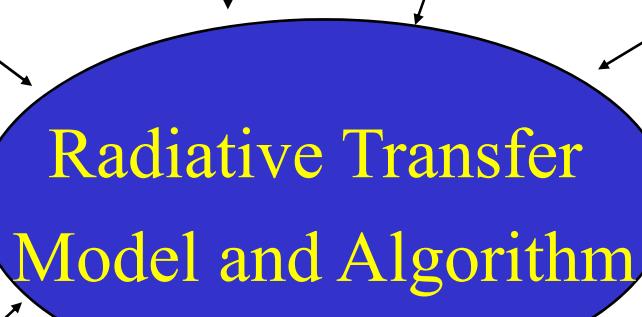
Aircraft measurements



Snow Particles and balance



Automatic WeatherStation



Ceilometer

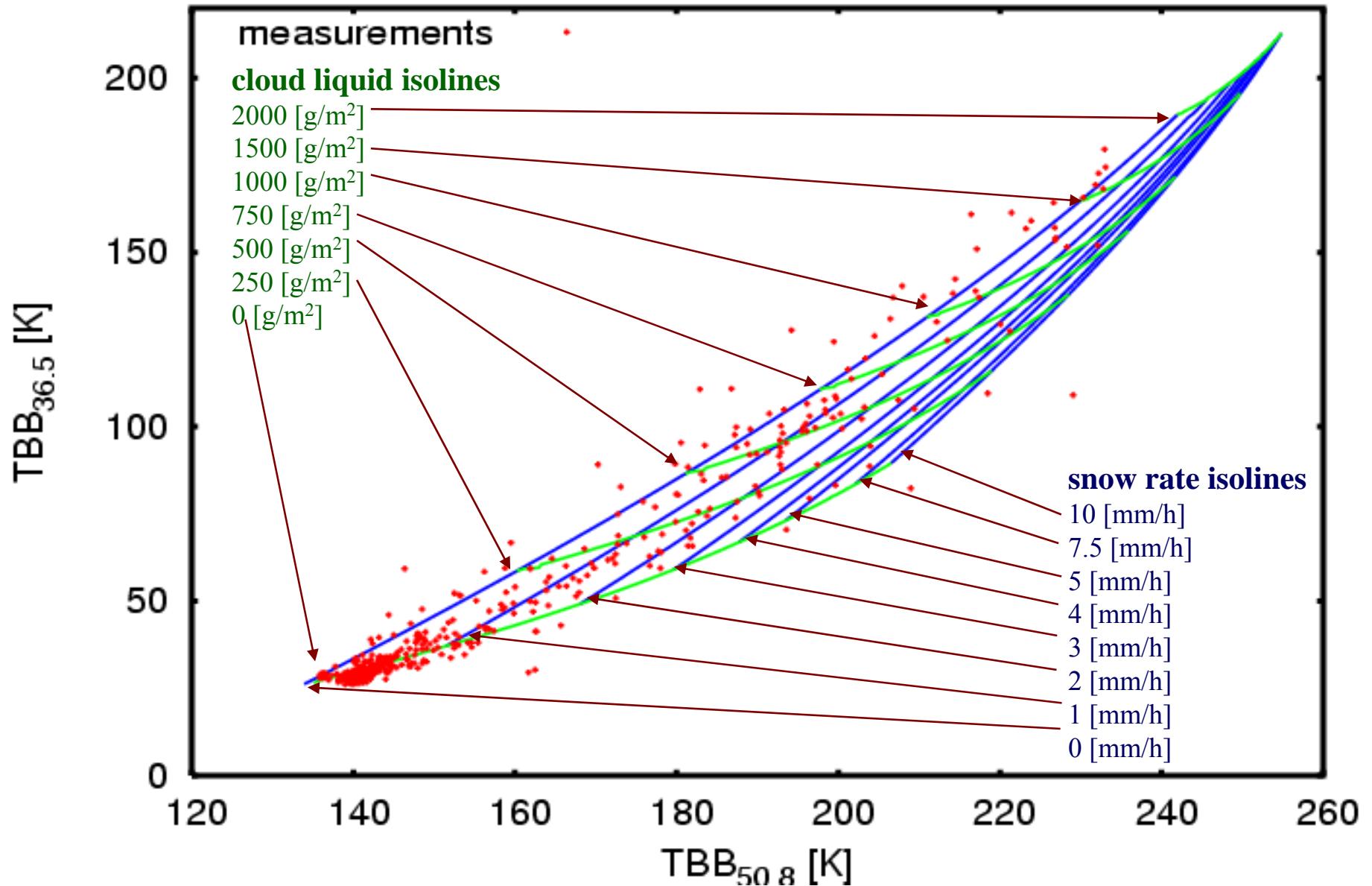


Radiometers



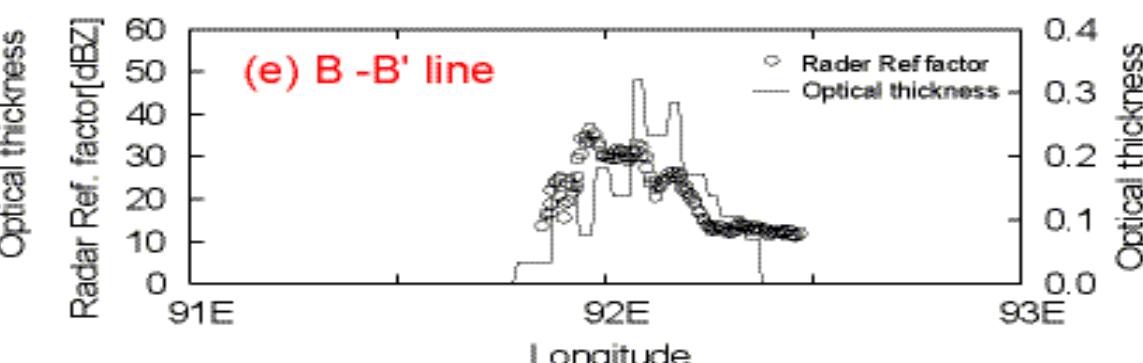
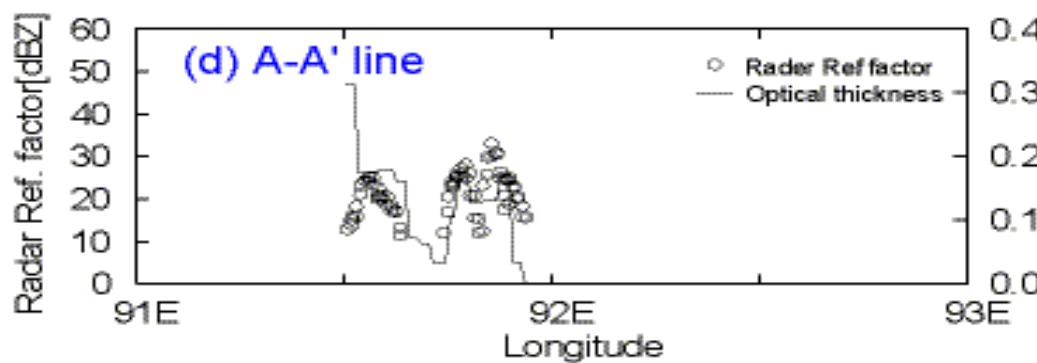
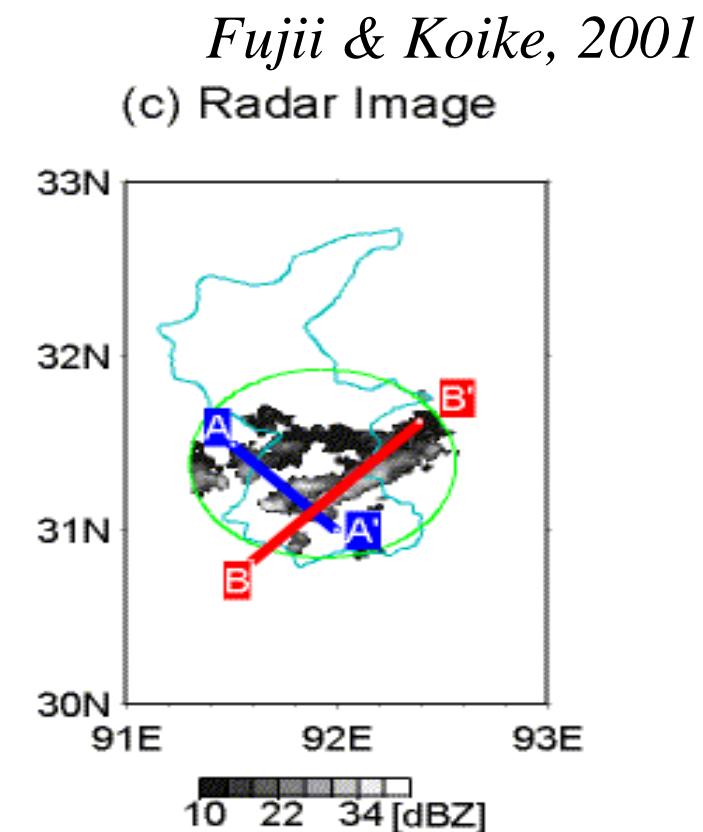
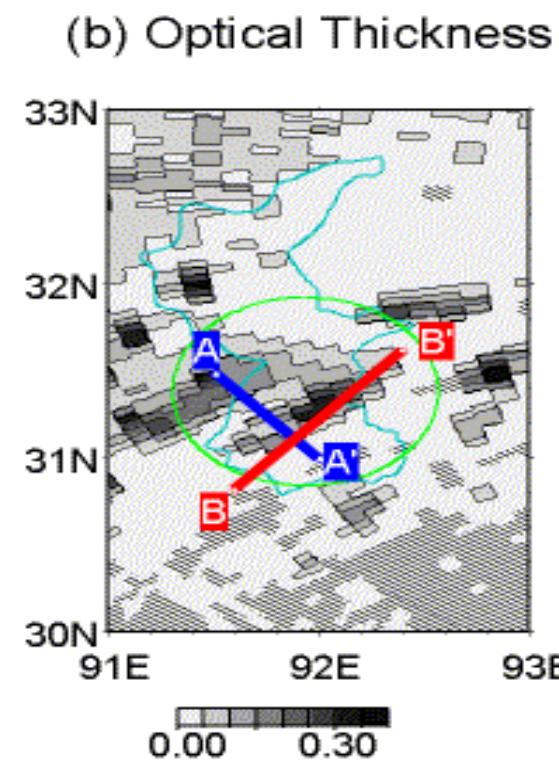
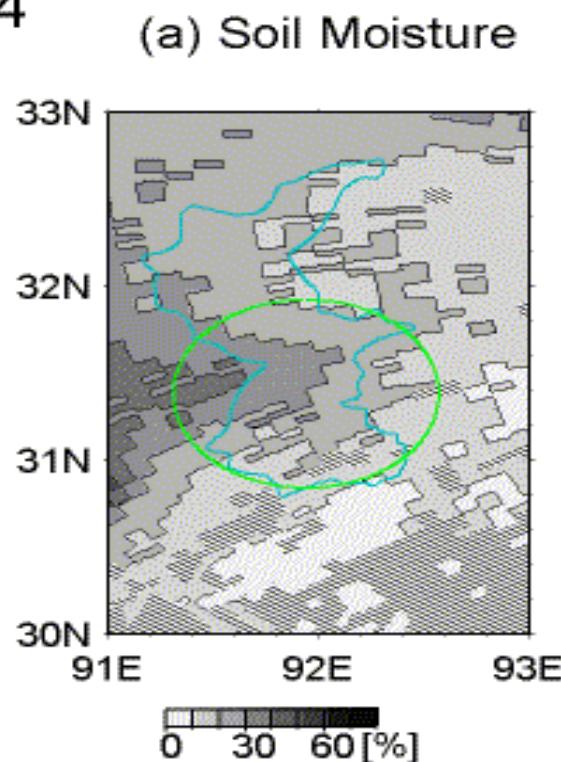
Radiosoundings

Lookuptable – Measurements

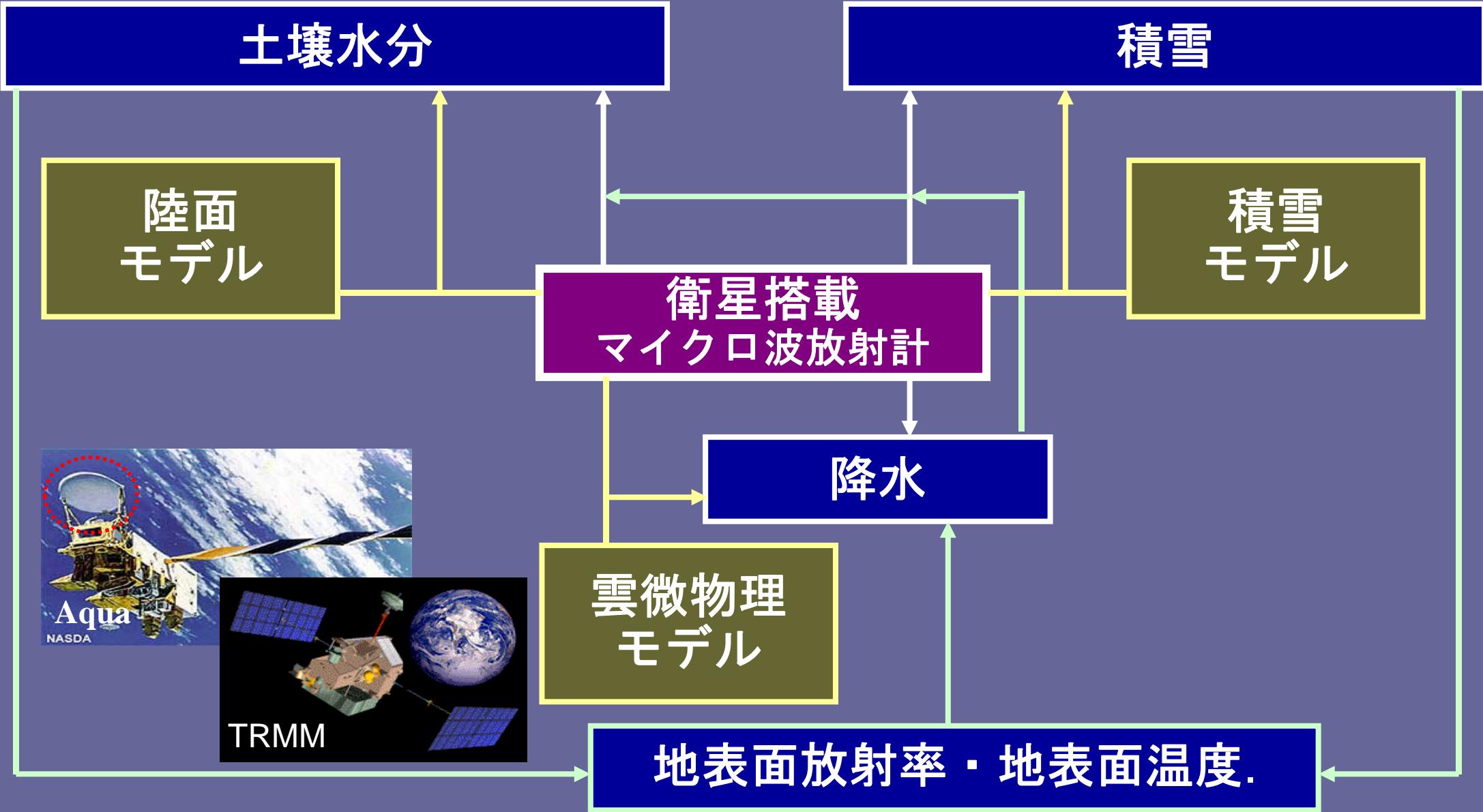


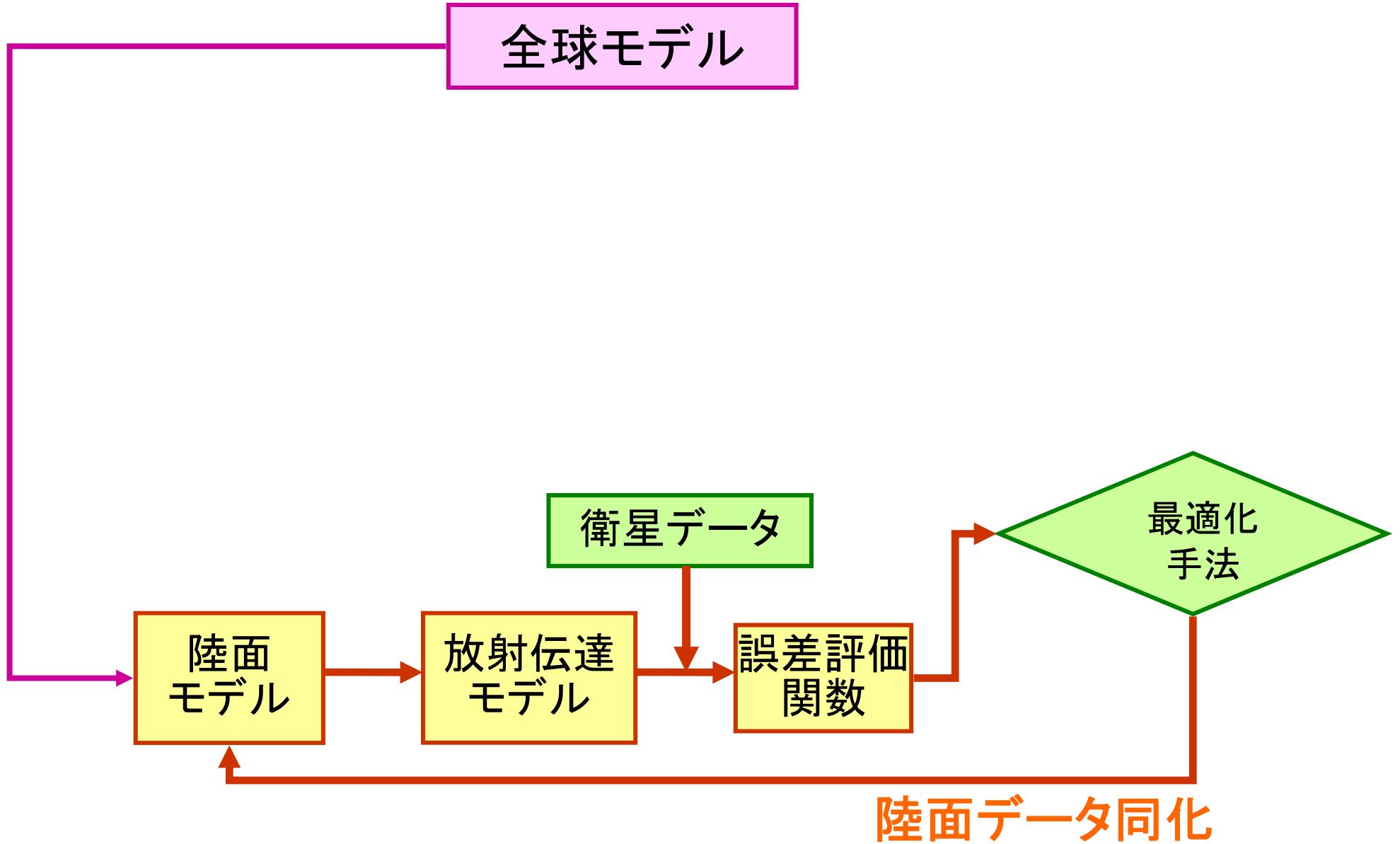
マイクロ波放射計(TMI)によるチベット高原の降水

1998/07/04
0651UTC



衛星データ同化





データ同化による熱・水蒸気のフローの算定

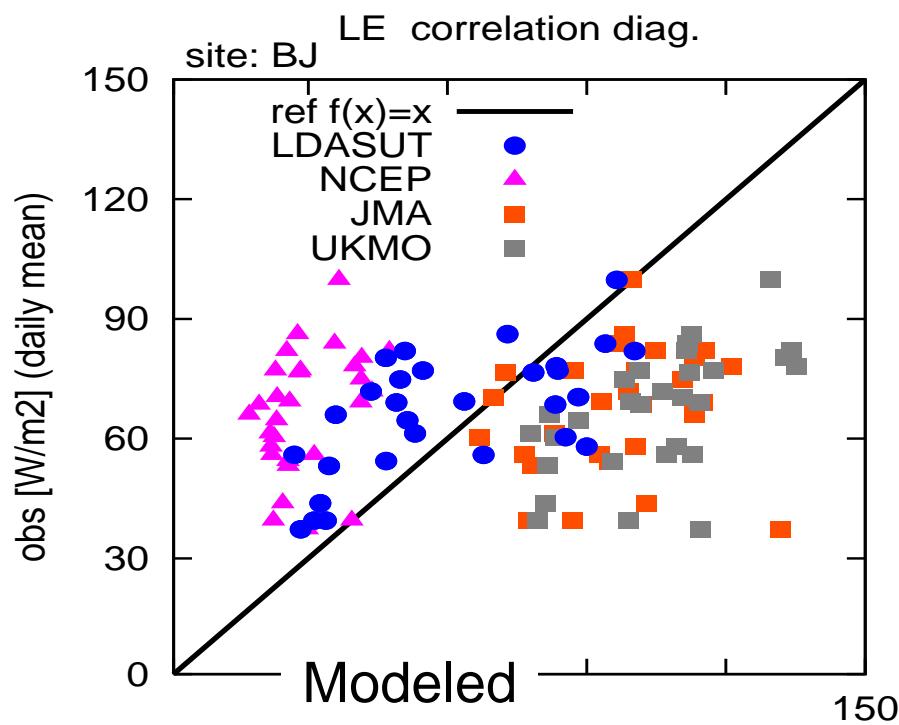
- 陸面データ同化システム: 0.5度グリッド
- 入力データ
 - 全球降水 GPCP: 1度グリッド
 - 全球放射 ISCCP: 2.5度グリッド
 - 米国数値気象予報再解析: 1.5度グリッド
- 葉面積指数: MODIS
- マイクロ波放射輝度温度:
AMSR-E



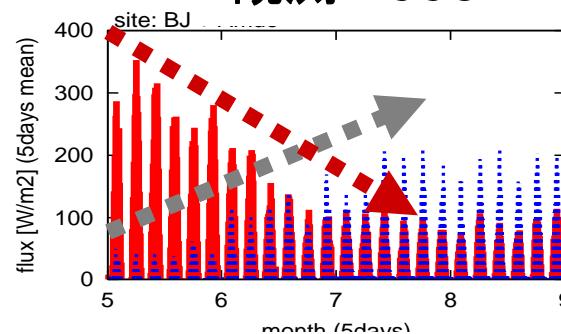
データ同化システムと 現業数値予報システムの比較

日平均蒸発量 (7月)

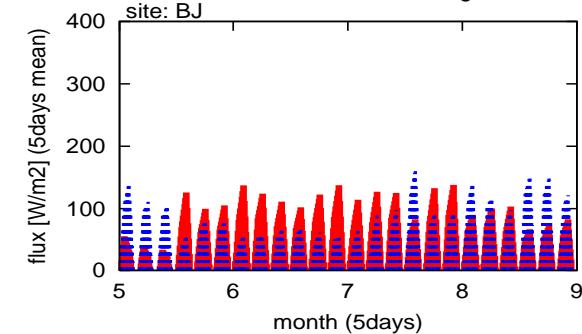
LDASUT
米国大気海洋庁
日本気象庁
英国気象庁



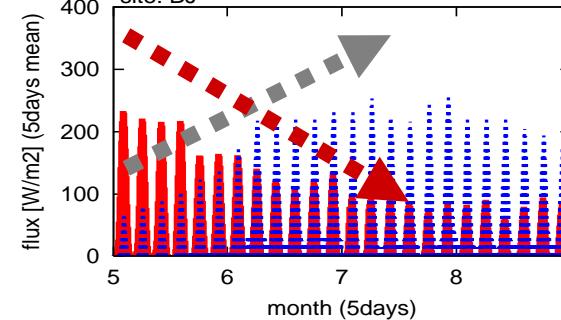
観測 1998



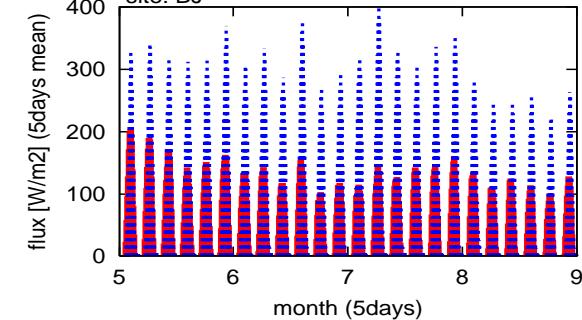
米国大気海洋庁



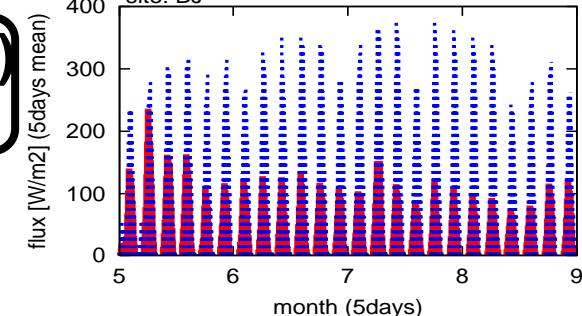
東大システム



日本気象庁



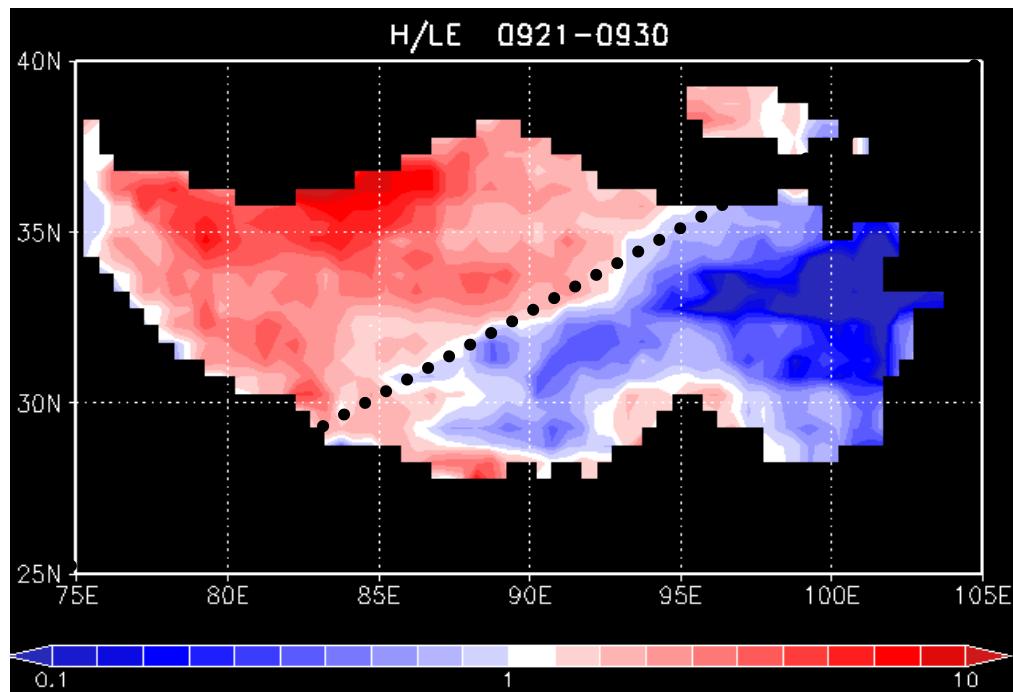
英国気象庁



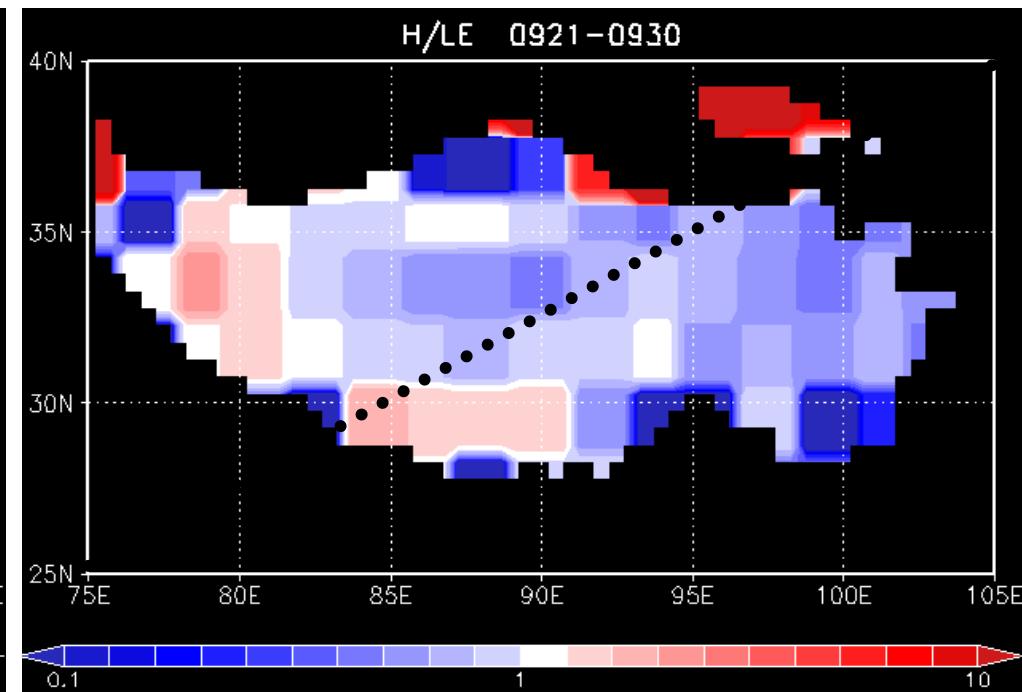
季節変化 (5—9月)
顯熱(H) 潜熱(LE)

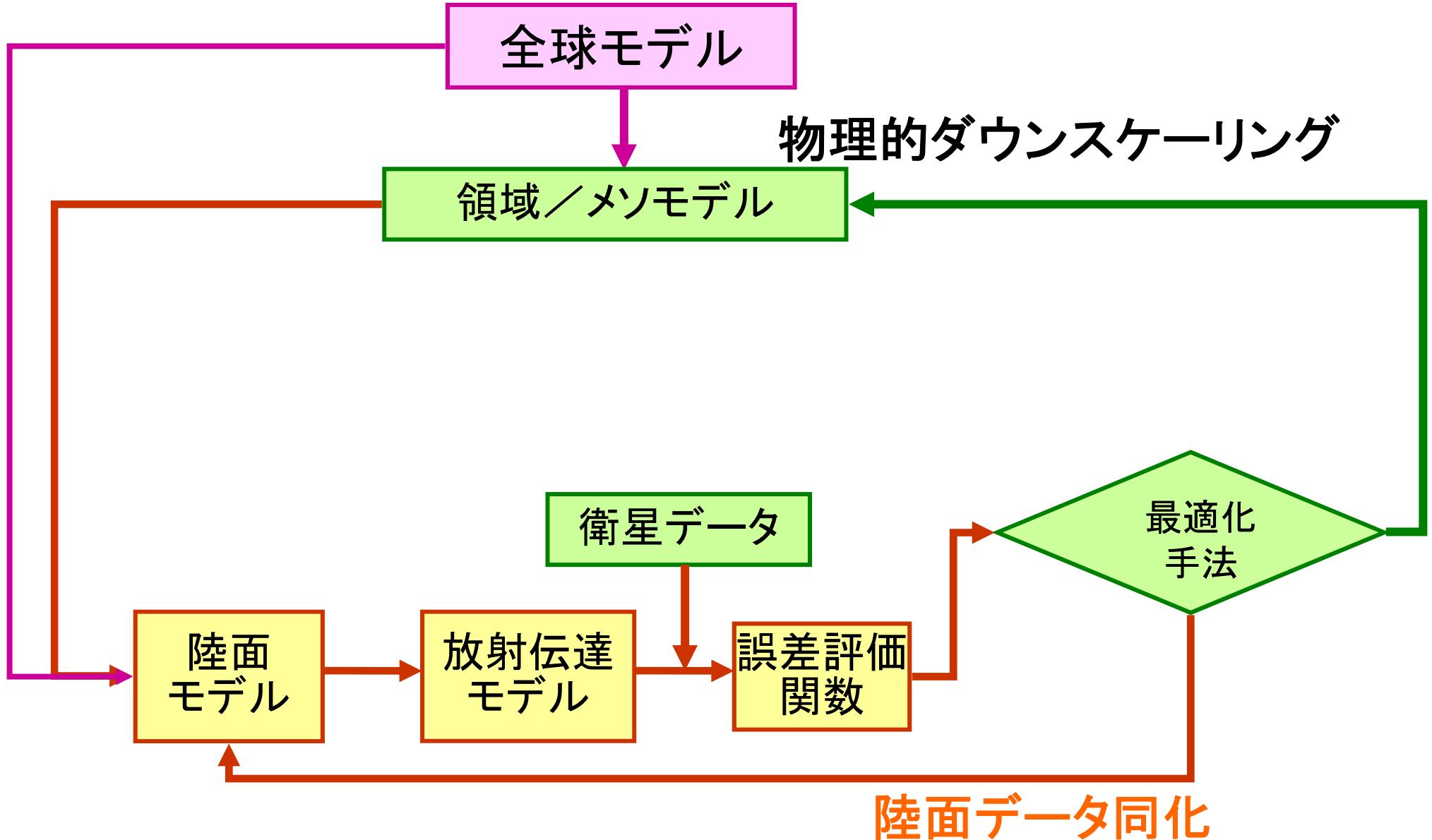
チベット高原の顯熱／潜熱比(ボーエン比) の空間分布の季節変化

LDASUT



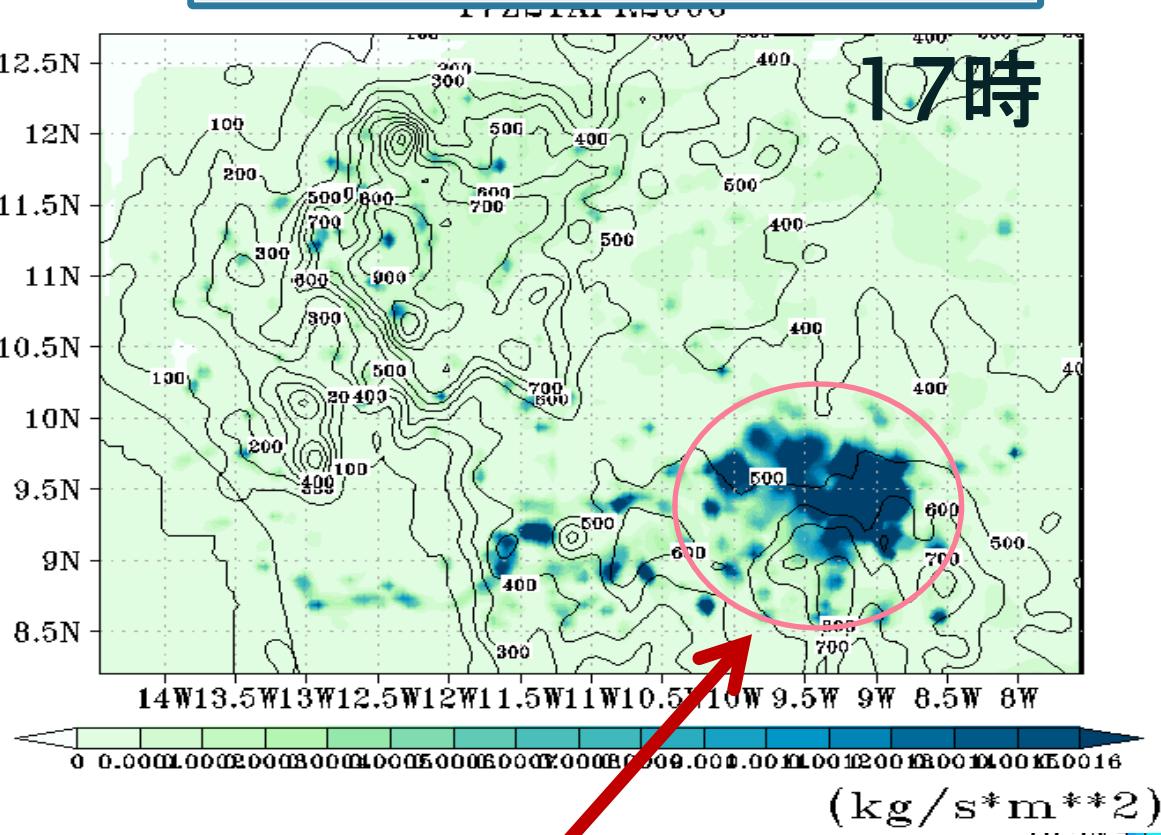
米国大気海洋庁





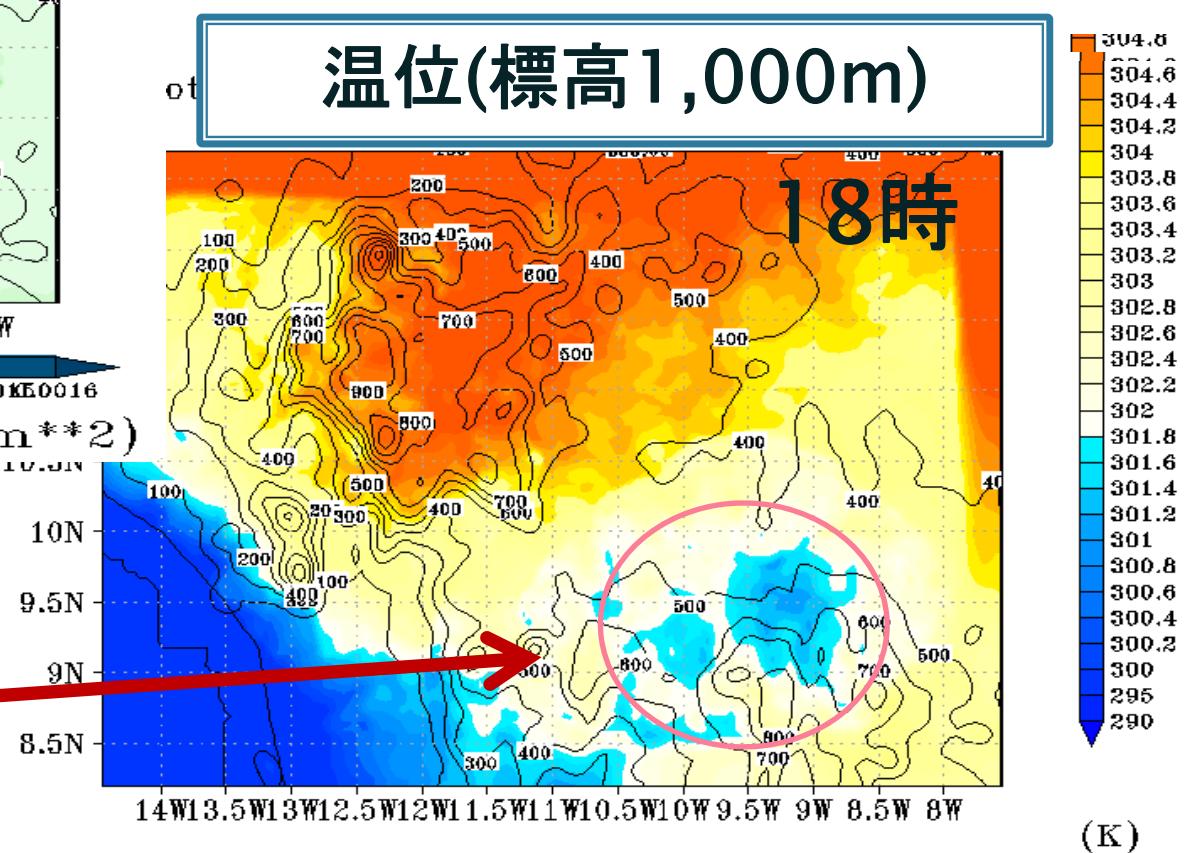
上空から見る降雨・温位(4月)

降雨の分布

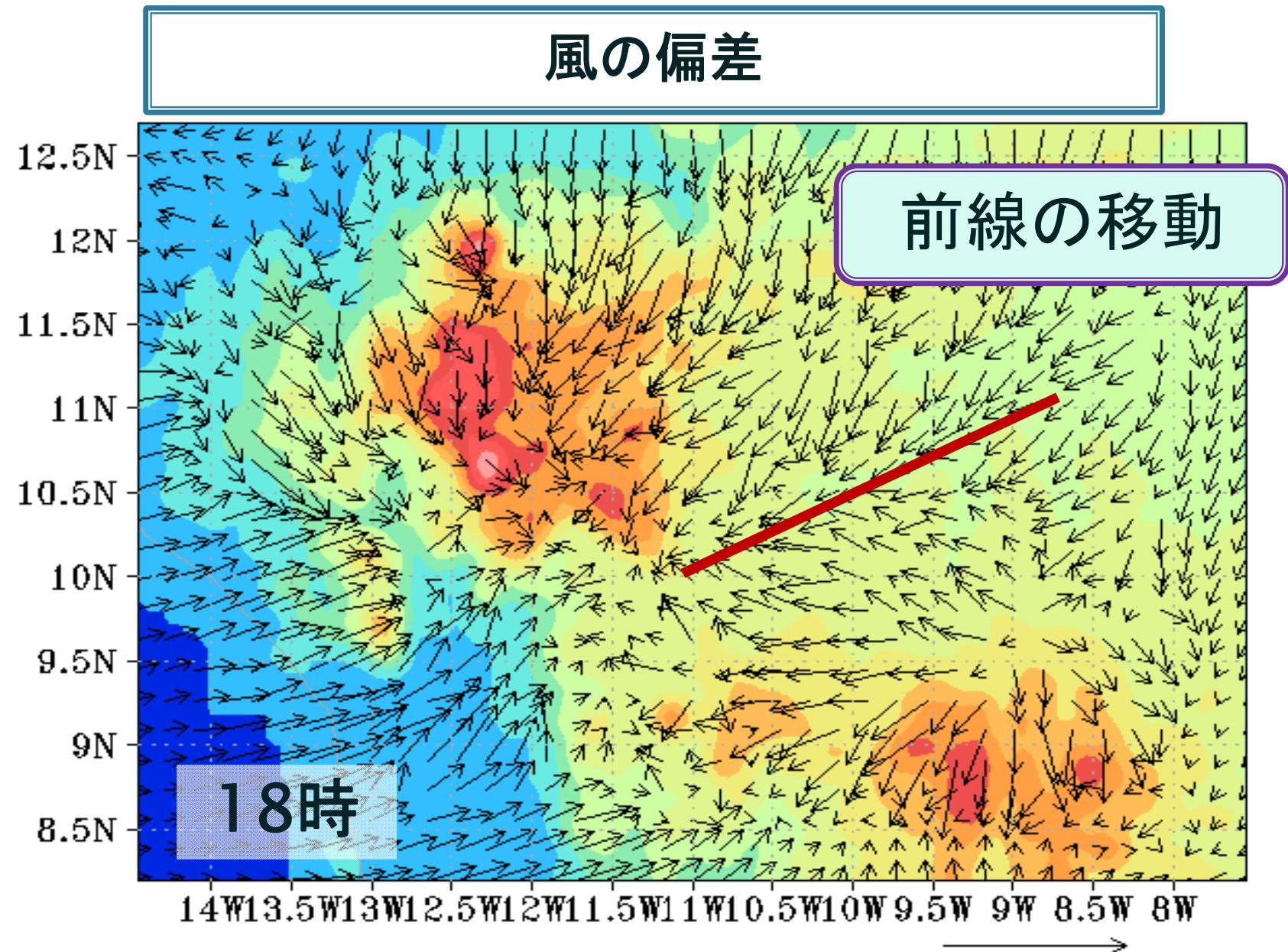


4月10日間平均
領域プロファイル
左上: 降雨量(15,16,17時)
右下: 温位(16,17,18時)

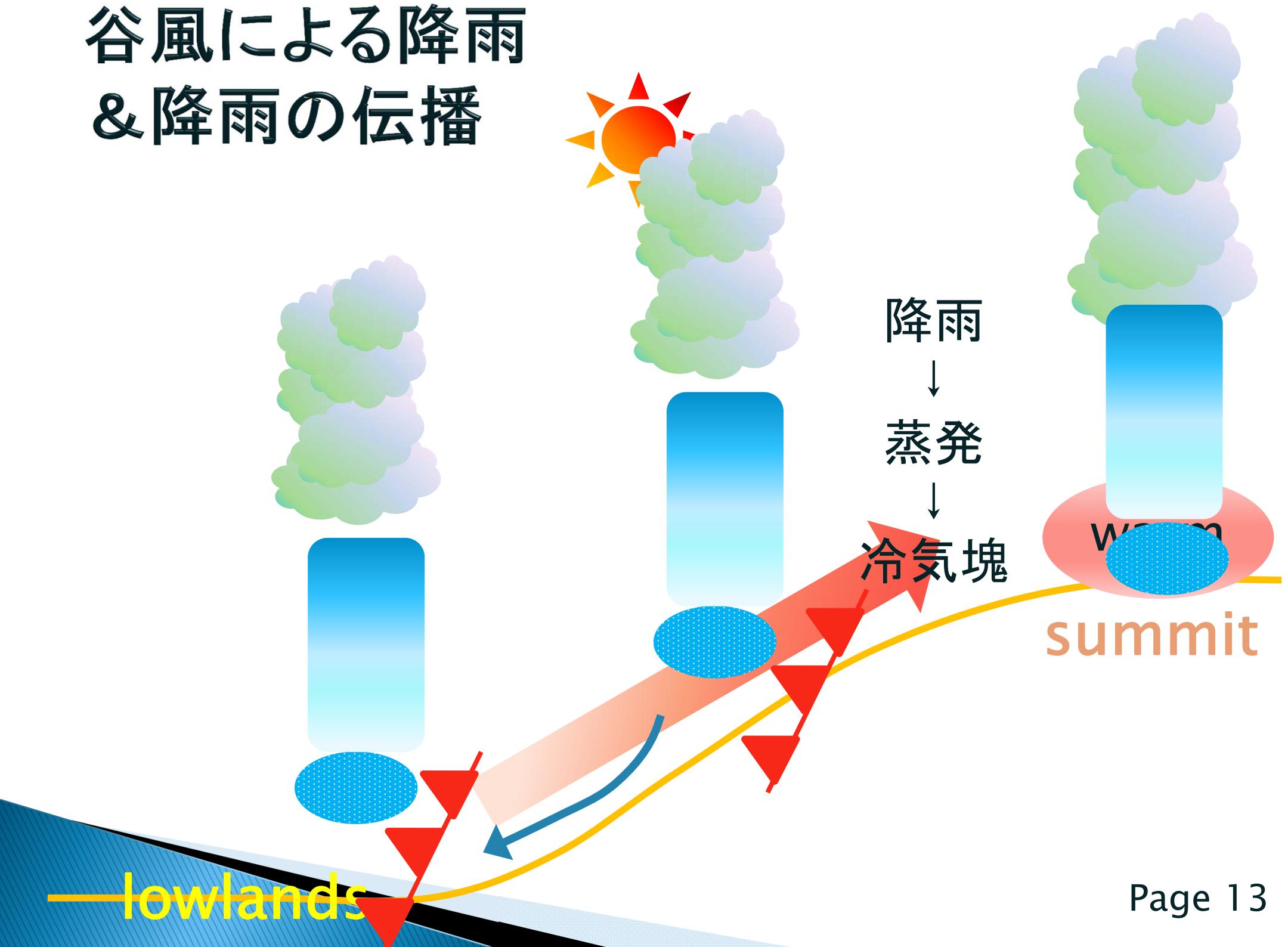
温位(標高1,000m)



上空から見る風の収束・前線の形成(4月)

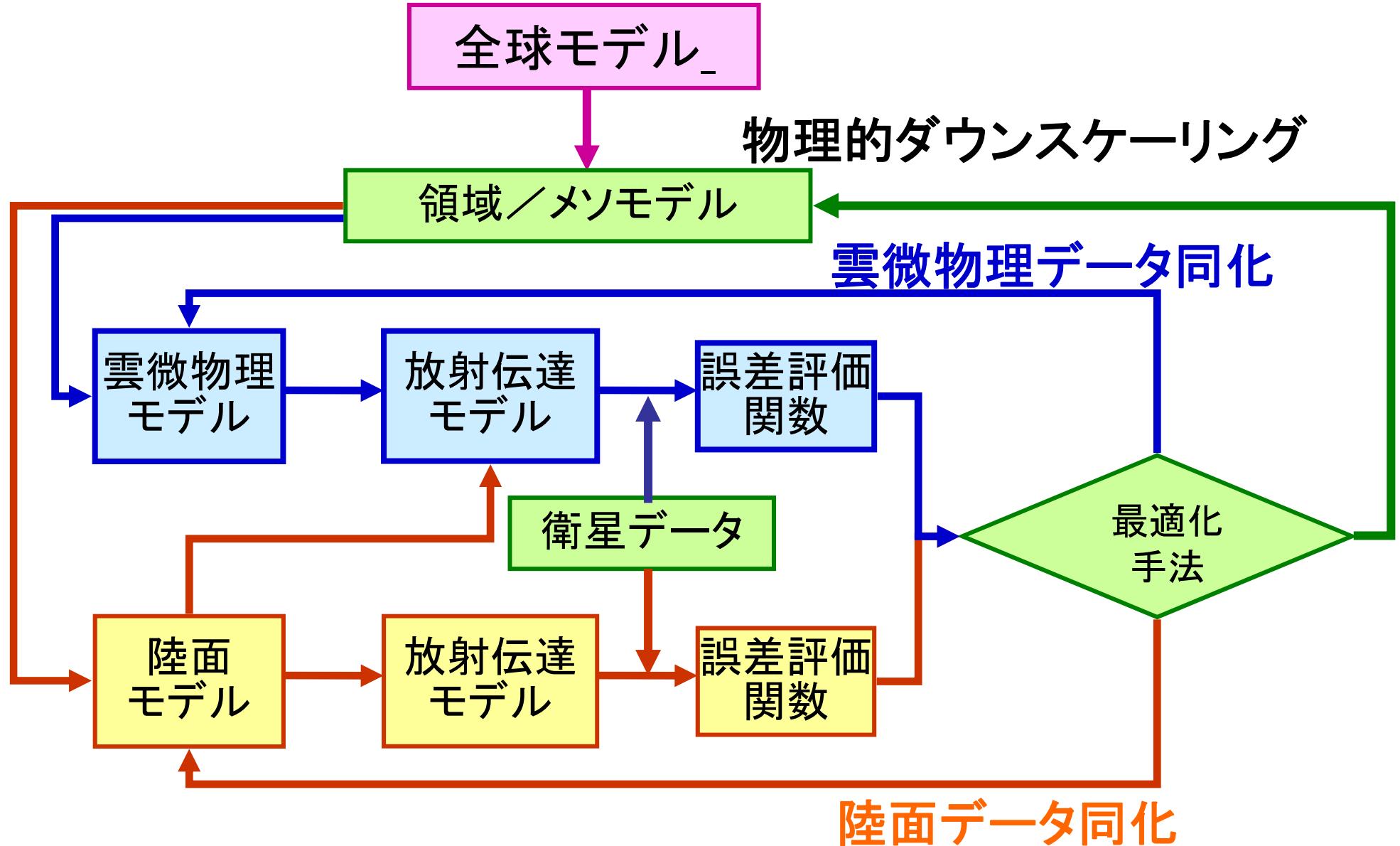


谷風による降雨 & 降雨の伝播



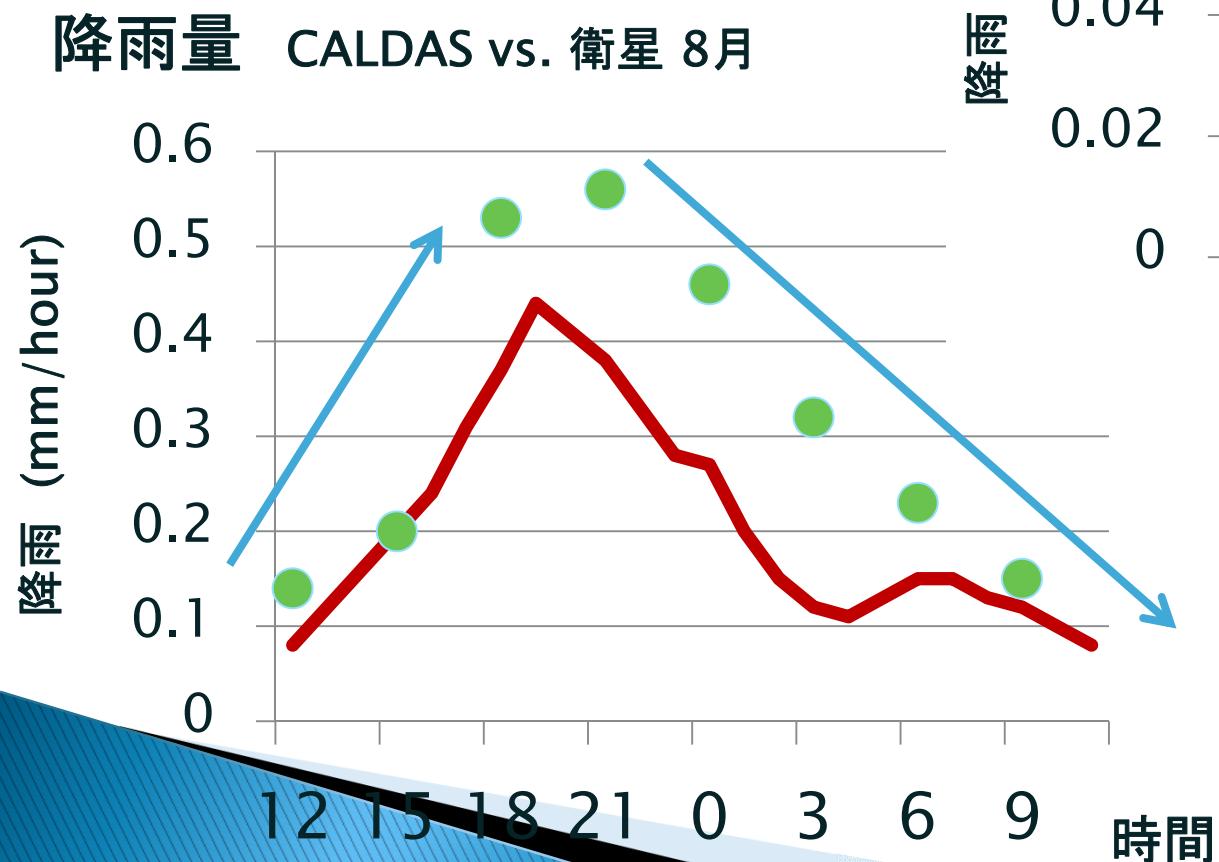
lowlands

Page 13

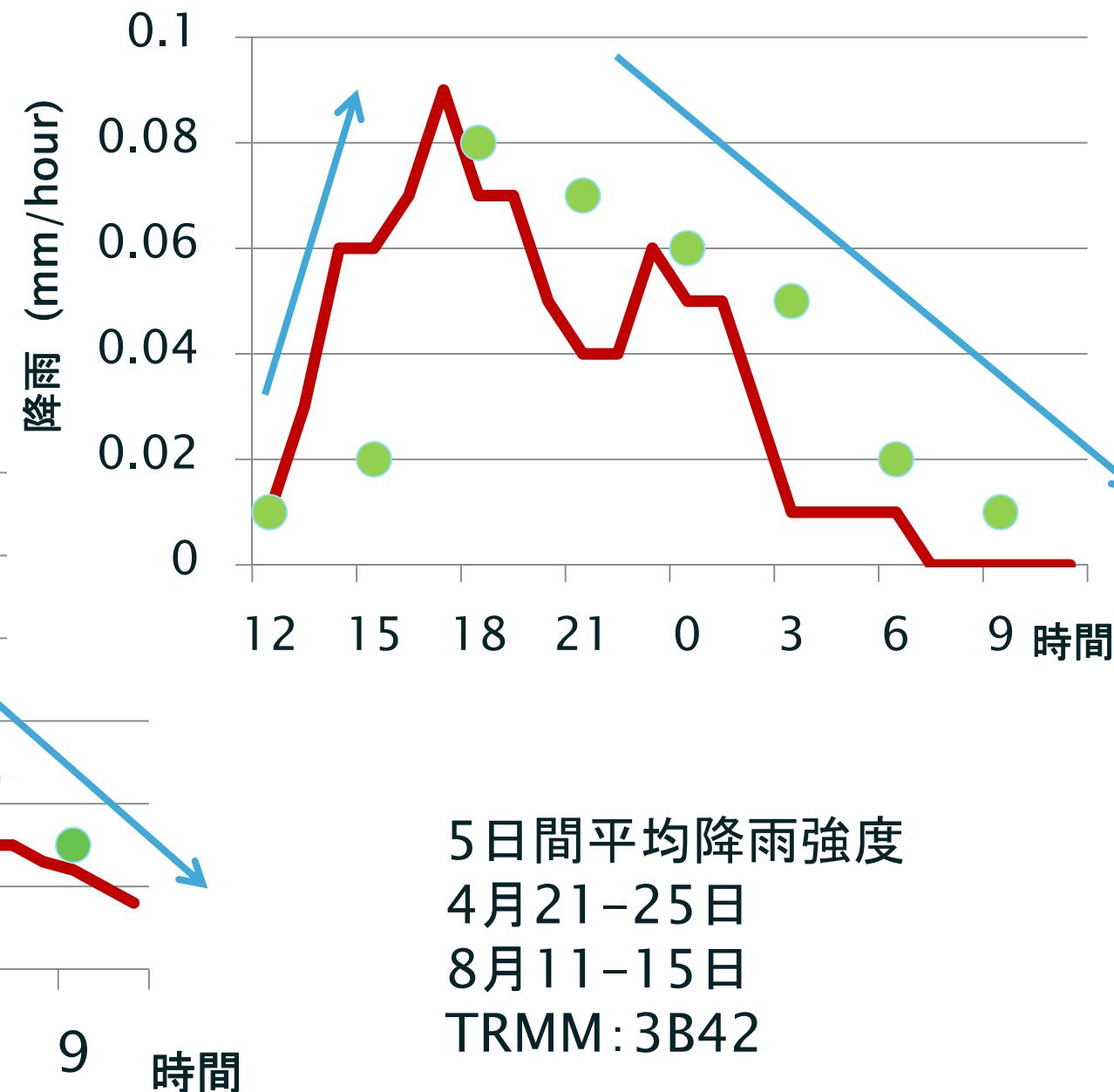


降雨強度の推定

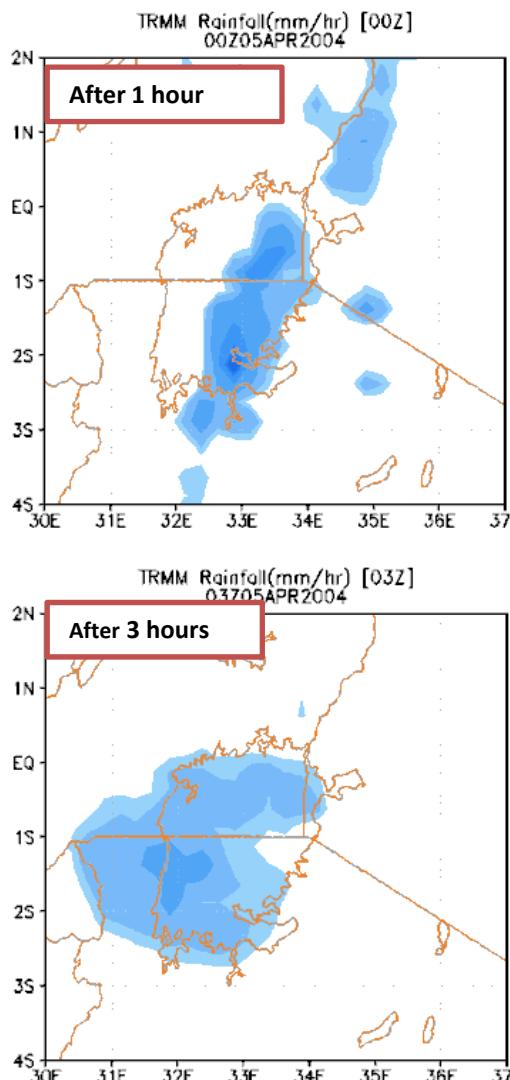
— モデルCALDAS
● 衛星TRMM



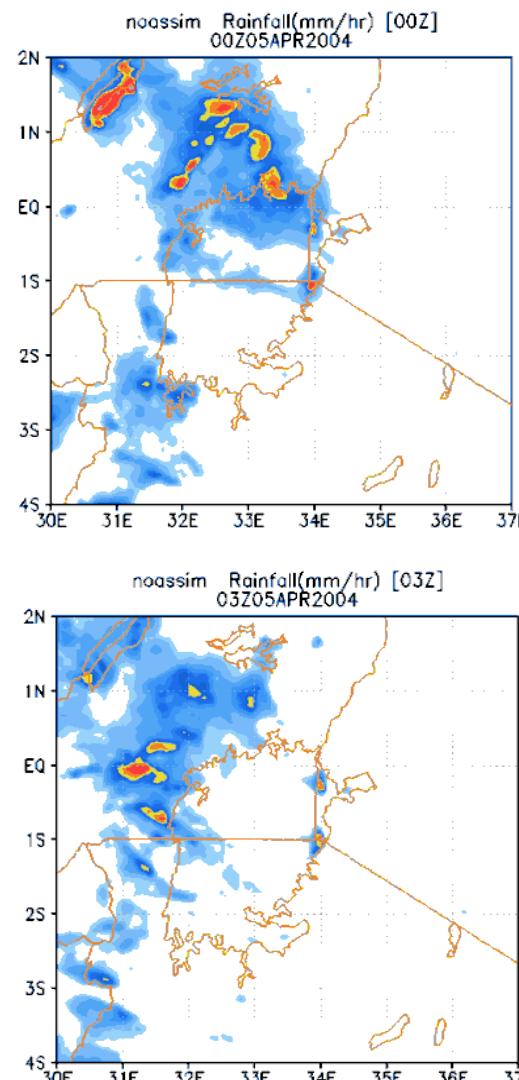
降雨量 CALDAS vs. 衛星 4月



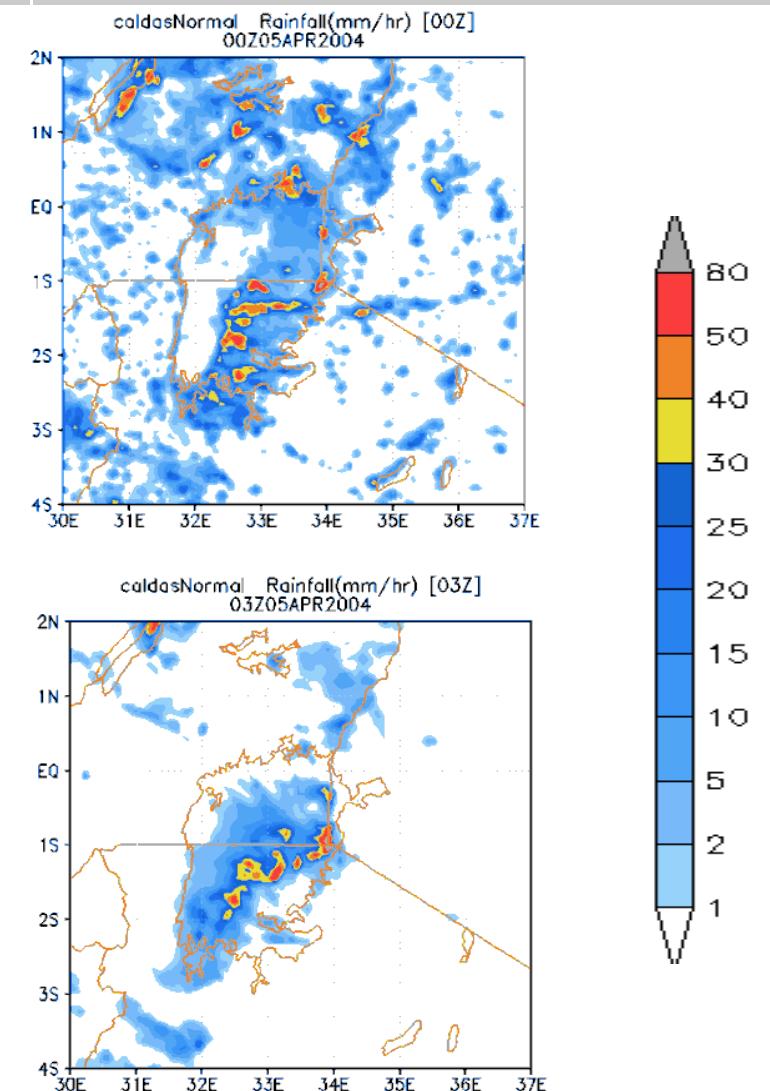
TRMM (Obs.)



No assimilation



Assimilation (qv,qc,qs,qi)

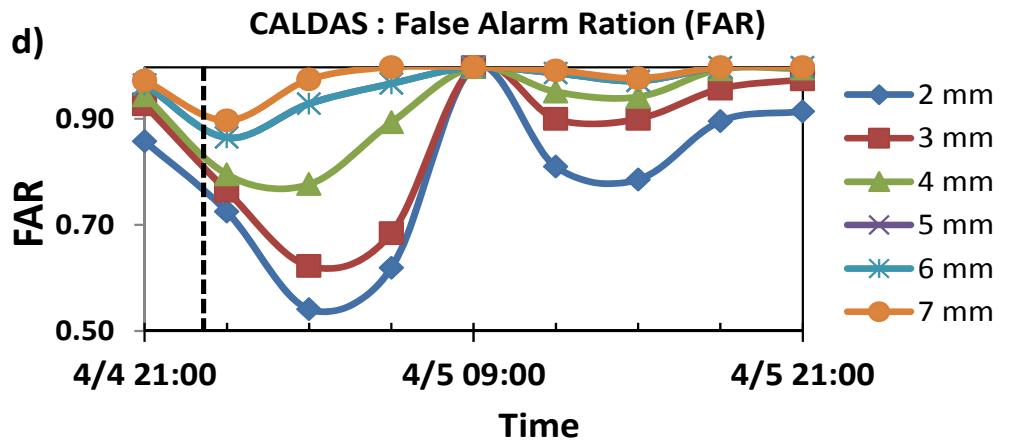
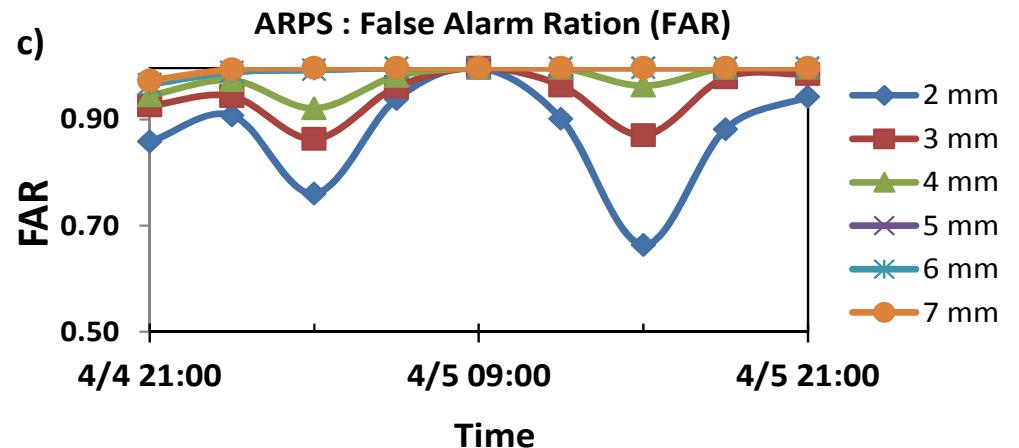
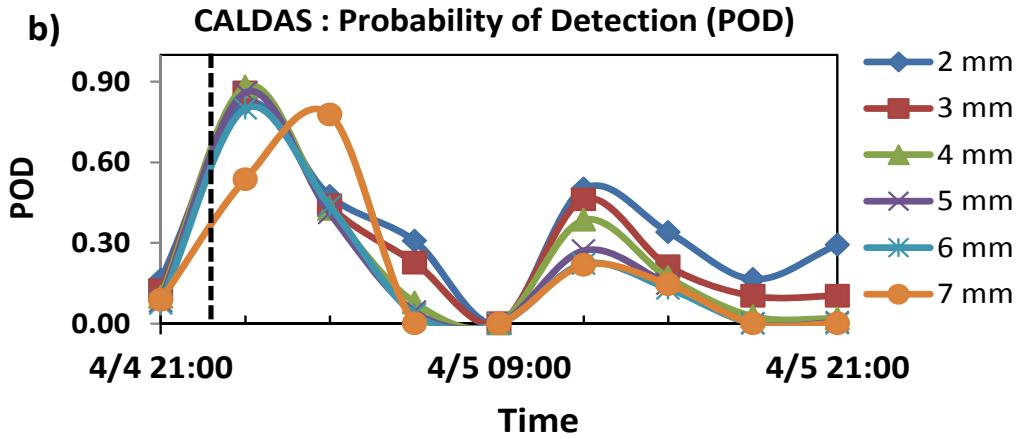
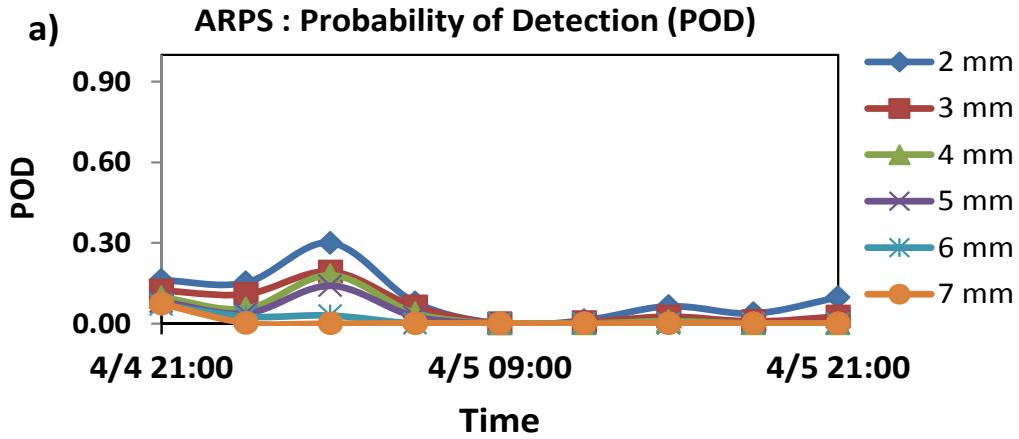


TRMM (Obs.)

- No assimilation → poor simulation of the event
- Simulates the event → wrong place
- Persistent overestimation NW ~ (32E,0N)

- Assimilation improves forecast
- Spatial pattern similar to observed (TRMM)
- Quantitatively: still a way to go

Assessment of accuracy



The black line on b) and d) shows the assimilation time (23:10 UTC 4th April, 2004)

AMSR2による陸域水循環の観測と解明

小池俊雄(東京大学)

