

衛星データと衛星シミュレータSDSUにより示された 雲解像モデルCReSSにおける 雲氷の数濃度に関する問題点

篠田太郎⁽¹⁾, 増永浩彦⁽¹⁾, 加藤雅也⁽¹⁾,
鈴木祐人⁽¹⁾, 大東忠保⁽¹⁾, 坪木和久⁽¹⁾, 上田 博⁽¹⁾

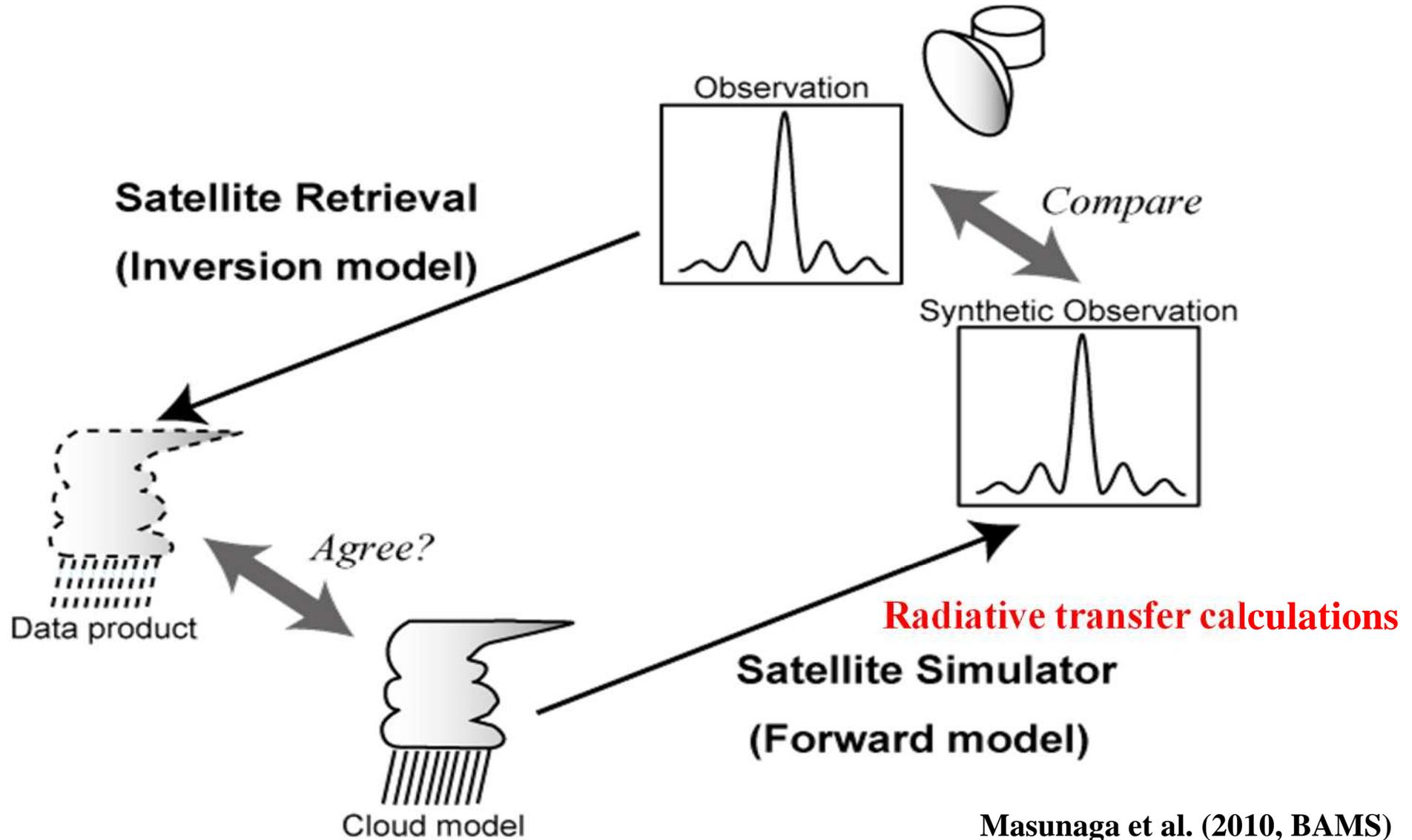
⁽¹⁾ 名古屋大学地球水循環研究センター



雲解像モデルにおける雲氷の表現

- ・ 冷たい雨過程で最初に形成される固体凝結物。
- ・ 激しい降水現象への影響は未知数？
 - * 雪や霰の分布には興味をもって見てきたが、雲氷の分布についてはあまり興味を払ってこなかった。
 - * 検証手段も無かった(知らなかった)。
- ・ 放射過程を通じて台風の強度に影響を及ぼす(坪木ほか私信)。
- ・ GCM研究者との議論における巻雲の表現(相、雲量、平均粒径、光学的厚さ)の議論。
 - 雲氷(氷晶粒子)の形状、数濃度などを考慮する必要がある。
- ・ 衛星シミュレータSDSU(Masunaga et al. 2010, BAMS)を使用することで、雲氷の数濃度についての問題点を把握することができた。

衛星データを用いた雲解像モデルの評価方法：衛星シミュレータ



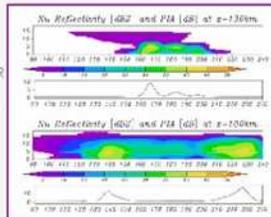
- ・ 衛星シミュレータは雲解像モデルの結果から衛星観測結果に相当する量を放射伝達計算を行うことによって計算する。

Satellite Data Simulation Unit (SDSU)

Satellite Data Simulator Unit (SDSU)

1. Overview

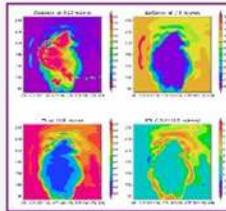
This package contains a Fortran program to simulate microwave brightness temperature, radar reflectivity, and visible/infrared radiance as measured by meteorological satellite sensors. The three modules aimed at microwave radiometers, radars, and visible/IR imagers can be executed either individually or all together. A radiative transfer code is implemented with a Mie-theory-based routine to compute the radiative properties of cloud and precipitating hydrometeors as well as a gas absorption database covering a broad range of electromagnetic spectrum. A beam-convolution program is also provided so that the non-uniform beam filling effect is taken into account for an arbitrary FOV size.



Satellite sensors to which this simulator can be applied include

i. Microwave radiometers and sounders^{*1}

- Special Sensor Microwave/Imager (SSM/I)
- Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Microwave Imager (TMI)
- Advanced Microwave Scanning Radiometer (AMSR) and AMSR-E
- Advanced Microwave Sounding Unit (AMSU) and Microwave Humidity Sounder (MHS)



ii. Radars

- TRMM Precipitation Radar (PR)
- CloudSat Cloud Profiling Radar (CPR)

iii. Visible and infrared imagers

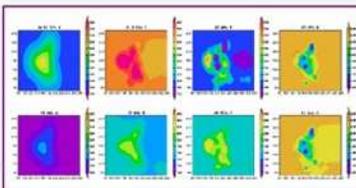
- Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)
- TRMM Visible/Infrared Scanner (VIRS)
- Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)
- Visible/IR sensors onboard operational geostationary satellites such as GMS (MTSAT), GOES, and Meteosat.

See [README](#) for further details.

[*1 A minor modification to the radiative transfer code will be needed to simulate mixed polarization channels, typical of cross-track scanning sounders.]

2. Download

Users can choose one of the two packages, the full package or source-only package, available for download. The full package contains the source code, sample input parameters simulated by a cloud-resolving model, output data for the sample input, GRADS control and macro files to plot the output data, and sample Mie lookup tables. A more concise version is the source-only package, which includes all that is necessary for running the code without anything else. The initial-release (beta) version is currently the latest.



- Full package (roughly 35MB): [SDSU.v1-0b.tar.gz](#)
- Source only (roughly 3.5MB): [SDSU-src.v1-0b.tar.gz](#)

3. Feedback

Please send questions, bug reports, complaints, or whatever responses to [Hiro Masunaga](mailto:Hiro.Masunaga@nagoya-u.ac.jp), Nagoya University. Since it is maintained on a volunteer basis, prompt reply is not guaranteed.

[Top](#) [News](#) [Research](#) [Publications](#) [Personnel](#) [Courses](#) [HyARC](#) [Japanese](#)

Last modified: Tue Feb 20 14:32:27 2007

- 名大 増永さんにより開発された衛星シミュレータ SDSU.
- SDSUは以下の量を計算することができる。
 - * マイクロ波輝度温度,
 - * レーダ反射強度,
 - * 可視・近赤外放射量,
 - * 赤外輝度温度.
- 入力パラメータ
 - * P, PT, Qv, Qc, Qr, Qi, Qs, Qg, Ni, Ns, Ng, z
 - * SST, Surface winds

<http://precip.hyarc.nagoya-u.ac.jp/sdsu/sdsu-main.html>

SDSUを用いたCReSSシミュレーション実験の検証方法

CReSS simulation

SDSU calculation

CReSS-SDSU

Infrared T_{BB}

Microwave T_{BB}

Reflectivity

Comparison

MTSAT-IR
(10.8 μm)
(12.0 μm)

Aqua-AMSR-E
(89.0 GHz)

TRMM-PR
(13.8 GHz)

CloudSAT-CPR
(94.0 GHz)

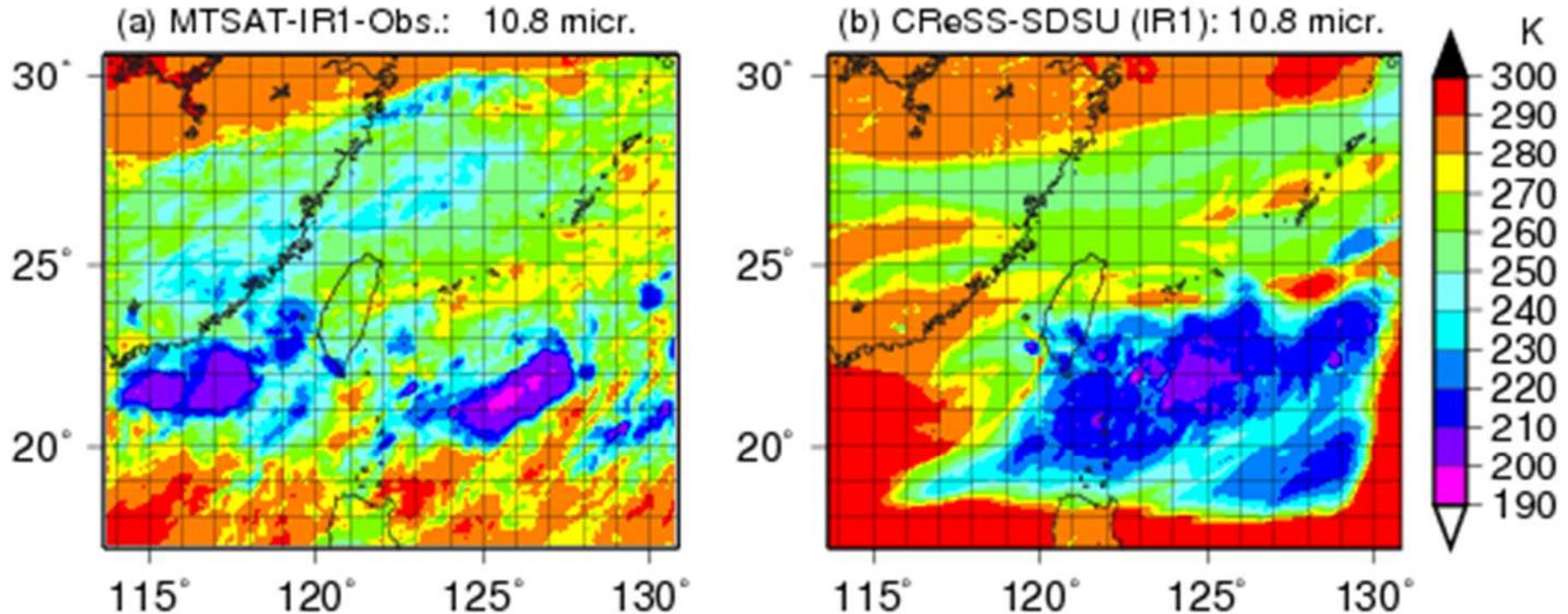
Satellite observations

毎日のシミュレーション実験の仕様 (Taiwan-Okinawa 2010)

数値モデル	CReSS ver. 2.3
乱流過程	1.5-TKE + Mellor- Yamada Level 2
地表面過程	バルク法 (Louis et al. 1981)
雲物理過程	冷たい雨 (Murakami 1990, Murakami et al. 1994) 液相 (1-moment)、固相 (2-moment, 3 categories) 雲氷の落下過程 (落下速度 0.1 m/s) を導入
格子間隔	水平: 2.5 km 鉛直: 最下層100 m, stretching
格子数 (計算領域)	水平: 700 × 600 (1750 km × 1500 km) 鉛直: 50層 (上端高度 25.0 km)
タイムステップ	3.0秒 (非音波項), 1.5秒 (音波項)
初期条件・側面境界条件	GSM (気象庁より配信) (水平解像度 ~ 50 km)
初期時刻・積分時間	毎日18Zより 36時間 (後半24時間分を解析に使用)
下層境界条件	海面水温: MGDSST (気象庁より配信) 地形: GTOPO30 (水平解像度 1 km) 土地利用: USGS提供 (水平解像度 1 km)
解析期間	2010年5月14日 ~ 6月30日 (SoWMEX2010, 48日間)

赤外輝度温度の分布 (MTSAT vs CReSS-SDSU旧設定)

2010/05/29 17 UTC



- ・ MTSAT観測では、台湾の南東海上、南西海上に発達したMCSに対応する輝度温度の低い領域が見られる。
- ・ CReSS-SDSU で台湾南東海上のMCSの位置や輝度温度の最小値 (~ 200 K以下) は良く再現されている。
- ・ CReSS-SDSU でMCS北方の中層雲 (240 ~ 270 K) の広がりも良く再現されている。

SDSU計算における設定の修正点

(旧)SDSUにおいてPSD分布の設定をミス(2013年4月以前)

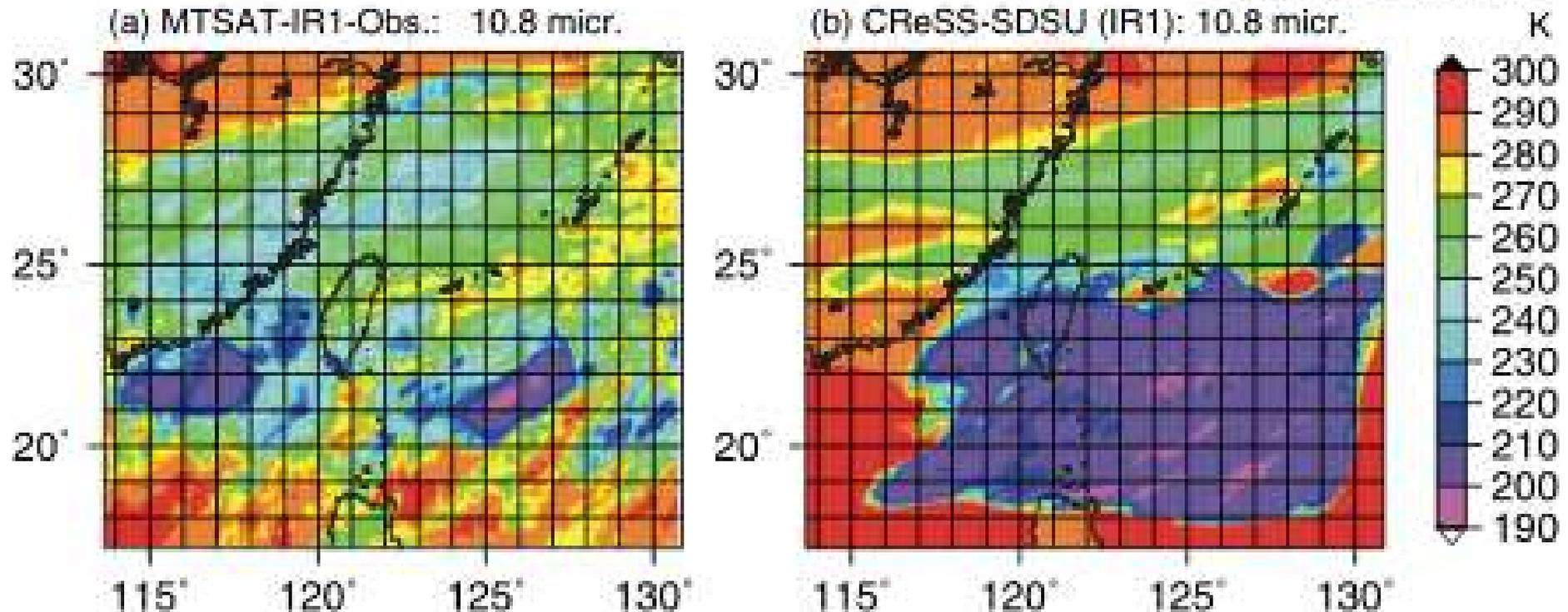
Q	N	Categories	Moment	PSD
Qc	-	Cloud water	1-moment	Log-normal (V 0.035)
Qr	-	Rain	1-moment	Exponential
Qi	Ni	Cloud ice	1-moment	HyP84
Qs	Ns	Snow	1-moment	Exponential
Qg	Ng	Graupel	1-moment	Exponential

(新)SDSUのPSD分布の設定をCReSSに合わせて修正

Q	N	Categories	Moment	PSD
Qc	-	Cloud water	1-moment	Log-normal (V 0.005)
Qr	-	Rain	1-moment	Exponential
Qi	Ni	Cloud ice	2-moment	Log-normal (V 0.005)
Qs	Ns	Snow	2-moment	Exponential
Qg	Ng	Graupel	2-moment	Exponential

赤外輝度温度の分布 (MTSAT vs CReSS-SDSU新設定)

2010/05/29 17 UTC

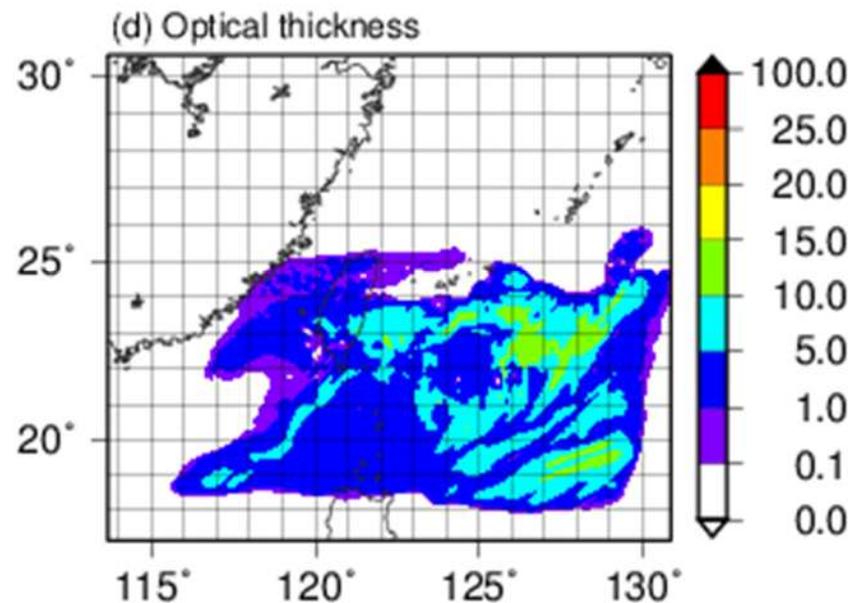
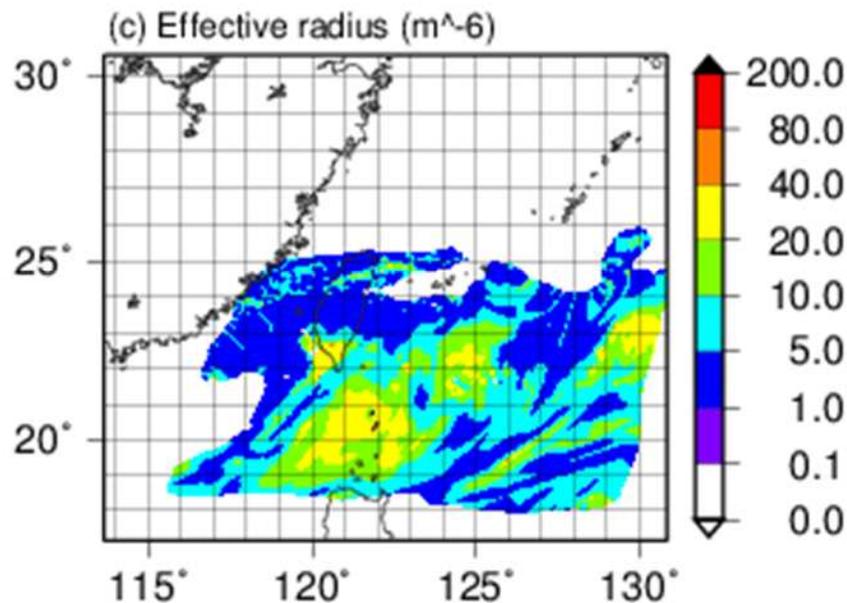
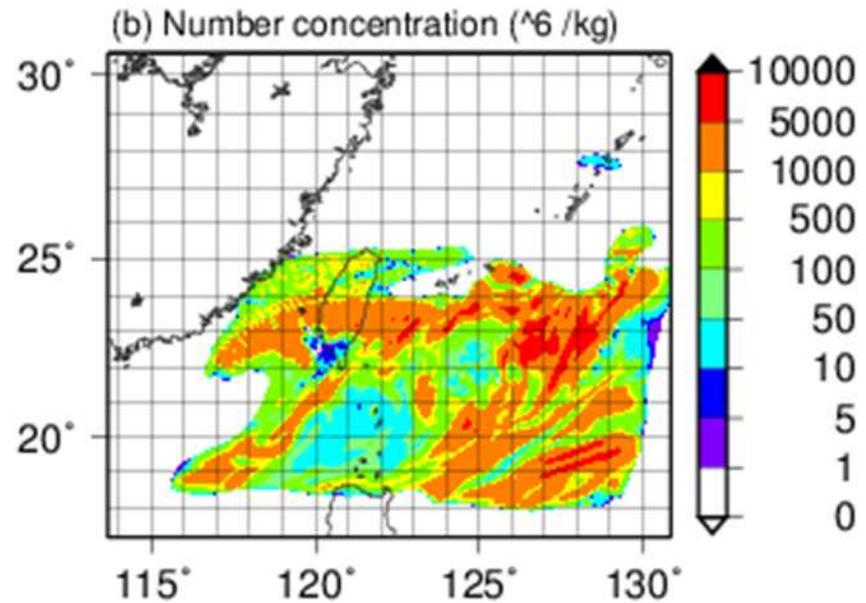
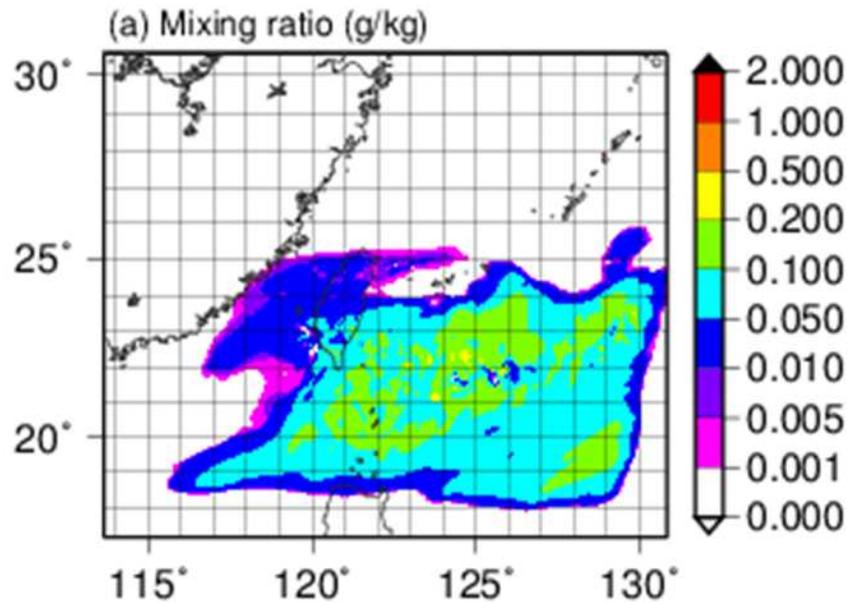


- ・ 固相凝結物を**2モーメントに設定**し直して赤外輝度温度分布の再計算を実施。
- ・ 1モーメント時に比べて南東側の降水システム周辺で**低輝度温度 (220 K以下)**域が非現実的に**広がっている**。
- **雲氷の粒径分布の表現**に問題があると推測できる。

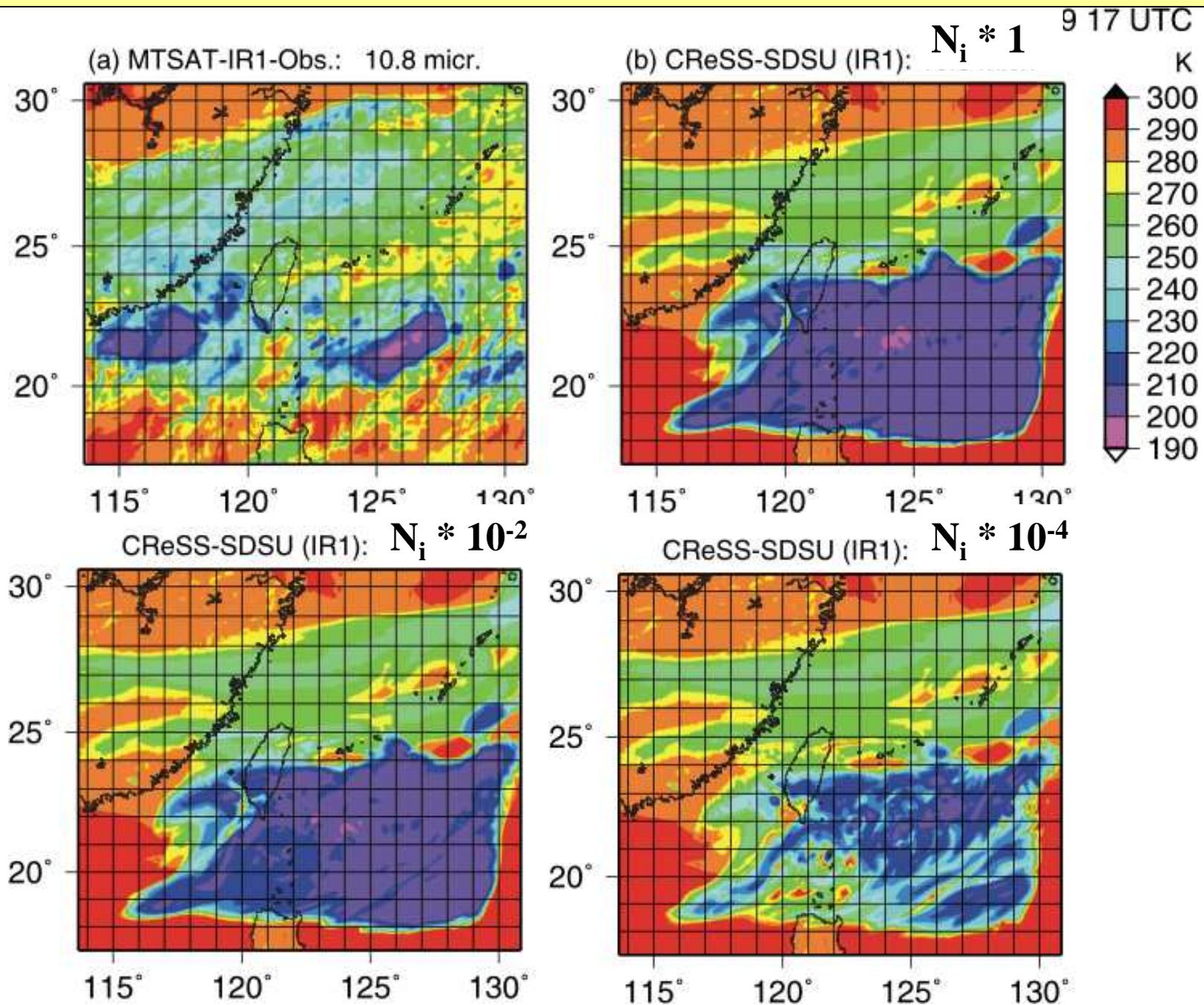
雲物理パラメータの分布 (CReSS出力結果より計算)

2010/05/29 17 UTC

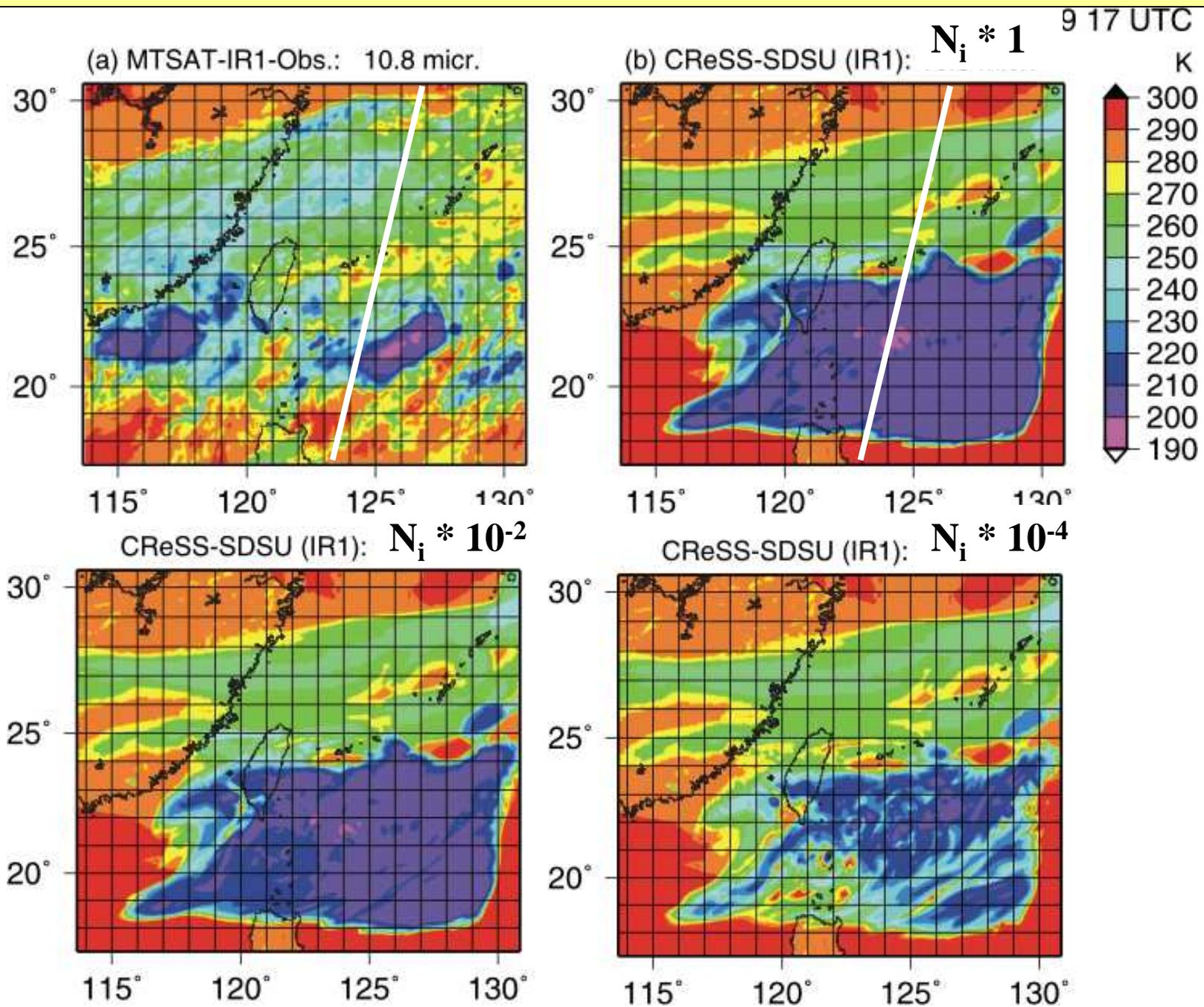
Lev. 35: 13.46 km



赤外輝度温度の分布(雲氷の数濃度に関する感度実験)



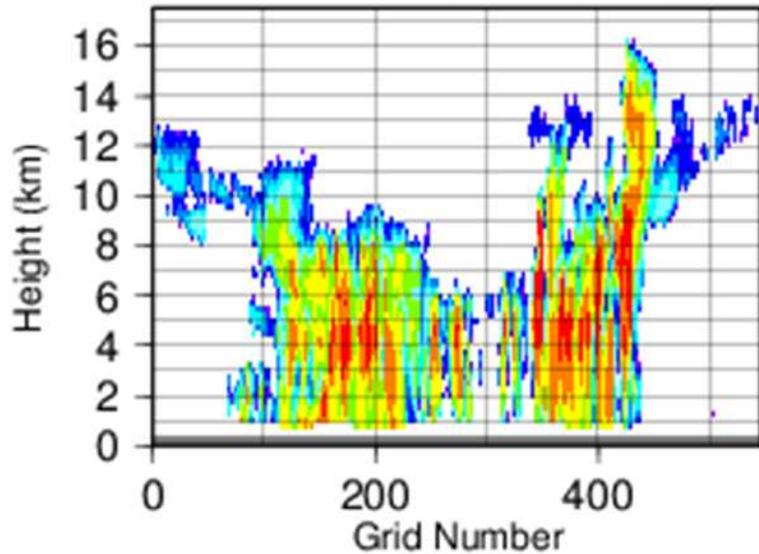
赤外輝度温度の分布(雲氷の数濃度に関する感度実験)



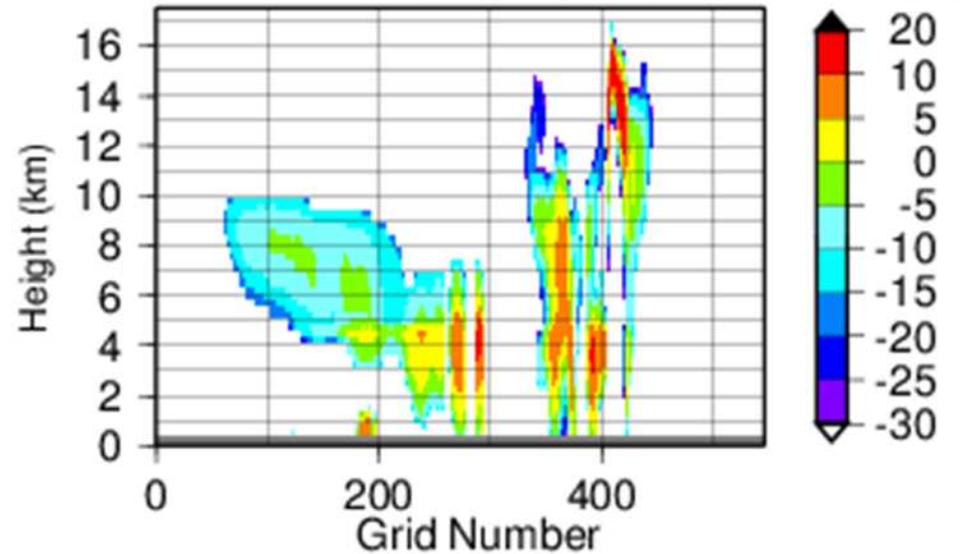
反射強度の鉛直断面図 (CloudSat-CPR vs CReSS-SDSU)

2010/05/29 18 UTC

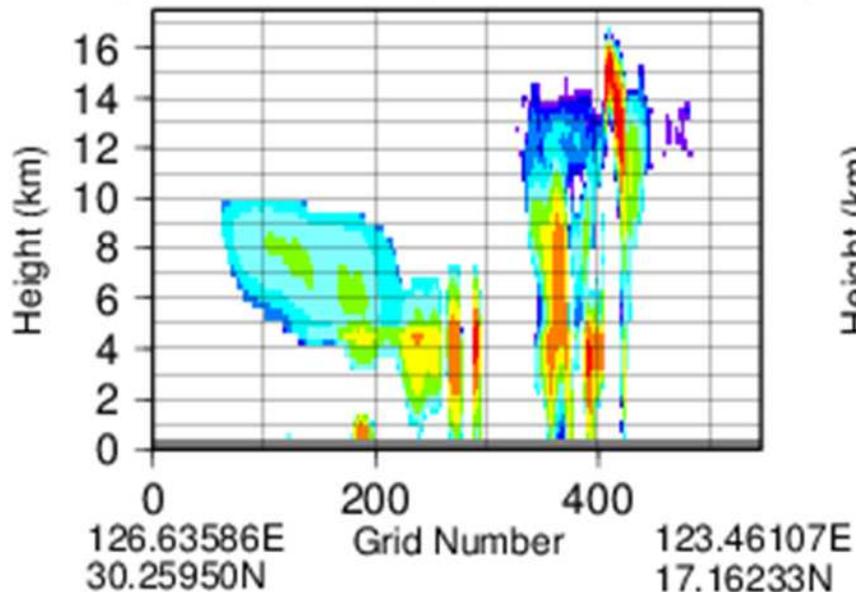
(a) CloudSAT-CPR (94 GHz, dBZ)



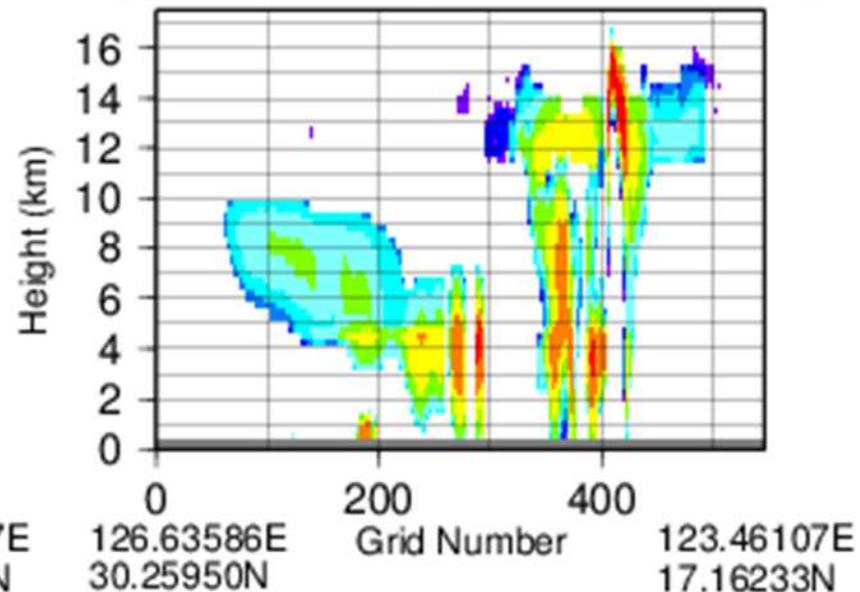
(b) CReSS-SDSU (94 GHz, dBZ)



(c) CReSS-SDSU (94 GHz, dBZ, Ni X 10⁻²)

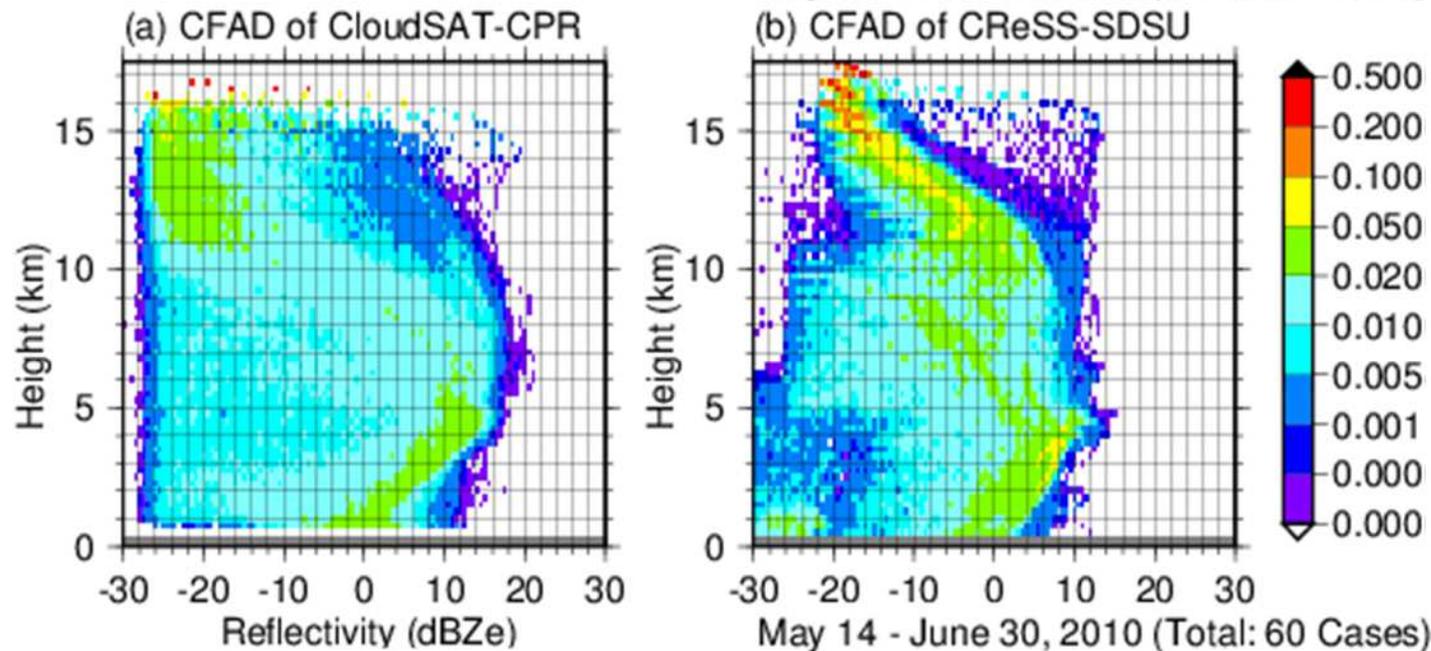


(d) CReSS-SDSU (94 GHz, dBZ, Ni X 10⁻⁴)

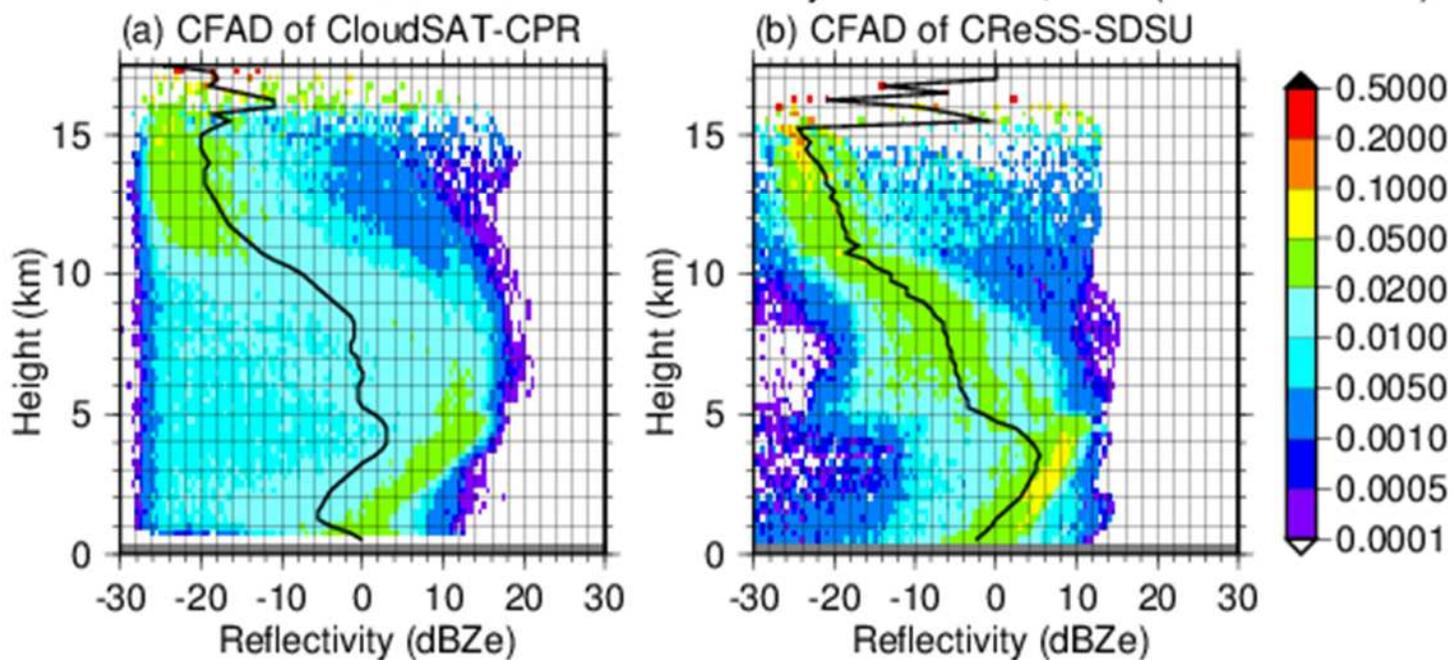


CFAD (CloudSat-CPR vs CReSS-SDSU 全60パス)

(旧)
Cloud ice
1-moment



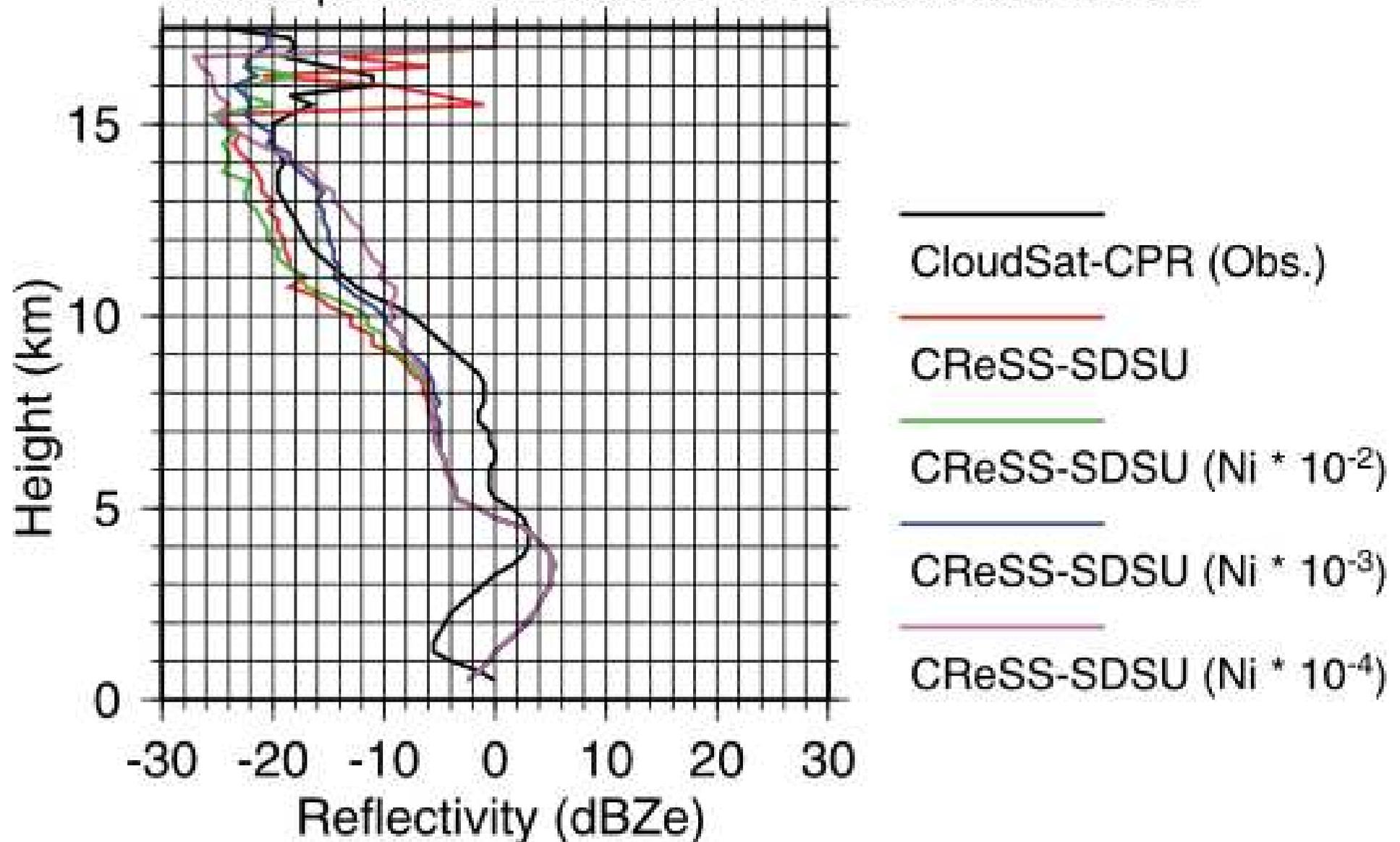
(新)
Cloud ice
2-moment



反射強度中央値の鉛直プロファイル

May 14 - June 30, 2010 (Total: 60 Cases)

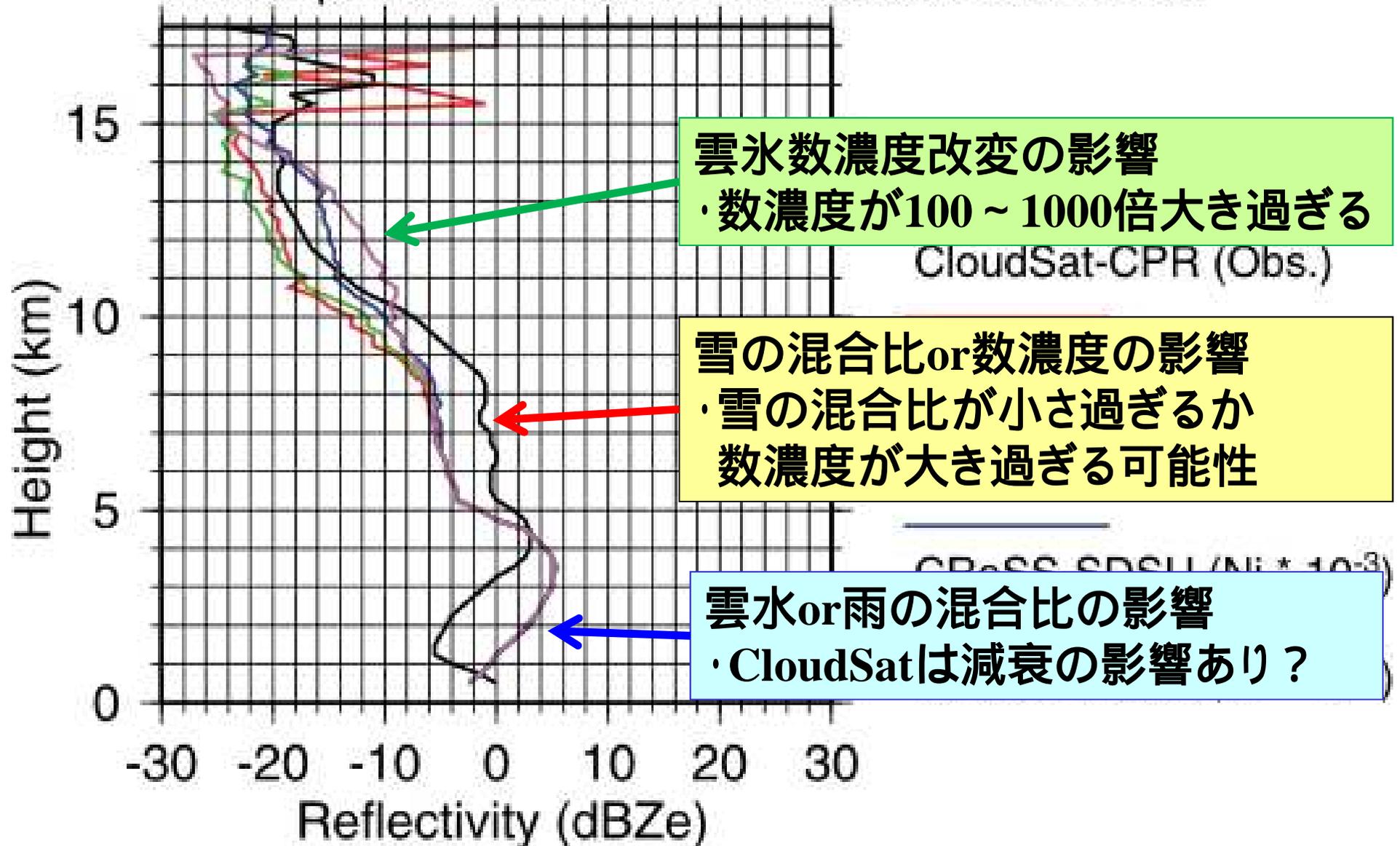
Median profiles of CloudSAT-CPR and CReSS-SDSU



反射強度中央値の鉛直プロファイル

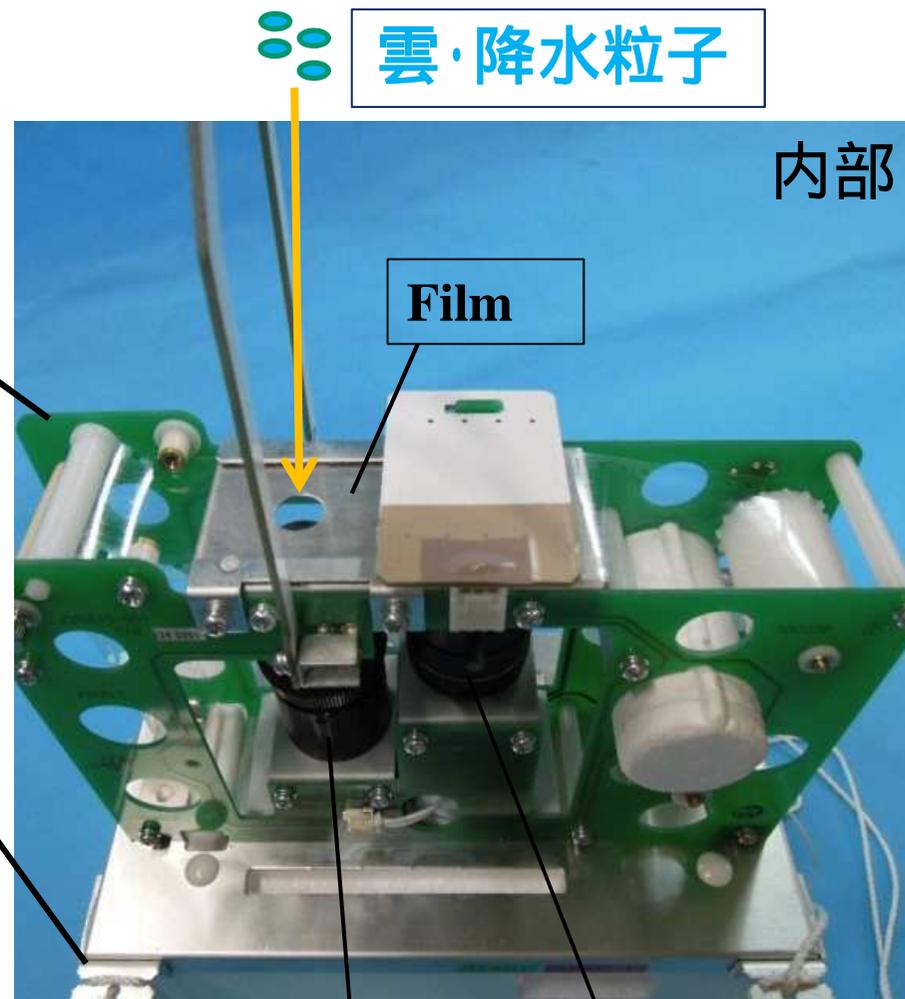
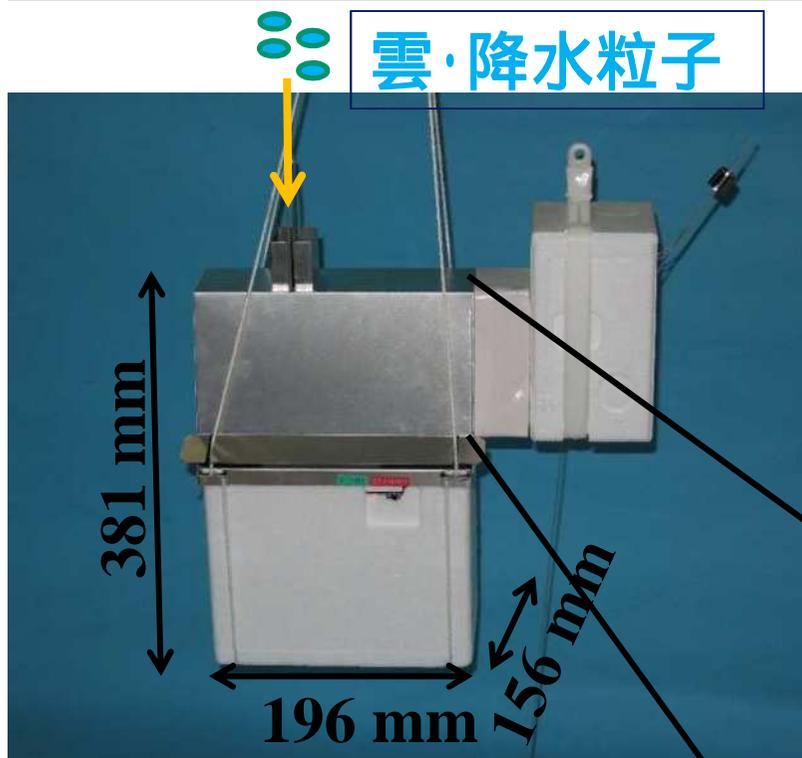
May 14 - June 30, 2010 (Total: 60 Cases)

Median profiles of CloudSAT-CPR and CReSS-SDSU



雲粒子ゾンデ (HYVIS) の構造

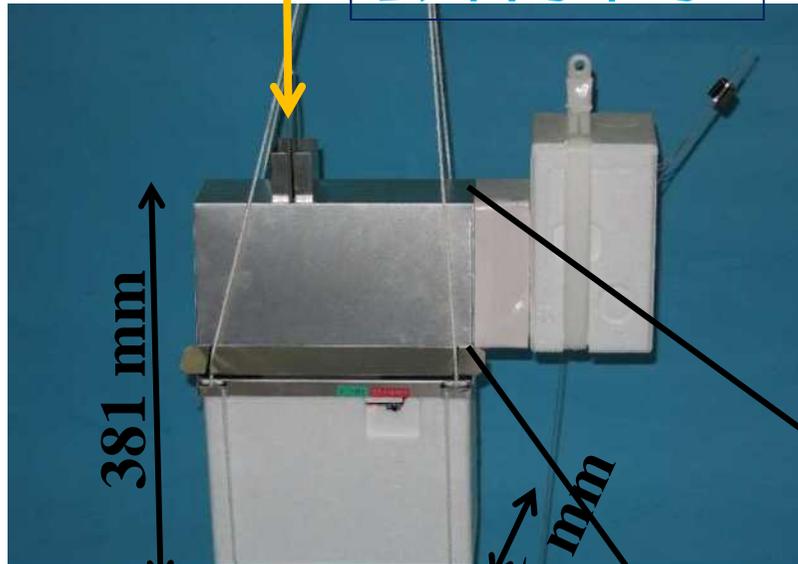
明星電気清水健作博士より提供いただきました。



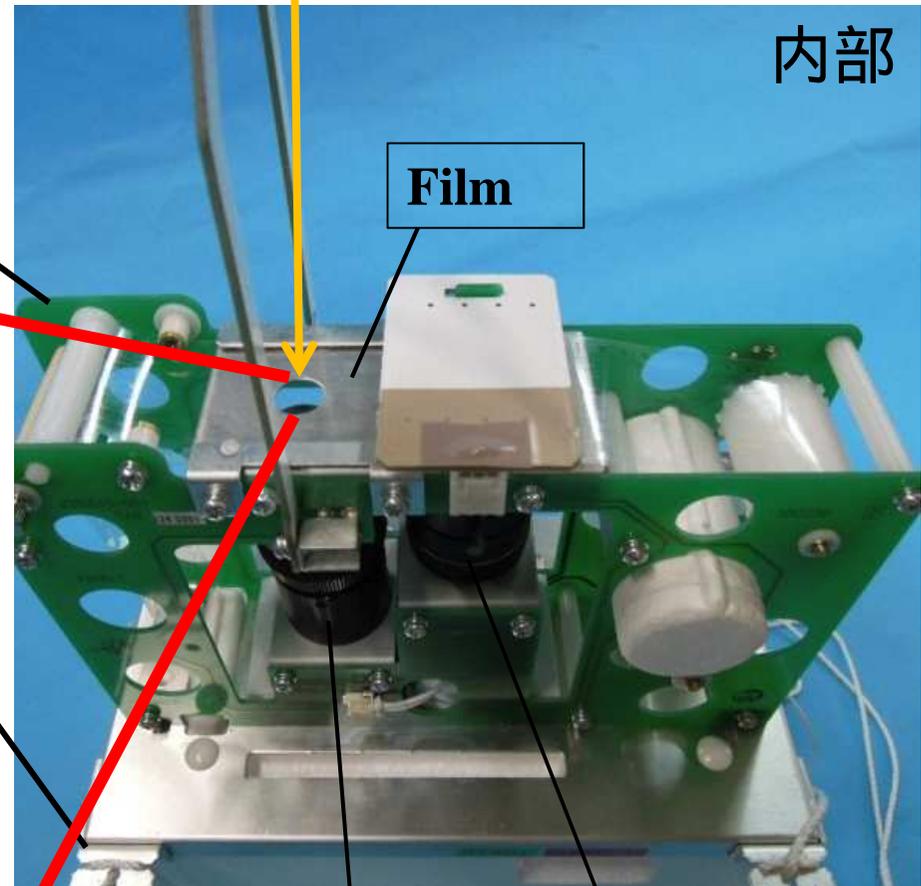
雲粒子ゾンデ (HYVIS) の構造

明星電気清水健作博士より
提供いただきました。

雲・降水粒子



雲・降水粒子

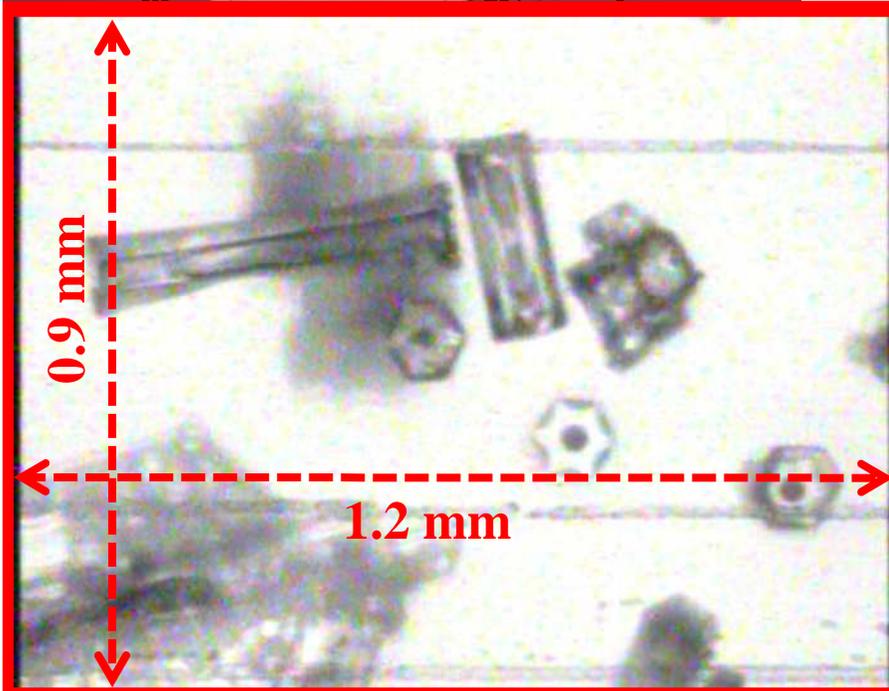


内部

Film

Microscope

Close-up



0.9 mm

1.2 mm

雲粒子ゾンデ(HYVIS)観測



2013年10月 TBS NEWS23で観測の様子が放映される。

T1327 (Francisco) を対象としたHYVIS観測

HYVIS 番号	放球時刻	放球地点から 台風中心までの距離	台風の中心気圧
1	10月22日17:49 UTC	550 km	945 hPa
2	10月22日 20:31 UTC	510 km	947 hPa
3	10月23日 06:37 UTC	360 km	955 hPa
4	10月23日 08:37 UTC	350 km	955 hPa
5	10月23日 15:58 UTC	290 km	957 hPa
6	10月23日 20:40 UTC	260 km	960 hPa
7	10月24日 04:34 UTC	230 km	960 hPa

坪木ほか (2014) 気象学会春季大会予稿集A401より抜粋

放球地点: NICT沖縄亜熱帯電波計測センター (恩納村)

127.84E, 26.50N

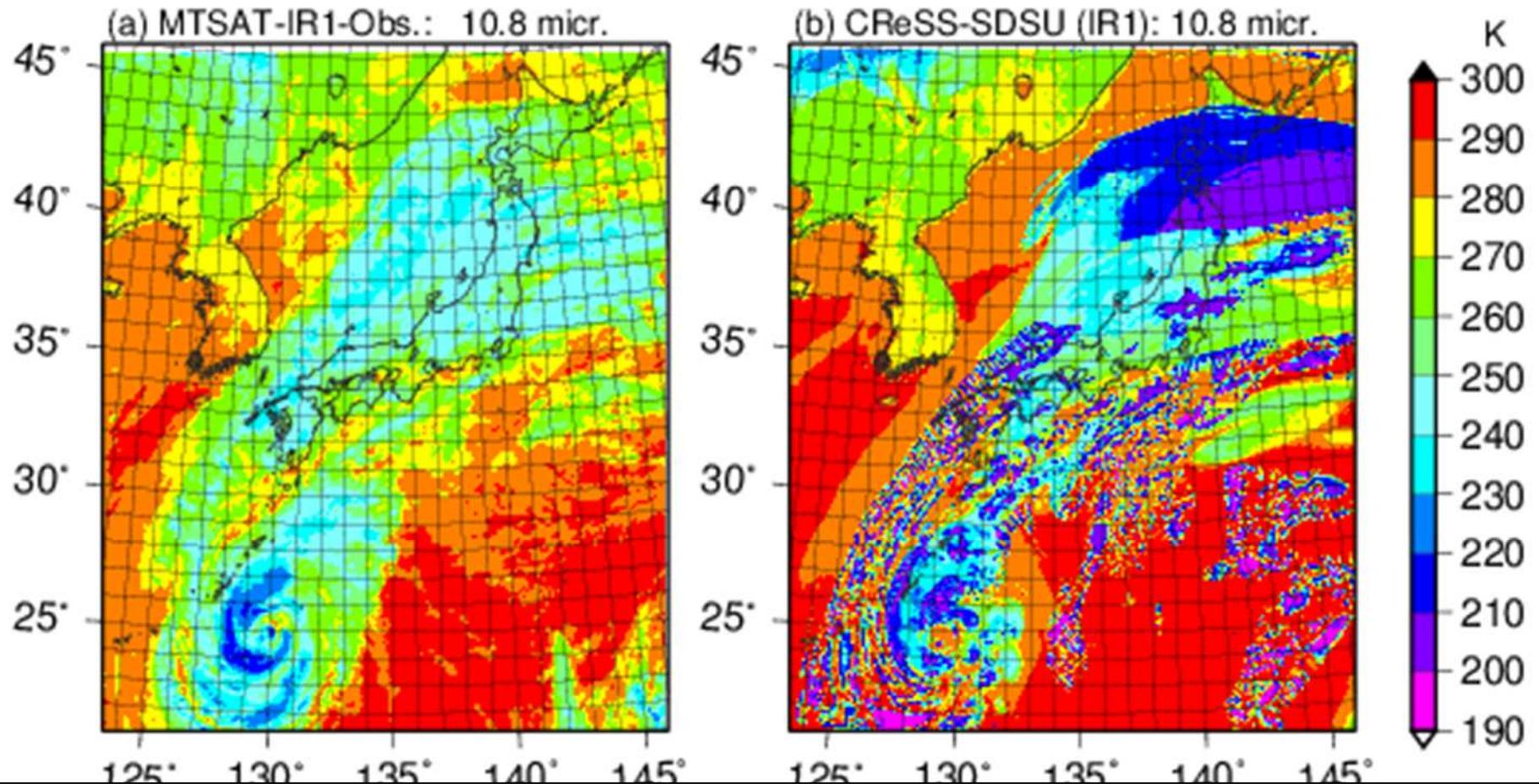
毎日のシミュレーション実験の仕様 (Japan2012)

数値モデル	CReSS ver. 3.4
乱流過程	1.5-TKE + Mellor- Yamada Level 2
地表面過程	バルク法 (Louis et al. 1981)
雲物理過程	冷たい雨 (Murakami 1990, Murakami et al. 1994) 液相 (1-moment)、固相 (2-moment, 3 categories) 雲氷の落下過程 (指数型の粒径分布に応じた落下速度)
格子間隔	水平: 2.0 km 鉛直: 最下層100 m, stretching
格子数 (計算領域)	水平: 1168 × 1365 (2336 km × 2730 km) 鉛直: 32層
タイムステップ	
初期条件・側面境界条件	GSM (気象庁より配信) (水平解像度 ~ 20 km)
初期時刻・積分時間	毎日12Zより 36時間
下層境界条件	海面水温: MGDSST (気象庁より配信) 地形: GTOPO30 (水平解像度 1 km) 土地利用: USGS提供 (水平解像度 1 km)
解析期間	2010年10月22日 ~ 10月24日

赤外輝度温度の分布 (MTSAT vs CReSS-SDSU)

計算開始時刻 10月23日12Z

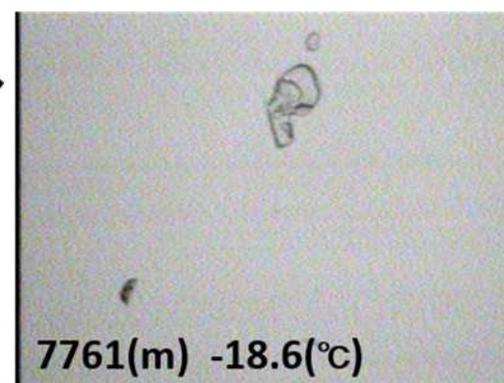
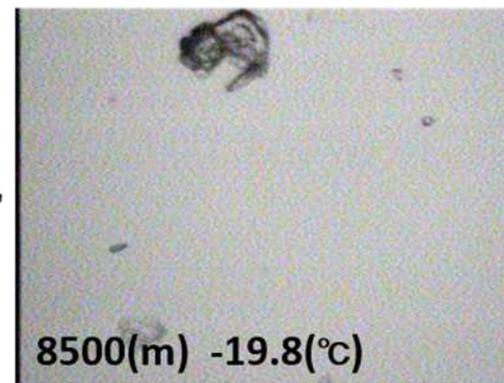
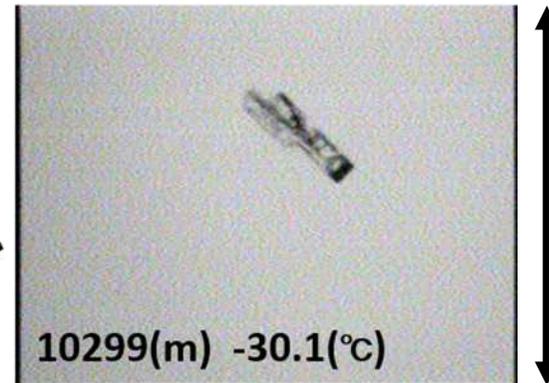
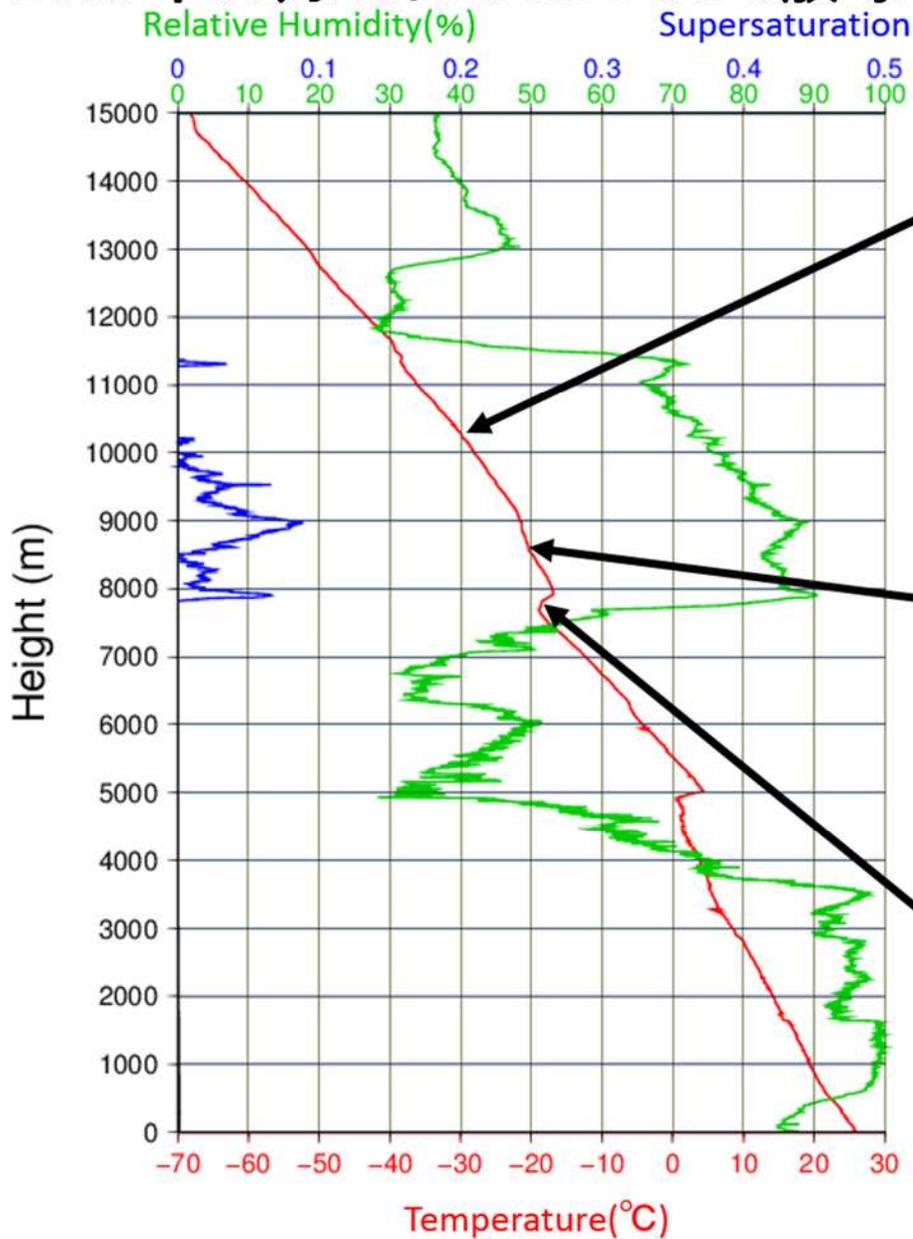
2013/10/23 21 UTC



- ・ CReSS-SDSUの雲域の雲頂輝度温度は全体的に低い。
- ・ 台風の壁雲近傍では輝度温度の値は合っていると見えそう。
- ・ 北海道付近に輝度温度の低い領域が広くかかっているが、全体的な傾向は梅雨前線のケースと変わらない。

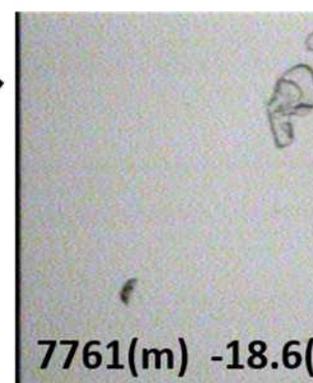
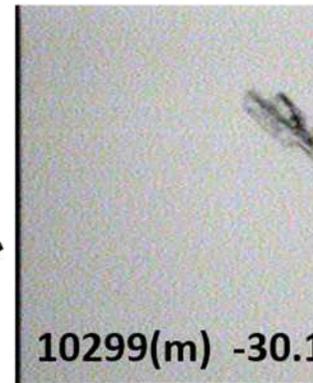
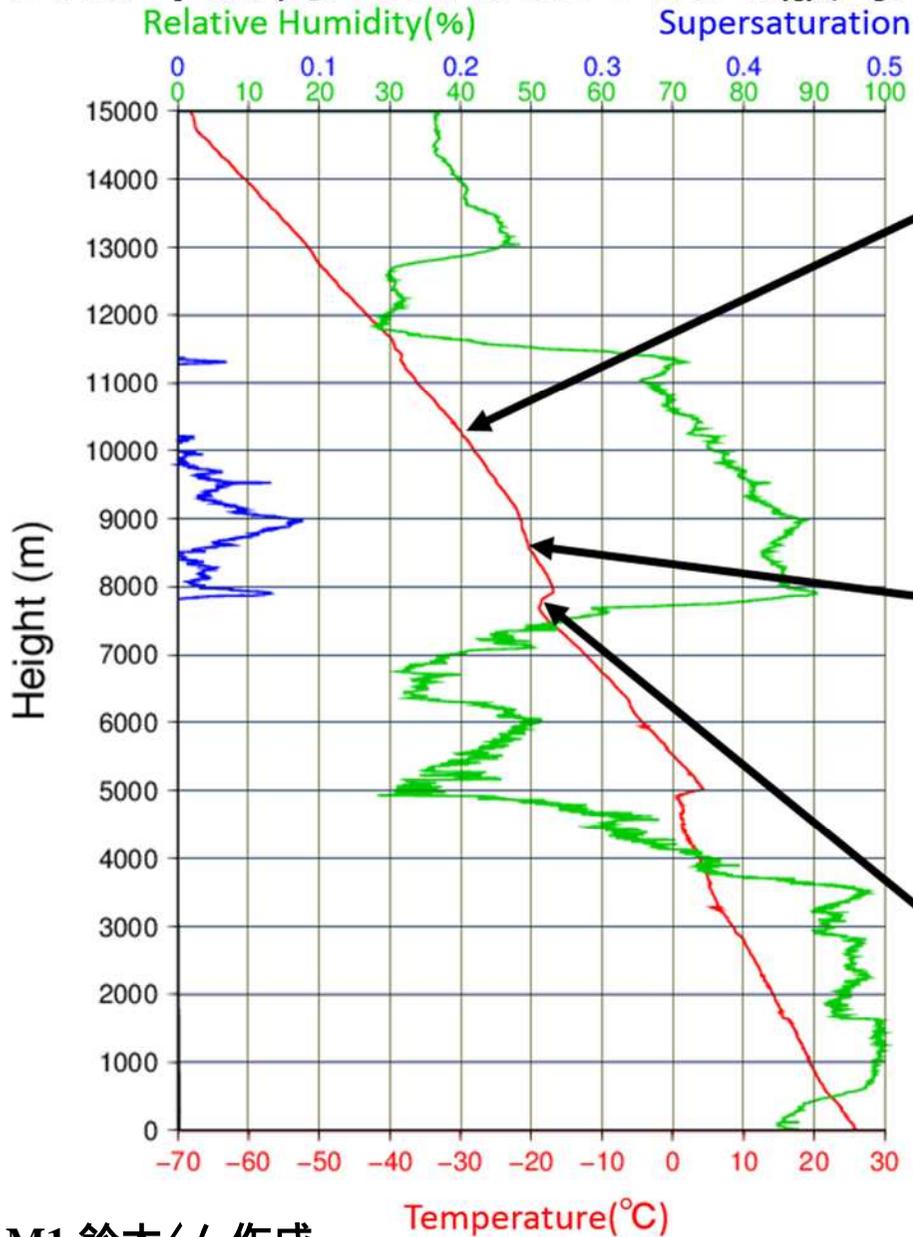
HYVIS No.7による観測結果

2013年10月24日 04:34 UTC放球



HYVIS No.7による観測結果

2013年10月24日 04:34 UTC放球



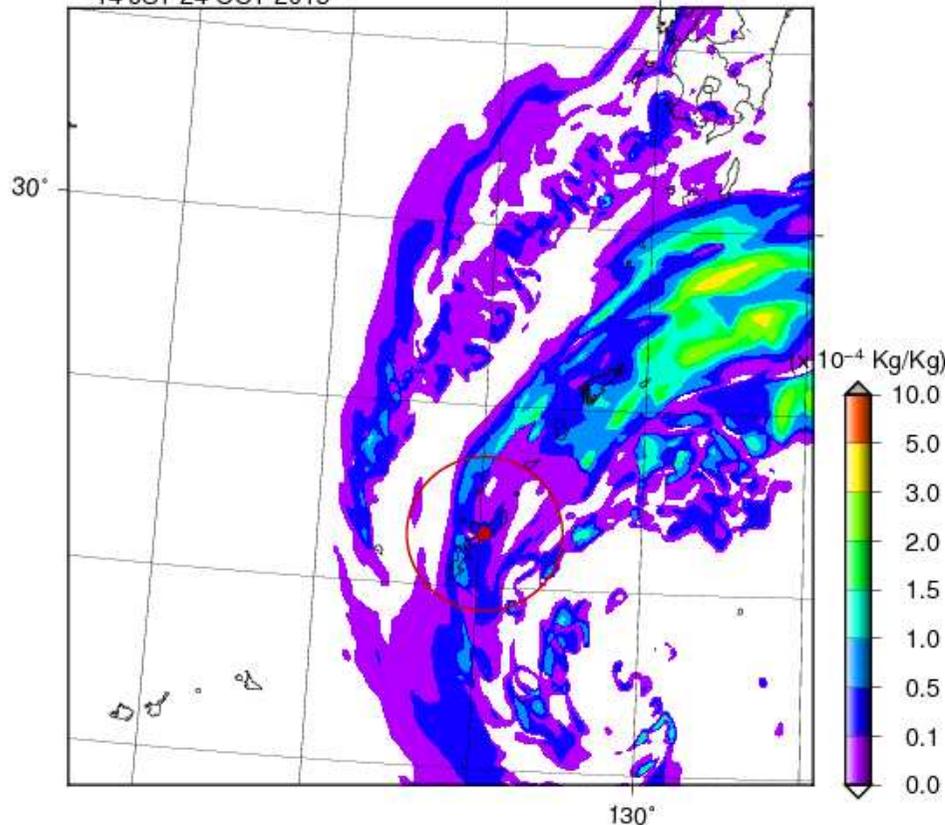
高度 (km)	数濃度 (/m ³)
11.25-11.50	0.6×10^4
11.00-11.25	0.7×10^4
10.75-11.00	0.4×10^4
10.50-10.75	1.8×10^4
10.25-10.50	1.9×10^4
10.00-10.25	5.1×10^4
9.75-10.00	4.3×10^4
9.50- 9.75	4.9×10^4
9.25- 9.50	3.9×10^4
9.00- 9.25	7.3×10^4
8.75- 9.00	6.0×10^4
8.50- 8.75	5.7×10^4
8.25- 8.50	8.9×10^4
8.00- 8.25	14.65×10^4
7.75- 8.00	4.1×10^4
7.50- 7.75	6.6×10^4

M1 鈴木くん作成

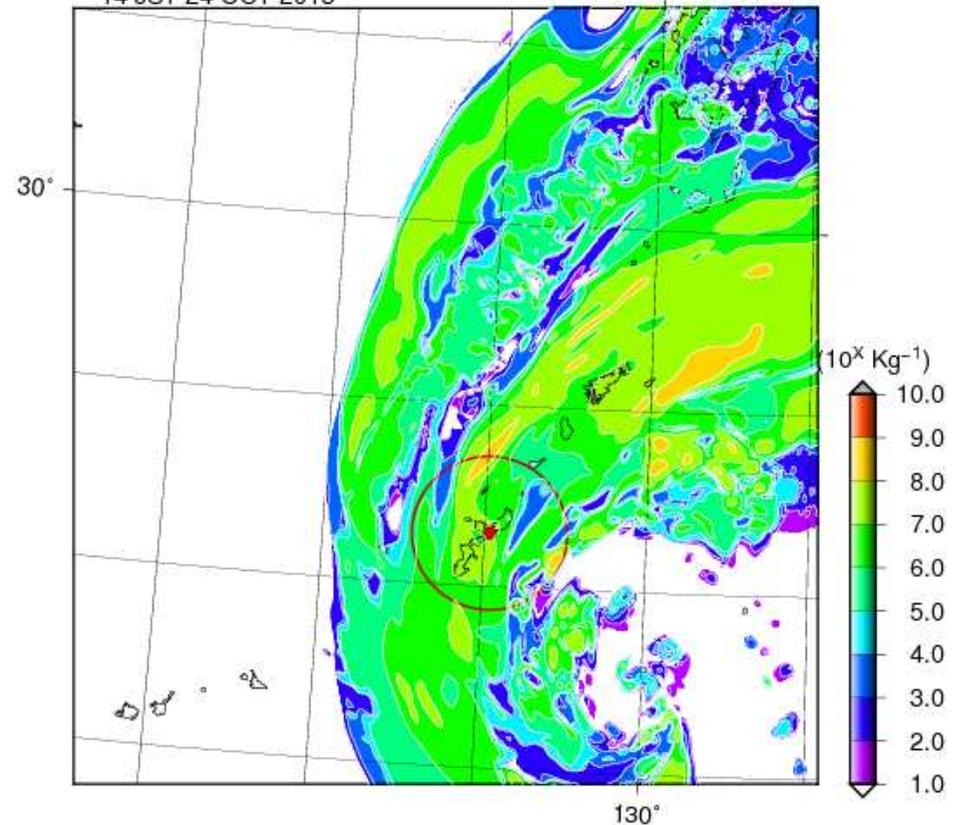
CReSSのシミュレーション結果(雲氷の混合比・数濃度:高度10 km)

出力時刻10月24日05Z (計算開始時刻 10月23日12Z)

CLOUD ICE MIXING RATIO AT 10KM
14 JST 24 OCT 2013

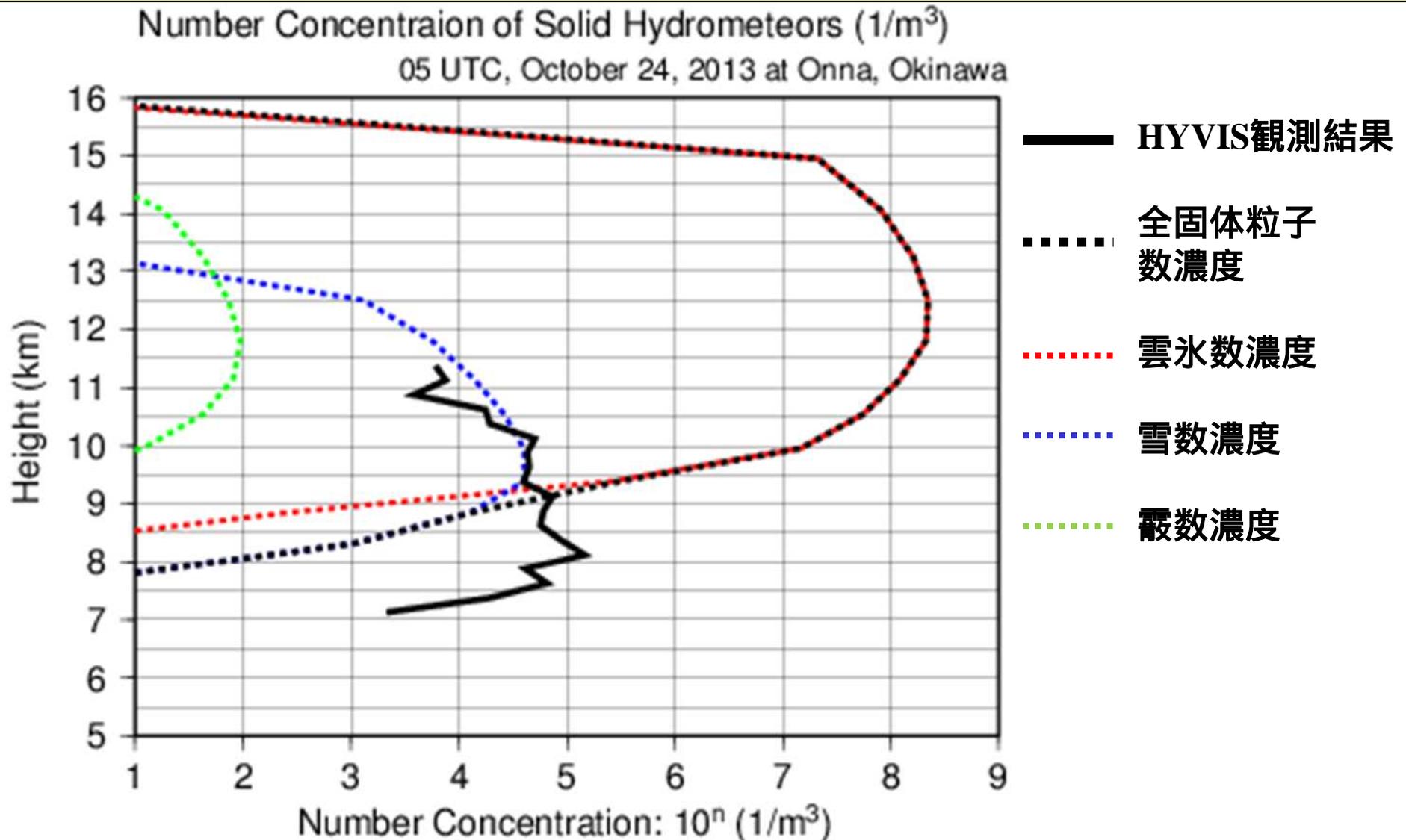


Ni AT 10KM
14 JST 24 OCT 2013



- ・ CReSSによるシミュレーション結果では高度10 km付近で降水帯の近傍に巻雲が広がって居る様子を観測できる。
- ・ 高度10 kmにおける雲氷混合比は 10^4 kg/kg程度である。
- ・ 高度10 kmにおける雲氷数濃度は 10^7 (/kg)程度とHYVISの観測結果に比べて3桁程度大きくなっている。

固体凝結物の数濃度の鉛直プロファイル ($10^n / m^3$)



- ・ CReSSによるシミュレーション結果では雲氷が存在する上端高度が高い。
- ・ 雲氷数濃度は $10^8 (/m^3)$ 程度を超えておりHYVISの観測結果に比べて3桁程度大きくなっている。

今回の発表内容のまとめ

CReSSを用いたシミュレーション結果において、雲氷の数濃度が過大であると考えられる。

- * 梅雨前線のケースでは、IR1, CloudSat-CPRとの比較で確認 ($10^2 \sim 10^4$ /kg 程度大)。
- * 台風T1327のケースでは、IR1, HYVISとの比較で確認 (10^3 /m³程度大)。
- * 他の台風のケースでも確認する必要がある。
- * 雲氷の発生項 (nucleation, sprouting) の確認が必要。
- * 雲氷の消失項: 雪への変換過程 (autoconversion) の確認が必要。

CReSS, SDSUとも雲氷の形状として球形を仮定している。

- * 非球形粒子を仮定しなくとも良いのか？
- * 粒子の形状は放射過程に影響を及ぼす...
- * 氷粒子の形状は雲解像モデルでどのように表現できる (されるべき) なのか？

衛星シミュレータを用いた雲解像モデルの検証についてのまとめ

雲氷の数濃度が多過ぎる (今回の発表はこの部分だけ)

- * MTSAT-IR1, CloudSat-CPR, HYVISとの比較で確認。
- * 数濃度の発生源 (Nucleation, sprouting) の確認が必要。
- * 雲氷の消失項: 雪への変換過程 (autoconversion) の確認が必要。

雪の混合比や存在面積が過小

- * MW89GHz, TRMM-PR, CloudSat-CPRとの比較で確認。
- * 雲氷からの変換が遅すぎる? (閾値を下げてみる)
- * 降水セル内で雪→霰の変換が過剰である。

降水セル内で霰の混合比が過剰

- * MW89GHz, TRMM-PRとの比較で確認。
- * 降水セル内で雪→霰の変換が過剰である。
 - + 融解層より上層まで輸送される雲水の量が多過ぎる?
 - + 降水セル内の上昇気流 (雲力学的パラメータ) の確認が必要。

融解層よりも下層における液相の凝結物について

- * TRMM-PRの反射強度分布はよく合っているが、CloudSat-CPRの反射強度は過大評価?
 - + 雨の混合比は合っているが、雲水の混合比が過剰?

A photograph of a sunset or sunrise over a body of water. The sun is a bright, glowing orb in the upper left quadrant, casting a warm, orange glow across the sky. The water is calm, reflecting the light from the sun. In the lower right, a small boat with a canopy is visible on the water. The overall scene is serene and peaceful.

Thank you for your kind attention!!

Welcome to your questions and comments!