

CReSS と連携プログラムの紹介

*加藤雅也・坪木和久

名古屋大学地球水循環研究センター

雲解像モデル

Cloud Resolving Storm Simulator “CReSS”

雲スケールからストームスケールの現象のシミュレーションを地球シミュレーターなどの大規模並列計算機で行うことを目的とした雲解像領域気象モデル。

大規模並列計算機に最適な純国産の雲解像領域モデルを開発することを目標として、1998年よりCReSSの開発を行なってきた。

気象の数値モデルの種類

目的による分類

- 全球モデル(GCM, global model)
- 気候モデル
- 領域モデル(メソスケールモデル)
- 領域気候モデル
- 雲解像(領域)モデル

方程式の近似による分類

- 鉛直方向の運動方程式の近似
 - 静力学モデル
 - 非静力学モデル
- 連続の式の近似
 - ブシネスクモデル
 - 非弾性系モデル
 - 弾性系モデル

CReSS (Cloud Resolving Storm Simulator)

非静力学・雲解像シミュレーションモデル

台風、竜巻、豪雨、豪雪、スーパーセル、積乱雲などのシミュレーション

開発者：坪木和久・榊原篤志

1998年：開発開始

2002年：Ver.1(振興調整費：住教授)

2007年：Ver. 2 (HyARC共同研究)

2011年：Ver. 3(革新プログラム：坪木)

国内外の対抗するモデル

MRI-NHM(気象庁)

WRF(NCAR)

ARPS(U. of Oklahoma)

Supertyphoons in store as seas warm

KYODO

A supertyphoon stronger than the deadly Hurricane Katrina that devastated the southern United States in 2005 could hit Japan in the latter half of this century if global warming continues, according to a study by a Japanese research team made available Monday.

Typhoons packing winds of at least 241.2 kph are often called supertyphoons, but the one feared by the researchers could blow as strong as 288 kph on the ground, the team from Nagoya University and the Meteorological Research Institute said.

Several supertyphoons may also develop between 2074 and 2087 due to a projected 2-degree rise in sea temperatures in the Western Pacific south of Japan, the study showed, based on a scenario drawn up by the Intergovernmental Panel on Climate Change in which average global temperatures will rise about 3 degrees from preindustrial levels by the end of the century.

"Given that global warming is under way, it is little wonder that typhoons develop in an extreme way," Nagoya University associate professor Kazuhisa Tsuboki said. "The point is

how we will forecast them and take disaster control measures."

Using the Earth Simulator supercomputer, the team predicted in detail the occurrence and development of typhoons around Japan during the 2074-2087 period.

A rise in sea temperatures generally makes typhoons more powerful because they develop by taking energy from warm seas. Such typhoons would also bring heavy rain because warmer temperatures will increase water vapor in the air.

If global warming is arrested, supertyphoons are less likely, the team said.

One of the expected supertyphoons could have a minimum atmospheric pressure of 866 hectopascals at its center and maximum winds of 288 kph on the ground, which is stronger than Katrina at 902 hectopascals or the devastating typhoons that have struck Japan.

It could have a short, steep decline in central pressure and rapid development, according to the team.

Another predicted typhoon could bring more than 1 meter of rainfall in the Tohoku region, according to the simulation.

国内利用機関・組織：京大防災研、東大、東北大、山梨大、岩手大、福島大、会津大、京都産業大、愛媛大、長崎大、酪農学園大、JAMSTEC、防災科研、土木研、国土地理院、東京海上日動、明星電気、東芝、中電CTI他。

国外利用国

カナダ、台湾、韓国、中国、バングラデシュ、ベトナム他。

主要プロジェクト・プログラム

21世紀気候変動予測革新プログラム(文部科学省)

国土交通省XバンドMPLレーダプロジェクト(国土交通省)

気候変動リスク情報創生プログラム(文部科学省)、他

主要論文 (CReSSを用いた査読付論文 21編)

Tsuboki, K and A. Sakakibara, 2002: *High Performance Computing*

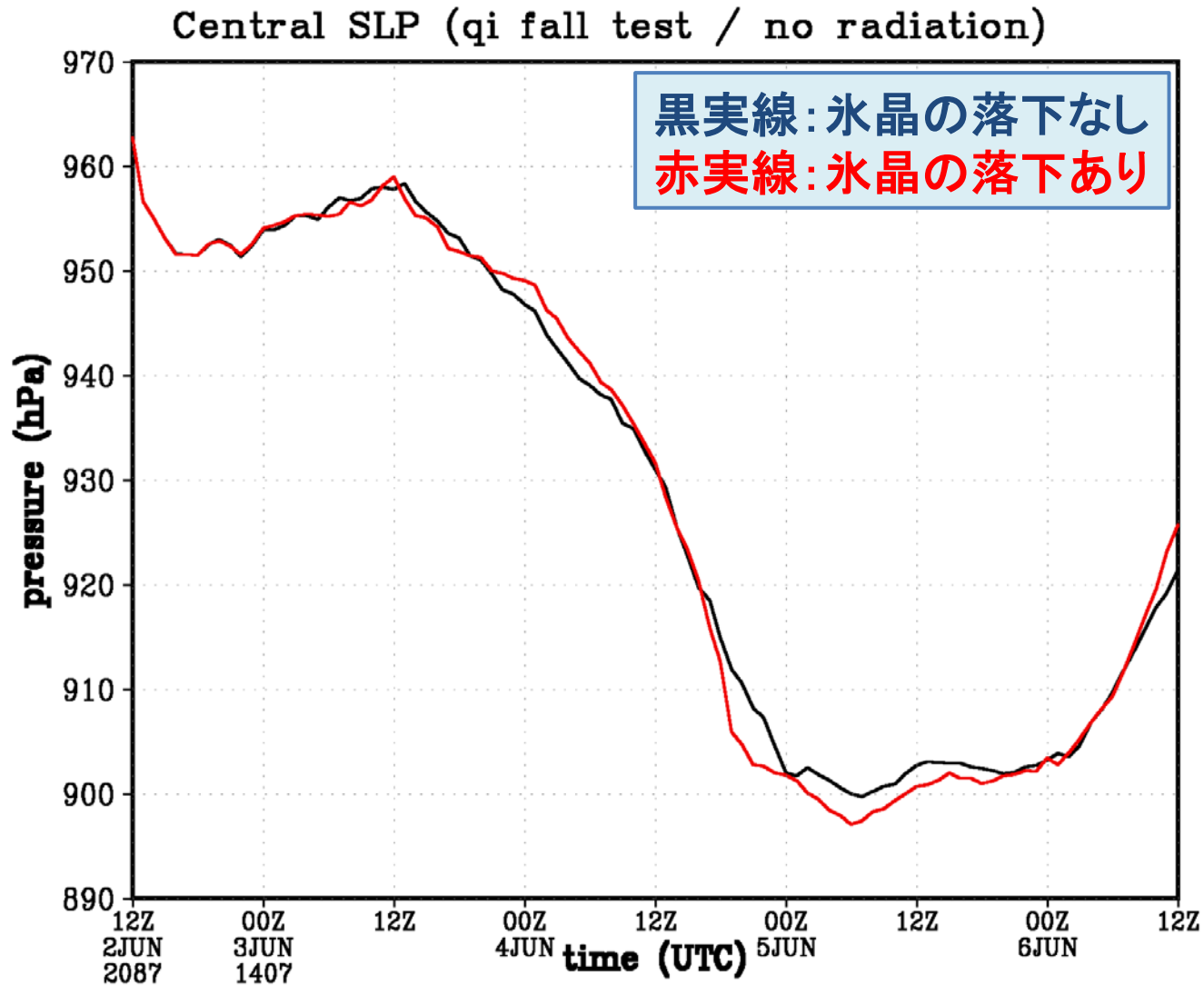
Iwabuchi, H. and K. Tsuboki, 2004: *Journal of Visualizations* (SGI賞)

Akter, N. and K. Tsuboki 2012: *Monthly Weather Review*

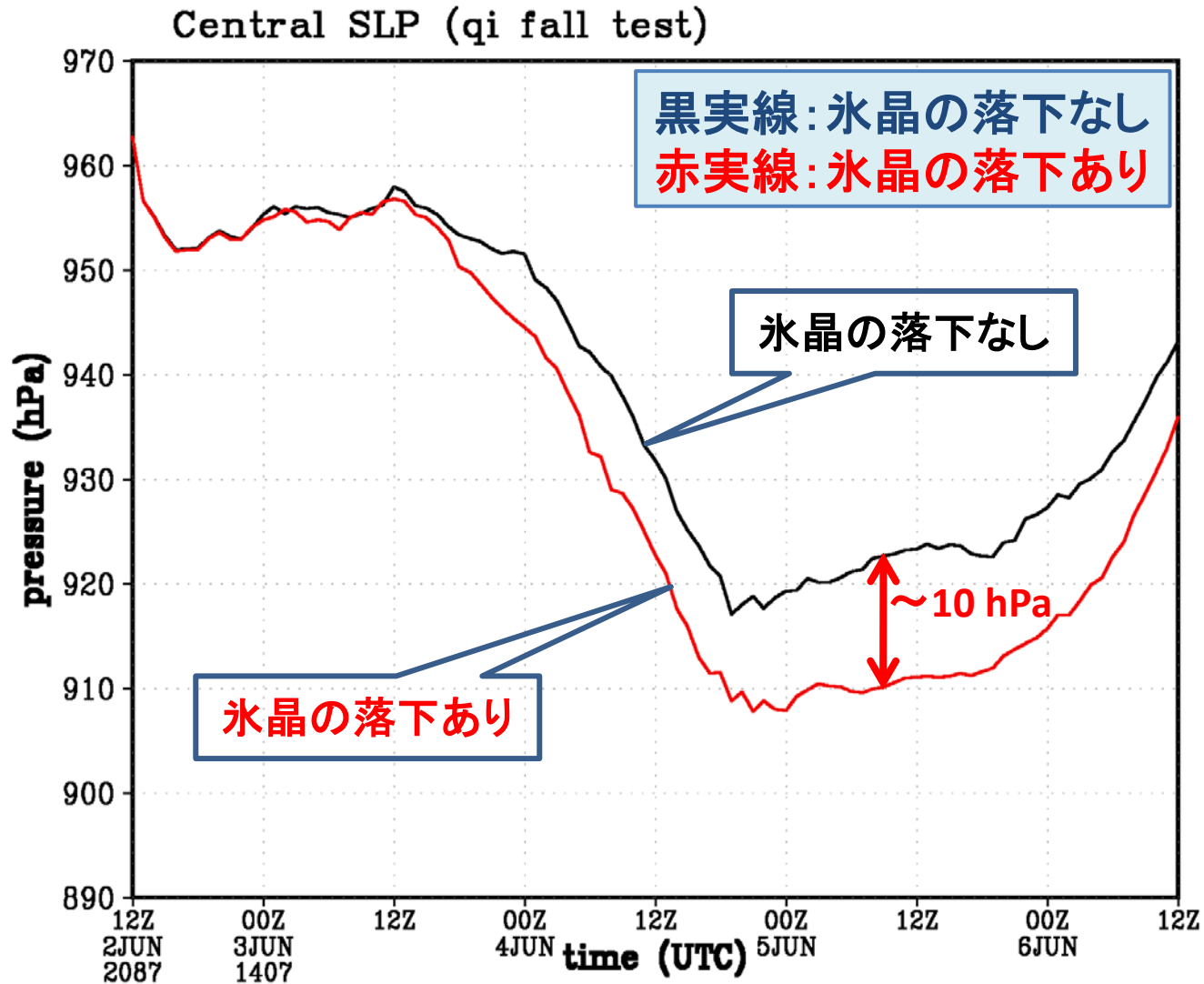
The Japan Time (2009.9.8)

革新プログラムの成果の記事

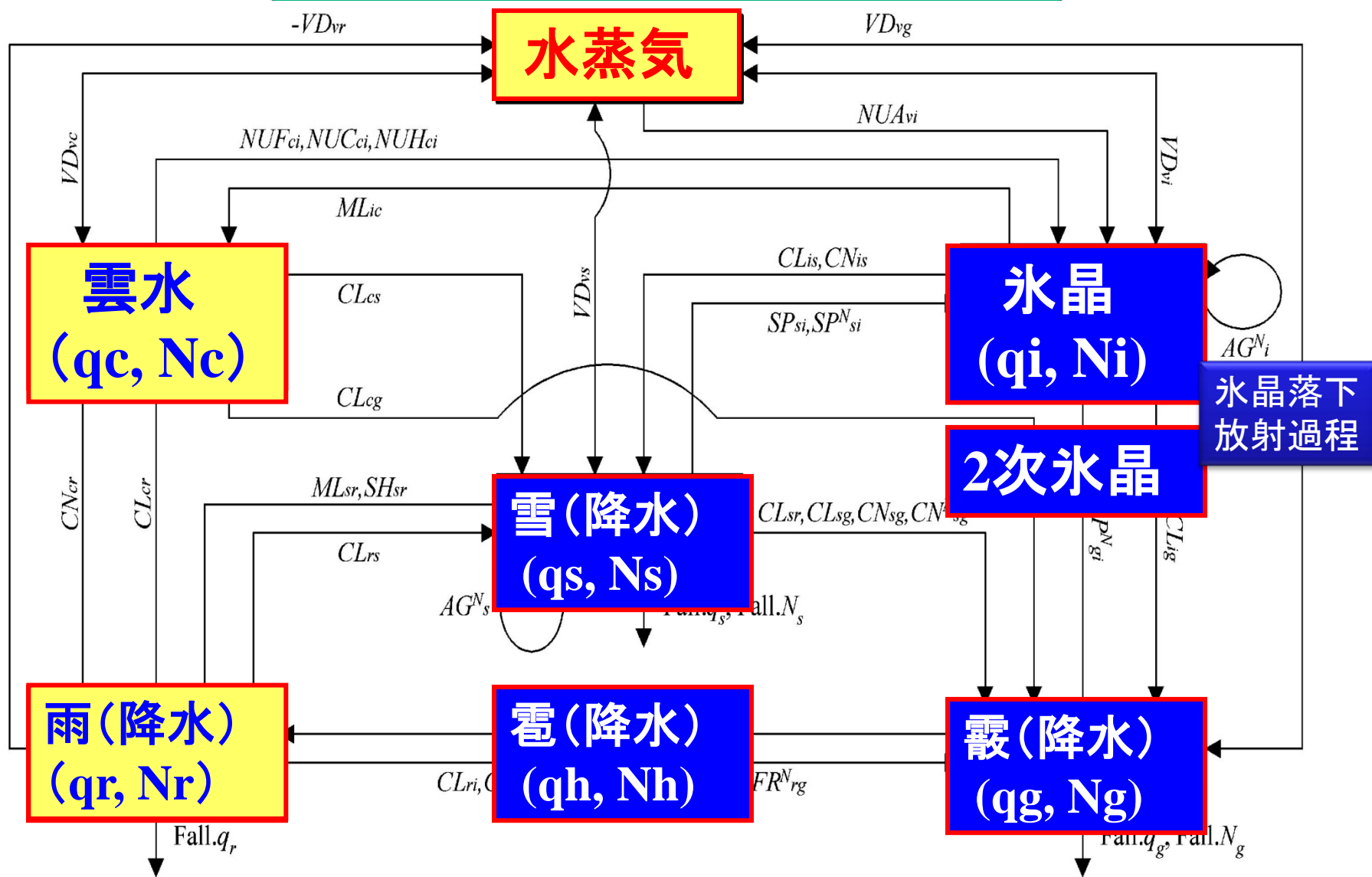
氷晶の落下の台風を中心気圧に対する影響 (放射過程のない場合)



氷晶の落下の台風を中心気圧に対する影響 (放射過程のある場合)



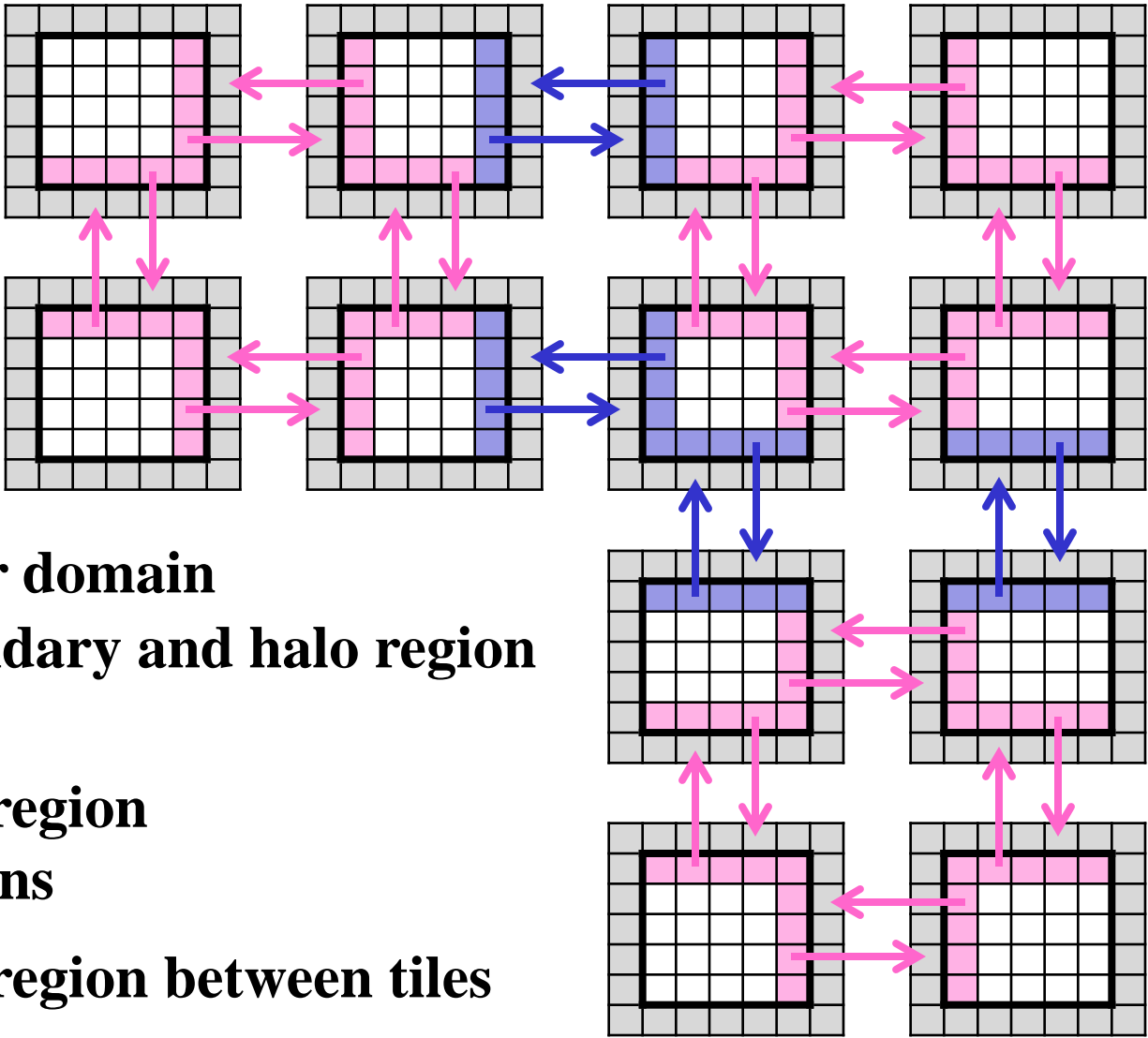
CReSSの雲物理過程とその改良点



1. 力学過程の改良: セミラグランジュ法の導入
2. タイリング法による任意形状の領域の計算

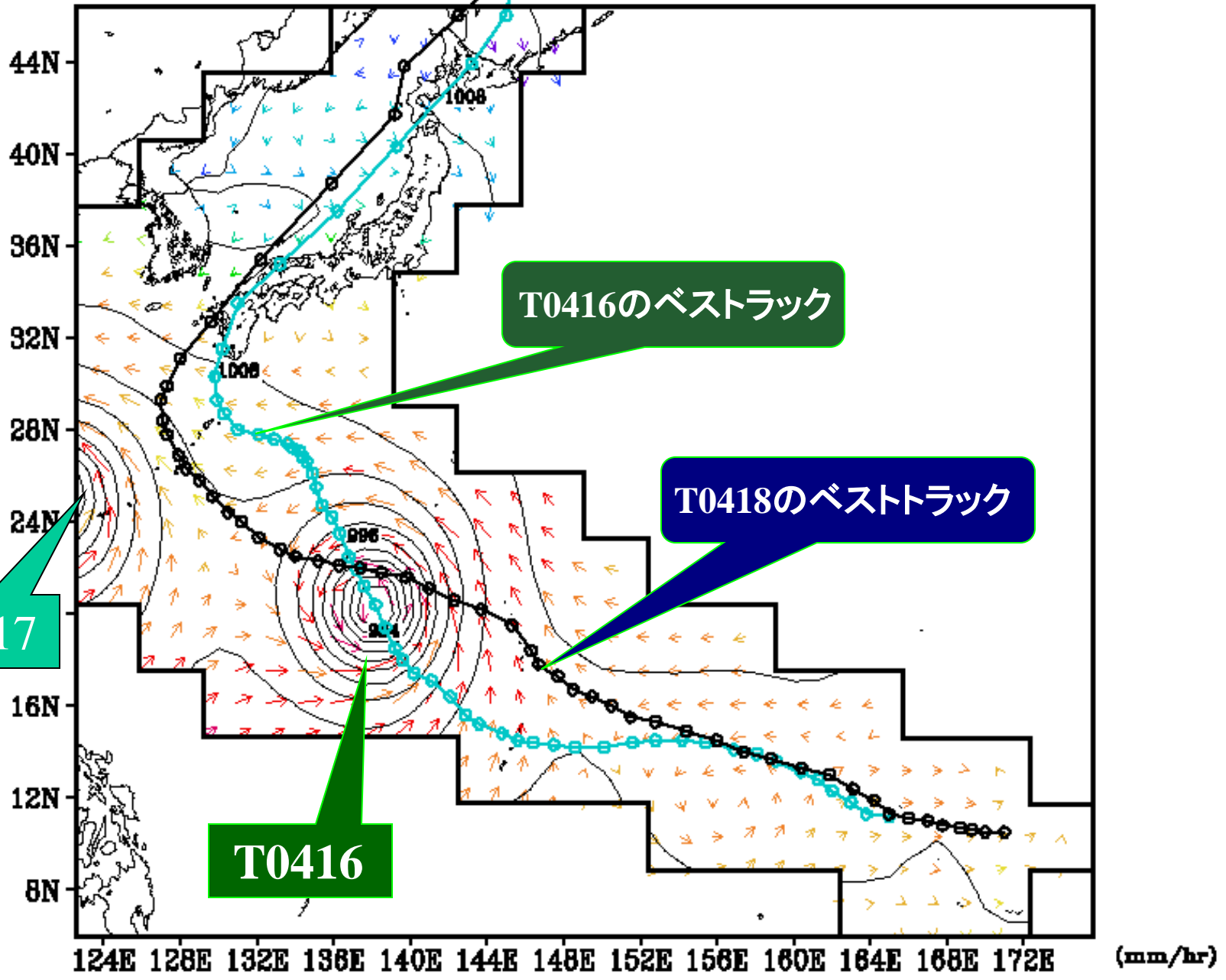
Tiling Domain Technique

Communication using MPI

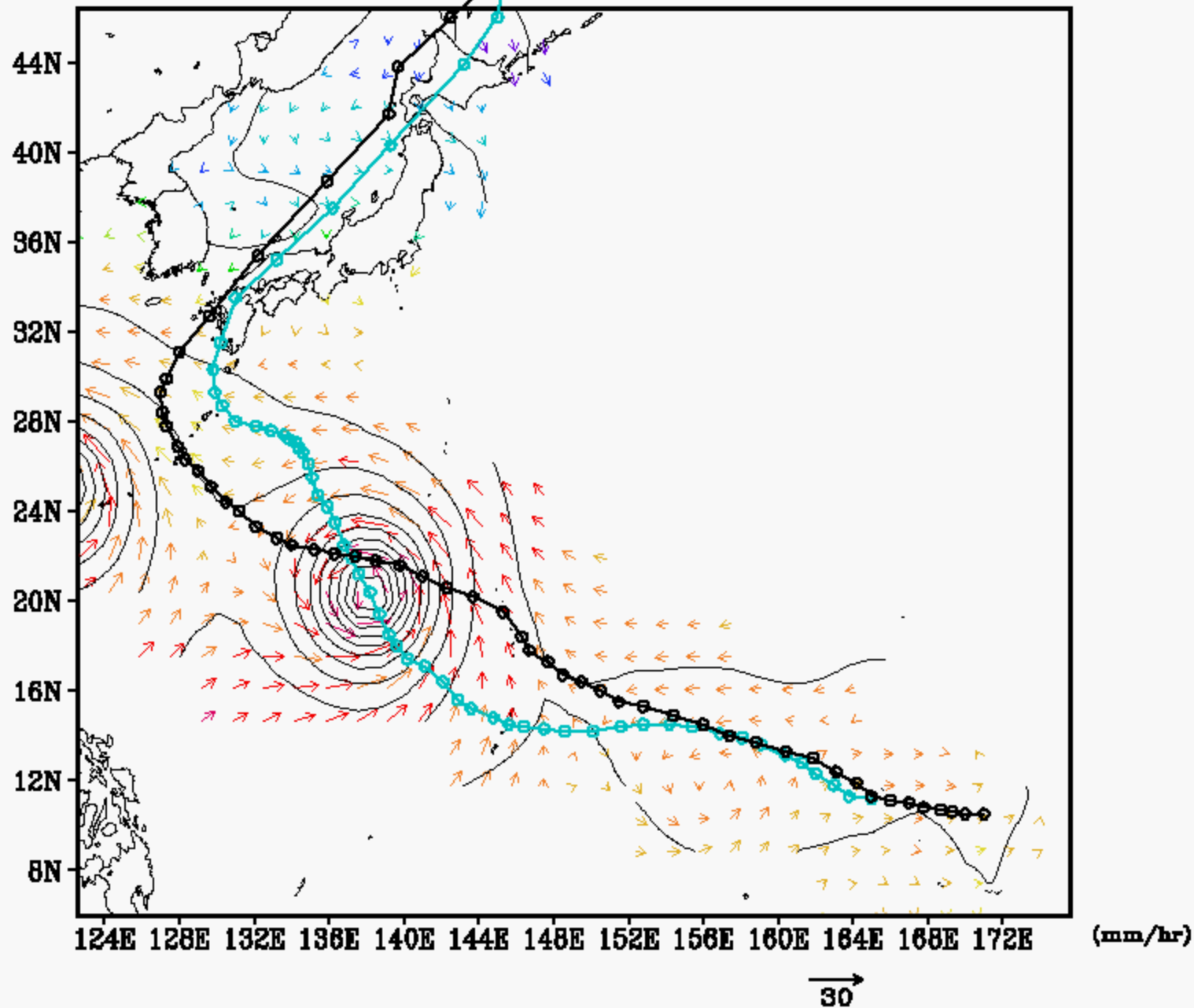


- grid points of inner domain
- grid points at boundary and halo region
- grid points of halo region between sub-domains
- grid points of halo region between tiles

タイリング領域法を用いた台風0416・0418号のシミュレーションの初期値

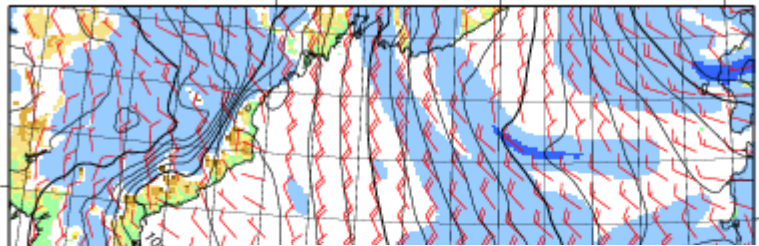


00:00Z 25AUG2004 RR, SLP (T0418TL4kmGA03)

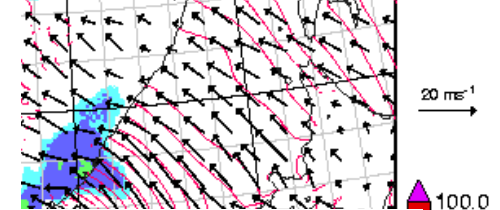


日々の実験

SEA LEVEL PRESSURE, SURFACE WIND, AND RAINFALL(R+G+S)
19 JST 30 DEC 2008

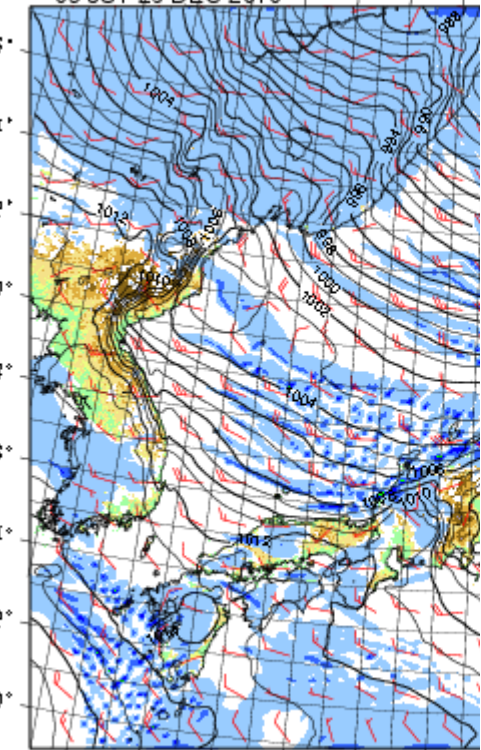


NTENSITY (mm hour⁻¹)
005 (init. 9 JST 20 APR. 2005)

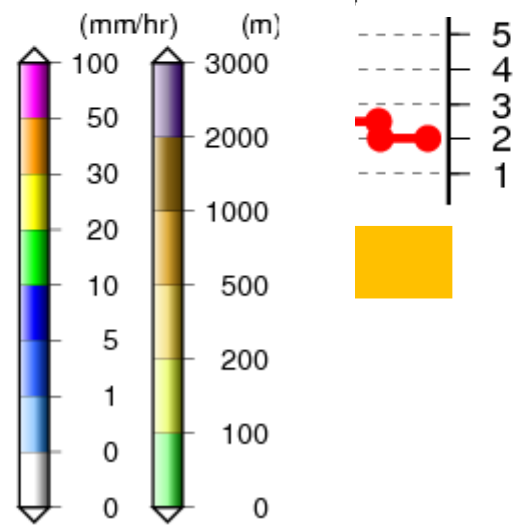
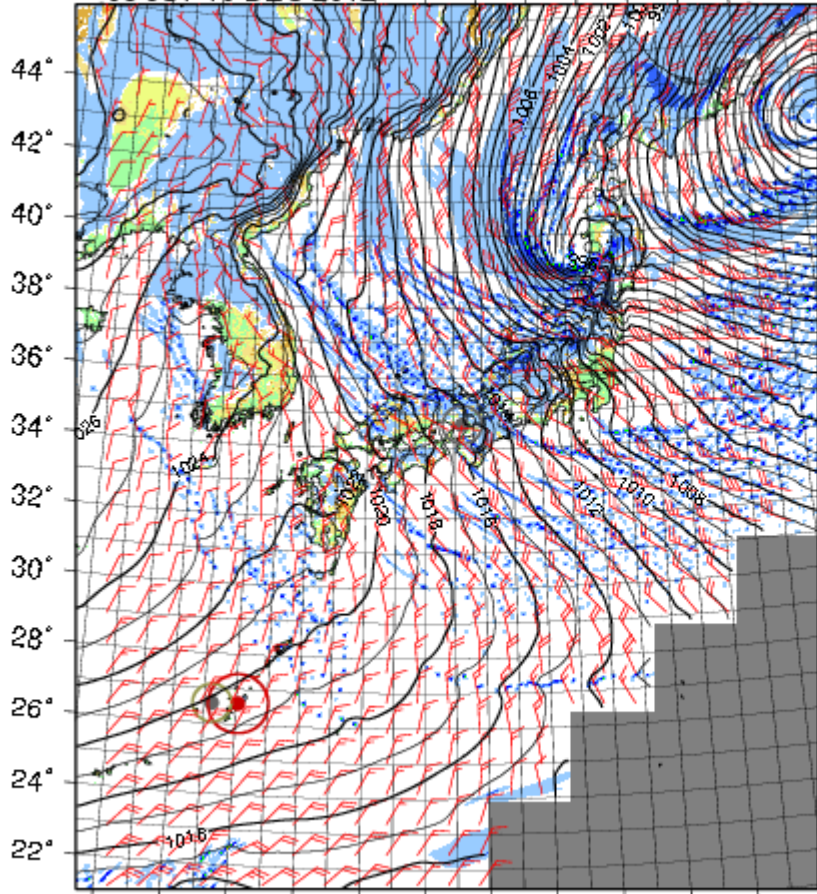


ΔX
5
4
3
2

SEA LEVEL PRESSURE, SURFACE W
09 JST 26 DEC 2010

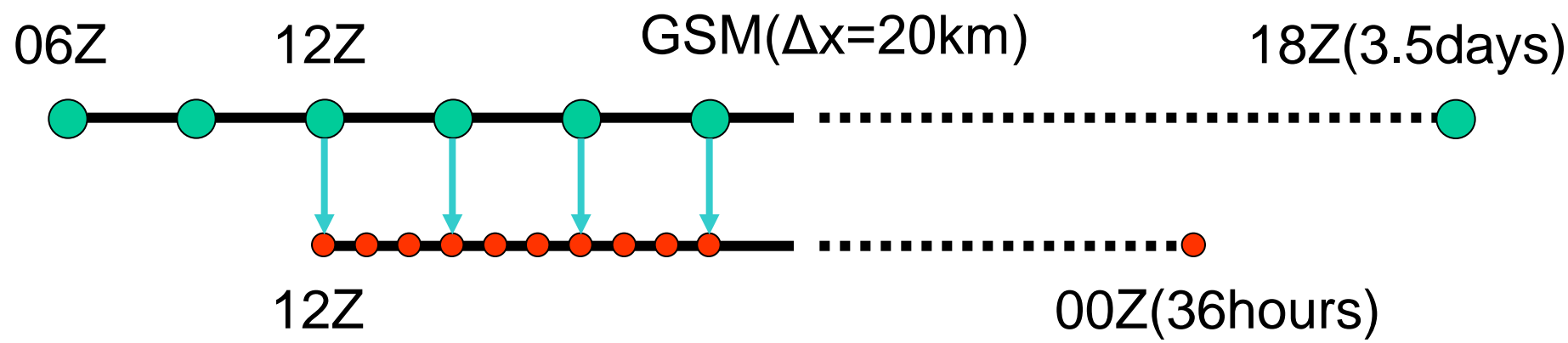


SEA LEVEL PRESSURE, SURFACE WIND, AND RAINFALL RATE
08 JST 10 DEC 2012

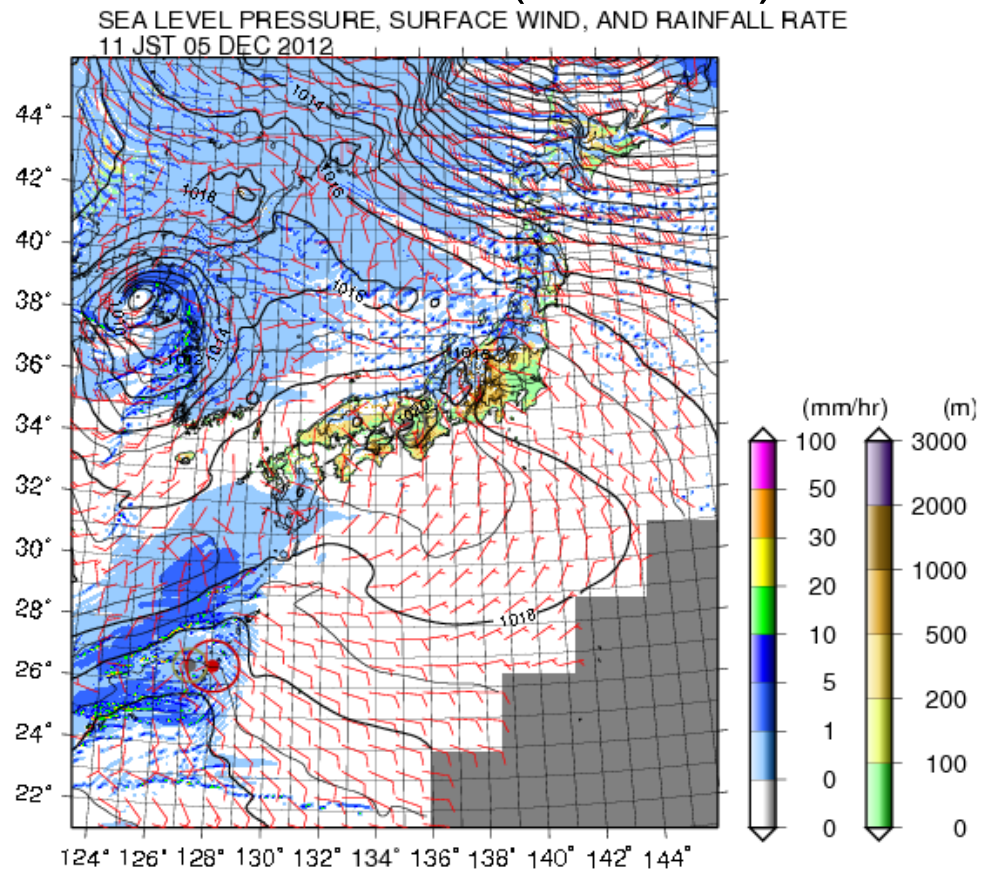


128° 130° 132° 134° 136° 138° 1

124° 126° 128° 130° 132° 134° 136° 138° 140° 142° 144°



Grid Numbers	1173x1403x35
Grid Size	$\Delta x = 2.0\text{km}$
	$\Delta z = 500\text{m}$ (lowest 100m)
Computer	32nodes (320cores)
	(Xeon® X5570 2.93GHz – 16nodes)
	(Xeon® X5660 2.80GHz – 16nodes)
Computational Time	8hours



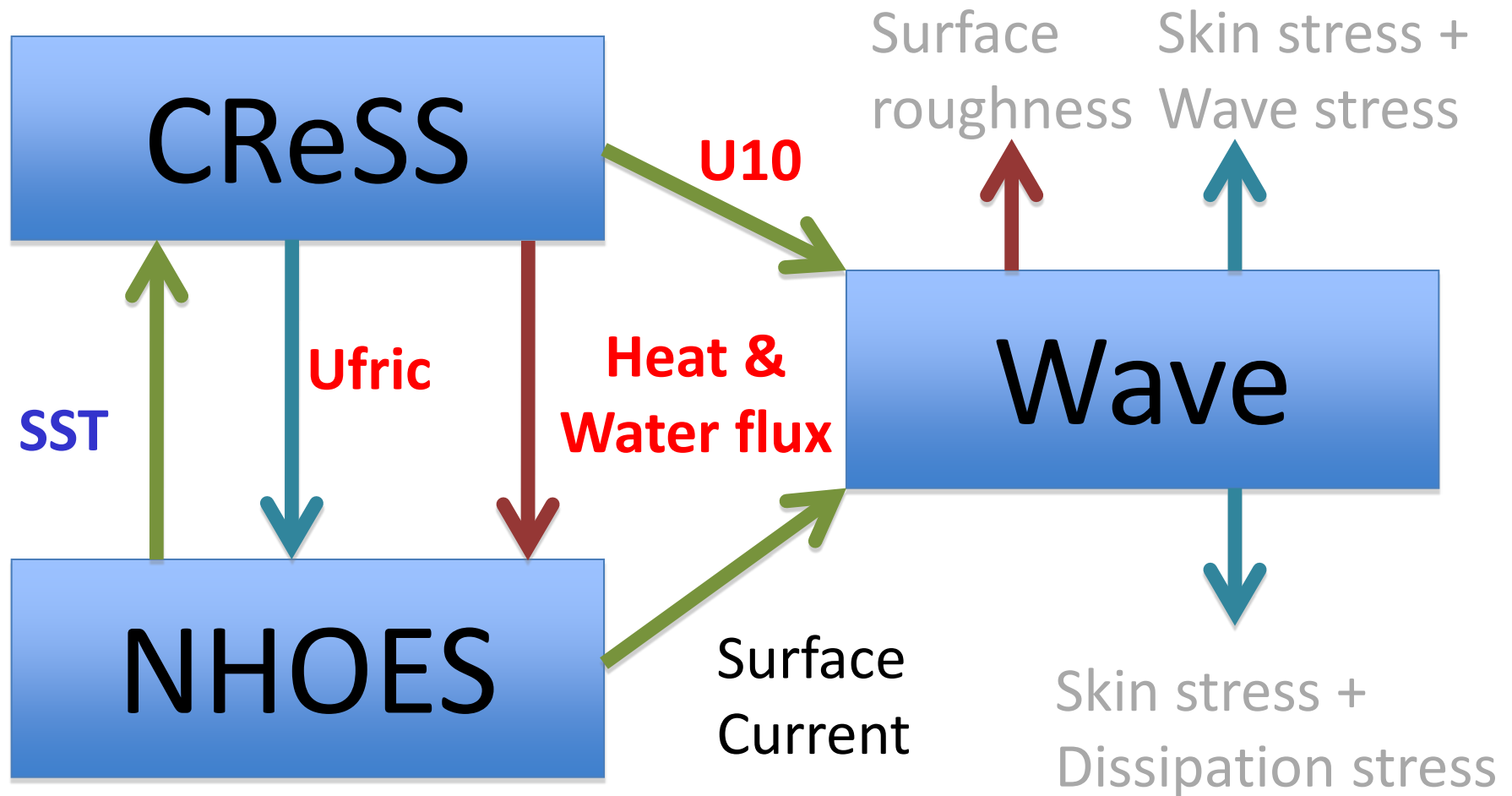
雲解像モデルCReSSと結合プロセス

— 実用の壁
— 開発の壁

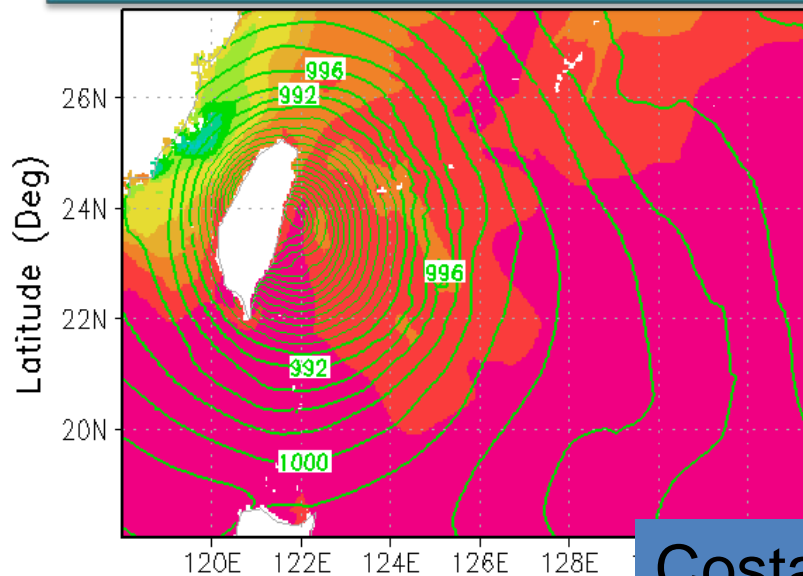
CReSS 3.*.*	CReSS ネイティブ
CReSS_NOHES	非静力学海洋モデル(海洋研究開発機構 相木さん)
CReSS_tracer	トレーサー(名大、実は開発当初から実装されていた)
CReSS_3DVAR	3DVAR(防災科学技術研究所 清水さん)
CReSS_AGCM	全球モデル(京大防災研 榎本さん、東大渡部さん、名大)
CReSS_SiBUC	陸面モデル(京大 田中さん、篠田さん)
CReSS_SDSU	SDSU(増永さん、篠田さん)
CReSS_MSTRN	放射コードの結合(東大中島先生、関口さん、吉岡さん)
CReSS_wbin	ビン法(海洋研究開発機構 くばさん、中村さん)
CReSS_SDM	超水滴法 (兵庫県立大 島さん、名大 草野さん)
CReSS_KAMINARI	雷モデル(北陸電力 金子君、名大 加藤君)
CReSS_SPRINTARS	エアロゾル過程(九大 竹村さん、名大 篠田さん)

CReSS-NHOES

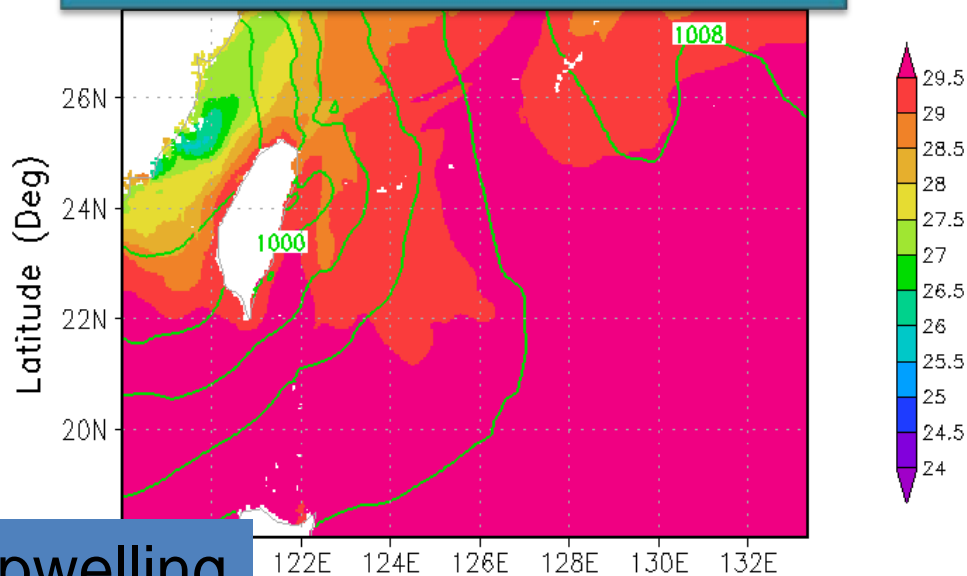
CReSS-NHOES (including passive wave model)



1-D ocean 98 hours

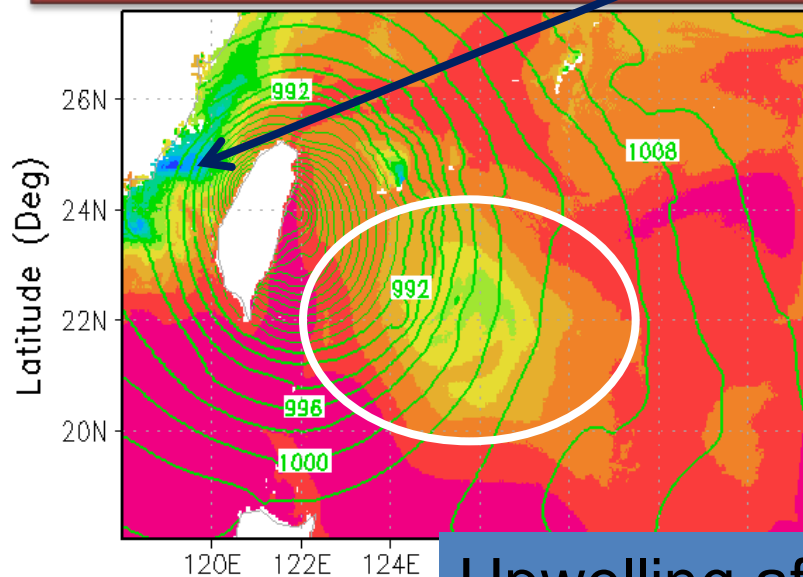


1-D ocean 144 hours

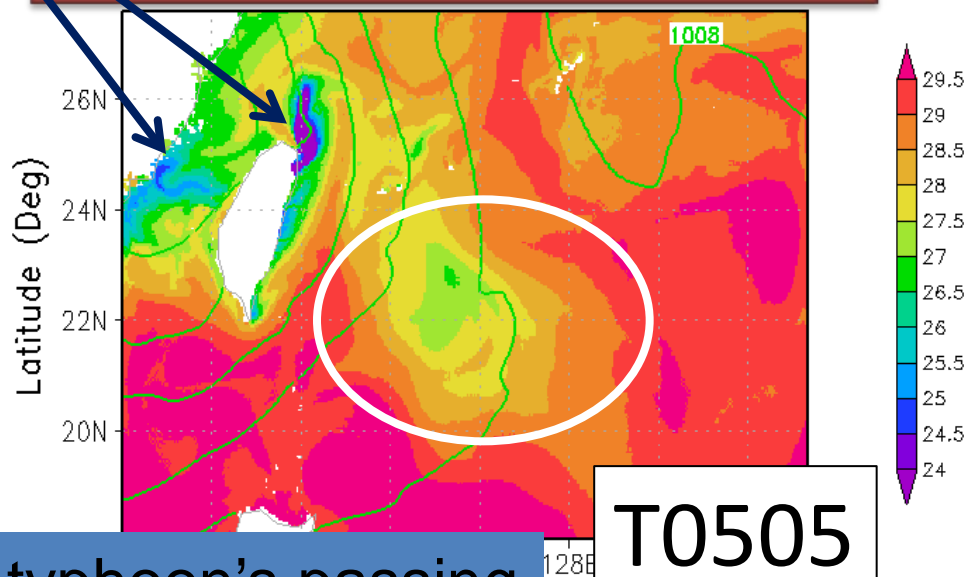


Costal upwelling

3-D ocean 98 hours



3-D ocean 144 hours

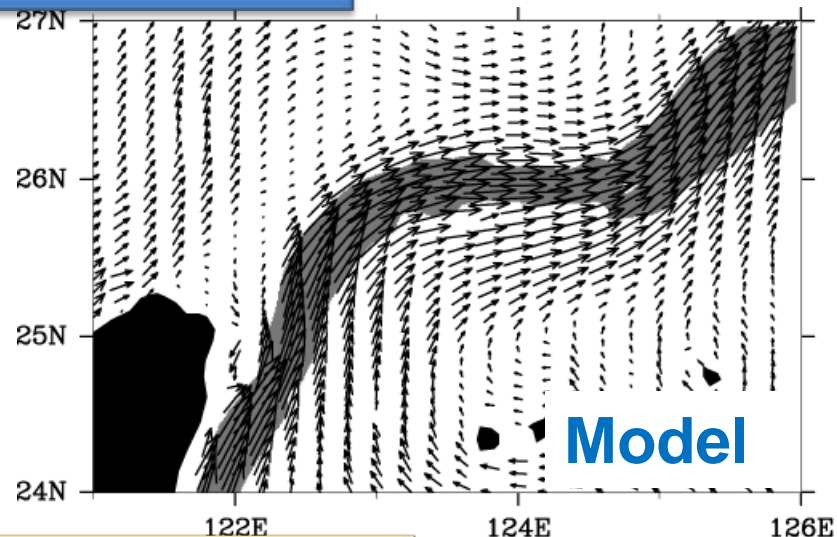
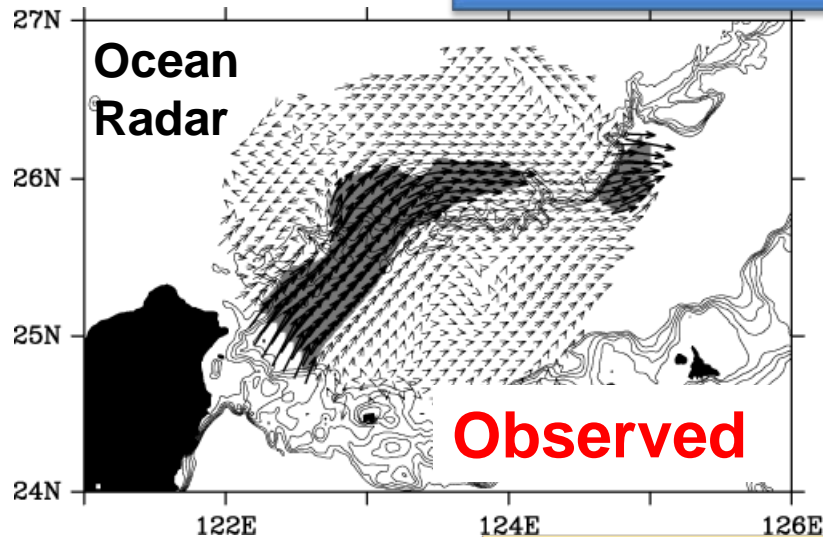


Upwelling after typhoon's passing

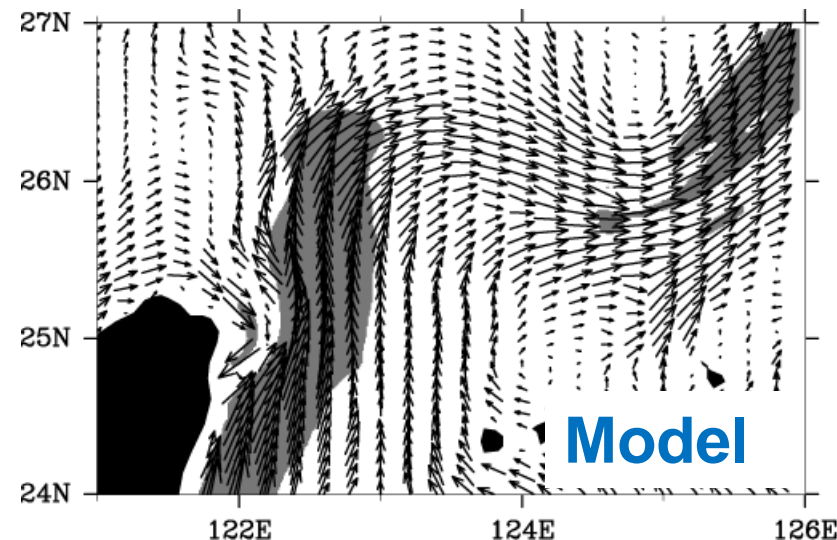
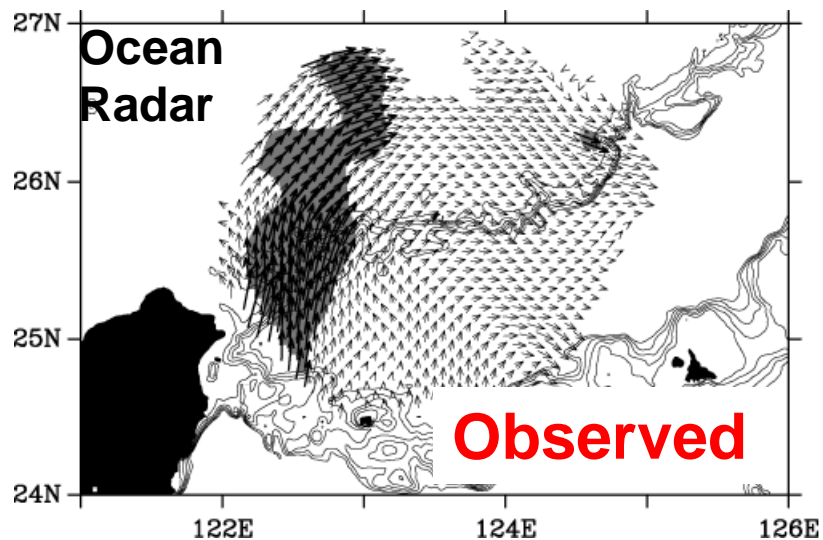
T0505

Typhoon Haitang の通過に伴う東シナ海の表層流の変化を観測と CReSS_NHOES 結合モデルによる予報実験と比較 (森本、2012)

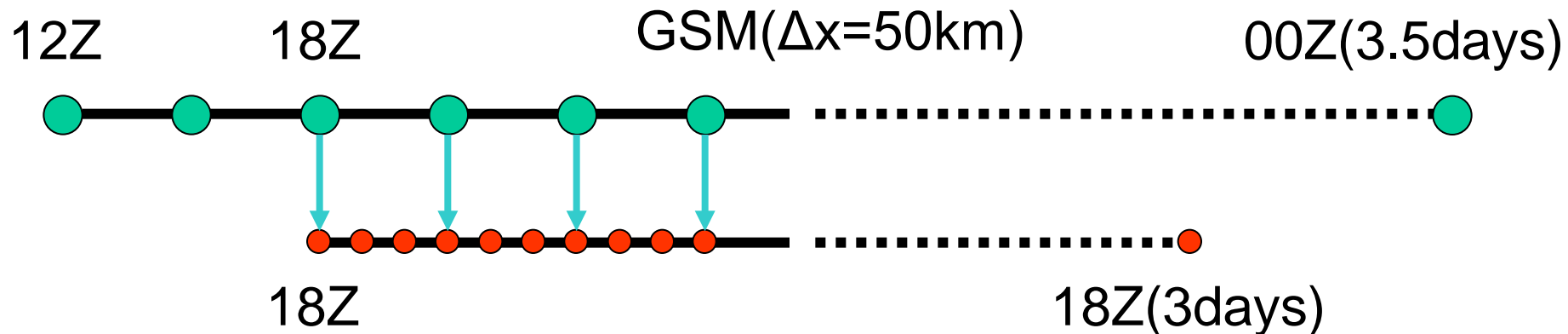
台風通過前 (July 16, 01:00 UTC)



台風通過後 (July 21, 01:00 UTC)

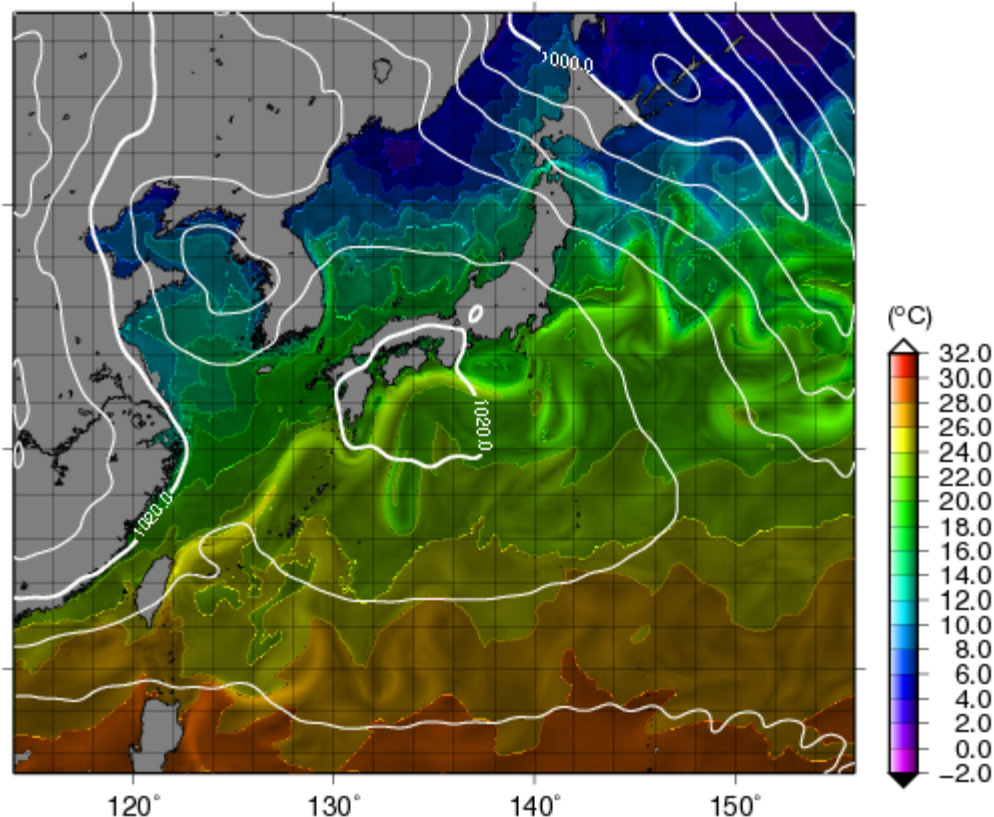


Daily Atmosphere-Ocean Coupling Simulation (2012NWP_CN5)



SLP, TEMPERATURE, AND CURRENT AT Z = -1M
11 JST 05 DEC 2012

Grid Numbers	843x643x48
Grid Size	$\Delta x=0.05^\circ$ $\Delta z=500\text{m}$ (lowest 150m)
Computer	32nodes (320cores) (Xeon® X5570 2.93GHz – 16nodes) (Xeon® X5660 2.80GHz – 16nodes)
Computational Time	8hours



CReSS-tracer

日々のシミュレーション実験 (CReSS トレーサオプションによる実験)

MODEL RESULT - Fx for Vine Linux

ファイル(F) 編集(E) 表示(V) 履歴(S) ブックマーク(B) ツール(T) ヘルプ(H)

<http://rain.hyarc.nagoya-u.ac.jp/~kato/exp/> (パスワード制限あり)

PNF2.5KM	PNF1.5KM
格子数 803x811x36	格子数 603x603x36
境界値 GSM(日本域)	境界値 MSM
初期値 毎日 21JST	初期値 毎日 9JST
積分時間 36時間	積分時間 30時間
計算機 Xeon X5570 2.93GHz (128コア)	計算機 Xeon X5570 2.93GHz (128コア)
所要時間 約7時間30分	所要時間 約3時間40分

放出条件:
福島第一原発上空 100m を中心に水平1.5km、鉛直0.5km の楕円球を与え、中心を 1 として、中心から離れるに従って小さくなる混合比分布を連続的に放出

計算条件:
乱流混合 (TKE を予測する1.5次のクロージャー) と移流のみ。沈着過程等は考慮していない。

$\Delta x = 2.5\text{km} (3/12 - 5/2)$ $\Delta x = 1.5\text{km} (3/23 - 4/5)$

完了

2011-03-15 06:00:00



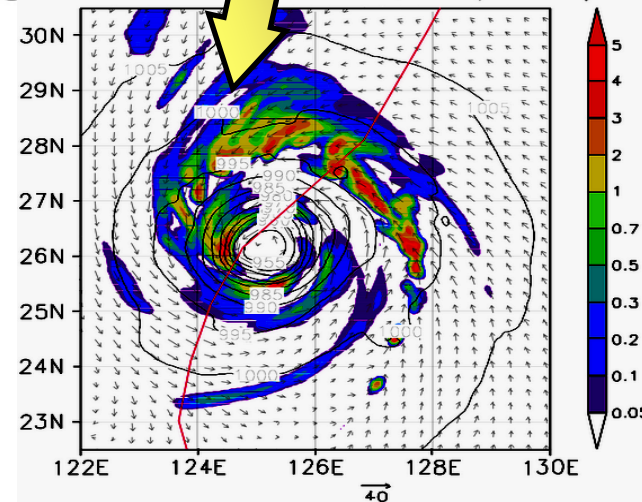
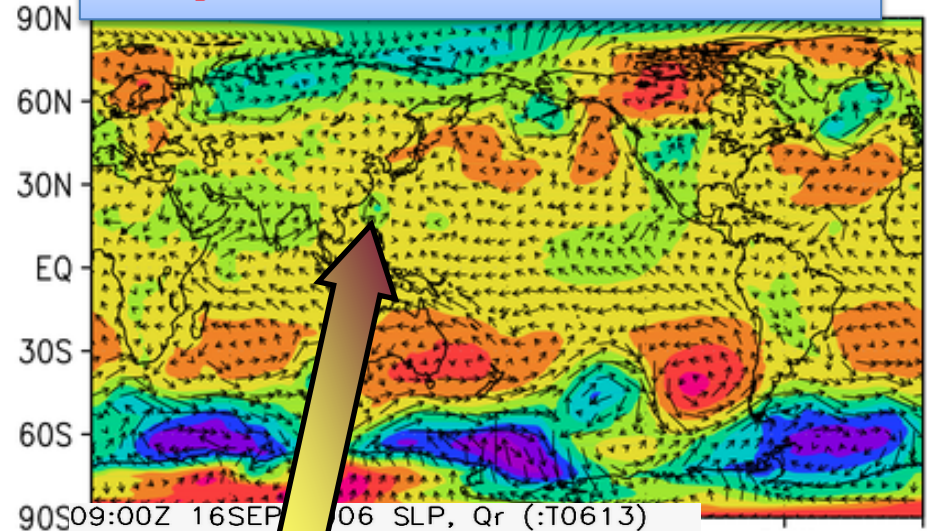
CReSS-AGCM

全球モデルと雲解像モデルの双方向通信結合

- 大規模スケールの運動 : 静力学近似が良い精度で成立
- 対流な活発な領域 : (台風・梅雨前線など) 高解像度で、鉛直流や雲物理過程を陽に説く必要がある。

全球静力学モデル**AFES/MIROC**に雲解像モデル**CReSS**を埋め込んだ非斉一結合モデルの開発を行っている。

全球モデル: AFES/MIROC

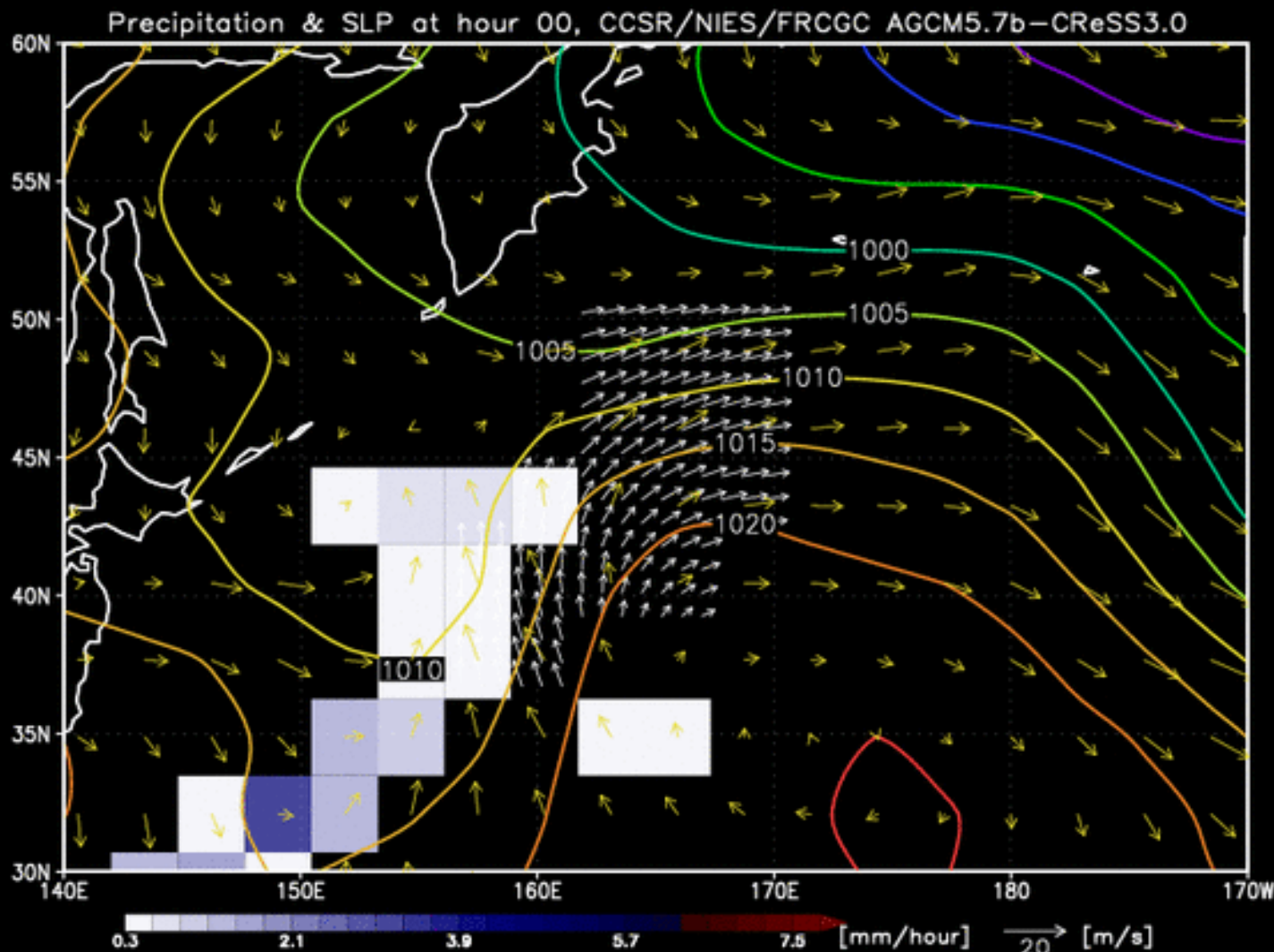
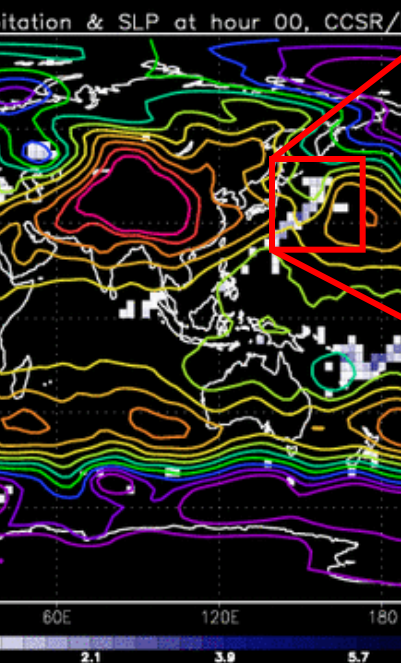


領域モデル: CReSS

AGCM(MIROC)–CReSS の1格子結合

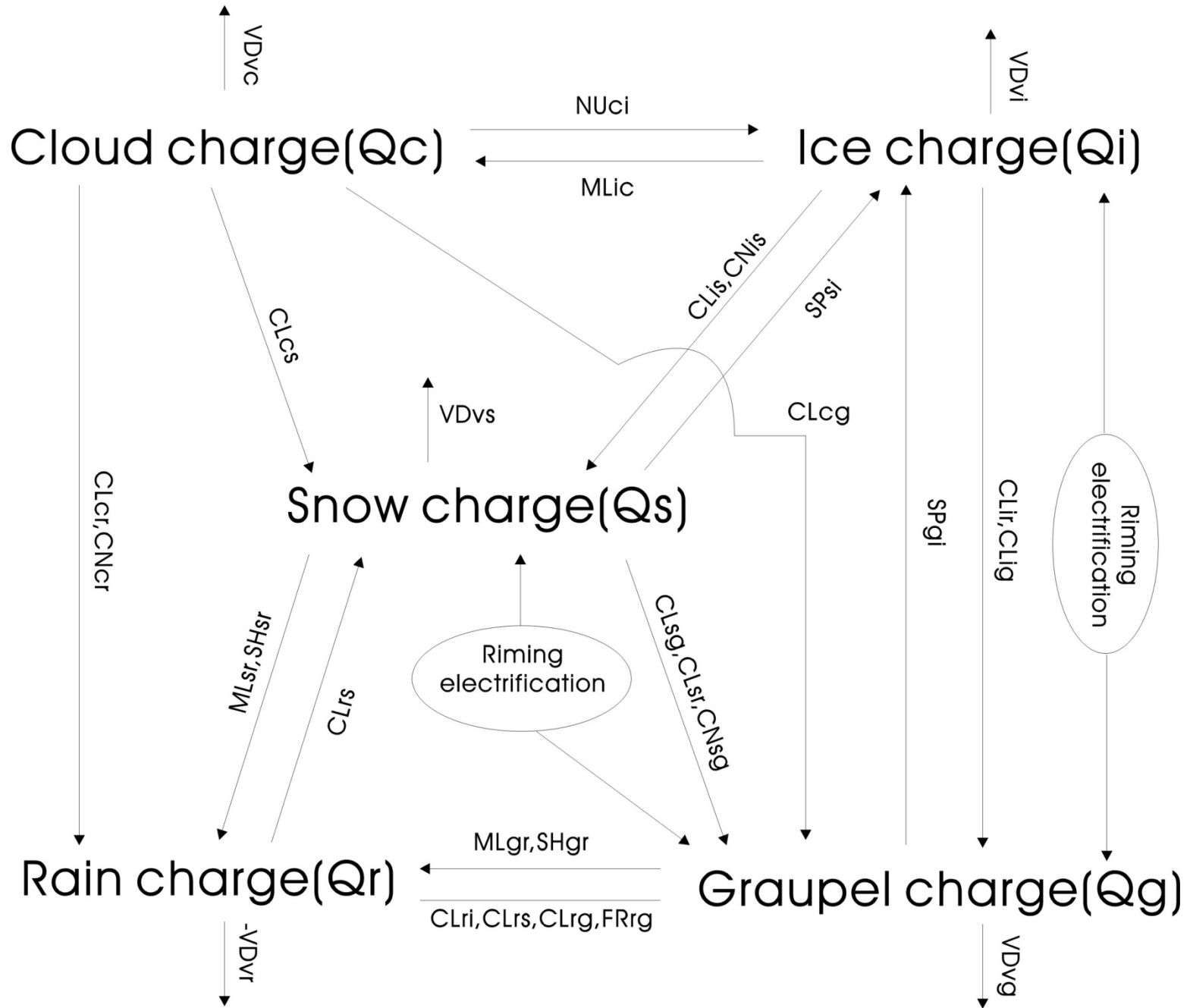
FlexNest (system I)

Precipitation & SLP in the T42 AGCM



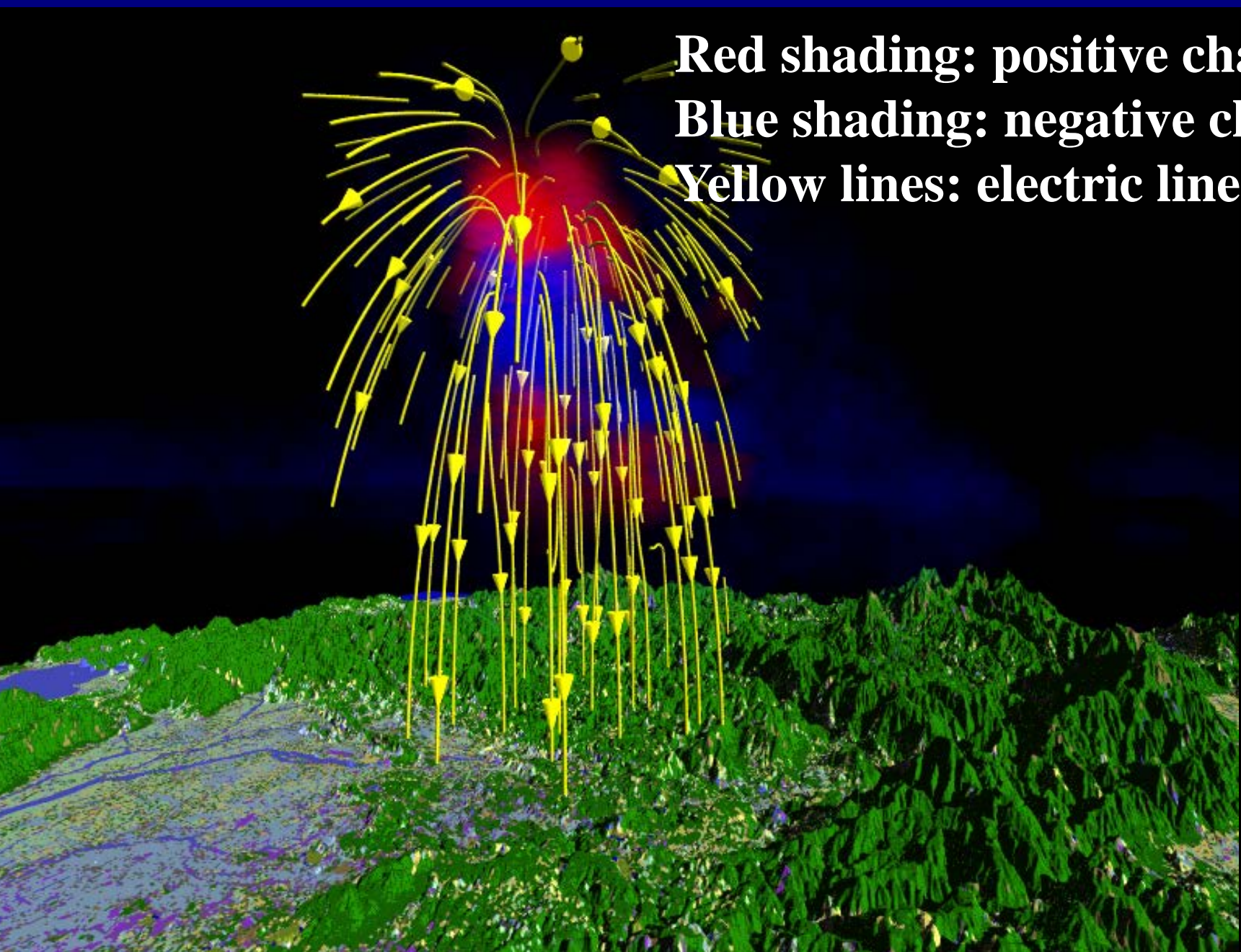
CReSS-KAMINARI

Diagram of charge generation

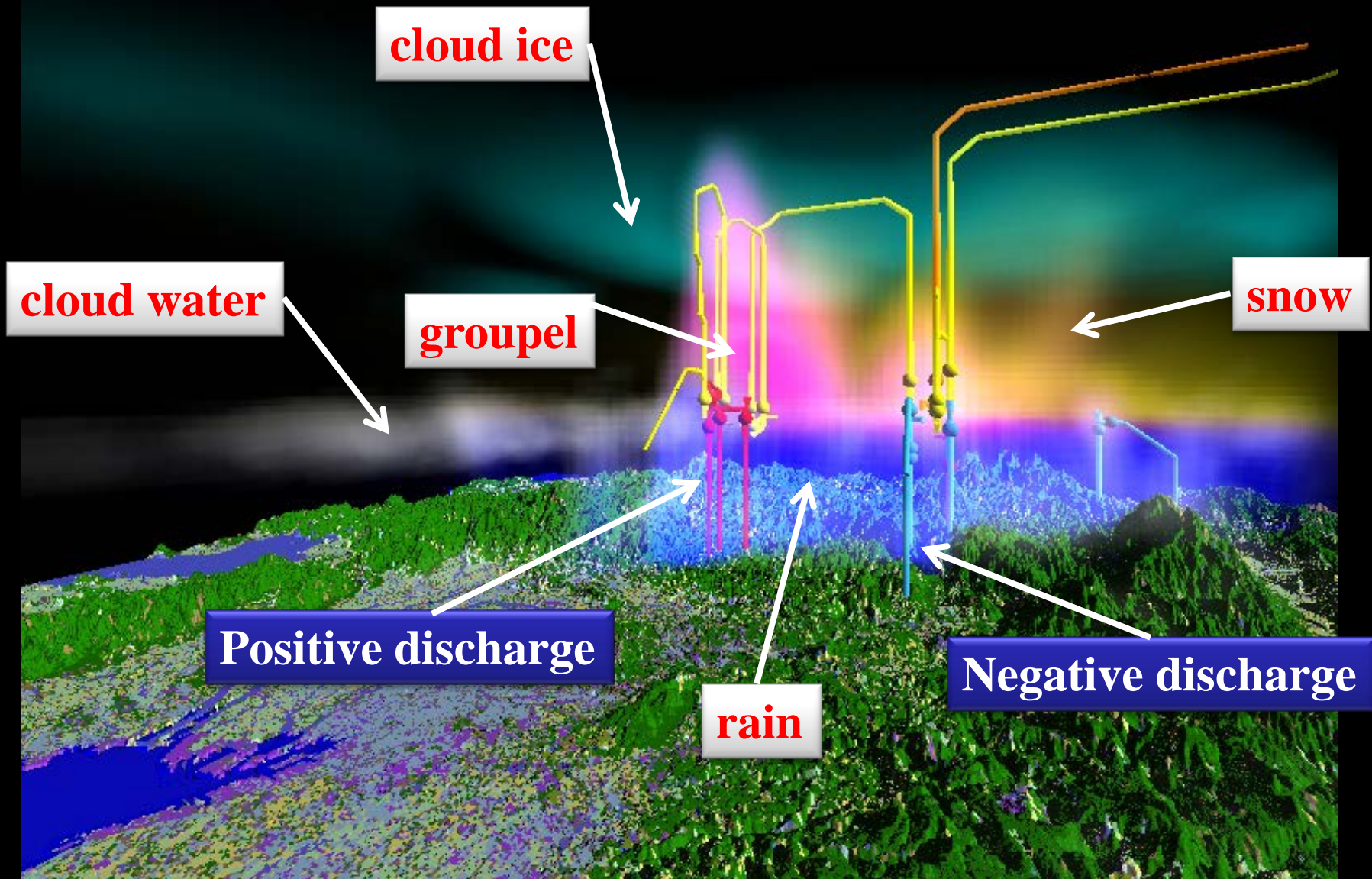


3-dim image of atmospheric electric field

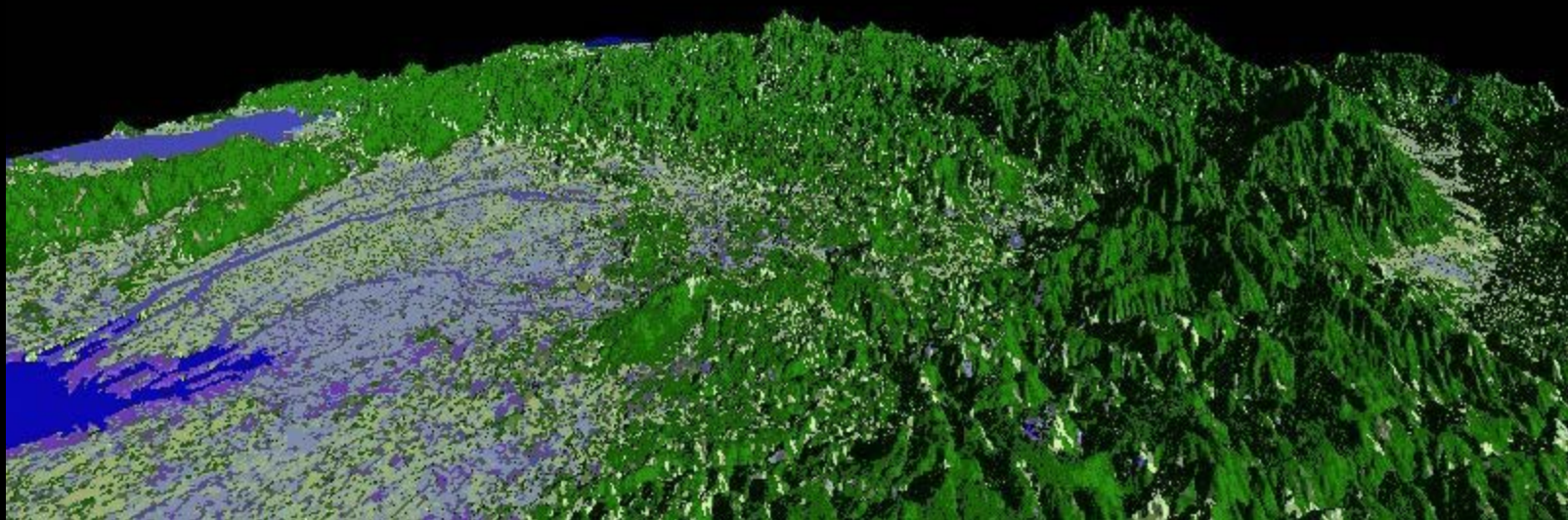
Red shading: positive charge
Blue shading: negative charge
Yellow lines: electric lines



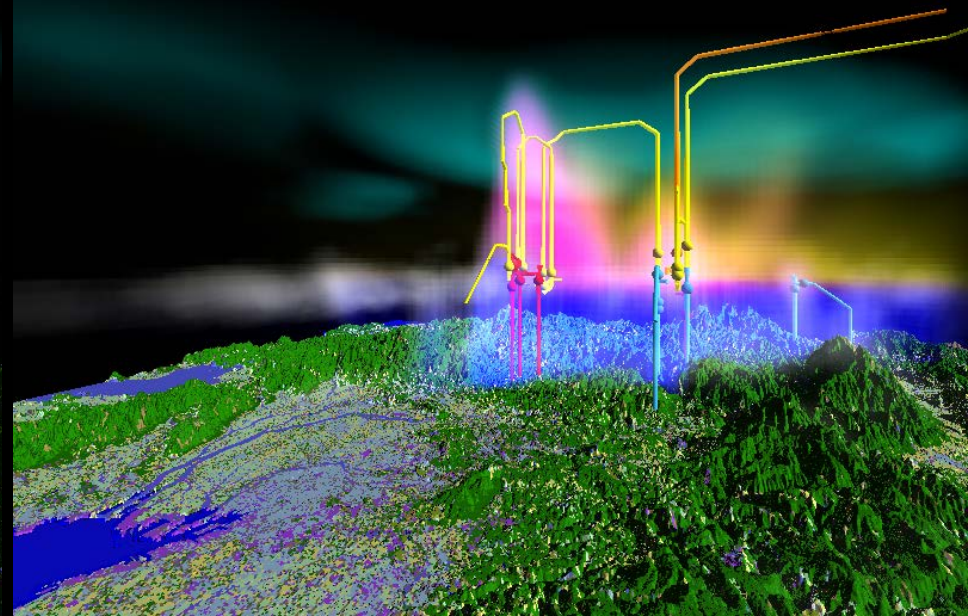
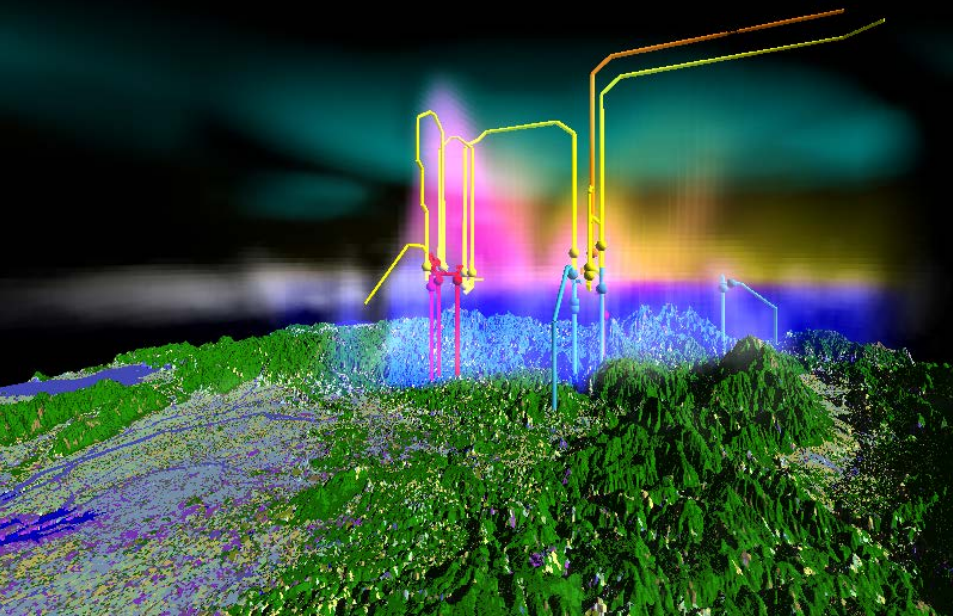
lightning and hydrometeor distribution



2010-07-15 18:00:00



CReSS_KAMINARI による放電路の計算結果(交差法)



CReSS の検証と改良の取り組み

衛星データを用いた雲解像モデルの結果の検証

CReSS simulation

SDSU calculation

CReSS-SDSU

Infrared T_{BB}

Microwave T_{BB}

Reflectivity

Comparison

MTSAT-IR
(10.8 μm)

Aqua-AMSR-E
(89.0 GHz)

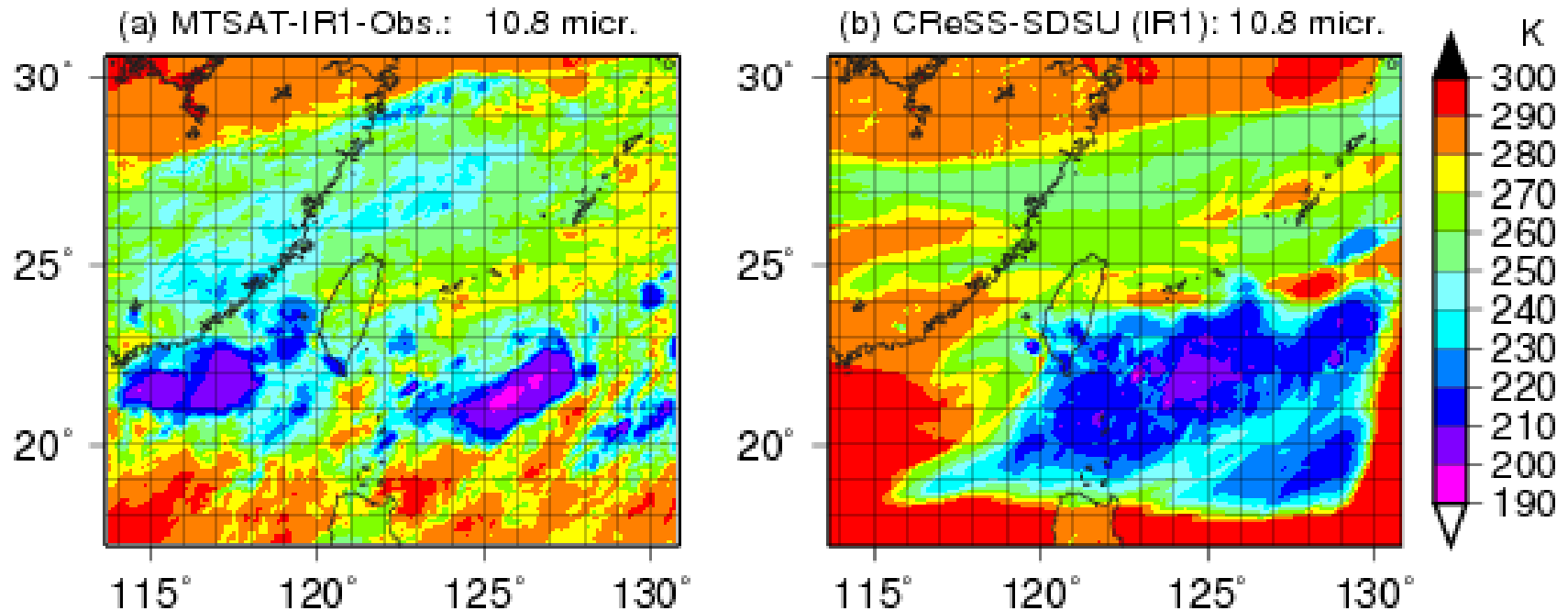
TRMM-PR
(13.8 GHz)

CloudSAT-CPR
(94.0 GHz)

Satellite observations

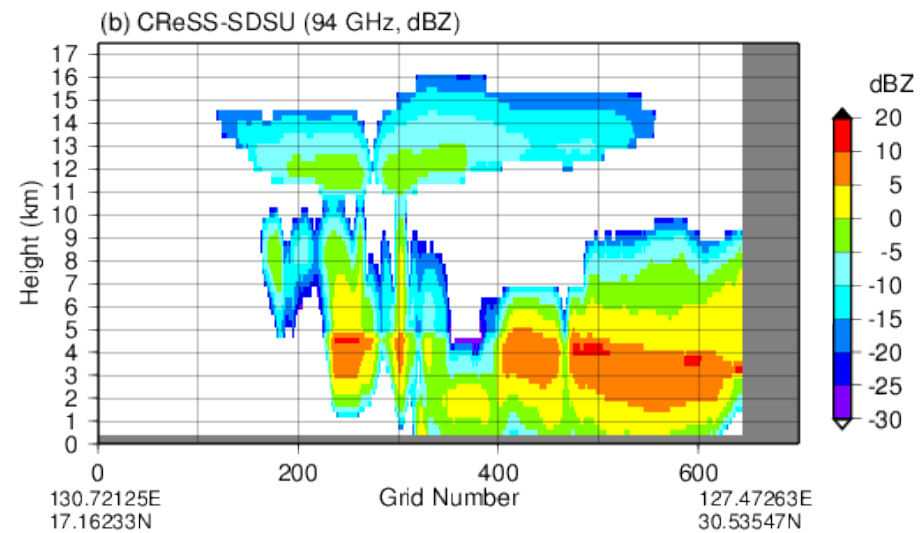
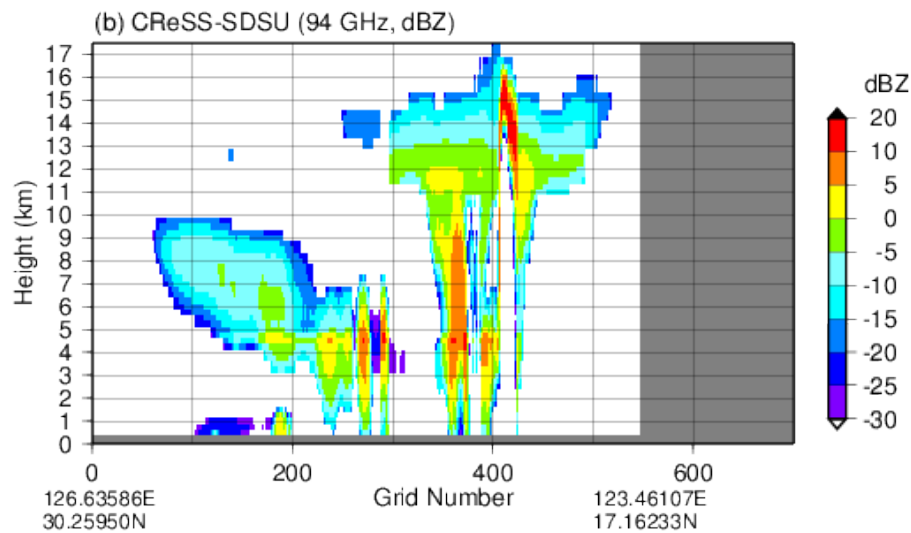
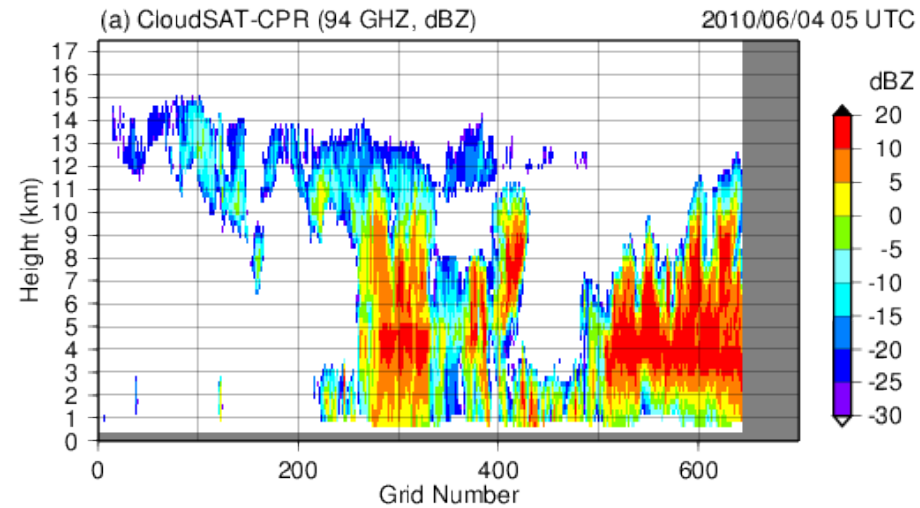
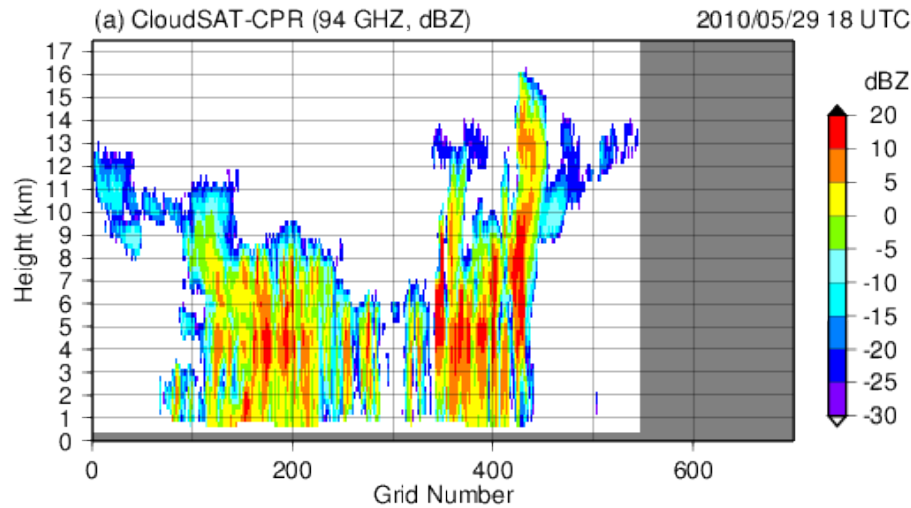
T_{BB} -IR distributions (MTSAT vs CReSS-SDSU: May 29, 2010)

2010/05/29 17 UTC



- MTSAT obs.: **Well-developed MCSs** develop over southeast and southwest far from Taiwan Island.
- **The location and minimum T_{BB} of the southeastern MCS** are well reproduced in CReSS-SDSU.
- The **cloud cover** is seen over the almost all of the simulation region in the MTSAT obs. and CReSS-SDSU.

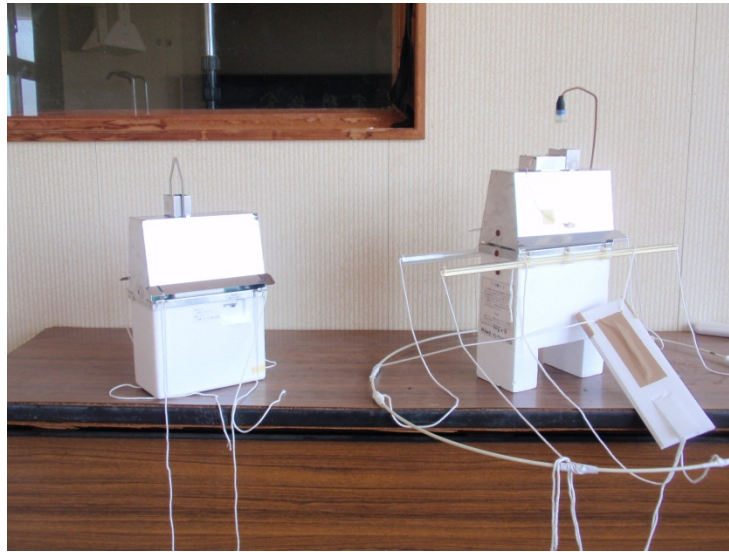
比較結果の例 (CloudSat-CPR vs CReSS-SDSU)



雲粒子ゾンデ(HYVIS)放球による雲粒子直接観測

新型HYVIS7台、旧型HYVIS(夜間型1台、強制吸引型3台)放球
新型HYVISのマニュアル作成

新型HYVIS



旧型HYVIS(夜間型)



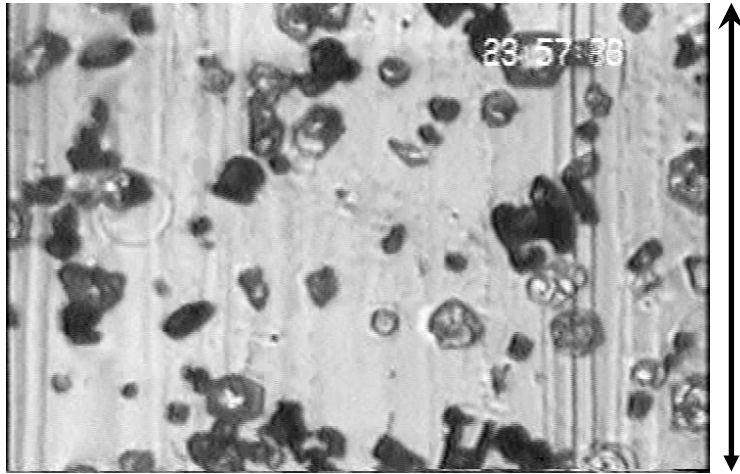
HYVIS受信アンテナ



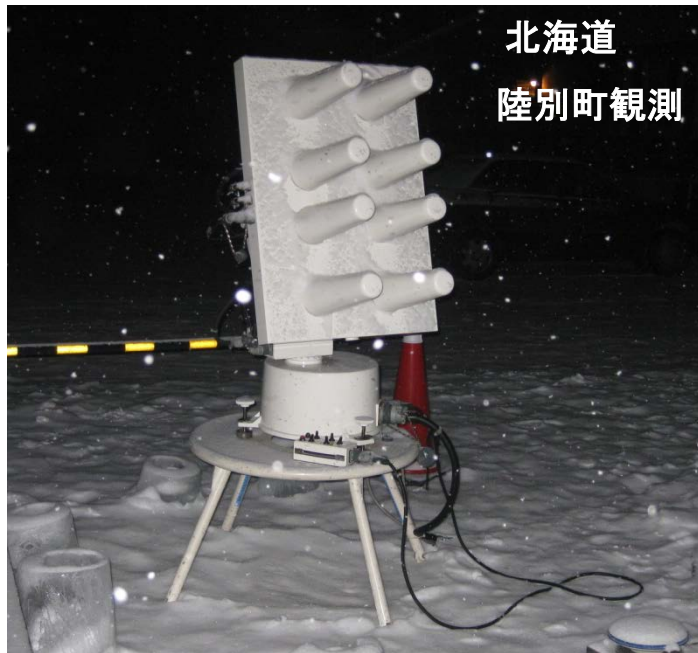
新型HYVIS放球

雲粒子ゾンデ(HYVIS)による氷晶の粒径分布の観測

顕微鏡カメラ画面



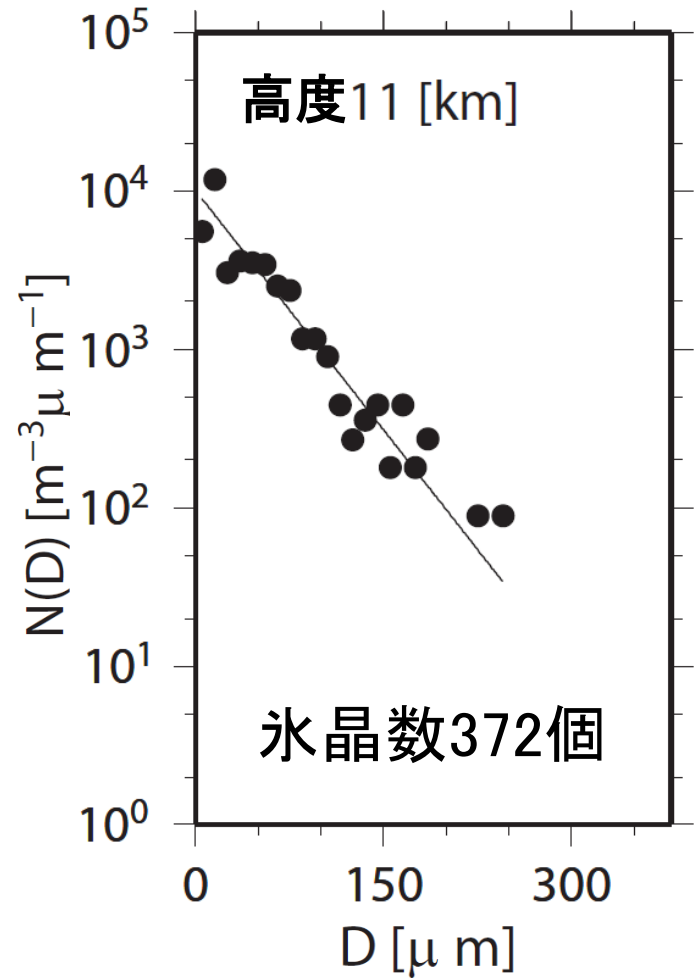
1.4mm



北海道
陸別町観測

Marshall-Palmar分布 (Marshall and Palmar, 1948) によるフィッティング

$$N(D) = N_0 \exp(-\Lambda D)$$



CReSS 布教の取り組み

講習会(団体)

- IHPトレーニングコース (2007)
- dcmode/davis チュートリアル/ 数値計算・データ解析実習 (2009)
- VL 講習会(2009)

講習会(個別)

- | | | |
|---------------|---------|--------|
| • 国立台湾師範大 | • 岩手大 | • 土木研 |
| • 国立台湾大 | • 愛媛大 | • 明星電気 |
| • 韓国気象庁 (KMA) | • 京都産業大 | |
| • 韓国プキョン大学校 | • 長崎大 | |
| | • 名古屋大 | |
| | • 三重大 | |
| | • 酪農学園大 | |

DVD/USB CReSS の作成

→ 明日も参加される方で欲しい方は**本日中に私まで**お知らせください。

1998年より CReSS の開発を行っている

■ 近い将来解決する、または取り組むべき問題

- 微物理過程の精緻化
- エアロゾル過程の導入
- 境界層過程の検討
- 雷モデルの精緻化
- データ同化

- 京での安定動作
- データ出力フォーマット
- バージョン管理
- ドキュメントの整備
- CReSS 実行及び解析支援ツール
- さらなる布教