

本日のメニュー(あくまでも予定)

1. メソ降水システムに関するこれまでの知見
 - 1-1. 降水セルの特徴
 - 1-2. 自己維持型のメソ降水システム
2. **メソ降水システムの研究手法**
 - 2-1. ドップラーレーダーデータ解析
 - 2-1-1. 解析事例(降水セルの面積と高さ)
 - 2-2. **雲解像モデル**
 - 2-3. 雲解像モデル(CReSS)を用いた計算事例
 - 2-3-1. 台風T0418のケース
 - 2-3-2. 台風T0423のケース
 - 2-4. メソ降水システム研究の将来
3. GCMパラメタリゼーションの改良に向けて
 - 3-1. 海洋上の浅い積雲の再現実験
 - 3-2. 熱帯インド洋域における深い対流雲の予報実験

ドップラーレーダー観測で見えるもの・見えないもの

●見えるもの

降水分布

風の場合(一部推定)

●見えないもの

降水粒子の分布(雨と雪の識別)

温度場

水蒸気場(湿度場)

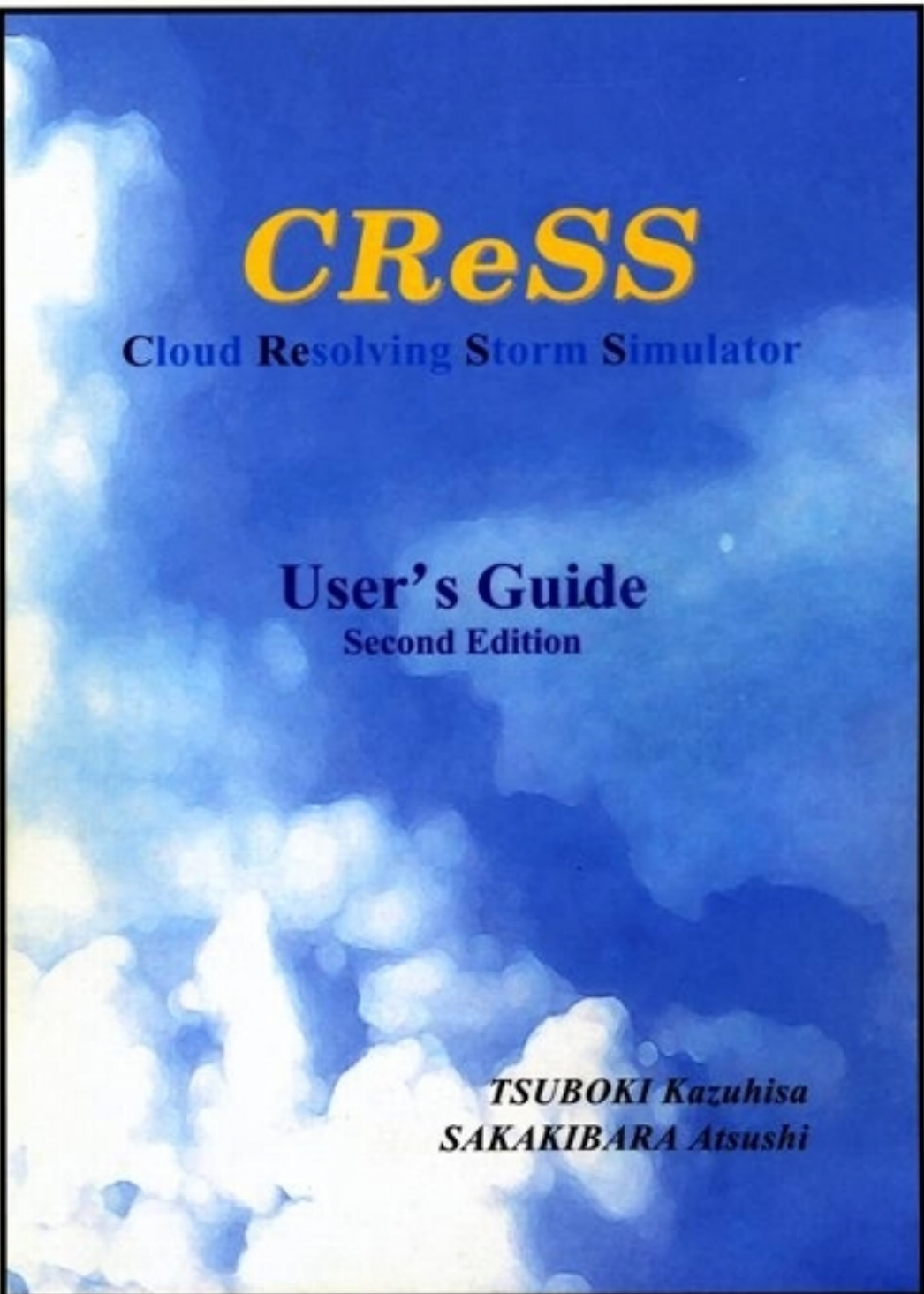
非降水性の雲の分布

これらの見えないものをどう見るか？

※ 気象現象は**物理法則(流体力学と熱力学)**に基づいている。

・ 見えるものから推定する。

・ 仮想空間で実験を行う。→ 数値モデルを用いた**数値実験**

The image shows the front cover of a book titled 'CReSS User's Guide'. The background is a blue sky with white, fluffy clouds. The title 'CReSS' is written in large, bold, yellow letters. Below it, 'Cloud Resolving Storm Simulator' is written in smaller, blue letters. Further down, 'User's Guide' is in bold blue letters, and 'Second Edition' is in smaller blue letters below it. At the bottom, the authors' names 'TSUBOKI Kazuhisa' and 'SAKAKIBARA Atsushi' are listed in white italicized font.

CReSS

Cloud Resolving Storm Simulator

User's Guide

Second Edition

TSUBOKI Kazuhisa
SAKAKIBARA Atsushi

大気の運動は流体力学や熱力学などの物理法則に則って表現できる。

使われる物理法則：

- ・ 質量保存則
- ・ 運動量保存則
- ・ エネルギー保存則
- ・ 水の保存則

CReSS：

雲の発生・発達・消滅を数值的に（計算機で表現できるように）書かれたプログラム

名古屋大学地球水循環研究センターで開発中

● 力学フレーム

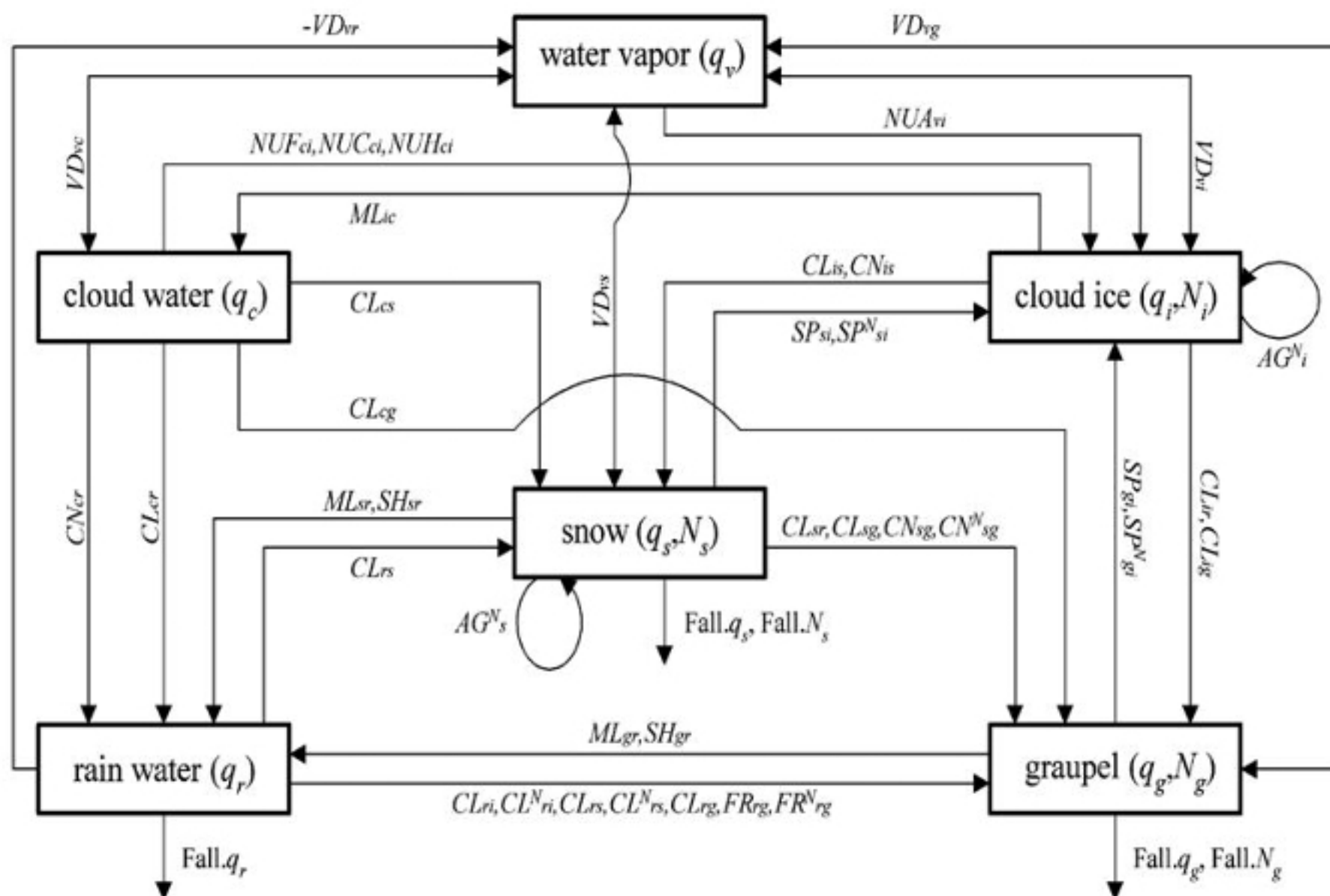
- ・ 準圧縮形非静力雲解像モデル
- ・ 地形に沿った座標系(z^* 系)
- ・ 二次元・三次元での計算が可能
- ・ 時間積分は time-splitting 法
 - 音波項のみより短い時間積分で計算する
- ・ 移流項は四次中央差分

● 物理過程のパラメタリゼーション

- ・ 乱流パラメタリゼーション: 1.5次TKE
- ・ 地表面過程: バルク法 (Louis et al., 1981)
 - 正味放射量、顕熱フラックス、潜熱フラックスの出力
- ・ 大気放射・雲放射過程は入っていない
- ・ マップファクター(地球表面の曲面の効果)を導入
 - 広い領域の計算に必要

CRess の特徴(雲物理パラメタリゼーション)

● 暖かい雨・冷たい雨のバルクパラメタリゼーションを使用



● 初期条件

- ・ 全領域一様の sounding data
→ 理想実験で使用
- ・ 三次元 GPV データ
→ 現実が発生した現象の再現実験や予報実験で使用。

● 並列計算

- ・ 領域分割を行い、並列計算を行なう事が可能
→ Message Passing Interface (MPI), OpenMP
- ・ 並列PC(研究室内)、大型計算機(東大・名大)、
地球シミュレータでの計算実績がある

本日のメニュー(あくまでも予定)

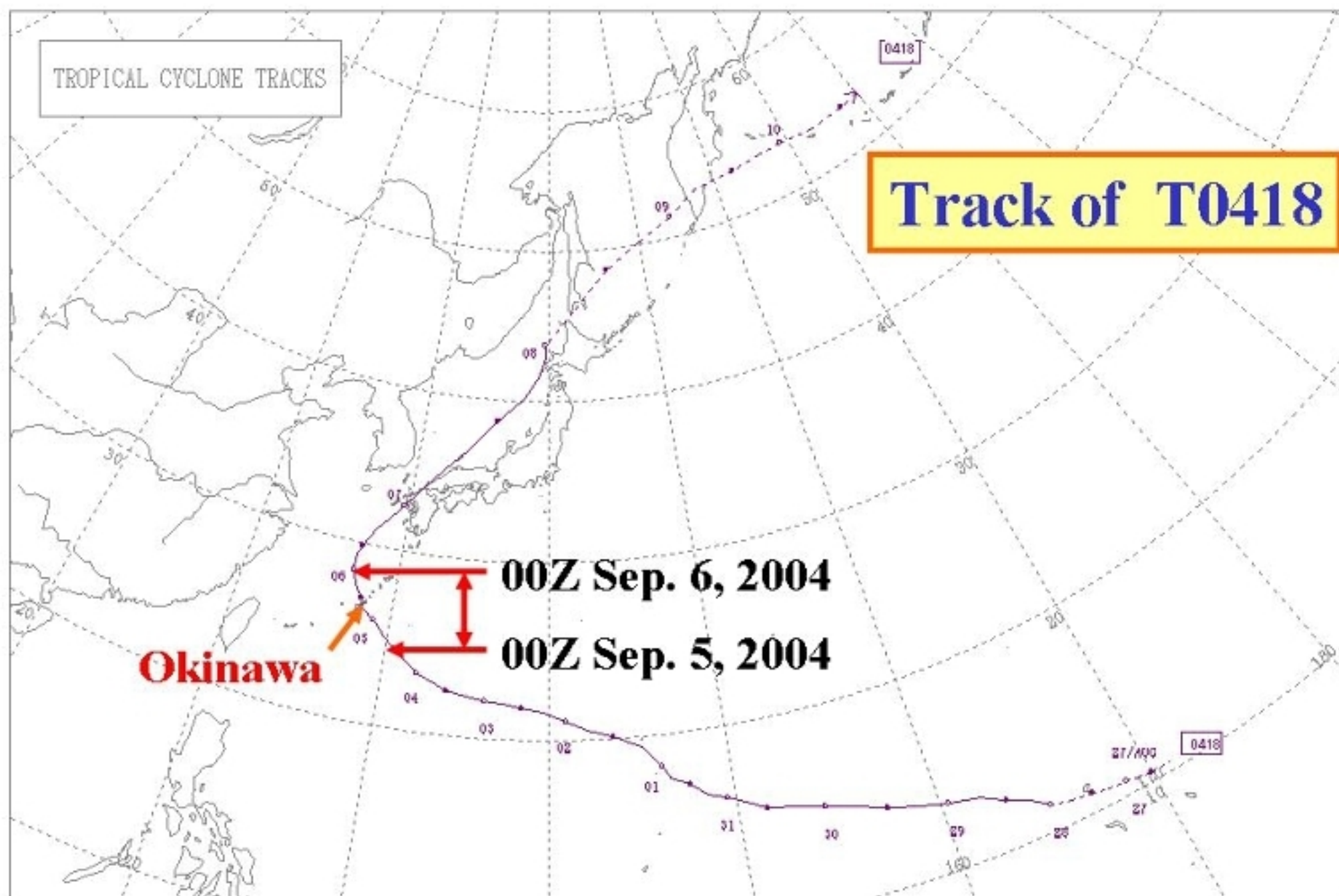
1. メソ降水システムに関するこれまでの知見
 - 1-1. 降水セルの特徴
 - 1-2. 自己維持型のメソ降水システム
2. **メソ降水システムの研究手法**
 - 2-1. ドップラーレーダーデータ解析
 - 2-1-1. 解析事例(降水セルの面積と高さ)
 - 2-2. 雲解像モデル
 - 2-3. **雲解像モデル(CReSS)を用いた計算事例**
 - 2-3-1. **台風T0418のケース**
 - 2-3-2. **台風T0423のケース**
 - 2-4. メソ降水システム研究の将来
3. GCMパラメタリゼーションの改良に向けて
 - 3-1. 海洋上の浅い積雲の再現実験
 - 3-2. 熱帯インド洋域における深い対流雲の予報実験

- ・ 台風
- ・ 梅雨前線帯の降水システム
- ・ 日本海上・五大湖上の降雪システム
- ・ 竜巻
- ・ 大気境界層内の乾燥対流
- ・ 予報実験(日本周辺・熱帯インド洋域)

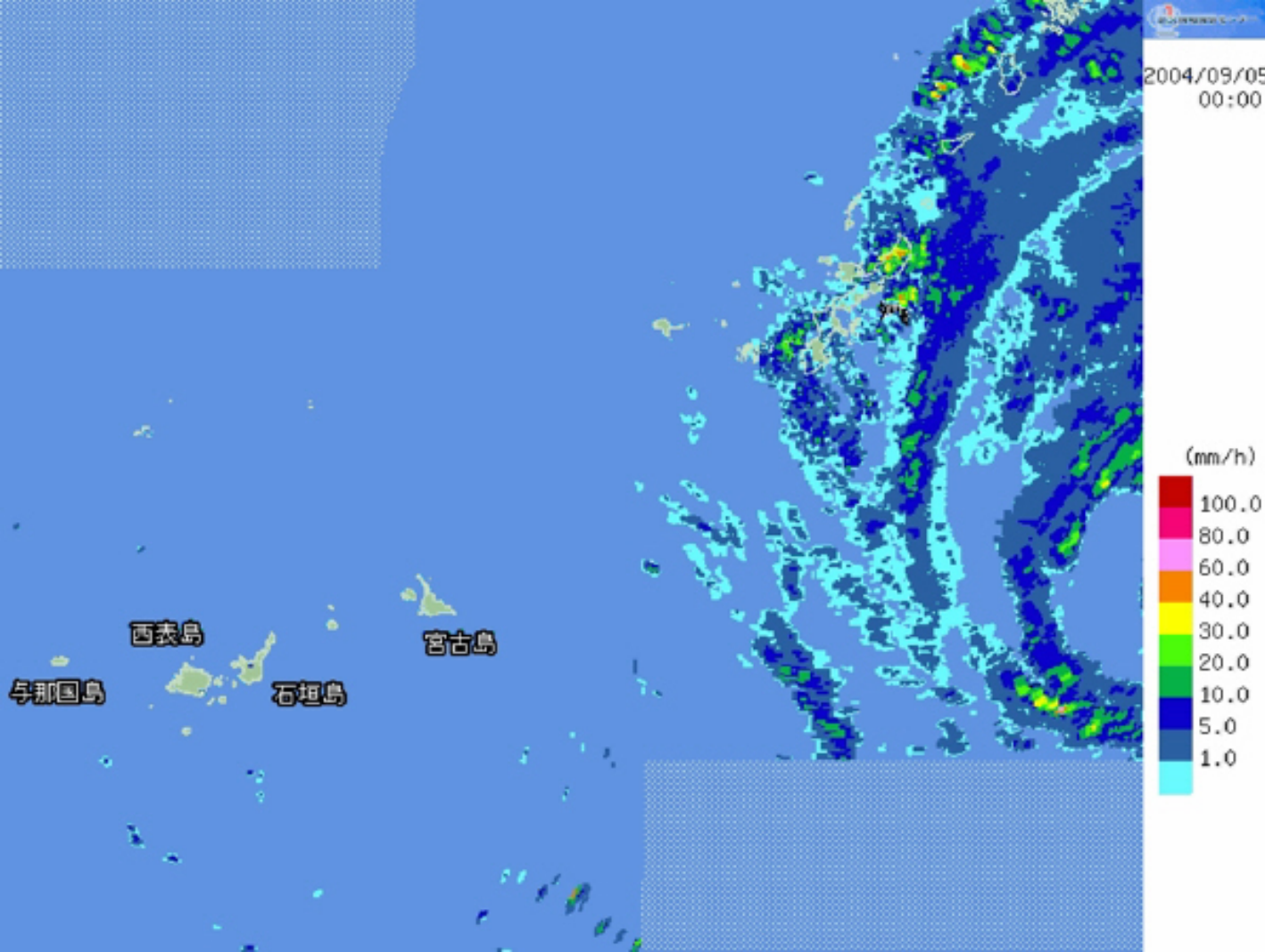
台風のシミュレーション実験

T0215	Aug. 2002	Strong wind
T0216	Sep. 2002	Spiral rain band
T0314	Sep. 2003	Double eye walls, strong wind, disaster in Miyako
T0404	Jun. 2004	We observed the eye of T0404
T0410	Aug. 2004	Heavy rain over Shikoku
T0418	Sep. 2004	Strong wind over Japan
T0421	Sep. 2004	Heavy rain over Japan
T0423	Oct. 2004	Heavy rain over Japan
T0613	Sep. 2006	Heavy rain and tornado

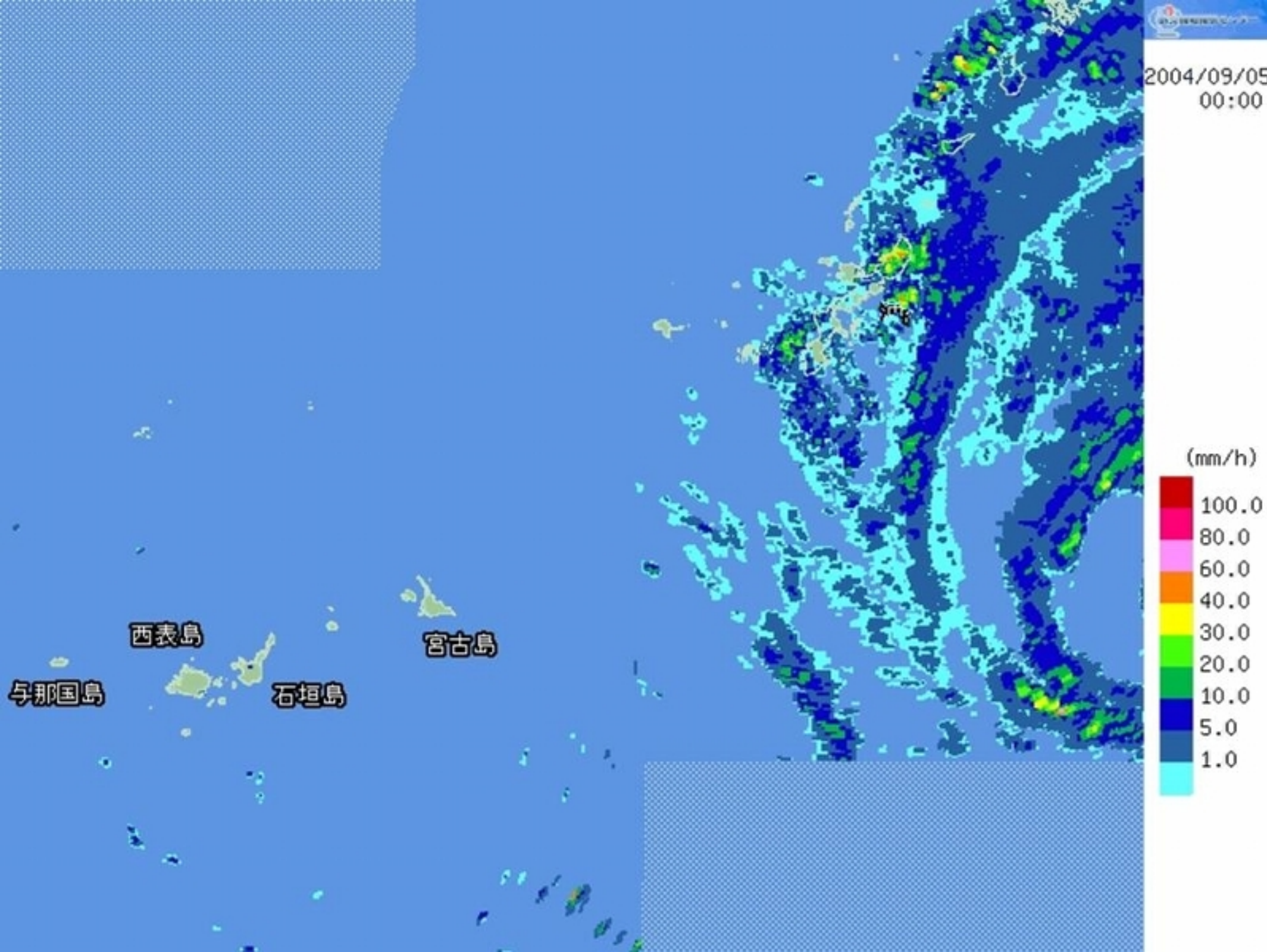
T0418 シミュレーション実験



2004/09/05
00:00



2004/09/05
00:00

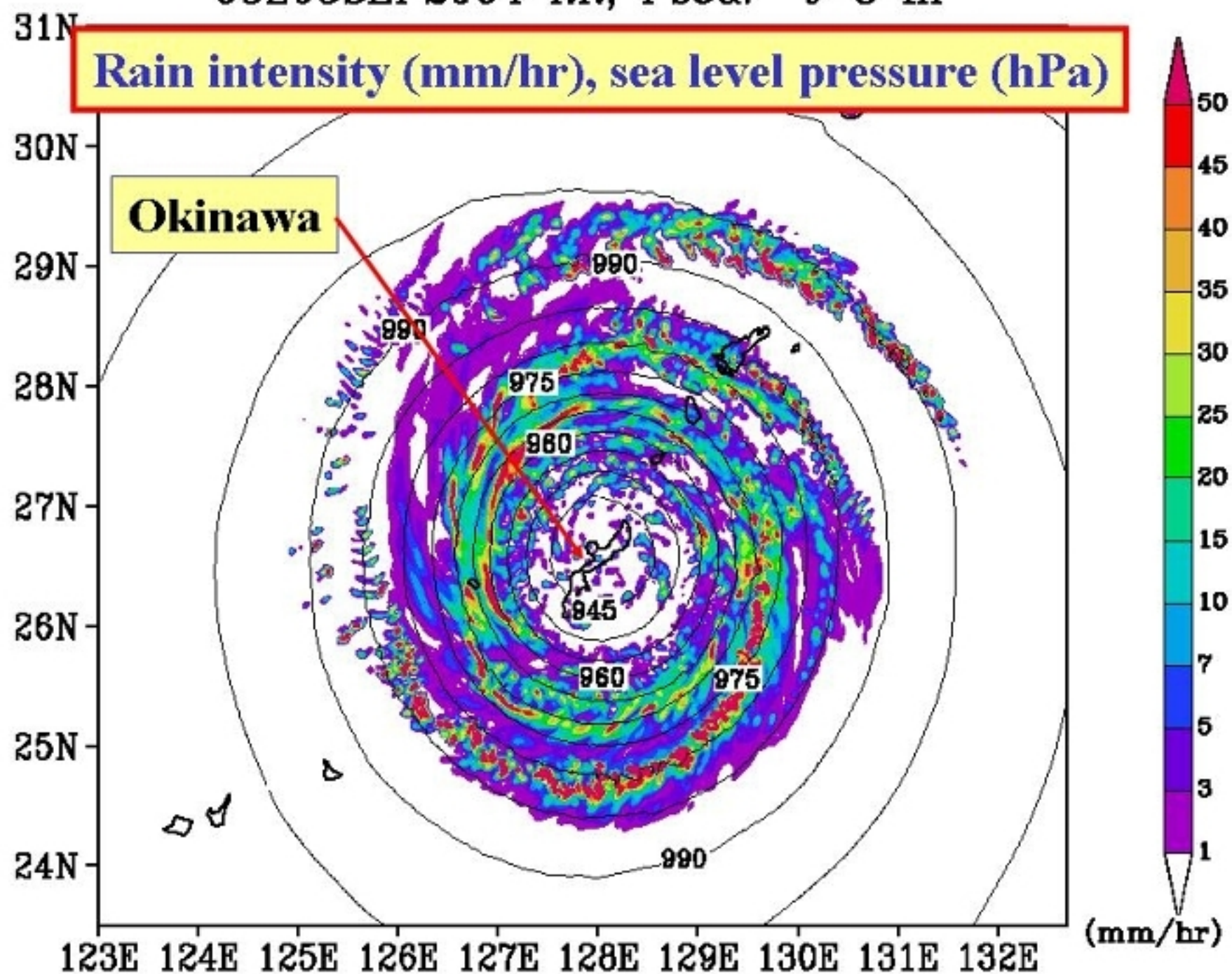


Simulation Design of Typhoon T0418

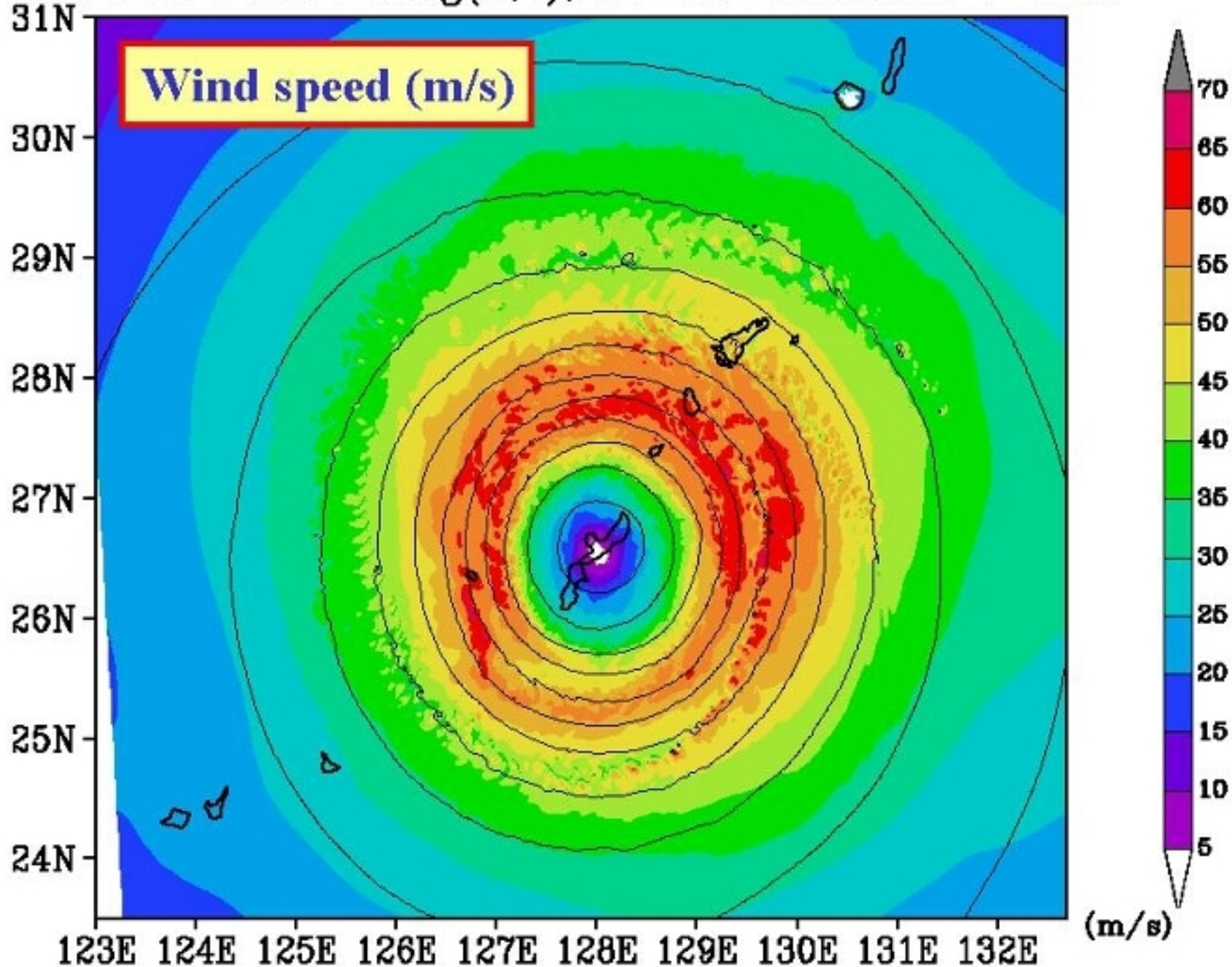
- ▶ **Domain** H: 1000 km × 1000 km × V: 18 km
- ▶ **H-grid size** 1 km
- ▶ **V-grid size** 200 ~ 300 m (stretched)
- ▶ **Grid numbers** H: 1003 × 1003 × V: 63
- ▶ **Integration time** 24 hours
- ▶ **Time increment** large: 3 sec, small: 1 sec
- ▶ **Micro-physics** the bulk cold rain type
- ▶ **Initial condition** JMA Regional Spectral Model output
(00Z September 5, 2004)
- ▶ **Boundary** JMA Regional Spectral Model output
- ▶ **Surface** real topography and observed SST
- ▶ **ES node number** 100 nodes (800 CPU) in the ES

08Z05SEP2004 RR, Psea: t=8 hr

Rain intensity (mm/hr), sea level pressure (hPa)



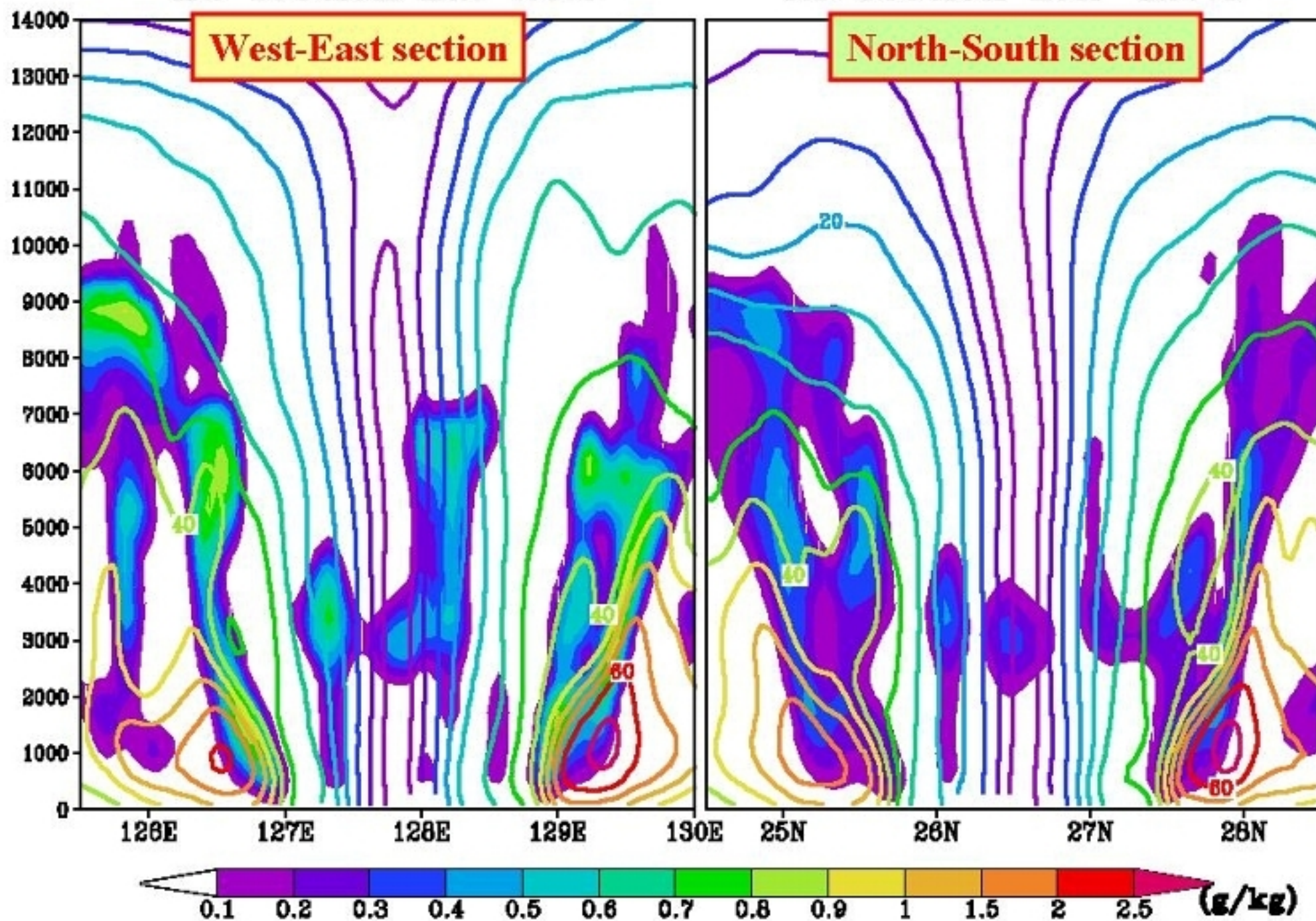
08Z05SEP2004 mag(u,v), P: ht=973.96m t=8 hr



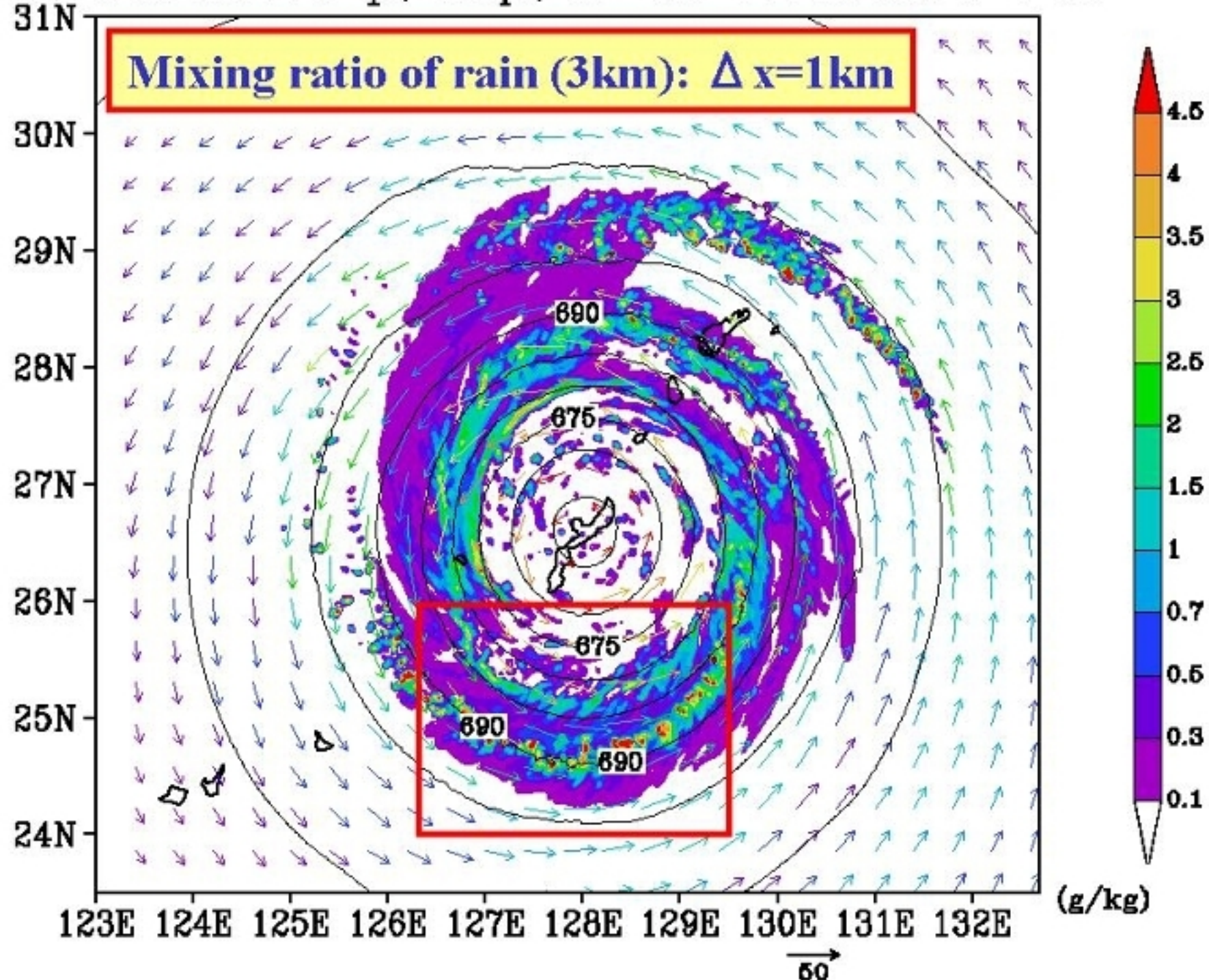
qc+qi, wind speed (m/s) 10Z05SEP2004 t=31

EW section Lat=26.6

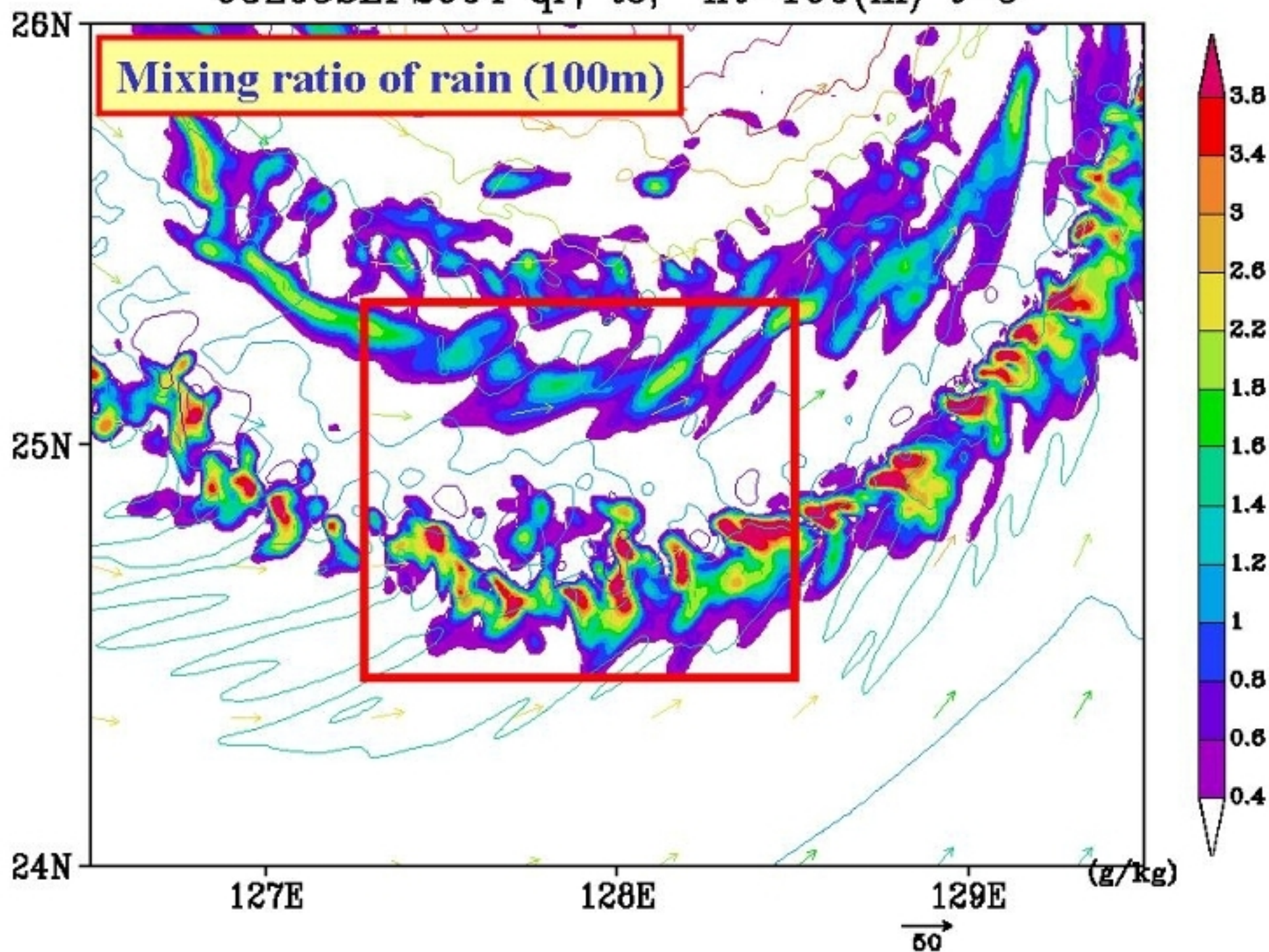
NS section Lon=127.8



08Z05SEP2004 qr, uvqv, P: ht=3033.91m t=8 hr

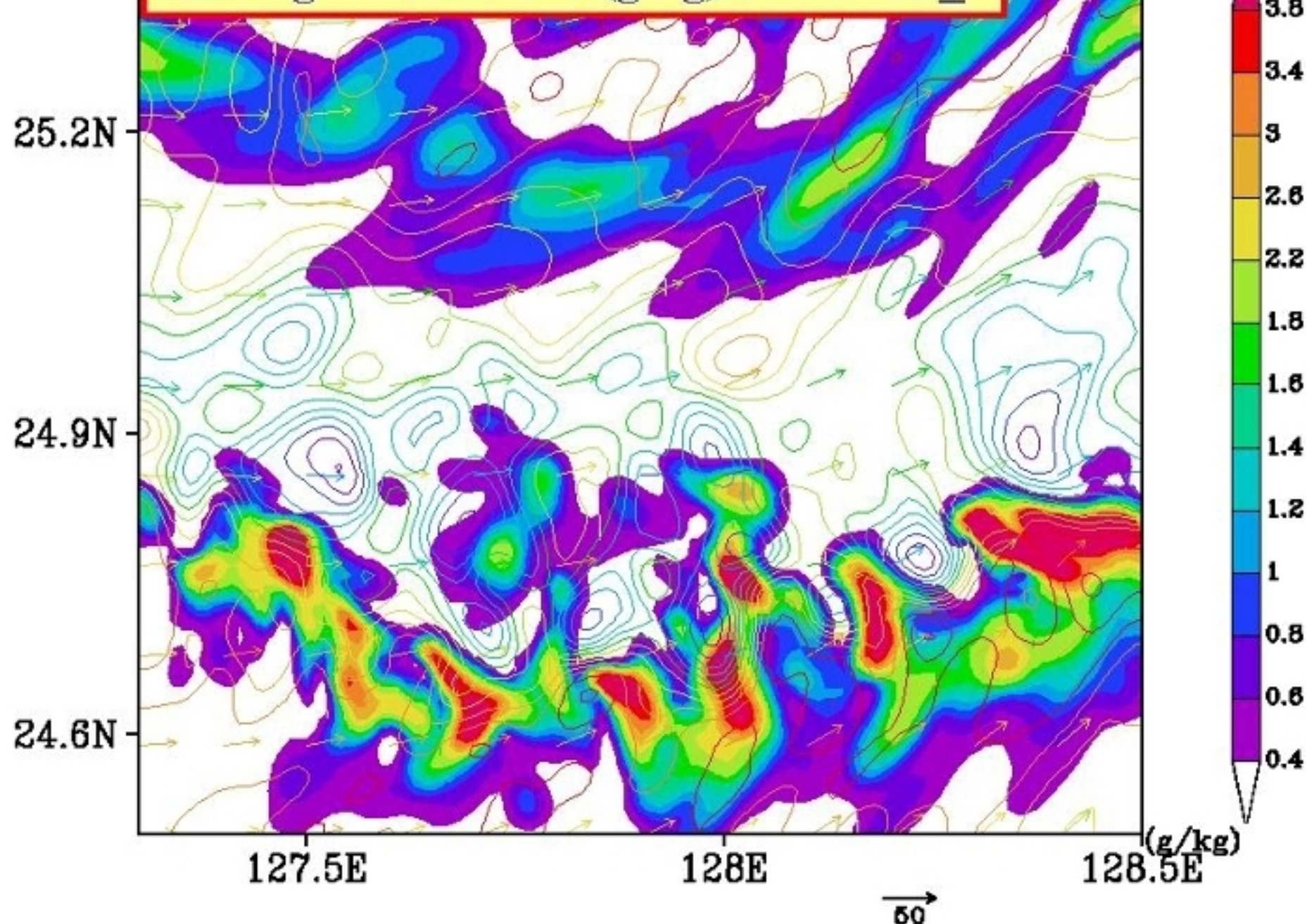


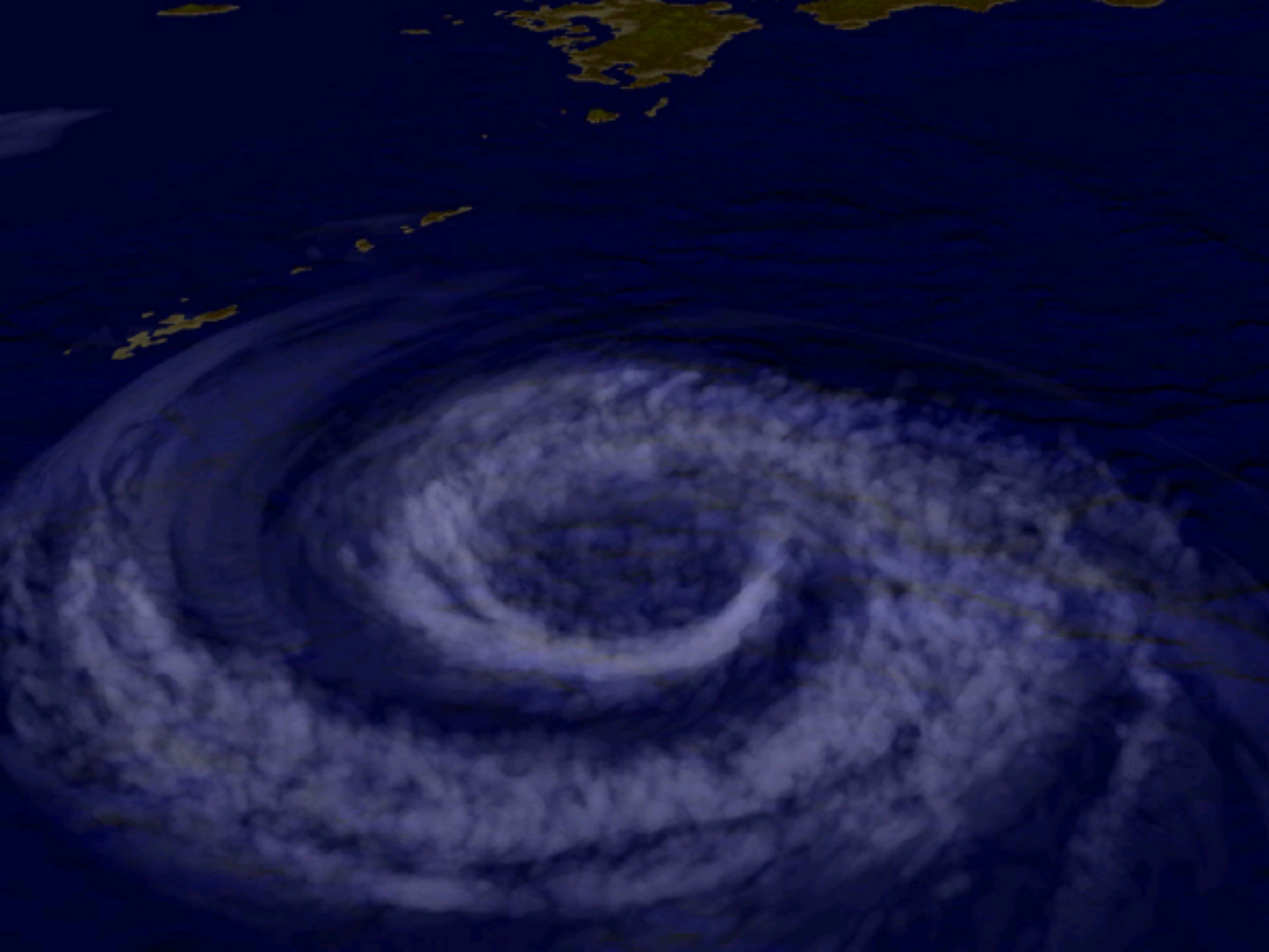
08Z05SEP2004 qr, te; ht=100(m) t=5

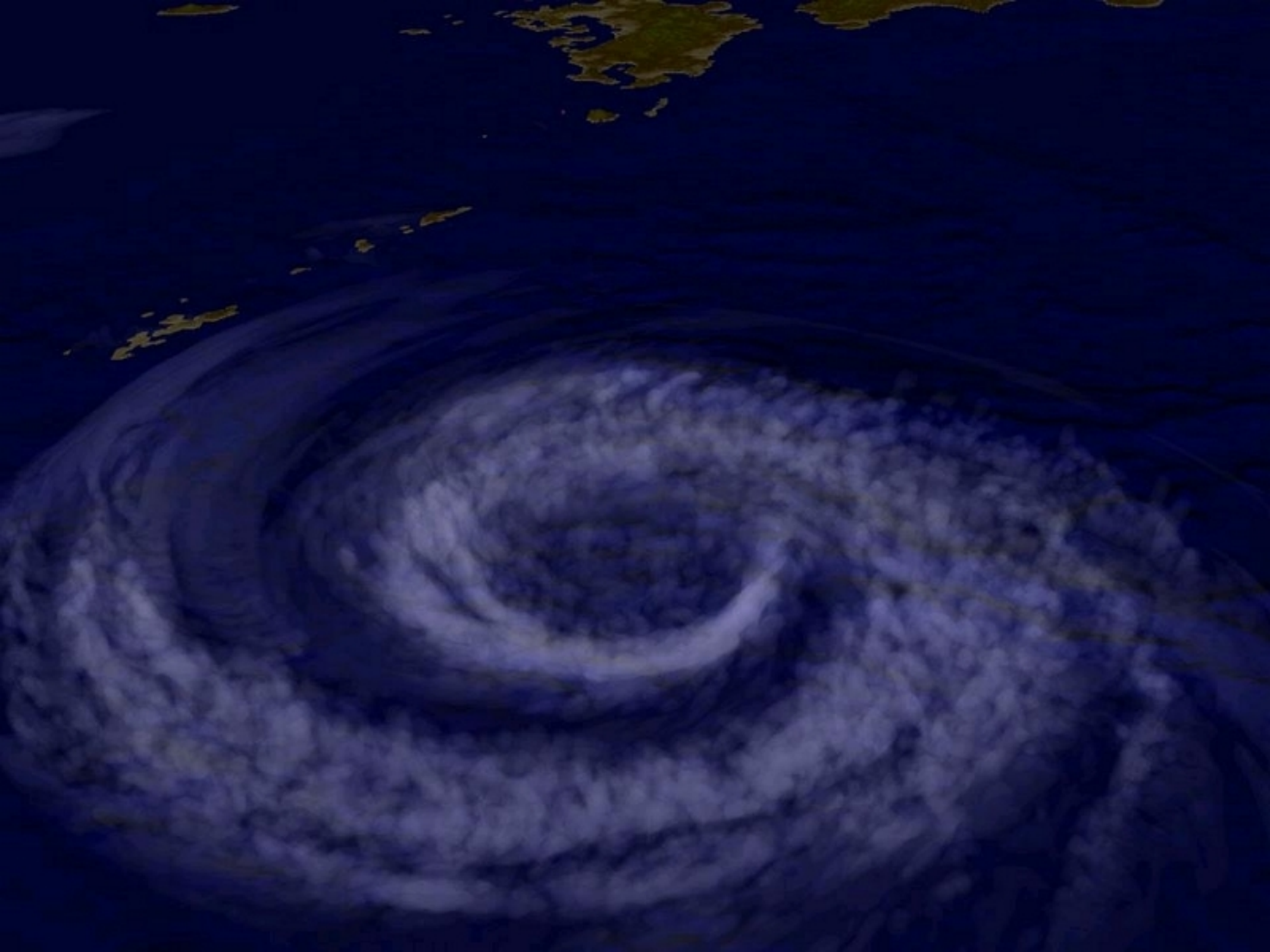


08Z05SEP2004 qr, te; ht=100(m) t=5

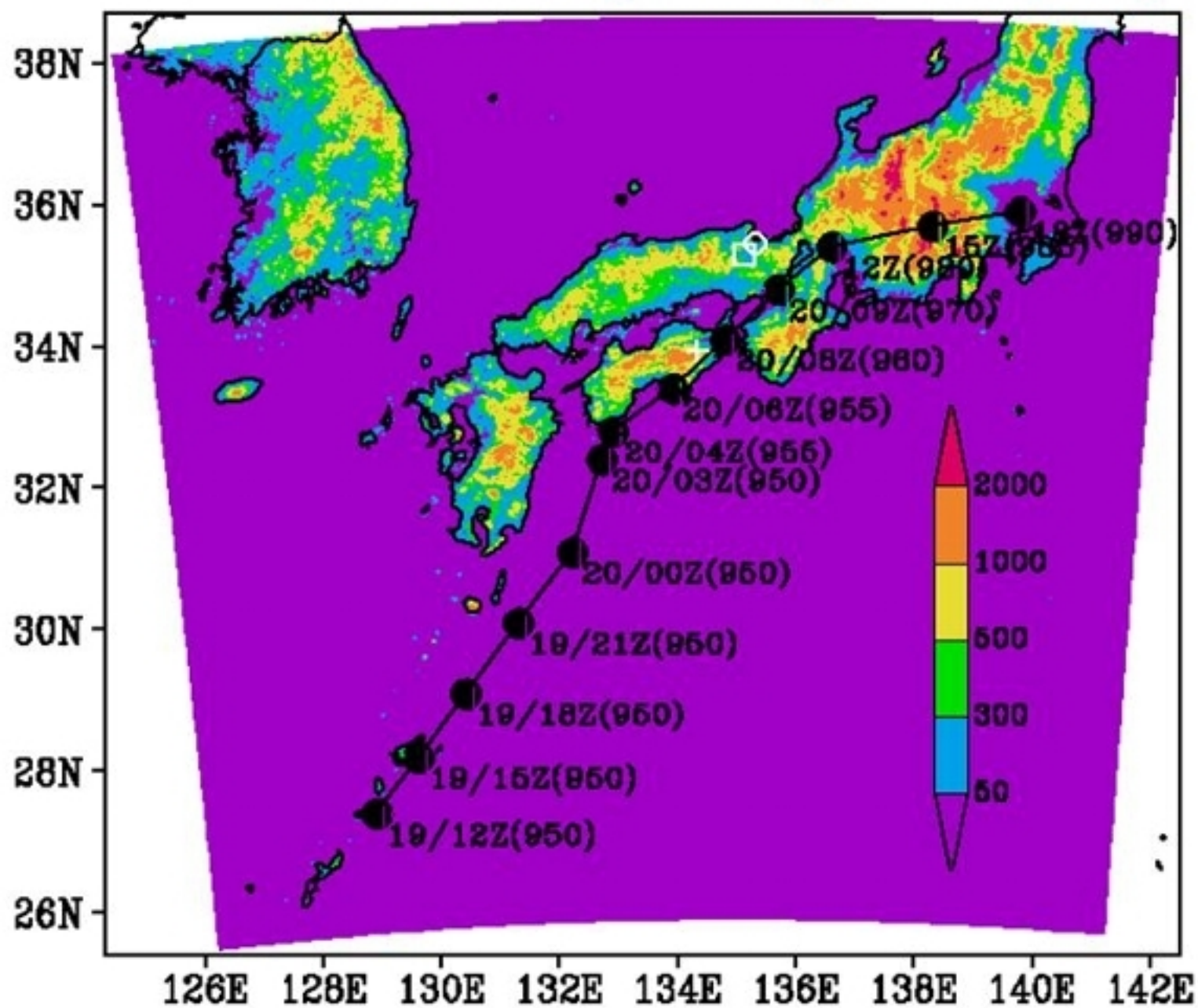
Mixing ratio of rain (g/kg) and theta_e



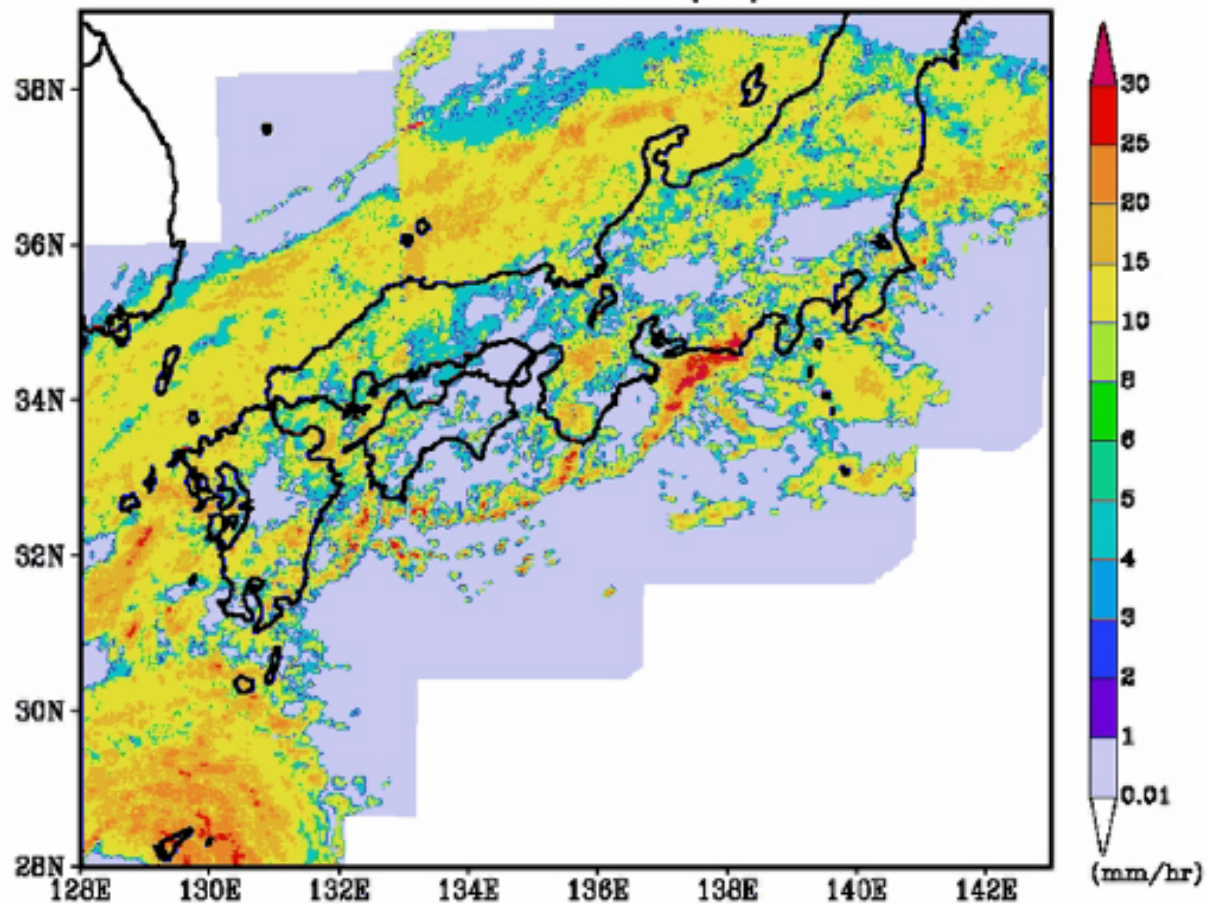




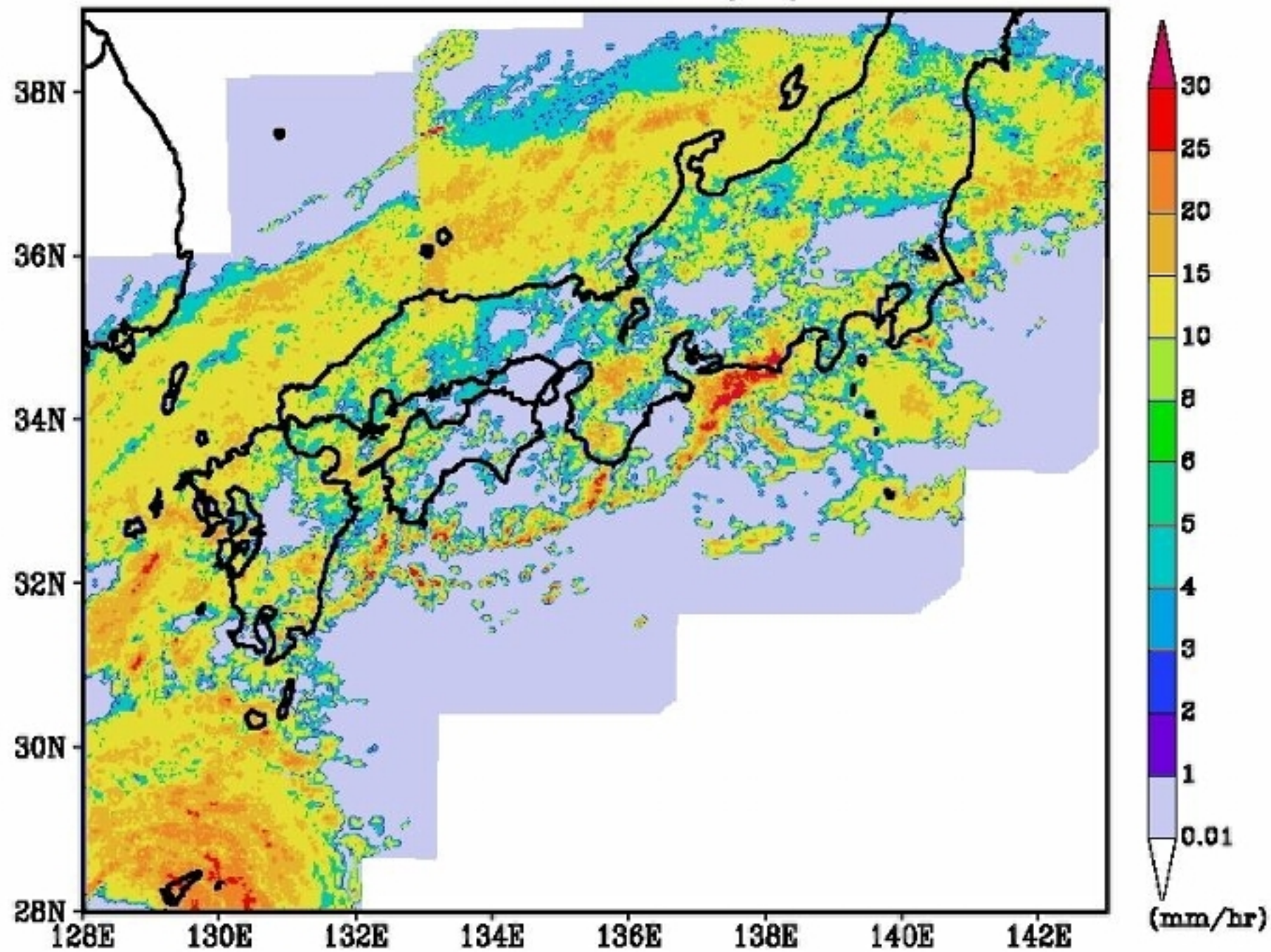
Best track of T0423 (central pressure; hPa)



12Z19OCT2004 (73)



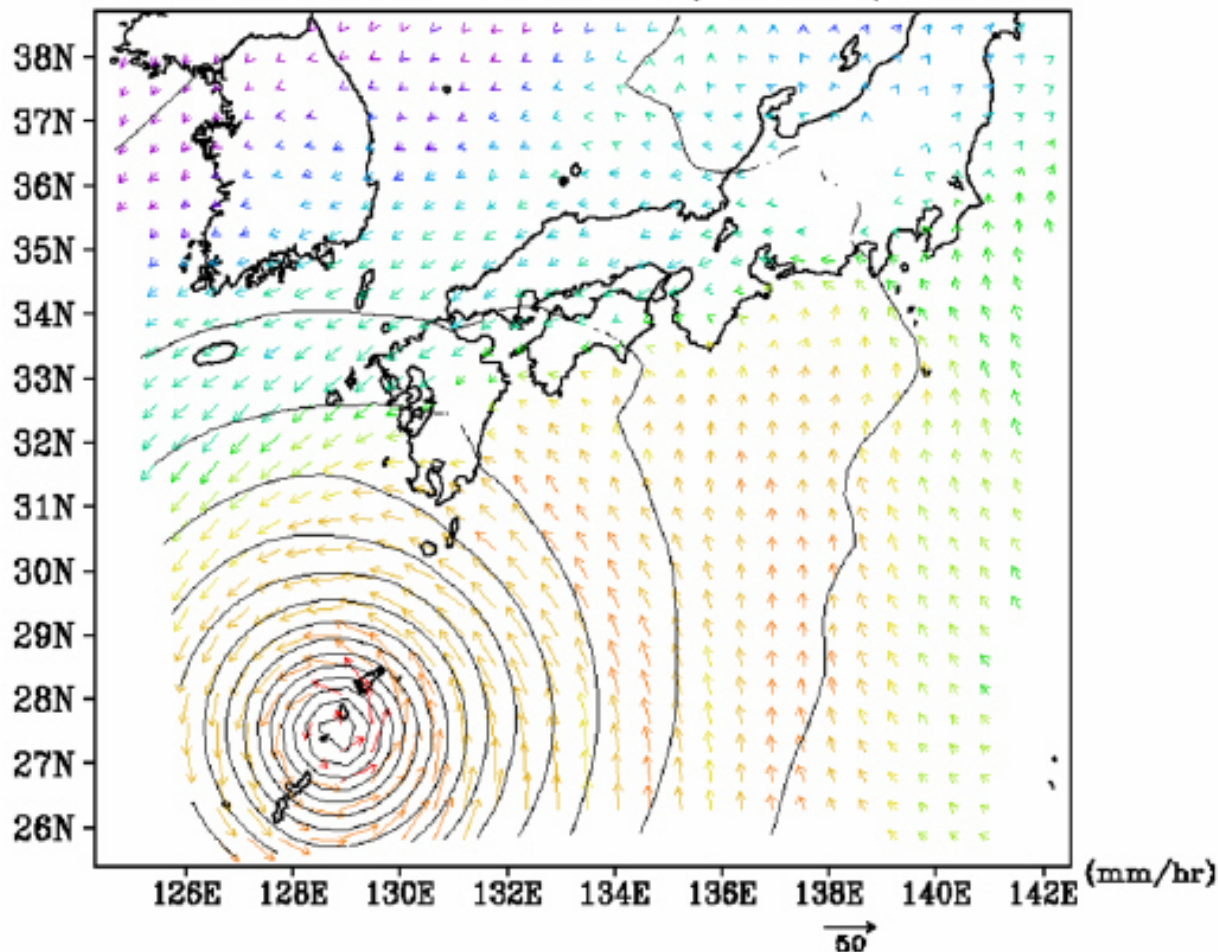
12Z19OCT2004 (73)



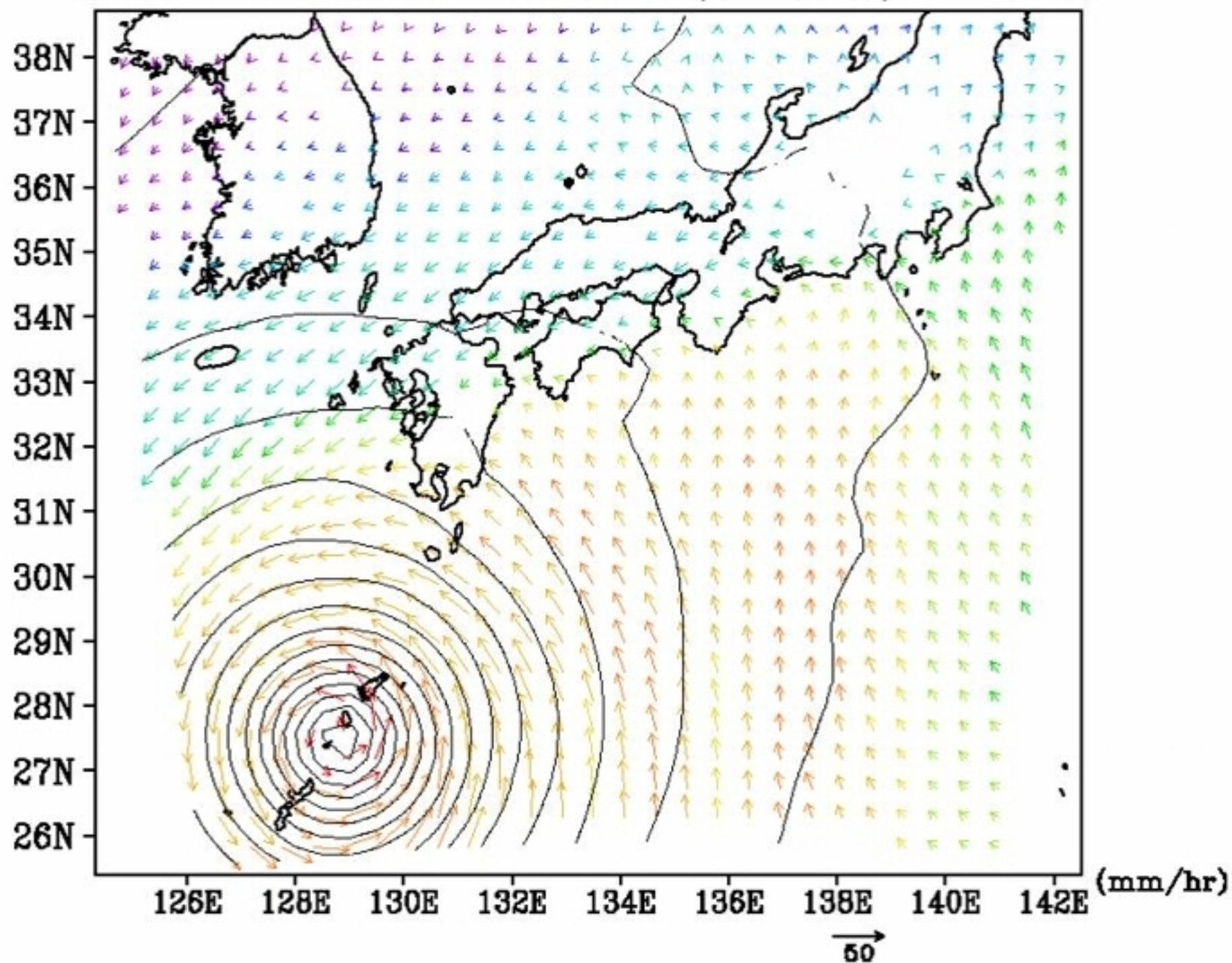
Experimental Design of Typhoon T0423

- ▶ Domain H: 1536 km $\times$ 1408 km $\times$ V: 18 km
- ▶ H-grid size 1 km
- ▶ V-grid size 200 ~ 300 m (stretched)
- ▶ Grid numbers H: 1539 $\times$ 1411 $\times$ V: 63
- ▶ Integration time 30 hours
- ▶ Time increment large: 3 sec, small: 1 sec
- ▶ Micro-physics the bulk cold rain type
- ▶ Initial condition JMA Regional Spectral Model output
(12Z October 19, 2004)
- ▶ Boundary JMA Regional Spectral Model output
- ▶ Surface real topography and observed SST
- ▶ ES node number 128 nodes (1024 CPU) in the ES

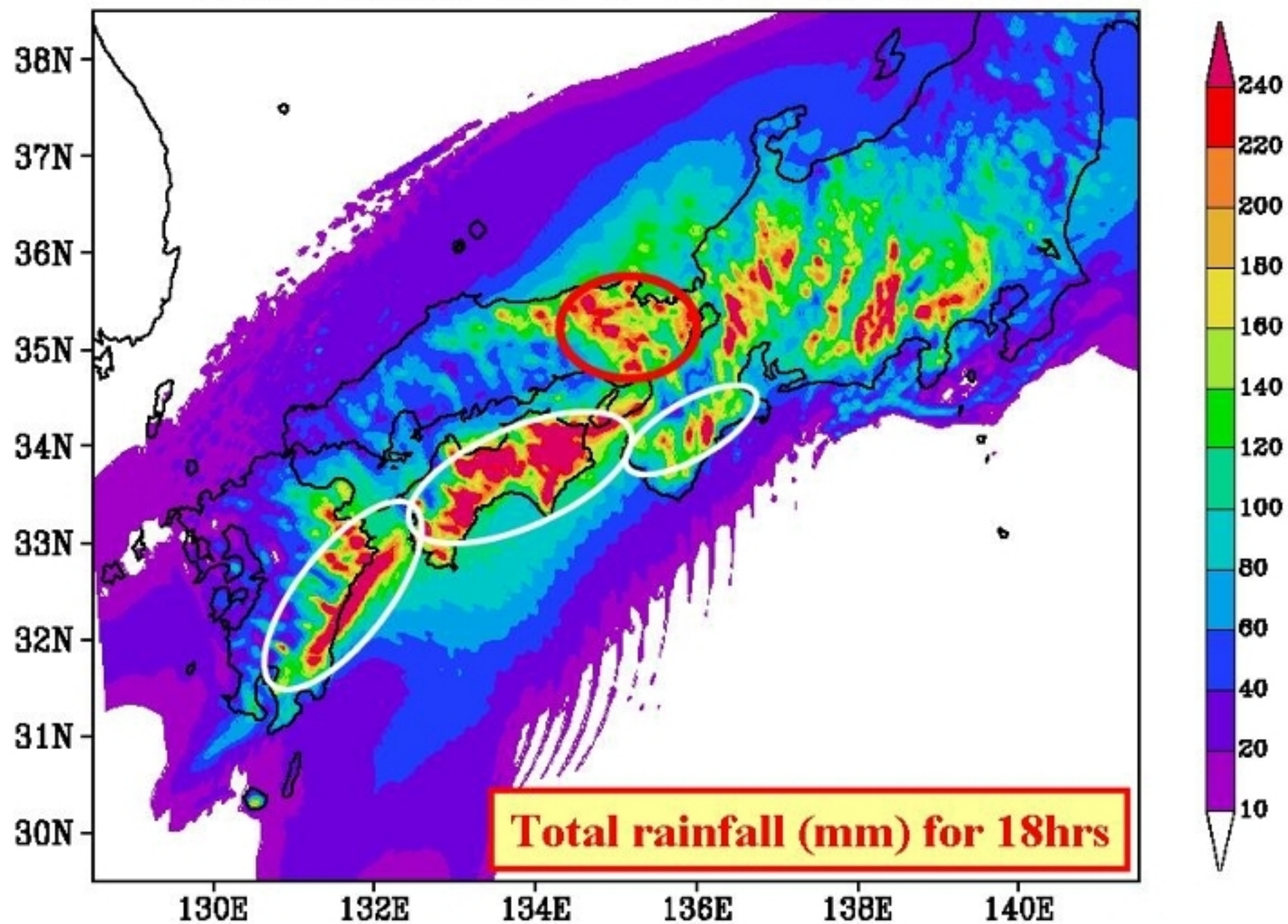
12:00Z 19OCT2004 RR, Psea (dx=1km): t=0 hr



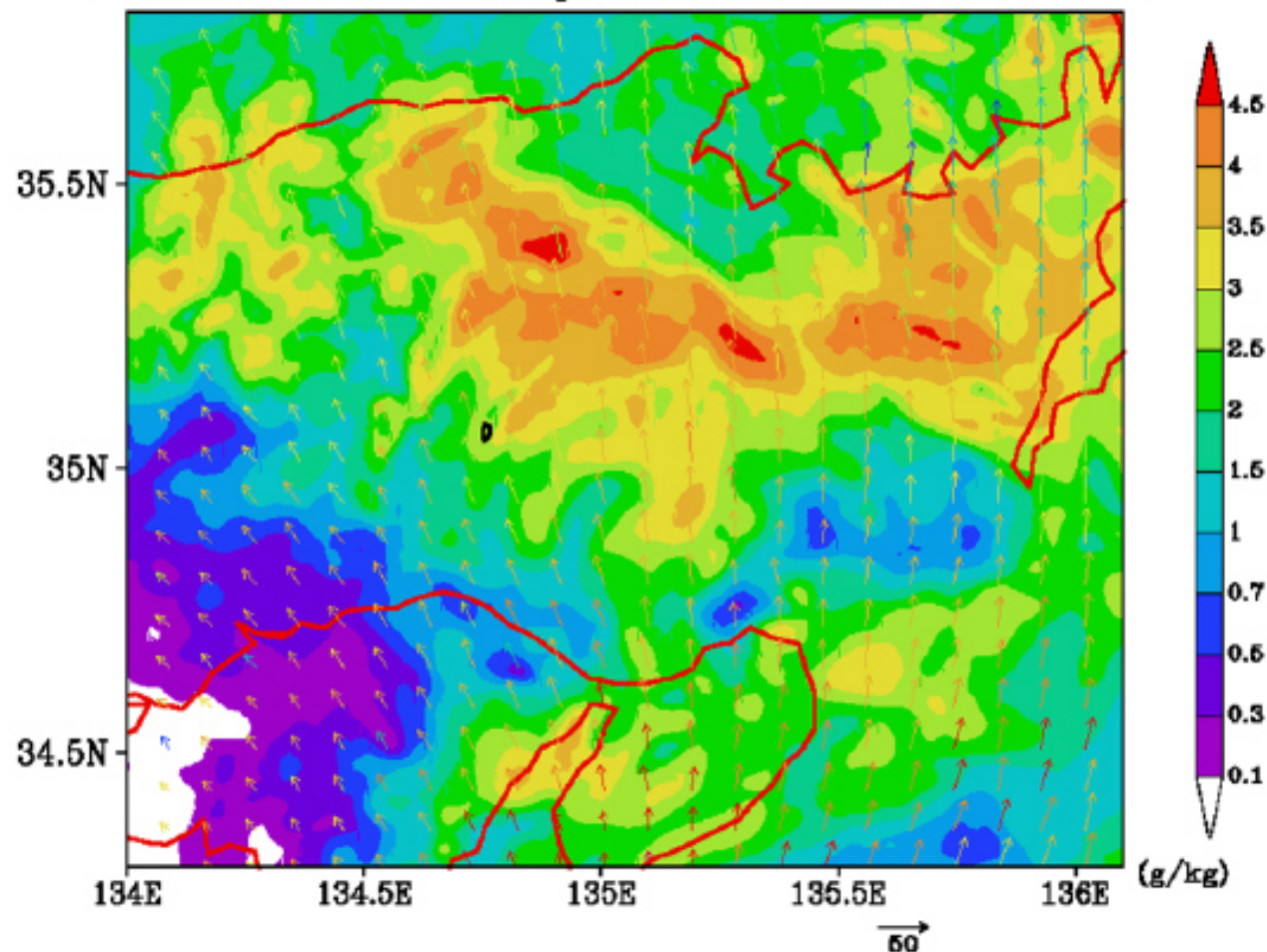
12:00Z 19OCT2004 RR, Psea (dx=1km): t=0 hr



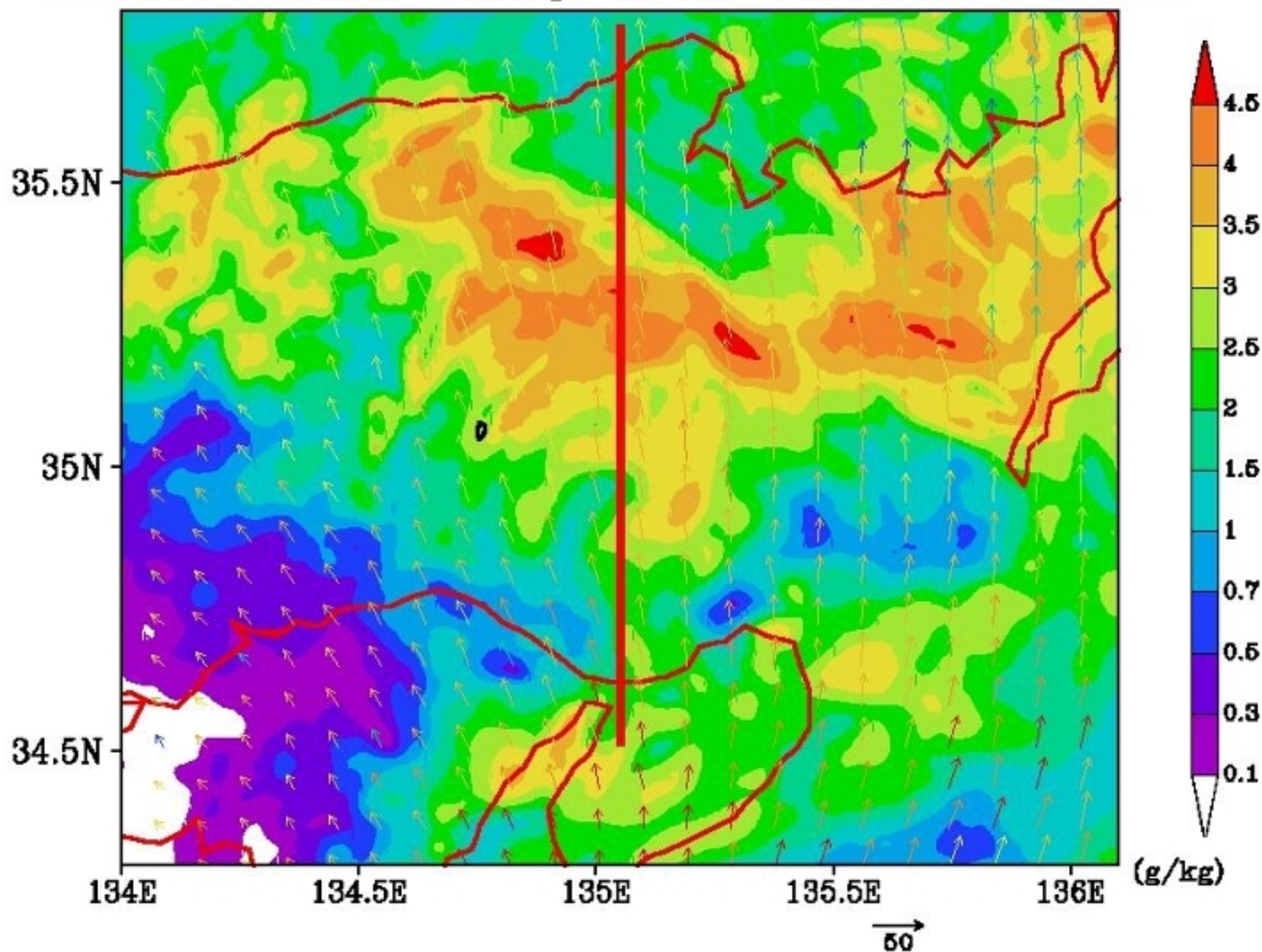
total rainfall 18z 19 Oct - 12z 20 Oct

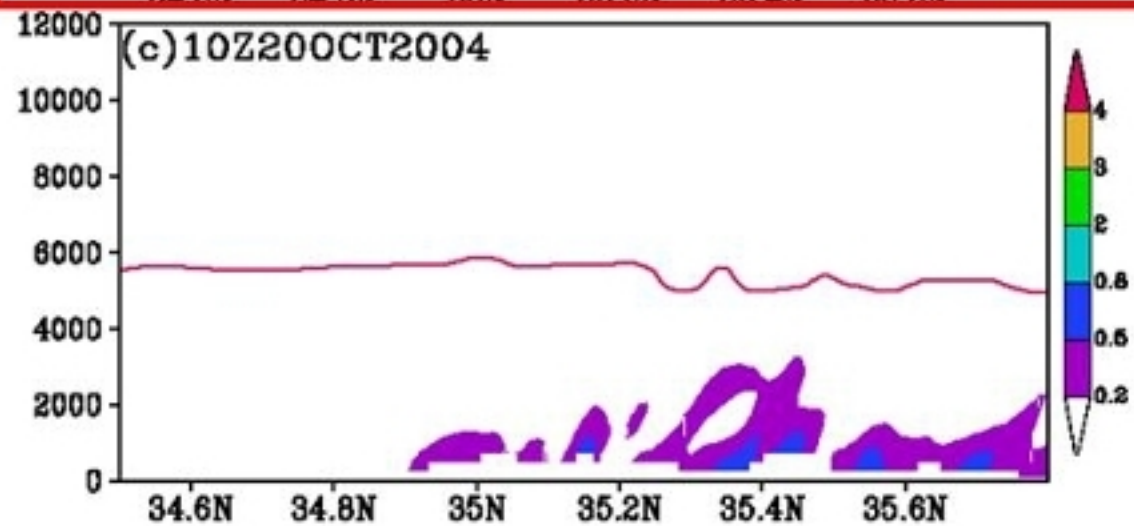
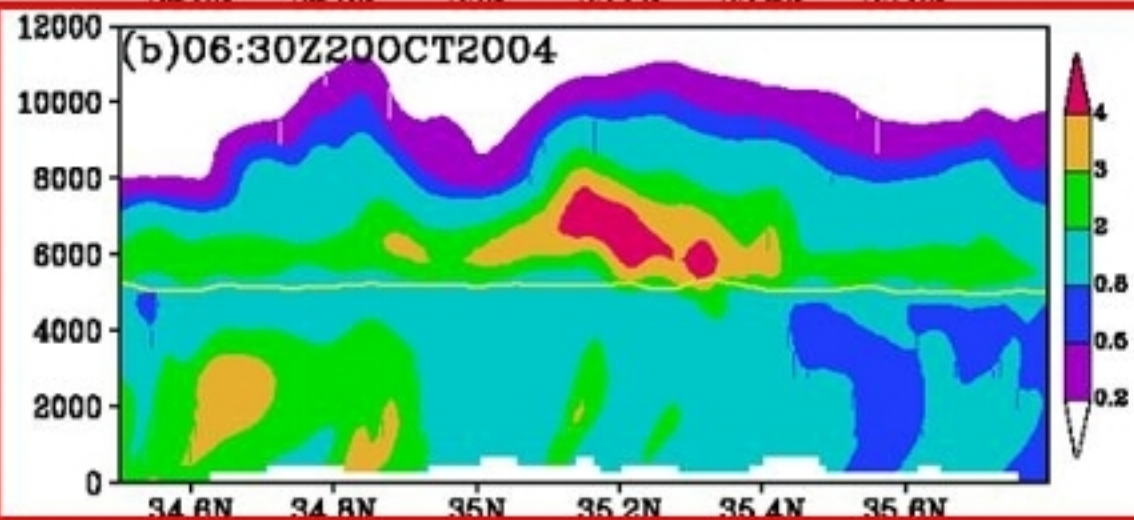
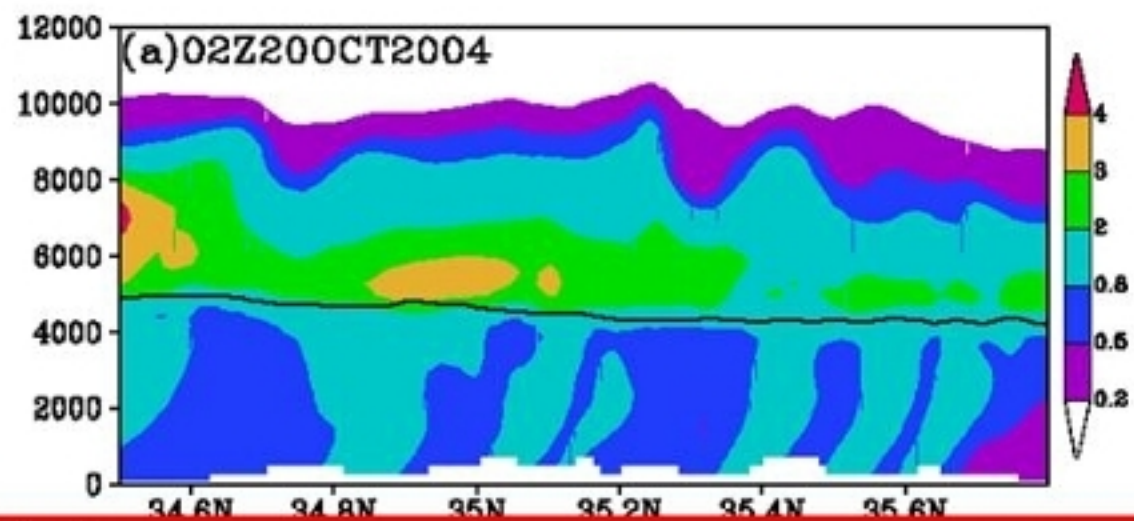


06:30Z 200CT2004 Precip, W: ht=6141.66m t=18.5 hr

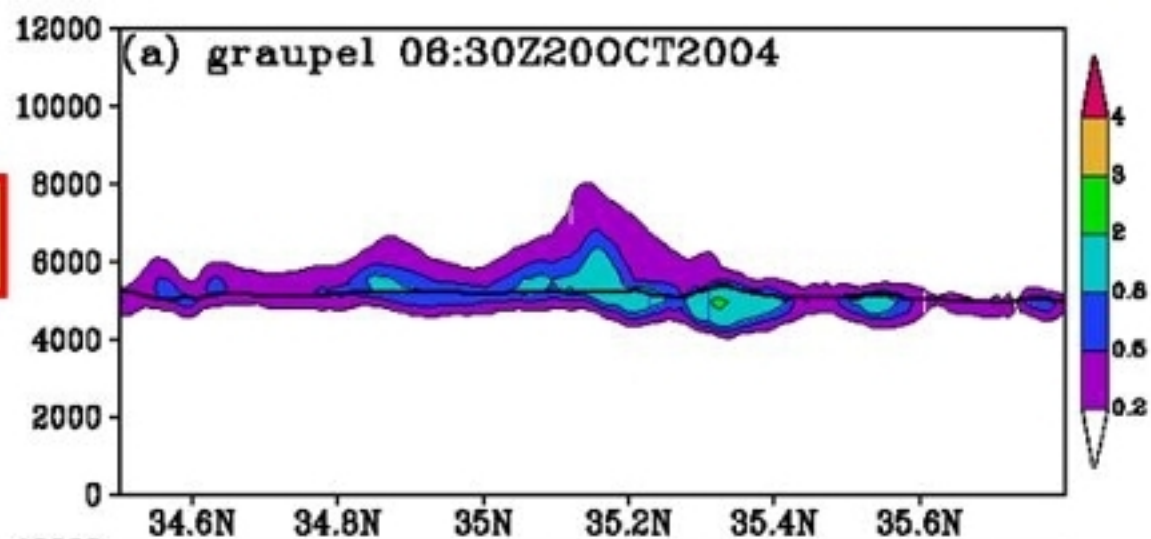


06:30Z 200CT2004 Precip, W: ht=6141.66m t=18.5 hr

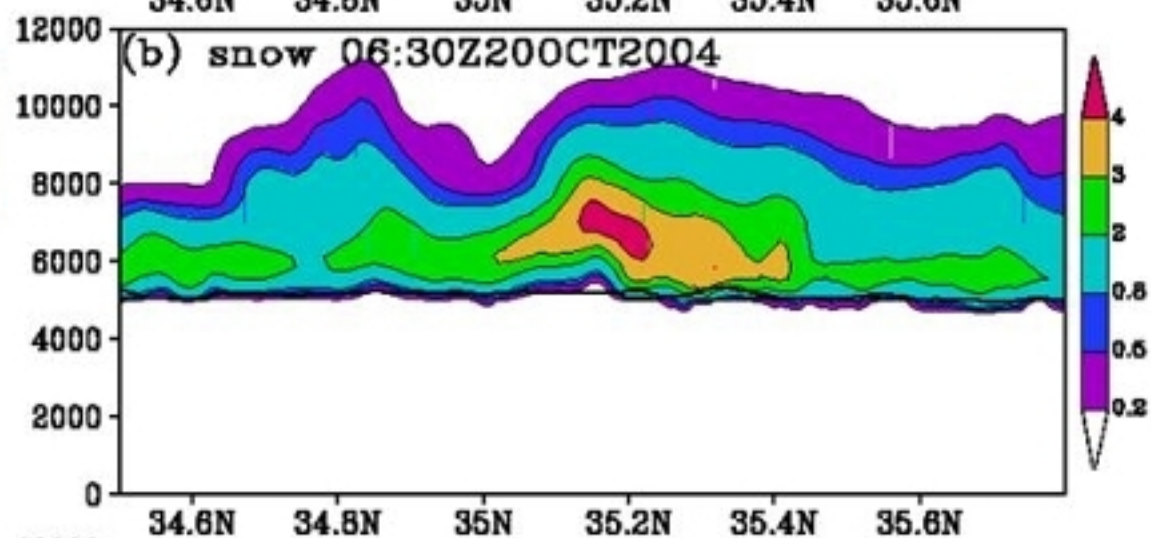




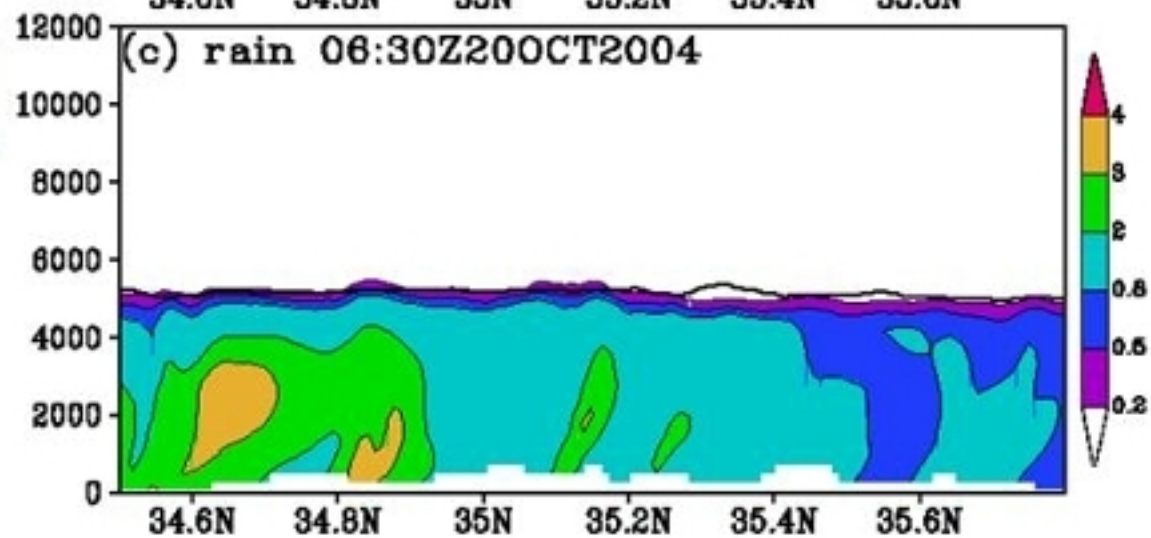
(a) Graupel



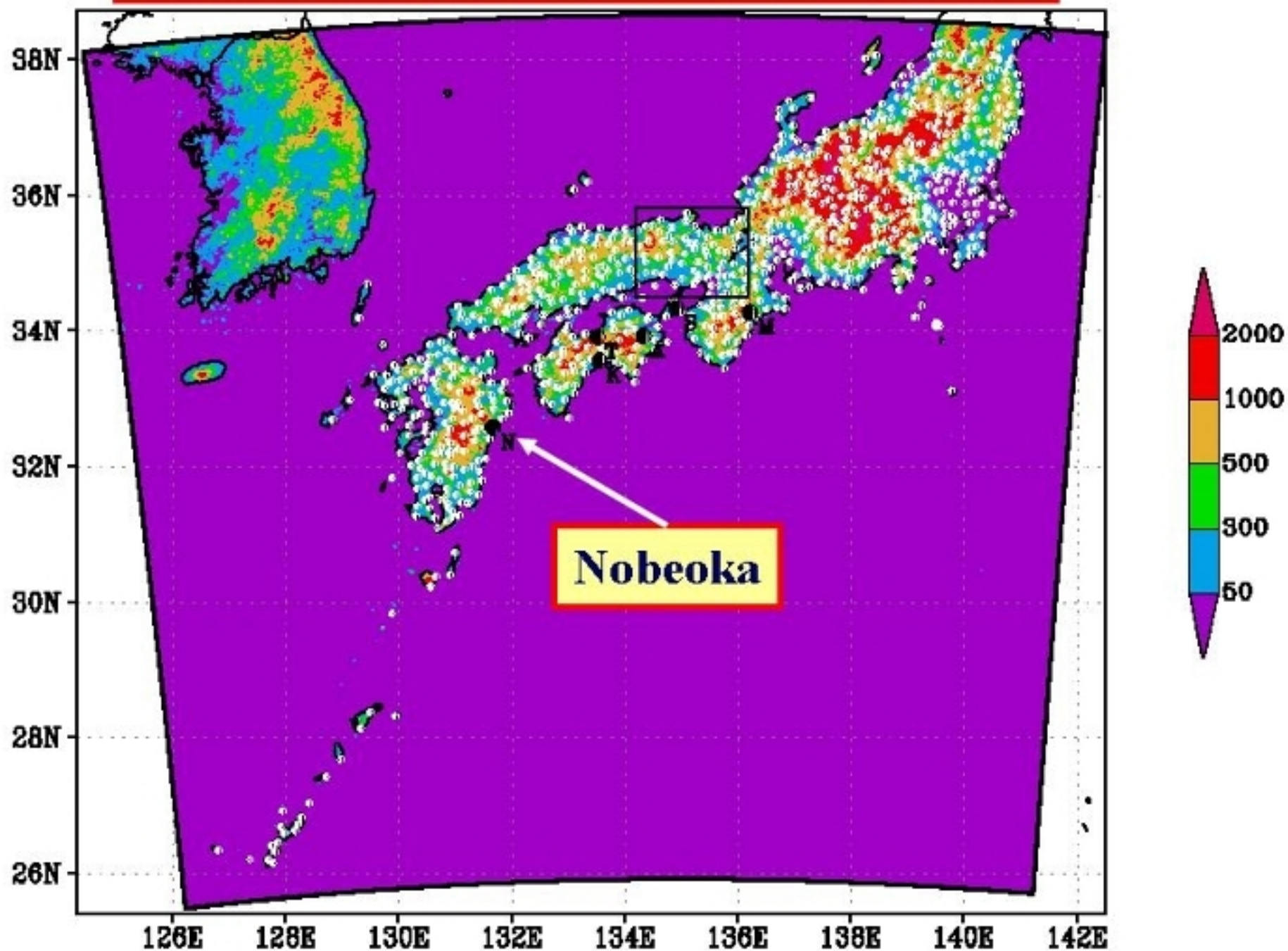
(b) Snow



(c) Rain



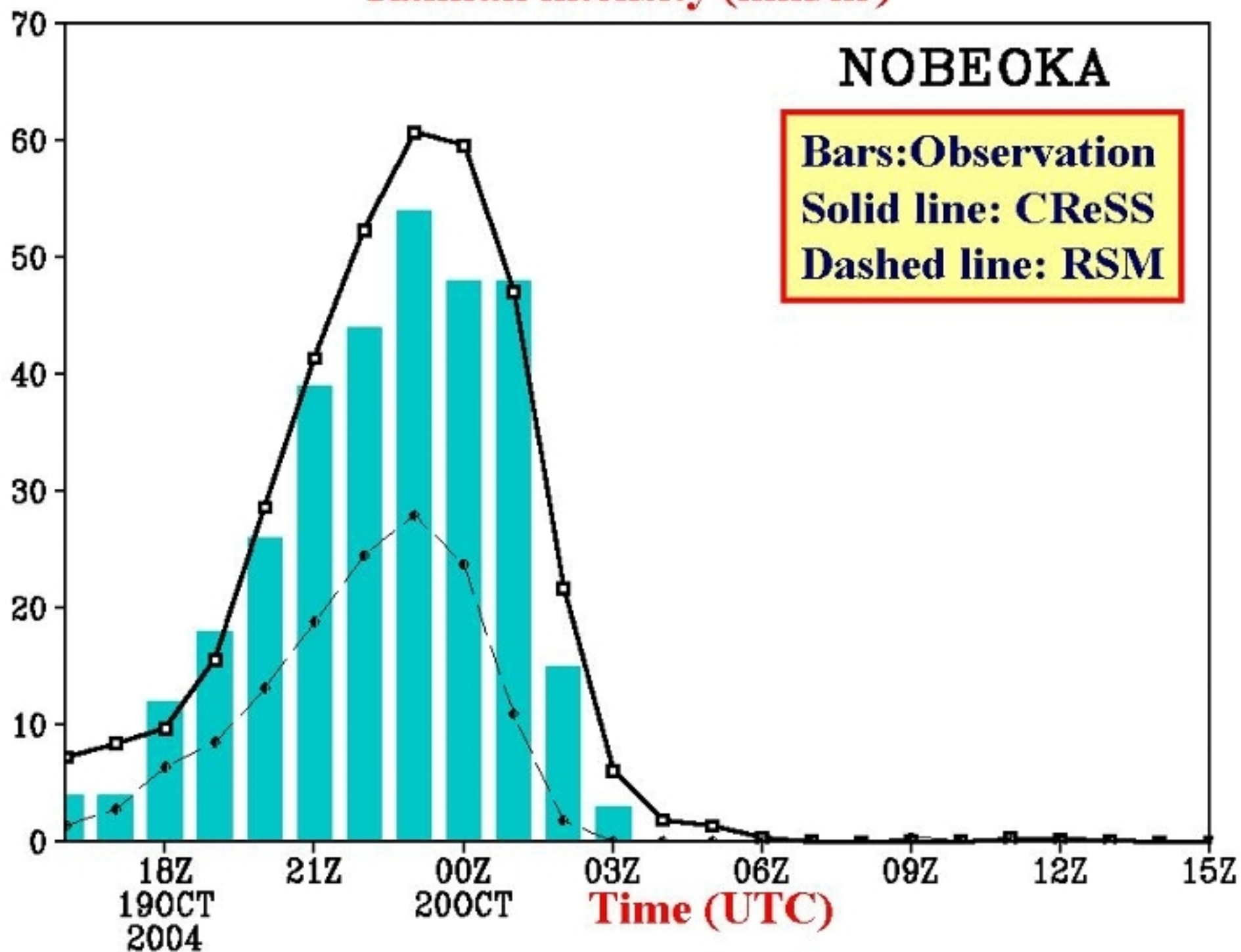
Surface observation points for verification



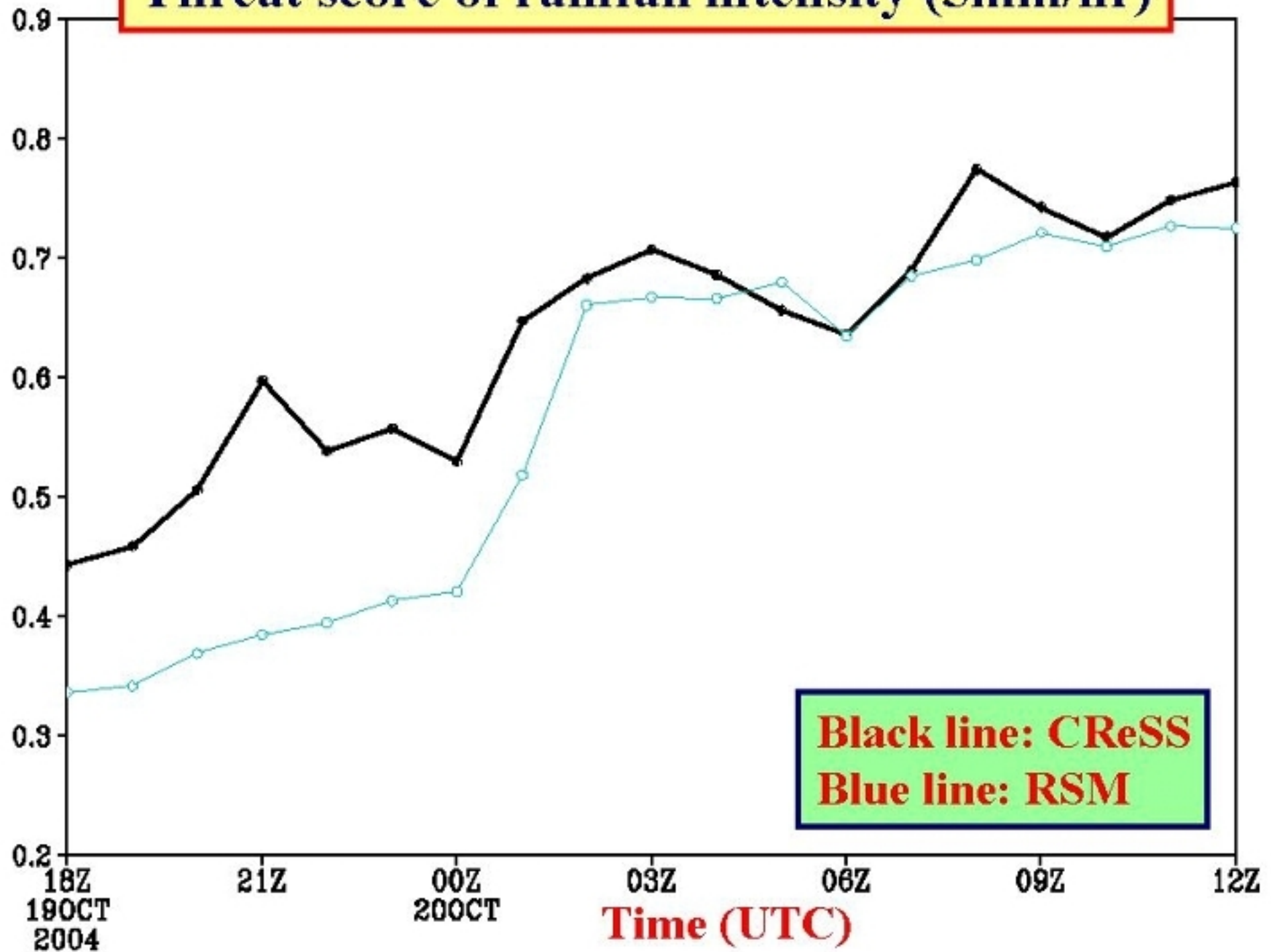
Rainfall intensity (mm/hr)

NOBEOKA

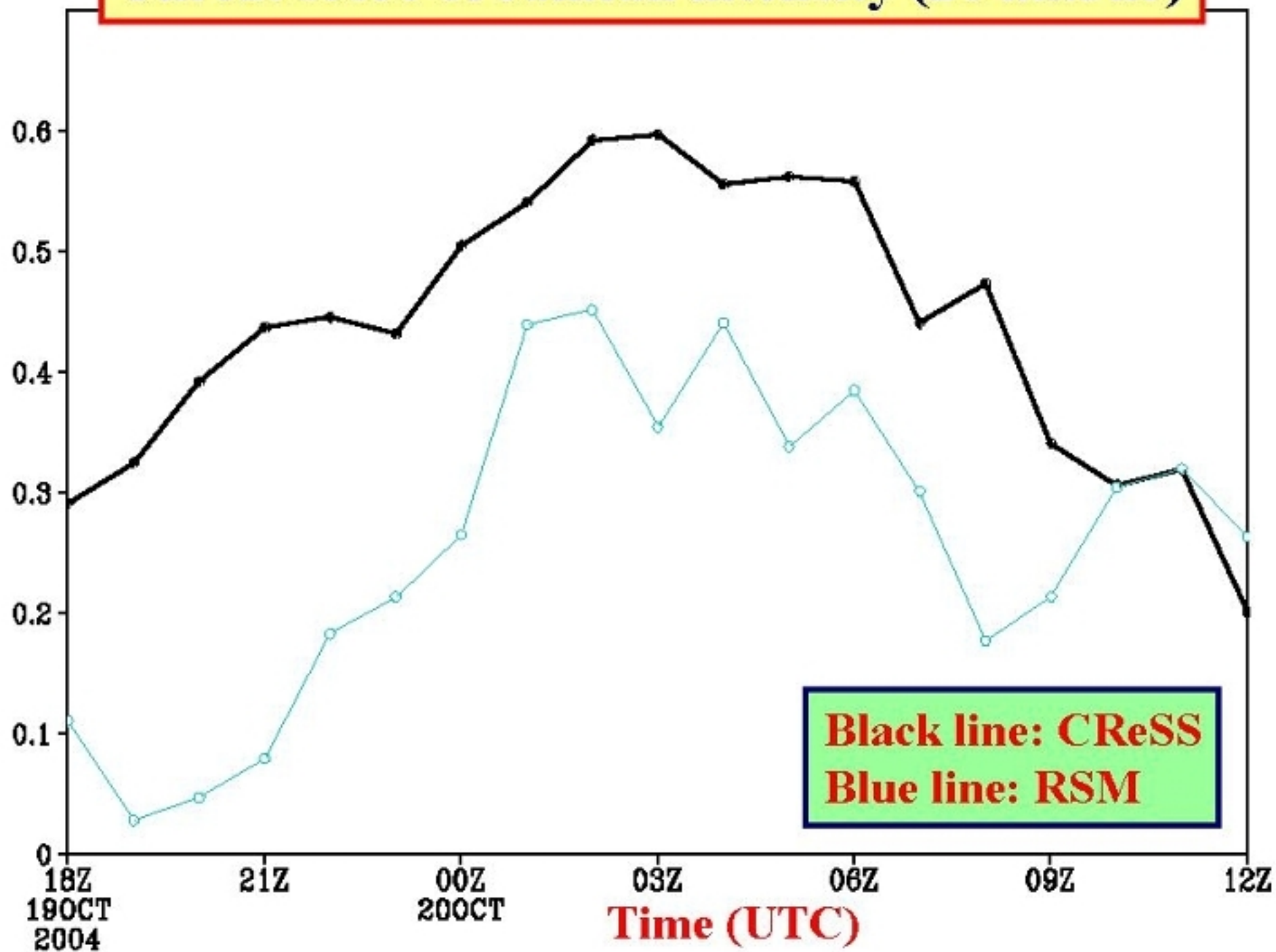
Bars: Observation
Solid line: CReSS
Dashed line: RSM



Threat score of rainfall intensity (5mm/hr)

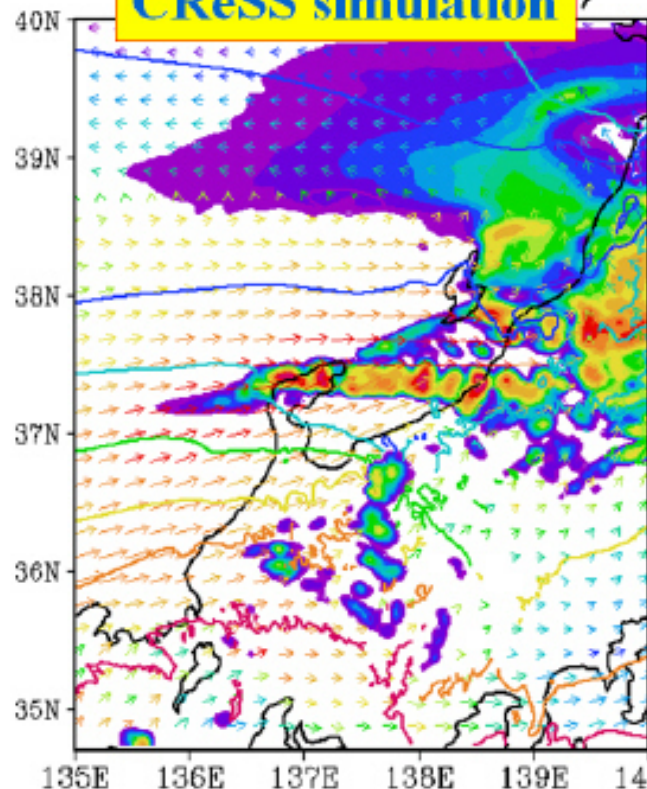


Threat score of rainfall intensity (20 mm/hr)

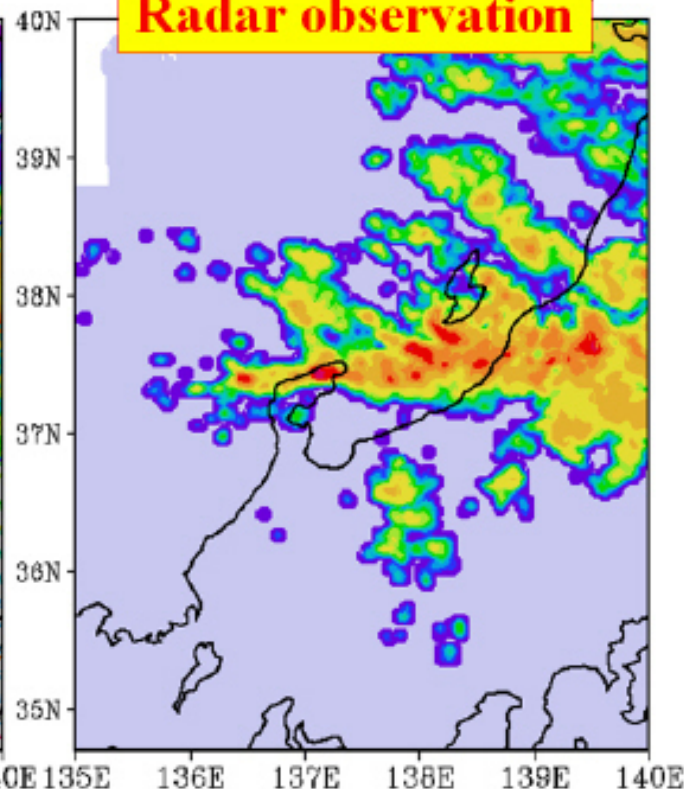


Heavy rainfall associated with Baiu front: Niigata heavy rain

CReSS simulation

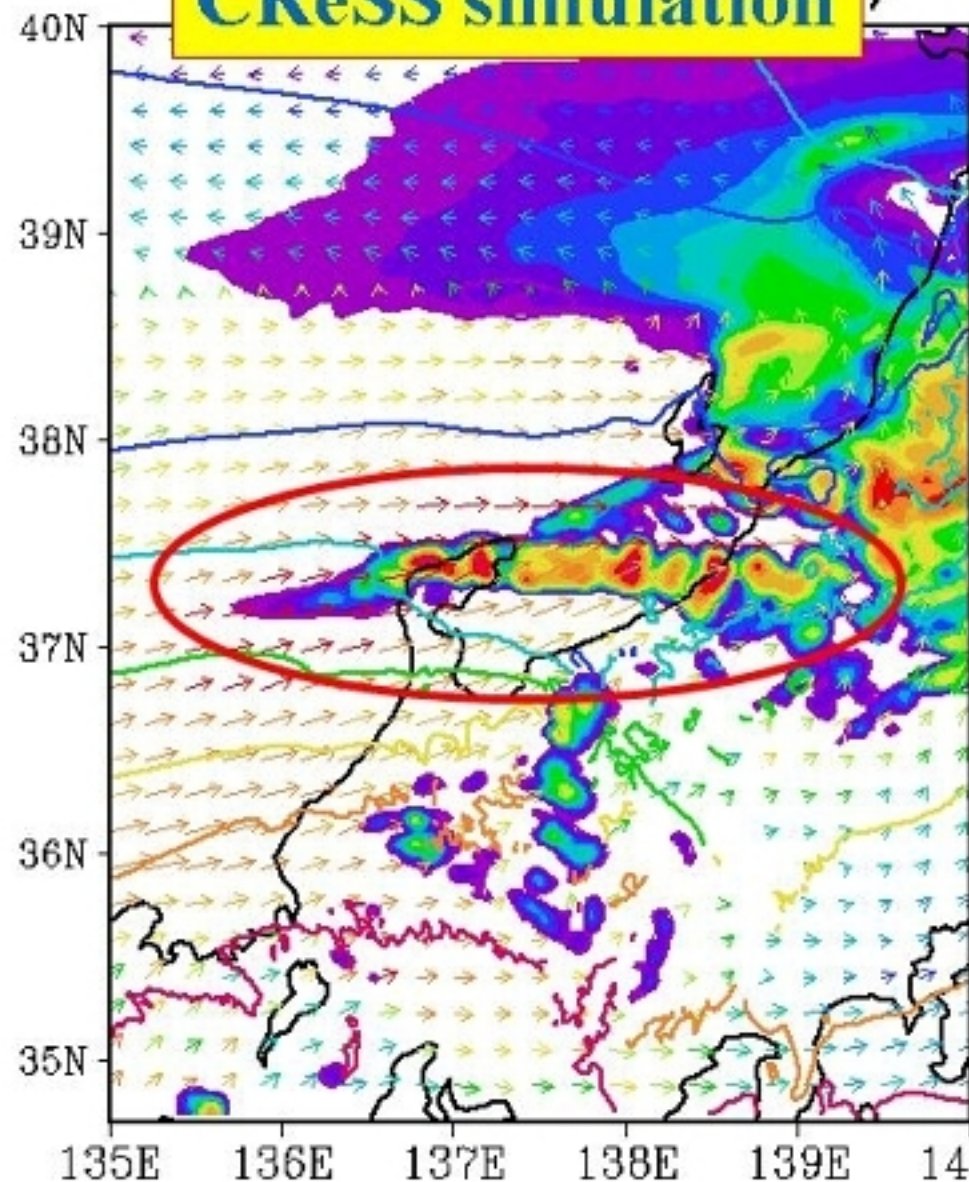


Radar observation

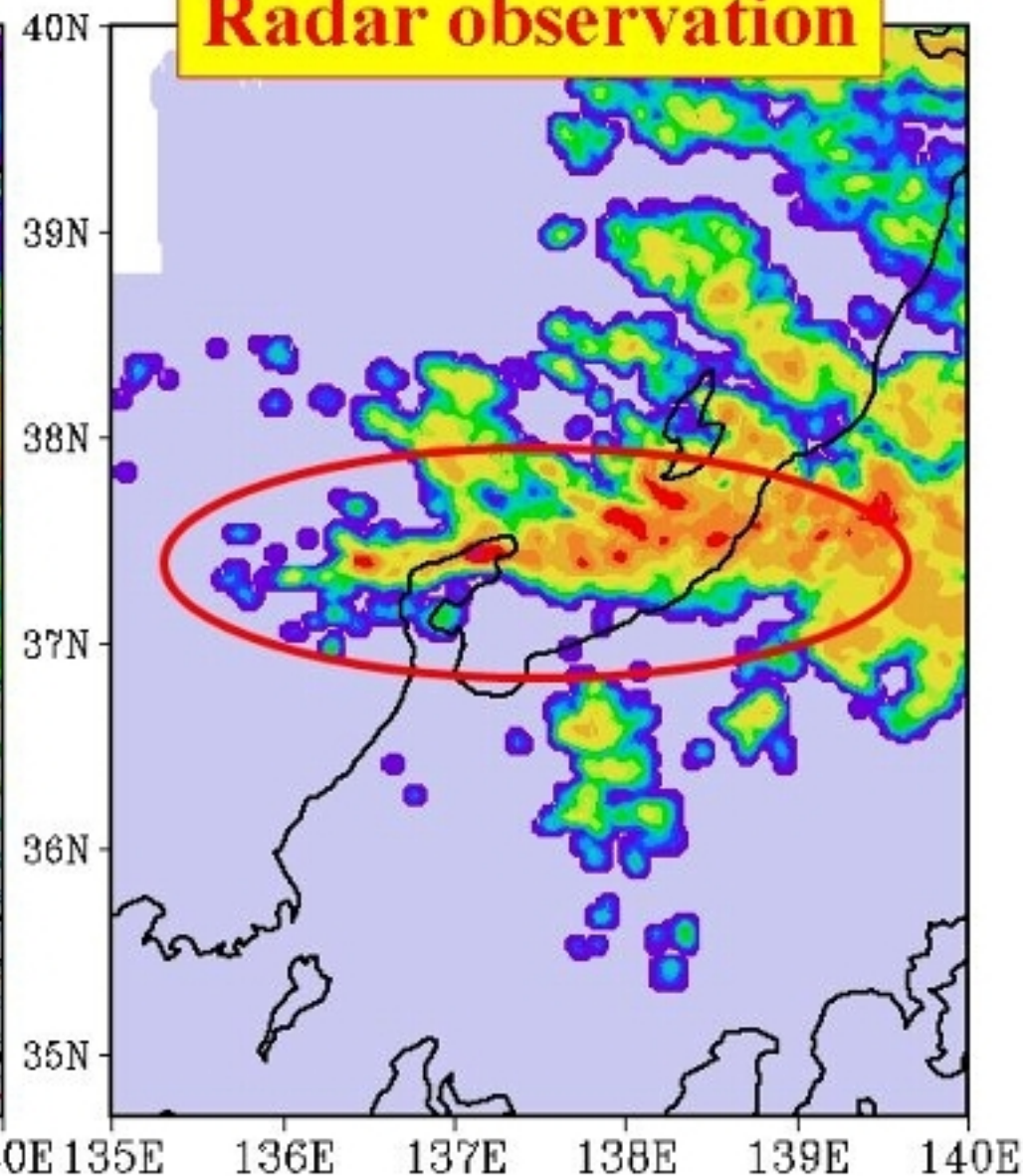


Heavy rainfall associated with Baiu front: Niigata heavy rain

CReSS simulation



Radar observation

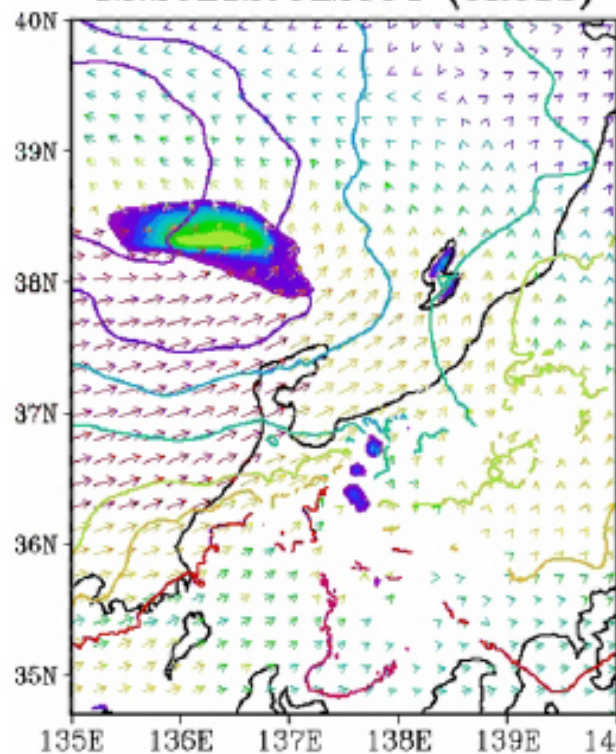


0.5 1 2 3 4 5 6 8 10 15 20 25 30

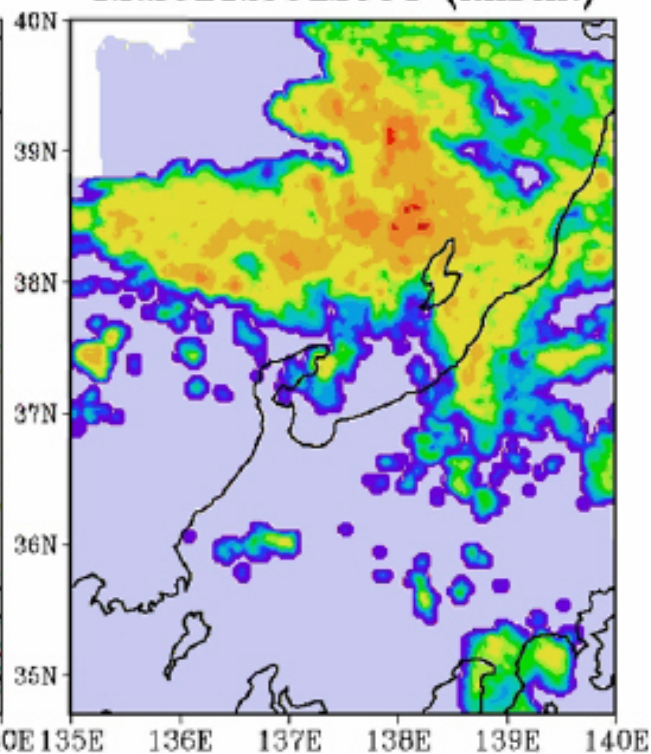
0.01 1 2 3 4 5 6 8 10 15 20 25 30

Heavy rainfall associated with Baiu front: Niigata heavy rain

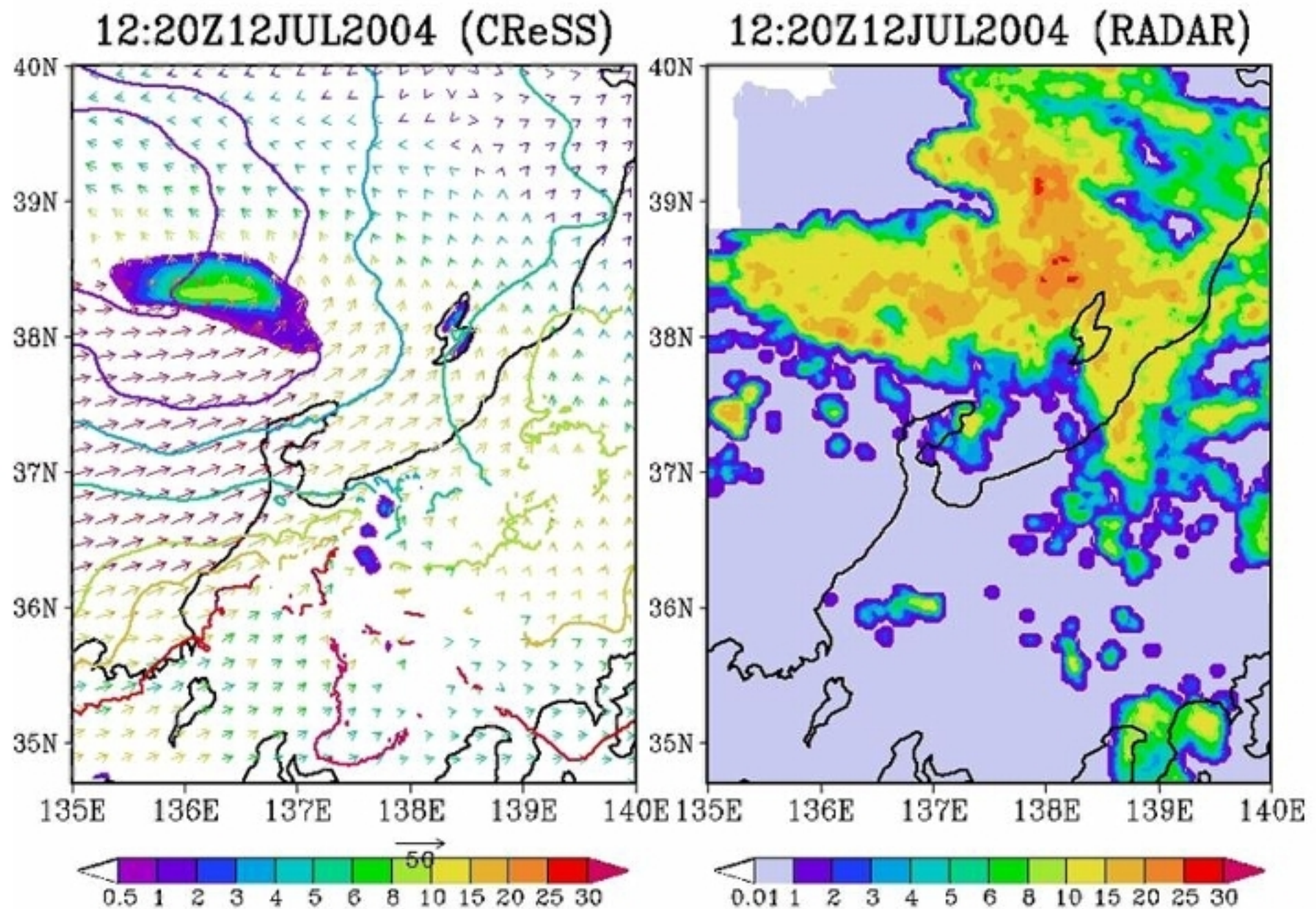
12:20Z12JUL2004 (CReSS)



12:20Z12JUL2004 (RADAR)



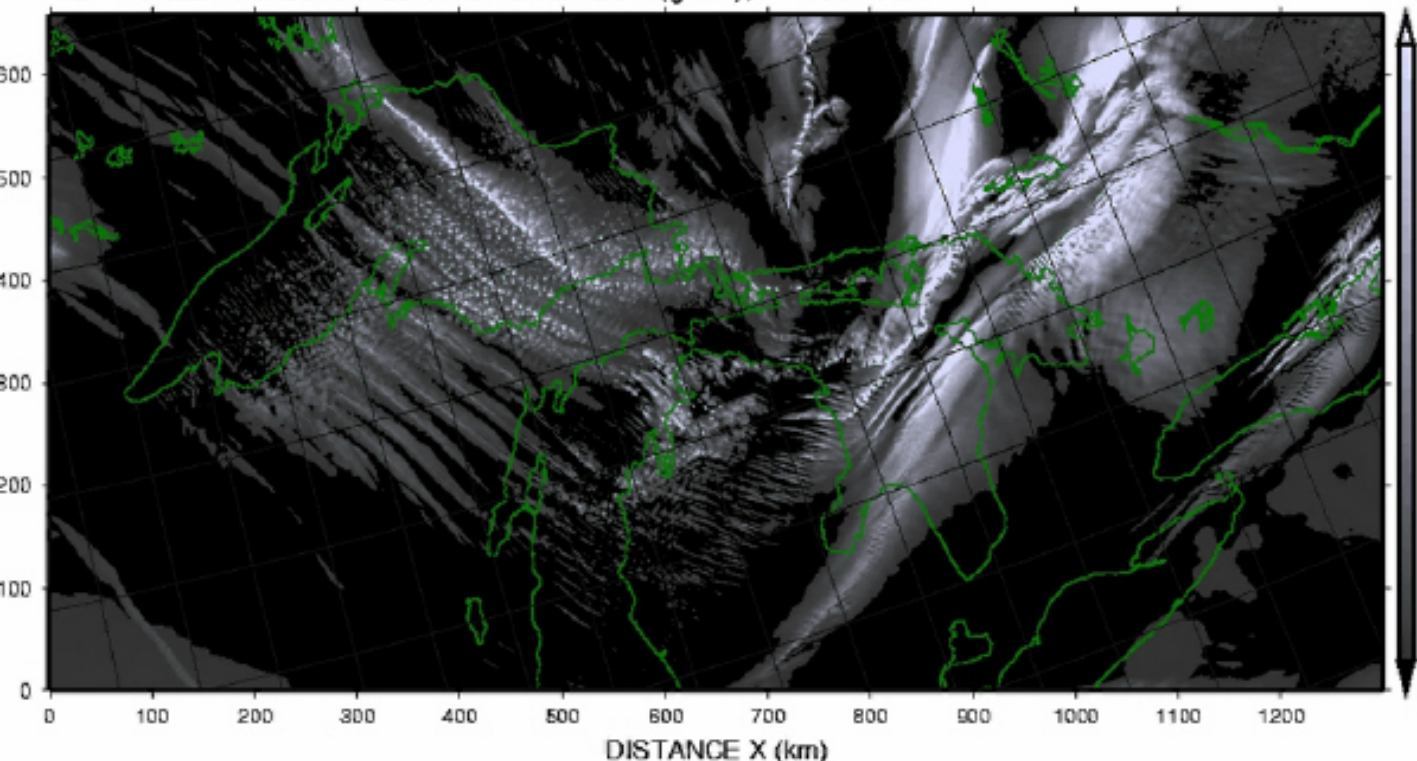
Heavy rainfall associated with Baiu front: Niigata heavy rain



寒気の吹き出し時の五大湖の降雪雲の数値シミュレーション

- ・ CReSSによるシミュレーション結果
- ・ 低気圧の後面において、五大湖上で雪雲が発達し、陸上では雪雲が弱まる様子が見える。

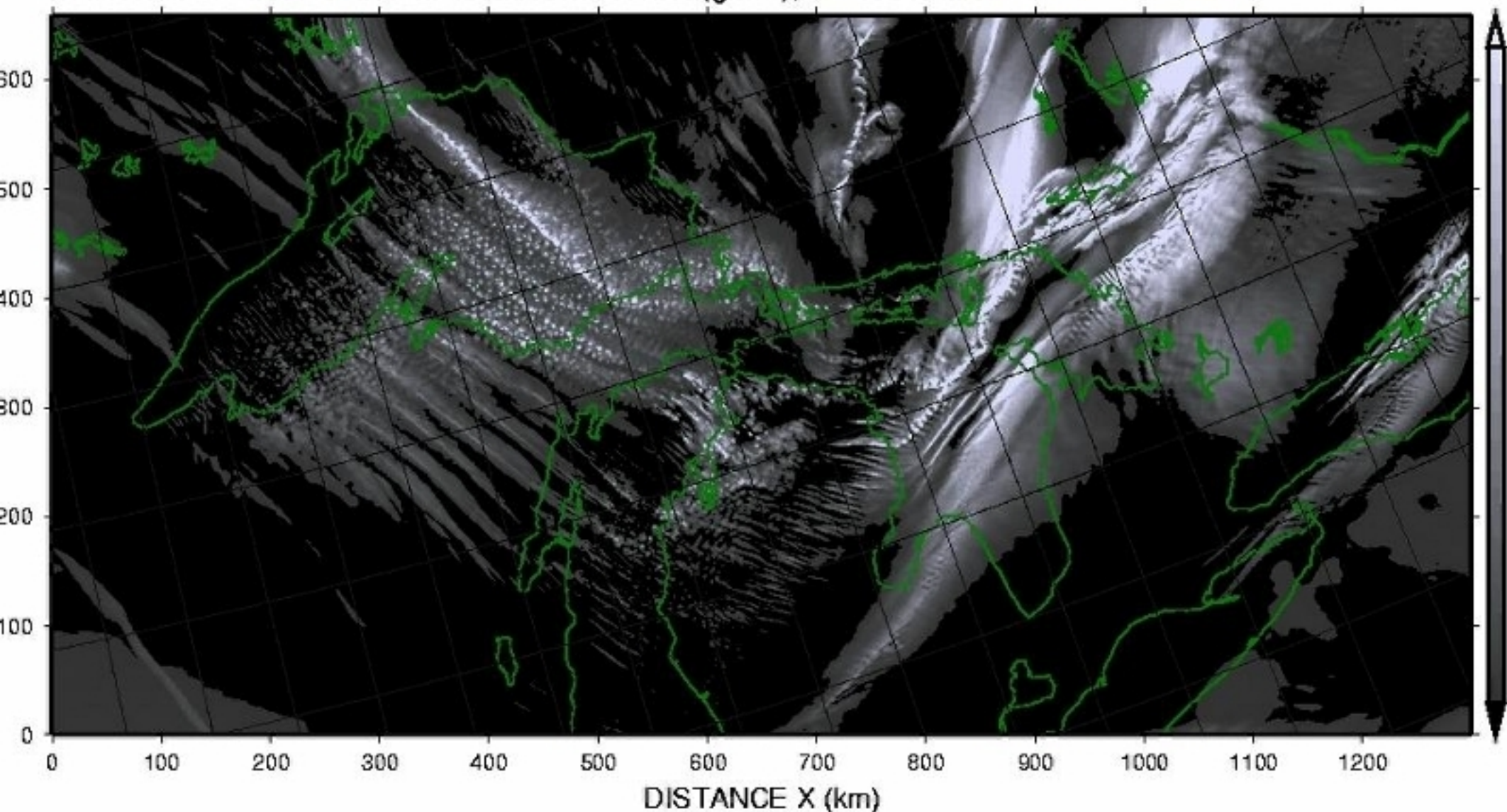
VERTICALLY INTEGRATED HYDROMETEOR (g m^{-2}), $t = .00$ hours



寒気の吹き出し時の五大湖の降雪雲の数値シミュレーション

- ・ CReSSによるシミュレーション結果
- ・ 低気圧の後面において、五大湖上で雪雲が発達し、陸上では雪雲が弱まる様子が見える。

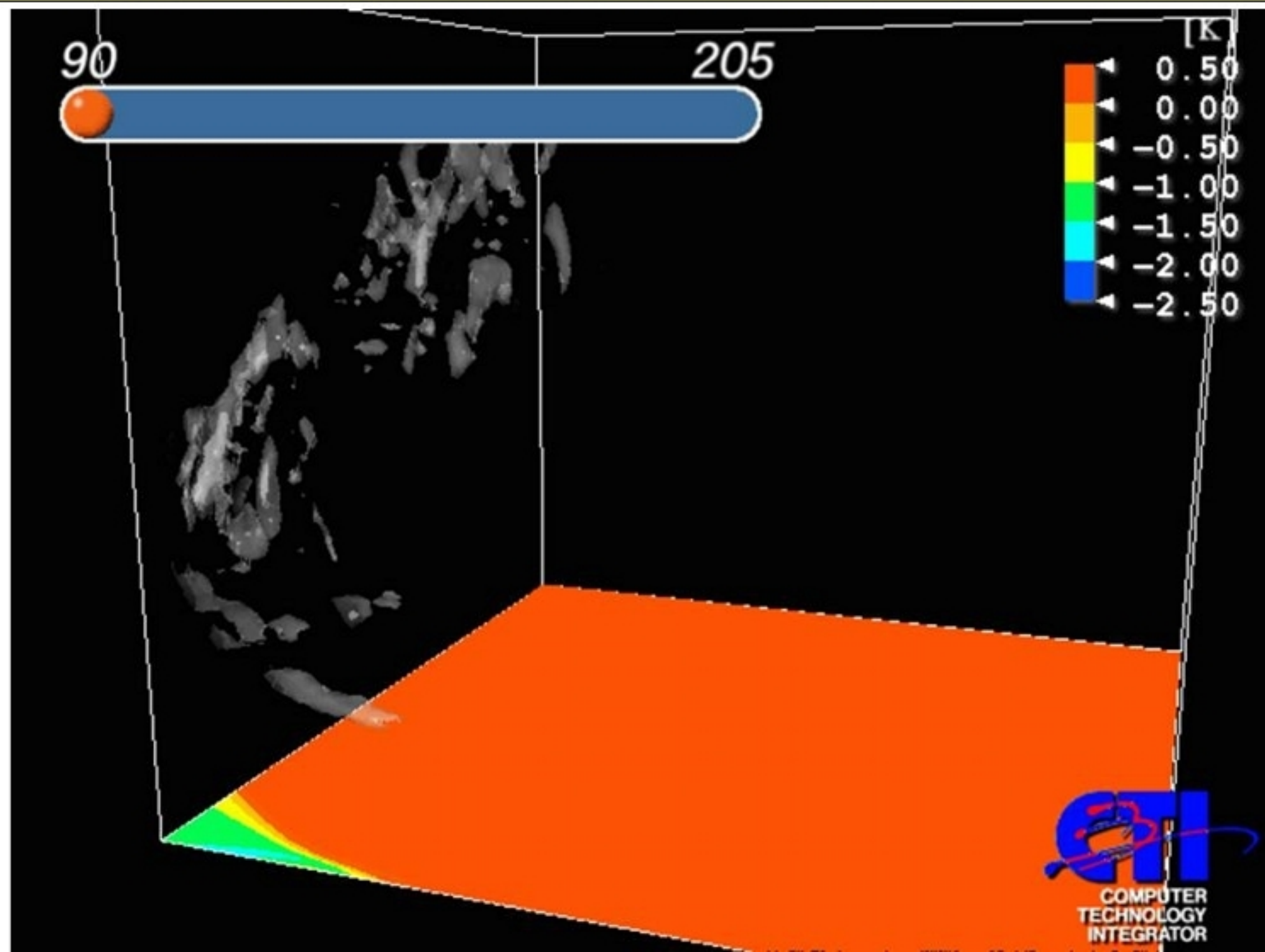
VERTICALLY INTEGRATED HYDROMETEOR (g m^{-2}), $t = .00$ hours



1999年9月24日豊橋市で発生した竜巻のシミュレーション

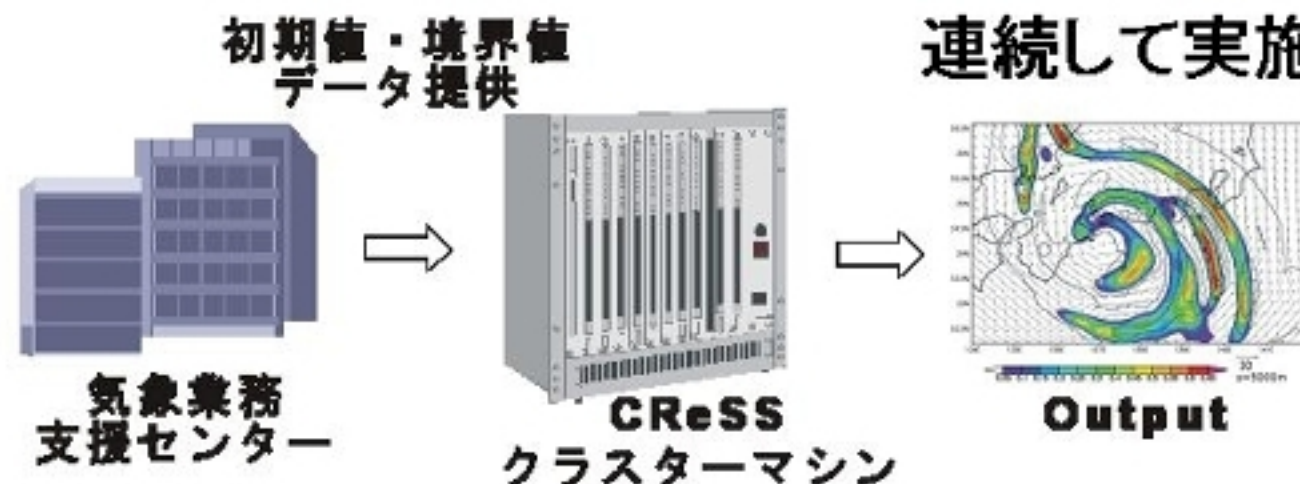


1999年9月24日豊橋市で発生した竜巻のシミュレーション



日本周辺における CReSS を用いた毎日のシミュレーション実験

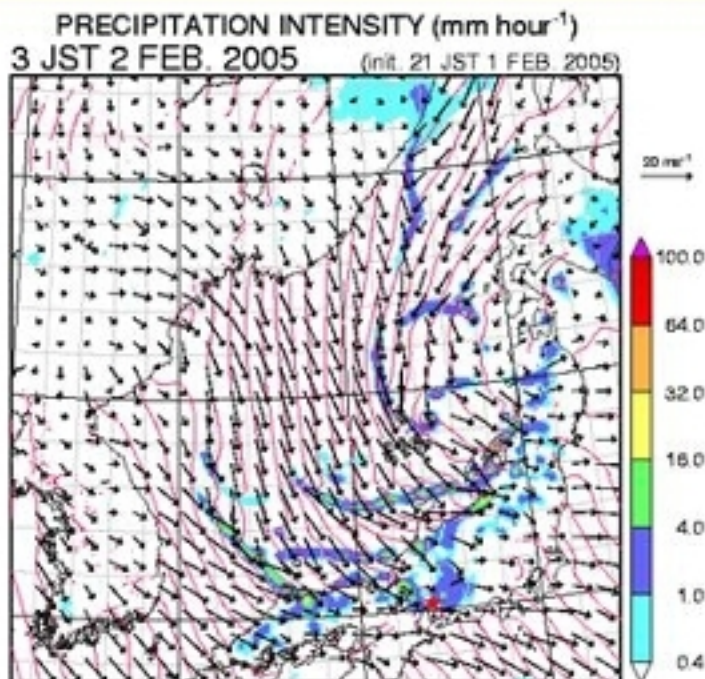
**2004年5月より3年3ヶ月にわたり
連続して実施中(@名大HyARC)。**



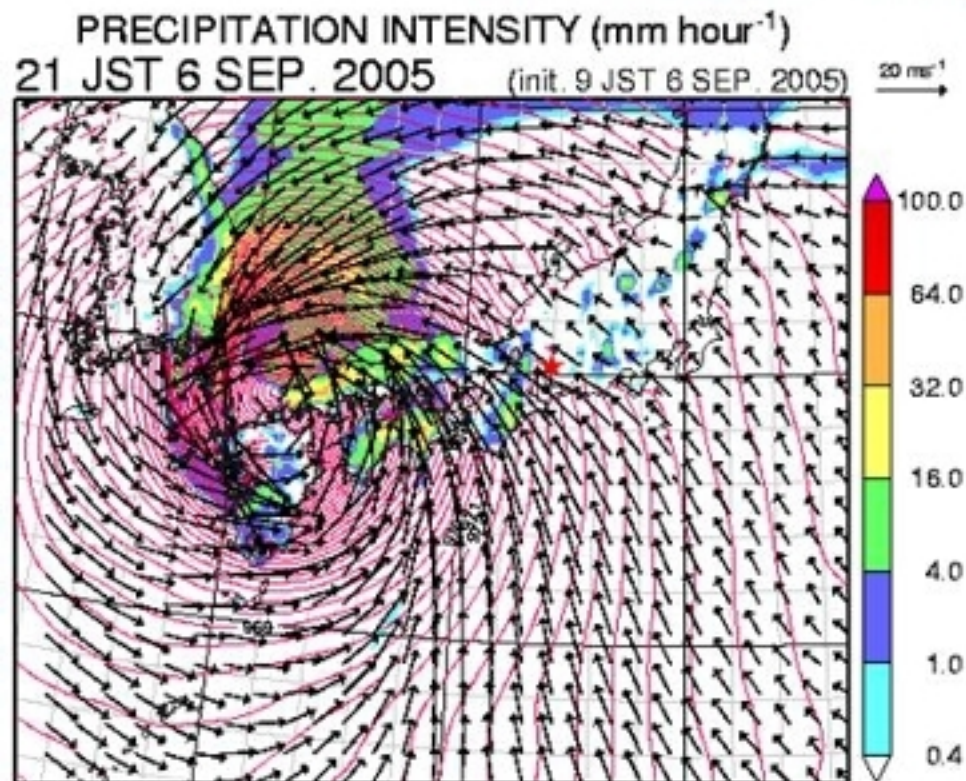
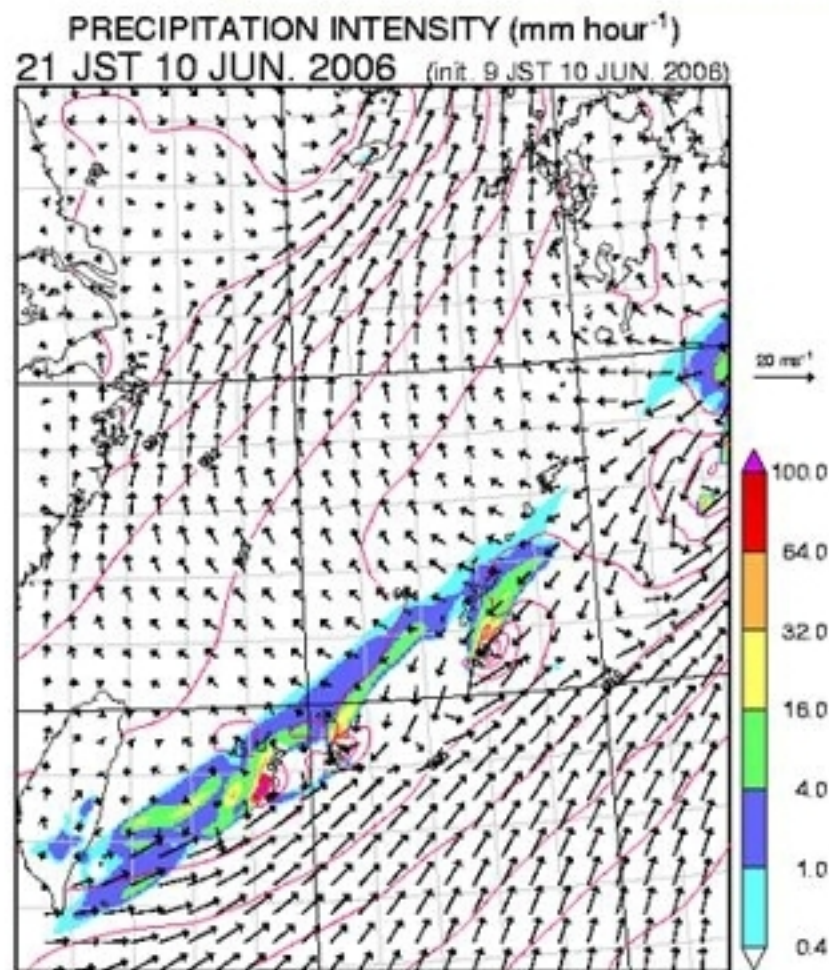
使用している数値モデル	CReSS ver 2.1(2005年), ver 2.2 (2006年)
乱流のパラメタリゼーション	1.5次-TKE
雲微物理過程のパラメタリゼーション	冷たい雨(数濃度計算は行わない)
大気・雲放射のパラメタリゼーション	なし(雲による短波放射の減少は含む)
計算領域	水平 : 300×300 程度: ケースにより異なる 鉛直 : 36 層(上限高度は17.75 km)
解像度	水平 : 5000m (2005年), 4000m (2006年) 鉛直 : 500m
時間ステップ	8.0 秒(非音波項)・4.0 秒(音波項)
初期値・境界値	気象庁領域スペクトルモデル(RSM)の予報値
初期時刻・積分時間	毎日1回・00Z より12時間 (2005年) 毎日1回・00Z より36時間 (2006年)
下層境界	海面水温のみ外部データ(気象庁MGDSST)を使用
計算機HP	PCクラスタマシン(8並列)

CReSS を用いた毎日のシミュレーション実験(結果の例)

2005年2月1日
名古屋市内大雪



2006年6月10日
梅雨前線帯が沖縄付近に
停滞。沖縄本島で大雨。



2005年9月6日
台風14号が九州西岸を
北上。九州各地で大雨。

本日のメニュー(あくまでも予定)

1. メソ降水システムに関するこれまでの知見
 - 1-1. 降水セルの特徴
 - 1-2. 自己維持型のメソ降水システム
- 2. メソ降水システムの研究手法**
 - 2-1. ドップラーレーダーデータ解析
 - 2-1-1. 解析事例(降水セルの面積と高さ)
 - 2-2. 雲解像モデル
 - 2-3. 雲解像モデル(CReSS)を用いた計算事例
 - 2-3-1. 台風T0418のケース
 - 2-3-2. 台風T0423のケース
 - 2-4. メソ降水システム研究の将来**
3. GCMパラメタリゼーションの改良に向けて
 - 3-1. 海洋上の浅い積雲の再現実験
 - 3-2. 熱帯インド洋域における深い対流雲の予報実験

メソ降水システムの将来展望

- ・ 形成過程・維持過程などについてはかなり理解が進んできた。
- ・ ケーススタディ中心の研究は行き詰まり気味に思われる。

● 今後の発展の方向

- ・ 防災・減災の観点から
 - ・ 一箇所で強い雨が長時間降り続くことによる洪水・土石流の発生
 - ・ Quantitative Precipitation Estimation (**QPE**)
定量的降水見積り
 - ・ Quantitative Precipitation Forecasting (**QPF**)
定量的降水予測
 - ・ Satellite data assimilation: **衛星データを用いたデータ同化**
(可降水量・海上風・積算雲水量・積算氷水量など)
→ 6 ~ 48 時間スケールの予測精度向上
 - ・ Radar data assimilation: **MPレーダーデータを用いたデータ同化**
(ドップラー速度・反射強度・粒子識別など)
→ 30 分 ~ 3 時間スケールの QPF

● 今後の発展の方向

- ・ 新しい観測手法
 - ・ **Multi-parameter Radar: 水滴と氷粒子の識別、QPE**
→ 今年11月に名大に導入される。
 - ・ Video sounding system: 氷粒子の形状・大きさ・数濃度の
その場観測
- ・ 未開拓(開拓中)の研究分野への進出
 - ・ 大気境界層との相互作用(浅い積雲の影響の評価)
 - ・ 非断熱加熱による渦度の形成過程
 - ・ 台風の発生過程
 - ・ 熱帯域での現象の予測可能性(どんな要素が効く?)
 - ・ 温暖化時の台風の構造
 - ・ GCMにおけるパラメタリゼーションの検証・改良

参考文献

- Louis, E., Menendez, C., Verqes, J., A., 1981: Short- and long-range-order features in the electronic structure of bulk and surface vacancies in diamond_structure semiconductors. *Physical Review B.*, **24**, 3474-3480.