

# HyARC-VLでの研究計画と進捗

坪木和久\*・篠田太郎  
(名古屋大学地球水循環研究センター)

# HyARC-VL 構成メンバーと関連プロジェクト

## ● 構成メンバー

上田 博	(教授)
坪木和久	(准教授)
増永浩彦	(准教授)
篠田太郎	(助教)
大東忠保	(助教:VL専任)
出世ゆかり	(研究員:VL専任)
田中知子	(秘書:VL専任)

## ● 関連プロジェクトおよび経費

### 21世紀気候変動予測革新プログラム

・坪木和久(代表者)・篠田太郎・吉岡真由美

### 科学研究費補助金基盤研究A(台風)

・坪木和久(代表者)

### 環境省地球環境研究推進費

・篠田太郎(分担者)

### 東京海上日動損害保険会社との共同研究

・坪木和久(代表者)・加藤雅也

### 中電CTI・東芝との共同研究

・坪木和久(代表者)・大東忠保

## VLの目的

- ・ GCMの精度を高めることによって診断を行えるようにする。
- ・ GCMの結果を診断する方法の確立。

→ などに資するとともに、大気システム(気候・気象)の理解を進める。

VLの特徴は

「四大学が連携してお互いの得意分野を持ち寄る事によって気候系の診断の手法を確立しそれを行う。」

「GCMコミュニティと雲・降水システムのコミュニティ、衛星観測のコミュニティが共同作業を行う」

という点であろう。

## VLにおける HyARC のミッション

- ・ 雲解像モデル(CReSS)を用いて、GCM の検証と改良に資する取り組みを行う。

具体的には...

- CReSS を GCM のある領域に埋め込み、双方向ネスティングにより、温暖化時のメソスケールの現象の再現を行う。
  - CReSS を用いた実験結果を用いて、GCM のパラメタリゼーションの検証用データの出力を行う。
  - CReSS にデータ同化過程を導入し、より高精度での結果の出力を行う。
    - 衛星データ(可降水量など)の同化を行う。
    - MPLレーダー(降水域、ドップラー速度)を用いた同化を行う。
  - CReSS シミュレーション実験の検証を行う方法を確立する。
    - 衛星データ、地上データを用いた検証を行う。
- ・ 四大学の枠組みでは CEReS-HyARC のミッションともなる。

実際の作業手順は...

- (1) **CReSSの開発・高度化**
- (2) **CReSSを用いたシミュレーション実験の検証方法の確立**  
→ 地上データ、衛星データを用いた検証の実施
- (3) **データ同化過程の導入**  
→ 衛星データ(可降水量など)を用いた同化  
→ MPLレーダー(降水域、ドップラー速度)を用いた同化
- (4) **GCMのパラメタリゼーションの検証用データの出力**
- (5) **領域埋め込み非斉一モデル結合の開発**

# 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モデル。

大規模並列計算機に最適な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の開発を行ってきた。

Ver. 1.4: 1998～2002: 振興調整費(研究代表者:住教授)

Ver. 2.3: 2002～2007: HyARC計画研究 (坪木)

Ver. 3 : 2007～ : 21世紀気候変動予測革新プログラム(坪木)

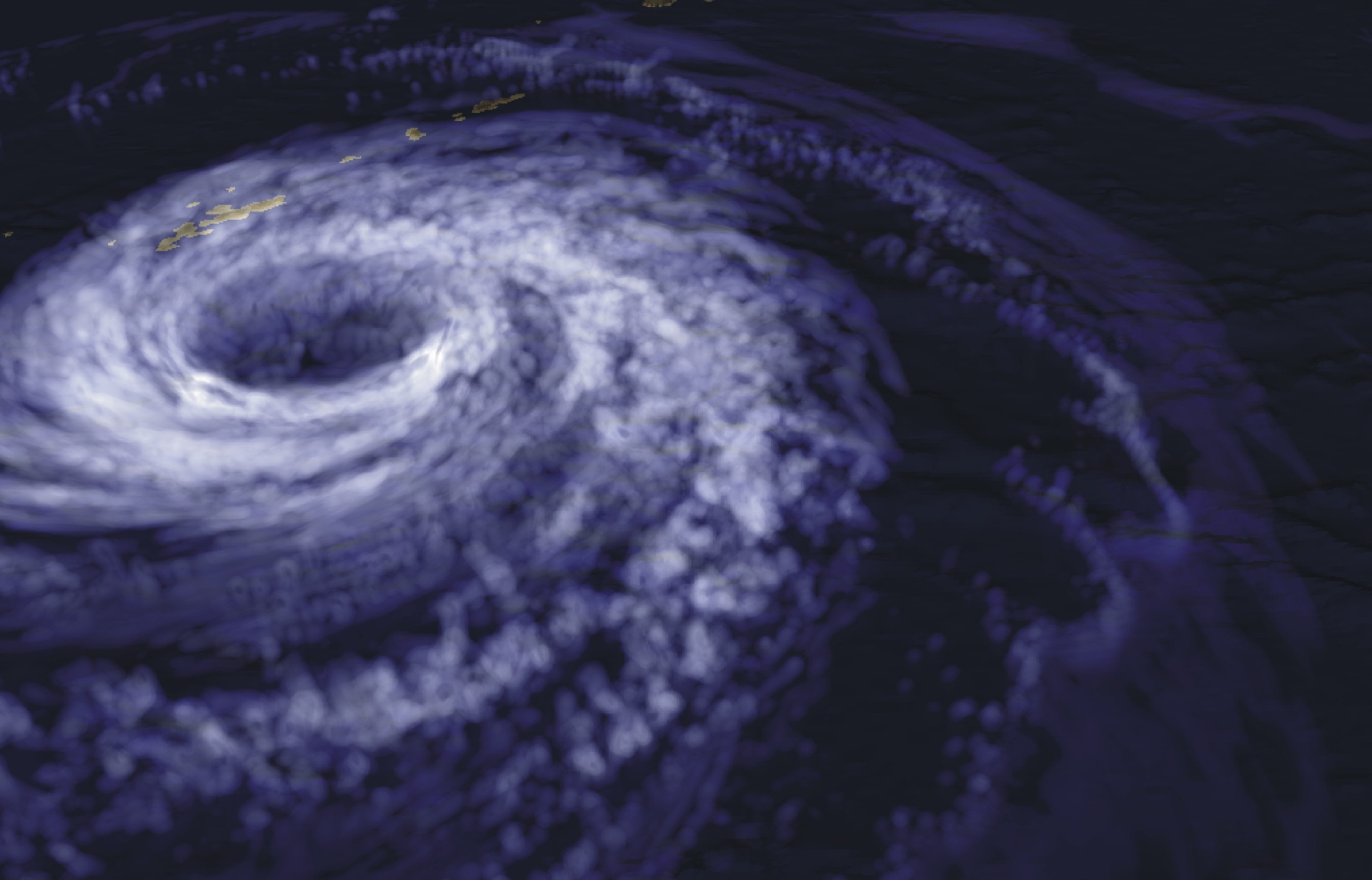
# Evaluation of performance of CReSS on the Earth Simulator

Using 128 nodes (1024CPU) and 64 nodes (512CPU),  
performance of CReSS is evaluated.

- Vector Operation Ratio: **99.4%**
- Parallel Operation Ratio: **99.985%**
- Maximum node number: **640 nodes**
- Node number to be used: **128 nodes**
- Parallel efficiency: **86.5%**
- Sustained efficiency: **33%**

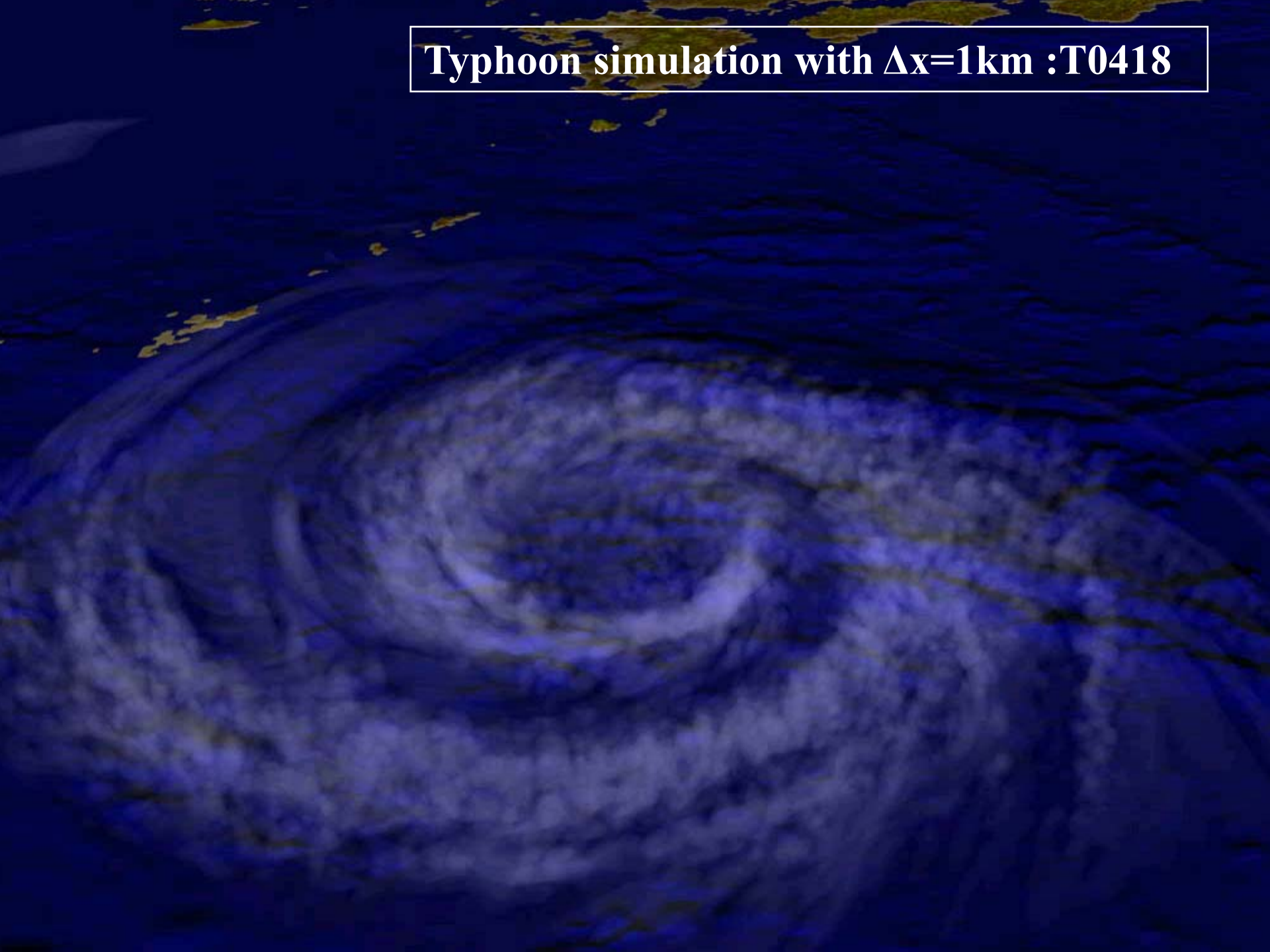


**Typhoon simulation with  $\Delta x=1\text{km}$  : T0418**

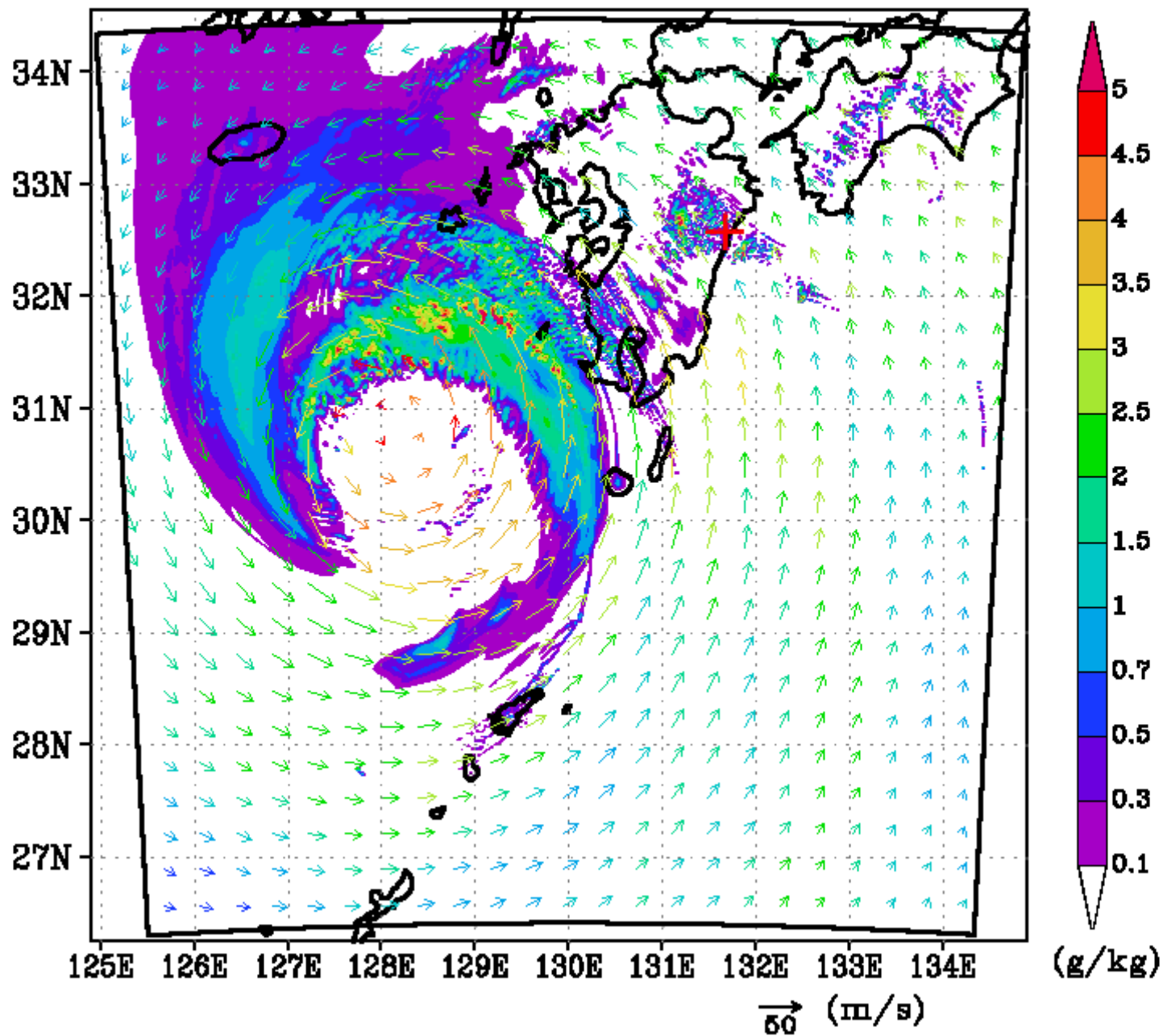




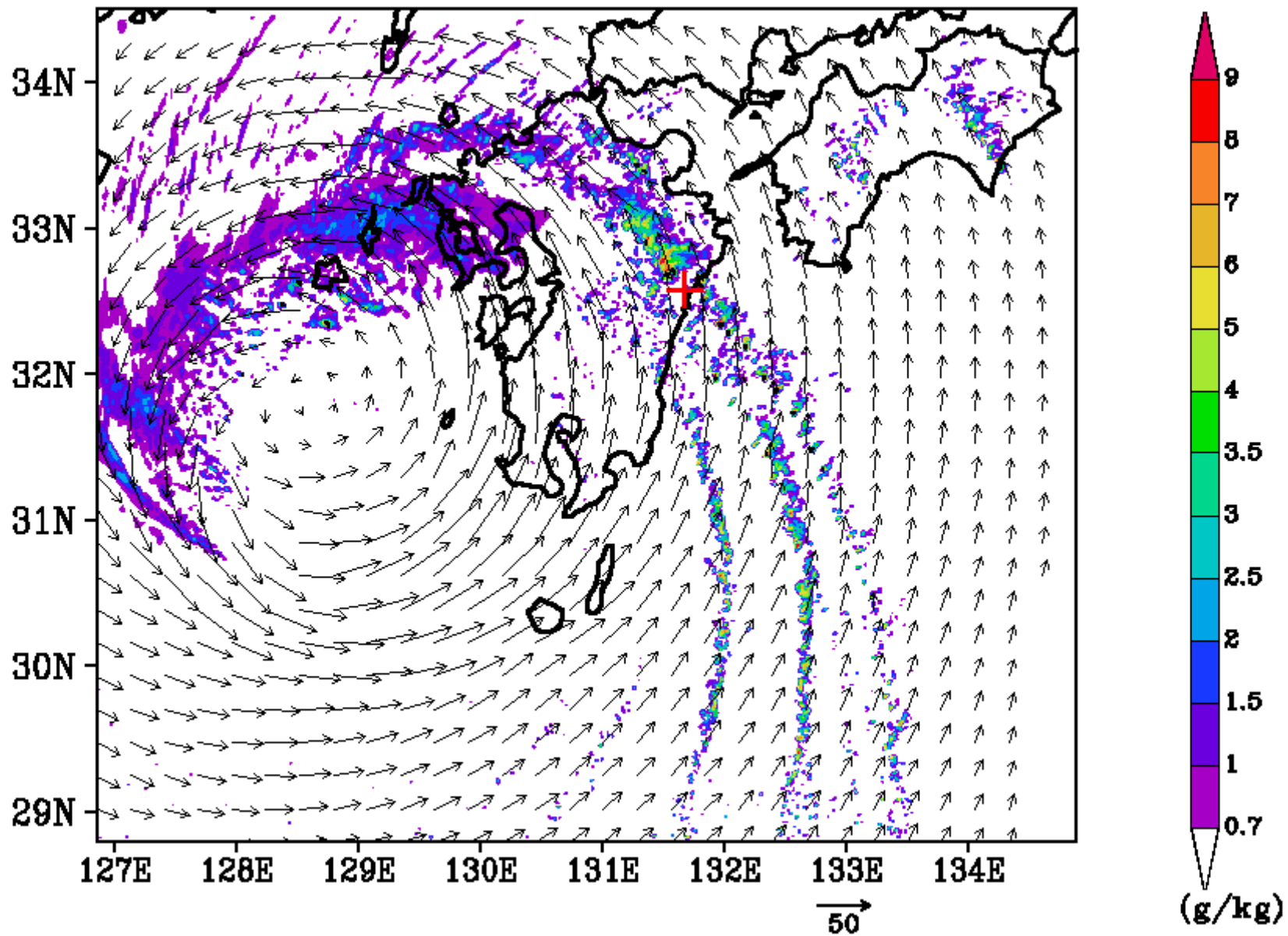
**Typhoon simulation with  $\Delta x=1\text{km}$  : T0418**



T0613: 01:40Z 17SEP2006 ht=1.91km No.21



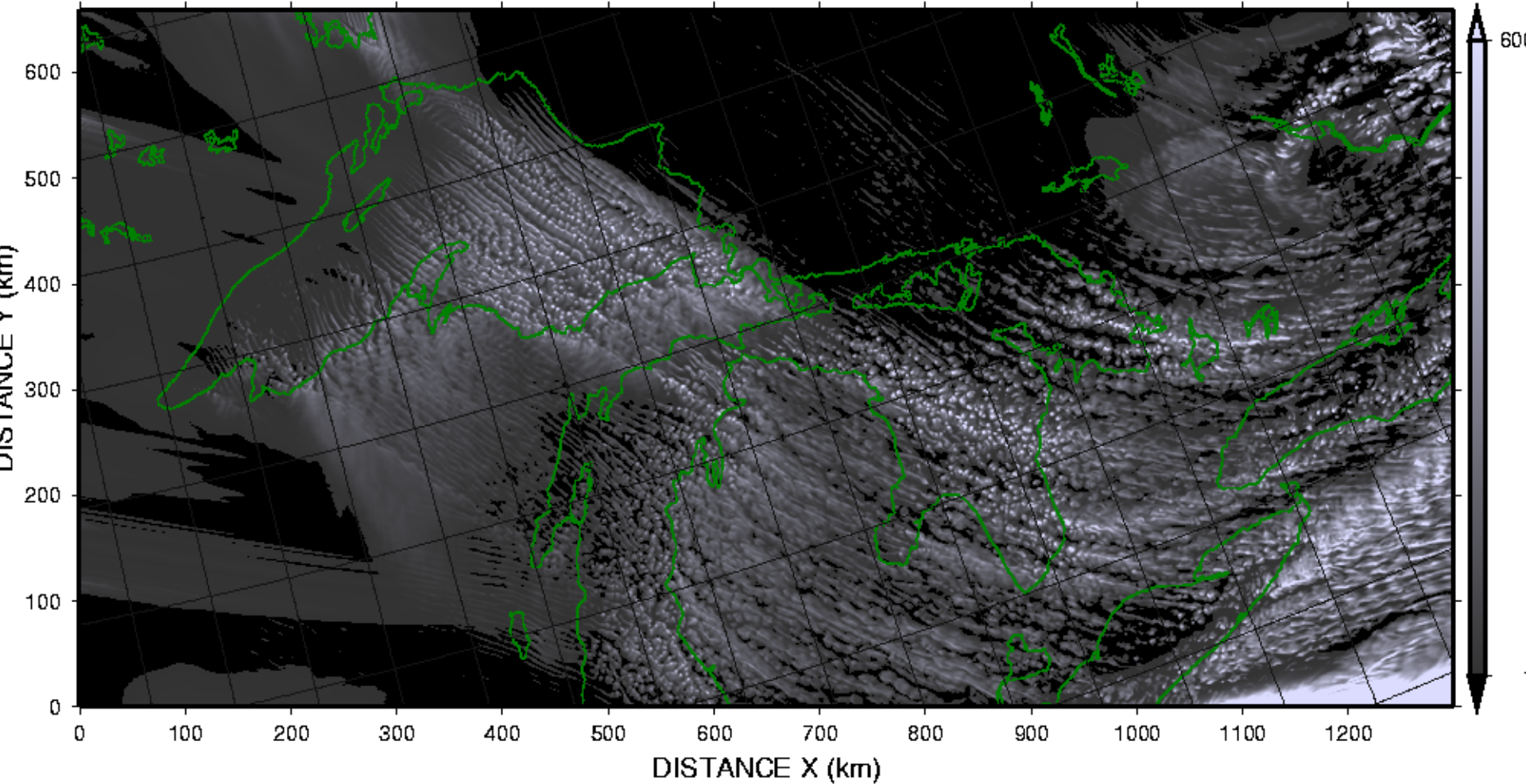
T0613: 05:10Z17SEP2006 ht=1.91km No.50





# Snow storm over the Great Lakes in North America

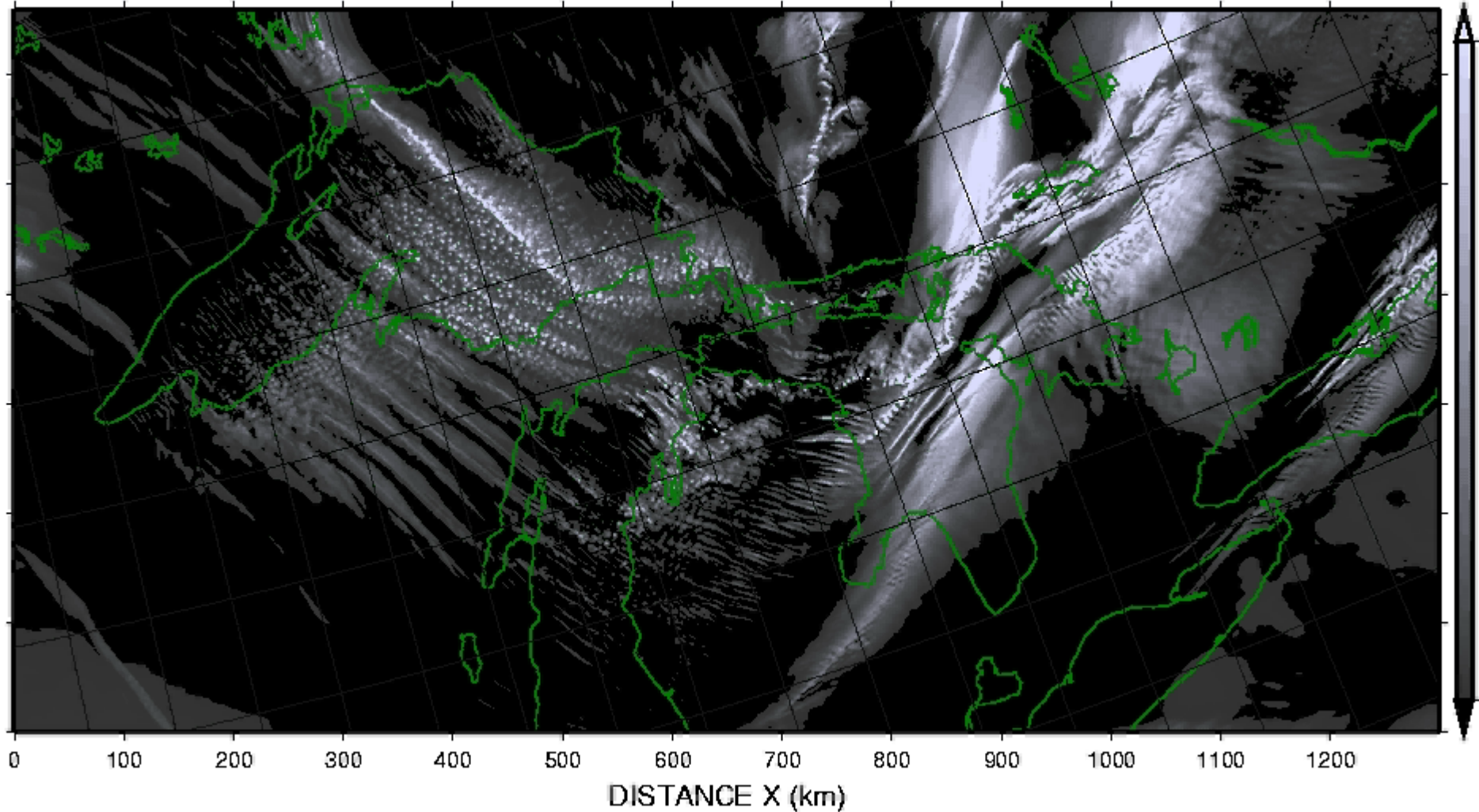
VERTICALLY INTEGRATED HYDROMETEOR ( $\text{g m}^{-2}$ ),  $t = .00$  hours



**grid size:  $\Delta x = 500\text{m}$**

# Snow storm over the Great Lakes in North America

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



**grid size:  $\Delta x = 500\text{m}$**



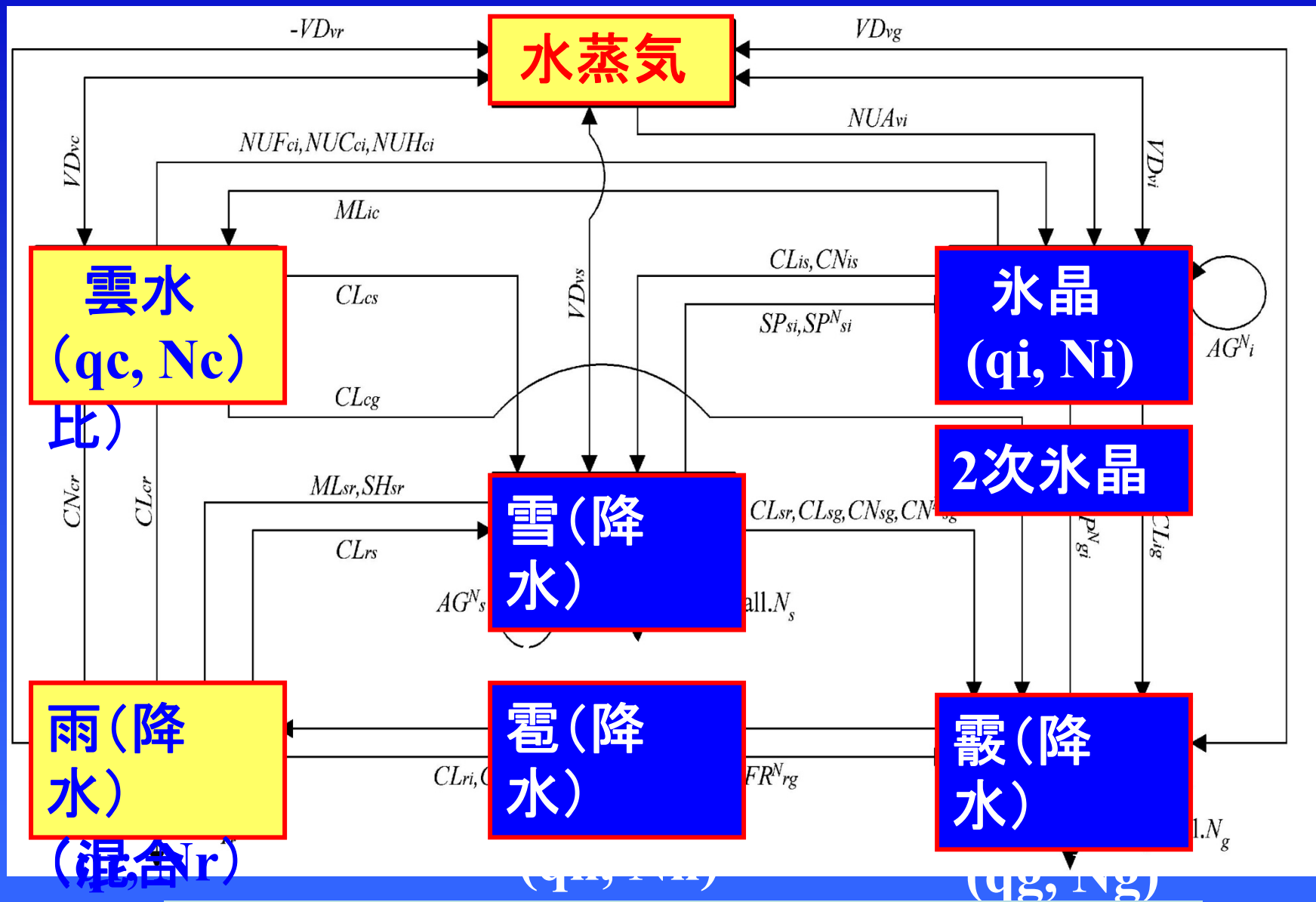
## ● 既に開発中の過程

- ・ セミラグスキームの導入(時間積分)
- ・ 雲物理過程の改良
  - ・ 液相粒子(雲水・雨)の数濃度予報
  - ・ 氷晶核化過程の改良
  - ・ 雹(hail)カテゴリの導入
- ・ 地表面過程の改良
  - ・ SiBUC との結合モデル(田中賢治さんとの共同研究)
- ・ 雷モデルの開発(Lightning Simulator)

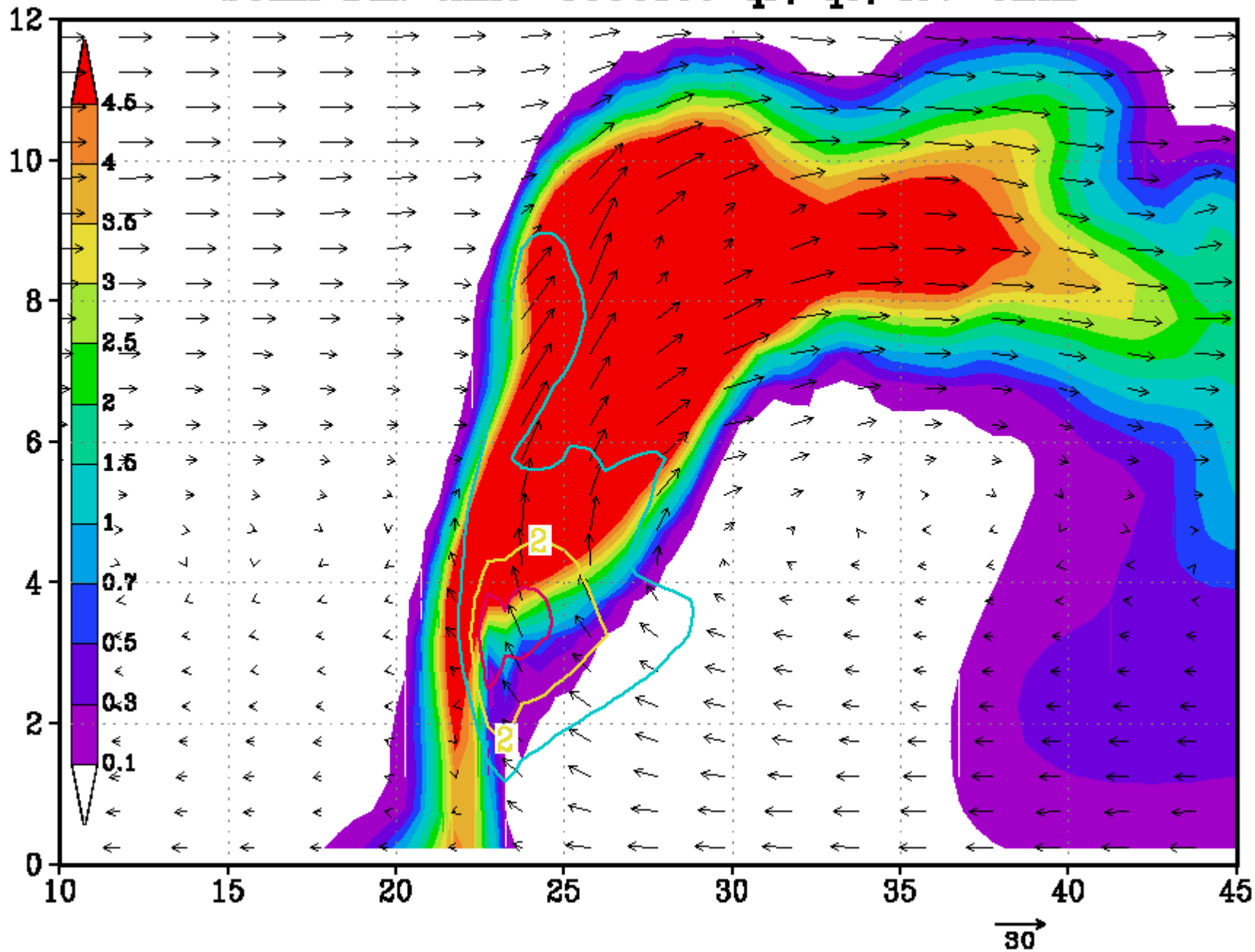
## ● 導入を検討している過程

- ・ 大気放射過程・雲放射過程の導入
- ・ 積雲パラメタリゼーションの導入
  - ・ Kain-Fritsch or Emanuel Scheme
- ・ 浅い積雲パラメタリゼーション
- ・ メソ海洋モデルとの結合
  - ・ 台風による風浪の海洋(混合層)への影響を検討する。

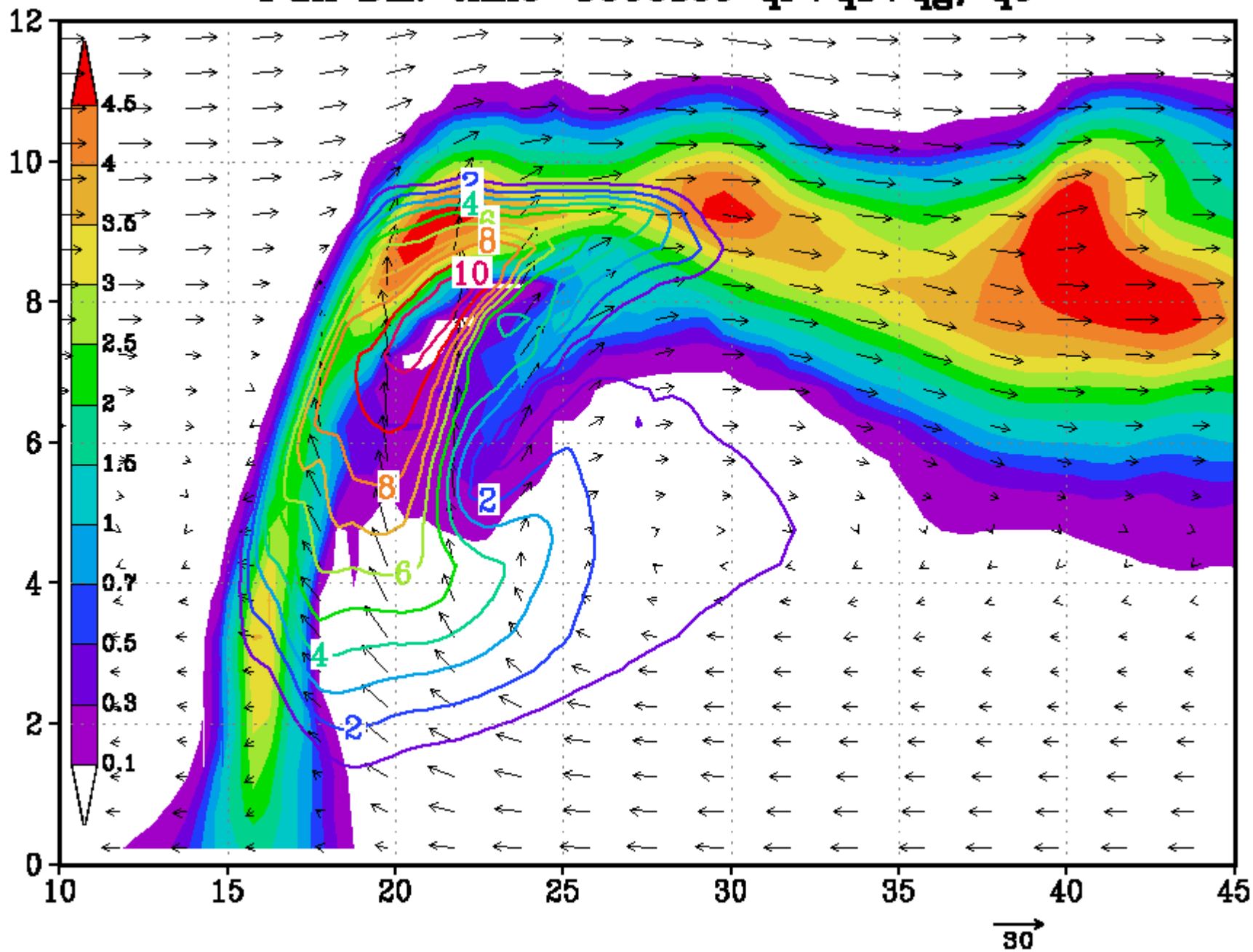
# CReSSの雲物理過程とその改良点



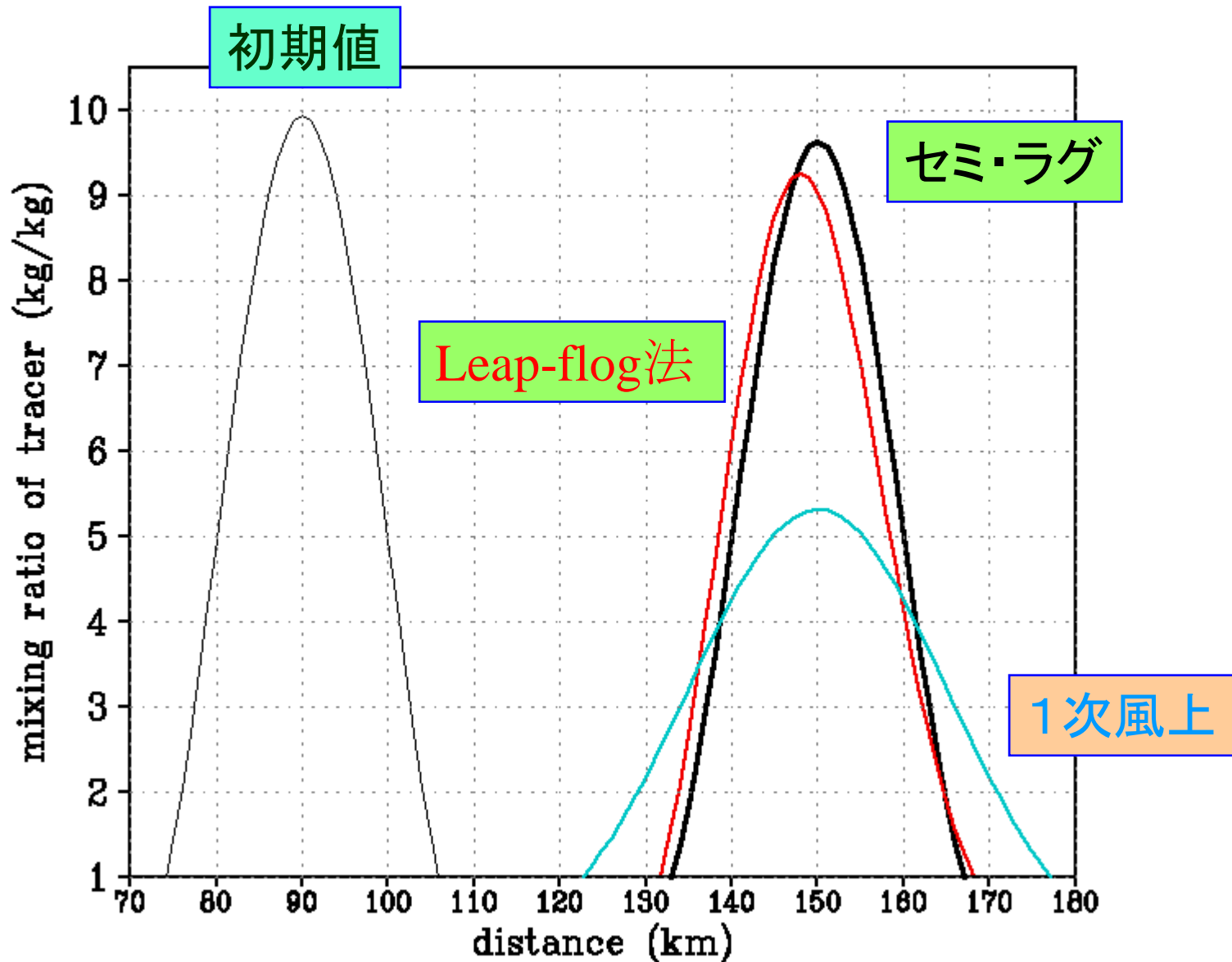
# Semi DM: time=3600sec qr, qc, lev=0km



# Full DM: time=3600sec qr+qs+qg, qc



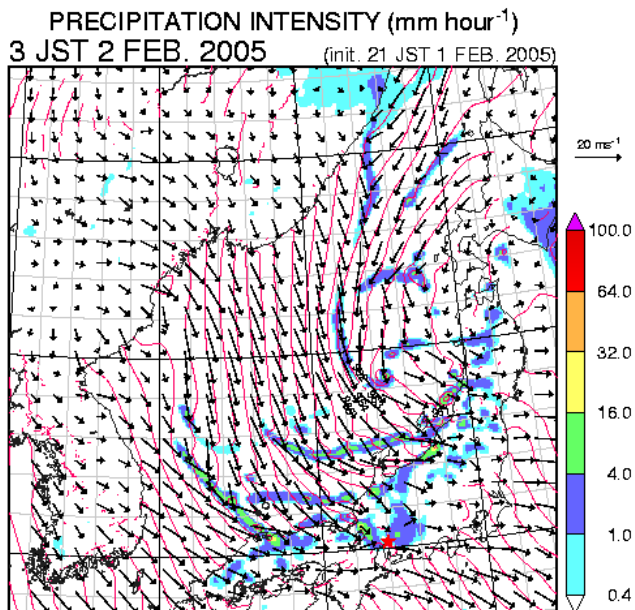
# セミ・ラグランジュ法の導入とテスト



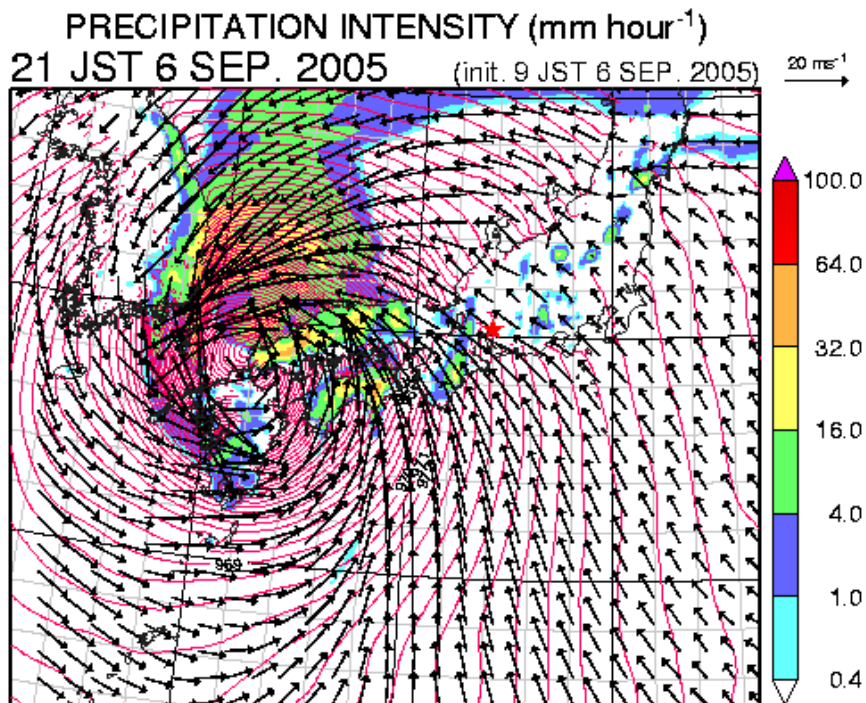
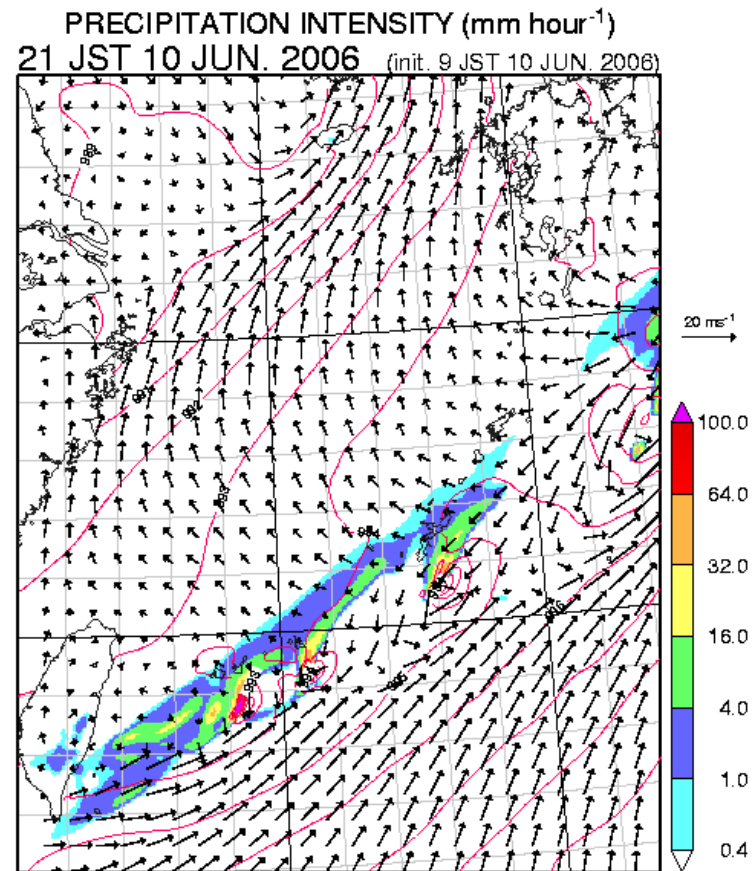


# CReSSを用いた毎日のシミュレーション実験(結果の例:日本周辺)

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。

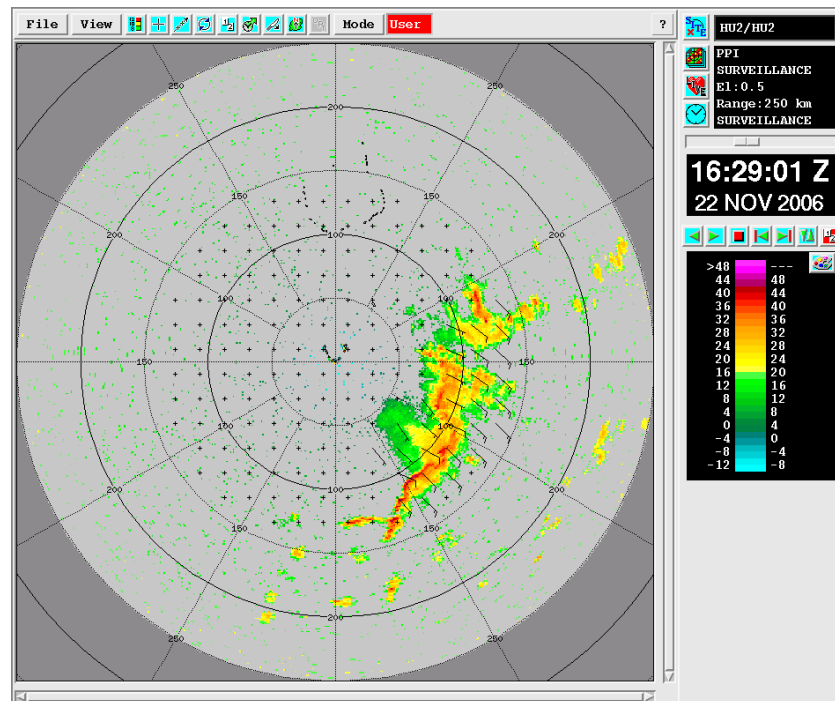
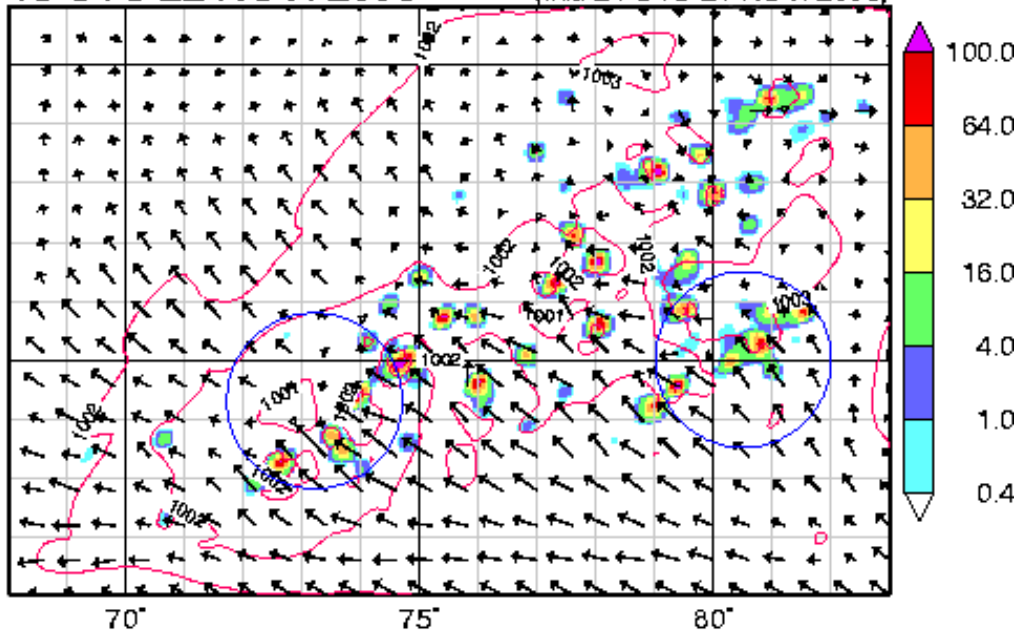
# CReSSを用いたシミュレーション実験(結果の例:MISMO)

2006年11月22日16Z (モルジブガン島周辺で観測された降水システム)

PRECIPITATION INTENSITY (mm hr<sup>-1</sup>)

13 UTC 22 NOV. 2006

(init. 21 UTC 21 NOV. 2006)



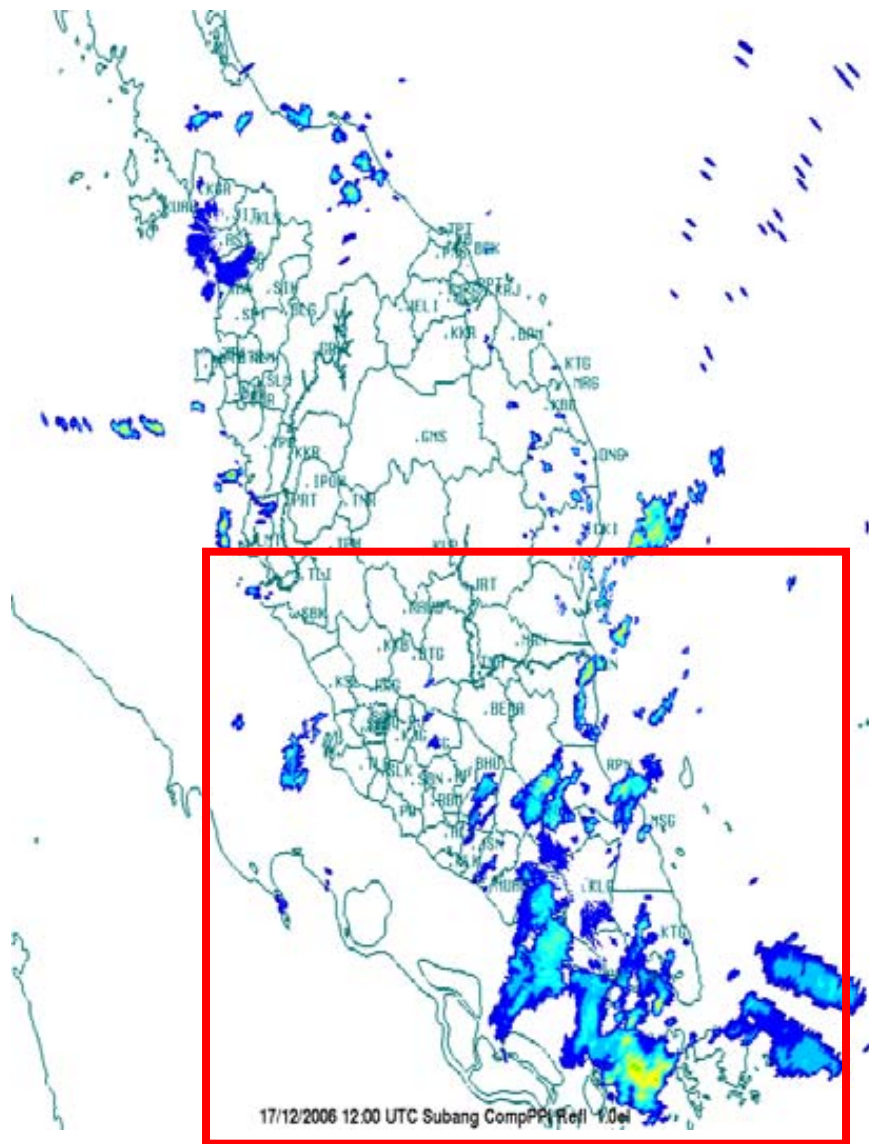
数値実験では (72.5E, 2S) 付近から北東に伸びる線状降水域が見られる。これは南東風の前面の収束帯に対応する降水システムである。

(時間は3時間ほどずれている)

ガン島のドップラーレーダーで観測された降水システムの走向は南南西-北北東。降水システムの後面で南東風が観測されている。

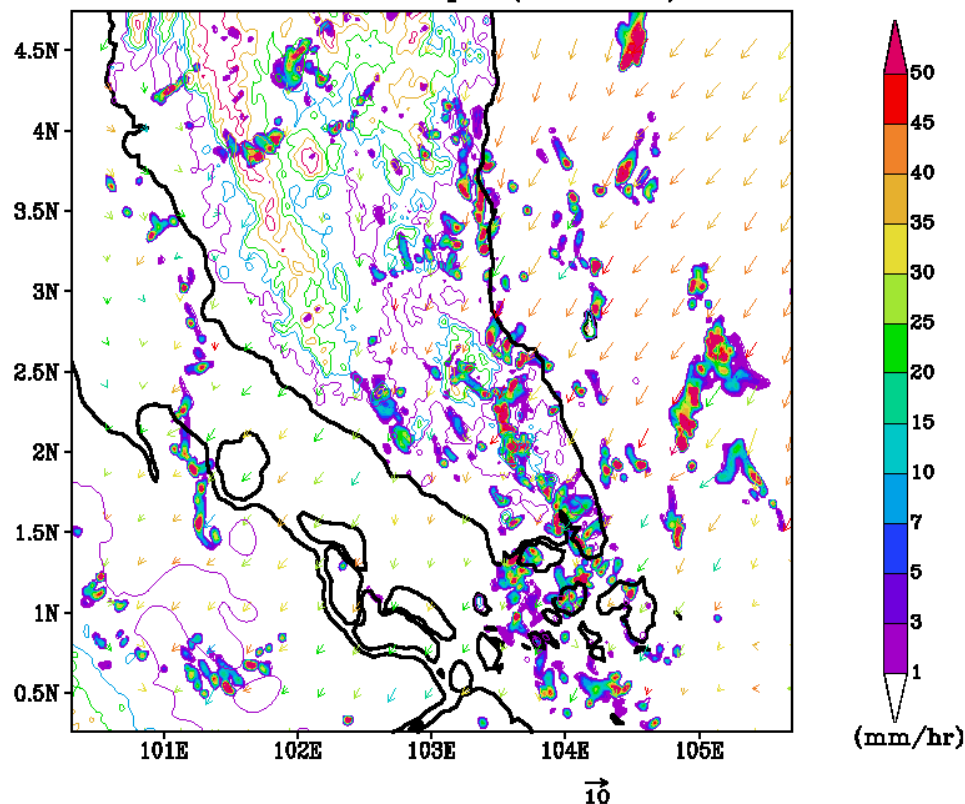
# CReSSを用いたシミュレーション実験(結果の例:マレーシア豪雨)

08:00 pm, Dec. 17, 2006



**Radar observation**

12:00Z 17DEC2006 RR, Topo (dx=1km): t=21 hr



**CReSS simulation**

## (2) CReSS を用いたシミュレーション実験の 検証方法の確立

### (2-1) 地上データを用いた検証

- ・ AMeDAS データを用いた検証
- ・ MPLレーダデータを用いた検証
- ・ 降雪観測システムを用いた検証(雪と霰の比率の検証)

### (2-2) 衛星データを用いた検証

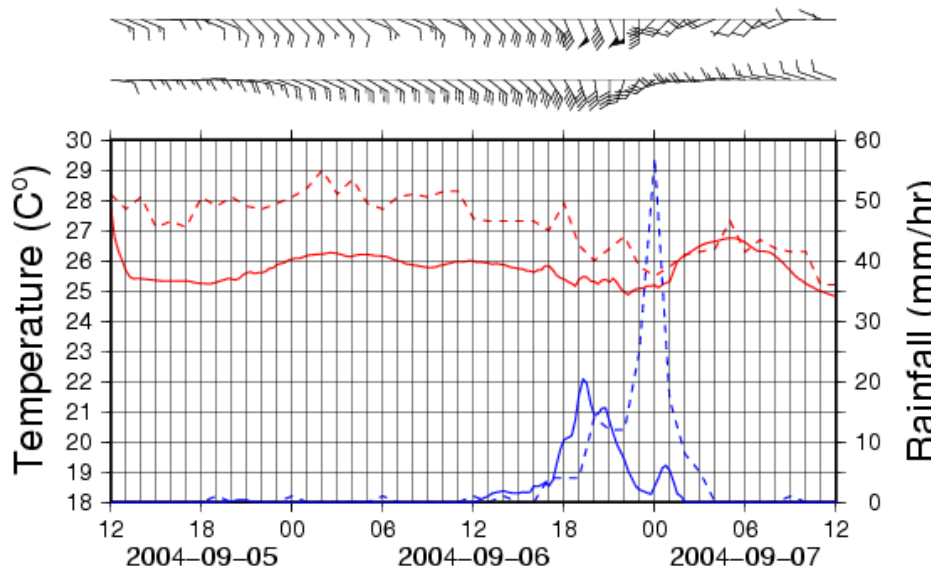
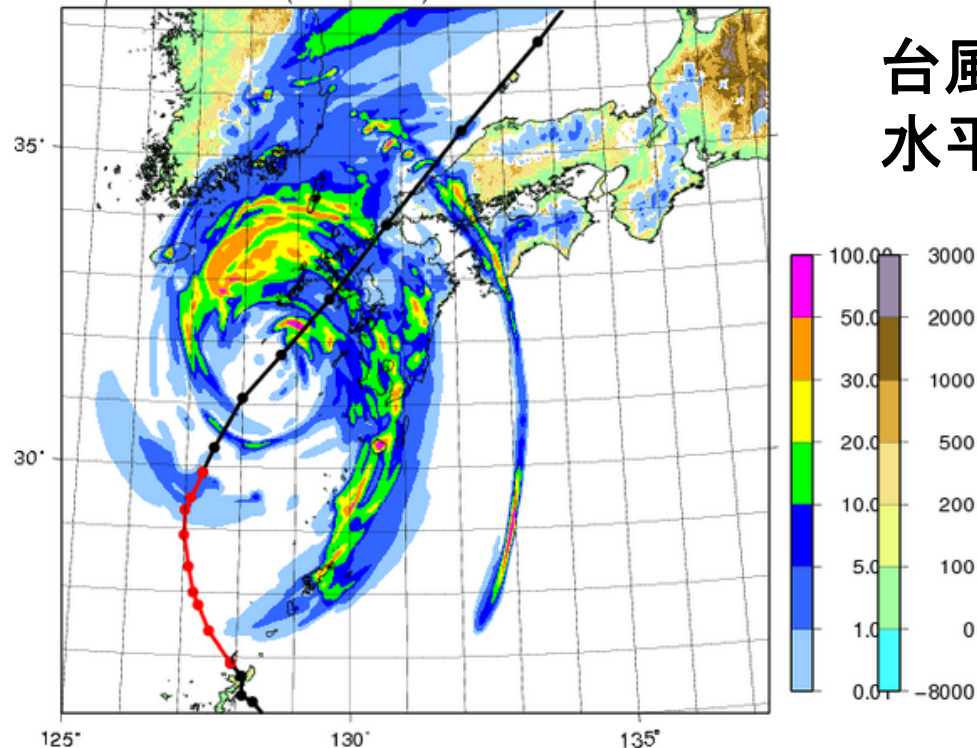
- ・ 雲頂高度の水平分布を用いた検証
- ・ その他(可降水量などを用いた検証)



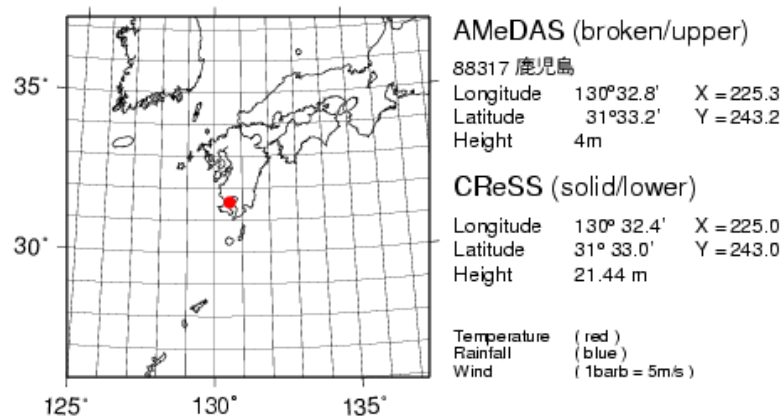
# AMeDASデータを用いたシミュレーション実験の検証

## 台風T0418(2004年9月5日)のケース 水平解像度は1 km

2004-09-06T18:00 ( T = 30.00 hr)



- CReSSを用いたシミュレーション結果とAMeDASによる地上観測の結果(風、気温、降水量)の比較の時系列。
- 今後、散布図を作り、シミュレーションの特性(バイアスなど)を示す。





# MPLレーダー導入による新しい観測・研究手法の開発

- ・ 新しいマルチパラメータ(MP)レーダーが昨年11月に導入された。
  - ・ 最初の設置場所は名古屋大学と岐阜大学。
  - ・ 2台のMPLレーダーによって3次元気流場の測定と2方向からの偏波観測を実施する。

## 観測要素

レーダ反射因子(ZH),  
折り返し補正速度(VH),  
速度幅(WH),  
偏波間位相差( $\Phi$ DP),  
比偏波間位相差(KDP),  
偏波間相関係数( $\rho$ HV(0)),  
差分レーダ反射因子(ZDR),  
交差偏波比(LDRHV, LDRVH),



降水強度(R)の定量測定  
降水粒子の種類, 形状の推定



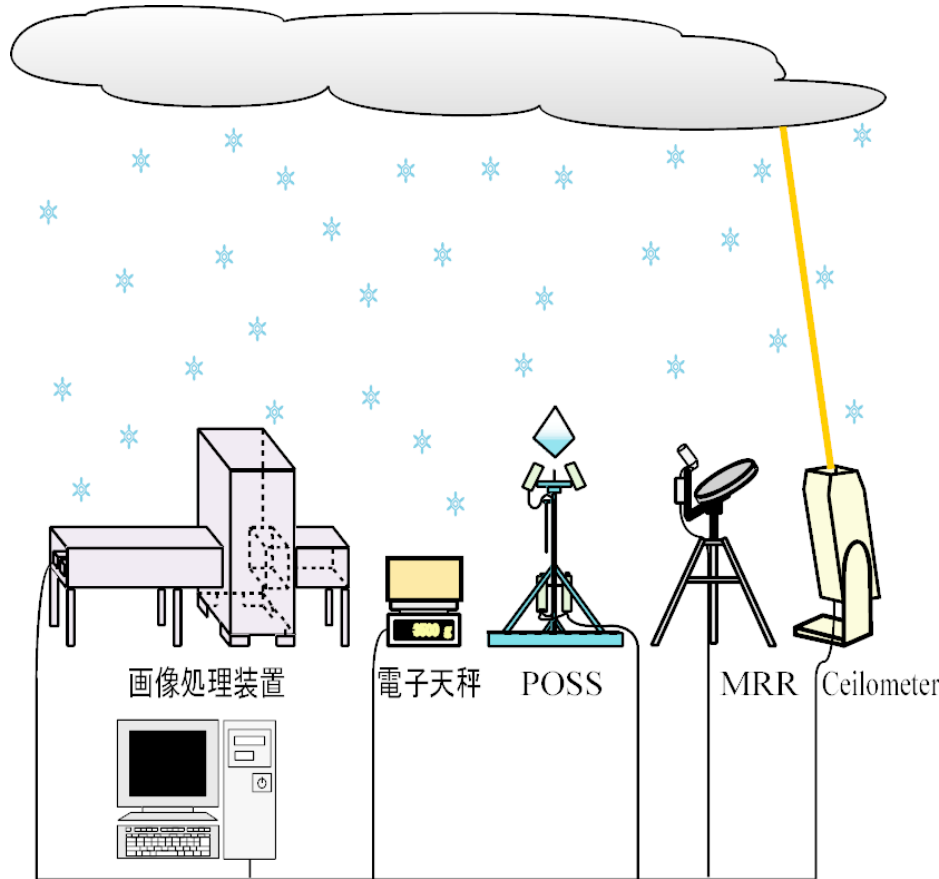
# MPLレーダーを用いたレーダーデータ同化手法の開発

- ・ 導入されたMPLレーダーを用いて、降水強度(R)の定量測定と降水粒子の種類、形状、(粒径分布)の推定を行う。
- ・ レーダーデータの同化手法の開発
  - ・ 降水強度、水平収束量
  - ・ 降水量の定量的な予測手法の確立を目指す。



# 雪と霰の比率の検証方法

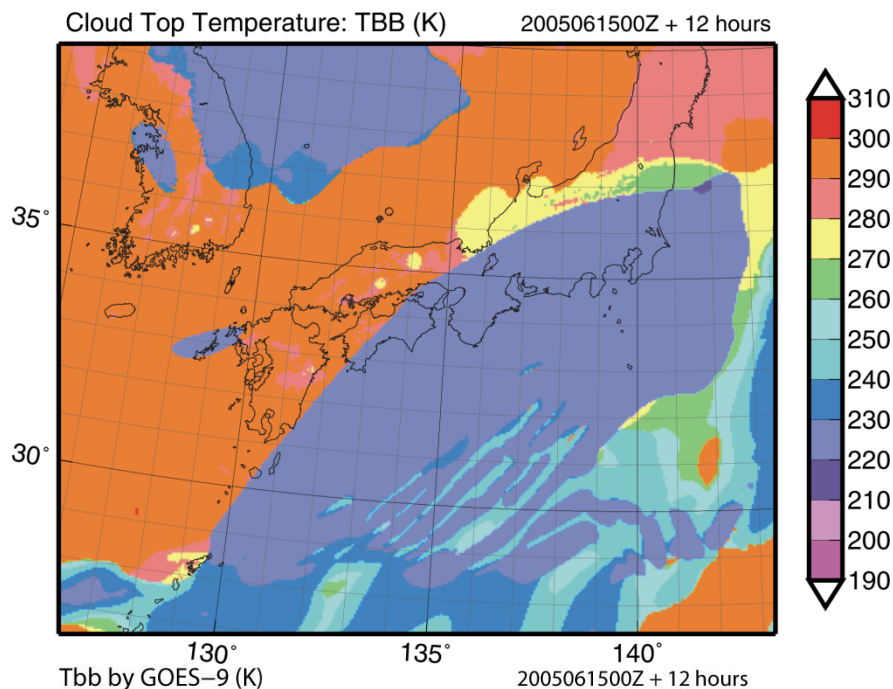
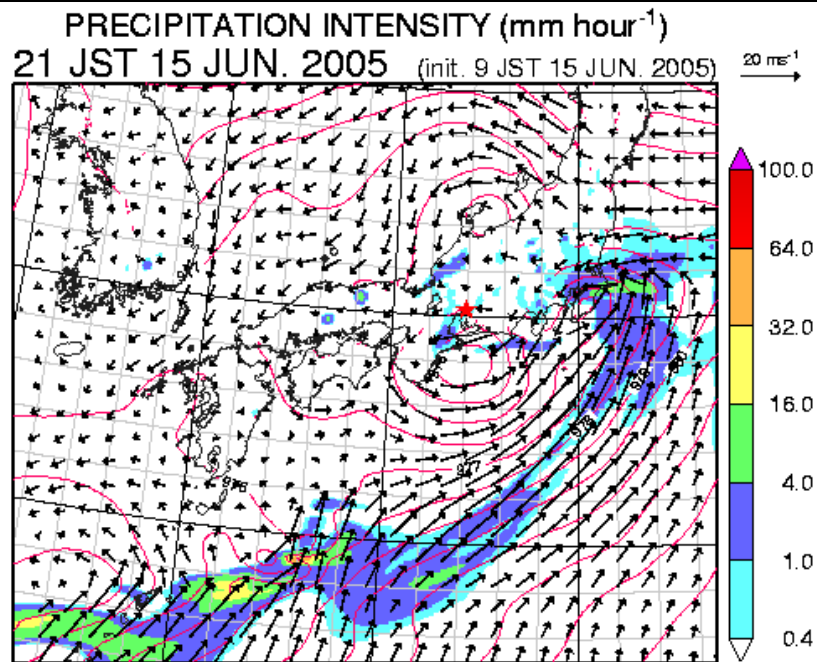
金沢大学における降雪量観測システム  
(北海道大学にも同様のシステムがある?)



- **画像処理装置 (+2DVD)**により得られた降雪粒子における**雪と霰の体積比**の識別を行う。
- **雪と霰の密度**(経験値:モデルで規定された値)を用いて、雪と霰の質量比を計算する。
- **電子天秤**により単位時間当たりの**降雪強度(雪+霰の質量)**を観測する。
- 観測結果における両者の割合と、数値実験における割合の比較を行ない、**雲微物理過程における雪・霰の生成項**についての検討を行う。

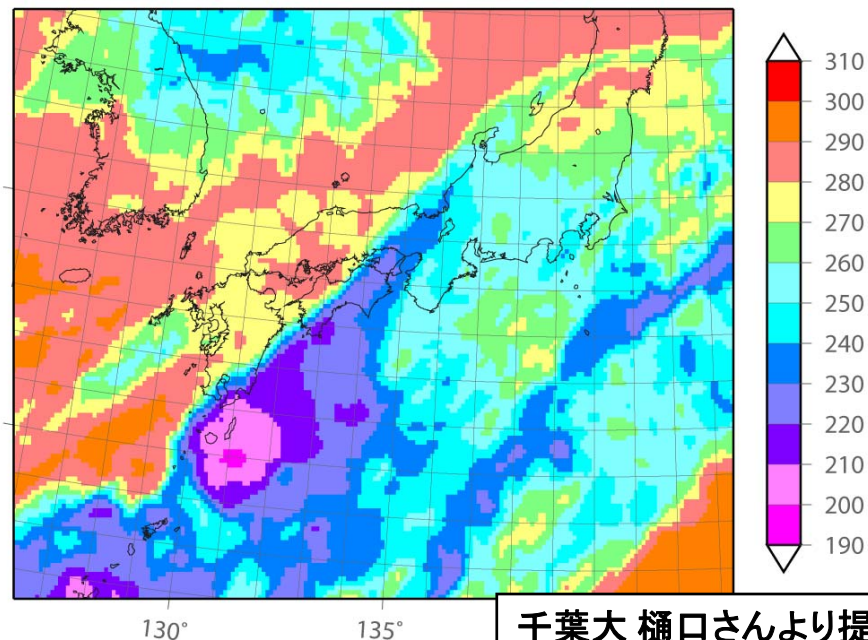
金沢大学・村本研究室のウェブより引用

# 衛星データを用いたシミュレーション実験の検証(雲頂温度)



## 右下:GOES 雲頂輝度温度

- ・梅雨前線に伴う雲域の形状は合っている。
- ・日本海西部の降水を伴わない雲域の形状も合っている。
- ・モデルの雲頂温度は一様(概ね雲頂高度が高すぎる)。
- ・一部(発達した雲域)の雲頂高度は再現できていない。降水域の位置もずれていそう。



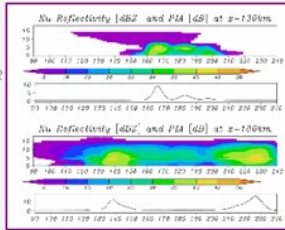


# 衛星データを用いたシミュレーション実験の検証 (SDSUの使用)

## 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

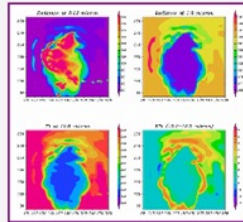
- Special Sensor Microwave/Imager (SSM/I)
- Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Microwave Imager (TMI)
- Advanced Microwave Scanning Radiometer (AMSR) and AMSR-E
- Advanced Microwave Sounding Unit (AMSU) and Microwave Humidity Sounder (MHS)

#### 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.

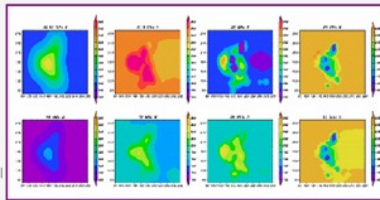


See [README](#) for further details.

[\*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](#), Nagoya University. Since it is maintained on a volunteer basis, prompt reply is not guaranteed.

検証に際しては、増永さんが開発した**衛星データシミュレータユニット (Satellite Data Simulator Unit)**を用いる。

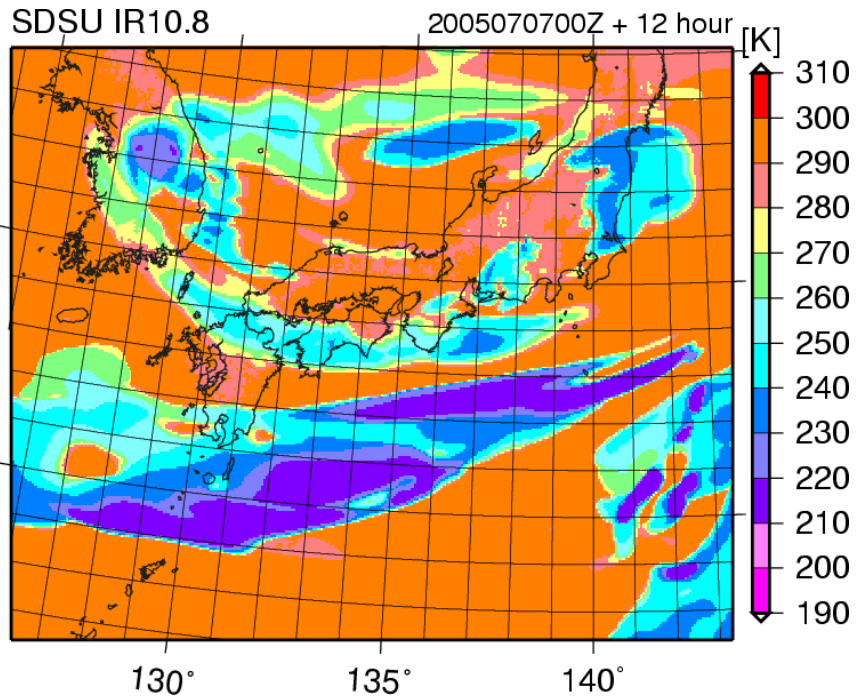
- ・ **マイクロ波放射計 (AMSR)**
- ・ **レーダー (TRMM)**
- ・ **可視赤外**

シミュレーション実験の結果に対して、シミュレータを用いて、衛星データに換算した形でのデータを作成し、実際に衛星観測で取得されたデータとの比較を行なう。

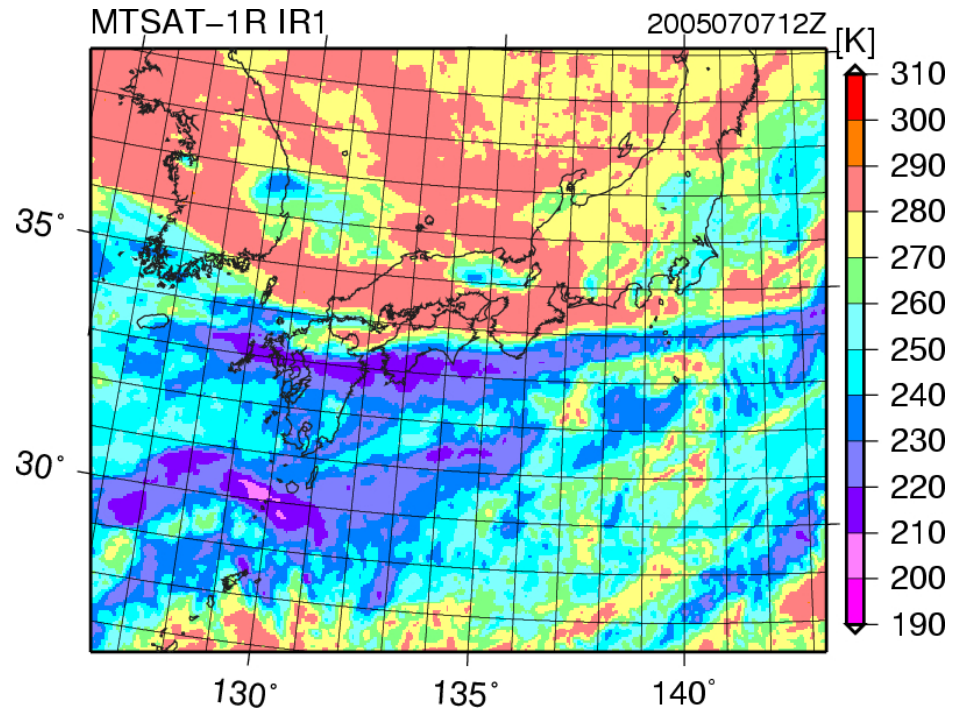
千葉大CEReSのVLチーム (樋口さん他)で検証を実施中。



# モデル結果から得られたIRイメージと観測結果(MTSAT)の比較



CRessのシミュレーション実験にSDSUを適用して得られた雲頂輝度温度



MTSATより得られた赤外画像

千葉大 樋口さん・山本さんより提供

- ・ CReSS の結果では、梅雨前線帯に雲域が集中し、その他の場所では全く雲が出ていない状態となり、観測結果に比べて晴天域と雲域がはっきりと出すぎている印象がある。
- ・ 問題点はCReSSの微物理過程(主に氷晶過程)か、水平解像度が粗すぎるためかは要検討。

# 衛星データを用いたシミュレーション実験の検証

衛星	センサー	測定対象	観測頻度
GMS	IR	$T_{BB}$ (雲頂輝度温度)	24回/day
	VIS	雲量 (水平解像度1km)	~ 12回/day
	WV	鉛直積算水蒸気量 (高度500hPa以上)	
TRMM	PR	降水の鉛直プロファイル	2回/day
	TMI (10GHz)	鉛直積算降水粒子の量	
	TMI (21GHz)	可降水量	
	TMI (37GHz)	LWP (積算雲水量)	
	TMI (85GHz)	IWP (積算氷水量)	
AQUA	MODIS-VIS	雲量 (水平解像度500m)	2回/day
	AMSR/E	可降水量	
	AIRS	温度・水蒸気の鉛直プロファイル	

CloudSat  
CALIPSO

## (4) GCM のパラメタリゼーションの 検証用データの出力

### (4-1) 大規模凝結過程

- ・ PDF予報スキームの検証
- ・ 雲氷予報スキームの検証

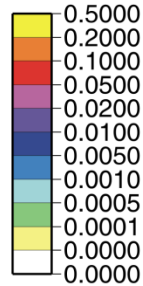
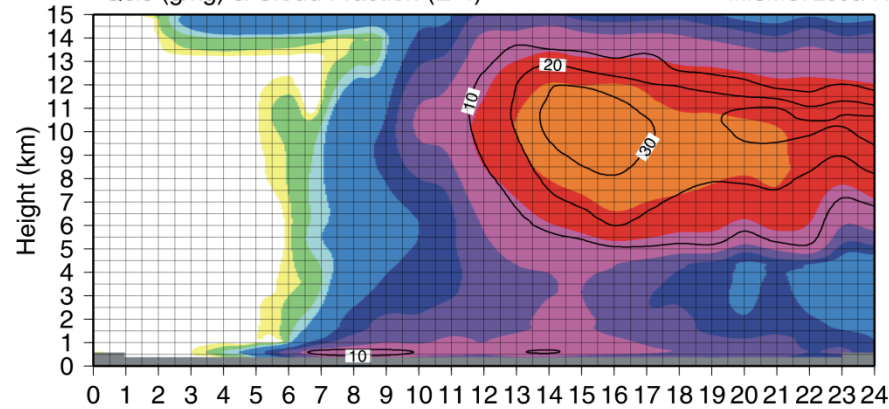
### (4-2) 積雲過程

- ・ 加熱プロファイル

# 対流システムの盛衰に対応したPDFの時間変化

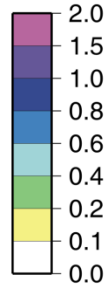
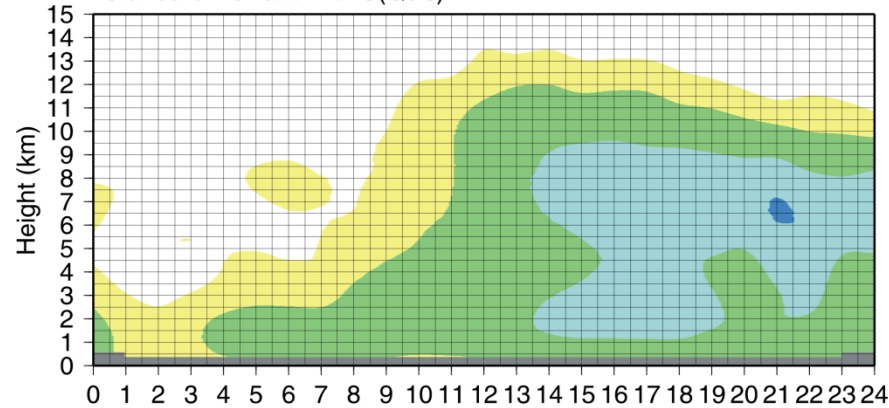
Qcis (g/kg) & Cloud Fraction (E-4)

MISMO: 2006/11/22, Gan\_Is.



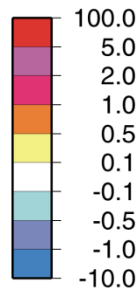
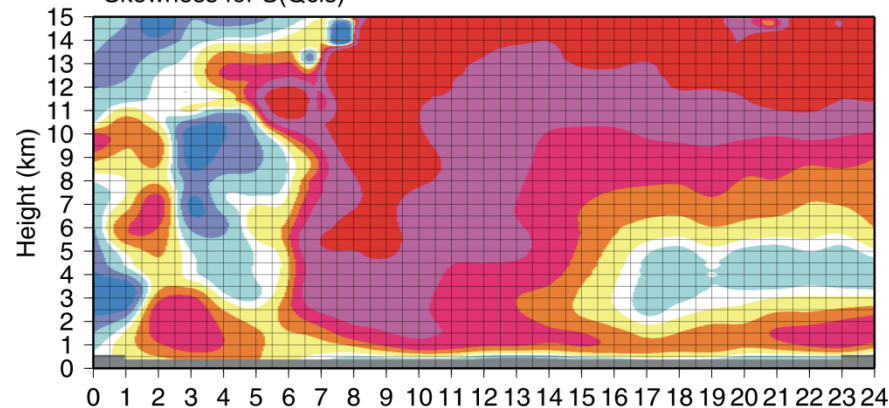
「雲」を形成する水物質の混合比  
+ 雲量 (閾値:  $1.0 \times 10^{-4}$  kg/kg)

Standard Deviation for S(Qcis)



$s \equiv a_L (q'_t - \alpha_L T'_L)$   
S についての標準偏差

Skewness for S(Qcis)



S についての歪度

## (5) 領域埋め込み非斉一モデル結合の開発

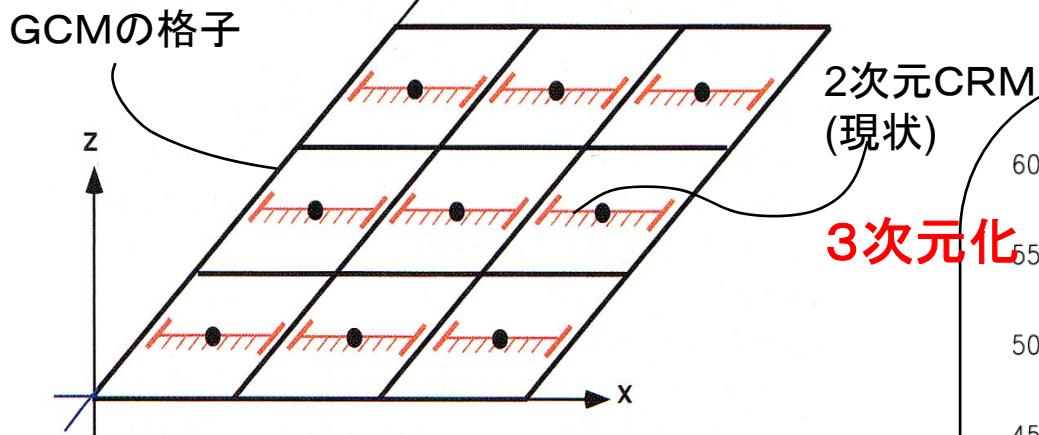


# 領域埋め込み非斉一モデル結合の開発(CReSSの重並列化)

- ・ CReSS を GCM のある格子点に埋め込み(スーパーパラメタリゼーション)、それを用いて GCM の高精度化を図る。
  - ・ CReSS と GCM の計算は**双方向(2-way nesting)**で行う。
  - ・ **任意形状の埋め込み**を可能にする。
  - ・ CReSS が埋め込まれた GCM 格子間での CReSS 間での情報(境界値)のやり取りを可能にする。
- **CReSS の重並列化**
- ・ 領域埋め込み非斉一モデルを用いて、**温暖化時のメソ降水システム**(台風、梅雨前線帯、MJOなど)の内部構造や特定地域における降水量の推定を行う。

# 領域埋め込み非斉一モデル結合の開発 (CReSSの重並列化)

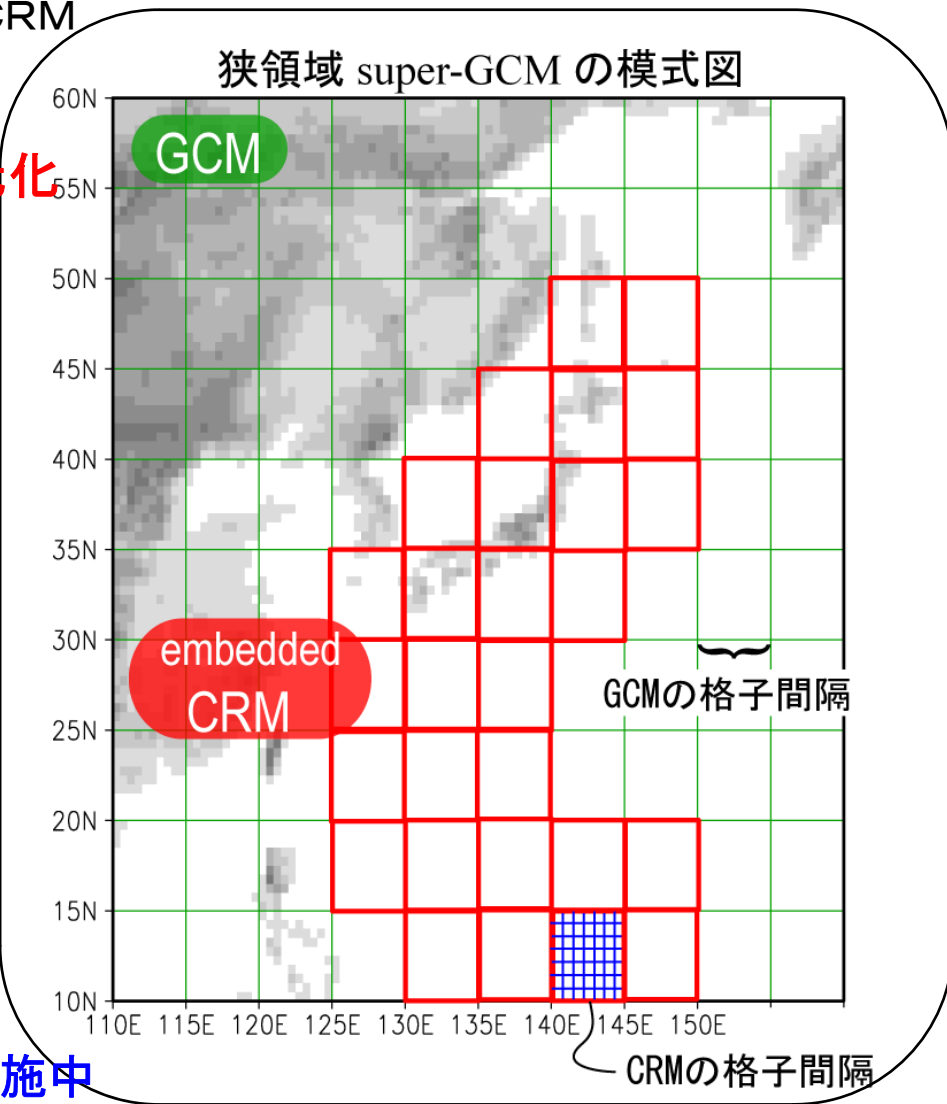
## 従来のスーパーパラメタリゼーション



(非斉一 = 全球静力学 + 領域非静力学)

対象領域周辺の GCM 格子に  
三次元 CReSS を任意形状で  
埋め込み、双方向での計算を  
行う。

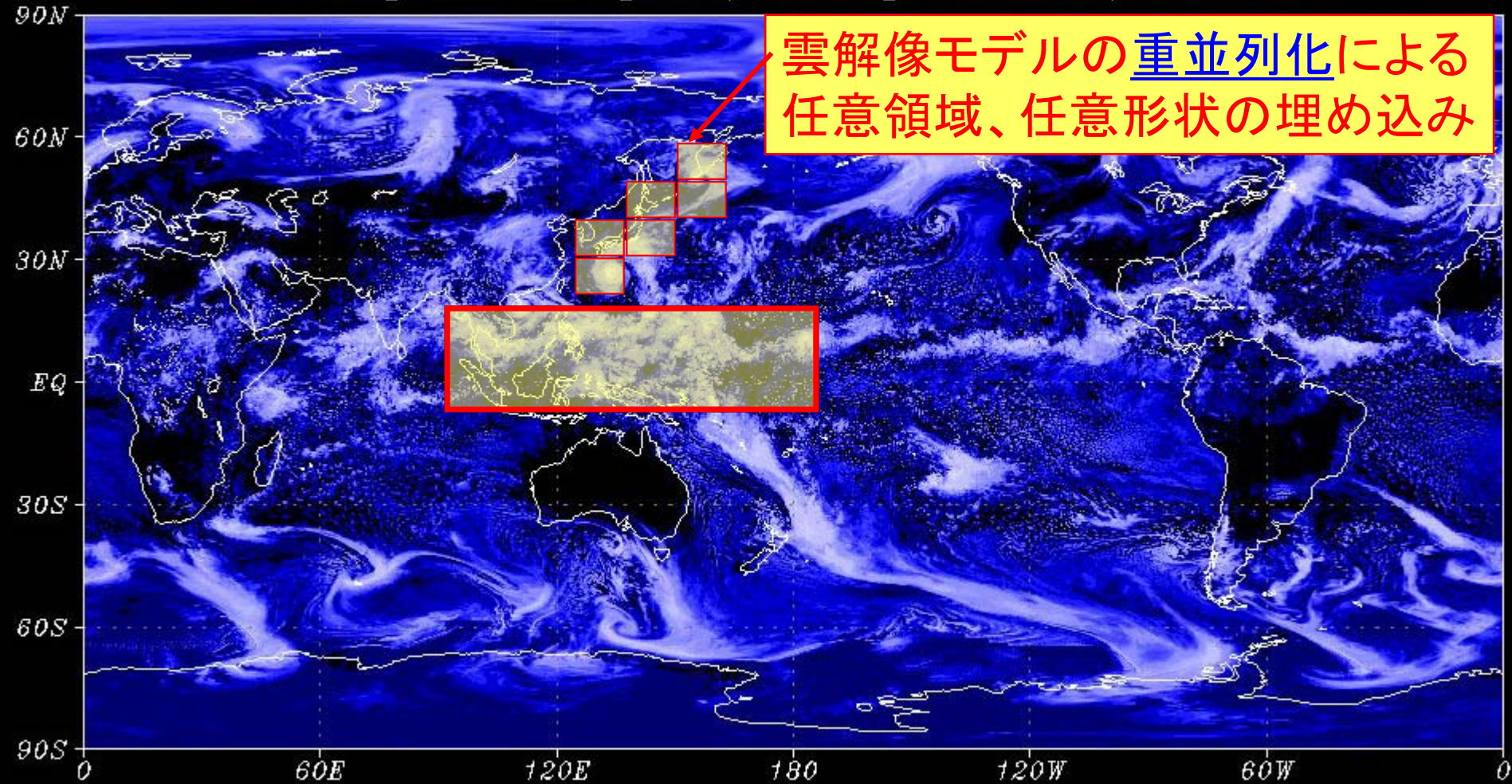
→ 狭領域 Super-GCM



環境省総合地球環境研究推進費

研究代表者: 渡部雅浩さん(北大→東大)で実施中

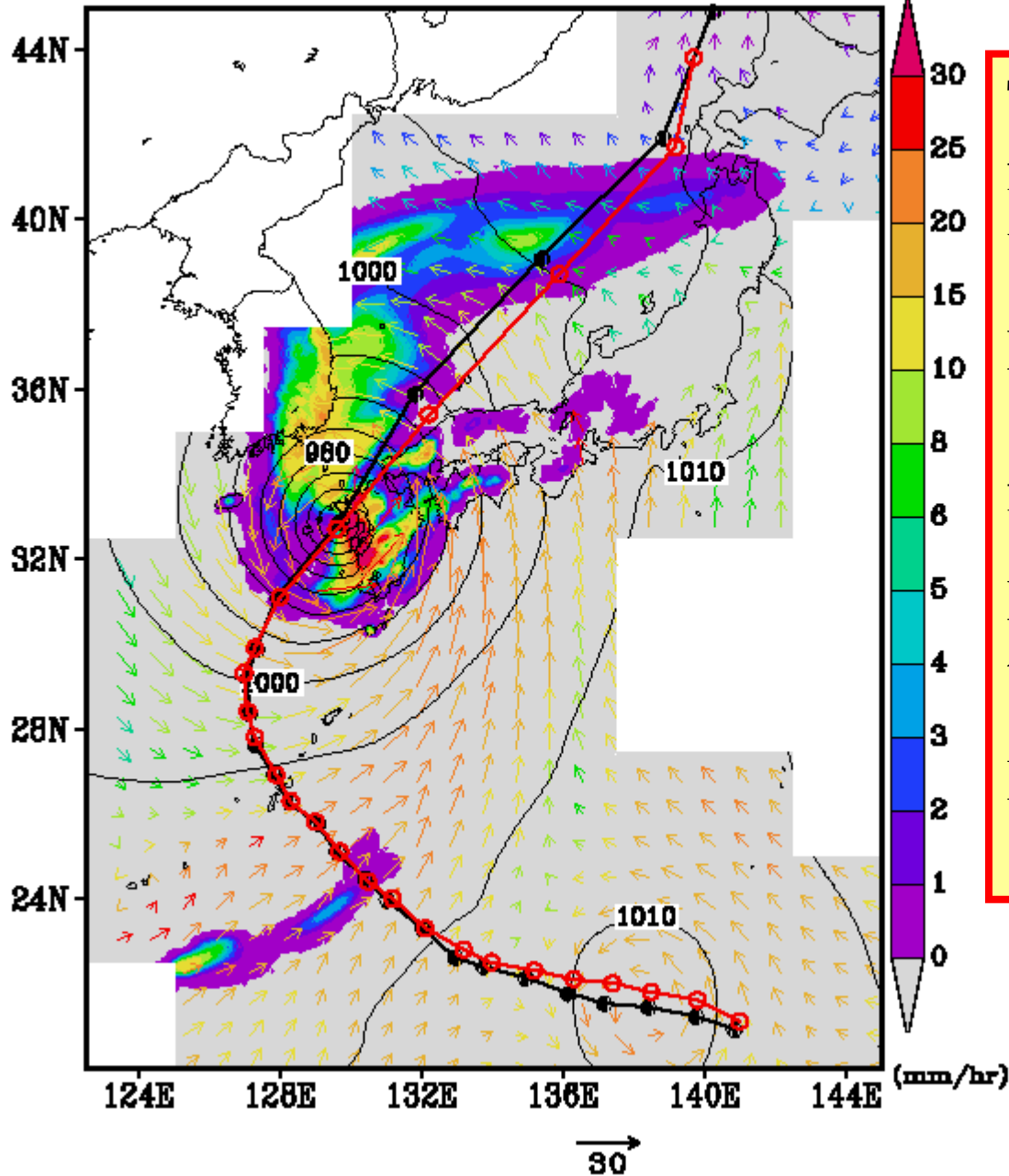
# 領域埋め込み型双方向通信によるGCMとCReSSの結合





00:00Z 07SEP2004 RR, SLP

7 days simulation of T0418



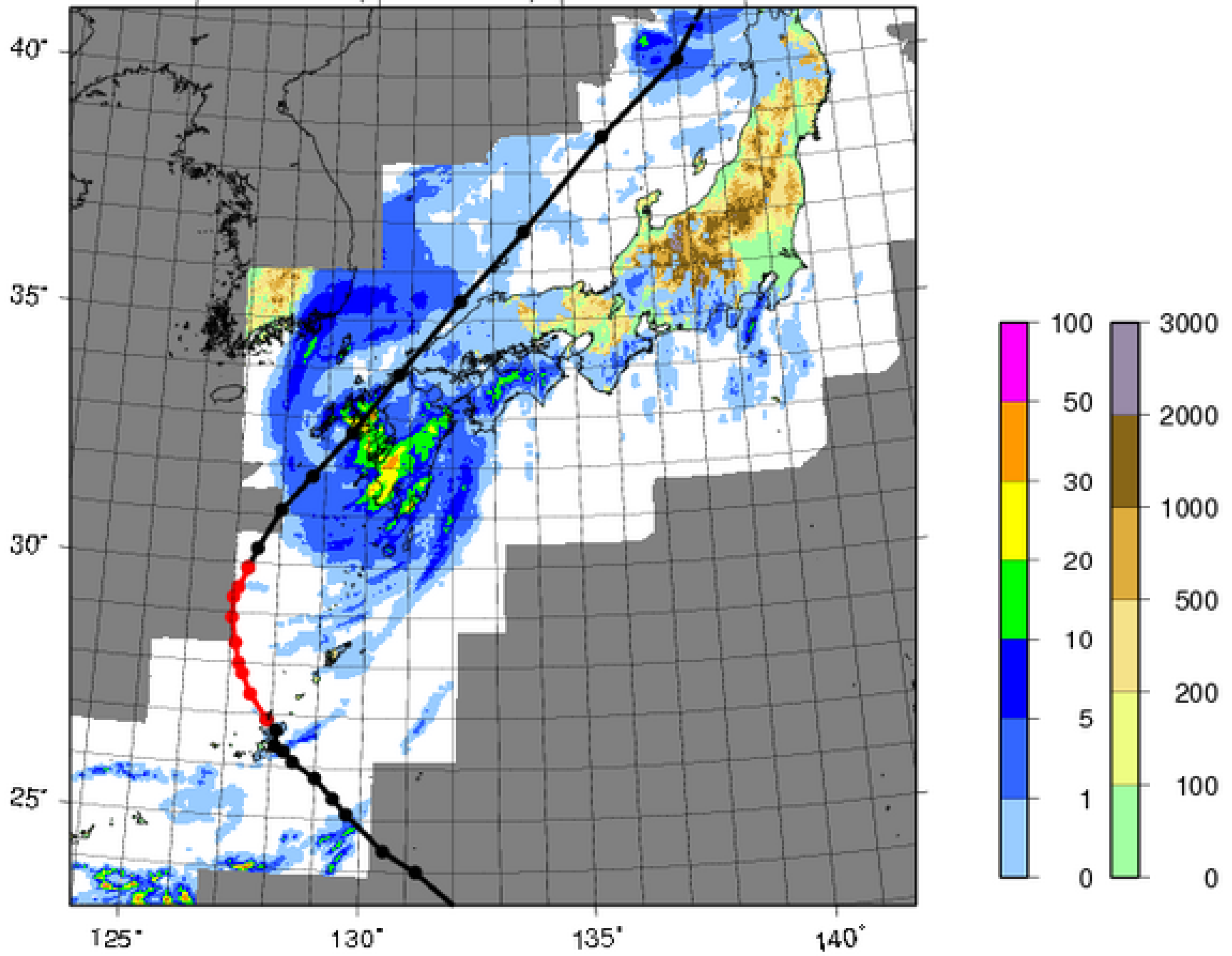
Tiling extension  
function of CReSS  
ver.3

Precipitation rate  
(mm/hr) at 5 days  
from initial time.

Red line: JMA best  
track of Typhoon 18.

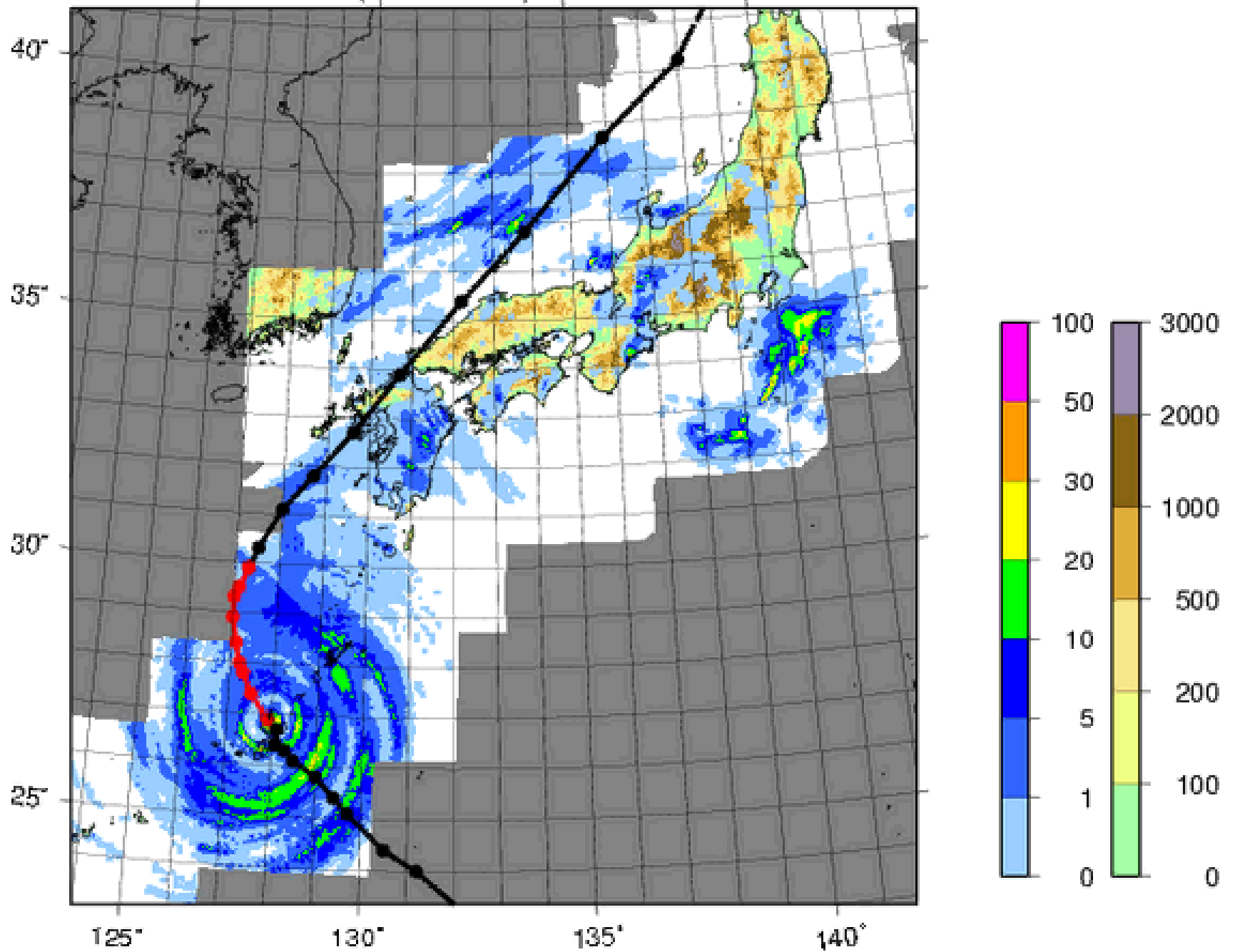
Black line: CReSS  
simulation result.

2004-09-07T00:00 ( T = 36.00 hr)

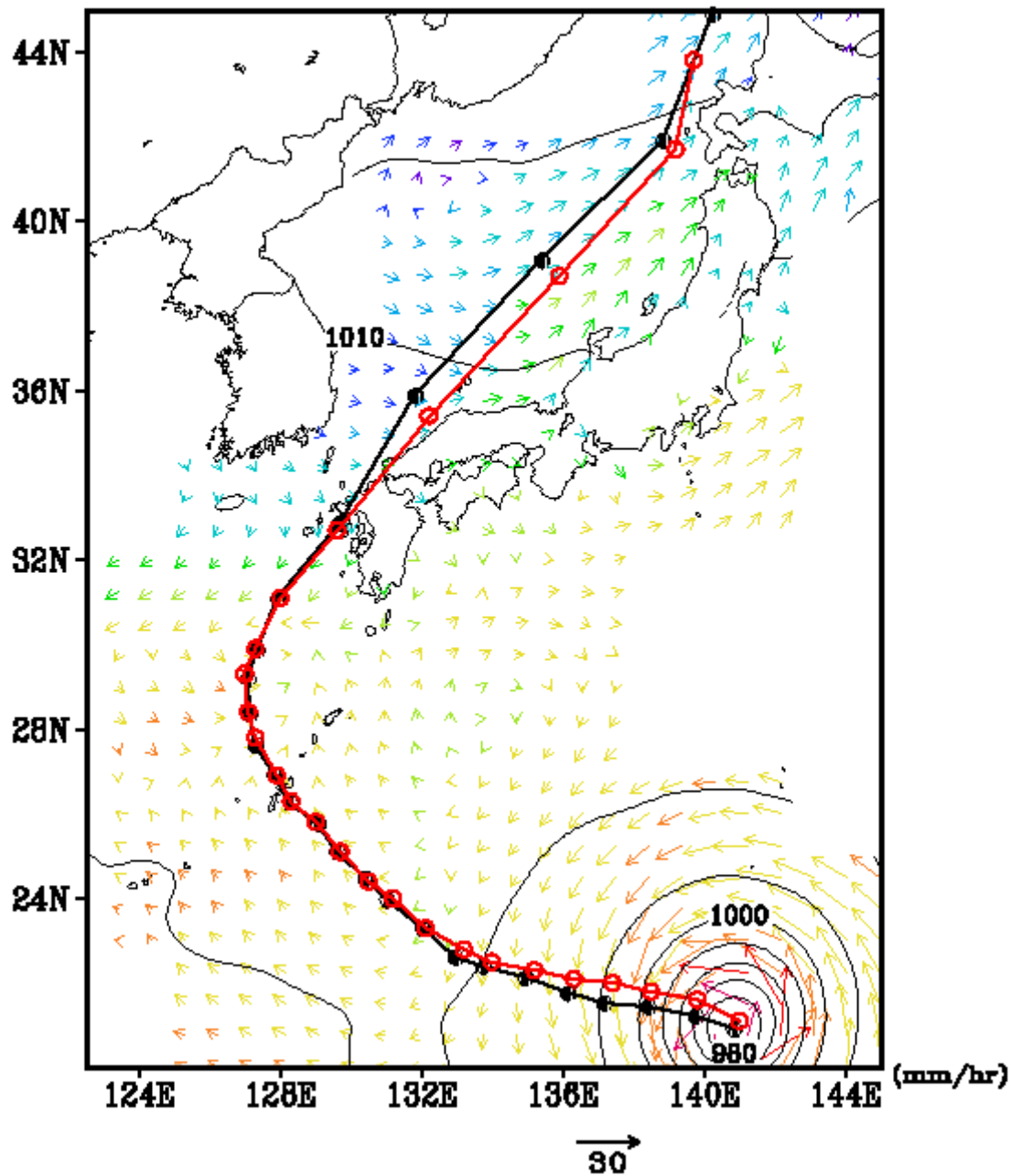




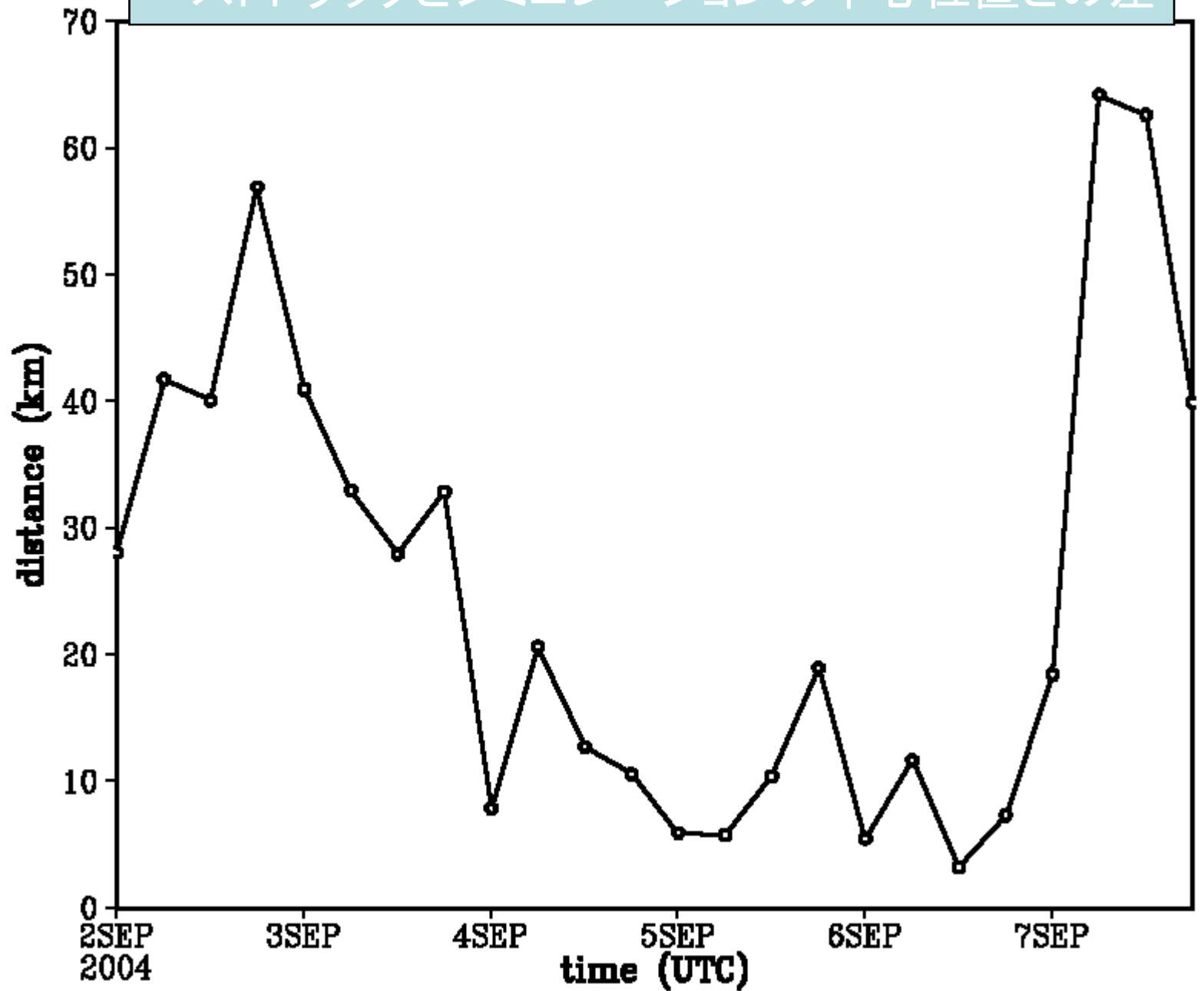
2004-09-05T12:00 (T = 0.00 hr)



# 00:00Z 02SEP2004 RR, SLP



ベストトラックとシミュレーションの中心位置との差



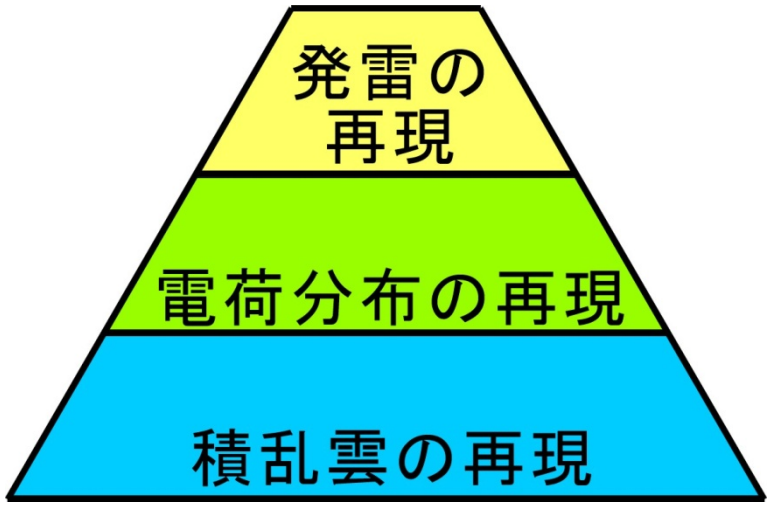
# 雷モデルの概要

## 積乱雲の再現

雲解像モデルCReSS

- 運動方程式
- 熱力学方程式
- 連続方程式
- 水蒸気混合比の式
- 水・氷粒子の混合比の式
- 水・氷粒子の数濃度の式

} 水・氷粒子の存在分布を運動と雲物理から表現



## 電荷分布の再現

水・氷粒子の電荷密度の式 (着氷電荷分離、運動、雲物理)



## 発雷の再現

雷パラメタリゼーション (放電と中和)

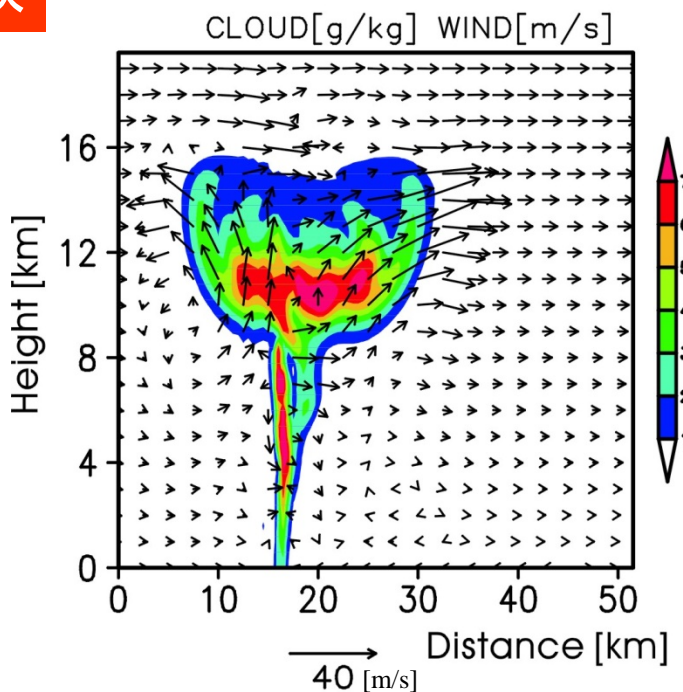
非静力学モデルを用いた発雷予測 (林、他、2003)

= 雷モデル

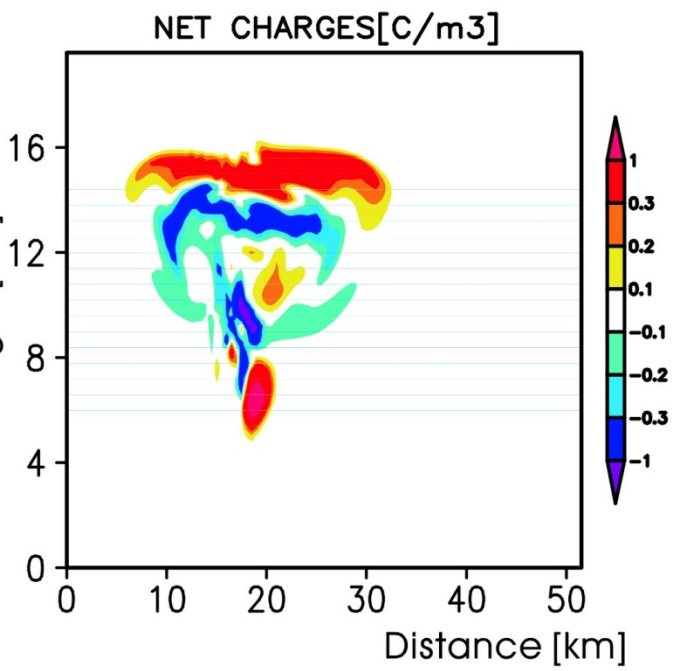
# 理想実験

time = 3900 [s]

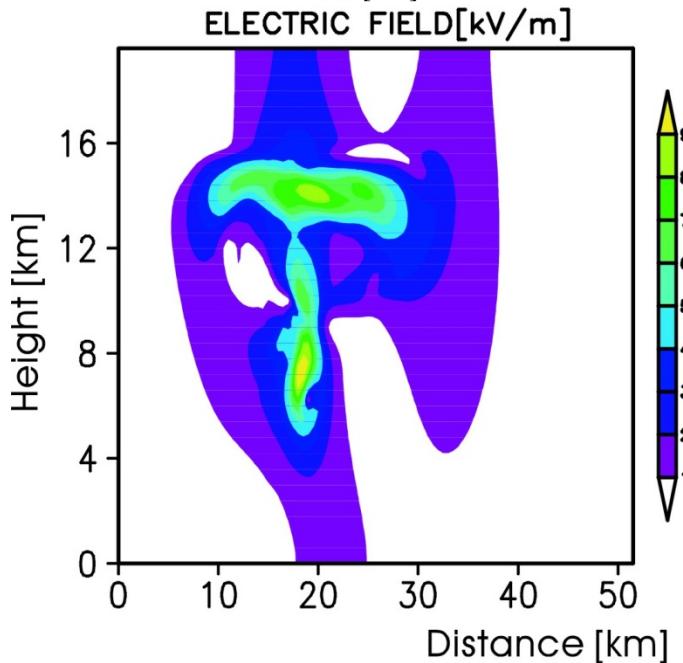
「水・氷物質の総和と風」



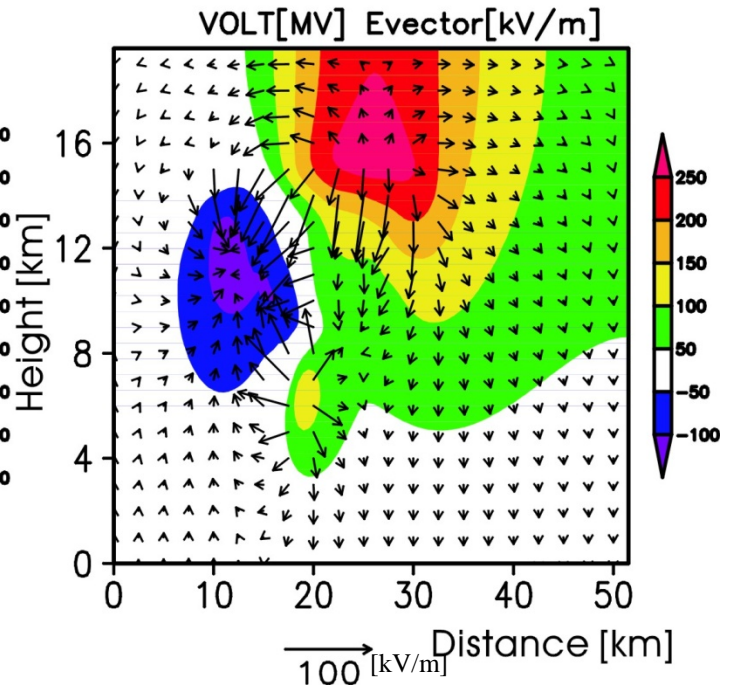
「正味電荷密度」



「電界強度」



「電位と電界ベクトル」





## まとめ(今年度の進捗と来年度の予定)

### (1) CReSS の開発

- ・いくつかのスキームについては導入・テスト済。
- ・今後、放射過程などを中心に、更なる導入を行っていく。

### (2) CReSS を用いたシミュレーション実験の検証方法の確立

- ・地上データを用いた検証については、一部開始  
(→加藤さんの講演)。
- ・衛星データを用いた検証については、千葉大 CEReS との共同研究で実施中。
- ・今後、出力結果の解析を行い、CReSS の特徴(バイアスなど)を検討していく。

### (3) データ同化過程の導入

- ・衛星データ、地上データを用いた同化過程とも進展せず。
- ・来年度以降に実施？

## まとめ(今年度の進捗と来年度の予定)

### (4) GCM のパラメタリゼーションの検証用データの出力

- ・ 対流システムの盛衰に対応した PDF と雲水の質量比の時間変化を出力。
- ・ 現在は未だ熱帯域を対象とした1ケースのみなので、今度は対象領域やケースを増やして、結果の一般化を図る。

### (5) 領域埋め込み非斉一モデル結合の開発

- ・ コーディングはほぼ終了し、結合モデルを用いた実験を実施した(渡部さん)。
- ・ 適用領域やケースを増やして、更なる実験を実施する。