

# 全球非静力学モデルNICAM

## 現在と今後の開発計画について

---

Hisashi Yashiro(八代 尚)

RIKEN, Advanced Institute for Computational Science (AICS)

Kobe, Japan

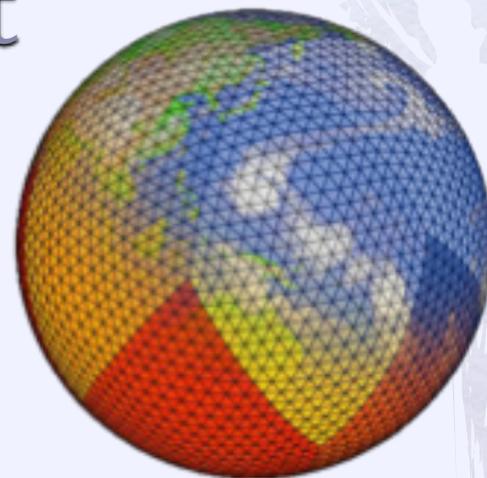
[h.yashiro@riken.jp](mailto:h.yashiro@riken.jp)

# Contents

- ◆ 全球非静力学モデルNICAMの現在
  - ◆ 概要
  - ◆ 京コンピュータでの運用とサイエンスターゲット
- ◆ これからのNICAMへむけて
  - ◆ 最近の取り組み
  - ◆ 将来構想

# NICAM project

## ◆ Non-hydrostatic Icosahedral Atmospheric Model (NICAM)



### ◆ 2000より開発スタート

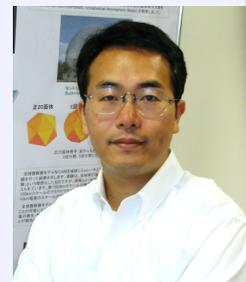
Tomita and Satoh(2005, Fluid Dyn. Res.), Satoh et al.(2008, J. Comp. Phys.)

### ◆ 2004年に世界初の全球3.5km実験を地球シミュレータ上で行う

Tomita et al.(2005, Geophys. Res. Lett.), Miura et al.(2007, Science)

### ◆ 開発主体

- ◆ JAMSTEC, 東大AORI, AICS



Prof. Satoh (AORI, Tokyo univ.)

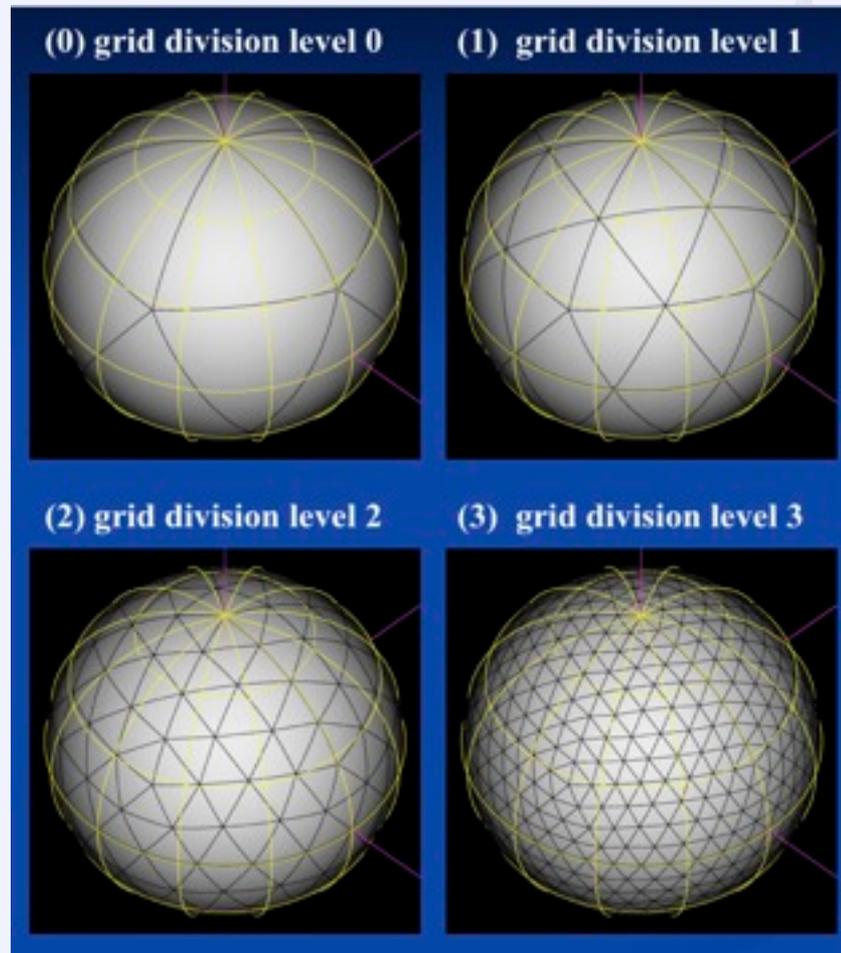


Dr. Tomita (RIKEN AICS)

# Framework of NICAM

## ◆ 正20面体格子系

- ◆ 球面準一様格子  
：等方性に優れる
- ◆ バネ力学による平滑化  
：更に一様性を上げる工夫  
(Tomita et al. 2001, 2002)
- ◆ 高並列性能  
：演算、ノード間通信、I/O
- ◆ Shmidt変換による格子の集中（ストレッチ）も可  
(Tomita et al. 2008)



# Dynamical Core of NICAM

支配方程式系	完全圧縮非静力学方程式系
空間離散化 水平グリッド 鉛直グリッド 地形の扱い	有限体積法 正20面体格子+ばね平滑化 (Arakawa A) Lorentz格子 Terrain-following
保存性	総質量・総エネルギー保存 (Sato 2002, 2003)
時間離散化	遅いモード：陽解法 (ルンゲ・クッタ) 速いモード：HEVI
移流スキーム	Miura(2007), CWC: Niwa et al.(2011)
数値フィルター	4次の超粘性、4次のDivergence Damping

# Physical Process of NICAM

物理過程	デフォルト	オプション (青字は導入中)
積雲		Prognostic A-S, Chikira, kuo, tiedcke,
雲微物理	NSW6	LSC, Kessler, G98, lin, WSM6, NDW6
放射	mstrnX	
境界層乱流	MYNN2.5	MY2, MY2moist, MY2smith, MY2.5, Smagorinsky
陸面	MATSIRO	bucket
海洋	slab ocean	fixed SST, COCO
地表面	Uno95	
エアロゾル		SPRINTARS
大気化学		CHASER

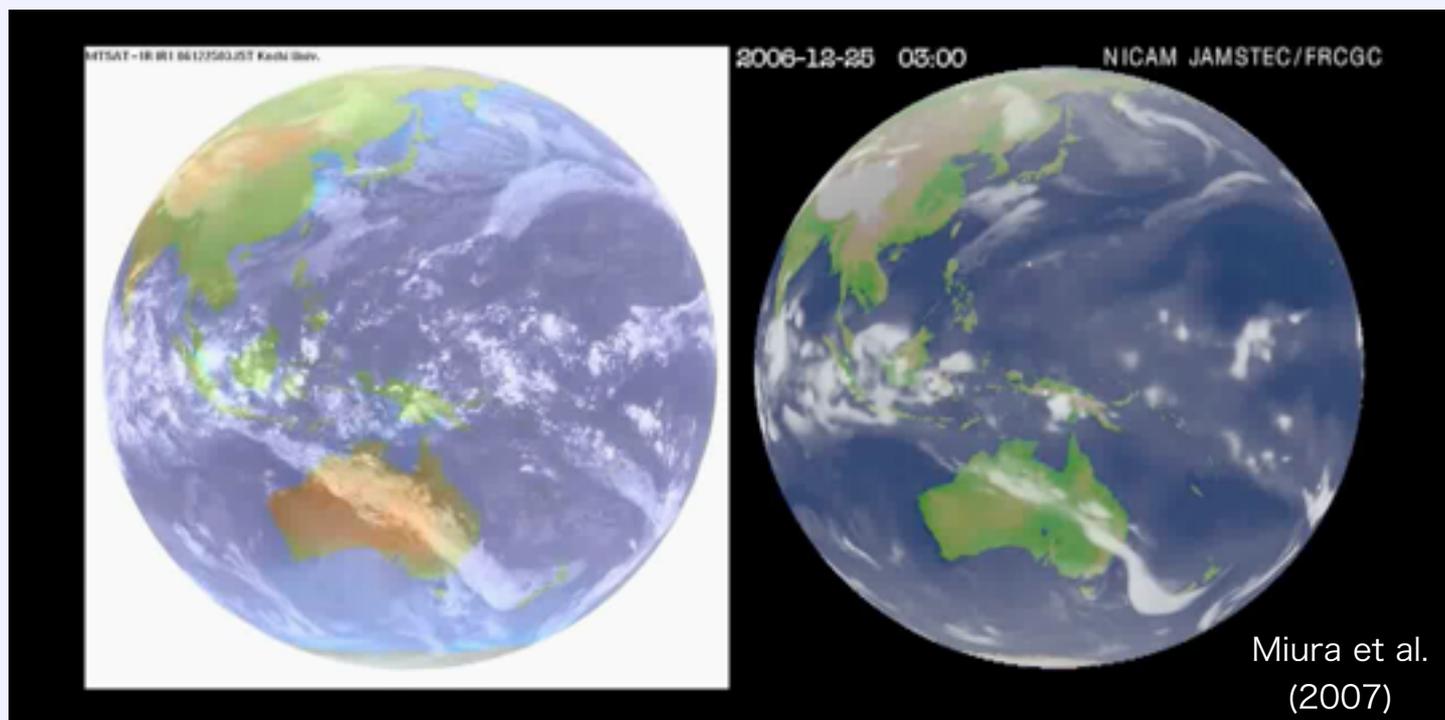
(各スキームのリファレンスは論文参照のこと)

# Coding Style of NICAM

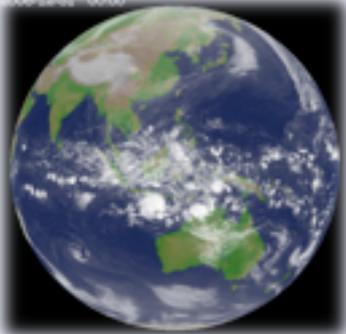
- ◆ コーディング
  - ◆ Fortran90, 気象庁コーディング規約に準拠
  - ◆ モジュールによる管理
  - ◆ I/OはCで (Packed NICAM Data format)
- ◆ 並列化手法
  - ◆ ノード間並列：MPI（ほぼ隣接通信のみ）
  - ◆ ノード内並列：OpenMP, システムによっては自動並列化
- ◆ データ配列
  - ◆ (i,j,k,l,v,...)=(水平,鉛直,region,変数,...)  
：最内配列長を長くとるベクトル機向けの設定

# Science target of NICAM

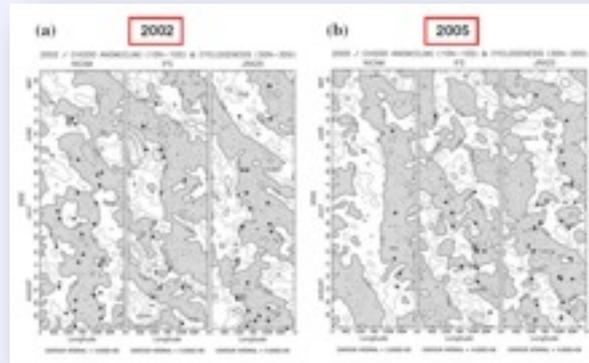
- ◆ そもそもの動機：熱帯の雲システムを積雲パラメタリゼーションなしで実現する
- ◆ そのための高解像度、そのための高並列性



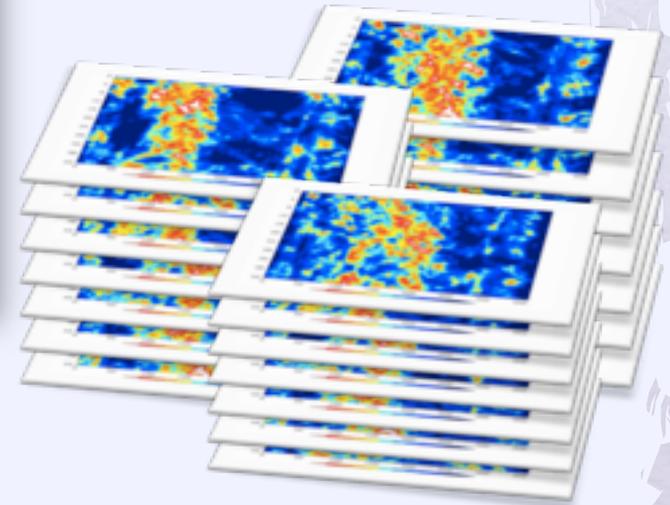
# Scientific target using the K



Case study  
(Miura et al. 2007)



Several weeks and month  
in Athena Project  
(Sato et al. 2012)



Ongoing project: Winter  
MJO simulations of  
several decades

## MJO study

デモンストレーションから科学的知見へ

# The K computer



- ◆ Won the TOP500 list twice (2011)
- ◆ Rmax=10.51PFLOPs (93% efficiency)
- ◆ The application won the Gordon Bell prize (2011)
- ◆ Shared use started on September 28<sup>th</sup>, 2012

## ◆ Specifications

- ◆ CPU: Fujitsu SPARC64VIIIfx (128GFlops, 8core)
- ◆ 82944 nodes, 6D mesh/torus network
- ◆ 1PB memory, 64GB/s bandwidth (B/F=0.5)
- ◆ 10PB distributed local file system, 30PB storage



# Porting NICAM from ES to K

- ◆ ベクトル機からスカラー機への移植
  - ◆ ポーティング開始(2010年)当時：実行効率は~4%
  - ◆ ステンシル計算カーネルのキャッシュ最適化  
： divergence/gradient/diffusion operators
    - ◆ カーネルによっては10%以上の効率に
- ◆ が。。。
  - ◆ トータルの効率は~1%程度しか向上しなかった  
： アムダールの法則
  - ◆ 足を引っ張る原因は別のところに

# Where is the problem?

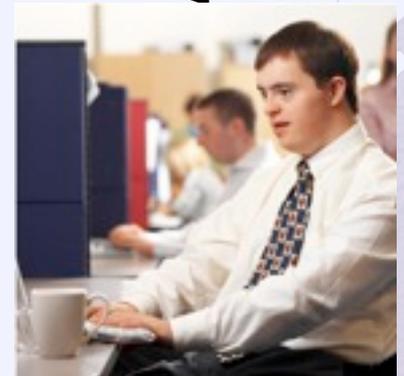
- どう書いたら遅くなるのか実は知らないよ！

- もうホットスポットは無いよ！
- コード規模が大きすぎて特定できないよ！



気象気候科学者&学生

詳細なタイマー計測で  
しらみつぶしに調査



計算科学研究者  
チューニングスタッフ

# コードを遅くしていたのは・・・

## ◆ 気象・気候研究者のクセ

- ◆ 定義式を書くのが大好き！  
: 演算しないのにメモリ圧力だけ上がる

$$C \equiv A - kB$$

If it used only once.

- ◆ 不安になったらすぐゼロ埋め、HALO埋め！

`work(:, :, :, :, :) = 0.0D0` ...oh NO!

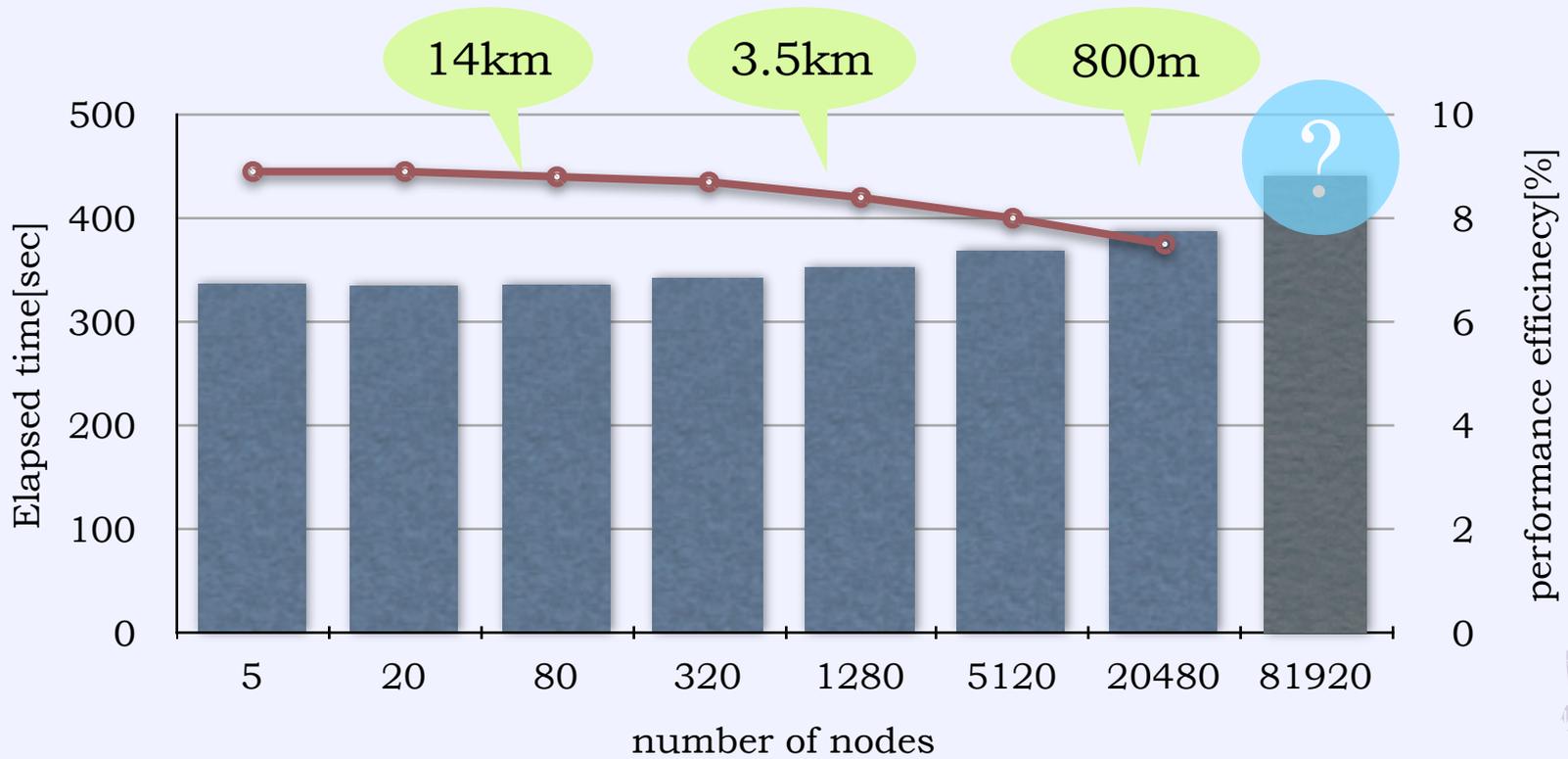
- ◆ どんどん条件分岐を増やす（ループの最内にさえ！）

# Performance on the K

- ◆ Performance efficiency
  - ◆ Just after porting from ES : ~4%
  - ◆ Cache optimization to stencil operators : ~5%
  - ◆ Cleaning the time-wasting codes : ~7%
  - ◆ Modify conditional branches, refactoring : **~10%**
- ◆ Dynamical core: 7%, Physics: 12%
- ◆ データ構造の変更で高速化させた部分は少ない  
：京はハードウェアプリフェッチが速かったのが吉

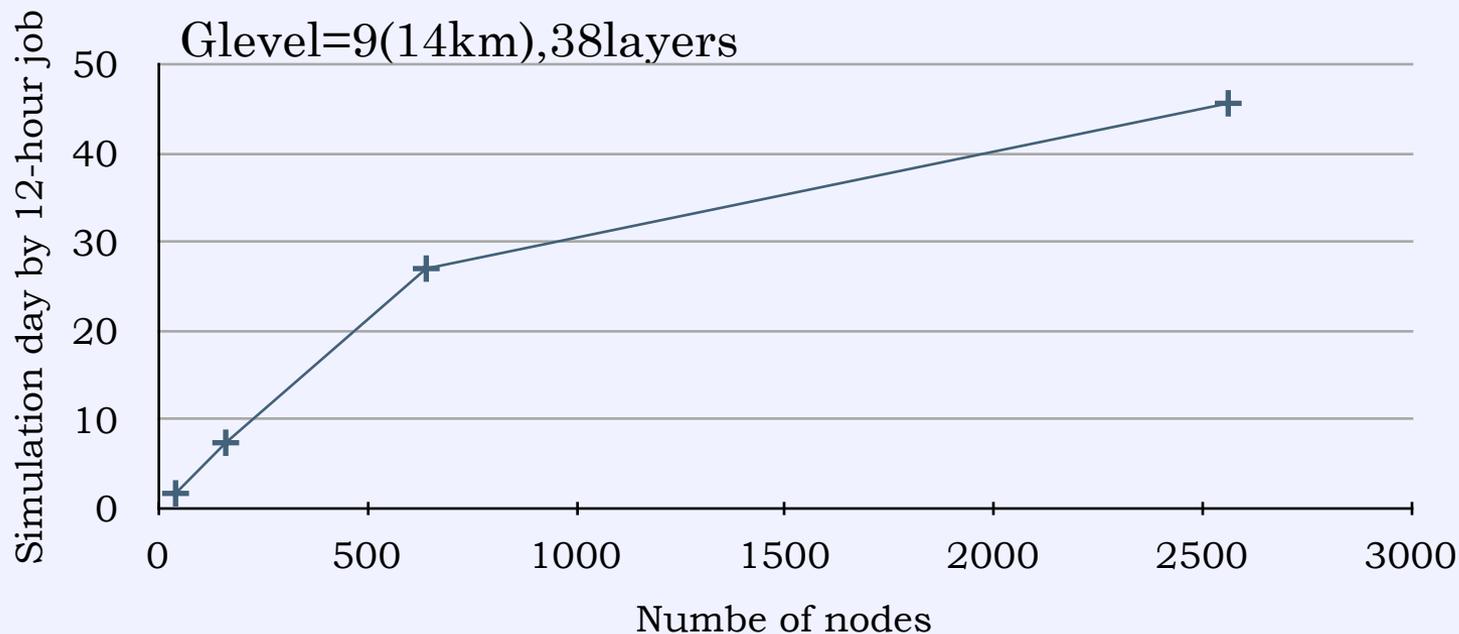
# Scalability

- ◆ Weak scaling : same problem size per node
  - ◆ 良好なスケーリング性能を示す
  - ◆ 81920ノード(655360cores)のテストも実行中



# Scalability

- ◆ Strong scaling : same problem size in total
  - ◆ つまり : 京の1%以下のリソースを用いて、14km実験が14時間で1ヶ月進む
  - ◆ ノード数を増やすと効率は落ちる : 通信の占める割合増



# Simulation by NICAM



Glevel=11(3.5km),94layers, by R.Yoshida

これからのNICAMに向けて

---

# NICAMの精神

- ◆ より原理的なプロセスに近づく努力をする  
：高解像度・素過程精緻化から現象を解明する

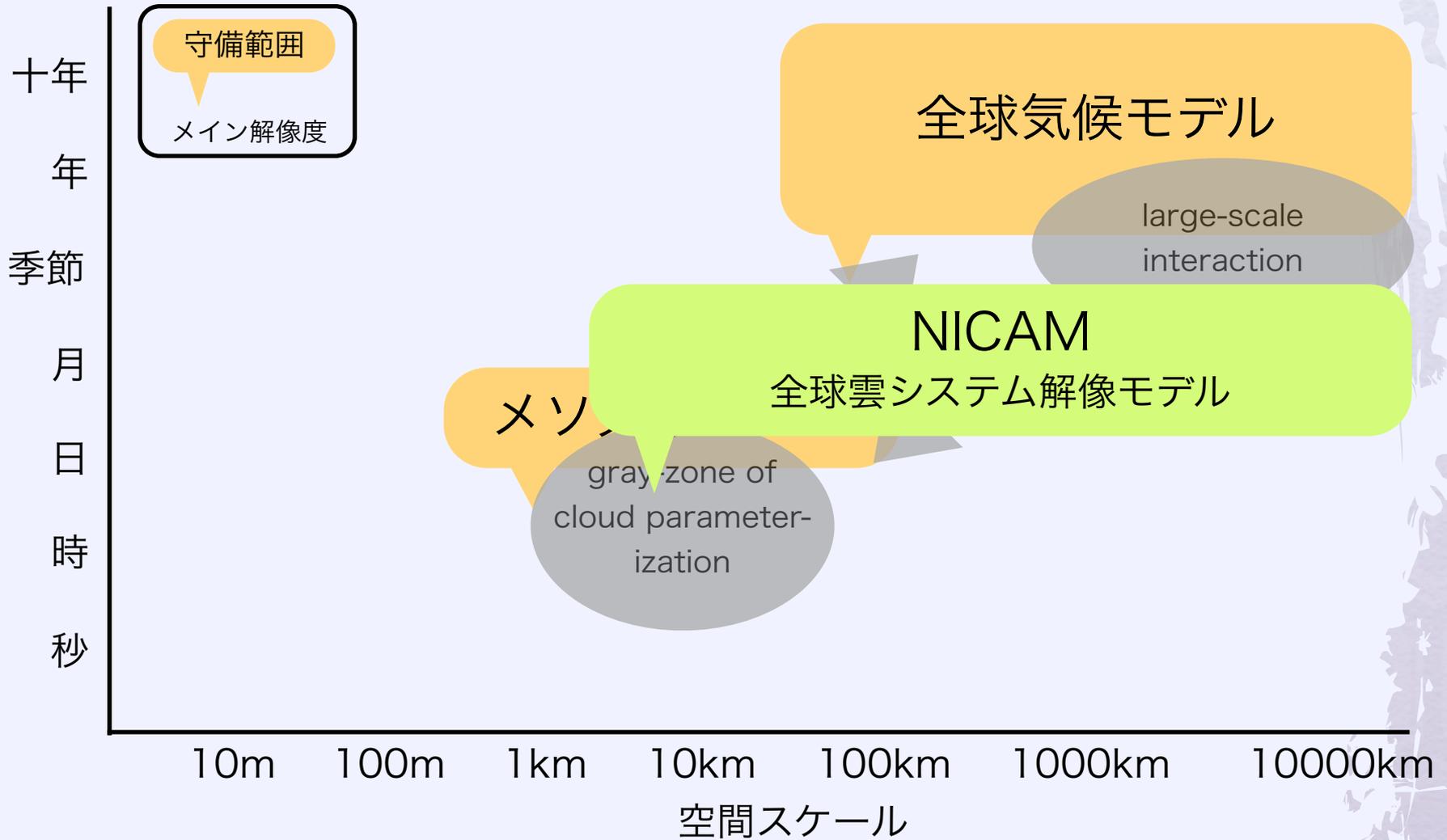
更なる高解像度実験  
各コンポーネントの拡充

- ◆ 想定しうる最高の計算機を使い切る  
：今計算が重いことを出来ない理由にしない

次世代スパコンの動向を常に視野に入れる

# NICAMの守備範囲

時間スケール



# NICAMの守備範囲

時間スケール



# コンポーネントの拡充

Global Cloud-system  
Resolving Model

Regional  
Model

**NICAM**

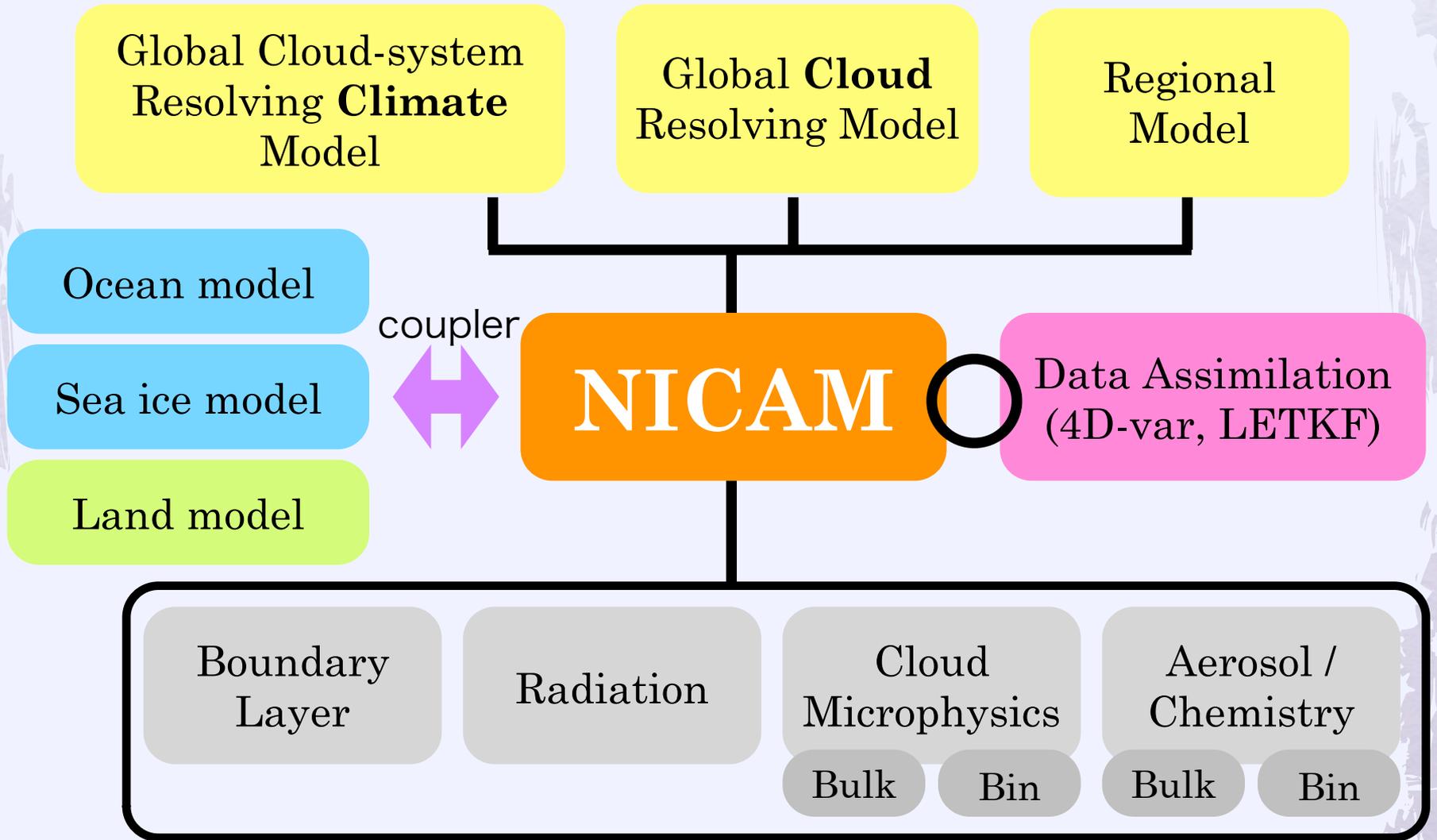
Land model

Boundary  
Layer

Radiation

Cloud  
Microphysics

# コンポーネントの拡充



# 最近の開発状況

- ◆ 異なるグリッドストレッチング(伊賀)
- ◆ Diamond NICAM(原)
- ◆ Plane NICAM(大野,野田) : 球面上→平面にしてLES
- ◆ CO<sub>2</sub>,CH<sub>4</sub>トレーサ移流、4D-var(丹羽)
- ◆ LETKF(近藤)
- ◆ NICAM-COCOカップリング(荒川)
- ◆ 領域エアロゾル&LETKF同化実験(打田,Dai)
- ◆ 領域化学実験(五藤,八代)
- ◆ 河川、水同位体実験(芳村)
- ◆ 成層圏力学過程とその検証(小玉)

# 越えるべき課題

## ◆ 更なる高解像度実験

- ◆ 爆発するデータ量に本実験以外の足回りがついていない：データの準備からポストプロセス、解析ツールを含めた一連の流れの整備
- ◆ 現在使っている物理スキームが高解像度でそのまま使えるのか？
  - ：検証や新たなスキーム開発の必要性

## ◆ 各コンポーネントの拡充

- ◆ 長年の拡張で現状ですら管理がしづらい状況に
  - ：コードをポリシーをもって整理＝「型」を持つ

# 越えるべき課題

- ◆ 次世代スパコンの動向を常に視野に入れる
  - ◆ この先はヘテロの道
    - ：力学過程についてGPU化の研究も(東工大)
  - ◆ エクサスケールコンピュータの開発計画に参加
    - ：将来のHPC整備の議論に強くコミットし、新しいプログラミング手法も取り入れられる柔軟さを失わない

# 開発ストラテジー

## ◆ モデル構造の整理

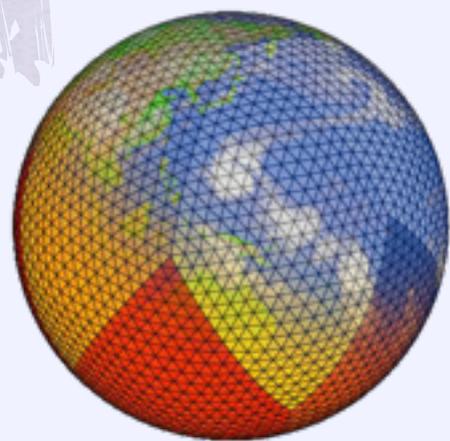
- ◆ 各コンポーネントのライセンスポリシーを分離
- ◆ 力学コアはオープンソース化したい
- ◆ ライブラリ化のための「口」を揃える

## ◆ さらなるユーザーの獲得

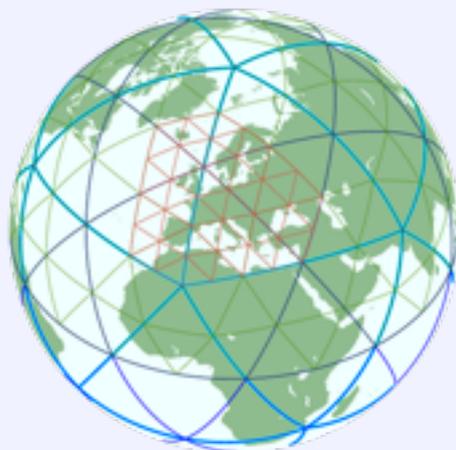
- ◆ 開発者の継続的な獲得こそが至上命題
- ◆ 開発コミュニティポータルを設置と経験の蓄積
  - ◆ wiki, git, バグトラッカー, 講習会
  - ◆ documentation

# モデル開発の国際協調

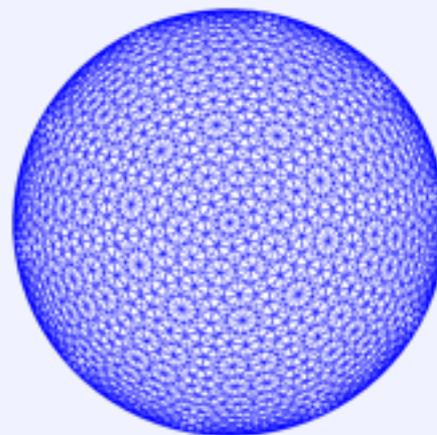
- ◆ G8 call : ICOMEXプロジェクト
  - ◆ 正20面体モデルの国際比較とエクサスケールに向けたHPCシステムの開発検討(2011-2014)
  - ◆ 日本チームはモデル相互間比較：4つの全球モデルの力学テストを複数のシステム（京を含む）で実行



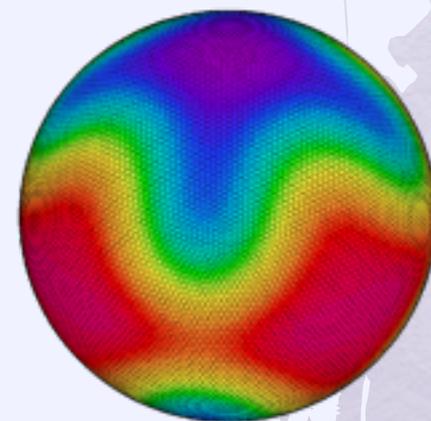
NICAM(Japan)



ICON(Germany)



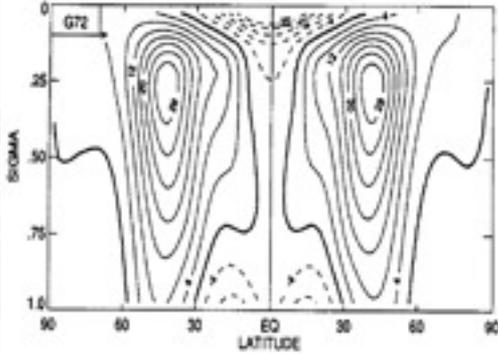
MPAS(USA)



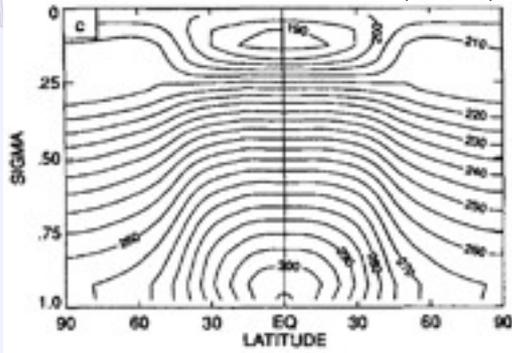
DYNAMICO(France)

# Preliminary Result: Held and Suarez (1994)

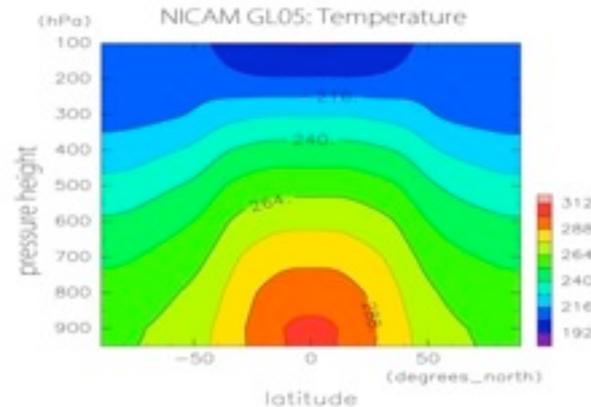
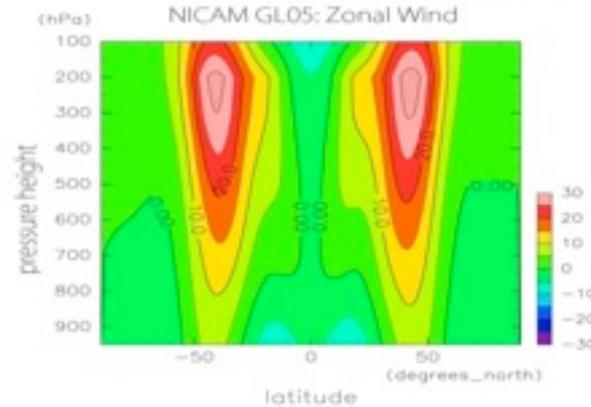
Held and Suarez (1994)



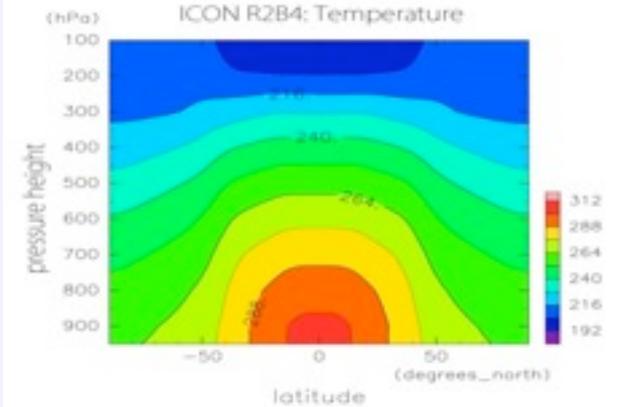
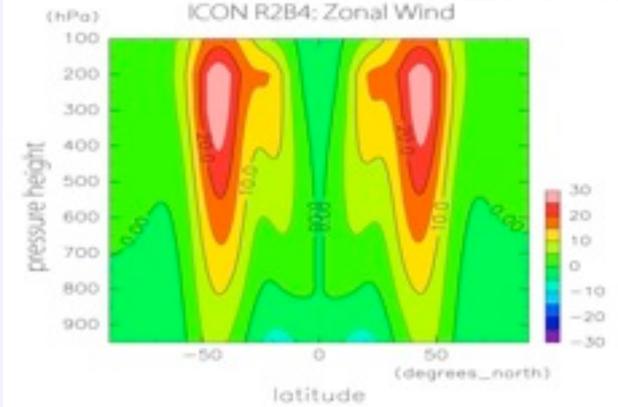
Held and Suarez (1994)



$\Delta X=240\text{km}$



$\Delta X=160\text{km}$



Integration Period: 1300 days (first 300 days are for spin-up)

Platform: Intel Xeon (Westmere) Cluster

# 最後に

- ◆ NICAMは戦い続ける気象気候モデル
  - ◆ 速くあるべし
  - ◆ 必要なプロセスが揃っているべし
  - ◆ 新しいサイエンスを創出すべし
- ◆ 戦い続けるには・・・
  - ◆ モデルの可用性を上げる努力は必要
    - ：ユーザビリティ、コードの清潔度、公開度
  - ◆ ライブラリ化は確実に互いを生かすはず

今日から正念場！





どうもありがとうございました