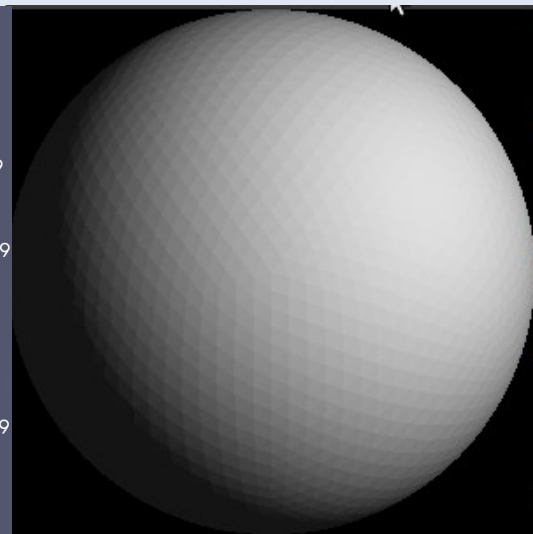
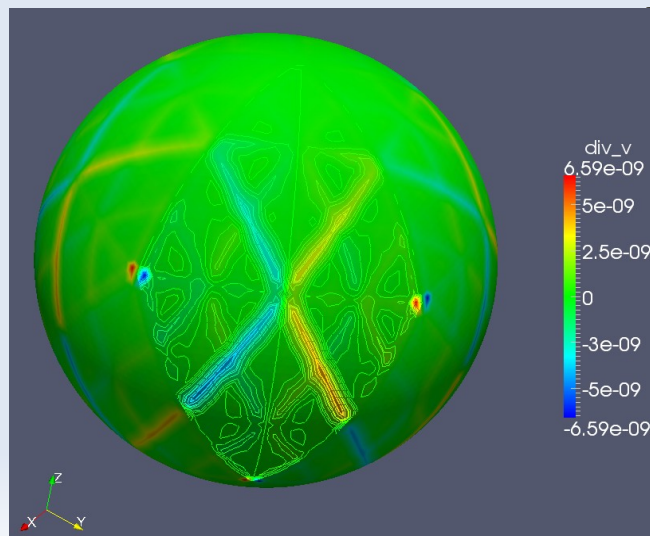
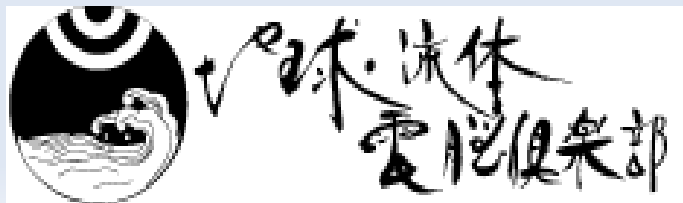


# 正二十面体格子大気モデル IGModel プロジェクトの紹介

2011/08/21 GFD セミナー2011

河合 佑太

神戸大学 地球および惑星大気科学研究室



# 目次

- はじめに
  - 動機
  - IGMModel プロジェクトとは
  - IGMModel プロジェクトの構成・構造
- 現在の開発状況
  - IGMBaseLib, IGMTool
  - IGMModel-SW(正二十面体格子全球浅水モデル)
- IGMModel-SW のテスト計算の結果(一部)
- まとめ, 今後の展望

# はじめに

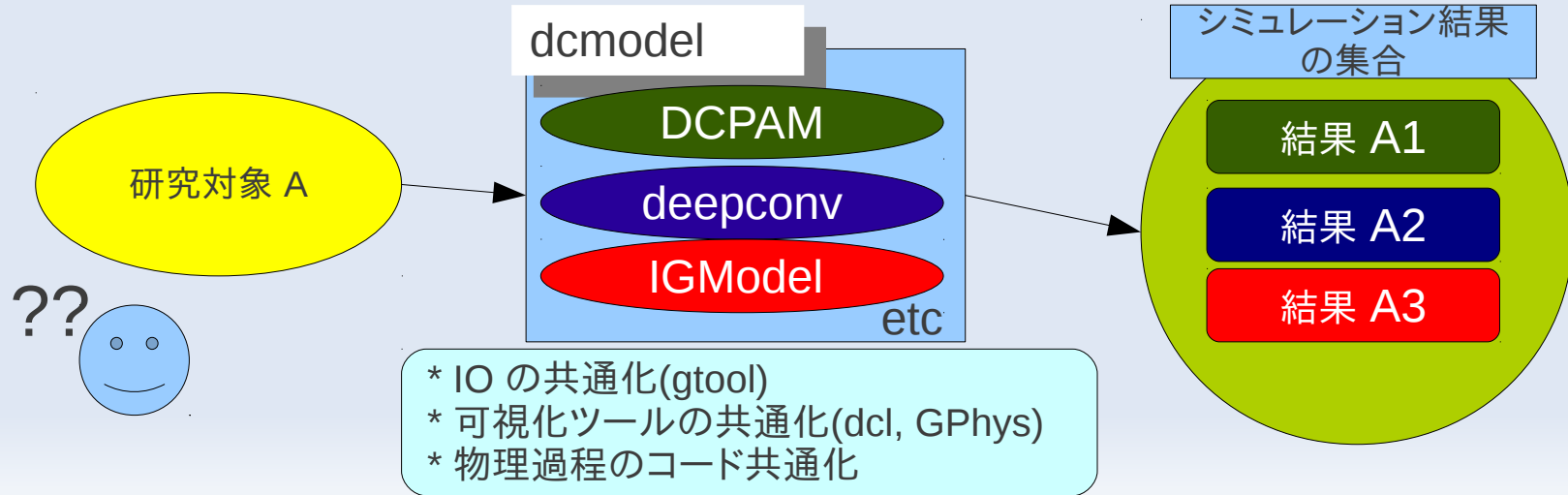
## 動機

**IGModel プロジェクトとは ??**

**IGModel プロジェクトの構成・構造**

# 動機

- 卒論で準地衡風 2 層チャンネルモデルを作成.
- 次は, より実践的で現代的な数値モデルを開発したい.
  - 地球大気(メソスケールから惑星スケールまで), 地球以外の惑星大気もシミュレーションしたい.
    - 全球非静力学モデル(完全圧縮系)
    - 系のエネルギー・質量の保存性, 並列計算の効率性重視
  - dcmodel の一数値モデルとして位置づけたい.
    - dcmodel が所持する数値モデルの多様性をより高めたい.



# IGModel (Icosahedral Grid Atmospheric Model)

## プロジェクトとは

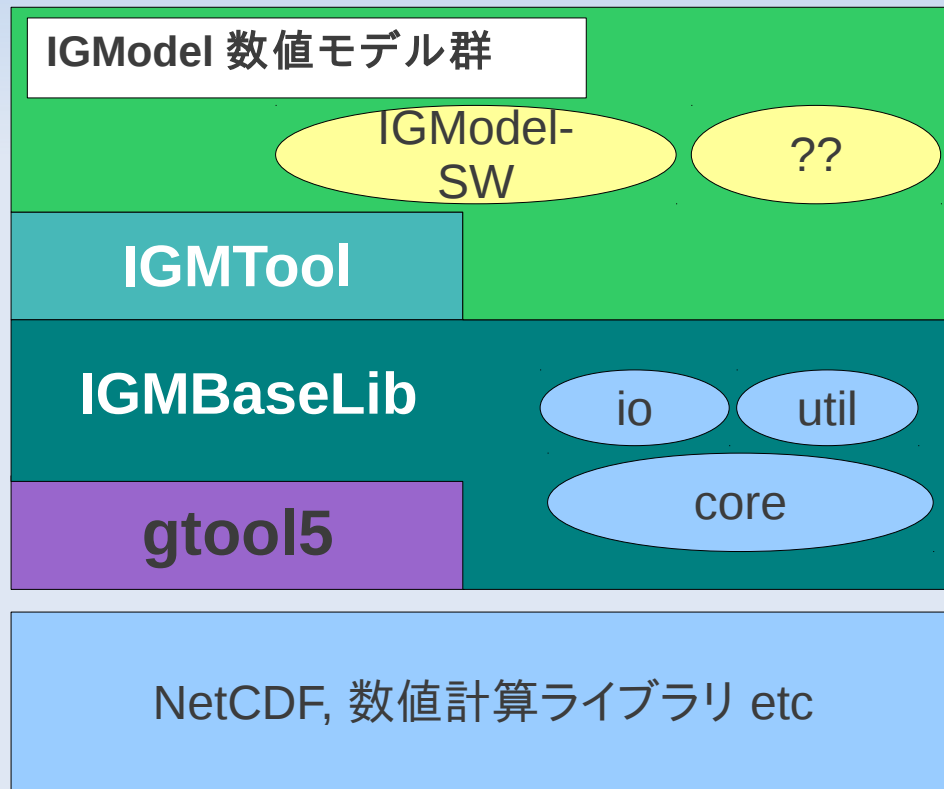
- 正二十面体格子を用いた全球大気大循環モデルを開発している.
  - 主に NICAM の開発歴史が教科書  
Tomita, et al(2001); Tomita and Satoh(2002); Satoh(2002); Satoh(2003);Tomita and Satoh(2004) ...
  - 地球流体電脳倶楽部 dcmode1 プロジェクトの一部  
<http://www.gfd-dennou.org/member/ykawai/work/IGModel.htm>
    - 電脳製品(主に gtool, GPhys )を活用する.
    - dcmode1 の開発スタイルの良い面を踏襲する.
    - 新しい技術を実験的に取り入れる.
      - オブジェクト指向プログラミング(Fortran 2003)
      - ドキュメント化に doxygen を使用
      - NetCDF 4

# IGModel プロジェクトの構成

- 3つの sub プロジェクトで構成される.
  - **IGMBaseLib**
    - …> 正二十面体格子(icgrid)モデル作成において共通化できる機能を提供するベースライブラリ.
      - Core Pack: icgrid の生成・管理. 基礎数学(線形代数, 座標変換, 球面三角法). etc
      - Util Pack: 有限体積法による微分演算子の評価. Icgrid 上の物理場の管理. etc
      - IO Pack: データファイル(netCDF 形式)の読み書き. etc
  - **IGMTool**
    - …> IGModel を実際に使うときに有用となるツール群.
      - icgridgen (各種正二十面体格子生成ツール)
      - igmconvert (データ形式変換ツール)
  - **IGModel 数値モデル群**
    - IGModel-SW (正二十面体格子全球浅水モデル)
    - 次の目標は, 「正二十面格子全球非静力学コア」の開発 !!

# IGModel プロジェクトの構造

- IGModel プロジェクトの sub プロジェクトの階層構造



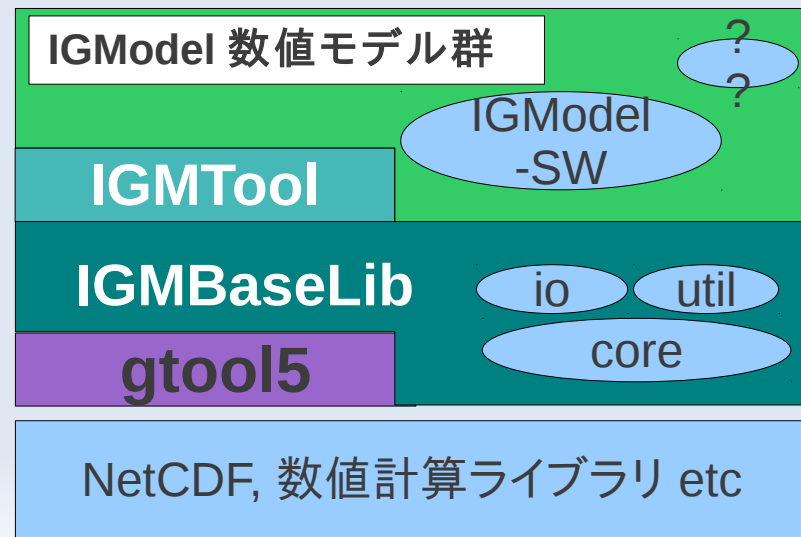
# 現在の開発状況 (進捗具合と問題点)



# 現在の進捗状況・課題

## ■ IGMBaseLib, IGMTool

- 中核部分はほぼ完成.
  - 非静力学コアの開発に取りかかる前に, もう一段階拡張が必要. (3次元化に伴うデータ構造の再考)
- チュートリアル・ドキュメントを作成しなければならない. ソース埋め込み式の自動生成マニュアルは, 8割ぐらい作成..
- 現在 OpenMP で並列化しているが, 今後 MPI とハイブリットする際には IGMModel 全体で並列化の取り決め(並列処理モデル)を考えなければならない.



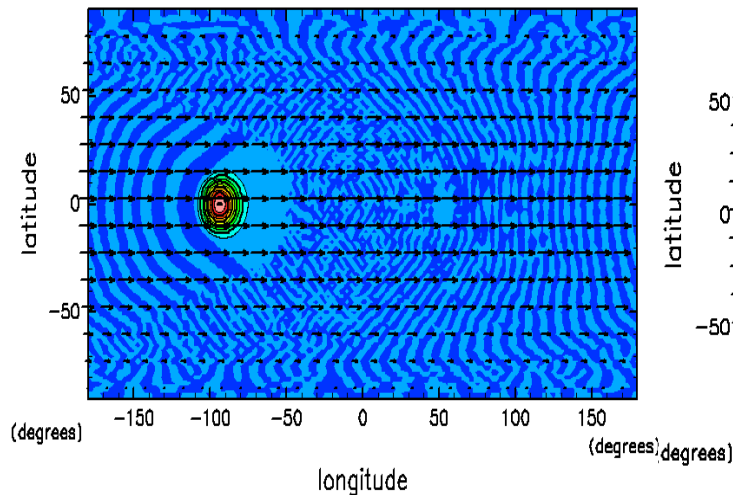
# 現在の進捗状況・課題

- **IGModel-SW**(正二十面体格子全球浅水モデル)
  - 完成.
  - Williamson(1992) の標準実験を行い, 数値モデルの動作確認完了.
    - TestCase 1, 2, 3, 5, 6 完了. Tomita, etal(2001) 等の結果と定量的に一致している.  
( [Http://www.gfd-dennou.org/member/ykawai/work/IGModel-SW/sample/Williamson\\_1992/standard\\_test\\_Williamson\\_1992.htm](http://www.gfd-dennou.org/member/ykawai/work/IGModel-SW/sample/Williamson_1992/standard_test_Williamson_1992.htm) )
  - こちらもチュートリアル, ドキュメントの作成が必要.

# IGModel-SW テスト計算 の結果

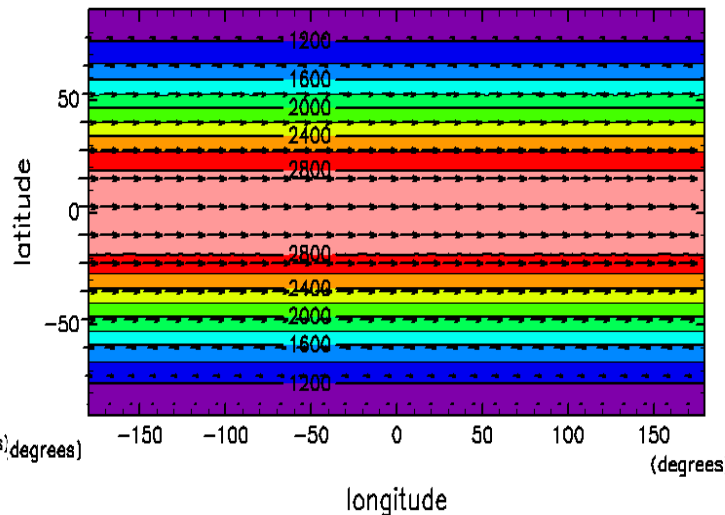
### TestCase1

コサインベル型をした高度場の移流実験



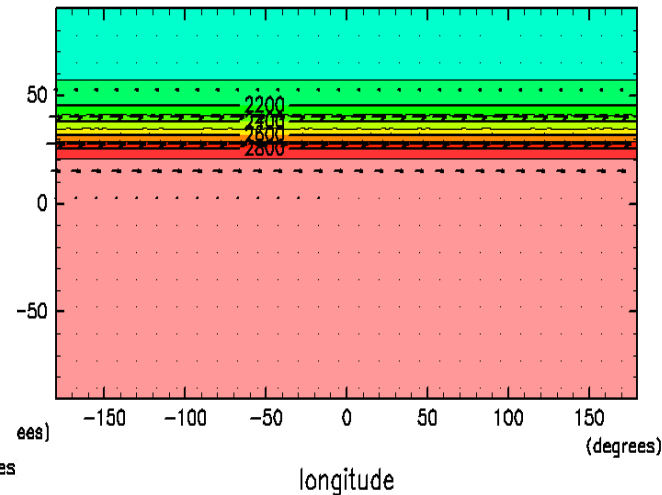
### TestCase2

非線形帯状地衡流の全球定常状態



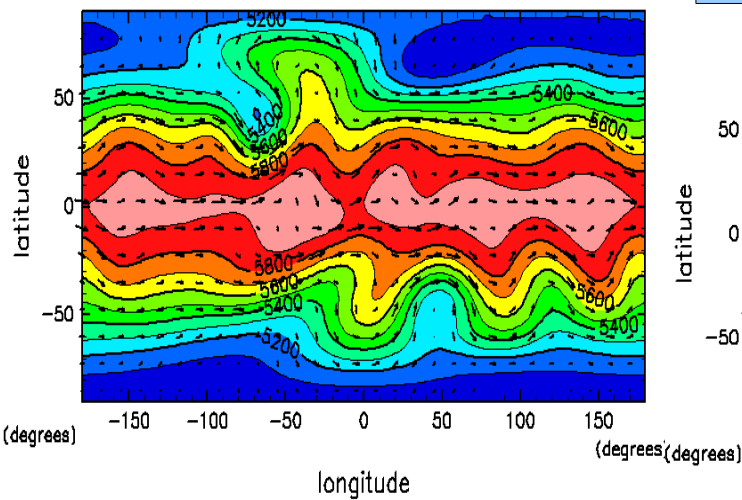
### TestCase3

コンパクトサポートを伴う非線形帯状地衡流の定常状態



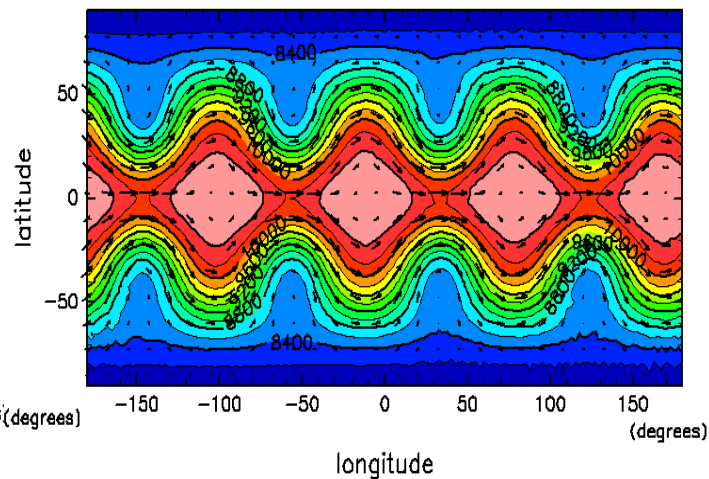
### TestCase5

孤立した山岳を越える帯状流

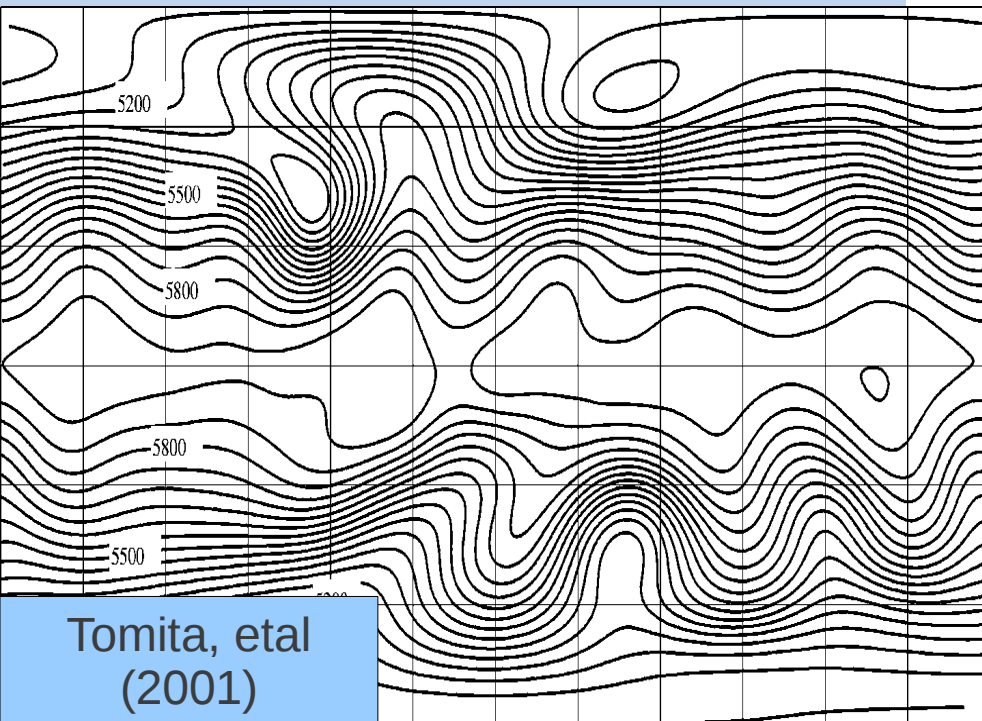


### TestCase6

Rossby-Haurwitz wave

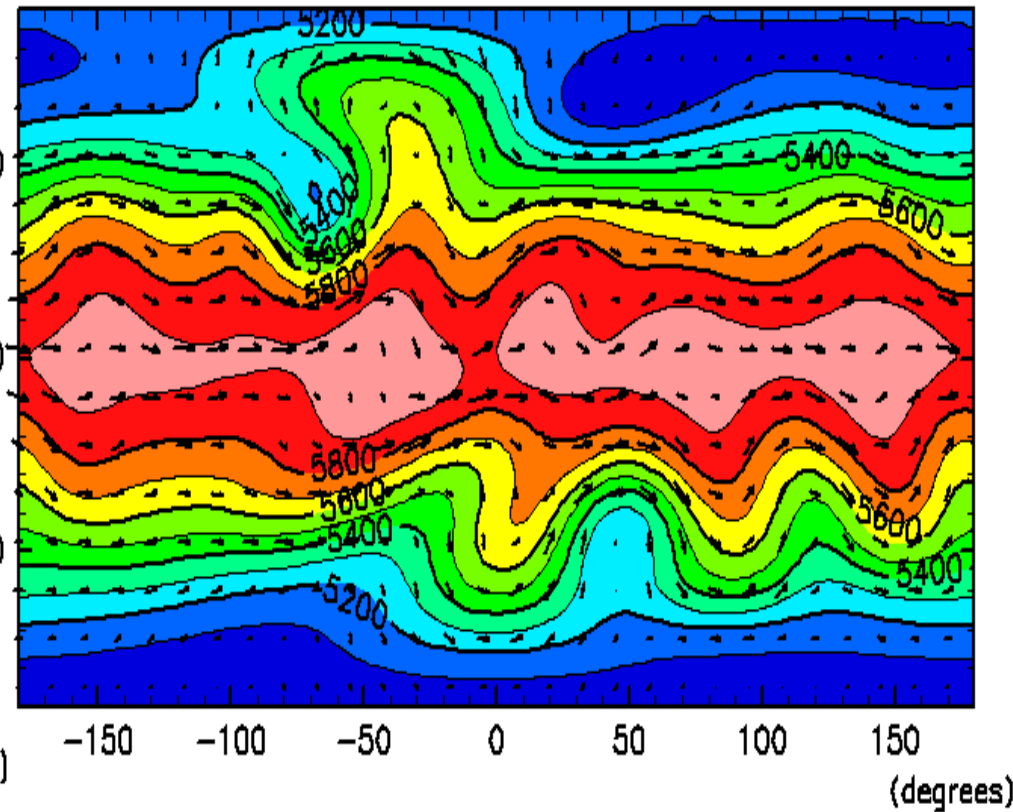


## Surface height and Horizontal velocity



Tomita, etal  
(2001)

(degrees)

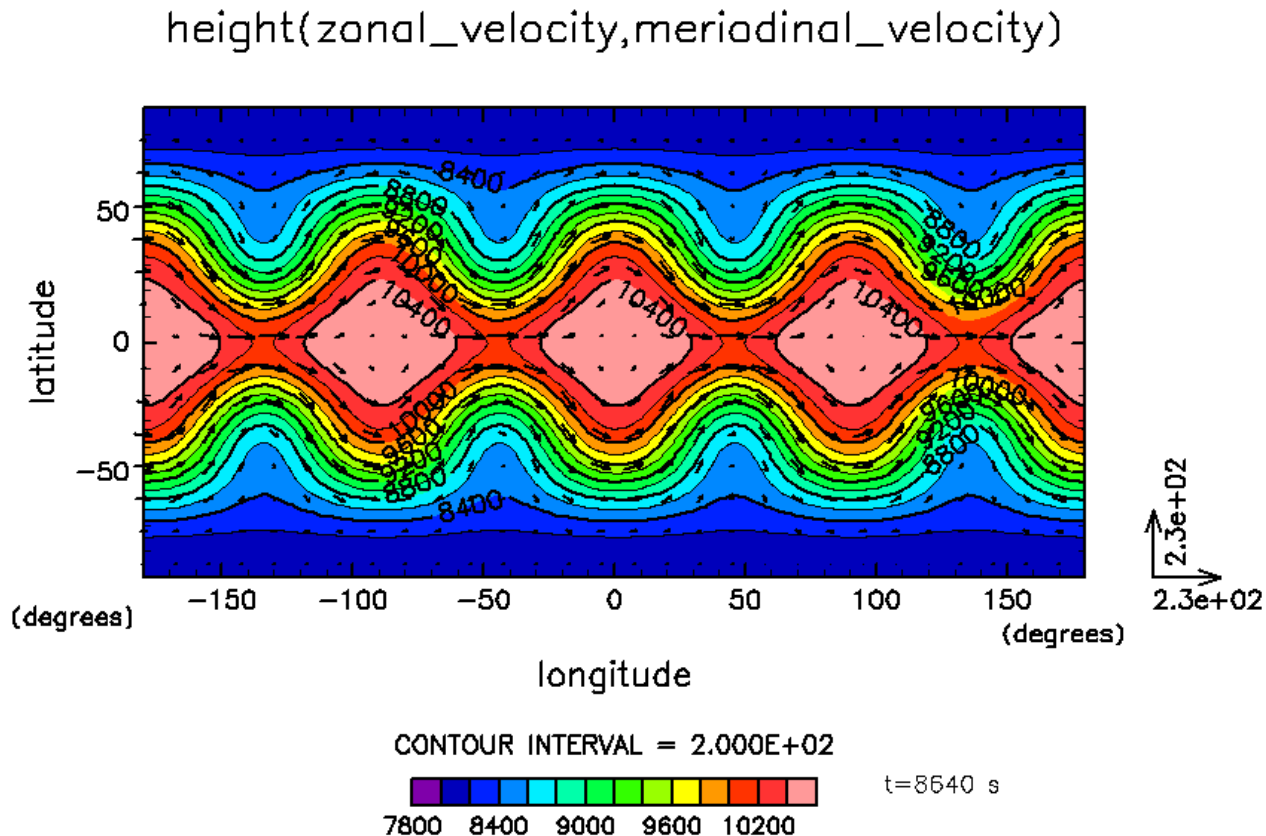


longitude

(degrees)

# Rossby-Haurwitz wave

## Williamson(1992) のテストケース 6



<計算設定>

- 水平解像度 : glevel 5,6,7
- Alpha : 0 [rad]
- 時間刻み : glevel の順に 240, 120, 60 [s]

- Glevel 4 : 約 448 km
- Glevel 5 : 約 224 km
- Glevel 6 : 約 112 km
- Glevel 7 : 約 56 km

まとめ・今後の展望

# まとめ

- IGMModel プロジェクトでは, 正二十面体格子大気モデル群を開発している.
  - 3 つの sub プロジェクトで構成, 階層構造を成す.
  - ベースライブラリ・補助ツールは大方完成.  
<To do>
    - ドキュメンテーション
    - 非静力学コアを開発に向けて, データ構造再考
    - 並列処理モデルの設計
- IGMModel 数値モデル群の一つ目として, 全球浅水モデル(IGModel-SW)を開発.
  - Williamson(1992) に習ったテスト計算の実施
    - Case 1, 2, 3, 5, 6 完了.
    - 数値誤差ノルムの評価により, Tomita, etal(2001) の結果と一致していることを確認した.



# IGModel プロジェクトのロードマップ

- ~ 2011 夏
  - IGModel-SW のテスト計算の完了. 後片付け.
  - IGModel-SW のドキュメントを整備する(したい).
  - 非静力学コア開発のための準備
    - IGMBaseLib の拡張(データ管理クラスの三次元化)
    - スキームの再考(CIP マルチモーメント法 etc ??)
- 2011 夏の終り ~
  - 非静力学コアの開発を本格的にスタートする !!

# 参考文献

- Tomita, H., Tsugawa, M., Satoh, M., Goto, K., 2001: Shallow water model on a modified icosahedral geodesic grid by using spring dynamics. *J. Comp. Phys.*, **174**, 579--613.
- Williamson, D. L. , Drake, J. B. , Hack, J. J. , Jakob, R., Swarztrauber, P. N. , 1992: A Standard Test Set for Numerical Approximations to the Shallow Water Equation in Spherical Geometry. *J. Comput. Phys.*, **102**, 211--224.
- Heikes, R., Randall, D. A., 1995: Numerical integration of the shallow-water equations on a twisted icosahedral grid. Part I: A detailed Description of the grid and analysis of numerical accuracy. *Mon. Wea. Rev.*, **123**, 1881--1887.

# 予備スライド

# IGModel-SW (正二十面体格子全球浅水モデル)

## ■ 支配方程式系

運動方程式 
$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\zeta + f) \hat{\mathbf{k}} \times \mathbf{v} = -\nabla \left( gh + \frac{\mathbf{v} \cdot \mathbf{v}}{2} \right)$$

連続の式 
$$\frac{\partial h^*}{\partial t} + \nabla \cdot (h^* \mathbf{v}) = 0$$

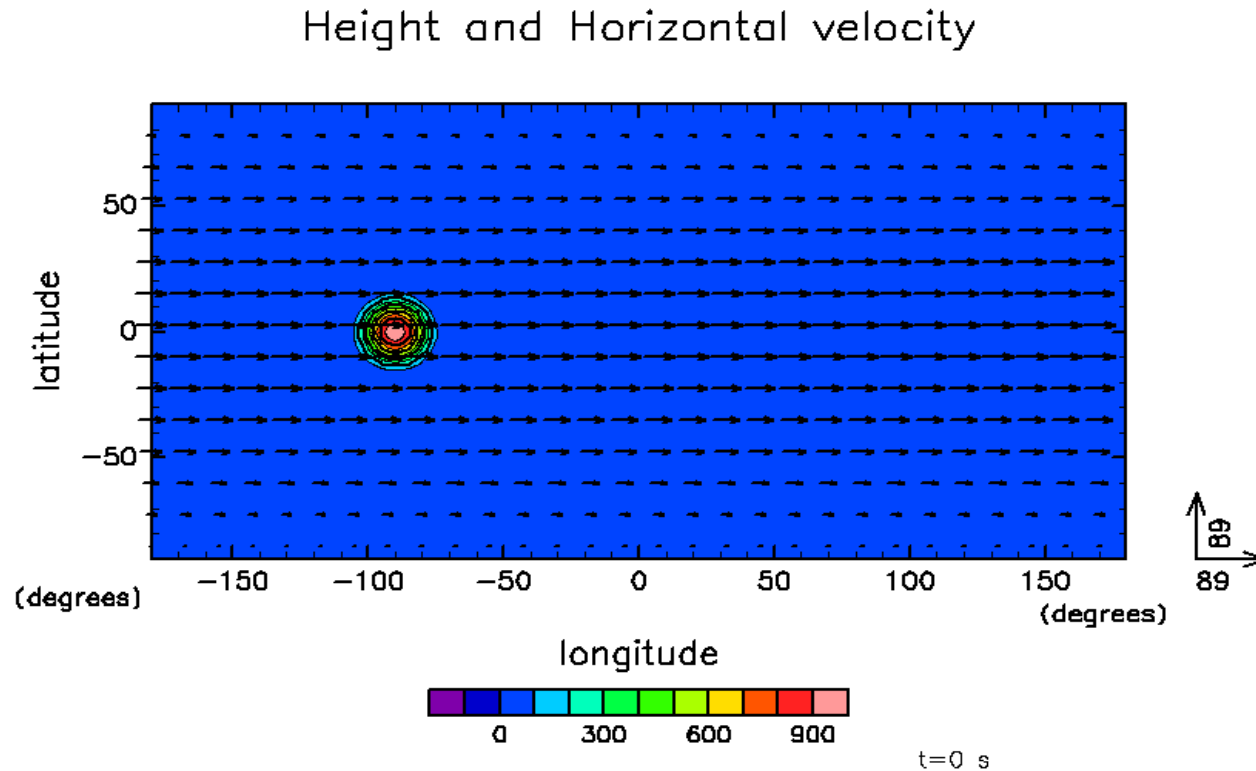
## ■ 数値モデルの設定

- 水平離散化
  - 有限体積法 (2 次精度)
- 時間積分
  - 3 次の Adams=Bashforth 法

**v** : 速度ベクトル  
**t** : 時刻  
**ζ** : 相対渦度  
**f** : コリオリパラメータ  
**g** : 重力加速度  
**h** : 流体の表面高度  
**h\*** : 流体層の厚さ  
**hs** : 下部境界の地形の高度場  
 (  $h = h^* + hs$  )  
**k** : 球面座標の鉛直方向の単位ベクトル

# 予備 移流実験の結果

- Williamson(1992) のテストケース 1(コサインベル型をした高度場の移流実験)



<初期場>

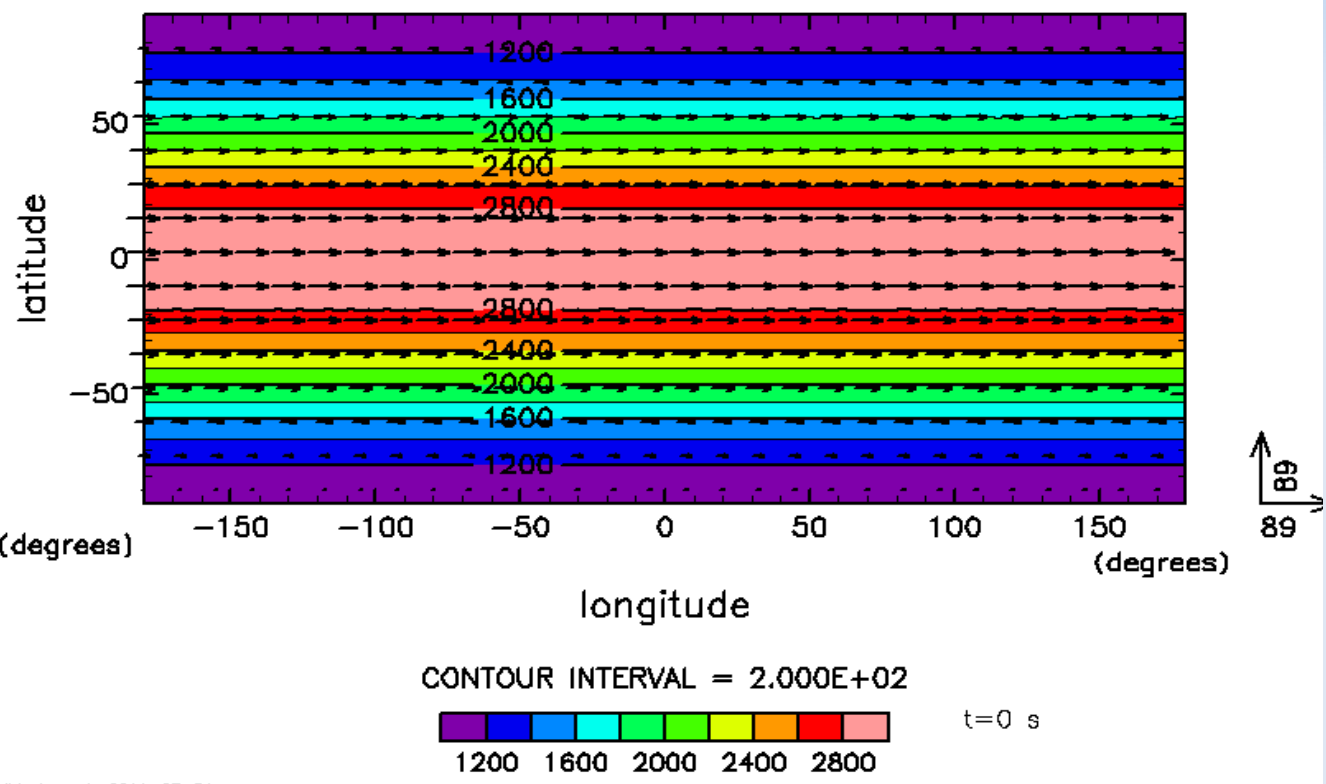
- 速度場：剛体回転
  - 高度場：コサインベル型
- 運動方程式は無効, 連続の式だけ有効にしている. したがって, 速度場は常に初期場と同じにしている.

# 予備

## 非線形帯状地衡流の全球定常状態の実験

### Williamson(1992) のテストケース 2

Surface height and Horizontal velocity



#### <計算設定>

- 水平解像度 : glevel 4,5,6,7
- Alpha : 0, 0.05,  $\pi/2-0.05$ ,  $\pi/2$  [rad]
- 時間刻み : glevel の順に 728, 364, 182, 91 [s]

#### <初期場>

- 速度場 : 剛体回転
- 高度場 : 剛体回転している速度場に対して, 地衡流平衡を満たす高度場

- Glevel 4 : 約 448 km
- Glevel 5 : 約 224 km
- Glevel 6 : 約 112 km
- Glevel 7 : 約 56 km

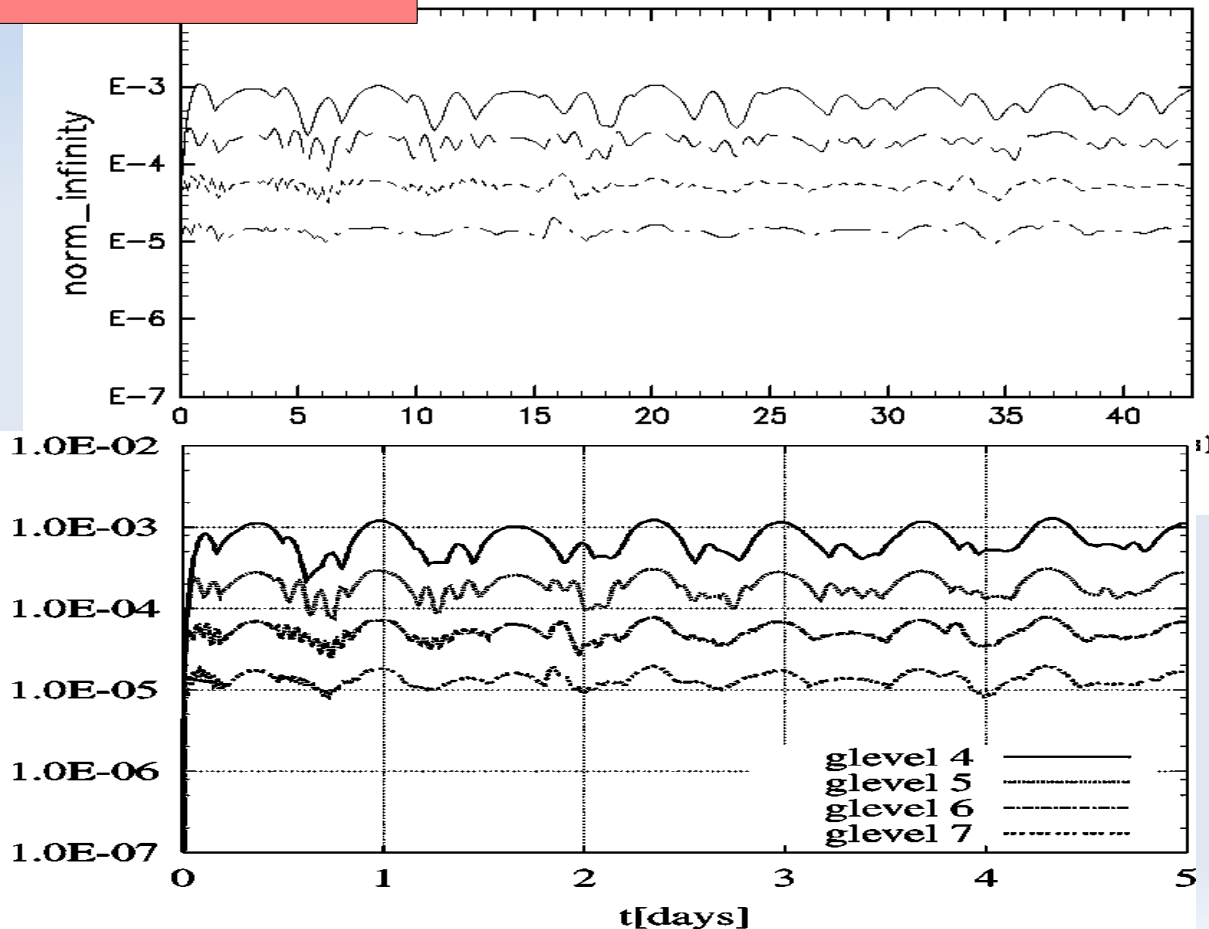
# 予備

## 非線形帯状地衡流の全球定常状態の実験

- 数値誤差の水平解像度に対する依存性を評価

IGModel-SW

norm\_infinity



<正二十面体格子モデルにおける水平解像度と水平格子間隔の対応>

- Glevel 4 : 約 448 km
- Glevel 5 : 約 224 km
- Glevel 6 : 約 112 km
- Glevel 7 : 約 56 km

Tomita, etal(2001)