

# 可変性と可読性を考慮した 大気大循環モデルの開発: ソースコードの簡潔さを 重視したモデル設計

森川靖大 (北大理)  
石渡正樹 (北大理)  
高橋芳幸 (神大理)  
杉山耕一郎 (北大理)  
小高正嗣 (北大理)  
中島健介 (九大理)  
林祥介 (神大理)



# 背景

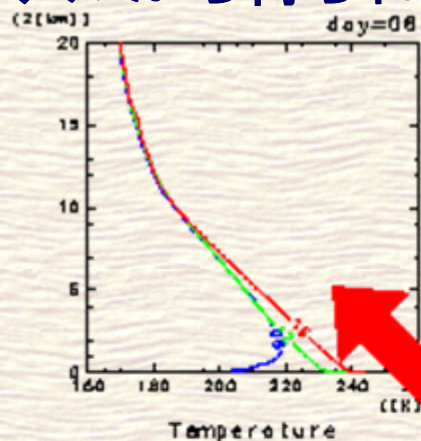
## ■ 惑星大気の普遍性と特殊性の掌握

- 大気構造の多様性をパラメタ空間に位置づけ
  - ◆ パラメタ: 惑星半径、日射放射量、軌道要素、大気成分、大気量など
- 多様なパラメタ値を組み合わせた数値実験



# 背景

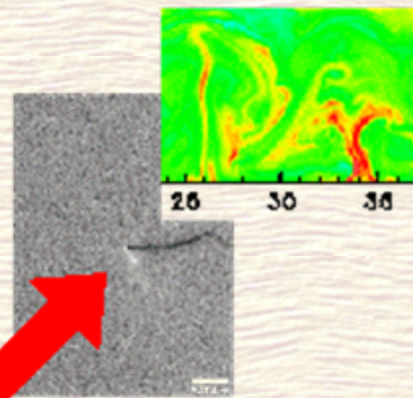
- 複数種類の数値モデルを様々な設定で計算
- モデルから得られる多種・大量のデータの解析・可視化



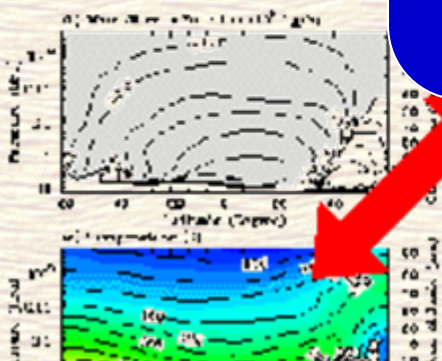
放射対流モデル



地球大気との比較

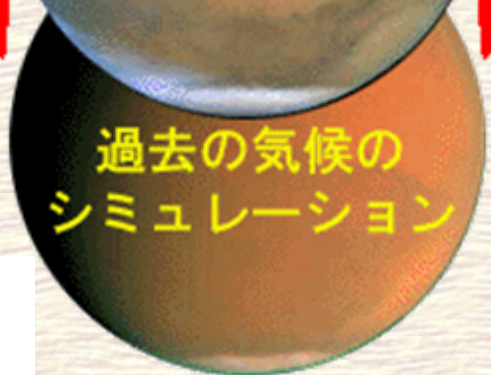


雲解像モデル

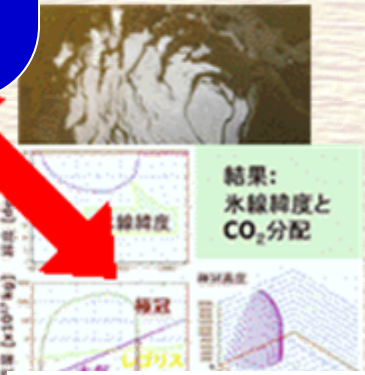


大気大循環モデル (GCM)

複数種類のモデルで  
計算・データ解析



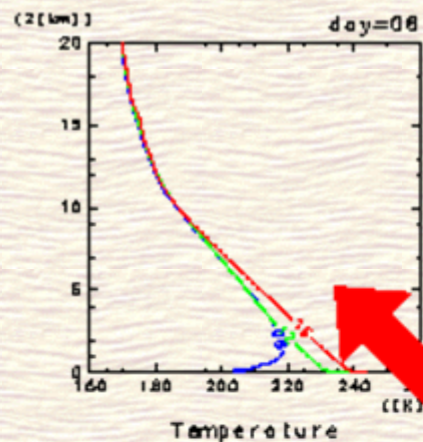
過去の気候のシミュレーション



エネルギーバランスモデル

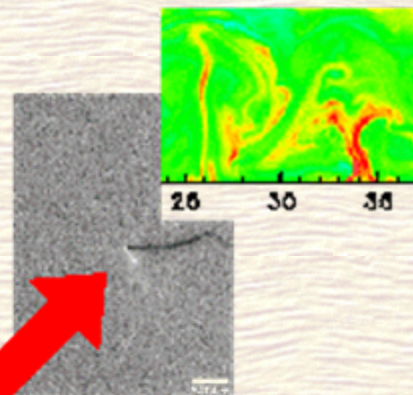
# 背景

- 複雑化するモデルの掌握、膨大なデータの処理の困難

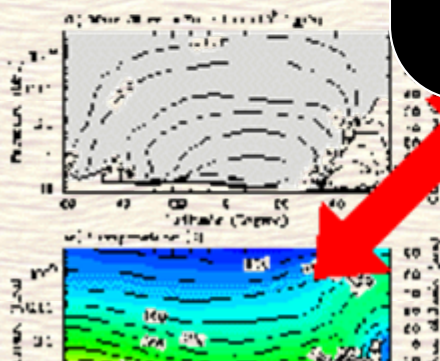


放射対流モデル

地球大気との比較



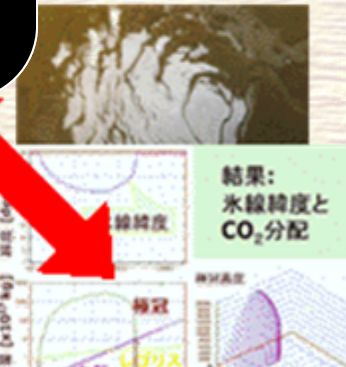
雲解像モデル



大気大循環モデル  
(GCM)

階層的モデル群の  
設計と開発

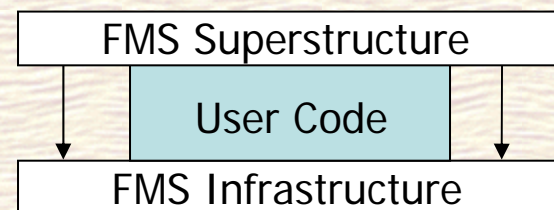
過去の気候の  
シミュレーション



エネルギーバランス  
モデル

# 先行研究

- **Gtool4 ツール／ライブラリ (豊田 他, 2000), Gt4f90io (森川 他, 2004)**
  - 地球惑星流体现象に関するモデル一般のための自己記述的 NetCDF データ入出力 Fortran ライブラリ
  - 様々な座標軸を持つデータの入出力
  - モジュールや構造型 (Fortran 90 の機能) を活用した設計
    - ◆ ファイルID, 変数ID, 属性などの情報の管理
- **FMS (I. Held, V. Balaji, et al., 2002)**
  - GFDL で開発された気候モデル統合フレームワーク
  - データ入出力や並列化処理部分を吸収するソフトウェア基盤
  - モジュールや構造型を活用した設計
    - ◆ 格子点や物理量(風速、温度他)などの情報の管理

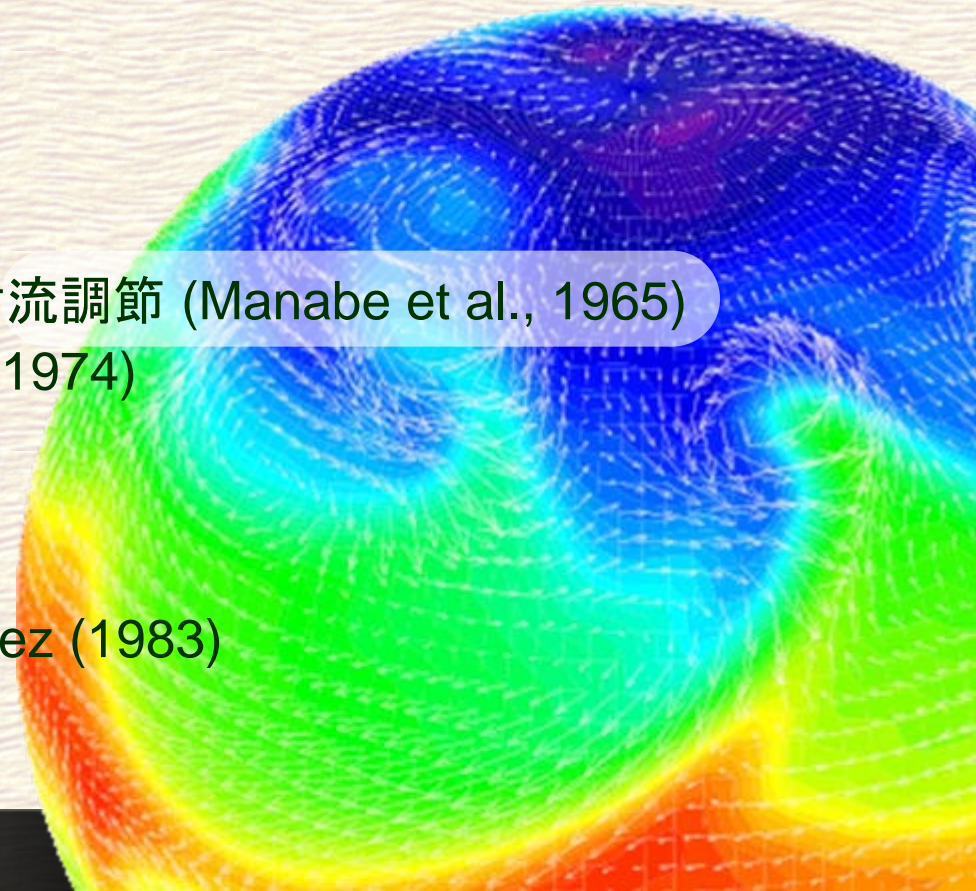


# 本研究の目的

- データ入出インターフェースの実装・検討
  - 簡単モデル～大規模モデルへの適用
- モジュールや構造型を活用した設計の実装・検討
  - 数値モデルの演算部分への適用

# 実装実験を行う数値モデル

- 大気大循環モデルDCPAM (Dennou Club Planetary Atmospheric Model)
- AGCM5 (沼口 他, 1992) を参考に実装
- 支配方程式、離散化手法
  - 球面3次元プリミティブ方程式
  - 理想気体、静水圧近似
  - 大気成分: 水蒸気と乾燥空気
  
  - 放射: バンドモデル
  - 積雲パラメタリゼーション: 湿潤対流調節 (Manabe et al., 1965)
  - 鉛直拡散: Mellor and Yamada (1974)
  - 地表面フラックス: バルク法
  
  - 水平離散化: スペクトル法
  - 鉛直離散化: Arakawa and Suarez (1983)
  - 時間積分法: セミインプリシット法



# 階層モデルのためのデータ入出力

## ■ 共通の入出インターフェース

- 一つが読めれば、他も読める

## ■ 相互参照に必要なメタデータの付与

- メタデータ: 物理量の名称, 単位, 座標, ...

## ■ 様々な座標を持つデータ入出力が可能

- 格子点データ、スペクトルデータ、etc...

Gtool4, FMS  
に不足な部分

## ■ 簡潔な入出インターフェース

- NAMELIST を用いた入出力設定コードの隠蔽

- ◆ 出力時間間隔、精度、出力先ファイル名、  
時間・空間方向の平均出力、  
出力開始・終了時間、etc.

- 出力変数の手軽な追加・削除が可能



# ソースコードの簡潔さを重視したインターフェース

## 小規模モデル用

- **HistoryCreate**
  - 初期設定: 座標設定、...
- **HistoryAddVariable**
  - 変数定義: 依存する座標、...  
物理量の名称、...
- **HistoryPut**
  - 変数出力: 出力値 ...
- **HistoryClose**
  - 終了処理

## 大規模モデル用

- **HistoryAutoCreate**
  - 初期設定: **全てのファイル**の座標設定、...
- **HistoryAutoAddVariable**
  - 変数定義: 依存する座標、...  
物理量の名称、...
- **HistoryAutoPut**
  - 変数出力: 出力値 ...
- **HistoryAutoClose**
  - 終了処理

NAMELIST

```
&gt;tool_historyauto  
Name      = "Ps"  
IntValue  = 10.0  
IntUnit   = "hrs" /
```

入出ライブラリで  
時間間隔等の設定

HistoryXXXX(A, B, C, ...)

History**Auto**XXXX(A, B, C, ...)

サブルーチンの名称と  
引数を対応付けて  
共通性を維持

- 出力ファイル一つ追加に  
**4つ**のサブルーチン
- **モデル側**での出力時間等の  
設定

- 変数定義、変数出力の**2つ**での  
出力ファイル追加
- **入出ライブラリ側**での出力時間等の設定
  - NAMELIST 読み込み
  - 出力時間間隔、精度、出力先ファイル名、時間・空間  
方向の平均出力・切り出し出力、出力開始・終了時間、  
時間方向のファイル分割

# まとめ

## ■ 階層モデルのデータ入出インターフェース

- サブルーチンを介した座標設定
- 相互参照のためのメタデータは変数設定サブルーチンで明示的に指定
  - ◆ 物理量の名称, 単位, 座標, etc...
- 4つの最低限サブルーチン (初期設定、変数設定、出力、終了処理)
- 2段階の入出インターフェース
  - ◆ モデル側で出力設定 ⇔ 入出ライブラリ側で出力設定
  - ◆ サブルーチンの名称と引数を対応付けることで共通性を維持
- Gtool5 ライブラリ
  - ◆ <http://www.gfd-dennou.org/library/gtool>

## ■ モジュールや構造型を活用した設計

- プログラムのレベルに応じた使い分けが有効
- 演算プログラム (大気大循環モデルにおける力学過程・物理過程)
  - ◆ モジュールによる演算コードのパッケージ管理、USE 文による言語要素の参照
  - ◆ 構造型やポインタの排除
- 入出力などのための汎用ライブラリ
  - ◆ 構造型、ポインタ、利用者定義総称名称などの利用により汎用性を向上
  - ◆ 例: Gtool4, Gtool5

# 参考資料

- **DCPAM (Dennou-Club Planetary Atmospheric Model)**
  - <http://www.gfd-dennou.org/library/dcpam/>
- **Gtool5: 階層的数値モデル群のための Fortran 90/95 ライブラリ**
  - <http://www.gfd-dennou.org/library/gtool/>
- **Gtool4 ツール／ライブラリ、Gt4f90io**
  - <http://www.gfd-dennou.org/library/gtool/>
- **地球流体電脳倶楽部 dcmode1 プロジェクト: 地球惑星流体科学のための階層モデル群開発プロジェクト**
  - <http://www.gfd-dennou.org/library/dcmode1/>
- **地球流体電脳倶楽部版 AGCM5**
  - <http://www.gfd-dennou.org/library/agcm5/>
- **FMS (The Flexible Modeling System)**
  - <http://www.gfdl.noaa.gov/~fms/>

# 付録 (メモ書き)



# まとめ

DCPAM ver5

数値モデル

基本設定

USE

モデル固有の  
入出力設定

物理素過程

座標

時刻

再計算用  
データ

解析用  
データ

力学

放射

積雲

座標設定

変数設定  
と出力

入力

Subroutine

Subroutine

小規模モデル用入出力  
インターフェース

gtool\_history

大規模モデル用出力  
インターフェース

gtool\_historyauto

データ入出力ライブラリ

Gtool5

ソースコードの  
簡潔さを重視した  
プログラミング

計算パラメータは  
基本設定モジュール  
で管理

出力設定の管理  
(出力間隔、ファイル名  
単精度or倍精度  
出力開始・終了  
etc...)

オブジェクト指向  
プログラミング

入出力に関する情報は  
構造データ型に格納

NetCDF データ

Spectral  
data

3D Grid  
data

2D Mean  
data