

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

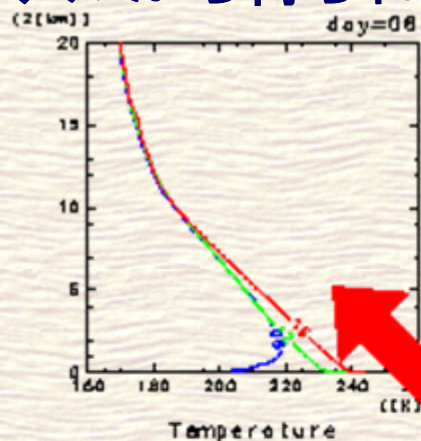
■ 惑星大気の普遍性と特殊性の掌握

- 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

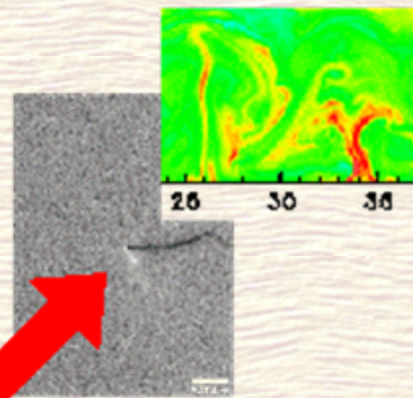
- 複数種類の数値モデルを様々な設定で計算
- モデルから得られる多種・大量のデータの解析・可視化



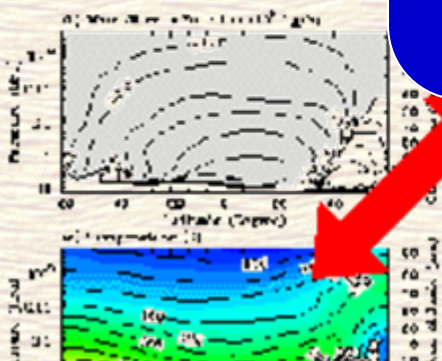
放射対流モデル



地球大気との比較

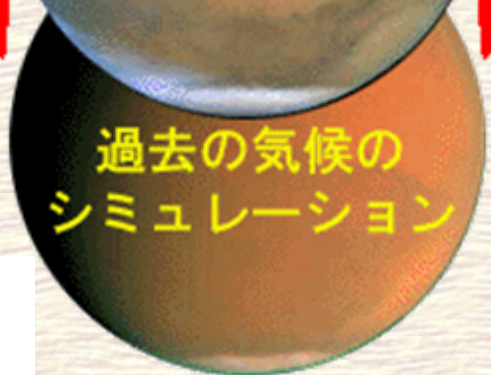


雲解像モデル

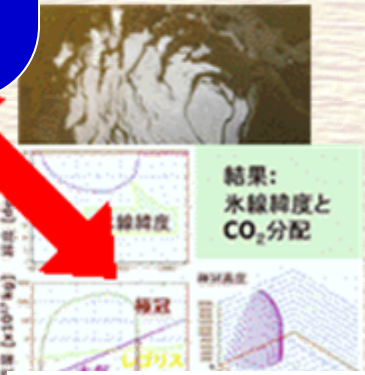


大気大循環モデル (GCM)

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

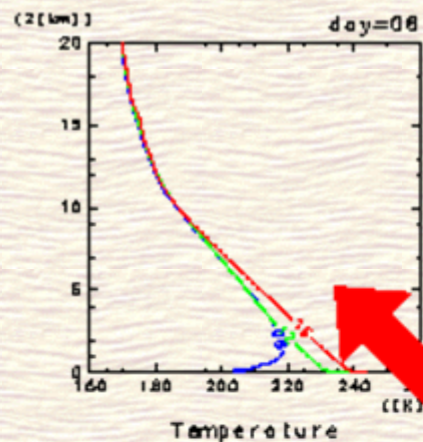


エネルギーバランスモデル

結果:
氷線緯度と
CO₂分配

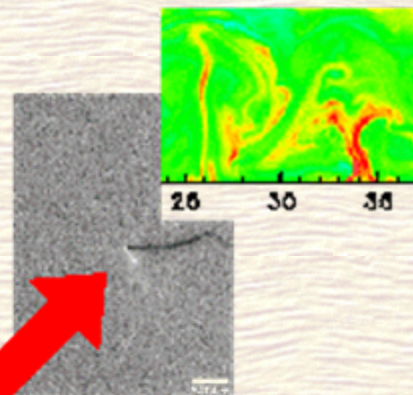
背景

- 複雑化するモデルの掌握、膨大なデータの処理の困難

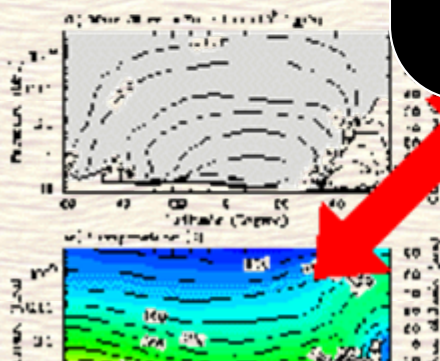


放射対流モデル

地球大気との比較



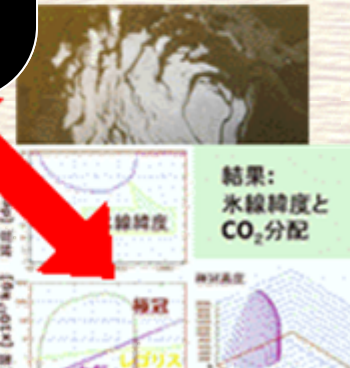
雲解像モデル



大気大循環モデル
(GCM)

階層的モデル群の
設計と開発

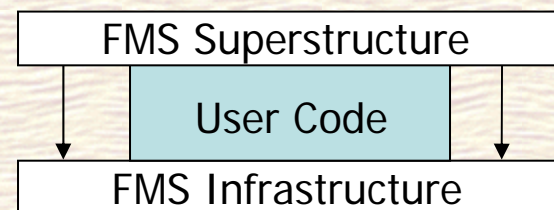
過去の気候の
シミュレーション



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

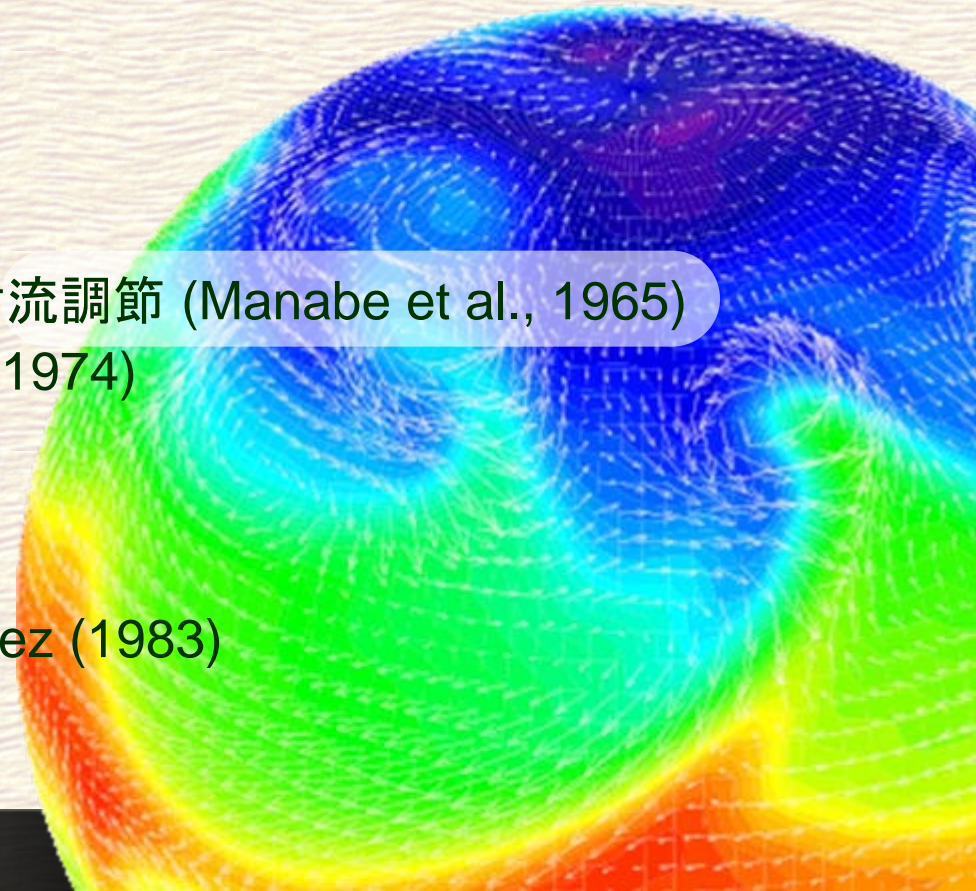
- データ入出インターフェースの実装・検討
 - 簡単モデル～大規模モデルへの適用
- モジュールや構造型を活用した設計の実装・検討
 - 数値モデルの演算部分への適用

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

■ 簡潔な入出インターフェース

に不足な部分

- 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