

# 大気大循環モデルによる 湿潤惑星の数値実験にむけて

可読性と可変性を考慮した大気大循環モデル開発

森川 靖大 (北大・理/神戸大・理)

杉山 耕一郎 (北大・理)

高橋 芳幸 (神戸大・理)

小高 正嗣 (北大・理)

石渡 正樹 (北大・地球環境)

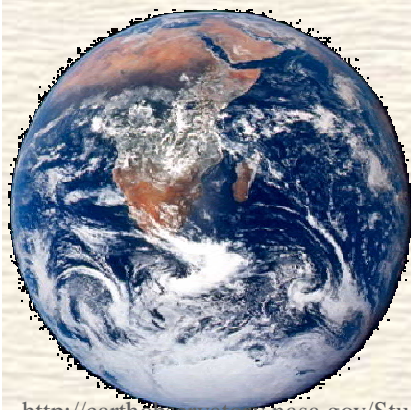
中島 健介 (九大・理)

林 祥介 (神戸大・理)

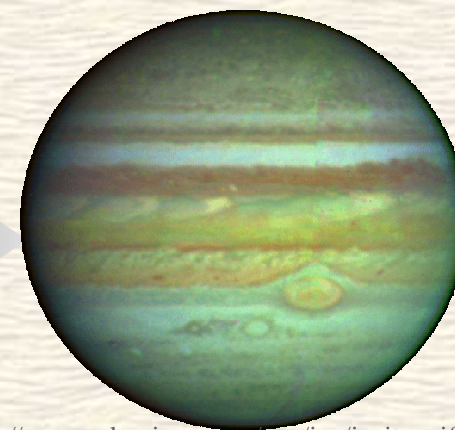


# 仮想的な湿潤惑星の計算

- 計算条件を手軽に変更
  - 大気組成、入射太陽放射量、重力加速度  
大気圧、自転周期 etc. ...
- 可変性・可読性に優れた大気大循環モデル
  - 何を計算しているか、ソースコードを読んで分かる
  - スキームの交換や分離が容易にできる



<http://earthobservatory.nasa.gov/Study/LivingEarth/>



<http://www.solarviews.com/raw/jup/jupiter.gif>

# 可変性・可読性を重視した 大気大循環モデルの試み

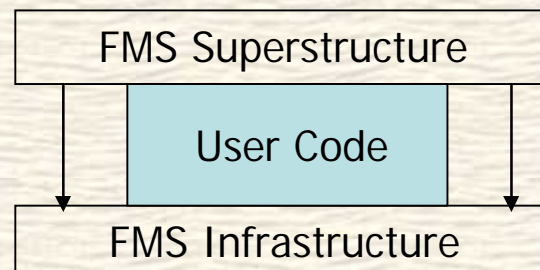
3/13

## ■ AGCM5 (沼口, 1992; SWAMP Project, 1998; <http://www.gfd-dennou.org/arch/agcm5>)

- 変数命名規則・プログラム書法の工夫
- FORTRAN77 の制約大

## ■ FMS (Flexible Modeling System; Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, 2005)

- 基盤部分 (I/O, 並列化等)、モデル (大気, 海洋等) 結合部分の隠蔽
- 放射スキームなどの素過程の交換や分離に関して工夫の余地有



## ■ DCPAM (流体力学会 年会 2005)

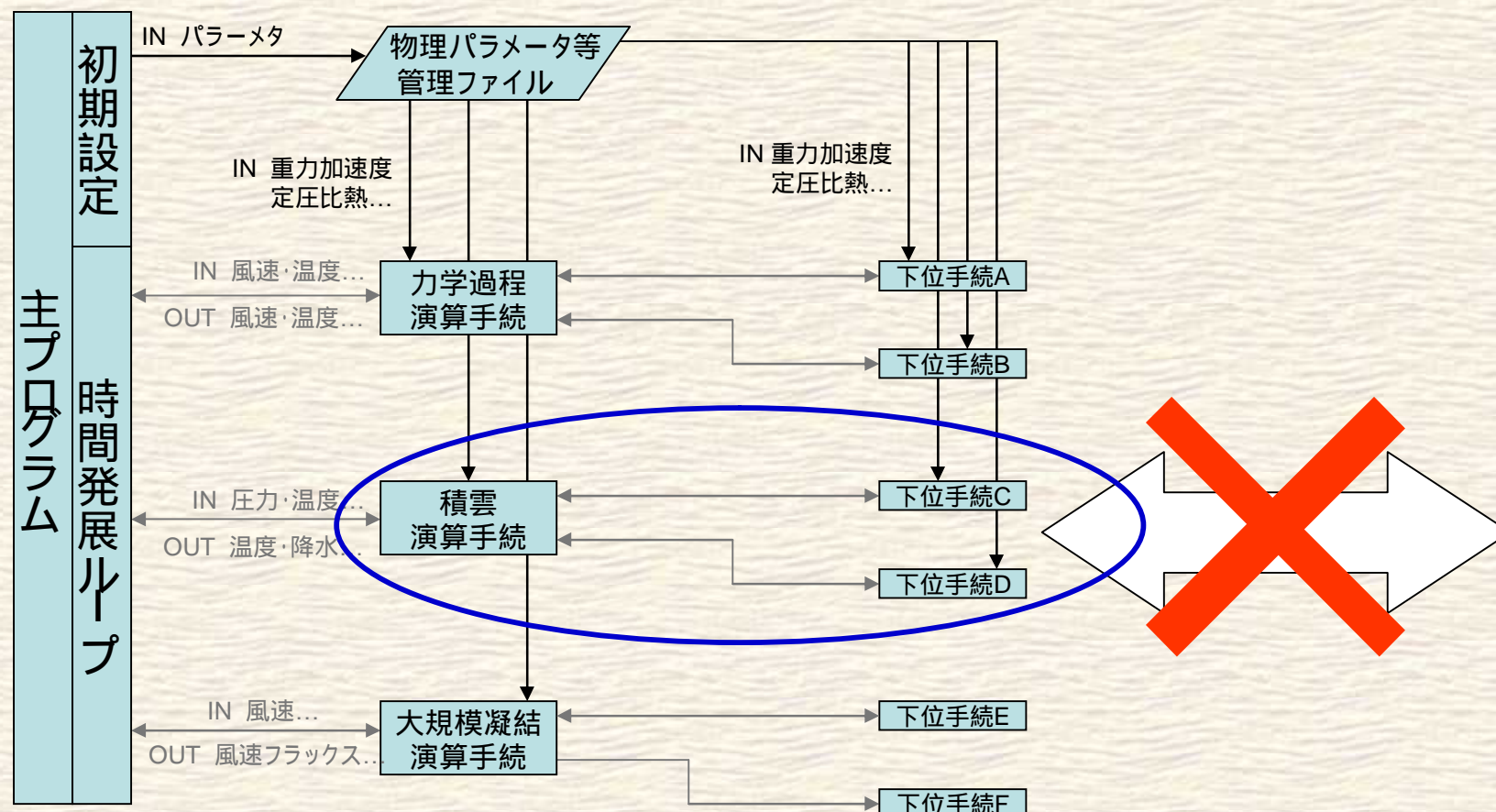
- 支配方程式を容易に想像できるソースコード  
(dcmode1 コーディングルール <<http://www.gfd-dennou.org/library/dcmode1>>)
  - ◆ 配列演算関数の利用 (スペクトル演算には spmodel ライブラリ)
  - ◆ 一目で次元や物理的意味の分かる変数命名規則

# 湿潤大気計算における問題点

- 湿潤過程 (積雲パラメタリゼーション、大規模凝結 等) の交換の作業コストが大きい
  - 湿潤過程演算プログラムの交換が面倒
    - ◆ プログラム間の依存性の整理が不十分
  - ドキュメント作成が面倒
    - ◆ ソースコード解説文書とソースコード本体とを別々に作成する必要あり
  - 動作テストが面倒
    - ◆ テストプログラムの作成に手間がかかる
    - ◆ 可視化や解析の作業を定常的に行うのは面倒

# 物理過程交換のためのモジュール設計(1)

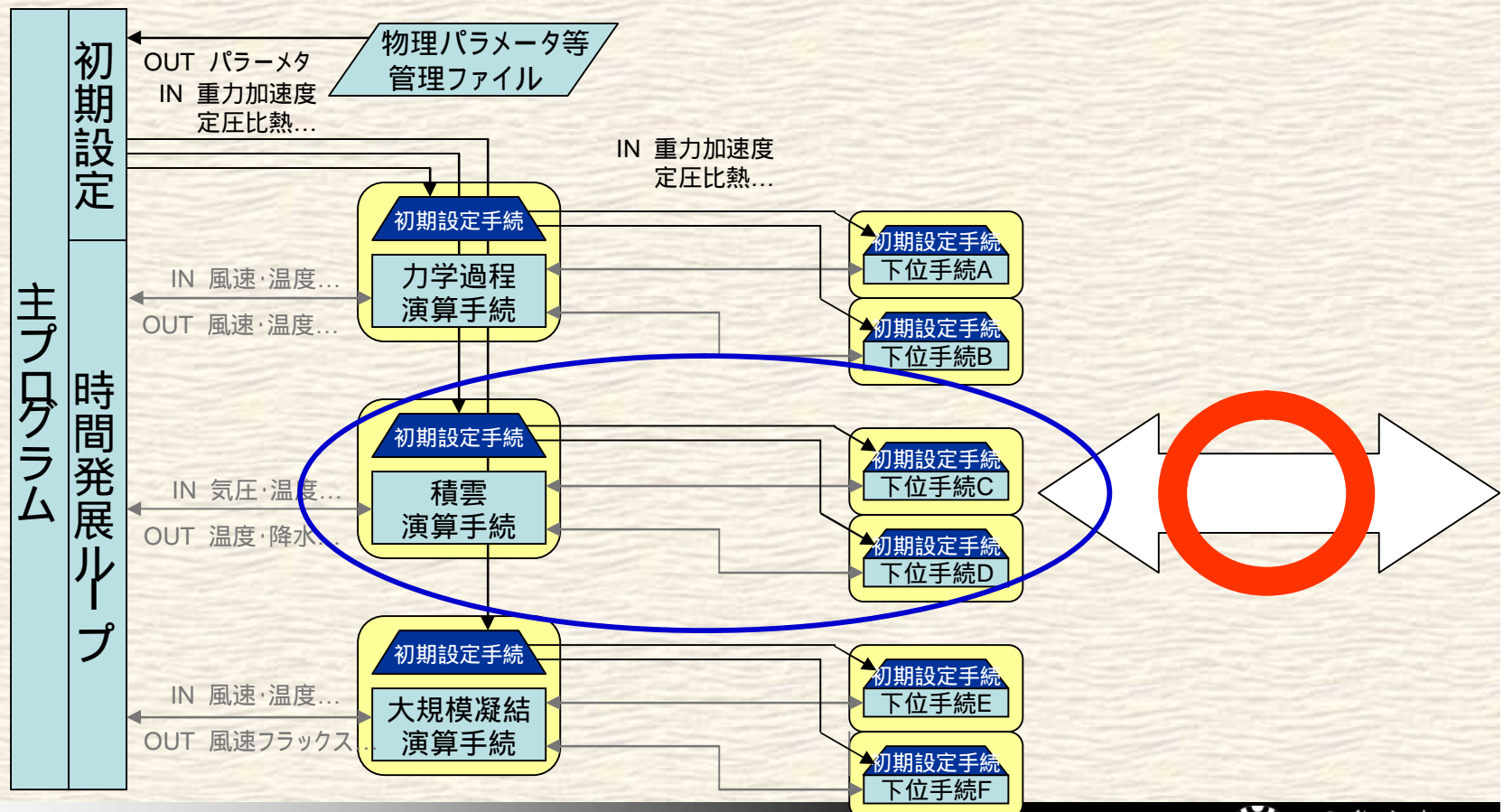
- 個々の演算に必要なパラメータを1つのファイルで集中管理する方法の問題点
  - モデルの一部を交換にはソースコード解読が必要



# 物理過程交換のためのモジュール設計(2)

6/13

- 今回の試み: 個々の演算に必要なパラメータはモジュール毎に保持
  - 各モジュールで初期設定手続を用意し、その手続でパラメータを設定
  - スキーム交換に必要な情報が初期設定手続と演算手続の引数として集約



## ■ 複数の積雲パラメタリゼーションの実装

- 異なるスキーム毎に異なるモジュール

- ◆ 対流調節スキーム: `phy_cumulus_adjust`
- ◆ Kuo スキーム: `phy_cumulus_kuo`

- それぞれのスキームの使い方は同じになるよう実装

- ◆ 総称手続きを用い、初期設定手続きと演算手続きの名称はそれぞれ `Create` および `Cumulus`
  - ▶ `Create` には重力加速度、気体定数、定圧比熱、...
  - ▶ `Cumulus` には気圧、温度、比熱、降水量、...

## ■ スキーム交換に必要な情報が集約

- 初期設定: 重力加速度、気体定数、定圧比熱、...
- 演算: 気圧、温度、比熱、降水量、...

# RDoc による解説文書自動生成 (1)

8/13

- 各スキームを使用するための解説文書の利便性
  - 解説文書 各手続の引数や使い方を記した文書
  - ソースコードを読むことなくスキーム交換可能
  - 他人とスキームを共有する際にも必須
- 解説文書の維持・更新のコスト高
  - モデルを構成する個々のモジュールが頻繁に交換・変更されることを想定
  - セットとなる解説文書も同時に手動で維持・更新するのは大変
    - ◆ ソースコードの書き換えだけでも大変



# RDoc による解説文書自動生成 (2)

9/13

- **RDoc Fortran 90/95 強化版** (森川 他、2007、天気 Vol 54 No 2、2006 年 連合大会) によって解説文書を自動生成
  - 解説文書が低コストで定常的に更新
  - ソースコードを読むことなくスキームの交換を可能に

```
module phy_cumulus_adjust
  != 積雲パラメタリゼーション:
  ! 対流調節スキーム
  !== Prodedures list
  ! Create      :: 初期設定
  ! Calculation  :: 演算
  :
contains
  :
  subroutine PhyCumulusAdjustCreate( &
    & phy_cum_ad, &
    & Grav, RAir, Cp, ... )
    :
  end subroutine PhyCumulusAdjustCreate
  :
end module phy_cumulus_adjust
```



Files	Classes	Methods
phy_cumulus_adjust.f90 phy_cumulus_adjust_test.f90 phy_cumulus_kuo.f90 phy_cumulus_kuo_test.f90	phy_cumulus_adjust phy_cumulus_kuo	Close (phy_cumulus_adjust) Close (phy_cumulus_kuo) Create (phy_cumulus_adjust) Create (phy_cumulus_kuo) Cumulus (phy_cumulus_adjust)

**Class phy\_cumulus\_adjust**  
In: phy\_cumulus\_adjust.f90

**積雲パラメタリゼーション: 対流調節スキーム**

**Procedures List**  
Create : 初期設定  
Cumulus : 演算

**Create( phy\_cum\_ad, Grav, RAir, Cp )**  
*Subroutine :*  
phy\_cum\_ad : type(PHYCUMAD), intent(inout)  
Grav : real, intent(in)  
: g . 重力加速度  
RAir : real, intent(in)  
: R . 大気気体定数

# テストプログラム整備の省力化 (1) <sup>10/13</sup>

- 個別の演算プログラムに対してのテスト
  - 積雲や大規模凝結などに関する各スキームがそれぞれ予期された計算をおこなっているかをチェック
  - 各スキームを組み合わせて計算する上でこれらのテストは必須
- テストを行う上での問題点
  - テストプログラム整備が面倒
    - ◆ 配列同士の比較など、コーディングにかかる手間が大きい
  - テストの実行が面倒
    - ◆ 可視化や解析の作業を定常的に行うのは面倒

# テストプログラム整備の省力化 (2) <sup>11/13</sup>

## ■ テストプログラムのコードを簡素化

- dc\_test モジュールによる多次元配列比較コード統一
  - ◆ 組込み型変数・配列 (1~7次元) に関して与える2つの引数を比較 (大小、等しいかどうかのチェック) するためのサブルーチンを用意
  - ◆ 値が異なる場合には両者の値と配列内での位置を出力して終了

## ■ テスト実行手順の定型化

- 各モジュールにテストプログラムを作成
  - ◆ phy\_cumulus\_adjust モジュールに対して phy\_cumulus\_adjust\_test.f90 を作成
- Makefile を整備し、make test コマンドでテストを実行

# テストプログラム作成と実行手順

12/13

- **phy\_cumulus\_adjust\_test.f90** の作成
  - Create による初期設定と Cumulus による演算
  - dc\_test モジュールによって提供される多次元配列比較サブルーチン (AssertEqual 等) により、Cumulus から得られた温度や比湿を予期された値と比較
- **Makefile** の作成
  - make test コマンドによってテストプログラムのコンパイルと実行するよう作成
- ソースコードに変更を加えるたびに **make test** コマンドでテスト

# まとめ

- **DCPAM (Dennou Club Planetary Atmospheric Model)**
  - <http://www.gfd-dennou.org/library/dcpam>
- **今回の試み**
  - 湿潤過程プログラム交換のためのモジュール設計
  - RDoc による解説文書自動生成
  - テストためのライブラリ整備と実行手順の定型化
- ***to be continued ...***
  - 地球条件での水惑星計算
    - ◆ 全球海洋で覆われた惑星。海水面温度固定
  - 木星を念頭においた湿潤惑星計算
    - ◆ 杉山 (2007) と同様な計算設定

# 参考文献

- Balaji, V.: The FMS Manual: A developer's guide to the GFDL Flexible Modeling System.  
<http://www.gfdl.noaa.gov/~vb/FMSManual/FMSManual.html>
- The flexible modeling system (FMS). <http://www.gfdl.noaa.gov/~fms/>, GFDL
- 森川 靖大, 小高正嗣, 石渡 正樹, 林 祥介, gtool4 開発グループ, 2006: gt490io ライブラリ, <http://www.gfd-dennou.org/library/gtool4/>, 地球流体電脳倶楽部.
- 森川靖大, 石渡正樹, 堀之内武, 小高正嗣, 林祥介, 2007: RDoc を用いた数値モデルのドキュメント生成. 天気, 54, 185--190.
- 沼口 敦, 1992: 博士論文.
- RDoc: <http://www.ruby-doc.org/stdlib/libdoc/rdoc/rdoc/>
- Ruby: <http://www.ruby-lang.org/>
- SWAMP Project, 1998: AGCM5. <http://www.gfd-dennou.org/arch/agcm5/>. 地球流体電脳倶楽部
- 竹広 真一, 小高 正嗣, 石岡 圭一, 石渡 正樹, 林 祥介, 2006: 階層的地球流体スペクトルモデル集 SPMODEL. ながれマルチメディア 2006.
- 竹広真一, 石岡圭一, 森川靖大, 小高正嗣, 石渡正樹, 林祥介, SPMODEL 開発グループ, 2004: 階層的地球流体力学スペクトルモデル集 (SPMODEL), <http://www.gfd-dennou.org/library/spmodel/>, 地球流体電脳倶楽部.