

可変性と可読性を考慮した 大気大循環モデルの開発と 湿潤惑星の数値実験

- 森川 靖大 (北大・理/神戸大・理)
杉山 耕一朗 (九大・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)



目次

大循環モデルに (湿潤) 対流を組み込むにはどうしたらよいか、という技術的なお話です。

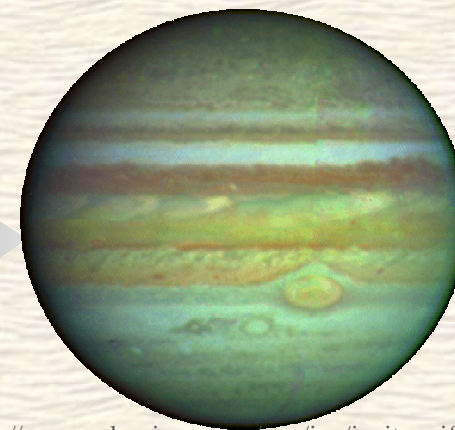
- はじめに: 仮想湿潤惑星大気計算に向けて
- モジュール設計の見直し
- プログラムのテスト実行の半自動化
- モジュール雛形作成ツールの整備
- モデルの実装の現状

仮想湿潤惑星大気計算

- いろいろな湿潤惑星大気循環を計算したい



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



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

- 一般に仮想惑星大気計算のためには
 - 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

可変性・可読性を重視した 大気大循環モデルの試み

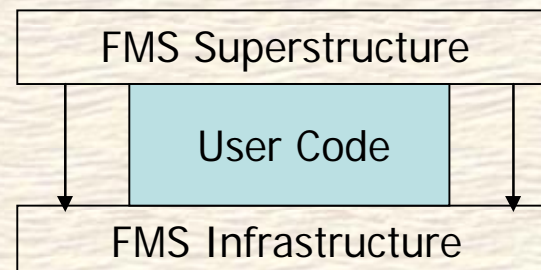
4 / 18

■ 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)

- Fortran 90/95
- 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
- 湿潤過程の交換や分離に関して工夫の余地有



■ DCPAM (気象学会 秋季大会 2005, 春季大会 2006)

- ソースコードを元の支配方程式の数学的表現に似せる工夫
 - ◆ dcmode1 プログラミングガイドライン
- ソースコードの解説文書作成を自動化
 - ◆ RDoc Fortran 90/95 解析機能強化版 (森川 他, 天気, 54)

湿潤大気計算における問題点

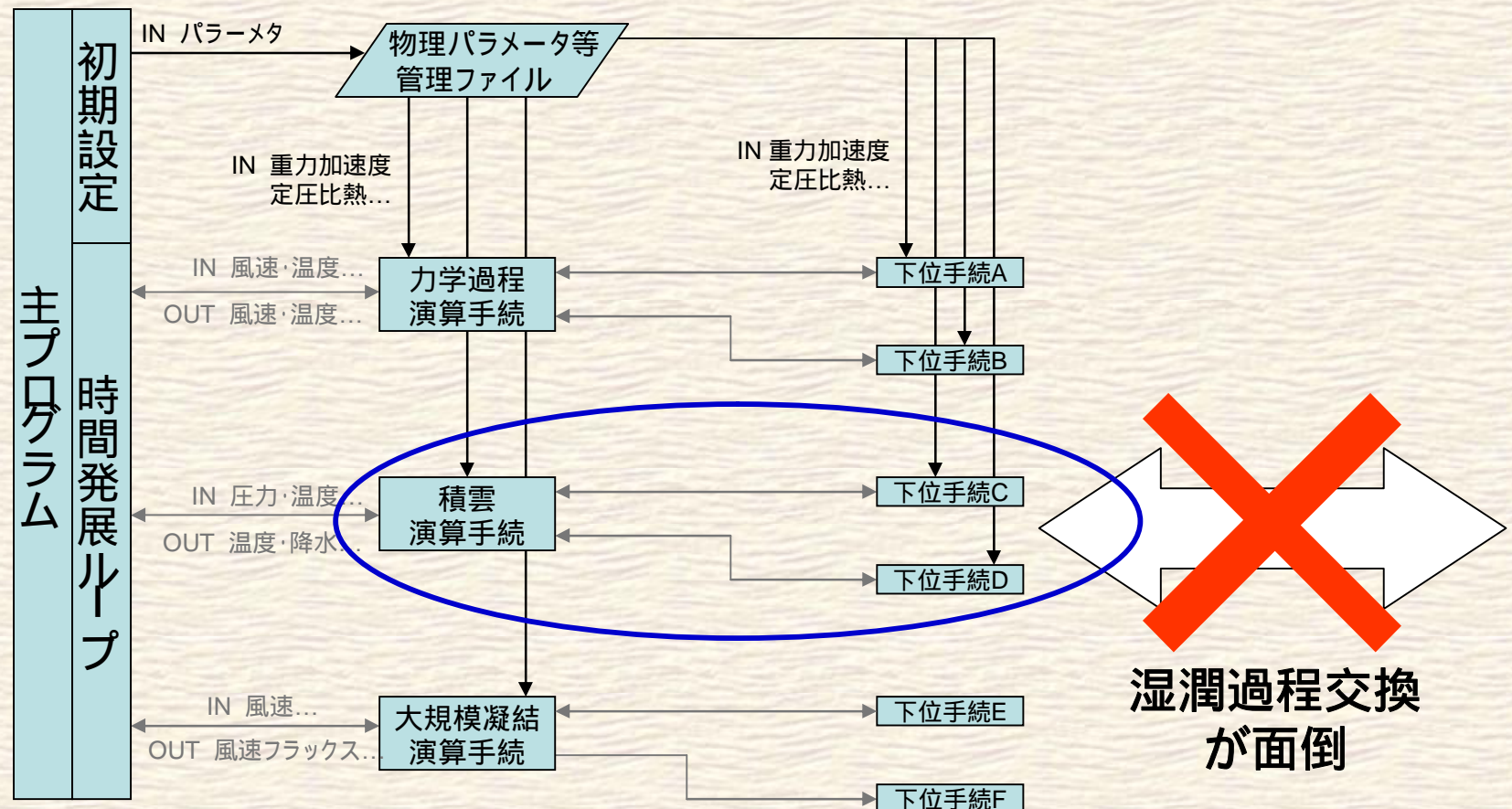
- 湿潤過程 (積雲パラメタリゼーション、大規模凝結など) の交換やソース改変の作業が面倒
 - 湿潤過程演算プログラムの交換が面倒
 - ◆ 個々の演算プログラムが必要とする情報 (物理定数, 予報変数など) がどこにあるのか、ソースコードを読み解かないと分からないプログラム構造になりがちのため
 - ソース改変時の動作テストが面倒
 - ◆ 可視化や解析の作業を定常的に行うのは面倒
 - ◆ テストプログラムの作成に手間がかかる

目次

- はじめに：仮想湿潤惑星大気計算に向けて
- **モジュール設計の見直し**
- プログラムのテスト実行の半自動化
- モジュール雛形作成ツールの整備
- モデルの実装の現状

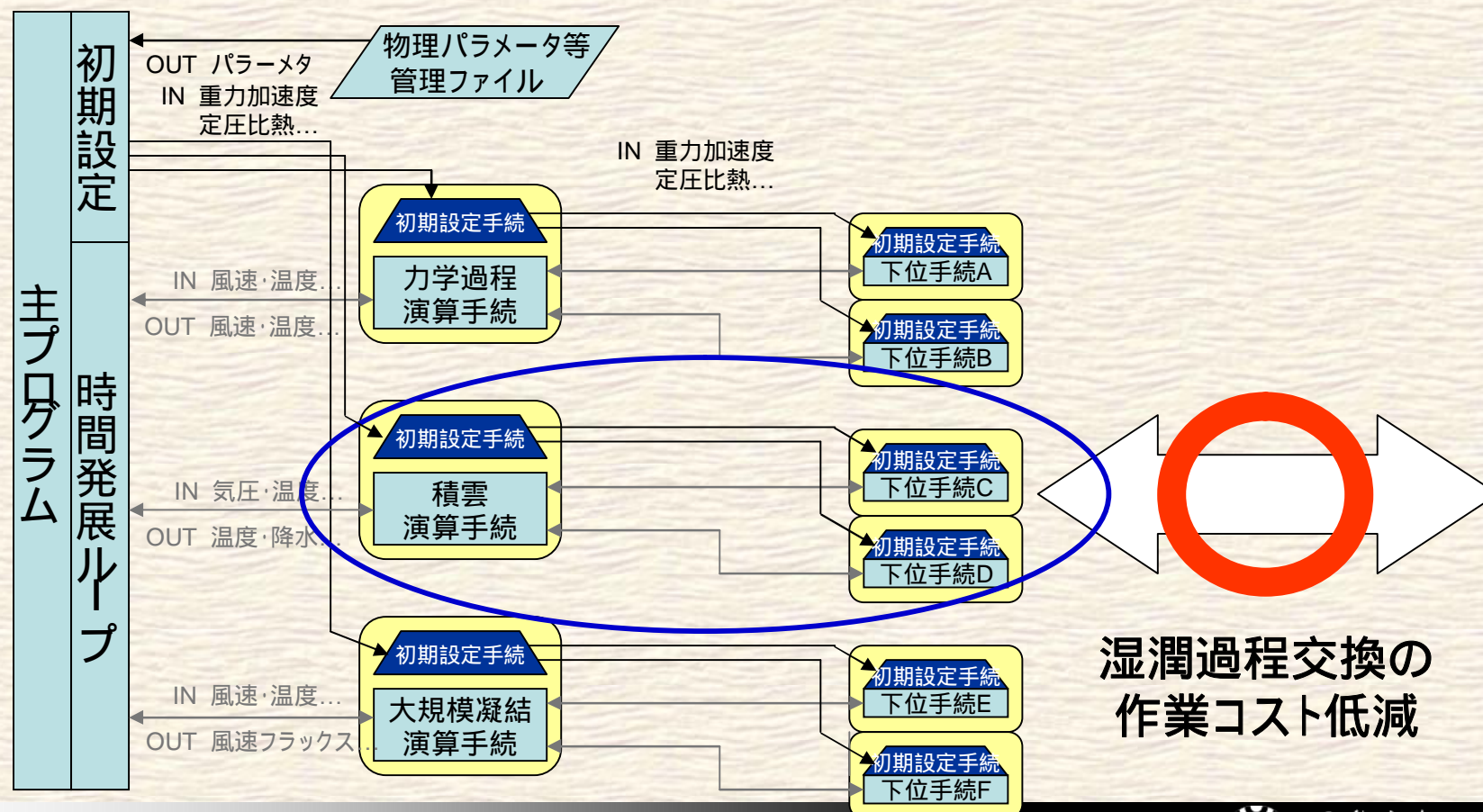
モジュール設計の見直し(1)

- 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



モジュール設計の見直し(2)

- 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



モジュール設計の見直し(3)

■ 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初期設定手続きと演算手続きの引数として集約

- 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、 ...

目次

- はじめに：仮想湿潤惑星大気計算に向けて
- モジュール設計の見直し
- プログラムのテスト実行の半自動化
- モジュール雛形作成ツールの整備
- モデルの実装の現状

プログラムのテスト実行の半自動化(1)^{11/18}

■ 個別の演算プログラムに対してのテスト

- 初期設定手続に与えられたパラメタがモジュール内で正しく設定されているか「答えあわせ」する
- 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「答えあわせ」する

■ テストを行う上での問題点

- 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

プログラムのテスト実行の半自動化(2)^{12/18}

■ 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
 - ◆ 組み込み型変数・配列 (1 ~ 7次元) に関して 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
 - ◆ モジュール (hoge.f90) に対して
テストプログラム (hoge_test.f90) と
テスト実行シェルスクリプト (hoge_test.sh) を作成
- Makefile を整備し、make test コマンドでテストを実行

目次

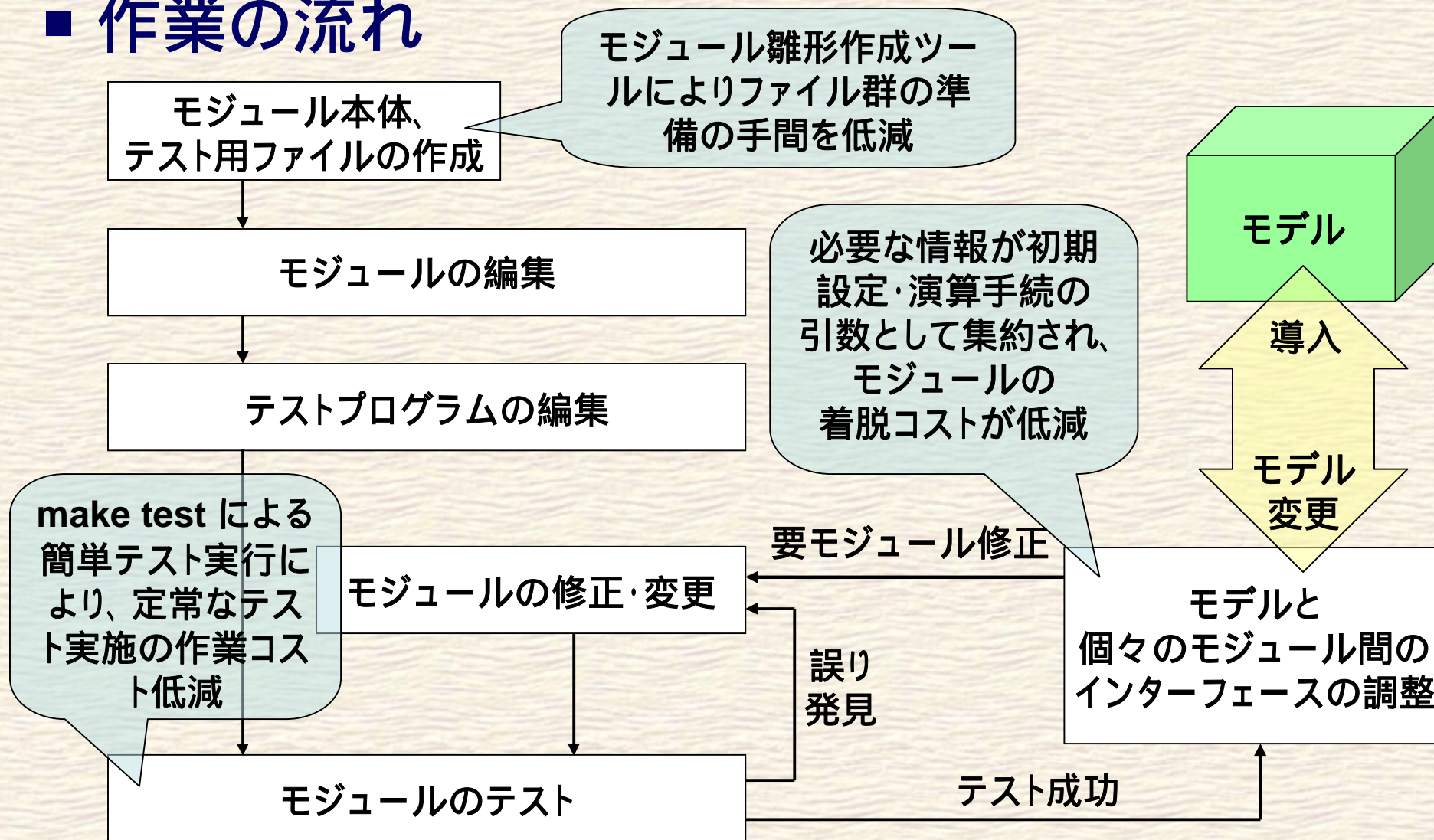
- はじめに：仮想湿潤惑星大気計算に向けて
- モジュール設計の見直し
- プログラムのテスト実行の半自動化
- **モジュール雛形作成ツールの整備**
- モデルの実装の現状

モジュール雛形作成ツールの整備

- Fortran ファイルやシェルスクリプトを自動生成する Ruby スクリプトを準備
- 積雲対流スキームの場合に生成されるファイルの例
 - モジュール
 - ◆ ファイル名: phy_cumulus_adjust.f90
 - ◆ 積雲対流スキームを実際に計算するための Fortran ファイル
 - テストプログラム
 - ◆ ファイル名: phy_cumulus_adjust_test.f90
 - ◆ 上記モジュールを読み込み、テストを実行する Fortran ファイル
 - テスト実行シェルスクリプト
 - ◆ ファイル名: phy_cumulus_adjust_test.sh
 - ◆ 上記テストプログラムの実行を行うシェルスクリプト

開発・整備の作業コスト低減

■ 作業の流れ



目次

- はじめに：仮想湿潤惑星大気計算に向けて
- モジュール設計の見直し
- プログラムのテスト実行の半自動化
- モジュール雛形作成ツールの整備
- モデルの実装の現状

モデルの実装の現状

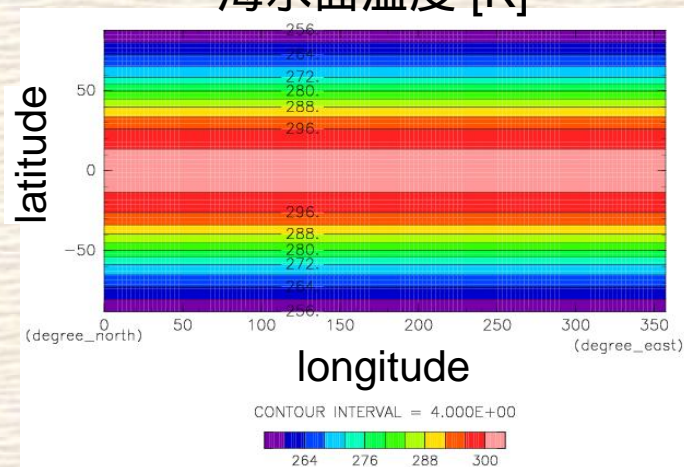
■ 以下の物理過程をモジュール化して実装

- 湿潤対流調節
- 大規模凝結
- 放射過程 (4色バンドモデル)
- 鉛直拡散 (Mellor Yamada, Level 2)
- 地表面フラックス (バルク法)

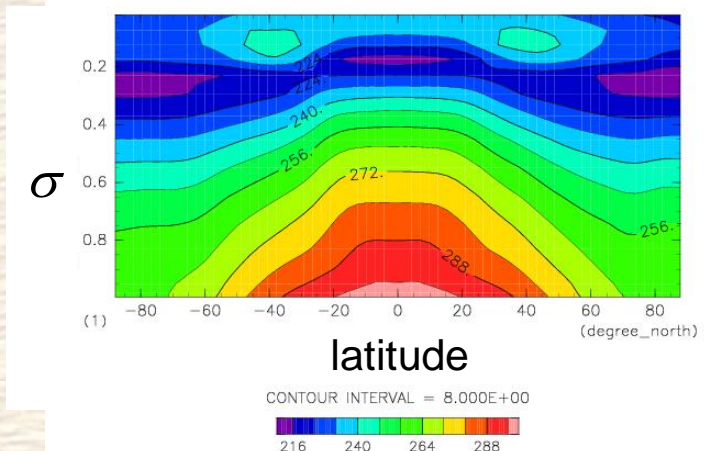
■ 水惑星実験

- SST 分布 (Hosaka et al, 1998)

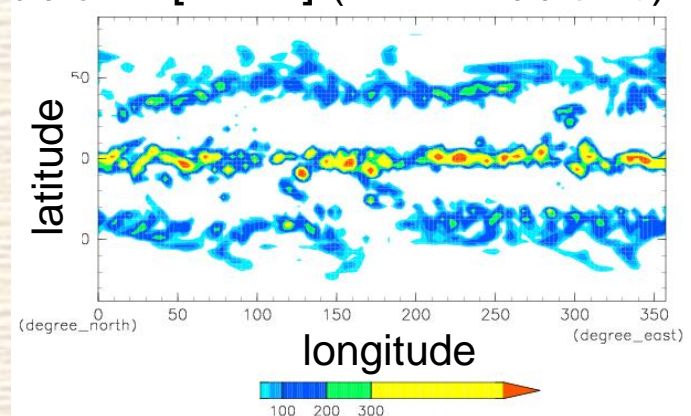
海水面温度 [K]



温度 [K] 東西平均 (90-100 日平均)



降水量 [W/m²] (90-100 日平均)



まとめ

■ DCPAM (Dennou Club Planetary Atmospheric Model)

- <http://www.gfd-dennou.org/library/dcpam>

■ 今回の試み

- モジュール設計の見直し
 - ◆ 物理過程交換のためのモジュール設計
- プログラムのテスト実行の半自動化
- モジュール雛形作成ツールの整備
- モデルの実装の現状
 - ◆ 湿潤過程の実装と水惑星実験

■ *to be continued ...*

- 木星を念頭においた湿潤惑星計算
 - ◆ 杉山ら (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
- Hosaka, M., Ishiwatari, M., Takehiro, S., Nakajima, K., Hayashi, Y.-Y., 1998: Tropical precipitation patterns in the response to a local warm SST area placed at the equator of an aqua planet. J. Meteor. Soc. Japan, 76, 289--305.
- 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/library/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.

付録



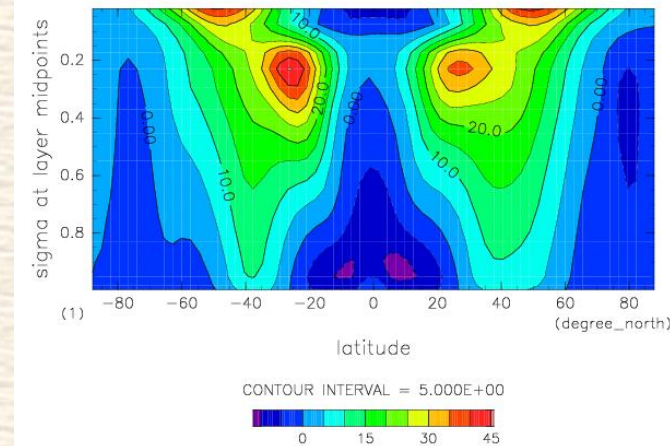
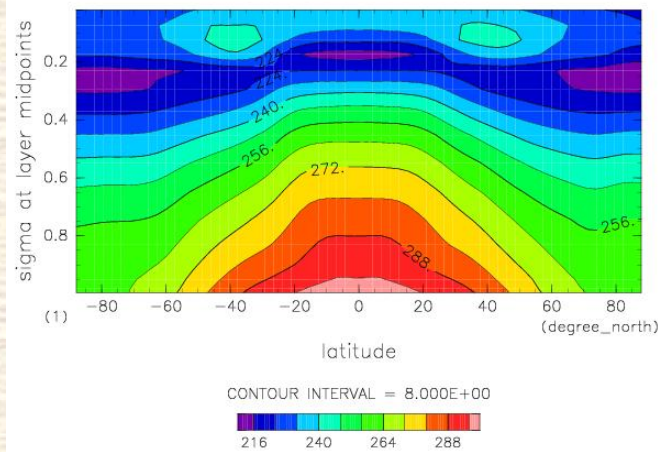
モデル開発の現状

■ 地球条件での水惑星計算に必要な物理過程の導入

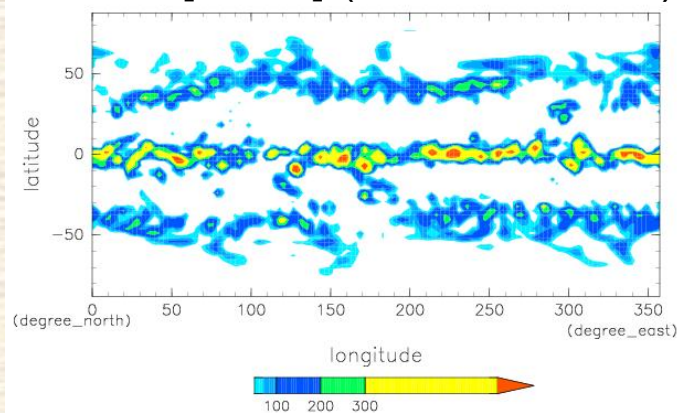
- 全球海洋で覆われた惑星。海水面温度固定

温度 [K] 東西平均 (90-100 日平均)

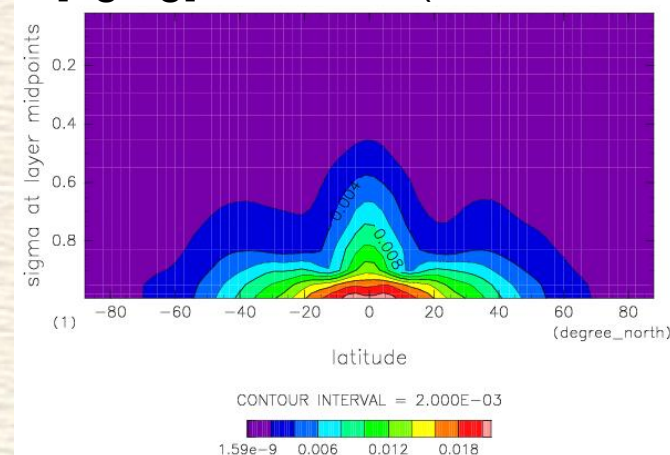
東西風 [m/s] 東西平均 (90-100 日平均)



降水量 [W/m²] (90-100 日平均)



比湿 [kg/kg] 東西平均 (90-100 日平均)



雛形ファイル作成ツールの整備

- 今回紹介したモジュール設計、テスト手順に従う、以下のファイル群を自動生成
 - モジュール、テストプログラム、テスト実行シェルスクリプト、NAMELIST ファイル

使用例

```
$ make template
```

```
ruby dcmode1_f90sample_maker.rb -E module
Input Module name : phy_cumulus
Title of module (for English) : Cumulus scheme
Title of module (for Japanese) : 積雲スキーム
Input basename [PhyCumulus]:
Input arg_type [PHYCUM]:
Input arg_keyword [phy_cum]:
Input Your name [unknown]: Yasuhiro MORIKAWA
Input Copyright [GFD Dennou Club]:
```

```
Message: phy_cumulus.f90 is generated ... done.
Message: phy_cumulus_test.f90 is generated ...
Message: phy_cumulus_test00.nml is generated ...
Message: phy_cumulus_test.sh is generated ... d
```

雛形生成
Ruby スクリプト

入力項目

モジュール
phy_cumulus.f90

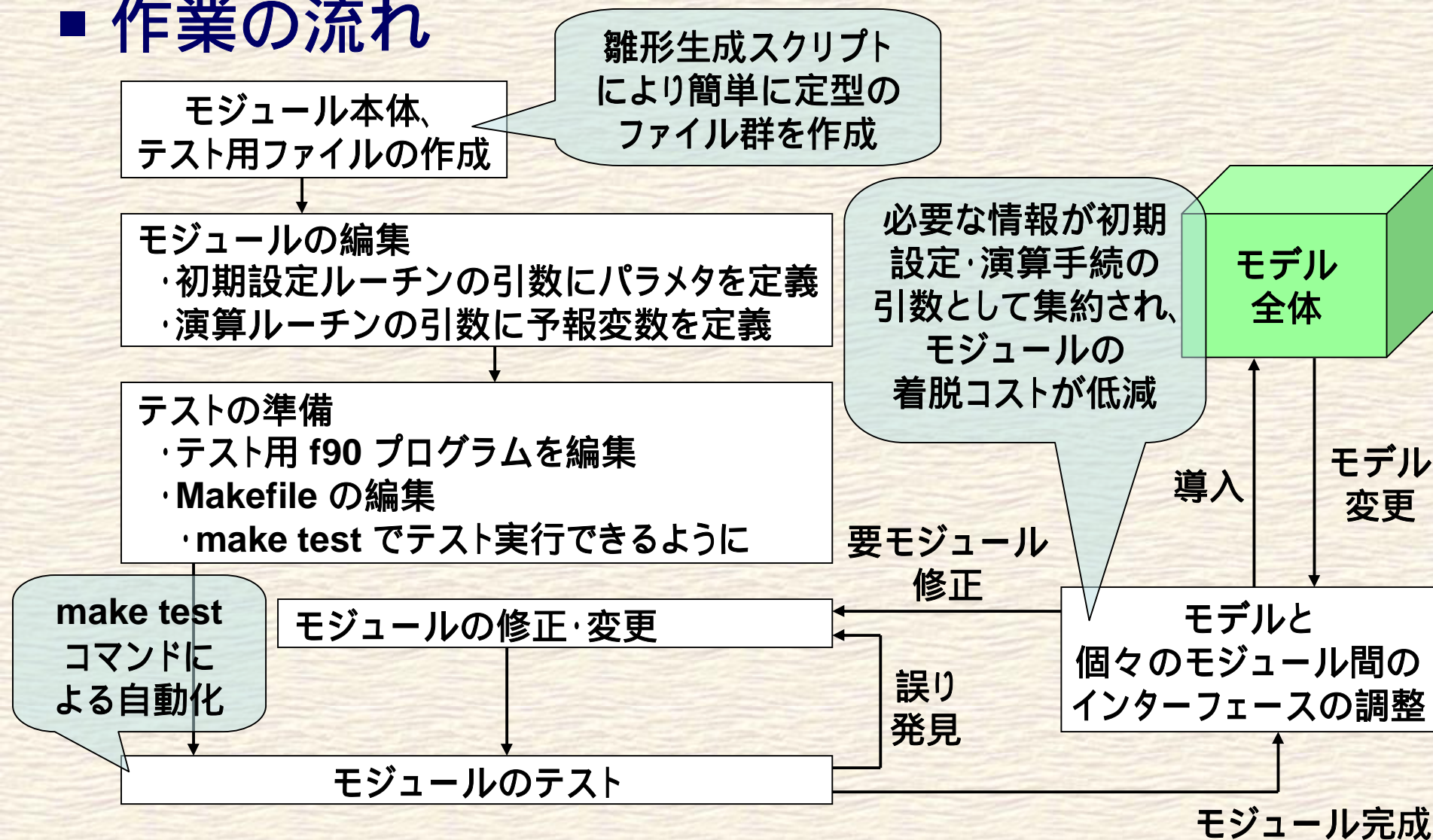
テストプログラム
phy_cumulus_test.f90

NAMELIST ファイル
phy_cumulus_test00.nml

テスト実行シェルスクリプト
phy_cumulus_test.sh

開発・整備の作業コスト低減

■ 作業の流れ



モデル開発の現状

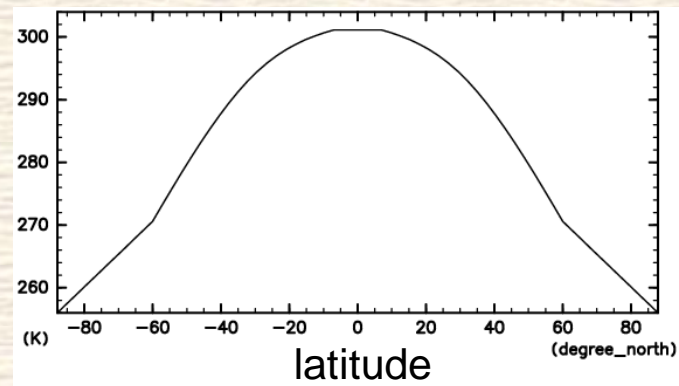
■ 以下の物理過程をモジュール化して実装

- 湿潤対流調節
- 大規模凝結
- 放射過程 (バンドモデル)
- 鉛直拡散 (Mellor Yamada, Level 2)

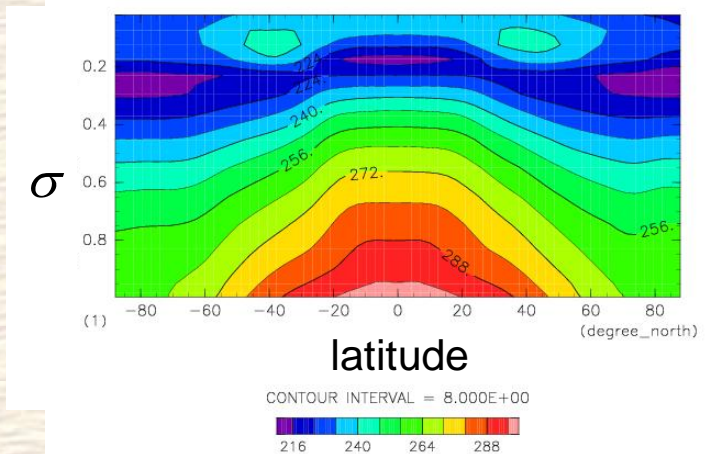
■ 水惑星実験

- SST 分布: 東西一様 (Hosaka et al, 1998)

海水面温度 [K]



温度 [K] 東西平均 (90-100 日平均)



降水量 [W/m^2] (90-100 日平均)

