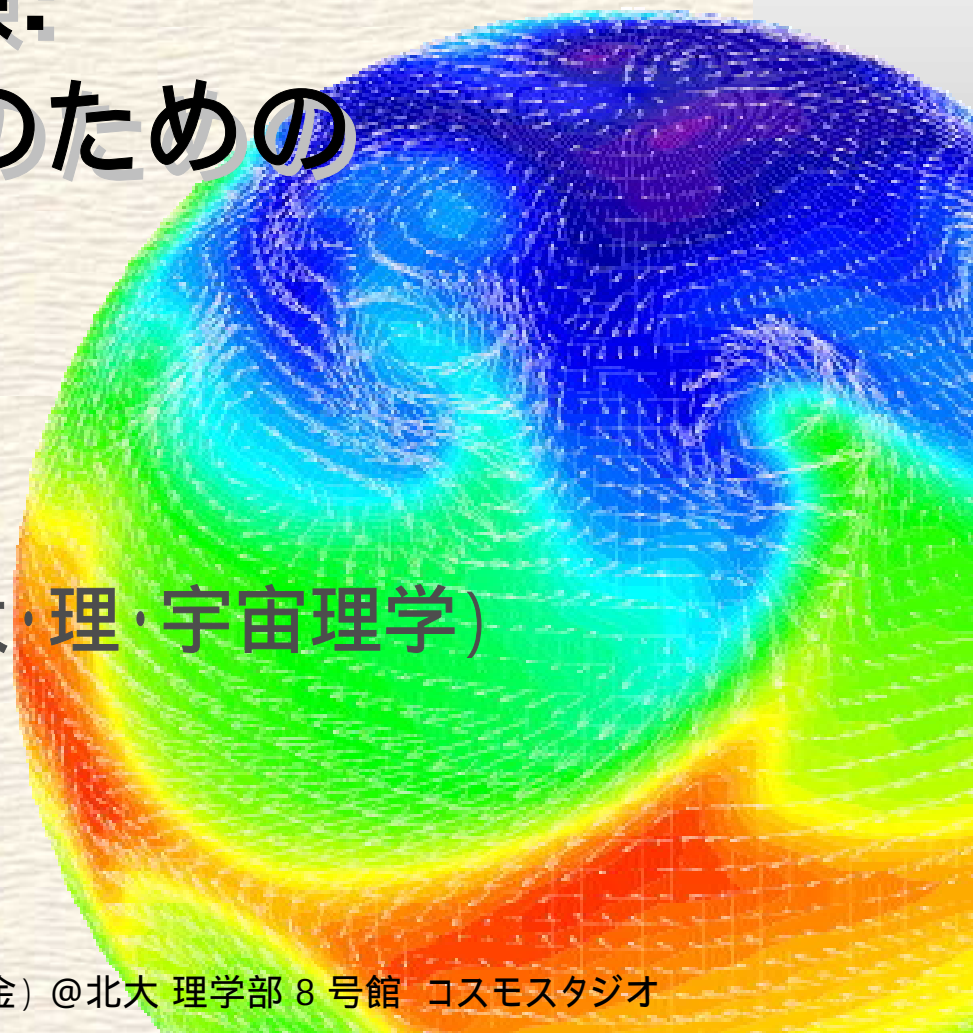


可変性と可読性を考慮した 大気大循環モデルの 設計と実装実験: 物理過程交換のための プログラム設計

森川 靖大

神戸大・理・地惑 (北大・理・宇宙理学)

博士後期課程 3 年



惑星大気大循環モデル

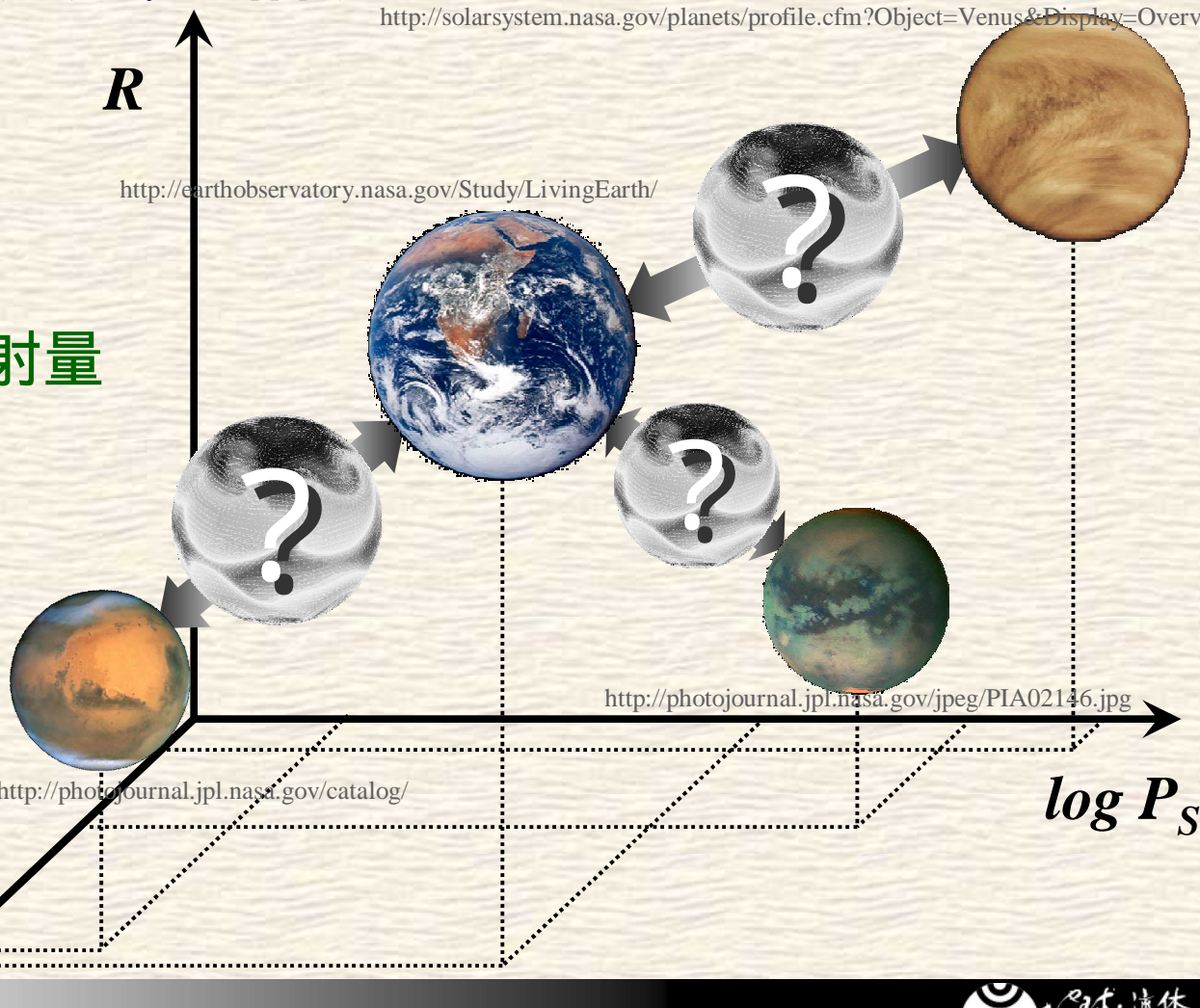
■ 仮想的な惑星大気の計算

- 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
 - ◆ 自転周期
 - ◆ 大気圧
 - ◆ 大気温度

etc. ...

$\log|\Omega|$

R



<http://solarsystem.nasa.gov/planets/profile.cfm?Object=Venus&Display=Overview>

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

<http://photojournal.jpl.nasa.gov/jpeg/PIA02146.jpg>

<http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/>

可変性・可読性を重視した 大気大循環モデルの試み

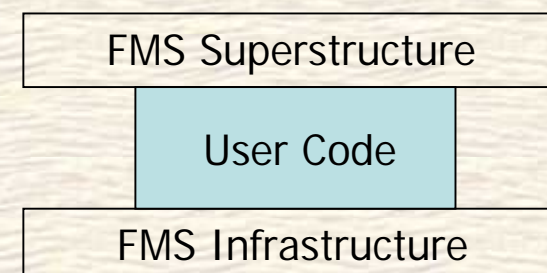
3/12

■ 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



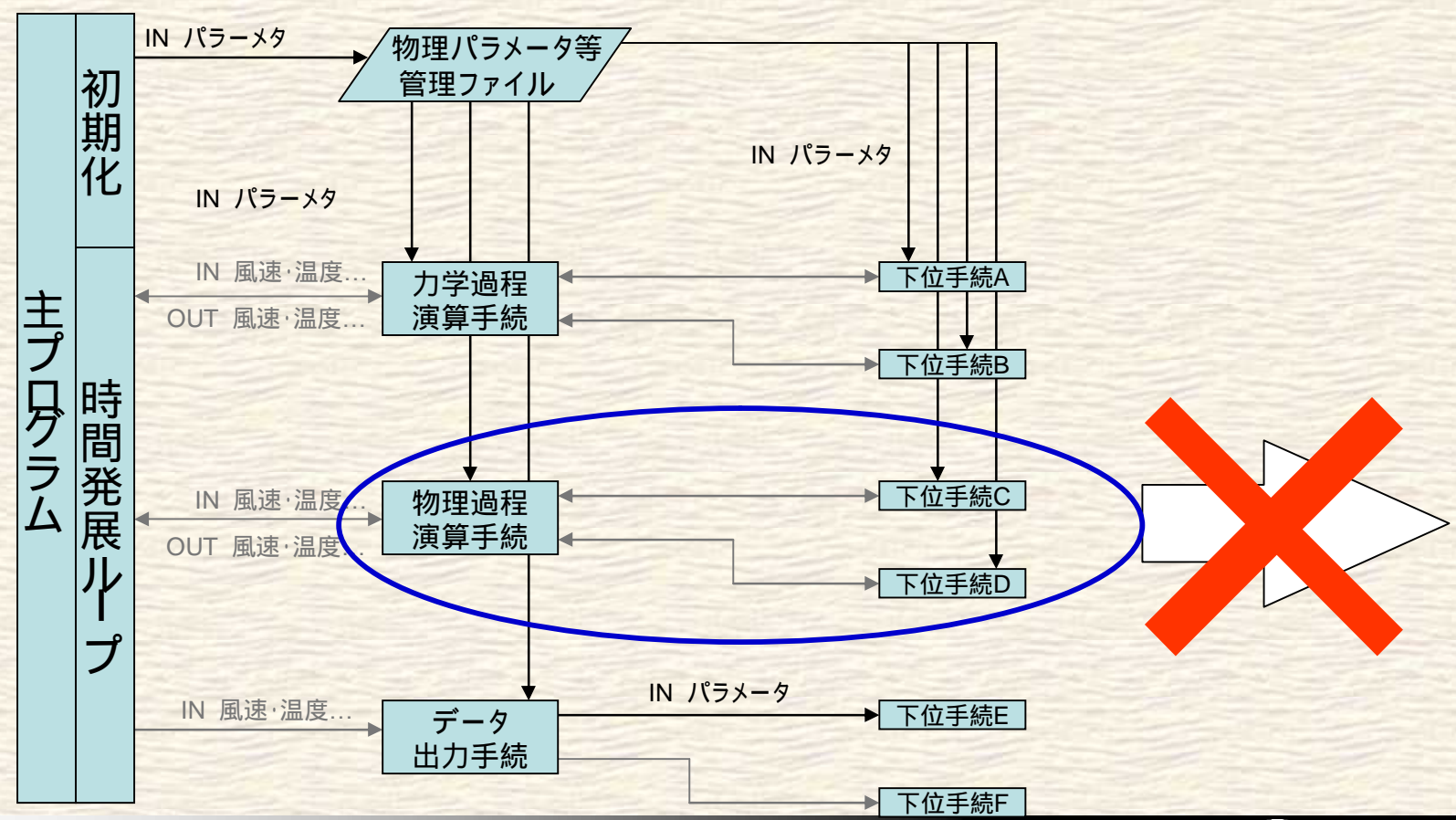
- 可変性や可読性に優れる大気大循環モデルの開発手法の確立および周辺ソフトウェアの開発
 - 研究者一人一人が手軽に (大気大循環モデルのようなある程度大規模な) モデルをいじったり、ソースコードや計算結果を研究者同士でやりとりしたくなるように
- 方針
 - AGCM5 を参考に、ソースコード (FMS でいうところの "User Code" の中身) からの可変性・可読性について考える
 - Fortran 90/95 や Ruby など, ここ10年の計算機の進歩やソフトウェアの発達によって利用可能になった技術を導入することで, (実行効率をあまり犠牲にすることなく) 可読性と可変性を向上させてみる

これまでに行ってきた試み

- **物理過程交換を容易にするためのプログラム設計**
 - どのパラメータ (格子点情報や物理定数といったモデル設定のパラメータ) をどのモジュールが使用するか、が明確に分かるようなプログラム設計により、物理過程の交換や変更を容易に
- **テストプログラム作成支援ライブラリの開発**
 - 個々のプログラムを個別にテストしやすくなることでデバッグを容易に
- **dcmodel プログラミングスタイルの策定**
 - Fortran 90/95 で作るモデル (主に大気大循環や対流) のソースコードの書き方やプログラムの設計方法に関する提案
 - ◆ 配列演算関数の活用によって、物理量を演算するソースコードをより数式に近い書式で記述し、支配方程式との対応を分かりやすく
- **データ入出力 Fortran 90/95 ライブラリ gt4f90io の整備**
 - 煩雑になりがちなデータ入出力コードを簡潔な書式で統一的に記述できるように
- **ドキュメント自動生成ライブラリ RDoc の強化**
 - Fortran 90/95 ソースコードから、サブルーチンや関数の使用方法などを記した解説文書を自動生成
- **Gfdnavi の開発**
 - 地球流体データの解析・可視化ツール
 - 手元の計算機とリモートの計算機のデータを自動的にデータベースへ登録。ローカルとリモートを意識せずに作業が可能

物理過程交換のためのプログラム設計(1)

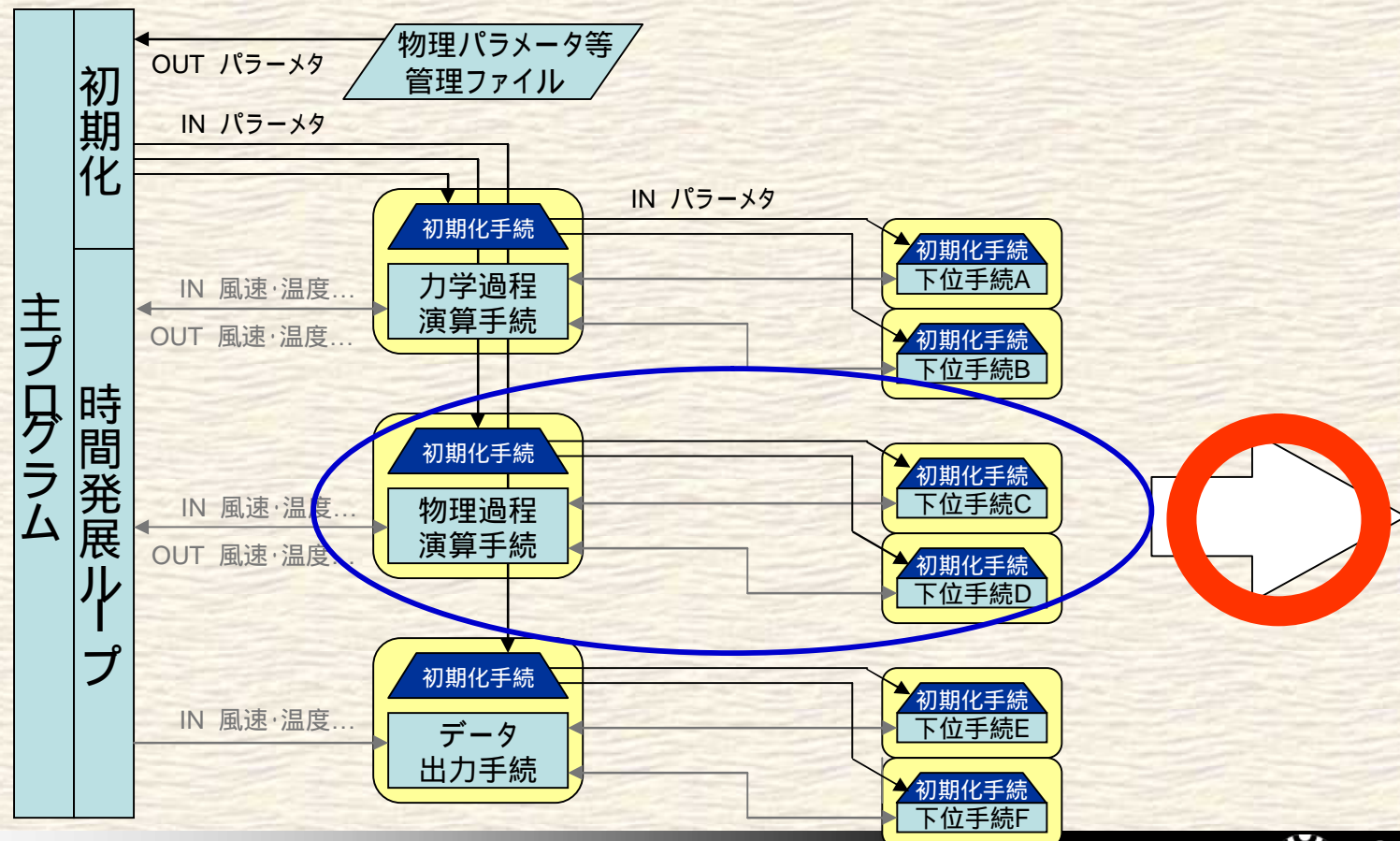
- モデル設定パラメータの集中管理
 - モデルを構成する個々のサブセットを切り離しが面倒



物理過程交換のためのプログラム設計(2)

7/12

- 個々の演算に必要なパラメータは各モジュールごとに保持
 - 各モジュールで初期化手続を用意し、その手続でパラメータを設定
 - モジュールをサブセットとしてモデルから切り離す作業コストが低減



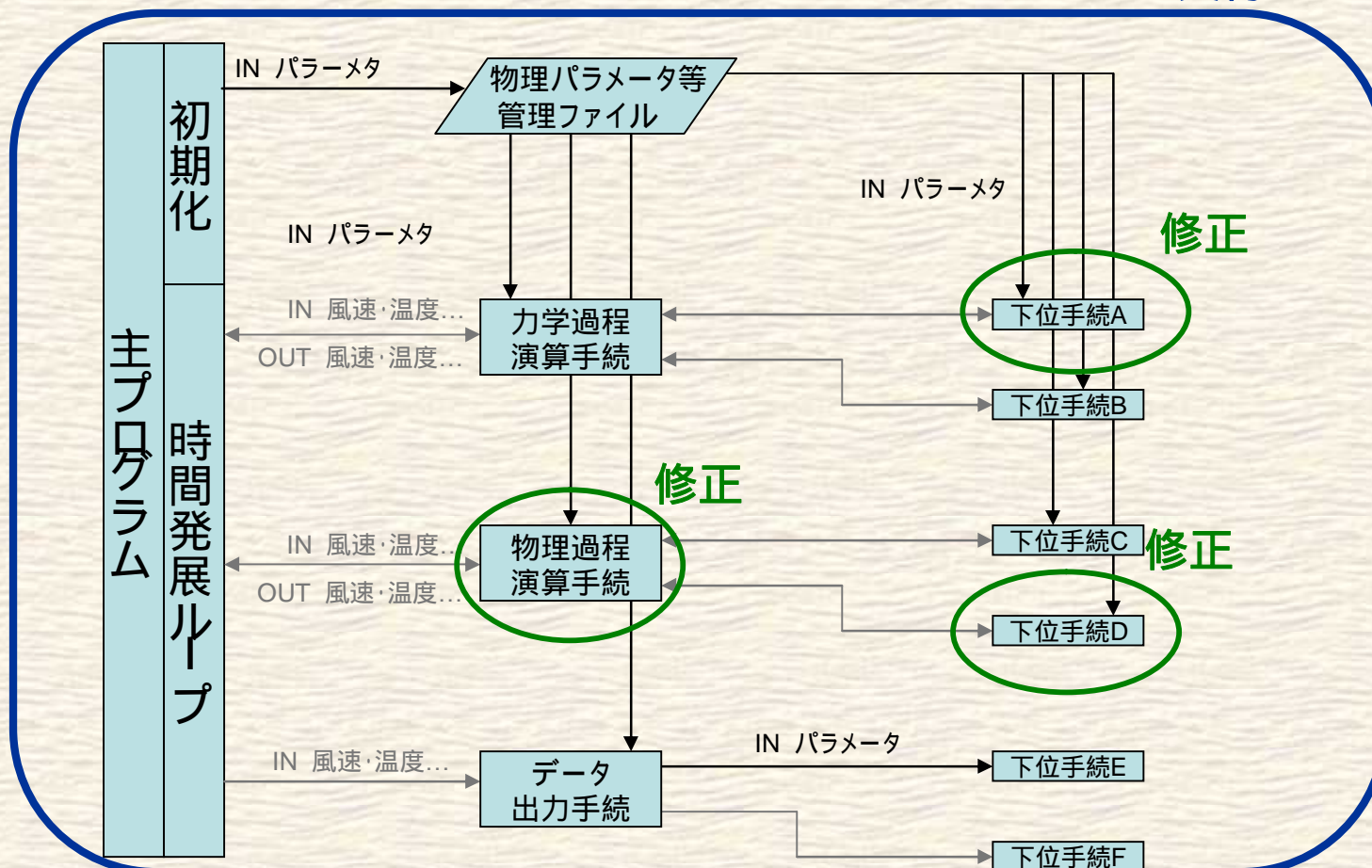
テストプログラムの整備 (1)

8/12

■ 常に全体テスト

- 細かい修正のチェックのたびに全体でコンパイルと実行の必要あり
- デバッグの手順が煩雑に

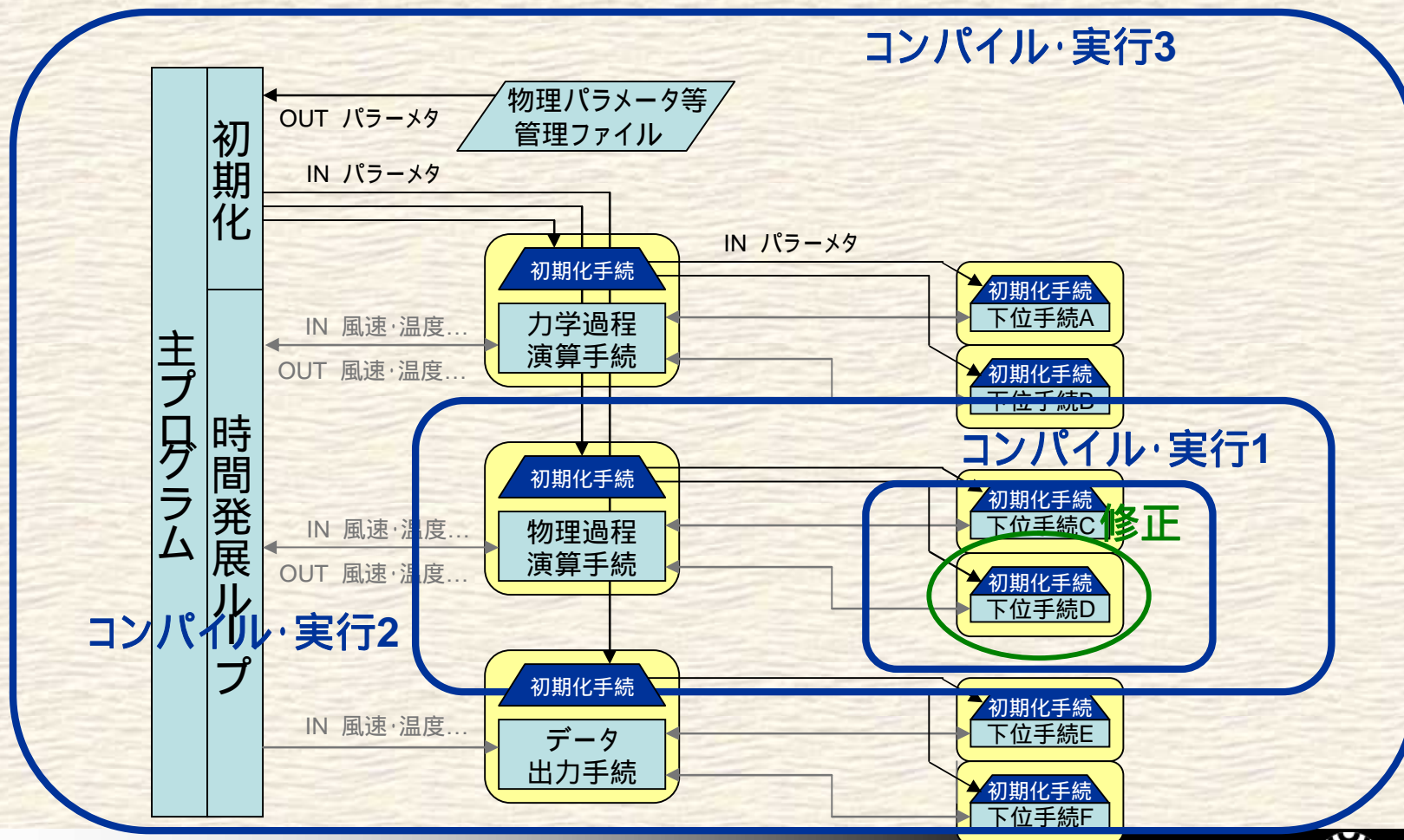
コンパイル・実行



テストプログラムの整備 (2)

■ モジュール毎に個別テスト

- 小さいプログラム単位でチェックした後に大きなプログラム単位へ



テストプログラムの整備 (3)

■ 簡単テストプログラムによるテストの自動化

- 簡単な動作テストプログラム

- ◆ ここで言う「テスト」= 答えが分かっている場合について、ちゃんと計算できているか確認すること

- デバッグの際はまともに計算・可視化の必要あり。しかし、まずは誤りが存在することを自動的に検出できることが大事
- 自動化してコマンド1つでチェックできることが大事

■ gt4f90io ライブラリ (2004 年 合同大会) のサブセットとして dc_test モジュール作成

- 組み込み型変数・配列 (1 ~ 7次元) に関して与える 2 つの引数を比較 (等しいかどうか、大小比較のチェック)

テストプログラムの整備 (4)

■ dyn_spectral_as83_test.f90

```
program dyn_spectral_as83
  use dc_test, only: AssertEqual
  use dyn_spectral_as83, only: Calculation
  integer :: nmax, imax, kmax, ...
  :
  call Calculation( &
    & xyz_VorB, xyz_DivB, xyz_TempB, xyz_QVapB, xy_PsB, & ! (in)
    & xyz_VorA, xyz_DivA, xyz_TempA, xyz_QVapA, xy_PsA ) ! (out)
  :
  call AssertEqual( message='Vorticity test' &
    & answer = (/ -1.208654e-08, -1.235772e-08, ... &
    & :
    & ... /), &
    & check = xyz_VorA )
  :
  call AssertEqual( message='Temperature test' &
    & answer = (/ 299.9977, 299.9978, ... &
    & :
    & ... /), &
    & check = xyz_TempA )
  :
end program dyn_spectral_as83
```

演算ルーチン

チェックルーチン

Make コマンド

自動的にコンパイルと実行

正答

正答

チェックメッセージ
誤りの検出

```
% make test
f90 dyn_spectral_as83_test.f90 dyn_spectral_as83.o ... -L/usr/lib
-o dyn_spectral_as83_test
./dyn_spectral_as83_test
*** MESSAGE [DCAssertEqual] *** Checking Vorticity test OK
:
*** MESSAGE [DCAssertEqual] *** Checking Temperature test FAILURE

check(22,16,3) = 328.2
is INCORRECT
Correct answer is answer(22,16,3) = 238.5
```

まとめ

■ DCPAM (Dennou Club Planetary Atmospheric Model)

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

■ 今回紹介した試み

- 物理過程演算ルーチンと、初期化ルーチン (演算に必要なパラメータ全てを受け取る) とを1つのモジュールで管理することにより、個々の物理過程の交換が容易に
- dc_test モジュールの整備によりモデルのパーツごとのテストプログラムが容易となり、デバッグが容易に

■ *to be continued ...*

- 基礎実験を通した検証
 - ◆ 地球条件における動作の検証
 - ◆ 火星・金星・木星表層大気のための物理過程交換の簡便さの検証
 - ◆ 仮想惑星のパラメタスタディへ
- 実行速度の改善
 - ◆ 関数利用を原因とするパフォーマンス低下の定量的検証
 - ◆ 大規模計算のための並列化実装

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.