

# ソフトウェアとしての可読性を重視した全球プリミティブモデル

森川靖大<sup>1</sup> (morikawa@ep. sci. hokudai. ac. jp)、石渡正樹<sup>2</sup>、高橋芳幸<sup>1</sup>、小高正嗣<sup>1</sup>、林祥介<sup>1</sup>

<sup>1</sup>北海道大学大学院理学研究科、<sup>2</sup>北海道大学大学院地球環境科学研究院

## 背景

モデル設定の**可変性** (スキームの交換や分離の容易さ) とソースコードの**可読性** (ソースコードの読み書きの容易さ) を合わせ持った大気大循環モデル (GCM) の開発を目指して、スペクトル法を用いたプリミティブモデルのソースコードの検討を行い、そのプログラム実装と試験計算を行った。このような GCM を開発する目的は、地球と火星の大気構造の相互比較など、モデルに実装される物理過程を変更した比較惑星科学的数値実験を容易に実行できる環境を手に入れることである。

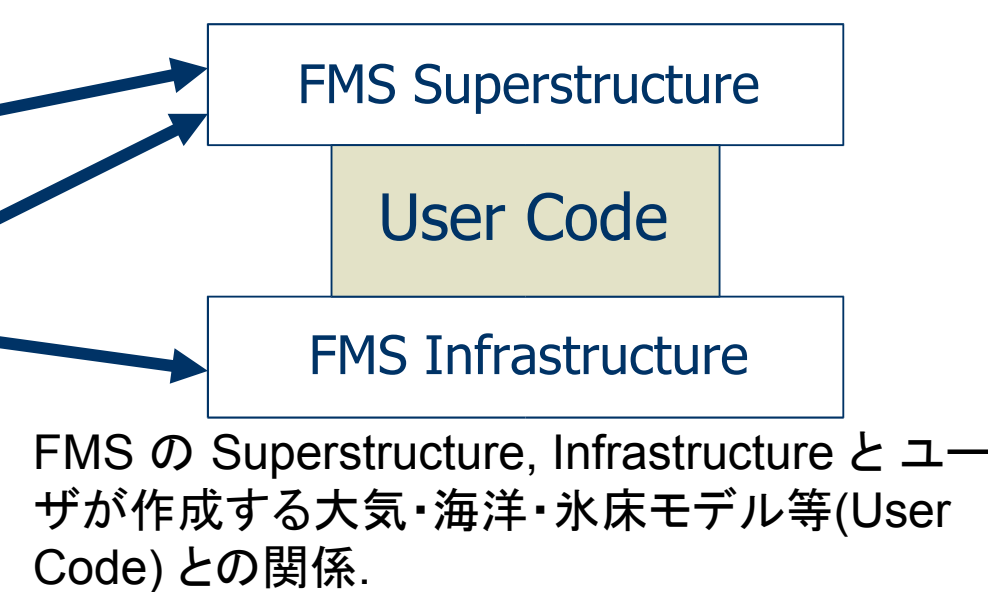
## 可変性と可読性を考慮したこれまでの試み

### AGCM5 (沼口, 1992: SWAMP Project, 1998)

- 可読性向上の工夫
  - 変数命名規則
  - プログラム書法の工夫
  - リファレンスマニュアル (個々のサブルーチンの仕様の解説文書) の整備
- ただし、**FORTRAN77** の制約が大きい

### FMS (GFDL, 2005)

- 並列計算と両立する可変性向上の工夫
  - 大気・海洋・氷床モデルの結合をサポート
  - データ入出力、並列化、機種依存性の吸収をサポート
- User Code を追加することで結合モデルを構築する枠組
- User Code の**可読性・可変性を追求するものではない**



## ソースコードの可読性向上の試み

### 変数命名規則

SPMODEL (竹広 他, 2005) で考案された関数、変数の命名規則を拡張し、従属変数が依存する次元や、時間ステップが一目でわかる命名規則を考案・検討している。

- 変数名の基本形: (格子点情報に関する接頭詞)\_(物理的意味)\_(時間方向添字)
- 例
  - xyz\_TempB: 温度の格子点データ (時刻  $t-\Delta t$ ) の3次元配列
  - wz\_VorA: 渦度を水平スペクトル変換したスペクトルデータ (時刻  $t+\Delta t$ ) の2次元配列

### プログラム書法

ソースコード中で方程式を計算する部分に上記の変数命名規則に基づく変数名と SPMODEL のスペクトル演算用配列関数を併用することで、ソースコードを元の方程式と対応させやすい Fortran90/95 の配列式として記述することが可能になった。以下はプリミティブ方程式系における渦度方程式とそれに対応するソースコード例である。

- 渦度の時間発展の式

$$\frac{\partial \zeta(t)}{\partial t} = \frac{1}{a \cos \phi} \left( \frac{\partial VA(t)}{\partial \lambda} - \frac{\partial (v \cos \phi) UA(t)}{\partial \phi} \right) \quad \text{.....(1)}$$

$$\zeta(t+\Delta t) = \zeta(t-\Delta t) + 2\Delta t \times \frac{\partial \zeta(t)}{\partial t} \quad \text{.....(2)}$$

$$\begin{pmatrix} UA(\lambda, \phi, \sigma, t) = (\zeta + f) v \cos \phi \\ VA(\lambda, \phi, \sigma, t) = -(\zeta + f) u \cos \phi \end{pmatrix}$$

- Fortran90/95 による例

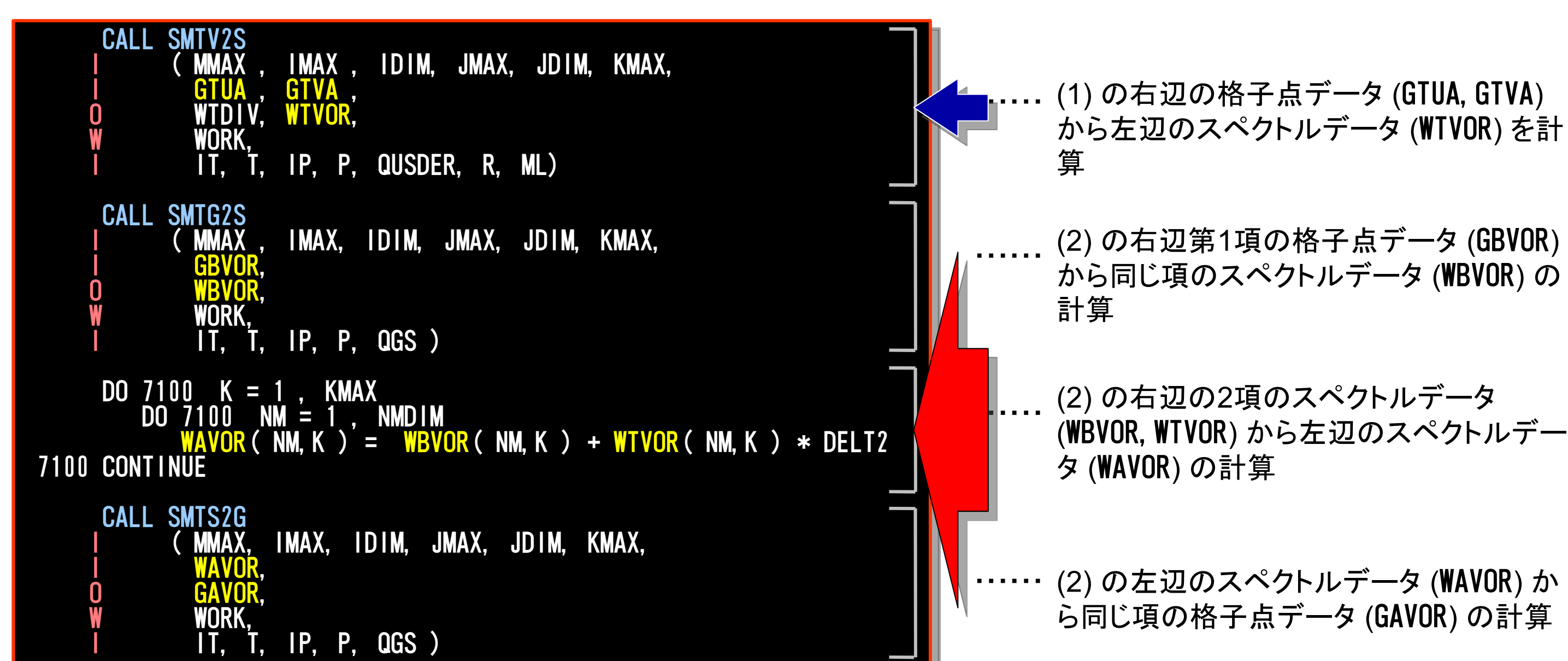
- 変数名の工夫により方程式に近い形でソースコードを記述可能 (変数命名規則の工夫)
- SPMODEL のスペクトル演算用配列関数の利用によってソースコードを簡素化 (プログラム書法の工夫)

```
wz_DVorDtN = wa_Div_yxa_yxa( xyz_VAN, -xyz_UAN ) / Rplanet
```

```
xyz_VorA = xya_wa( wa_yxa( xyz_VorB ) + 2. * DelTime * wz_DVorDtN )
```

- FORTRAN77 の例 (AGCM5 の場合) との比較

- 格子点/スペクトルデータを示す接頭詞を変数名に付加していた (変数命名規則の工夫)
- サブルーチンの引数の入出力を明記していた (プログラム書法の工夫)
- 多次元データの演算には関数を利用できなかった (FORTRAN77 の制約)
- サブルーチンの引数に作業変数 (配列サイズなど) が必要だった (FORTRAN77 の制約)

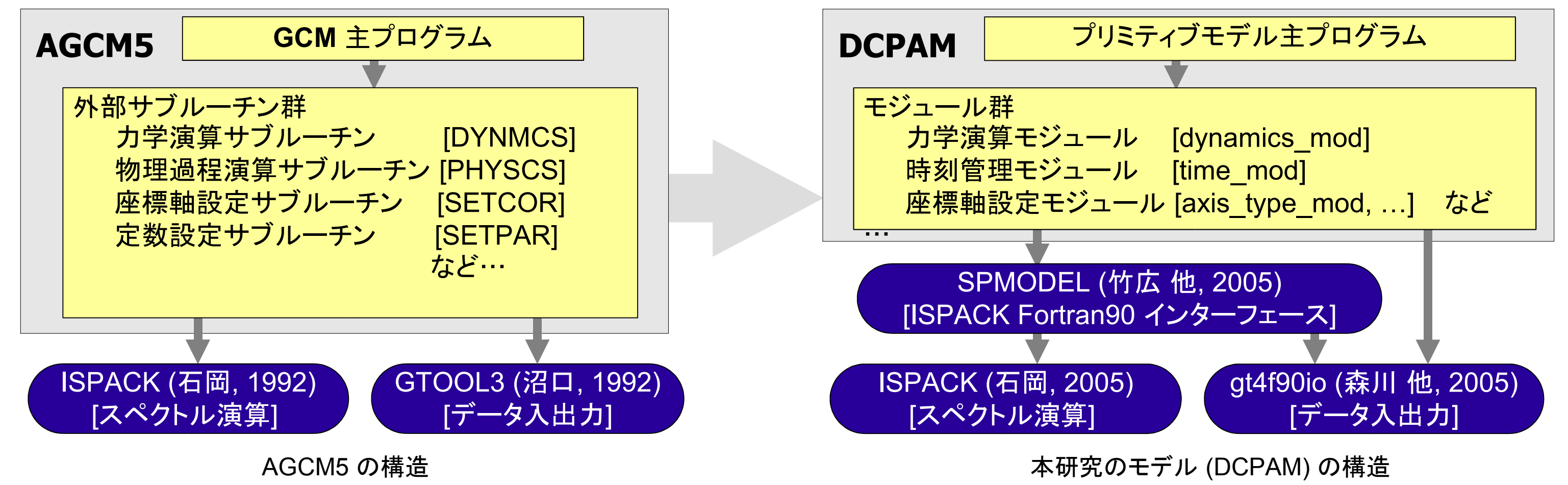


### 公開 URL

これらのルールは dcmode1 コーディングルールとしてまとめられ、以下に公開されている。  
<http://www.gfd-dennou.org/library/dcmode1/coding-rules/dcmode1-coding-rules.htm>

## 可変性向上の試み

- サブルーチンや関数は必ずモジュールにまとめることで、個々のプログラムの着脱を容易に
- 初期化の手順の統一により交換・分離を容易に
  - 必ず `module_init` というサブルーチンにより初期化 (`module` は各モジュール名)
- ファイル名、モジュール名、サブルーチン名の命名規則 [The FMS Manual (Baraji, 2002)]
  - ファイル名: `module.f90`, 例: `dynamics.f90`
  - モジュール名: `module_mod`, 例: `dynamics_mod`
  - サブルーチン名: `module_init`, 例: `dynamics_init`

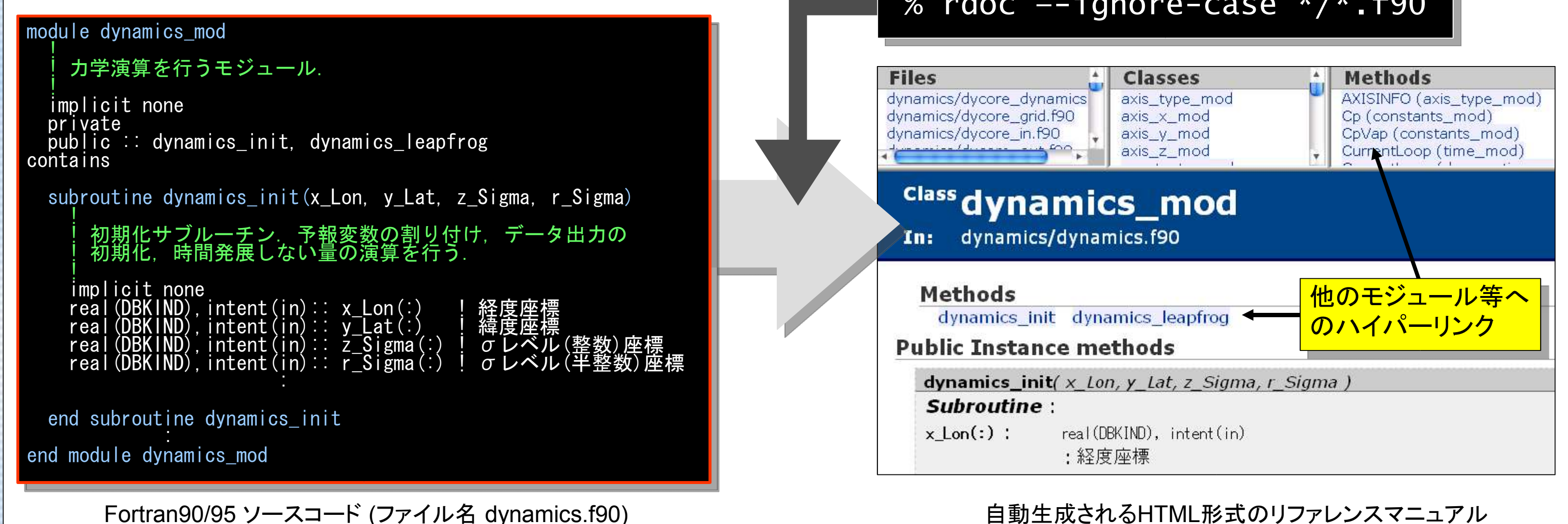


## リファレンスマニュアルの自動生成

### Rdoc Fortran90/95 ソースコード解析機能強化版

オブジェクト志向スクリプト言語 Ruby (まつもと, 2000-2005) のリファレンスマニュアル自動生成用ライブラリ Rdoc (Thomas, 2000-2003) の Fortran90/95 ソースコード解析機能を強化し、HTML形式のリファレンスマニュアルの自動生成を行う。

- コメント文もリファレンスマニュアルに反映
- ファイル同士の依存関係を解析し、依存するモジュールやサブルーチンのマニュアルへのハイパーリンクを作成



### 公開 URL

Fortran90/95ソースコード解析機能を強化した Rdoc は以下に公開されている。  
<http://www.gfd-dennou.org/library/dcmode1/doc/rdoc-dennou/>

## 実装実験

### モデルの離散化

- 鉛直座標 (Arakawa and Suarez, 1983)
- 陽解法リープフロッグスキームに時間フィルター (Asselin, 1972)

### 入出力データ形式

- gtool4 netCDF 規約 (豊田 他, 2000)

### 結果: 関数多用によるパフォーマンスへの影響

- SX-6 を用い、Held and Suarez (1994) ベンチマーク実験計算を水平解像度 T21, T42, T63 で、それぞれ 360 ステップ行った。
- SPMODEL のスペクトル演算用配列関数 (ISPACK の Fortran90/95 インターフェース) の計算時間は、実質的なスペクトル計算を行う ISPACK の計算時間のほぼ 1 割。
- SPMODEL を用いてコードを書くことにより生じる余計なスペクトル計算の量は、全スペクトル計算量のほぼ 3 割。

空間解像度	総計	ISPACK部分	SPMODEL 関数呼出部分
T21L20	82.500 [sec]	58.420 [sec]	8.929 [sec]
T42L20	239.293 [sec]	184.831 [sec]	20.768 [sec]
T63L20	514.269 [sec]	408.723 [sec]	40.768 [sec]

それぞれの計算にかかる CPU 時間

### 公開 URL

上記モデルは DCPAM (Dennou Club Planetary Atmospheric Model) と命名し、  
<http://www.gfd-dennou.org/library/dcpam> にて公開されている。

## 参考文献

- Arakawa and Suarez, 1983: Mon. Wea. Rev., 111, 34-35.
- Asselin, 1972: Mon. Wea. Rev., 100, 487-490.
- Balaji, 2002: The FMS Manual, <http://www.gfdl.noaa.gov/vb/FMSManual/FMSManual.html>
- Thomas, 2000-2003: RDOC - Ruby Documentation System, <http://www.ruby-doc.org/stdlib/libdoc/rdoc/rdoc/>
- GFDL, 2005: FMS: The flexible modeling system, <http://www.gfdl.noaa.gov/~fms/>
- Held and Suarez, 1994: Bull. Am. Meteor. Soc., 75, 1825-1830.
- 石岡, 1992, 2005: ISPACK, <http://www.gfd-dennou.org/library/ispack>, 地球流体電脳倶楽部
- まつもと, 2000-2005: オブジェクト指向スクリプト言語 Ruby, <http://www.ruby-lang.org/>
- 森川 他, 2005: gt490io ライブラリ, <http://www.gfd-dennou.org/library/gt490io>, 地球流体電脳倶楽部
- 沼口, 1992: 博士論文
- SWAMP Project, 1998: AGCM5, <http://www.gfd-dennou.org/library/agcm5/>, 地球流体電脳倶楽部
- 竹広 他, 2005: 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/>
- 豊田 他, 2000: gtool4 netCDF 規約, <http://www.gfd-dennou.org/library/gtool4/>, 地球流体電脳倶楽部

謝辞: 数値計算には国立環境研究所地球環境研究センターのスーパーコンピュータ を用いました