

Deep into SCALE

アウトライン

1. SCALE 数理モデル
2. SCALE 内部構造
3. SCALE 開発



SCALE 数理モデル

Reference

SCALE-RM description

http://scale.aics.riken.jp/doc/scale_rm_description-5.3.3.pdf

支配方程式

- 3次元非静力完全圧縮
- 予報変数
 - 運動量 ($\rho w, \rho u, \rho v$)
 - 密度 (ρ)
 - 温位 ($\rho \theta$)
 - トレーサー (比湿, 各種水物質, TKE, etc)

$$\frac{\partial \rho q_v}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho q_v \mathbf{u}) = \left(\frac{\partial \rho q_v}{\partial t} \right)_{physics} \quad (2.65)$$

$$\frac{\partial \rho q_l}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho q_l \mathbf{u}) = \left(\frac{\partial \rho q_l}{\partial t} \right)_{physics} \quad (2.66)$$

$$\frac{\partial \rho q_s}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho q_s \mathbf{u}) = \left(\frac{\partial \rho q_s}{\partial t} \right)_{physics} \quad (2.67)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = \left(\frac{\partial \rho}{\partial t} \right)_{physics} \quad (2.68)$$

$$\frac{\partial \rho \mathbf{u}}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u} \otimes \mathbf{u}) = -\nabla p - \rho g \mathbf{e}_z + \left(\frac{\partial \rho \mathbf{u}}{\partial t} \right)_{physics} \quad (2.69)$$

$$\frac{\partial \rho \theta}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \theta \mathbf{u}) = \left(\frac{\partial \rho \theta}{\partial t} \right)_{physics} \quad (2.70)$$

$$p = p_{00} \left(\frac{\rho \theta R^*}{p_{00}} \right)^{\frac{c_p^*}{c_p^* - R^*}} \quad (2.71)$$

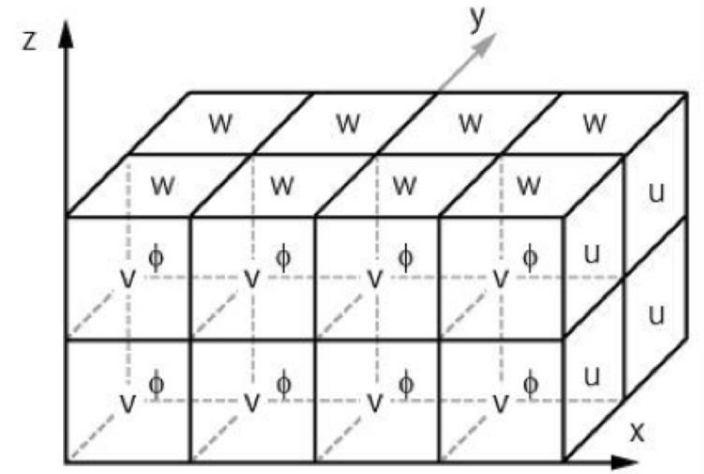
where

$$c_p^* \equiv q_d c_{pd} + q_v c_{pv} + q_l c_l + q_s c_s \quad (2.72)$$

$$R^* \equiv q_d R_d + q_v R_v \quad (2.73)$$

離散化

- 格子系
 - デカルト座標 Cグリッド
 - 地形に沿った座標系
 - マップファクター
- 空間微分スキーム
 - 1次風上, 2次中央, 3次風上, 4次中央, 5次風上, 6次中央
 - FCT scheme, Koren(1993) フィルター (3次風上専用)
- 時間積分スキーム
 - オイラー, 2段2次RK, 3段3次RK (Heun), 3段2次RK (Wicker and Skamarock 2002), 4段4次RK
 - HEVE, HEVI, (HIVI)



物理過程

- Sub-grid model
 - Smagorinsky-Lilly type (Brown et al. 1994, Scotti et al. 1993)
 - TKE type (Deardorff 1980)
- PBL turbulent scheme
 - MYNN level 2.5 (Nakanishi and Niino 2009)
- Cloud microphysics scheme
 - 3-class 1-moment bulk (Kessler 1969)
 - 6-class 1-moment bulk (Tomita 2008)
 - 6-class 2-moment bulk (Seiki and Nakajima 2014)
 - Spectral bin (Suzuki 2006)
 - Super-droplet (Shima 2009)
- Aerosol microphysics scheme
 - 3-moment bulk (Kajino et al. 2013)

- Radiation scheme
 - mstrnX (Sekiguchi and Nakajima 2008)
- Surface model
 - MO similarity (Beljaars and Holtslag 1991, Beljaars 1994, Wilson 2001, Nishizawa and Kitamura 2018)
 - MO similarity Louis-type (Uno et al. 1995)
- Land model
 - Heat diffusion and bucket model
- Ocean
 - Slab ocean
- Ocean albedo model
 - Nakajima et al. (2000)
- Ocean roughness model
 - Miller et al. (1992)
 - Moon et al. (2007)
- Urban model
 - Single layer urban canopy model (Kusaka et al. 2001, Kusaka and Kimura 2004)

SCALE 内部構造

ディレクトリ構造

- scalelib (SCALEライブラリ)
- scale-rm (SCALE-RM; Regional Model)
- scale-gm (SCALE-GM; Global Model) (experimental)
- dc_utils (dc_utils ユニットテスト用)
- doc (document)
- utils (utilities)
- sysdep (機種依存設定ファイル)

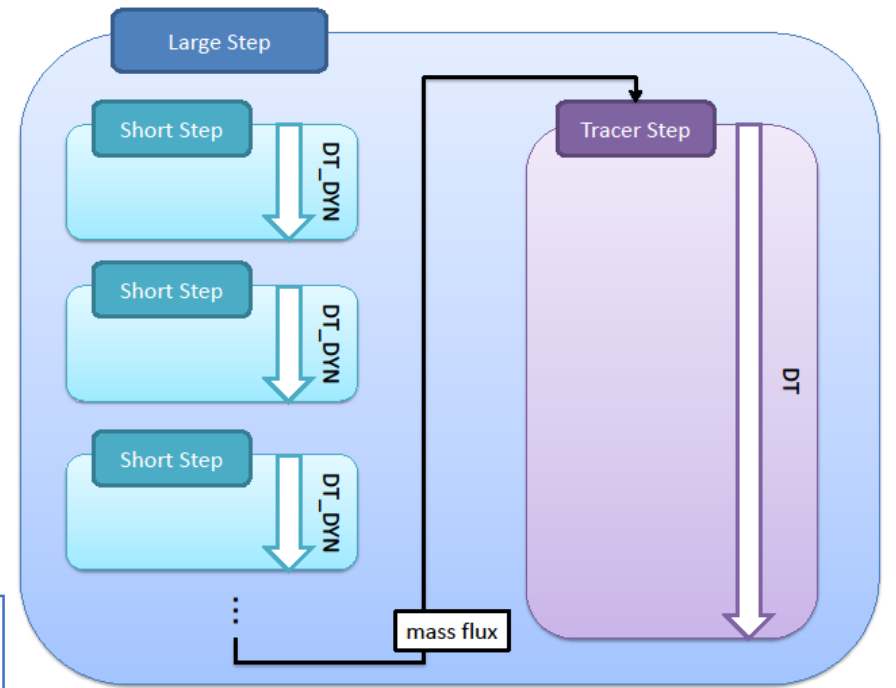
- scalelib
 - doc
 - include
 - src (サブルーチン群)
 - atmos-rm (そのうち atmosphere 内に移動)
 - atmosphere (大気関係)
 - common (共通)
 - communication (通信用)
 - copuler (カップラー関係)
 - file (ファイル関係)
 - io (I/O共通)
 - land (陸面関係)
 - ocean (海洋関係)
 - urban (都市モデル関係)
 - test
 - analysis (解析プログラムサンプル兼テスト)
 - spawn (obsolete)
 - split (MPI split テスト)
 - unit (単体テスト)

- scale-rm
 - doc
 - include
 - src
 - test
 - case (理想実験テストケース)
 - realcase (現実大気実験テストケース)
 - tutorial (チュートリアル用テストケース)
 - framework (各種フレー実ワークテスト)
 - data (各種データー)
 - util
 - makebuffact (バッファ領域計算ツール)
 - makevgrid (鉛直層作成ツール)
 - netcdf2grads_h (SCALE出力ファイルからGrADSフォーマットへの変換ツール)
 - nusdas2grads (NuSDASファイルからSCALE入力用フォーマット変換ツール)
 - sno (ファイル変換汎用ツール)
 - under_development
 - absolute

計算フロー

- 初期値読み込み
- 物理過程による tendency 計算
- 力学過程計算 (時間積分)
- 物理過程によるアジャストメント
- restart, monitor 出力
- 物理過程による tendency, 診断変数 計算
- history 出力

繰り返し



トレーサー変数

- 用いるスキームが必要とするトレーサーを実行時に登録する

TRACER_regist(integer, intent(out)	QS,	トレーサー開始番号
	integer, intent(in)	NQ,	登録トレーサー数
	character(len=*), intent(in)	NAME(NQ),	トレーサー名
	character(len=*), intent(in)	DESC(NQ),	説明
	character(len=*), intent(in)	UNIT(NQ),	単位
	real(rp), intent(in), optional	CV(NQ),	定積比熱
	real(rp), intent(in), optional	CP(NQ),	定圧比熱
	real(rp), intent(in), optional	R(NQ),	気体定数
	logical, intent(in), optional	ADVC(NQ),	移流すべきか
	logical, intent(in), optional	MASS(NQ)	質量を持っているか
)		

スキーム間相互作用

- スキーム間で相互作用がある場合、SCALE標準変数セットを解してデータをやりとりする
 - スキーム毎の変数定義の違いを吸収 (N:N 対応の実装を回避)
 - 水凝結物 (scale_atmos_hydrometeo.F90 で定義)
 - QC (cloud water), QR (rain water), QI (cloud ice), QS (snow), QG (graupel), QH (hail)
 - エアロゾル (scale_atmos_aerosol.F90 で定義) (tentative)
 - AD (dust-like), ASO (soot), AVA (volcanic ash), AS (sulfate), AR (rural), ASS (sea salt), AU (urban), AT (tropo), AOC (yellow dust)
- ※雲微物理に影響がある種が主で有り、放射に影響がある種が考慮されていないので、見直しが必要。

例



ユーザ定義処理

- ユーザ定義の処理を行うためには、USER モジュールを準備する

module USER

subroutine USER_tracer_setup : トレーサの設定

subroutine USER_setup : 初期設定

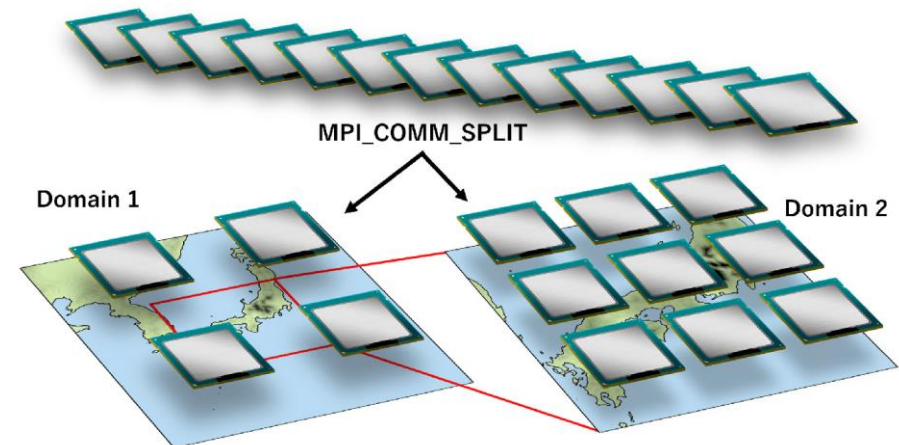
subroutine USER_mkinit : 初期値設定

subroutine USER_update : 変数変更

subroutine USER_calc_tendency: テンデンス設定

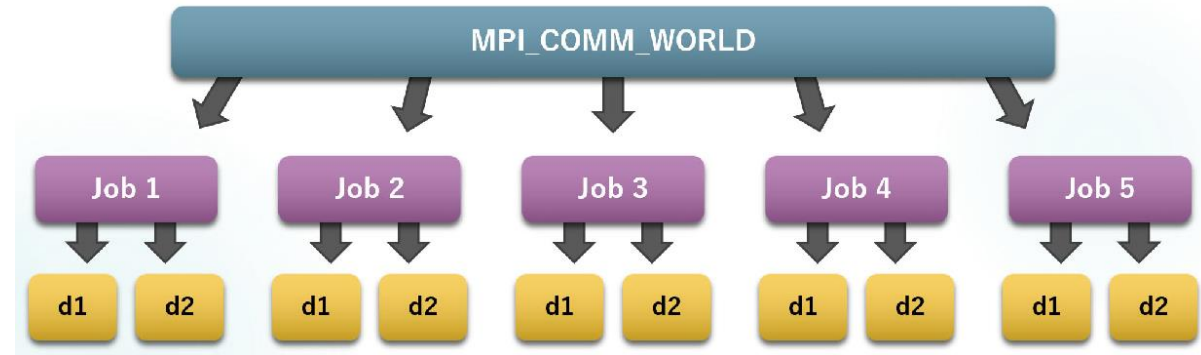
ネスティングフレームワーク

- オフラインネスティング
 - 実行経験がある親モデル・データ: SCALE, MANAL, GANAL, JRA55, MRI-AGCM, NICAM, WRF, FNL
 - SCALE, WRF 以外は GrADSファイルを経由
- オンライン One-way ネスティング
 - ドメイン毎負荷バランスを考慮した高効率実行フレームワーク (CONEP; Yoshida et al. 2018)
 - 任意の設定組み合わせ



バルクジョブシステム

- アンサンブル同時実行
 - オンラインネスティング併用可
- 異常終了ハンドリング



設定ファイル例

```
&PARAM_LAUNCHER
NUM_BULKJOB = 3,
NUM_DOMAIN = 2,
PRC_DOMAINS = 9, 36,
CONF_FILES = run.d01.conf, run.d02.conf,
LOG_SPLIT = .false.,
COLOR_REORDER = .true.,
FAILURE_PRC_MANAGE = .false.,
NUM_FAIL_TOLERANCE = 1,
FREQ_FAIL_CHECK = 5,
/
```

number of sub-jobs
number of nesting domains
number of total process in each domain
name of configuration files
log-output for mpi splitting?
coloring reorder for mpi splitting?
use failure process management?
tolerance number of failure processes
FPM polling frequency per DT

ファイル入出力

- ファイル分割
 - プロセス毎分割ファイル
 - gpview で読める (e.g., \$ gpview history.pe¥*.nc@U)
 - 全領域単一ファイル (pnetcdf 利用)
- ファイルフォーマット
 - netCDF format
 - CF and SGRID conventions
 - netCDF ver. 3 にも対応しているが、いくつかの制限あり
 - pnetcdf 使用時は ver. 3 フォーマットになる
- 次元順
 - history ファイル: (x,y,z)
 - 初期値リスタート, 境界値ファイル: (z,x,y)

- History output

- API, namelist は gtool5 (historyauto) を参考に設計

API

```
FILE_HISTORY_in (
    real(RP), intent(in)          var(),
    character(len=*), intent(in) name,
    character(len=*), intent(in) desc,
    character(len=*), intent(in) unit,
    character(len=*), intent(in), optional standard_name,
    character(len=*), intent(in), optional dim_type,
    logical, intent(in), optional fill_halo
)
```

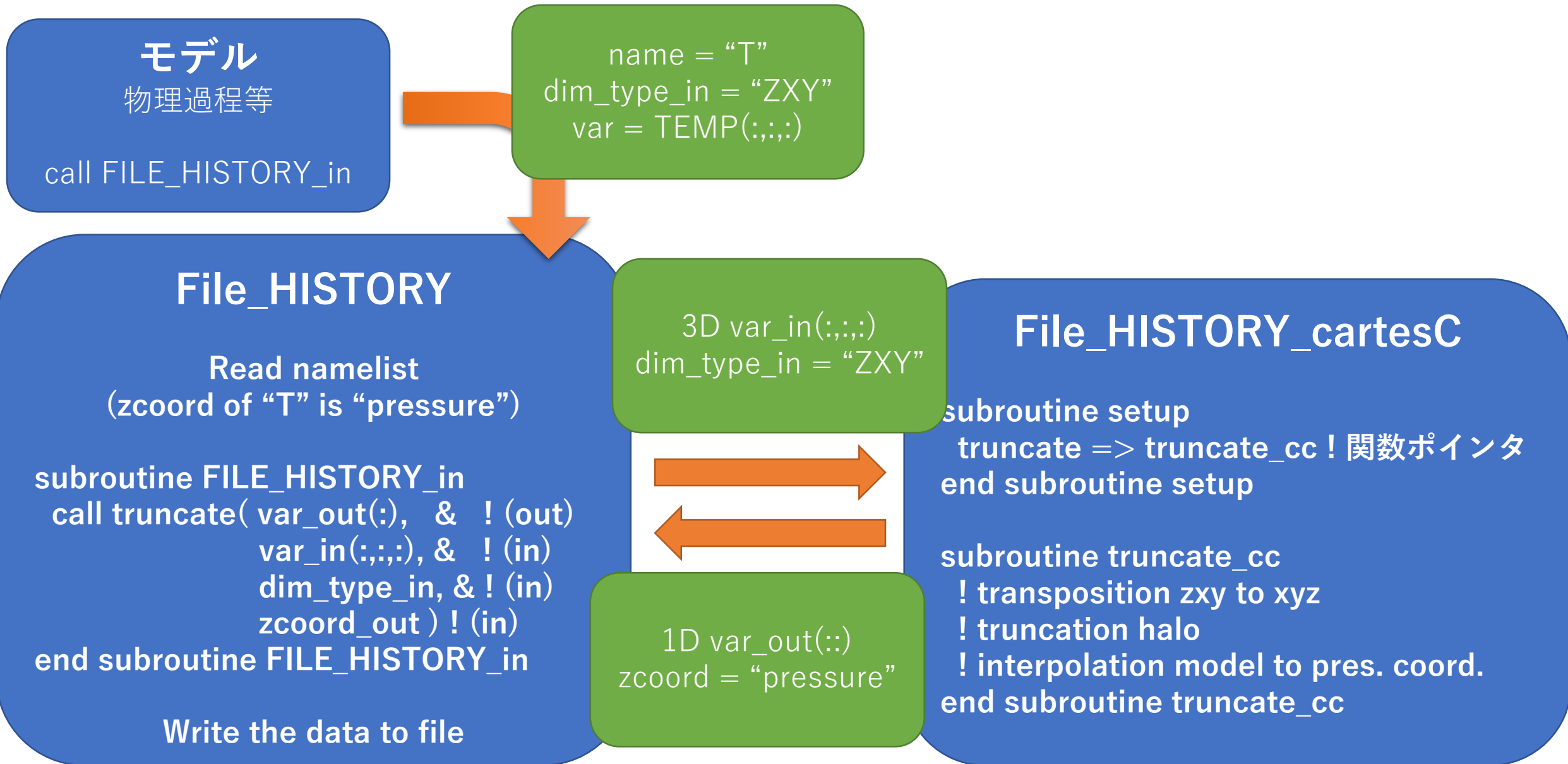
NAMELIST (HISTORY_ITEM)

name	type	comment
NAME	character	
OUTNAME	character	> name of variable (for output)
BASENAME	character	> base name of the file
POSTFIX_TIMELABEL	logical	> Add timelabel to the basename?
ZCOORD	character	
TINTERVAL	real(DP)	> time interval
TUNIT	character	> time unit
TAVERAGE	logical	> apply time average?
DATATYPE	character	

NAMELIST (PARAM_FILE_HISTORY)

name	type	comment
FILE_HISTORY_TITLE	character	> Header information of the output file: title
FILE_HISTORY_SOURCE	character	> Header information of the output file: model name
FILE_HISTORY_INSTITUTION	character	> Header information of the output file: institution
FILE_HISTORY_TIME_UNITS	character	> Unit for time axis
FILE_HISTORY_DEFAULT_BASENAME	character	> Base name of the file
FILE_HISTORY_DEFAULT_POSTFIX_TIMELABEL	logical	> Add timelabel to the basename?
FILE_HISTORY_DEFAULT_ZCOORD	character	> Default z-coordinate
FILE_HISTORY_DEFAULT_TINTERVAL	real(DP)	> Time interval
FILE_HISTORY_DEFAULT_TUNIT	character	> Time unit
FILE_HISTORY_DEFAULT_TAVERAGE	logical	> Apply time average?
FILE_HISTORY_DEFAULT_DATATYPE	character	> Data type
FILE_HISTORY_OUTPUT_STEP0	logical	> Output value at step=0?
FILE_HISTORY_OUTPUT_WAIT	real(DP)	> Time length to suppress output
FILE_HISTORY_OUTPUT_WAIT_TUNIT	character	> Time unit
FILE_HISTORY_OUTPUT_SWITCH_TINTERVAL	real(DP)	> Time interval to switch output file
FILE_HISTORY_OUTPUT_SWITCH_TUNIT	character	> Time unit
FILE_HISTORY_ERROR_PUTMISS	logical	> Abort if the value is never stored after last output?
FILE_HISTORY_AGGREGATE	logical	> Switch to use aggregate file I/O
FILE_HISTORY_OPTIONS	character	
DEBUG	logical	

- 格子系依存部分の切り分け



モデル

物理過程等

call FILE_HISTORY_in

name = "T"
dim_type_in = "ZXY"
var = TEMP(:,:,:)

File_HISTORY

Read namelist
(zcoord of "T" is "pressure")

```
subroutine FILE_HISTORY_in
  call truncate( var_out(:), & !(out)
               var_in(:,:,:), & !(in)
               dim_type_in, & !(in)
               zcoord_out ) !(in)
end subroutine FILE_HISTORY_in
```

Write the data to file

3D var_in(:,:,:)
dim_type_in = "ZXY"

1D var_out(:,)
zcoord = "pressure"

File_HISTORY_cartesC

```
subroutine setup
  truncate => truncate_cc ! 関数ポインタ
end subroutine setup
```

```
subroutine truncate_cc
  ! transposition zxy to xyz
  ! truncation halo
  ! interpolation model to pres. coord.
end subroutine truncate_cc
```

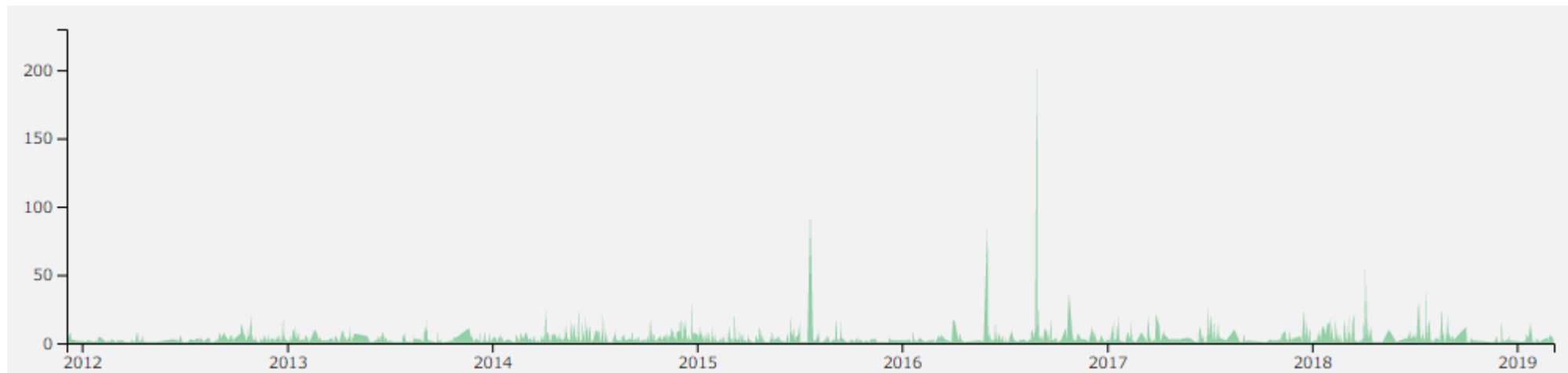
metaprogramming

- ほぼ同じコードを複数箇所で記述することをさけるために、スクリプトによるコード生成を行っている (DRY; Don't repeat yourself)
 - ERB の利用
 - 生成後のコードもリポジトリに入れているため、ユーザーが erb を持っている必要はない
- 例
 - ファイル入出力用の関数
 - 複数の入力配列次元に対する subroutine を生成
 - フラックススキーム
 - 複数精度スキーム用の module を生成

SCALE 開発

Statistics

- Files: 1,877 files, 53 MB
- Contributors: 26 authors
- Commits: 6,363
 - the first commit on 5th Dec. 2011 by H. Yashiro



開発フロー

GitLab
(Issues)



GitLab



Jenkins



問題の共有

1. チケット起票
2. 議論
3. 解決方針決定
4. アサイン

実装・修正

5. feature branch 作成
6. Commit
7. 自動コンパイルテスト
8. Peer review
9. HEAD branch へマージ

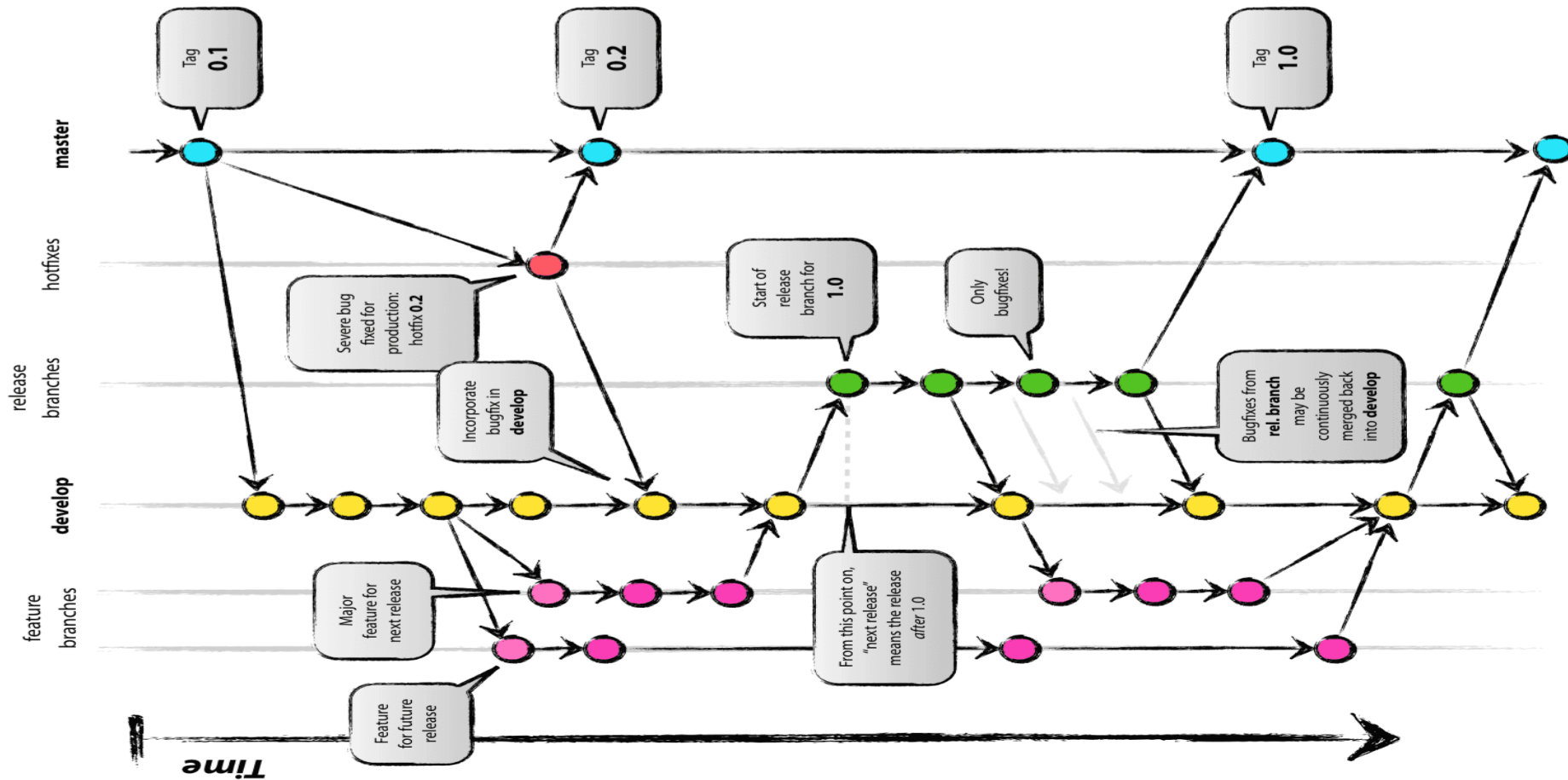
品質確認

10. 自動テスト実行
 - 数十のテスト
11. 結果の視覚化
12. チケットクローズ

repository \supset \square $-$

- “A successful Git branching model”

- <http://nvie.com/posts/a-successful-git-branching-model/>



- 実装・修正手順

1. 最新の develop ブランチから feature ブランチを立ち上げる
2. 目的を達成するための変更を加えてコミット
3. 最新の develop に rebase する
4. メインリポジトリに push する
5. (自動でコンパイルテストが実行される)
6. 必要であれば Jenkins で各種テストケースを実行する
7. gitlab で Merge Request を出す
8. コード review
9. 最新の develop ブランチに rebase 後、マージする
10. (Jenkins により自動で各種テストケースが実行される)

ローカルリポジトリでの作業
GitLab での作業
Jenkins での作業

ドキュメント

- ユーザーズガイド
 - http://scale.aics.riken.jp/doc/scale_users_guide_En.v5.3.3.pdf
 - http://scale.aics.riken.jp/doc/scale_users_guide.v5.3.3.pdf
- デスクリプションドキュメント
 - http://scale.aics.riken.jp/doc/scale_rm_description-5.3.3.pdf
 - 数理マニュアル・離散化マニュアル
- レファレンスマニュアル(doxygen)
 - <http://scale.aics.riken.jp/doc/5.3.3/index.html>
 - APIドキュメント
 - ヒストリ変数、NAMELIST パラメータ リスト
- 開発者用ドキュメント
 - スキームや機能、開発フロー等の説明
- 開発者用手引き
 - 命名規則やAPI、変数定義など各種ルールの説明