

SCALE USERS GUIDE

Version 5.5.4

Team SCALE
UGC working group

2024年12月25日



目次

第1部 概要	5
1.1 はじめに	6
1.1.1 SCALE とは?	6
1.1.2 SCALE-RM の構成	8
1.2 表記上の注意	10
第2部 インストール	11
2.1 準備	12
2.1.1 システム環境	12
2.2 SCALE のコンパイル	15
2.2.1 ダウンロードと環境設定	15
2.2.2 コンパイル	16
2.3 後処理ツールのコンパイル	19
2.3.1 SNO のコンパイル	19
第3部 SCALE-RM のチュートリアル	20
3.1 動作確認と基本操作について	21
3.1.1 概要	21
3.1.2 モデルの実行方法	21
3.1.3 後処理と描画	23
3.1.4 応用に向けたガイドライン	24
3.2 現実大気実験	26
3.2.1 概要	26
3.2.2 入力データ (境界値データ) の準備	27
3.2.3 実験セットの準備	29
3.2.4 地形データの作成 : pp	30
3.2.5 初期値/境界値データの作成 : init	32
3.2.6 シミュレーションの実行 : run	35
3.2.7 結果のクイック描画 : SNO	39

第 4 部	各種設定	42
4.1	前処理	43
4.1.1	地形の設定	43
4.1.1.1	ユーザー定義の地形の準備	46
4.1.2	現実実験のための初期値/境界値データの作成方法	47
4.1.3	ユーザー定義データを使った入力データの作成方法	60
4.2	SCALE-RM のフレームワーク	62
4.2.1	設定ファイルを用意するための補助ツール	62
4.2.2	旧バージョンの設定ファイルの変換プログラム	63
4.2.3	対象計算領域の設定	64
4.2.3.1	水平・鉛直格子数	64
4.2.3.2	水平・鉛直格子間隔	65
4.2.3.3	MPI プロセス数	67
4.2.3.4	スポンジ層	67
4.2.3.5	緩和領域と境界ナッジング	68
4.2.3.6	海洋/陸/都市モデルの鉛直格子	73
4.2.4	地図投影法と計算領域の位置の設定	74
4.2.5	積分時間と時間刻み幅の設定	76
4.2.5.1	力学過程に対する時間刻み幅	76
4.2.5.2	CFL 条件の確認	77
4.2.5.3	物理過程に対する時間刻み幅	77
4.2.5.4	経過時間タイマーによるモデルの終了	78
4.2.6	履歴ファイルと出力変数の設定	78
4.2.7	リスタート計算の方法	81
4.2.8	領域ネスティング実験の方法	83
4.2.8.1	子領域における地形の取り扱い	83
4.2.8.2	オフライン・ネスティング実験	86
4.2.8.3	オンライン・ネスティング実験	88
4.3	力学コアの設定	93
4.3.1	デカルト座標系 C-grid による力学コア	93
4.3.1.1	時間積分の数値解法の設定	93
4.3.1.2	時間・空間差分スキーム	93
4.3.1.3	数値拡散	94
4.3.1.4	正定値性	95
4.3.1.5	八口	95
4.3.1.6	コリオリ力	96
4.3.1.7	基準状態	97
4.4	物理過程の設定	99
4.4.1	雲微物理スキーム	99
4.4.2	積雲パラメタリゼーション	100
4.4.3	乱流スキーム	102

4.4.4	惑星境界層スキーム	102
4.4.5	放射スキーム	103
4.4.6	地表面フラックススキーム	108
4.4.7	海洋モデル	111
4.4.7.1	初期条件固定	112
4.4.7.2	海洋表層スキーム	112
4.4.7.3	海面過程	114
4.4.8	陸モデル	116
4.4.8.1	初期条件固定	117
4.4.8.2	BUCKET 陸面スキーム	117
4.4.9	都市モデル	118
4.4.9.1	KUSAKA01 スキーム	119
4.5	共通の設定	123
4.5.1	ログファイル	123
4.5.1.1	ログファイルの出力	123
4.5.1.2	ログファイル内の時間に関する情報	124
4.5.2	モニターファイル	124
4.5.3	物理定数	129
4.5.4	暦	129
4.5.5	乱数生成	129
4.5.6	パフォーマンスの測定	130
4.5.7	統計量のモニター	130
4.6	後処理	131
4.6.1	SCALE NetCDF Operator (SNO)	131
4.6.1.1	基本的な使い方	131
4.6.1.2	設定例: ファイルのデータ形式、及び、分割数の変換	132
4.6.1.3	設定例: プラグイン機能	135
第5部	詳細説明 (応用編)	139
5.1	SCALE におけるファイル入出力	140
5.1.1	SCALE-netCDF ファイルとは?	140
5.1.1.1	グローバル属性	140
5.1.1.2	ハ口領域データ	140
5.1.1.3	軸変数	140
5.1.1.4	データ変数	144
5.1.1.5	単一ファイルの入出力	144
5.1.1.6	NetCDF3 に伴う制限	145
5.2	ユーザーが作成したプログラムの組み込み方	148
5.2.1	ユーザが設定を行うためのモジュール	148
5.2.1.1	mod_user モジュールとは?	148
5.2.1.2	コンパイル	149

5.3	SCALE ライブラリの使い方	150
5.3.1	SCALE を使用するユーザープログラム	150
5.3.1.1	コンパイル	151
5.3.2	リファレンスマニュアル	152
5.3.2.1	サブルーチン	152
5.3.2.2	ネームリストのパラメータ	153
5.3.2.3	履歴(出力)変数	154
5.4	バルクジョブの実行方法	155
5.4.1	バルクジョブとは?	155
5.4.2	バルクジョブの設定	155
5.4.3	失敗プロセスの管理	156
5.4.4	バルクジョブのための準備	156
5.4.5	バルクジョブの実行	157
第6部	付録	162
付録A	よくある質問とその回答: FAQ	163

第1部

概要

1.1 はじめに

本書は初めて領域気象気候モデル SCALE-RM を利用する人に向けた解説書である。気象気候ライブラリー SCALE version 5.5.4 に対応した説明を記載する。SCALE の現バージョンには、領域モデル SCALE-RM と全球モデル SCALE-GM が含まれる。本版では、SCALE-RM の使い方についてのみ詳しく述べる。SCALE-GM については、次版で詳しく記載される予定である。

本書の構成は次の通りです。第 1 部では SCALE の概要、第 2 部では必要な環境とインストール方法について説明する。続いて、第 3.1 章では理想実験、第 3.2 章では現実大気実験を例にして、SCALE-RM の基本的な操作方法を説明する。これらの章はひと繋りのチュートリアルとなっており、SCALE-RM を初めて使うユーザは一通り通読することを推奨する。第 4 部と第 5 部では、モデルの設定の変更方法を記載し、また利用できるデータ形式やツールを説明する。これらの各章は基本的にその中で閉じているので、辞書として用いることができる。

本書中の不明点やお気づきの点がございましたら、SCALE user's メーリングリスト scale-users@ml.riken.jp までご連絡ください。

1.1.1 SCALE とは？

SCALE (Scalable Computing for Advanced Library and Environment) は、気候研究や天気予報を容易に様々な計算機上で行うためのソフトウェア・ライブラリである。本ライブラリは、前処理からシミュレーション、後処理、解析に至るまで全ての過程を網羅し、下記に挙げる長所を持つ。

- SCALE は、「BSD-2 ライセンス」のもとオープンソースソフトウェアとして提供している。商用、非商用に関わらず自由な利用、改変、再配布が可能である。
- SCALE には、SCALE-RM (SCALE-Regional Model) という領域モデルが含まれる。
- SCALE には、次節で説明するように様々なスキームが用意されている。ユーザーが行いたい実験に合わせて適宜選択できる。
- SCALE では、SCALE-RM だけでなく他の数値モデルでも呼び出せる物理過程のフレームワークを提供している。

ライセンスの詳細は、トップディレクトリ直下の `scale-5.5.4/LICENSE` のファイルに記述されている。SCALE の使用前に一読されたい。また、SCALE の Web ページ (<https://scale.riken.jp/>) にもソフトウェアの説明が記載されているので必要に応じて参照されたい。

本節では、SCALE の思想や実際のモデルとの関係について説明する。SCALE-RM の実行とは直接的には関係しないため、必要なければ読み飛ばしても構わない。

SCALE のライブラリとモデルの関係について

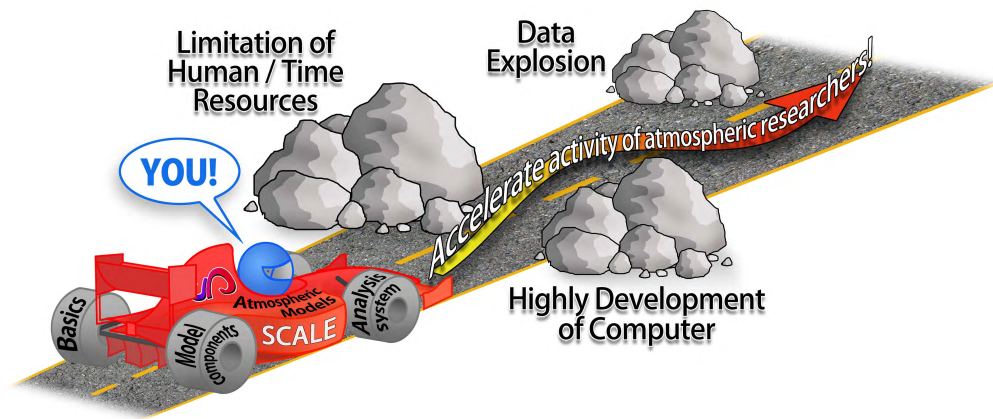


図 1.1.1: SCALE のねらい

SCALE は幾つかの外部共同研究者と共に理化学研究所 (RIKEN) で開発され、その改良と拡張が継続的に行われている。図 1.1.1 に SCALE の思想の概念図を示す。この図に示されるように、SCALE は様々な問題に対応することを目指している。SCALE は、小型 PC クラスタから次世代のスーパーコンピュータに至るまで様々な計算環境で広く用いられる事を念頭に開発されている。この目的のため、気候・気象科学を専門とする科学者と計算機科学を専門とする科学者が共同で開発している。

SCALE-RM は SCALE ライブラリを大いに利用した数値モデルの一つであり、図 1.1.2 に示すように SCALE のパッケージに含まれる。SCALE は、並列プロセスの管理、ファイルの入出力、プロセス間の通信、格子情報の設定を行う。また、SCALE は、大気の流れのソルバ(力学コア)や雲微物理や大気放射等の物理過程も提供する。その一方で、SCALE-RM は SCALE が提供する機能を組み合わせることで構築されている。SCALE-RM 自体は、大気の状態の入力データを予報変数として読み込んで保持し、SCALE の各コンポーネントを適宜呼び出すことで時間発展を計算する。ユーザは行いたい実験に応じて、各コンポーネントのスキームを選択できる。

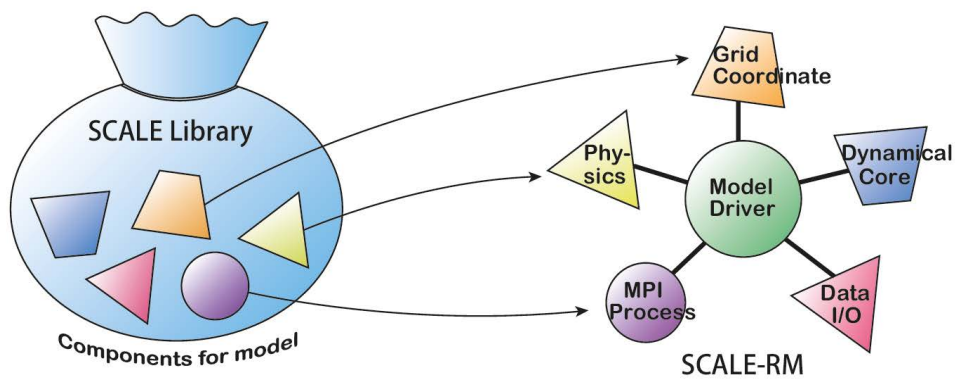


図 1.1.2: SCALE ライブラリと SCALE-RM(モデル) の関係

1.1.2 SCALE-RMの構成

SCALEに含まれる全てのコンポーネント中の全てのスキームを、SCALE-RMにおいて利用できる。コンポーネントは3つの部分(フレームワーク、力学コア、物理過程)に分類される。以下に、SCALE-RMの現版に実装済みである、様々なスキームを含むコンポーネントを列挙する^{*1)}。

フレームワーク

- 実距離に基づいた3次元カーテシアン格子系
- MPI通信を用いた2次元領域分割
- 各種地図投影法
- 領域ネスティングシステム(1 way: 親領域 → 子領域へデータ転送)
 - オンライン・ネスティング: 複数ドメインの計算を同時に実行
 - オフライン・ネスティング: 外側ドメインの計算終了後に、その結果を用いて内側ドメインの計算を実行
- 複数事例一括実行システム(バルクジョブシステム)
- CF規約^{*2)}に基づくnetCDFファイルI/O
 - netCDF3 または netCDF4 形式を選択
- 理想実験のための初期値データ生成
- 外部データから標高・土地利用区分データを作成
- 外部データから初期値・境界値データを作成
 - GrADS^{*3)}形式での入力に対応

力学コア

- 支配方程式系: 3次元完全圧縮非静力学方程式系
- 空間離散化: 有限体積法
 - 2次, 4次, 6次, 8次精度の中心系の移流スキーム
 - 3次, 5次, 7次精度の風上系の移流スキーム
- 時間離散化: 「完全陽解法」(HEVE) または 「水平陽解法-鉛直陰解法」(HEVI) から選択
 - Wicker and Skamarock (2002) の3段ルンゲ・クッタスキーム(一般に2次精度)
 - Heun型の3段ルンゲ・クッタスキーム(3次精度)
 - 4段のルンゲ・クッタスキーム(4次精度)
 - 7段のルンゲ・クッタスキーム(6次精度). HEVEでのみ利用可.

*1) モデルの構成や離散化法の詳細は、SCALE (2015)、Sato et al. (2015)、Nishizawa et al. (2015) を参照されたい。

*2) <http://cfconventions.org/>

*3) <http://cola.gmu.edu/grads/>

- 11 段のルンゲ・クッタスキーム (8 次精度). HEVE でのみ利用可.
- 非負保証:
 - フラックス修正法 (Flux Corrected Transport, FCT; [Zalesak, 1979](#))
 - [Koren \(1993\)](#) フィルター (3 次精度の風上系の移流スキーム使用時のみ)
- 数値フィルタ: 超粘性・拡散 (2, 4, 6, 8 階微分に対応)
- 地形: 地形に沿った座標系を用いて表現

物理過程

- 乱流過程: 以下から選択可能
 - [Smagorinsky \(1963\)](#) & [Lilly \(1962\)](#) 型のサブグリッドスケール乱流モデル ([Brown et al. \(1994\)](#) と [Scotti et al. \(1993\)](#) による補正)
 - [Deardorff \(1980\)](#) サブグリッドスケール乱流モデル
 - [Mellor and Yamada \(1982\)](#); [Nakanishi and Niino \(2004, 2009\)](#) による level 2.5 境界層乱流パラメタリゼーション
- 雲微物理: 以下から選択可能
 - [Kessler \(1969\)](#) による 3-class 1 モーメントバルクモデル
 - [Tomita \(2008\)](#) による 6-class 1 モーメントバルクモデル
 - [Seiki and Nakajima \(2014\)](#) による 6-class 2 モーメントバルクモデル
 - [Suzuki et al. \(2010\)](#) によるビン法モデル
- 放射過程: [Sekiguchi and Nakajima \(2008\)](#) による相関 k 分布法ブロードバンド大気放射伝達モデル
- 地表面モデル
 - 陸面モデル: 熱拡散・バケツモデル
 - 海洋モデル: 以下から選択可能
 - * 初期値固定
 - * 外部データ入力
 - * スラブモデル
 - 都市モデル: [Kusaka et al. \(2001\)](#) による単層キャノピーモデル
 - バルク交換係数 (陸面および海面): 以下から選択可能
 - * [Beljaars and Holtslag \(1991\)](#); [Wilson \(2001\)](#); [Nishizawa and Kitamura \(2018\)](#) による普遍関数によるバルク法
 - * [Uno et al. \(1995\)](#) による Louis 型バルク法

1.2 表記上の注意

本書中では、Unix システム上のシェルである「bash」での実行を想定している。異なる環境下では、適宜コマンドを読み替えて対応されたい。また、本書内では特に断りがない限り、下記の表記法に従うものとする。

コマンドラインのシンボル(\$, #)は、コマンドの実行を示す。以下のように、2つの表記の違いはプログラムの実行権限の違いを表す。

```
#      <- root 権限で実行するコマンド
$      <- ユーザ権限で実行するコマンド
```

下記に示すように、四角い囲みで区切られた記述は、コマンドラインのメッセージ部分を表す。

```
----- コマンドラインのメッセージ
----- コマンドラインのメッセージ
----- コマンドラインのメッセージ
```

一方、下記のように丸い囲みで区切られた記述は、エディタでファイルを編集する記述内容、もしくはファイル内の記述の引用を表す。

```
----- ファイル中の記述
----- ファイル中の記述
----- ファイル中の記述
```

本書では、FORTRAN のネームリストを `[namelist]`、その項目を `(item_of_namelist)` のように表記する。

第2部

インストール

2.1 準備

本章では、SCALE や SCALE-RM のコンパイル方法、実行に必要とされる最小の計算環境を説明する。

2.1.1 システム環境

推奨のハードウェア構成

必要なハードウェアは実験設定に依存するが、ここでは第 3.1 章と第 3.2 章のチュートリアルを実行するために必要なスペックを示す。

- CPU : チュートリアルの理想実験でに物理コアが 2 コア以上、現実大気実験には 4 コア以上が望ましい。
- Memory : 理想実験には 512MB 以上、現実大気実験には 2GB 以上のメモリ容量が必要とされる。ただし、この要件は倍精度浮動小数点を使用した場合である。
- HDD : 現実大気実験には約 3GB のディスク空き容量が必要とされる。

必要なソフトウェア

- OS : Linux OS、MacOS
- コンパイラ : C、Fortran

SCALE のソースコードは Fortran 2003 規格に基づく機能を一部利用しているため、それに対応するコンパイラが必要である。例えば、GNU GFortran はバージョン 4.8 以降が必要である。対応確認済みのコンパイラは、表 2.1.1 を参照されたい。

表 2.1.1: 対応確認済みのコンパイラ

コンパイラ名	
GNU (gcc/gfortran)	4.8 以降が必要。
Intel (icc/ifort)	15.0.0 以降に対応。
NVIDIA HPC SDK (nvcc/nvfortran)	

必要なライブラリ

- netCDF ライブラリ (<http://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/>)
- MPI ライブラリ (e.g., openMPI <http://www.open-mpi.org/>)
- LAPACK (<http://www.netlib.org/lapack/>) (SCALE-GM のみが要求)

netCDF4 が推奨されるが、netCDF3 も利用できる。netCDF3 を用いる場合は、いくつか制限が発生することに注意が必要である (第 5.1.1 節を参照)。Linux や Mac 用に配布された NetCDF のバイナリパッケージも使用することができる。

MPI 1.0/2.0 プロトコルに対応した MPI ライブラリを必要とする。対応確認済みの MPI ライブラリについては、表 2.1.2 を参照のこと。

表 2.1.2: 対応確認済みの MPI ライブラリ

MPI ライブラリ名	
openMPI	1.7.2 以降に対応。
Intel MPI	5.0 以降に対応。

第 3.1 章や第 3.2 章のチュートリアルでは、上記のライブラリの準備が完了しているとする。

描画ツール

- GPhys / Ruby-DCL by 地球流体電脳倶楽部
 - URL: <http://ruby.gfd-dennou.org/products/gphys/>
 - 特徴: SCALE は、MPI プロセスによる領域分割に従った netCDF 形式の分割ファイルを出力する。GPhys に含まれる「gpview」や「gpvect」コマンドは、後処理を行わずに分割ファイルを直接可視化できる。
 - インストール方法: 主要な OS に対するインストール方法は、地球流体電脳倶楽部の Web ページ (<http://ruby.gfd-dennou.org/tutorial/install/>) に書かれている。
- Grid Analysis and Display System (GrADS) by COLA
 - URL: <http://cola.gmu.edu/grads/>
 - 特徴: 非常によく使われている描画ツールであるが、SCALE によって生成された netCDF 形式の分割ファイルを直接読み込めない。SCALE が出力したファイルを GrADS から読み込める単一のファイルに結合するためには、後処理ツール SNO が必要である。SNO のインストール方法は第 2.3.1 章、使用方法の詳細は第 3、4 部および第 4.6.1 章を参照されたい。
- Nview: netCDF の可視化ブラウザ (David W. Pierce により開発された)
 - URL: http://meteora.ucsd.edu/~pierce/ncview_home_page.html
 - 特徴: Nview は netCDF 形式のファイルのためのクイックビューアである。SCALE によって生成された分割ファイルの結合はできないが、各ファイルごとに結果を描画するときにより便利である。

- インストール方法: http://meteora.ucsd.edu/~pierce/ncview_home_page.html を参照。

便利なツール (必須ではない)

- データ変換ツール : wgrib、wgrib2、NCL
SCALE-RM で読込可能な入力データを作成できる。チュートリアルの実験では wgrib を使用する。
- 演算性能の評価ツール : PAPI ライブラリ^{*1)} が使用可能。

*1) <http://icl.utk.edu/papi/>

2.2 SCALEのコンパイル

2.2.1 ダウンロードと環境設定

以下の説明で使用する環境は次のとおりである。

- CPU: Intel Core i5 2410M 2 コア/4 スレッド
- Memory: DDR3-1333 4GB
- OS: CentOS 6.6 x86-64、CentOS 7.1 x86-64、openSUSE 13.2 x86-64
- GNU C/C++、Fortran コンパイラ

ソースコードの入手

最新のリリース版ソースコードは、<https://scale.riken.jp/ja/download/index.html> から取得できる。ソースコードの tarball ファイルを展開すると、scale-5.5.4/ というディレクトリができる。

```
$ tar -zxvf scale-5.5.4.tar.gz
$ ls ./scale-5.5.4/
```

Makedef ファイルと環境変数の設定

環境変数「SCALE_SYS」に設定した Makedef ファイルを使用して、SCALE はコンパイルされる。scale-5.5.4/sysdep/ には、いくつかの計算機環境に対応する Makedef ファイルが用意されており、これらの中から自分の環境に合ったものを選択する。表 2.2.1 に、Makedef ファイルが用意されている環境を示す。自分の環境に合致するファイルがなければ、既存のファイルを基に各自で作成する必要がある。例えば Linux x86-64 OS、GNU コンパイラ、openMPI を使用する場合には、該当

表 2.2.1: 環境例およびそれに対応する Makedef ファイル

OS/計算機	コンパイラ	MPI	Makedef ファイル
Linux OS x86-64	gcc/gfortran	openMPI	Makedef.Linux64-gnu-ompi
	icc/ifort	intelMPI	Makedef.Linux64-intel-impi
macOS	gcc/gfortran	openMPI	Makedef.MacOSX-gnu-ompi
Fujitsu FX700/FX100	fccpx/frtpx	mpicpx/mpifrtpx	Makedef.FX700

する Makedef ファイルは「Makedef.Linux64-gnu-ompi」である。このとき、環境変数は下記のように設定する必要がある。

```
$ export SCALE_SYS="Linux64-gnu-mpi"
```

実行環境が常に同じならば、`.bashrc` 等の環境設定ファイルに環境変数の設定を陽に記述しておく
と便利である。

SCALE は netCDF を必要とする。多くの場合、netCDF のパスは「`nc-config`」を用いることで自
動的に見つけれられる。しかし、自動的に見つけれられない場合には、例えば以下のように netCDF に
関する PATH を設定しなければならない。

```
$ export SCALE_NETCDF_INCLUDE="-I/opt/netcdf/include"
$ export SCALE_NETCDF_LIBS= \
    "-L/opt/hdf5/lib64 -L/opt/netcdf/lib64 -lnetcdf -lnetcdf -lhdf5_hl -lhdf5 -lm -lz"
```

2.2.2 コンパイル

SCALE-RM のコンパイル

SCALE-RM のソースディレクトリに移動し、下記のコマンドによってコンパイルする。

```
$ cd scale-5.5.4/scale-rm/src
$ make -j 4
```

「`-j 4`」はコンパイル時の並列数を示している (例では 4 並列)。コンパイルにかかる時間を短縮する
ために、並列コンパイルのオプションを指定することが望ましい。並列数は実行環境に応じて設定し、
推奨の並列数は 2~8 である。コンパイルが成功すると、下記の 3 つの実行ファイルが `scale-5.5.4/bin`
以下に生成される。

```
scale-rm  scale-rm_init  scale-rm_pp
```

SCALE-GM のコンパイル

SCALE-GM のソースディレクトリに移動し、下記のコマンドによってコンパイルする。

```
$ cd scale-5.5.4/scale-gm/src
$ make -j 4
```

コンパイルが成功すると、下記の実行ファイルが `scale-5.5.4/bin` 以下に生成される。「`fio`」は、ヘッ
ダー情報を伴う、バイナリに基づく独自形式である。

```
scale-gm      (\scalegm の実行バイナリ)
gm_fio_cat    (fio 形式のための cat コマンド)
gm_fio_dump   (fio 形式のための dump ツール)
gm_fio_ico211 (fio 形式の正二十面体格子データから緯度経度格子データへの変換ツール)
gm_fio_sel    (fio 形式のための sel コマンド)
gm_mkxgrid   (バネ格子を用いた正二十面体 (水平) 格子の生成ツール)
gm_mklmap    (緯度経度 (水平) 格子の生成ツール)
gm_mkmnginfo (MPI プロセスの割り当てを管理するファイルの生成ツール)
gm_mkxgrid   (正二十面体 (水平) 格子の生成ツール)
gm_mkvlayer  (鉛直格子の生成ツール)
```

注意点

コンパイルをやり直したい場合は、下記のコマンドで作成された実行バイナリを消去する。

```
$ make clean
```

ただし、コンパイルされたライブラリは消去されないことに注意が必要である。全てのコンパイル済みファイルを消去したい場合は、以下のコマンドを使用する。

```
$ make allclean
```

コンパイル環境、コンパイルオプションを変更して再コンパイルする場合は、「allclean」を実行されたい。

SCALEにおいてコンパイルやアーカイブは、ディレクトリ `scale-5.5.4/scalelib/` の中で行われる。作成されたオブジェクトファイルは、コンパイルを実行したディレクトリ下の「.lib」という名前の隠しディレクトリの中に置かれる。

デバッグモードでコンパイルしたい場合は、「`make -j 4 SCALE_DEBUG=T`」を実行してコンパイルする（コンパイル時に適用される全ての環境変数リストは表 2.2.2 を参照）。細かくコンパイルオプションを変更したい場合は、`Makedef` ファイルを編集されたい。

表 2.2.2: コンパイル時の環境変数のリスト

環境変数	説明
SCALE_SYS	システム選択 (必須)
SCALE_DEBUG	デバッグ用コンパイルオプションでコンパイル
SCALE_QUICKDEBUG	クイックデバッグ用コンパイルオプション利用 (高速化そのまま + 浮動小数点エラー検出)
SCALE_USE_SINGLEFP	単精度浮動小数点を使用 (全ソース)
SCALE_ENABLE_OPENMP	OpenMP 機能を有効にする
SCALE_ENABLE_OPENACC	OpenACC 機能を有効にする
SCALE_USE_AGRESSIVEOPT	副作用が出る可能のある強い最適化まで行う (FX or intel のみ)
SCALE_DISABLE_INTELVEC	ベクトル化オプションの抑制 (インテルコンパイラのみ)
SCALE_NETCDF_INCLUDE	NetCDF ライブラリの include ディレクトリパス
SCALE_NETCDF_LIBS	NetCDF ライブラリのディレクトリパスとライブラリ指定
SCALE_ENABLE_PNETCDF	parallel NetCDF を利用する
SCALE_COMPAT_NETCDF3	NetCDF3 互換の機能に限定する
SCALE_ENABLE_MATHLIB	数値計算ライブラリを利用する
SCALE_MATHLIB_LIBS	数値計算ライブラリのディレクトリパスとライブラリ指定
SCALE_ENABLE_PAPI	PAPI を利用する
SCALE_PAPI_INCLUDE	PAPI ライブラリの include ディレクトリパス
SCALE_PAPI_LIBS	PAPI ライブラリのディレクトリパスとライブラリ指定
SCALE_DISABLE_LOCALBIN	テストケースディレクトリに特別版のバイナリが作られないようにする
SCALE_IGNORE_SRCDEP	コンパイル時にソースコードの依存関係確認を行わない
SCALE_ENABLE_SDM	超水滴モデルを利用する

2.3 後処理ツールのコンパイル

2.3.1 SNO のコンパイル

SNO は、SCALEversion 5.3 以降を使って生成された SCALE-netCDF のための後処理ツールである。ノードごとに分割された SCALE-RM の出力ファイル (ヒストリファイル、history.*****.nc) を分割・統合したり、GrADS でも読み込み可能な NetCDF データ形式へ変換するための後処理ツールである。コンパイルしたバイナリは、第 3.1 章、第 3.2 章のチュートリアルで使用する。詳細は第 4.6.1 章を参照されたい。

SNO のコンパイルでは、SCALE-RM のコンパイル時に生成される SCALE ライブラリ (libscale.a) を用いる。このライブラリは、ディレクトリ scale-5.5.4/lib に作成される。そのため、SCALE-RM のコンパイル後に以下のコマンドを実行する。

```
$ cd scale-5.5.4/scale-rm/util/sno  
$ make
```

コンパイルが成功すれば、実行バイナリがディレクトリ scale-5.5.4/bin の下に作成される。SNO は以下のように実行する。

```
$ mpirun -n 2 ./sno sno.conf
```

この例では、「mpirun」コマンドを用いて 2 つの MPI プロセスで SNO を実行している。最後の引数は設定ファイルである。

第3部

SCALE-RMのチュートリアル

3.1 動作確認と基本操作について

3.1.1 概要

本章では、数値実験における SCALE-RM の基本的な操作を理想実験を題材にして説明する。第 2 部で行った SCALE のコンパイルが正常に完了しているかの確認も兼ねているので、本チュートリアルを実施することを強く推奨する。本章では下記のファイルが生成されているとして説明を進める。

```
scale-5.5.4/bin/scale-rm
scale-5.5.4/bin/scale-rm_init
scale-5.5.4/bin/scale-rm_pp
scale-5.5.4/bin/sno
```

さらに、描画ツールとして GrADS を使用する。結果の確認には「gpview」も利用できる。GrADS や「gpview」(GPhys) のインストール方法は第 2.1.1 節を参照されたい。

以下のチュートリアルは、前準備、初期値作成、シミュレーション実行、後処理、描画の順で記述している。

3.1.2 モデルの実行方法

実験設定

理想実験のチュートリアルとして、ここでは、2次元モデルにおける積雲対流の理想実験を実施する。この実験では、典型的な大気鉛直分布と対流圏下層に初期擾乱を与えて、積乱雲が発生し発達する過程を計算する。表 3.1.1 に、実験設定を示す。

準備

理想実験は、ディレクトリ `scale-rm/test/tutorial/ideal` の中で実行する。このディレクトリに移動し、`scale-5.5.4/bin` にある実行バイナリへの静的リンクを張る。

```
$ cd scale-rm/test/tutorial/ideal
$ ln -s ../../../../bin/scale-rm      ./
$ ln -s ../../../../bin/scale-rm_init ./
```

ここで、「scale-rm」はモデル本体、「scale-rm_init」は初期値/境界値作成ツールである。

表 3.1.1: 理想実験の実験設定

項目	設定内容	備考
MPI プロセス数	東西 : 1、南北 : 2	計 2 プロセスによる並列計算
水平格子間隔	東西 : 500 m、南北 : 500 m	南北-鉛直面を切り取った 2 次元実験
水平格子点数	東西 : 1、南北 : 40	
鉛直層数	97 層 (モデル上端: 20 km)	下層ほど層厚を細かく切ったストレッチ格子を使用
側面境界条件	周期境界	東西、南北方向の両方に適用
時間刻み幅	5 sec	雲微物理スキームに対しては 10 sec
積分期間	3,600 sec	合計で 720 ステップ
データ出力間隔	300 sec	
物理スキーム	雲微物理スキームのみ使用	6-class single moment bulk model (Tomita, 2008)
初期の鉛直分布	GCSS Case1 squall-line (Redelsperger et al., 2000)	風の分布は、Ooyama (2001) に基づいた鉛直シアを設定
初期擾乱	暖気塊 (warm bubble)	半径: 水平 4 km、鉛直 3 km. 極大値: 3 K.

初期値の作成

初期値の作成には、scale-rm_init に与える設定ファイルが必要である。設定ファイル sample/init_R20kmDX500m.conf には、表 3.1.1 に対応する実験設定が書かれている。この設定ファイルを読み込ませると、scale-rm_init は大気の成層構造と初期擾乱を計算する。

SCALE-RM の実行コマンドの一般的な形式は、

```
$ mpirun -n [プロセス数] [実行バイナリ名] [設定ファイル]
```

である。[プロセス数] には MPI 並列で使用したいプロセス数、[実行バイナリ] には scale-rm や scale-rm_init といった実行バイナリ名を指定する。[設定ファイル] には実験設定を記述した設定ファイルを指定する。設定ファイルとして sample/init_R20kmDX500m.conf を使用し、2 プロセスによる MPI 並列で scale-rm_init を実行する場合には、コマンドは

```
$ cp sample/init_R20kmDX500m.conf ./init_R20kmDX500m.conf
$ mpirun -n 2 ./scale-rm_init init_R20kmDX500m.conf
```

と記述する。実行が成功すれば、コマンドラインに以下のメッセージが表示される。

```
*** Start Launch System for SCALE-RM
*** Execute preprocess? : T
*** Execute model? : F
*** End Launch System for SCALE-RM
```

この実行によって、下記の 3 つのファイルが、現在のディレクトリ下に作成される。

```
init_LOG.pe000000
init_00000101-000000.000.pe000000.nc
init_00000101-000000.000.pe000001.nc
```

計算領域の全体は、MPI プロセス数だけ水平方向に分割される。ファイル名において pe に続く番号は、MPI のプロセス番号を示している。ログファイル (init_LOG.pe000000) には、コマンドラインには表示されない詳細な情報が記録されている。この例では 2 つの MPI プロセスを使用しているが、デフォルト設定では 0 番目のプロセス (マスターランク) に対するログファイルだけが出力される。実行が正常に終了すれば、LOG ファイルの最後に

```
+++++ Closing LOG file
```

が出力される。

init_00000101-000000.000.pe000000.nc と init_00000101-000000.000.pe000001.nc の 2 つのファイルは初期値ファイルであり、それぞれ約 600 KB のファイルサイズになる。ファイル名の末尾が「.nc」で終わるファイルは netCDF 形式のファイルであり、GPhys/Ruby-DCL や ncview によって直接読み込める。

シミュレーションの実行

プロセス並列数は、初期値の作成時と同じにする必要がある。シミュレーションの実行用の設定ファイルは、sample/run_R20kmDX500m.conf である。

```
$ cp sample/run_R20kmDX500m.conf ./run_R20kmDX500m.conf
$ mpirun -n 2 ./scale-rm run_R20kmDX500m.conf
```

本書の必要要件にあった計算機であれば、2 分程度で計算が終わる。この実行によって、3 つのファイル

```
LOG.pe000000
history.pe000000.nc
history.pe000001.nc
```

が、現在のディレクトリ下に作成される。実行が正常に終了すれば、LOG ファイルの最後に

```
+++++ Closing LOG file
```

と出力される。history.pe000000.nc と history.pe000001.nc の 2 つのファイルは、計算結果を含むヒストリファイルである。これらのファイル形式は netCDF であり、各ファイルのサイズは約 1.5 MB である。

3.1.3 後処理と描画

ここでは後処理と計算結果の描画方法を説明する。このチュートリアルでは、netCDF 形式の分散ファイルを単一のファイルに結合し、GrADS でも読み込み可能な netCDF 形式に変換する。まず、[2.3.1 節](#)でコンパイルした後処理ツール SNO へのリンクを張る。

```
$ ln -s ../../../../bin/sno ./
```

SNO の実行方法は、基本的に SCALE-RM と同じであり、

```
$ mpirun -n [プロセス数] ./sno [設定ファイル]
```

の形式で実行する。sno_R20kmDX500m.conf は SNO 専用の設定ファイルである。この設定ファイルを SNO に与えて、次のように実行する。

```
$ cp sample/sno_R20kmDX500m.conf ./sno_R20kmDX500m.conf
$ mpirun -n 2 ./sno sno_R20kmDX500m.conf
```

エラーメッセージがなく、下記のメッセージだけが標準出力へ表示されていれば、変換は正常に完了している。

```
*** End SCALE-NetCDF Operator
```

SNO 実行時のプロセス数は、1 領域に含まれる HALO 領域を除いた格子点数の約数でなければならない。この実行によって、実行ディレクトリ下に下記のファイルが作成される。

```
merged_history.pe000000.nc
```

この NetCDF ファイルは、GrADS の sdfopen 関数を用いて読み込むことが可能な NetCDF ファイルである。自己記述形式で自分自身が軸情報等、GrADS の描画に必要な要素を持っており、ctl ファイルがなくても読み込むことができる。

計算が問題なく完了しているかを確認するため、GrADS スクリプト checkfig_ideal.gs を使って作図する。なお、GrADS のバージョンによって文法が異なるため、警告が出る場合には GrADS スクリプトを適宜変更されたい。作図は以下のコマンドで行う。

```
$ grads -blc checkfig_ideal.gs
```

コマンドが成功すれば、下記のファイルが生成される。

```
ideal_qhyd.png
ideal_W.png
```

シミュレーションと後処理が問題なく行われていれば、図 3.1.1 と同じ図が得られる。

ヒストリファイルに出力された変数は、netCDF の ncdump 等を用いて簡単に確認できる。SNO の詳しい使い方は第 4.6.1 節を参照されたい。

3.1.4 応用に向けたガイドライン

本章では簡単な理想実験を例にして SCALE-RM の実行方法を説明した。次の段階として、モデルの解像度、計算領域、MPI プロセス数を変更する方法を把握することを勧める。本章の理想実験に関しては、この実験で使用したディレクトリ下にある「sample」ディレクトリの中に、解像度設定、領域設定、物理スキーム等を変更した設定ファイルを数種類用意してある。これらは、設定を変更する際に参考となるだろう。また、ディレクトリ「scale-rm/test/case」の下には、様々な理想実験に対する設定を用意している。幾つかの理想実験については、それらの実験設定に特化したソースコードを必要とするため、設定ファイルの存在するディレクトリで make コマンドを再度実行する必要がある。初期値作成と実行の手順は、基本的に本章のチュートリアルと同じである。

雲微物理スキーム、放射スキーム、乱流スキーム等の物理過程の設定方法を確認することも重要である。これらの変更方法は第 4 章に記載されている。

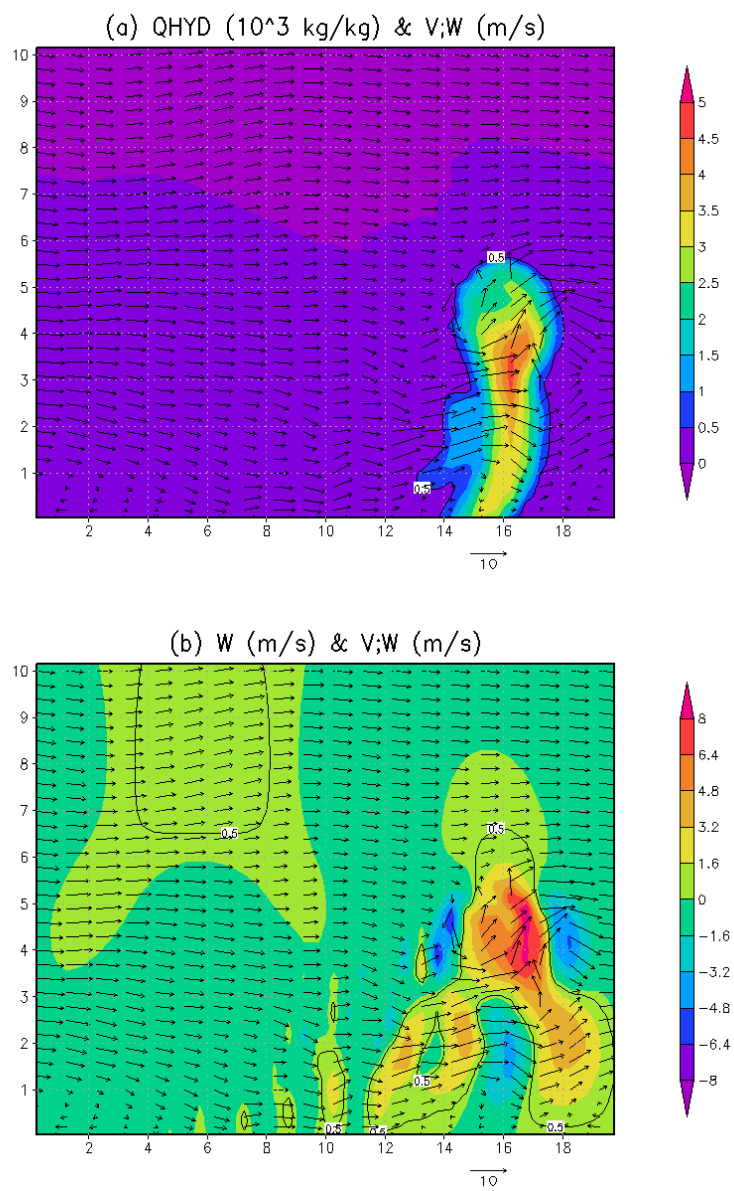


図 3.1.1: 積分開始から 1200 秒 (20 分) 後の水平-鉛直断面図; 図 (a) に全質量に対する凝結物の質量比、図 (b) に鉛直速度を示す。両方の図において、ベクトルは流れを表す。

3.2 現実大気実験

3.2.1 概要

本章では、以下の流れ (図 3.2.1 も参照) に従う簡単な場合を例にして、現実大気実験の基本的な実行手順を示す。

1. 入力データの準備 (入力データは各自で準備しなければならない)
2. pp : 地形データの作成
3. init : 初期値・境界値データの作成
4. run : シミュレーションの実行
5. sno : 出力データを GrADS で読み込み可能な netCDF 形式に変換 (オプション)

これ以降の説明では、scale-5.5.4/scale-rm/test/tutorial/の絶対パスを $\${Tutorial_DIR}$ と書くことにする。

本章のチュートリアルで用いる計算領域の設定を表 3.2.1 に示す。また、対象とする計算領域を図 3.2.2 に示す。本チュートリアルの目的は、SCALE-RM を用いて現実大気実験を実施する方法を短時間で学ぶことである。そのために、計算が短時間で終わるように実験を設定している。したがって、この設定が物理的に妥当な実験として適切とは限らないことに注意が必要である。実際の研究を行うときには、必要に応じて実験設定を検討すべきである。

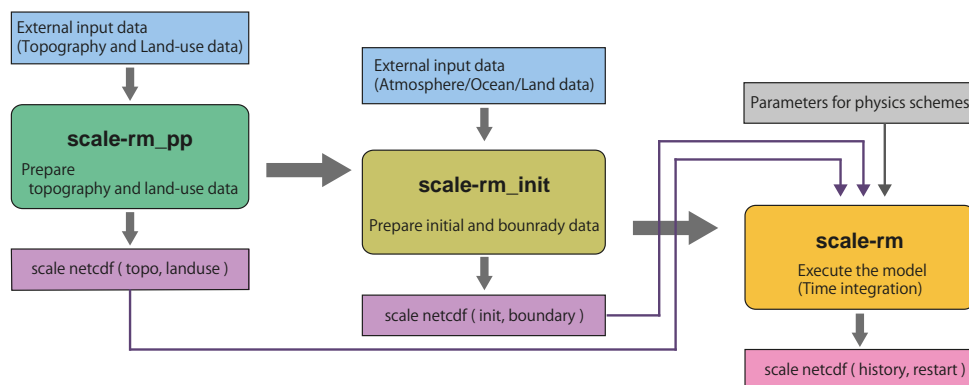


図 3.2.1: SCALE-RM におけるモデルの実行手順

表 3.2.1: 実験設定の概略

項目	設定
MPI プロセス分割 (東西 x 南北)	2 x 2 (合計 4 プロセス)
水平格子数 (東西 x 南北)	90 x 90
鉛直層数	36 層
水平格子間隔	$\Delta x = \Delta y = 20 \text{ km}$
積分期間	2007 年 7 月 14 日 18UTC ~ 15 日 00UTC (6 時間積分)
時間ステップ間隔	90 sec (全 240 steps)

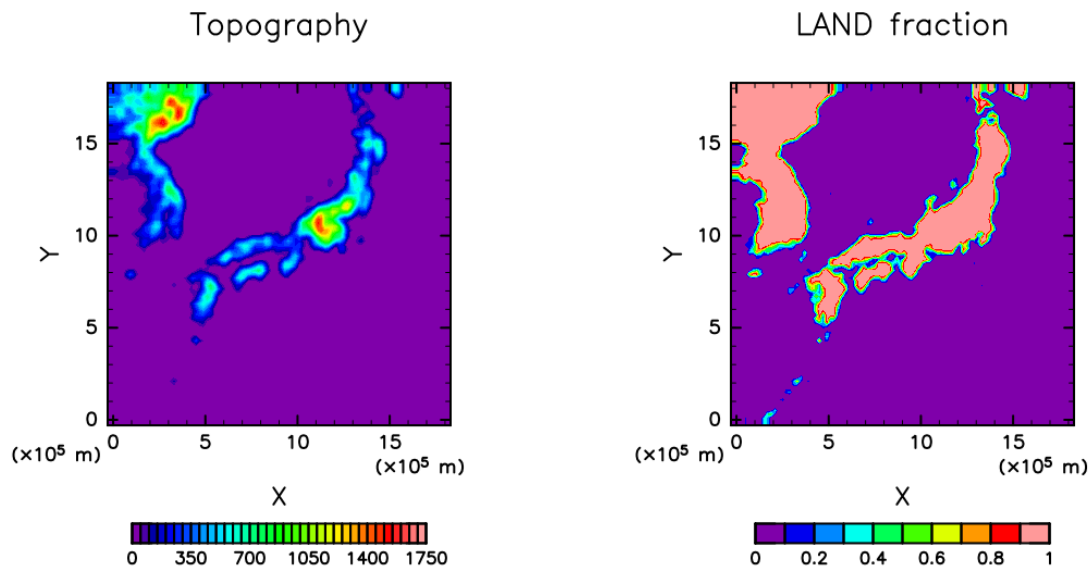


図 3.2.2: 計算領域の地形と海陸分布。

3.2.2 入力データ (境界値データ) の準備

現実大気実験を行う場合には、SCALE-RM に境界値データを与える必要がある。表 3.2.2 に、境界値データの作成に必要な外部入力データの項目を示す。この表において、青字で書かれた変数は必須であり、その他 (黒字) は任意である。

標高データと土地利用区分データ

標高データと土地利用区分データは、各格子点における標高、海陸比率、湖比率、都市被覆率、植生比率、土地 (植生) 利用区分を与えるために必要である。全球中の任意の地域を対象とした計算が行えるように、USGS(U.S. Geological Survey) の標高データ GTOPO30 と、GLCCv2 の土地利用区分データを SCALE-RM では用意している。これらのファイルの形式は、SCALE-RM 用に変換済みである。

1. データベースのダウンロード

表 3.2.2: 現実大気実験に必要な外部入力データの項目

SCALE-RM の地形と土地利用を作成するための元データ
<ul style="list-style-type: none"> 標高データ 土地利用区分データ
SCALE-RM の初期値境界値を作成するための外部入力データ (一般的には GCM データ)
<ul style="list-style-type: none"> 親モデルの緯度・経度情報 <ul style="list-style-type: none"> — 3次元大気データ — <ul style="list-style-type: none"> 東西風速、南北風速、気温、比湿 (相対湿度)、気圧、ジオポテンシャル高度 — 2次元大気データ — <ul style="list-style-type: none"> 海面更正気圧、地上気圧、10 m 東西風速、10 m 南北風速、2 m 気温、2 m 比湿 (相対湿度) — 2次元陸面データ — <ul style="list-style-type: none"> 親モデルの海陸マップ 地表面温度 (Skin temp) 親モデル土壌データの深さ情報、土壌温度、土壌水分 (体積含水率 or 飽和度) — 2次元海面データ — <ul style="list-style-type: none"> 海面水温 (Skin temp を SST にも用いる場合には省略可)

SCALE-RM 用に形式を変換した標高・土地利用区分のデータを https://scale.riken.jp/archives/scale_database.tar.gz から取得し、任意のディレクトリに展開する。

```
$ tar -zxvf scale_database.tar.gz
$ ls
scale_database/topo/    <- 標高データ
scale_database/landuse/ <- 土地利用区分データ
```

2. パスの設定

現実大気実験に必要なファイル一式を準備するために、「実験用セッソー式作成ツール」を用いる。このツールを利用するためには、上記のデータベースが存在するディレクトリの名前 (以後 `SCALE_DB` と表記) を環境変数 `SCALE_DB` に設定しておかなければならない。

```
$ export SCALE_DB="${path_to_directory_of_scale_database}/scale_database"
```

ここで、`path_to_directory_of_scale_database` は、標高・土地利用区分データを含む tar ファイルの展開先ディレクトリの名前である。例えば、`scale_database.tar.gz` を展開したディレクトリの絶対パスが `/home/user/scale` であった場合は、以下のように設定する。

```
$ export SCALE_DB="/home/user/scale/scale_database"
```

大気・陸面・海面水温データ

初期値/境界値データは、4 byte バイナリ (GrADS 形式。以降「binary」形式と表記) に変換すれば読み込める。上述したように「バイナリ」データはユーザーが用意する。ただし、本チュートリアルでは、この「バイナリ」データを準備するためのプログラムをディレクトリ `SCALE_TUTORIAL_DIR/real/tools/`

に用意してある。手順を以下で説明する。ただし、grib1形式のNCEP FNL (Final) Operational Global Analysis data を使用するために、wgrib^{*1)} はインストール済みであるとする。

1. データの取得

NCARのサイト<http://rda.ucar.edu/datasets/ds083.2/> から、2007年7月14日18時から12時間分のデータをダウンロードし、`#{Tutorial_DIR}/real/tools/FNL_input/grib1/2007` に配置する。以下が、grib1形式のデータのリストである。

```
fnl_20070714_18_00.grib1
fnl_20070715_00_00.grib1
```

2. データ形式をgrib形式からバイナリ形式に変換

`#{Tutorial_DIR}/real/tools/`にある`convert_FNL-grib2grads.sh`を実行する。

```
$ cd #{Tutorial_DIR}/real/tools/
$ sh convert_FNL-grib2grads.sh 2007071418 2007071500 FNL_input FNL_output
```

成功すれば、下記のファイルが作成される。

```
$ ls FNL_output/**
FNL_output/200707/FNL_ATM_2007071418.grd
FNL_output/200707/FNL_ATM_2007071500.grd
FNL_output/200707/FNL_LND_2007071418.grd
FNL_output/200707/FNL_LND_2007071500.grd
FNL_output/200707/FNL_SFC_2007071418.grd
FNL_output/200707/FNL_SFC_2007071500.grd
```

NCEP-FNLのデータ構造や変数名が変更された場合には、意図したファイルが作成されない。その場合は、使用するNCEP-FNLデータに応じて`convert_FNL-grib2grads.sh`を修正する必要がある。

3.2.3 実験セットの準備

現実大気実験では、理想実験と比べて多くの実行手順やファイルが必要である。加えて、前処理(pp)、初期値作成(init)、シミュレーション実行(run)で使用する設定ファイル(***.conf)内の実験設定は整合的でなければならない。準備段階におけるファイルの不足や設定の不一致は、モデルが正常に動かない原因となる。このような状況を回避するために、必要なファイルの一式を生成するためのツール「実験用セット一式作成ツール」が用意されている。まず始めに以下のディレクトリに移動し、次の手順によって現実大気実験のチュートリアルに必要なファイルの一式を用意する。

```
$ cd $Tutorial_DIR/real/
$ ls
Makefile : 実験セット一式作成のための Makefile
README   : スクリプトの使用に関する README
USER.sh  : 実験設定の記述
```

*1)<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/wesley/wgrib.html>

```

config/  : 一連のファイルの作成に対する各々の設定
           (基本的に、ユーザは書き換える必要はない)
sample/  : USER.sh のサンプルスクリプト
data/    : チュートリアルのためのツール類
tools/   : チュートリアル用の初期条件のためのツール
           (チュートリアルの場合を除いて、基本的に各自で準備する)

```

```
$ make
```

```

$ ls experiment/      : このディレクトリは make により追加される
  init/
  pp/
  run/
  sno/

```

make を実行すると、USER.sh に記述された設定に従って experiment ディレクトリの下に実験セットが作成される。実験用セット一式作成ツールに関する詳しい説明については、第 4.2.1 節を参照されたい。

3.2.4 地形データの作成 : pp

pp ディレクトリへ移動し、実験のための地形データを以下のように作成する。

```

$ cd ${Tutorial_DIR}/real/experiment/pp/
$ ls
  Makefile
  pp.d01.conf
  scale-rm_pp

```

pp ディレクトリの中には、pp.d01.conf という名前の設定ファイルが準備されている。計算領域の位置や格子点数等の実験設定に応じて、pp.d01.conf を適宜編集する必要がある。本チュートリアルでは pp.d01.conf は編集済みであるので、そのまま利用すれば良い。表 3.2.1 に実験設定を示す。

pp.d01.conf のネームリストの中で、計算領域に関係する設定は [PARAM_PRC_CARTESC]、[PARAM_GRID_CARTESC_INDEX]、[PARAM_GRID_CARTESC] で行っている。領域全体の総格子点数は、X 方向、Y 方向それぞれ (IMAXG) = 90、(JMAXG) = 90 である。X 方向、Y 方向ともに領域は 2 分割されているので、各 MPI プロセスが担当する格子数は、X 方向、Y 方向それぞれ 45 (= 90/2) である。各方向の格子幅は [PARAM_GRID_CARTESC] の (DX, DY) において 20,000 m (20 km) と指定されている。したがって、計算領域の一辺の長さは 90 × 20 km であるので、計算領域は 1800 km × 1800 km の正方領域である。

```

&PARAM_PRC_CARTESC
  PRC_NUM_X = 2,
  PRC_NUM_Y = 2,
  PRC_PERIODIC_X = .false.,
  PRC_PERIODIC_Y = .false.,
/

&PARAM_INDEX_GRID_CARTESC_INDEX
  KMAX = 36,
  IMAXG = 90,
  JMAXG = 90,
/

&PARAM_GRID_CARTESC
  DX = 20000.0,
  DY = 20000.0,
  FZ(:) = 80.841, 248.821, 429.882, 625.045, 835.409, 1062.158,
          1306.565, 1570.008, 1853.969, 2160.047, 2489.963, 2845.575,
          3228.883, 3642.044, 4087.384, 4567.409, 5084.820, 5642.530,
          6243.676, 6891.642, 7590.074, 8342.904, 9154.367, 10029.028,
          10971.815, 11988.030, 13083.390, 14264.060, 15536.685, 16908.430,
          18387.010, 19980.750, 21698.615, 23550.275, 25546.155, 28113.205,
  BUFFER_DZ = 5000.0,
  BUFFER_DX = 400000.0,
  BUFFER_DY = 400000.0,
/

```

scale-rm_pp 専用のネームリストとして [PARAM_CONVERT] がある。(CONVERT_TOPO) を .true. にすると標高データが処理され、(CONVERT_LANDUSE) を .true. にすると土地利用区分データが処理がされる。

```

&PARAM_CONVERT
  CONVERT_TOPO = .true.,
  CONVERT_LANDUSE = .true.,
/

```

また、[PARAM_CNVTOP0_GTOP030] の中の (GTOP030_IN_DIR) と [PARAM_CNVLANDUSE_GLCCv2] の中の (GLCCv2_IN_DIR) はそれぞれ、標高データと土地利用区分データの場所を指定している。

```

&PARAM_CNVTOP0_GTOP030
  GTOP030_IN_DIR = "./topo/GTOP030/Products",
  GTOP030_IN_CATALOGUE = "GTOP030_catalogue.txt",
/

&PARAM_CNVLANDUSE_GLCCv2
  GLCCv2_IN_DIR = "./landuse/GLCCv2/Products",
  GLCCv2_IN_CATALOGUE = "GLCCv2_catalogue.txt",
  limit_urban_fraction = 0.3D0,
/

```

上記の設定ファイルの準備後に、以下のコマンドによって scale-rm_pp を実行し、地形データを

作成する。

```
$ mpirun -n 4 ./scale-rm_pp pp.d01.conf
```

本チュートリアルでは、表 3.2.1 に示すように 4 つの MPI プロセスを使用する。ジョブが正常に終了すれば、ログファイル (pp_LOG_d01.pe000000) の最後に

```
+++++ Closing LOG file
```

と出力される。また、topo_d01.pe#####.nc (約 310KB のファイルサイズ) と landuse_d01.pe#####.nc (約 380KB のファイルサイズ) というファイルが MPI プロセス数だけ生成される (今の場合 4 つずつ)。ここで、#####には MPI プロセスの番号が入る。これらのファイルには、各格子点における標高、海陸比率、湖比率、都市被覆率、植生比率、土地 (植生) 利用区分の情報が格納されている。

OPTION

「gpview」がインストールされている場合は、次のコマンドによって地形データが正しく作成されているかを確認できる。

```
$ gpview topo_d01.pe00000*@topo --aspect=1 --nocont --range 0:1750 --int 50
$ gpview landuse_d01.pe00000*@FRAC_LAND --aspect=1 --nocont
```

結果が正常であれば、図 3.2.2 と同様の図が表示される。

3.2.5 初期値/境界値データの作成 : init

init ディレクトリに移動し、SCALE-RM によるシミュレーションに必要な初期値/境界値データを作成する。

```
$ cd ${Tutorial_DIR}/real/experiment/init
$ ls
  Makefile
  init.d01.conf
  init.launch.conf
  param.bucket.conf
  scale-rm_init
```

ディレクトリの中には、設定ファイル init.d01.conf が準備されている。他に init.launch.conf というファイルも存在するが、ここでは使用しない。init.d01.conf ファイルには表 3.2.1 に示すチュートリアル用の設定が既になされているが、pp.d01.conf と同様に実験設定に応じて変更されたい。初期値/境界値データの生成には、前節で作成した地形データが使用される。地形データは、init.d01.conf において相対パスで設定する。

```
&PARAM_TOPOGRAPHY
  TOPOGRAPHY_IN_BASENAME = "../pp/topo_d01",
/

&PARAM_LANDUSE
  LANDUSE_IN_BASENAME = "../pp/landuse_d01",
/
```

その他に、init.d01.conf の設定の中で特に確認して欲しい項目は、[\[PARAM_MKINIT_REAL_ATMOS\]](#)、[\[PARAM_MKINIT_REAL_OCEAN\]](#)、[\[PARAM_MKINIT_REAL_LAND\]](#) の項目である。

<pre>&PARAM_MKINIT_REAL_ATMOS NUMBER_OF_FILES = 2, FILETYPE_ORG = "GrADS", BASENAME_ORG = "namelist.grads_boundary.FNL.2005053112-2015011400", BASENAME_BOUNDARY = "boundary_d01", BOUNDARY_UPDATE_DT = 21600.0, PARENT_MP_TYPE = 3, USE_FILE_DENSITY = .false., / &PARAM_MKINIT_REAL_OCEAN 略 INTRP_OCEAN_SFC_TEMP = "mask", INTRP_OCEAN_TEMP = "mask", / &PARAM_MKINIT_REAL_LAND 略 USE_FILE_LANDWATER = .true., INTRP_LAND_TEMP = "mask", INTRP_LAND_WATER = "fill", INTRP_LAND_SFC_TEMP = "fill", /</pre>	<p>読み込むファイルの数 表 4.1.2 から選択する</p> <p>境界値データの出力名 入力データの時間間隔</p> <p>親モデルの大気密度データを使うか</p> <p>SST の欠測値処理方法 SST の欠測値処理方法</p> <p>親モデルの土壌水分データを使うか 土壌温度の欠測値処理方法 土壌水分の欠測値処理方法 地表面温度の欠測値処理方法</p>
--	--

気象場データのファイル形式は ([FILETYPE_ORG](#)) で指定する。ここでは、GrADS 形式のデータを読み込むために “grads” を与えている。入力ファイルの詳細は第 4.1.2 節を参照されたい。

第 3.2.2 節でバイナリ形式に変換した入力データ (FNL) へのリンクを、作業ディレクトリに張る。リンクを適切に張るために、`#{Tutorial_DIR}/real/data` の中に 「gradsinput-link_FNL.sh」というスクリプトを用意している。

```
$ cp ../../data/gradsinput-link_FNL.sh ./
```

```
$ sh gradsinput-link_FNL.sh
```

上記のコマンドを実行し、下記のリンクが作成されていれば成功である。

```
ATM_00000.grd -> ../tools/FNL_output/200707/FNL_ATM_2007071418.grd
ATM_00001.grd -> ../tools/FNL_output/200707/FNL_ATM_2007071500.grd
LND_00000.grd -> ../tools/FNL_output/200707/FNL_LND_2007071418.grd
LND_00001.grd -> ../tools/FNL_output/200707/FNL_LND_2007071500.grd
SFC_00000.grd -> ../tools/FNL_output/200707/FNL_SFC_2007071418.grd
SFC_00001.grd -> ../tools/FNL_output/200707/FNL_SFC_2007071500.grd
```

次に、GrADS 形式のバイナリデータを SCALE で読み込むためのネームリストファイルを、ディレクトリ init へリンクする。

```
$ ln -s ../../data/namelist.grads_boundary.FNL.2005053112-2015011400 ./
```

上記の準備が完了したら、4 つの MPI プロセスを使用して scale-rm_init を実行する。

```
$ mpirun -n 4 ./scale-rm_init init.d01.conf
```

正常にジョブが終了すれば、以下のファイルが生成される。

```
$ ls
boundary_d01.pe000000.nc
boundary_d01.pe000001.nc
boundary_d01.pe000002.nc
boundary_d01.pe000003.nc
init_d01_20070714-180000.000.pe000000.nc
init_d01_20070714-180000.000.pe000001.nc
init_d01_20070714-180000.000.pe000002.nc
init_d01_20070714-180000.000.pe000003.nc
init_LOG_d01.pe000000
```

init_LOG_d01.pe000000 はログファイルであり、処理が正常に完了していれば、ファイルの最後に

```
+++++ Closing LOG file
```

が出力される。boundary_d01.pe#####.nc は境界値データ、init_d01_20070714-180000.000.pe#####.nc は初期値データであり、各ファイルのサイズは約 18.9 MB、約 12.6 MB である。ここで、##### は MPI プロセス番号を表す。

NOTICE: 入力データ読み込み時のメモリ節約

SCALE-RM では、初期値データの読込はマスタープロセスのみが行い、broadcast 通信によって各ノードに情報を伝播する。これはできるだけファイル IO を減らし、高速に初期値データを処理するためのアルゴリズムである。一方でこのアルゴリズムは、特に大規模並列計算システムにおいて、大きな初期値データを読み込む際に、メモリ容量が足りなくなることがある。これを回避するために、下記のように、各ノードが自身に必要なデータだけを読み込む方式に切り替えることで、メモリ

不足を解消することができる。

```
&PARAM_MKINIT_REAL_ATMOS
SERIAL_PROC_READ = .false.,      マスタープロセスのみデータにアクセスするかどうか
/
```

デフォルト設定は `.true.` であり、マスタープロセスのみファイル IO を実行する。`.false.` にすると、各ノードがファイル IO を行うことで使用するメモリ量を削減する。ただしファイル IO が増大するため、システムによってはファイルアクセスをロックされる等、パフォーマンスの低下がありうることに注意。

OPTION

「gpview」がインストールされている場合は、以下のコマンドによって初期値と境界値が正しく作成されているかを確認できる。

```
$ gpvect --wsn=1 --scalar --slice z=1500 --nocont --aspect=1 --range=0.002:0.016 \
--int 0.001 --xintv=10 --yintv=10 --unit_vect \
init_d01_20070714-180000.000.pe00*@QV init_d01_20070714-180000.000.pe00*@MOMX \
init_d01_20070714-180000.000.pe00*@MOMY --title "QV, MOMX, MOMY"
```

処理が正常に終了していれば、図 3.2.3 と同様の図が得られる。

3.2.6 シミュレーションの実行：run

run.conf の準備

run ディレクトリへ移動する。

```
$ cd ${Tutorial_DIR}/real/experiment/run
```

このディレクトリの中には、表 3.2.1 に示すチュートリアル用の設定を施した設定ファイルが準備されている。他に `run.launch.conf` というファイルも存在するが、ここでは使用しない。

モデル本体の実行には、事前に作成した地形データや初期値/境界値データを使用する。これらのファイルの指定は、`run.d01.conf` における下記の部分で設定している。

QV, MOMX, MOMY

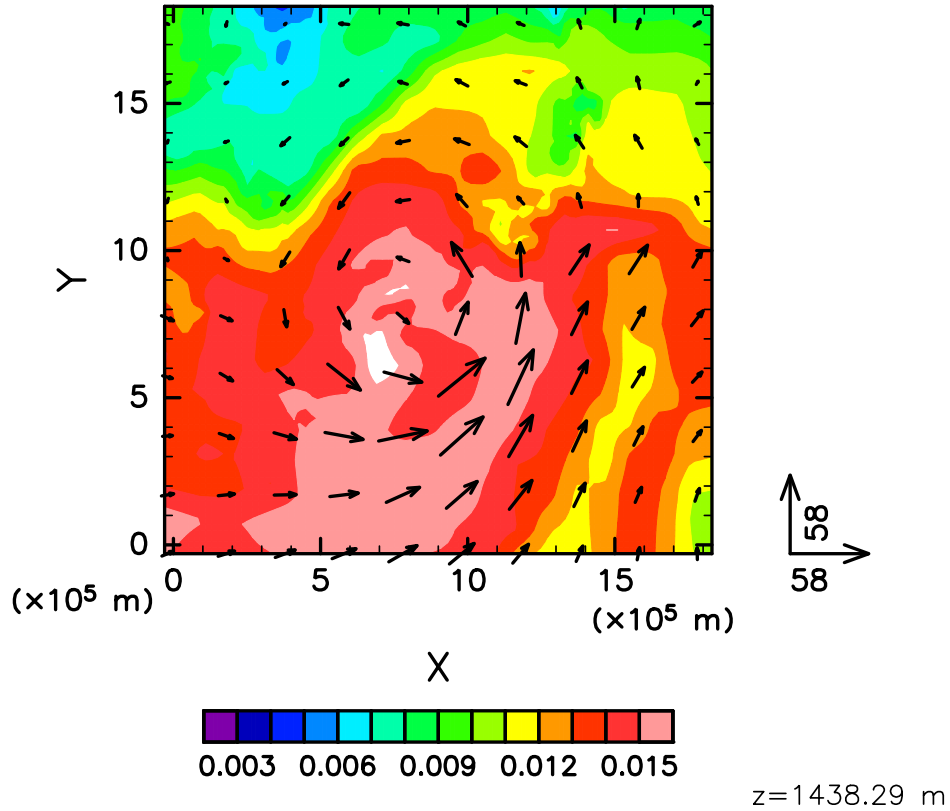


図 3.2.3: チュートリアル実験における初期場の様子 ($z = 1500$ m)。色は比湿、ベクトルは水平運動量フラックスを表す。

```

&PARAM_TOPOGRAPHY
  TOPOGRAPHY_IN_BASENAME = "../pp/topo_d01",
/

&PARAM_LANDUSE
  LANDUSE_IN_BASENAME = "../pp/landuse_d01",
/

&PARAM_RESTART
  RESTART_OUTPUT = .true.,
  RESTART_OUT_BASENAME = "restart_d01",
  RESTART_IN_BASENAME = "../init/init_d01_20070714-180000.000",
/

&PARAM_ATMOS_BOUNDARY
  ATMOS_BOUNDARY_TYPE = "REAL",
  ATMOS_BOUNDARY_IN_BASENAME = "../init/boundary_d01",
  ATMOS_BOUNDARY_USE_DENS = .true.,
  ATMOS_BOUNDARY_USE_QHYD = .false.,
  ATMOS_BOUNDARY_ALPHAFACDENS = 1.0,
  ATMOS_BOUNDARY_LINEAR_H = .false.,
  ATMOS_BOUNDARY_EXP_H = 2.0,
/

```

run.d01.conf の中で、時間積分に関する設定は [PARAM_TIME] で行う。初期時刻は (TIME_STARTDATE) に UTC で指定し、チュートリアルでは 2007 年 7 月 14 日 18 時 UTC に設定している。積分時間は (TIME_DURATION) で与える。物理過程に対する時間ステップは、各物理スキームごとに設定できる。

```
&PARAM_TIME
TIME_STARTDATE = 2007, 7, 14, 18, 0, 0,      時間積分を開始する時刻
TIME_STARTMS = 0.DO,
TIME_DURATION = 6.0D0,                       : 積分期間
TIME_DURATION_UNIT = "HOUR",                 : TIME_DURATION の単位
TIME_DT = 90.0D0,                            : トレーサー移流計算の時間ステップ
TIME_DT_UNIT = "SEC",                        : TIME_DT の単位
TIME_DT_ATMOS_DYN = 45.0D0,                  : トレーサー移流計算以外の力学過程の時間ステップ
TIME_DT_ATMOS_DYN_UNIT = "SEC",              : TIME_DT_ATMOS_DYN の単位

..... 略 .....

/
```

計算結果の出力に関する設定は、(PARAM_FILE_HISTORY) で行う。

```
&PARAM_FILE_HISTORY
FILE_HISTORY_DEFAULT_BASENAME = "history_d01", : 出力するファイル名
FILE_HISTORY_DEFAULT_TINTERVAL = 3600.DO,     : 出力時間間隔
FILE_HISTORY_DEFAULT_TUNIT = "SEC",           : 出力時間間隔の単位
FILE_HISTORY_DEFAULT_TSTATS_OP = "none",
FILE_HISTORY_DEFAULT_DATATYPE = "REAL4",
FILE_HISTORY_DEFAULT_ZCOORD = "model",       : 鉛直内挿は適用しない
FILE_HISTORY_OUTPUT_STEP0 = .true.,           : 初期時刻 (t=0) の値を出力するかどうか

/
```

上記の設定に従って、下記の (HISTOTRY_ITEM) に列挙した変数を出力する。必要があれば、(HISTOTRY_ITEM) においてオプション変数を加えることで、変数毎に出力間隔を変更できる。また、瞬間値の代わりに平均値を出力することも可能である。これらの詳細は、4.2.6 を参照されたい。

&HISTOTRY_ITEM name="MSLP" /	海面更正気圧
&HISTOTRY_ITEM name="PREC" /	降水強度 (2 次元)
&HISTOTRY_ITEM name="OLR" /	外向き赤外放射 (2 次元)
&HISTOTRY_ITEM name="U10m" /	地表 10m での東西方向水平速度成分 (2 次元)
&HISTOTRY_ITEM name="V10m" /	地表 10m での南北方向水平速度成分 (2 次元)
&HISTOTRY_ITEM name="U10" /	地表 10m での X 方向水平速度成分 (2 次元)
&HISTOTRY_ITEM name="V10" /	地表 10m での Y 方向水平速度成分 (2 次元)
&HISTOTRY_ITEM name="T2" /	地表 2m での温度 (2 次元)
&HISTOTRY_ITEM name="Q2" /	地表 2m での水蒸気比湿 (2 次元)
&HISTOTRY_ITEM name="SFC_PRES" /	地表気圧 (2 次元)
&HISTOTRY_ITEM name="SFC_TEMP" /	バルクの地表面温度 (2 次元)
&HISTOTRY_ITEM name="DENS" /	密度 (3 次元)
&HISTOTRY_ITEM name="QV" /	水蒸気比湿 (3 次元)
&HISTOTRY_ITEM name="QHYD" /	全凝結物の全質量に対する比 (3 次元)
&HISTOTRY_ITEM name="PRES" /	気圧 (3 次元)
&HISTOTRY_ITEM name="Umet" /	東西方向水平速度成分 (3 次元)
&HISTOTRY_ITEM name="Vmet" /	南北方向水平速度成分 (3 次元)
&HISTOTRY_ITEM name="U" /	X 方向水平速度成分 (3 次元)
&HISTOTRY_ITEM name="V" /	Y 方向水平速度成分 (3 次元)
&HISTOTRY_ITEM name="T" /	温度 (3 次元)
&HISTOTRY_ITEM name="W" /	鉛直方向速度成分 (3 次元)
&HISTOTRY_ITEM name="Uabs" /	風速 (3 次元)
&HISTOTRY_ITEM name="PT" /	温位 (3 次元)
&HISTOTRY_ITEM name="RH" /	相対湿度 (3 次元)

力学過程や物理過程に対するスキームとして他のスキームを用いたい場合は、力学過程に関しては `[&PARAM_ATMOS_DYN]`、物理過程に関しては `[PARAM_ATMOS ,PARAM_OCEAN ,PARAM_LAND ,PARAM_URBAN]` で設定できる。詳細は、第 4.3.1 節、4.4 節を参照されたい。

シミュレーションの実行

実行に必要なファイルは下記であり、あらかじめ用意されている。

```
$ ls
MIPAS PARAG.29 PARAPC.29 VARDATA.RM29 cira.nc
                                : 放射スキーム用のパラメータファイル
run.d01.conf                    : 設定ファイル
param.bucket.conf              : 陸面スキーム用のパラメータファイル
scale-rm                        : SCALE-RM の実行バイナリ
run.launch.conf                : ネスティング計算用の launch ファイル
                                (チュートリアルでは使用しない)
```

準備が整ったら、4-MPI 並列により SCALE-RM を実行する。

```
$ mpirun -n 4 ./scale-rm run.d01.conf >& log &
```

実行が完了するまでには、ある程度時間を要する (推奨環境において 10~20 分程度かかる)。そのため、上記のように標準出力をファイルに書き出すようにして、バックグラウンドで実行すると便利である。計算は進みながら、途中経過のログは "LOG_d01.pe000000" に出力される。ジョブが正常に終了すると、"LOG_d01.pe000000" の最後に

```
+++++ Closing LOG file
```

と出力され、下記のファイルが作成される。

```
$ ls
  history_d01.pe000000.nc
  history_d01.pe000001.nc
  history_d01.pe000002.nc
  history_d01.pe000003.nc
```

各ファイルのサイズは約 34 MB である。出力ファイル (history_d01.pe#####.nc) は、MPI プロセス数に応じて分割されている。ここで、##### は MPI プロセス番号を表す。これらのファイルには、(HISTORY_ITEM) で指定した変数が出力されている。出力ファイルの形式は、気候・予報 (CF) メタデータ規約に準拠した NetCDF である。

3.2.7 結果のクイック描画 : SNO

本節では、SNO の使用方法を説明する。プログラム SNO は、プロセス毎に分割された netCDF ファイル (history.**.nc^{*2)}) を GrADS が読み込み可能な単一の netCDF ファイルに結合することもできる。この変換した netCDF データを使って、シミュレーションの結果を確認する。

GrADS 読み込み可能な netCDF に変換

プロセスごとに分割された netCDF 形式のヒストリファイルから GrADS が読み込み可能な netCDF ファイルに変換するために、SNO を使用する。ここでは最低限の手順のみを説明することにする。詳細な使用法は 4.6.1 節を参照されたい。

まず、SNO ディレクトリに移動する。

```
$ cd ${Tutorial_DIR}/real/experiment/sno
$ ls
  Makefile
  sno -> ../../../../../../bin/sno
  sno.hgridope.d01.conf
  sno.vgridope.d01.conf
```

このディレクトリの中には設定ファイルとバイナリファイルがある。バイナリファイルは、2.3.1 節でコンパイルした実行ファイルにリンクされている。ここでは例として、3 次元変数を p 面の値に変換し、等緯度経度データに内挿した上で、全変数を GrADS に読み込み可能な netCDF ファイルへ変換する手順を示す。

SNO は鉛直軸方向と水平軸方向の変換を同時に変換できないために、以下のように別々に実行する。まず初めに、モデル面から P 面の値に変換する。この時、SNO を実行する時のプロセス数は、計算領域に含まれる格子点数の約数である必要がある。ここでは、4 プロセスを使用する。

```
$ mpirun -n 4 ./sno sno.vgridope.d01.conf
```

^{*2)} 「gpview」がインストールされている場合には、「gpview」でも作図することができる。このツールは history データを変換することなく直接作図することができるため、素早く結果を確認した場合には適している。

次に、水平方向に等緯度経度データに変換した上で、ノード分割された netCDF ファイルを1つのファイルにまとめる。SNO の並列実行時の使用できるプロセス数の制限により、ここでは1 プロセスを使用する。

```
$ mpirun -n 1 ./sno sno.hgridope.d01.conf
```

エラーメッセージがなく、下記のメッセージだけが標準出力へ表示されていれば、変換は正常に完了している。

```
*** End SCALE-NetCDF Operator
```

また、下記のファイルが作成されているはずである。

```
merged-p_history_d01.pe000000.nc  
merged-p_history_d01.pe000001.nc  
merged-p_history_d01.pe000002.nc  
merged-p_history_d01.pe000003.nc  
merged-h_history_d01.pe000000.nc
```

計算結果の確認

GrADS スクリプト `checkfig_real.gs` を用いて、計算結果を確認する。

```
$ cp ../../data/checkfig_real.gs ./  
$ grads -blc checkfig_real.gs
```

変換が正常に終了すれば、下記のファイルが作成される。なお、GrADS のバージョンによって文法が異なるので、警告が出る場合はスクリプトを適宜変更されたい。

```
real_mslp.png  
real_prec.png  
real_wind.png
```

計算が成功していれば、[図 3.2.4](#)、[3.2.5](#)、[3.2.6](#) と同じ図が得られる。

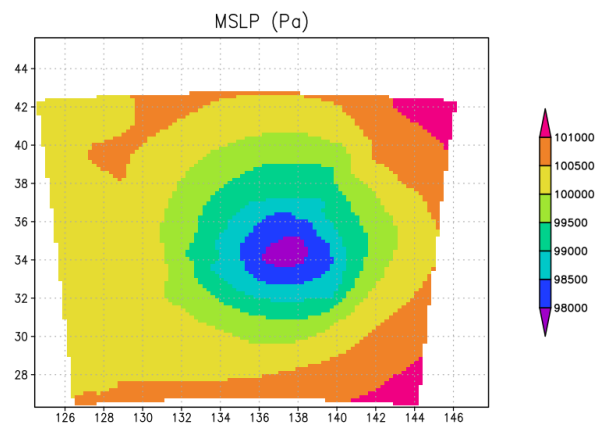


図 3.2.4: 計算開始から 6 時間後の海面更正気圧

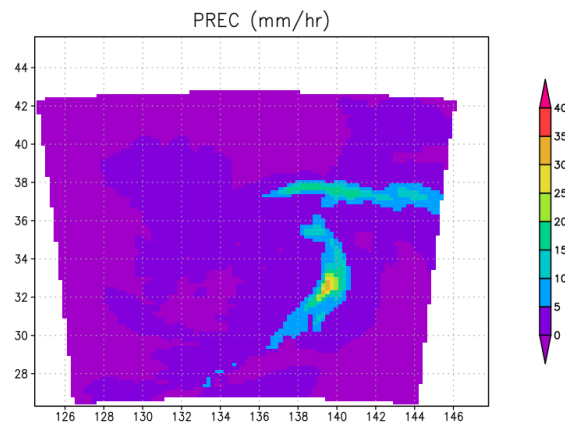


図 3.2.5: 計算開始から 6 時間後の降水フラックス

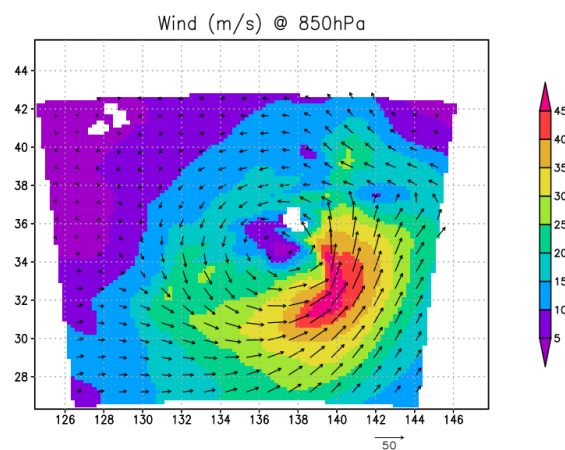


図 3.2.6: 計算開始から 6 時間後の 850hPa の風速 (色は絶対値、ベクトルは向き)

第4部

各種設定

4.1 前処理

4.1.1 地形の設定

SCALE-RM では地形を表現するために、地形に沿った座標系を採用している。この座標系では、最下層の格子の底面が標高に対して沿うように与えられる。いくつかの理想実験を除いて、`scale-rm_init` や `scale-rm` を実行する前に SCALE フォーマットの地形データを準備しておく必要がある。SCALE-RM には外部標高データを当該フォーマットに変換する機能がある。

[PARAM_CONVERT] の (CONVERT_TOPO) を `.true.` とすると、`scale-rm_pp` は外部標高データを変換する。変換されたデータは [PARAM_TOPOGRAPHY] の (TOPOGRAPHY_OUT_BASENAME) で指定したファイルに保存される。作成されたファイルを `scale-rm_init` や `scale-rm` で使用するには、[PARAM_TOPOGRAPHY] の (TOPOGRAPHY_IN_BASENAME) に設定する。

```

&PARAM_CONVERT
  CONVERT_TOPO = .true.,           ; 地形データの変換を実行するかどうか
  .....
/
&PARAM_TOPOGRAPHY
  TOPOGRAPHY_IN_BASENAME = ''      ; (入力時) 入力ファイルのベース名
  TOPOGRAPHY_IN_VARNAME = 'topo'   ; (入力時) 入力ファイルの地形データの変数名
  TOPOGRAPHY_IN_AGGREGATE = .false.; (入力時) PnetCDF を用いて単一ファイルから読むか
  TOPOGRAPHY_IN_CHECK_COORDINATES = .false.; (入力時) データの座標が正しいことを確認するかどうか
  TOPOGRAPHY_OUT_BASENAME = ''     ; (出力時) 出力ファイルのベース名
  TOPOGRAPHY_OUT_AGGREGATE = .false.; (出力時) PnetCDF を用いて単一のファイルにまとめるか
  TOPOGRAPHY_OUT_DTYPE = 'DEFAULT'; (出力時) 出力変数のデータ型
                                     ("DEFAULT", "REAL4", "REAL8")
/

```

外部入力データなど変換に関する設定は、以下のように [PARAM_CNVTPO] で行う。

```

&PARAM_CNVTPO
CNVTPO_name = 'NONE', ; 'NONE','GTOPO30','DEM50M','USERFILE'
CNVTPO_UseGTOPO30 = .false., ; GTOPO30 データセットを用いるか?
CNVTPO_UseDEM50M = .false., ; DEM50M データセットを用いるか?
CNVTPO_UseUSERFILE = .false., ; ユーザ定義のデータセットを用いるか?
CNVTPO_smooth_type = 'LAPLACIAN', ; 平滑化のためのフィルタの種類
; ("OFF", "LAPLACIAN", "GAUSSIAN")
CNVTPO_smooth_maxslope_ratio = 5.D0, ; 許容する傾斜の  $\Delta z/\Delta x$  に対する倍率
CNVTPO_smooth_maxslope = -1.D0, ; 許容する傾斜角の最大値 [deg]
CNVTPO_smooth_local = .true., ; 最大傾斜角度を超えた格子でのみ平滑化を続けるかどうか?
CNVTPO_smooth_trim_ocean = .true. ; 海岸線を固定するか?
CNVTPO_smooth_itelim = 10000, ; 平滑化の繰り返し回数の制限値
CNVTPO_smooth_hypdiff_niter = 20, ; 超粘性による平滑化の繰り返し回数
CNVTPO_smooth_hypdiff_order = 4, ; 超粘性の次数
CNVTPO_copy_parent = .false., ; 子ドメインの緩和領域に親ドメインの地形をコピーするか?
/

```

外部標高データとして、SCALE-RM は U.S. Geological Survey が提供する GTOPO30 および 国土地理院が提供する GEM50M^{*1)} をサポートしている。また、ユーザ定義データもサポートしている (詳細は 4.1.1.1 節参照のこと)。

利用する外部データの種類の (CNVTPO_(UseGTOPO30|UseDEM50M|UseUSERFILE)) もしくは (CNVTPO_name) で設定する。(CNVTPO_(UseGTOPO30|UseDEM50M|UseUSERFILE)) はそれぞれ GTOPO30、DEM50M、ユーザ定義データを利用するかどうかのスイッチであり、これらのデフォルト値は .false. である。それらのスイッチの代わりに (CNVTPO_name) を使って設定することもできる。その際、(CNVTPO_(UseGTOPO30|UseDEM50M|UseUSERFILE)) は (CNVTPO_name) の値にしたがって、表 4.1.1 で示されている値に設定される。表 4.1.1 の * 印は、ネームリストで指定された (CNVTPO_(UseGTOPO30|UseDEM50M|UseUSERFILE)) の設定も有効であることを示している。

また、複数のデータセットを組み合わせることも可能である。その場合、(CNVTPO_UseGTOPO30)、(CNVTPO_UseDEM50M)、(CNVTPO_UseUSERFILE) のうち、利用したいデータすべてに .true. を設定する。

表 4.1.1: (CNVTPO_name) と (CNVTPO_(UseGTOPO30|UseDEM50M|UseUSERFILE)) の設定の関係。

CNVTPO_name	CNVTPO_UseGTOPO30	CNVTPO_UseDEM50M	CNVTPO_UseUSERFILE
NONE	*	*	*
GTOPO30	.true.	.false.	.false.
DEM50M	.false.	.true.	.false.
USERFILE	*	*	.true.

- プログラムは、上記の設定に従って、以下のステップでデータを作成する。
- 1) すべての計算格子点に未定義値を設定する。
 - 2) (CNVTPO_UseGTOPO30)=.true. なら、GTOPO30 のデータセットを計算格子点に内挿する。

^{*1)}DEM50M は日本域のみ利用可能です。DEM50M を利用する場合、データ提供元からデータ (https://net.jmc.or.jp/mapdata/map/jmc_mesh50.html) の購入が必要です。また、SCALE 入力フォーマットに変換するためのプログラムについては、開発者までご連絡ください。

- 3) (CNVTOPO_UseDEM50M) = .true. なら、DEM50M のデータセットを計算格子に内挿し、欠損値でない格子点についてステップ 2 のデータを上書きする。
- 4) (CNVTOPO_UseUSERFILE) = .true. なら、ユーザー定義データを計算格子に内挿し、欠損値でない格子点についてステップ 3 のデータを上書きする。
- 5) 未定義値のままの格子点に 0 を設定する
- 6) 平滑化を適用する。

GTOPO30 および DEM50M データの内挿には 2 次元線形補間が用いられ、ユーザー定義データには指定した補完法が用いられる (4.1.1.1 節参照)。

GTOPO30 データを使うためには、データが配置されているディレクトリおよびカタログファイルのパスを [PARAM_CNVTOPO_GTOPO30] のそれぞれ (GTOPO30_IN_DIR) および (GTOPO30_IN_CATALOGUE) で指定する必要がある。GTOPO30 データが 3.2.2 章で説明されている通りに保存されている場合には、これらの値はそれぞれ \$SCALE_DB/topo/GTOPO30/Products および \$SCALE_DB/topo/GTOPO30/Products/GTOPO30_catalogue.txt となる。ここで、\$SCALE_DB は実際のパスに展開すること。同様に、DEM50M データについては、(DEM50M_IN_DIR) および (DEM50M_IN_CATALOGUE) に設定し、それぞれ \$SCALE_DB/topo/DEM50M/Products および \$SCALE_DB/topo/DEM50M/Products/DEM50M_catalogue.txt となる。ユーザー定義データの設定については 4.1.1.1 節で説明されている。

SCALE グリットに内挿後の地形データに含まれる急な傾斜を平滑化するためのフィルタとして、ラプラシアンフィルタとガウスシアンフィルタの 2 種類が用意されている。これは (CNVTOPO_smooth_type) で選択することができ、デフォルトではラプラシアンフィルタが用いられる。平滑化の操作において、斜面の傾斜角が最大許容角度 θ_{\max} を下回るまで、フィルタが適用される。地形最大許容傾斜角度 [radian] は、次の式で計算される。

$$\theta_{\max} = \arctan(\text{RATIO} \times \Delta z / \Delta x).$$

ここで、 Δz と Δx はそれぞれ、最下層における鉛直方向と水平方向の格子間隔である。上記の計算式から分かるように、許容される最大傾斜角度は空間解像度に応じて変わる。RATIO が大きくなるに従って、地形がより細くなる。一方で、RATIO を大きく設定した場合には、計算が途中で破綻する危険性が高くなることに注意が必要である。RATIO は (CNVTOPO_smooth_maxslope_ratio) によって指定する。デフォルト値は 5.0 である。(CNVTOPO_smooth_maxslope_ratio) の代わりに、(CNVTOPO_smooth_maxslope) で最大傾斜角を度数で直接指定することも可能である。平滑化の繰り返し回数の上限はデフォルトでは 10000 回であるが、(CNVTOPO_smooth_itelim) を設定することで繰り返し回数を増やすことができる。(CNVTOPO_smooth_local) を .true. に設定した場合は、平滑化が完了していない格子点でのみフィルタ操作が繰り返し行われる。

(CNVTOPO_smooth_hypdiff_(niter|order)) は、小さな空間スケールのノイズを取り除くための付加的な超粘性フィルタを適用するための設定である。計算実行時における数値的なノイズを減らすために、このフィルタリングを適用することを推奨する。(CNVTOPO_smooth_hypdiff_order) は超粘性の次数である。超粘性フィルタは、(CNVTOPO_smooth_hypdiff_niter) で設定した回数だけ繰り返し適用される。(CNVTOPO_smooth_hypdiff_niter) に負の値を設定した場合は、超粘性フィルタは適用されない。

平滑化や超粘性フィルターをかけると、海岸線がなまり、海岸線付近の海面高度が 0 より高くなる。(CNVTOPO_smooth_trim_ocean) を .true. に設定すると、フィルター操作のたびに海岸線に

沿って地形が切り取られ、海岸線が固定される。この際には土壤の総量が保存しないことに注意が必要である。

(`CNVTOPO_copy_parent`) は、ネスティング計算のための設定である。一般的に、子ドメインは親ドメインよりも空間解像度が高いため、子ドメインの方が地形がより細かく表現される。このとき、子ドメインの緩和領域における大気データと親ドメインデータから作成した境界値データの間の不整合によって、問題が生じることがある。この問題を回避するために、(`CNVTOPO_copy_parent`) を `.true.` とすることで子ドメインの緩和領域における地形を親ドメインと同一にすることができる。親ドメインが存在しない場合は (`CNVTOPO_copy_parent`) を `.false.` に設定しなければならない。(`CNVTOPO_copy_parent`) を利用する場合の設定は、第 4.2.8.1 節で詳しく説明する。

4.1.1.1 ユーザー定義の地形の準備

(`CNVTOPO_UseUSERFILE`) が `.true.` の場合は、プログラム `scale-rm_pp` は [`PARAM_CNVTOPO_USERFILE`] で指定したユーザー定義ファイルから SCALE の地形データを作成する。入力データは、“GrADS” と “TILE” をサポートしており、(`USERFILE_TYPE`) で指定する。それぞれのファイル形式や設定等に関する詳細は、第 4.1.3 節の記載とも共通するので参照いただきたい。 [`PARAM_CNVTOPO_USERFILE`] で設定可能な変数は次の通りである。

```

&PARAM_CNVTOPO_USERFILE
USERFILE_TYPE = '',           ; "GrADS" or "TILE"
USERFILE_DTYPE = 'REAL4',    ; (for TILE) 入力データの種類タイプ
                               ("INT2", "INT4", "REAL4", "REAL8")
USERFILE_DLAT = -1.0,        ; (for TILE) タイルデータの緯度間隔 (度)
USERFILE_DLON = -1.0,        ; (for TILE) タイルデータの経度間隔 (度)
USERFILE_CATALOGUE = '',     ; (for TILE) カタログファイルの名前
USERFILE_DIR = '.',          ; (for TILE) タイルデータとカタログファイルがあるディレクトリパス
USERFILE_yrevers = .false.,  ; (for TILE) データが北から南に向かって格納されている場合は .true.
USERFILE_MINVAL = 0.0,       ; (for TILE) MINVAL 以下のデータは欠測値として扱う
USERFILE_GrADS_FILENAME = '', ; (for GrADS) GrADS データ用のネームリストファイル名
USERFILE_GrADS_VARNAME = 'topo', ; (for GrADS) ネームリスト中の変数名
USERFILE_GrADS_LATNAME = 'lat', ; (for GrADS) ネームリスト中の緯度の名前
USERFILE_GrADS_LONNAME = 'lon', ; (for GrADS) ネームリスト中の経度の名前
USERFILE_INTERP_TYPE = 'LINEAR', ; (for GrADS) 水平内挿の種類
USERFILE_INTERP_LEVEL = 5,   ; (for GrADS) 内挿のレベル
/

```

読み込まれたデータは計算格子へ補完される。補完法は (`USERFILE_INTERP_TYPE`) で指定する。サポートされているのは LINEAR と DIST-WEIGHT である。詳細については 第 4.1.2 章を参照のこと。DIST-WEIGHT を指定した場合に用いられる隣接点の数は (`USERFILE_INTERP_LEVEL`) で指定する。

“GrADS” タイプを指定した場合、別途入力ファイルのデータ構造を記述するネームリストファイルが必要となる。このネームリストファイルは (`USERFILE_GrADS_FILENAME`) で指定する。ネームリストファイルの詳細については、第 4.1.2 節を参照のこと。デフォルトでは、地形、緯度、経度データの変数名のデフォルト値はそれぞれ “topo”, “lat”, “lon” であるが、異なる場合には、それぞれ (`USERFILE_GrADS_VARNAME`)、(`USERFILE_GrADS_LATNAME`)、(`USERFILE_GrADS_LONNAME`) で指定する。

“TILE” タイプを指定した場合、(`USERFILE_CATALOGUE`) で指定するカタログファイルが必要である。カタログファイルには、それぞれのタイルデータファイルの名前およびそれぞれがカバーする

領域についての情報を記述する。カタログファイルのサンプルとして、

`$SCALE_DB/topo/DEM50M/Products/DEM50M_catalogue.txt` と

`$SCALE_DB/topo/GTOP030/Products/GTOP030_catalogue.txt` が参考になる。

以下は“TILE”データ用の `[PARAM_CNVTPOPO_USERFILE]` の設定例である。この例では、`catalogue.txt` という名前のカタログファイルが、ディレクトリ `./input_topo` に存在し、データは2バイトの整数で格納されている。

```
&PARAM_CNVTPOPO_USERFILE
USERFILE_CATALOGUE = "catalogue.txt", ; カタログファイルの名前
USERFILE_DIR = "./input_topo", ; 入力ファイルがあるディレクトリのパス
USERFILE_DLAT = 0.0083333333333333D0, ; 格子間隔 (緯度, degree)
USERFILE_DLON = 0.0083333333333333D0, ; 格子間隔 (経度, degree)
USERFILE_DTYPE = "INT2", ; データの種類 (INT2, INT4, REAL4, REAL8)
USERFILE_yrevers = .true., ; データは北から南へと格納されているか?
/
```

4.1.2 現実実験のための初期値/境界値データの作成方法

表 4.1.2: SCALE で対応している外部入力データ

データ形式	FILETYPE_ORG	備考
NetCDF データ形式	NetCDF	NetCDF ファイル
バイナリ形式	GrADS	データ読み込み用のネームリストを別途必要とする。

プログラム `scale-rm_init` は、設定ファイル `init.conf` の設定に従って外部データを初期値・境界値データに変換する。`scale-rm_init` は、表 4.1.2 に示される様々な種類の外部データを扱える。入力データの形式は、`[PARAM_MKINIT_REAL_(ATMOS|OCEAN|LAND)]` の `(FILETYPE_ORG)` で指定する。

「NetCDF データ形式」は、主にオフライン・ネスティング実験 (第 4.2.8.2 節) で使用される。WRF データなど、他の NetCDF 形式のファイルにも対応している。

「バイナリ形式」は、Fortran が直接アクセスできる単精度浮動小数点数のバイナリ形式データである。具体的な実行例については、チュートリアル (第 3.2.2 節) に記載がある。

その他の形式のデータ (例えば、GRIB/GRIB2 データなど) は、バイナリ形式に変換することで SCALE-RM で読み込むことができる。SCALE の最新版の出力ファイル形式は、バージョン 5.3 以前の形式とは異なる。そのため、バージョン 5.3 以前で作成された初期値/境界値ファイルは本バージョン (SCALE5.5.4) では使用できない。

NetCDF 形式とバイナリ形式で共通の設定

初期値ファイルに関する設定は、設定ファイル `init.conf` の `[PARAM_RESTART]` で行う。

```
&PARAM_RESTART
RESTART_OUTPUT = .true., ; 初期値 (リスタート) ファイルを出力するかどうか
RESTART_OUT_BASENAME = 'init', ; 初期値 (リスタート) ファイルのベース名
/
```


初期値ファイルを作成する場合には、(RESTART_OUTPUT) に .true. を設定する。初期値ファイルのベース名は (RESTART_OUT_BASENAME) で設定する。例えば 3.2.1 節に記述したチュートリアルでは、(RESTART_OUT_BASENAME) = “init_d01” を使用している。これらの設定は、SCALE-RM の実行時にリスタートファイルを出力する際にも指定する (詳細は第 4.2.7 章を参照)。生成される初期値ファイルやリスタートファイルは、同じ構造を持つ。

入力データと境界値ファイルに関する設定は、設定ファイル `init.conf` の [PARAM_MKINIT_REAL_(ATMOS|OCEAN|LAND)] で行う。

```

&PARAM_MKINIT_REAL_ATMOS
NUMBER_OF_FILES = 1, ; 入力ファイルの数
NUMBER_OF_TSTEPS = 1, ; バイナリ形式における各入力ファイル内のデータの時間ステップ数

FILETYPE_ORG = '', ; 表 4.1.2 から選択
BASENAME_ORG = '', ; 入力ファイルに関する情報
; (指定方法はFILETYPE_ORG に依存)

BASENAME_ADD_NUM = .false., ; NUMBER_OF_FILES=1 の時ファイル名に番号付けするかどうか
; 境界値ファイルのベース名
BASENAME_BOUNDARY = '', ; 入力データの時間間隔 [s]
BOUNDARY_UPDATE_DT = 0.0, ; 入力ファイル中の密度データを使用するかどうか
USE_FILE_DENSITY = .false., ; ファイル中の温位が乾燥空気の定義であるか
PT_dry = .true., ; 境界値に静力学平衡を満たさない密度を使用するかどうか
USE_NONHYDRO_DENS_BOUNDARY = .false., ; 親モデルの地上診断変数を使用するかどうか
USE_SFC_DIAGNOSES = .false., ; 親モデルの地面より下の値を使用するかどうか
USE_DATA_UNDER_SFC = .true., ; (For SCALE 形式) 雲微物理スキームは親モデルと同じかどうか
SAME_MP_TYPE = .false., ; 上層の欠損値の埋め方 ("ZERO", "COPY")
UPPER_QV_TYPE = 'ZERO', ; 水平内挿の種類 ("LINEAR", "DIST-WEIGHT")
INTRP_TYPE = 'LINEAR', ; 入力データへのアクセスをマスタプロセスのみに制限するか
SERIAL_PROC_READ = .true., ; ファイルデータの最上層高度がモデル最上層高度よりも低い場合に .true. とする

SKIP_VERTICAL_RANGE_CHEKC = .false.,

/
&PARAM_MKINIT_REAL_OCEAN
NUMBER_OF_FILES = 1, ; 入力ファイルの数
NUMBER_OF_TSTEPS = 1, ; バイナリ形式における各入力ファイル内のデータの時間ステップ数

FILETYPE_ORG = '', ; 表 4.1.2 から選択
BASENAME_ORG = '', ; 入力ファイルに関する情報
; (指定方法はFILETYPE_ORG に依存)
INTRP_OCEAN_SFC_TEMP = 'off', ; (For GrADS 形式) ("off", "mask", "fill")
INTRP_OCEAN_TEMP = 'off', ; (For GrADS 形式) ("off", "mask", "fill")
SERIAL_PROC_READ = .true., ; 入力データへのアクセスをマスタプロセスのみに制限するか

/
&PARAM_MKINIT_REAL_LAND
NUMBER_OF_FILES = 1, ; 入力ファイルの数
NUMBER_OF_TSTEPS = 1, ; バイナリ形式における各入力ファイル内のデータの時間ステップ数

FILETYPE_ORG = '', ; 表 4.1.2 から選択
BASENAME_ORG = '', ; 入力ファイルに関する情報
; (指定方法はFILETYPE_ORG に依存)
USE_FILE_LANDWATER = .true., ; 入力ファイルの土壌水分を使用するかどうか
INTRP_LAND_TEMP = 'off', ; (For GrADS 形式) ("off", "mask", "fill")
INTRP_LAND_WATER = 'off', ; (For GrADS 形式) ("off", "mask", "fill")
INTRP_LAND_SFC_TEMP = 'off', ; (For GrADS 形式) ("off", "mask", "fill")
ELEVATION_CORRECTION = .true., ; 親モデルの地形との高度差を補正するかどうか
SERIAL_PROC_READ = .true., ; 入力データへのアクセスをマスタプロセスのみに制限するか

/

```

(NUMBER_OF_FILES) は入力ファイルの数である。プログラム scale-rm_init は、00000 から (NUMBER_OF_FILES)-1 までの数字を付けたファイルを順に読み込む。ただし、(NUMBER_OF_FILES)=1 の時は、自動的に番号づけは行われないので、番号のついたファイルを使用する場合には

(**BASENAME_ADD_NUM**)=.true. とする。(NUMBER_OF_TSTEPS) は各ファイル中に保存されているデータの時間ステップ数である。NetCDF 形式の場合はこの値は無視される。

(**BOUNDARY_UPDATE_DT**) は入力データの時間間隔である。出力される境界値データは入力データの時間間隔と同じである。(BASENAME_BOUNDARY) は、出力される境界値ファイルのベース名である。(BASENAME_BOUNDARY) を指定しなければ、境界値ファイルは出力されない。モデル積分を実行するためには、大気変数は少なくとも二時刻分の境界値データが必須である。一方、海洋・陸面変数については、境界値データが必要かどうかは、実行時に使用するスキームに依存する。

空間補間の種類は、(**INTRP_TYPE**) で設定する。“LINEAR” と “DIST-WEIGHT” が選択できる。“LINEAR” の場合は 2 次元線形補間が用いられ、“DIST-WEIGHT” の場合は隣接 N 点の距離重み付け平均が用いられる。“LINEAR” は、2 次元実験データや水平方向に 1 次元配列に格納された非構造格子データなど、水平方向のいずれかの格子点数が 1 (**IMAXG**=1 もしくは (**JMAXG**)=1) の場合には使用できない。距離重み付け平均 (“DIST-WEIGHT”) の場合、隣接点の数は [**PARAM_COMM_CARTESC_NEST**] の (**COMM_CARTES_NEST_INTERP_LEVEL**) で設定する。

上層で QV のデータが欠損である場合に、どのように値を埋めるかの方法を (**upper_qv_type**) で指定される。(upper_qv_type)=ZERO の場合、QV=0 と設定される。(upper_qv_type)=COPY の場合、データがある最も上層のデータをコピーする。デフォルトの設定は 'ZERO' である。

SCALE-RM では、デフォルトでは、初期値・境界値データの読込はマスタープロセスのみが行い、broadcast 通信によって各ノードに情報を伝播する。この時、特に大規模並列計算システムなどでは、読み込んだ入力データが大きいと、メモリ容量が足りなくなることがある。(SERIAL_PROC_READ) に .false. を設定することで、各ノードが自身に必要なデータだけを読み込むようになり、データ読み込み時のメモリ不足を解消することができる。ただしファイル IO が増大するため、システムによってはファイルアクセスをロックされる等、パフォーマンスの低下がありうることに注意が必要である。

以上の設定は、(**BASENAME_BOUNDARY**) を除き、ATMOS と OCEAN もしくは LAND の間で共有できる。つまり、[**PARAM_MKINIT_REAL(OCEAN|LAND)**] でネームリストの項目を指定しなければ、[**PARAM_MKINIT_REAL_ATMOS**] で設定した値を使用する。

PARAM_MKINIT_REAL_ATMOS に関する設定

密度の計算法の設定は、(**USE_FILE_DENSITY**) と (**USE_NONHYDRO_DENS_BOUNDARY**) で行う。デフォルト設定では両方が .false. であり、初期値・境界値の密度は、読み込んだ温度と比湿データから静水圧平衡 ($\frac{dp}{dz} = -\rho g$) を仮定して計算される。(USE_FILE_DENSITY) = .true. の場合、他の変数同様に、入力ファイルから読み込んだ密度の値を初期値・境界値として使用する。(USE_FILE_DENSITY) の設定にかかわらず、(**USE_NONHYDRO_DENS_BOUNDARY**) = .true. とした場合には、気温、気圧、比湿などの入力データと状態方程式 ($\rho = p/RT$) を用いて、境界値データの密度が計算される(初期値データには影響しない)。ここで計算された密度は、一般的には親モデルの値と整合的である。このオプションが用意された理由は次の通りである。多くの場合、計算初期ショックを抑えるため、初期値データは静水圧平衡にある密度を使うことが望ましい。一方、静水圧平衡により作成した密度は親モデルの密度(多くの場合、実際の値に近いと期待される)と一致しない場合があり、これが、SCALE-RM での計算結果に大きな質量バイアスを生じる可能性がある。そのような場合、気圧の再現性などの観点において、(**USE_NONHYDRO_DENS_BOUNDARY**)=.true. として親モデルとの整合的な密度を与える方が良い場合がある。境界値に静水圧平衡からずれた密度を使うことで生じる鉛直加速や波は、境界領域ナudgingにより速やかに減衰されると期待される。

(**USE_SFC_DIAGNOSES**) は親モデルの最下層高度よりも低い層における値の計算のためのスイッチである。(USE_SFC_DIAGNOSES) = .true. の場合、T2, RH2, U10, V10, PSFC といった地表

面変数が使われる。そうでない場合には、等温位および静水圧平衡の仮定のもとで計算される。
(USE_DATA_UNDER_SFC) は、入力データ中の地表よりも低い層のデータを使うか無視するかを決めるのスイッチである。

PARAM_MKINIT_REAL_LAND に関する設定

土壌水分の設定は、**[PARAM_MKINIT_REAL_LAND]** の **(USE_FILE_LANDWATER)** で行う。土壌水分データの与え方は、(1) 親モデルの値など入力データとして与える方法 (**(USE_FILE_LANDWATER) = .true.**) と、(2) 領域全体で一定値を与える方法 (**(USE_FILE_LANDWATER) = .false.**) の2種類ある。(1) の場合には、3次元の土壌水分データとして、体積含水率 (SMOISVC) か飽和度 (SMOISDS) のどちらかを用意する必要がある。ここで、体積含水率は土の体積 V の中に占める水の体積 V_w の割合 (V_w/V)、飽和度は V の中に占める間隙の体積 V_v に対する水の体積 V_w の割合 (V_w/V_v) である。(2) の場合には、以下の例のように、飽和度を **INIT_LANDWATER_RATIO** で指定する。デフォルト値は 0.5 である。土壌の空隙率 (V_v/V) は、土地利用に応じて変わる。

```
&PARAM_MKINIT_REAL_LAND
  USE_FILE_LANDWATER = .true.   ; 土壌水分をファイルから読むかどうか
  INIT_LANDWATER_RATIO = 0.5    ; USE_FILE_LANDWATER=.false. の場合の飽和度
  ..... 略.....
/
```

初期値・境界値データの土壌温度・地表面気温の作成において、親モデルの地形との高度差に応じた補正を行うかは、**[PARAM_MKINIT_REAL_LAND]** の **(ELEVATION_CORRECTION)** で指定する。親モデルの地形と SCALE-RM が作成する地形は一般には異なるため、親モデルの土壌温度・地表面気温をそのまま内挿して初期値・境界値データを作成した場合、高度差の分だけ不整合が生じる。**(ELEVATION_CORRECTION)** を **.true.** にした場合、初期値・境界値データの土壌温度・地表面気温は高度差に応じて補正される。例えば、SCALE-RM が作成した地形が親モデルの地形よりも Δh 高い場合、土壌温度・地表面気温は $\Delta h \Gamma$ (Γ は国際標準大気温度減率: $\Gamma = 6.5 \times 10^{-3}$ [K/m]) の分だけ一様に減じられる。デフォルト設定は **(ELEVATION_CORRECTION) = .true.** である。

NetCDF 形式データの入力

NetCDF 形式データの **[PARAM_MKINIT_REAL_(ATMOS|OCEAN|LAND)]** の設定例は以下の通りである。

```

&PARAM_MKINIT_REAL_ATMOS
  NUMBER_OF_FILES = 2,
  FILETYPE_ORG = "NetCDF",
  BASENAME_ORG = "history_d01",
  BASENAME_ADD_NUM = .true.,
  BASENAME_BOUNDARY = 'boundary_d01',
  SAME_MP_TYPE = .false.,
...
/
&PARAM_MKINIT_REAL_OCEAN
  FILETYPE_ORG = "NetCDF",
  BASENAME_ORG = "history_d01",
...
/
&PARAM_MKINIT_REAL_LAND
  FILETYPE_ORG = "NetCDF",
  BASENAME_ORG = "history_d01",
...
/

```

(FILETYPE_ORG) は、"SCALE-RM"に設定する。入力ファイルのベース名は、(BASENAME_ORG) で指定する。BASENAME_ORG を "history_d01" としたならば、入力ファイル数が 1 の場合、そのファイルは「history_d01.peYYYYYY.nc」もしくは「history_d01.nc」というファイル名で準備する。入力ファイルが複数ある場合や (BASENAME_ADD_NUM) = .true. とした場合には、「history_d01_XXXXX.peYYYYYY.nc」や「history_d01_XXXXX.nc」のように 00000 から番号付けされた入力ファイルを準備する。

使用する雲微物理スキームが親モデルと同じである場合は、(SAME_MP_TYPE) に .true. を指定する。

SCALE-RM や WRF の出力ファイルの場合は、必要な情報はファイルから取得するなどにより、プログラム内部で自動で決定される。その他のファイルの場合は、それらの情報を与えるためのネームリストが必要である。ファイルのタイプは [PARAM_MKINIT_REAL_(ATMOS|LAND|OCEAN)_NetCDF] の (FILE_TYPE) で設定する。選択肢は "SCALE-RM", "WRFARW", "NAMELIST", "AUTO" である。"AUTO" の場合、ファイルタイプは自動的に決定される。ネームリストのファイル名は、[PARAM_MKINIT_REAL_ATMOS_NETCDF] や [PARAM_MKINIT_REAL_LAND_NETCDF]、[PARAM_MKINIT_REAL_OCEAN_NETCDF] の (NM_FILE) で与える。

```

&PARAM_MKINIT_REAL_ATMOS_NetCDF
  FILE_TYPE = "NAMELIST",
  ! "SCALE-RM", "WRFARW", "NAMELIST" or "AUTO"
  NM_FILE = "namelist_netcdf.nml", ! namelist file name
  MIXING_RATIO = .false.,
/
&PARAM_MKINIT_REAL_LAND_NetCDF
  FILE_TYPE = "NAMELIST",
  NM_FILE = "namelist_netcdf.nml",
/
&PARAM_MKINIT_REAL_OCEAN_NetCDF
  FILE_TYPE = "NAMELIST",
  NM_FILE = "namelist_netcdf.nml",
/

```

水物質量の定義を (MIXING_RATIO) で指定する。混合比、つまり乾燥空気に対する質量比の場合

は “.true.” を指定し、例えば比湿のように全質量比の場合は “.false.” とする。
 ネームリストの設定例は以下の通りである。

```

&NetCDF_MAPPROJECTION ; 地図投影法の設定
mapping_name = "lambert_conformal_conic",
longitude_of_central_meridian = 135.0,
longitude_of_projection_origin = 135.0,
latitude_of_projection_origin = 34.5,
standard_parallel = 30.0, 40.0,
rotation = 0.0D0
/
&NetCDF_DIMS
zname = "z", ! z 軸の座標変数名
zhname = "zh", ! スタッガード格子の z 軸の座標変数名
xname = "x", ! x 軸の座標変数名
xhname = "xh", ! スタッガード格子の x 軸の座標変数名
yname = "y", ! y 軸の座標変数名
yhname = "yh", ! スタッガード格子の y 軸の座標変数名
tname = "time", ! 時間軸の座標変数名
/
&NetCDF_ITEM item="Umet", name="u", xstg=.true. /
&NetCDF_ITEM item="Vmet", name="v", ystg=.true. /
&NetCDF_ITEM item="T", name="t", offset=273.0 /
...

```

座標軸の名前の対応関係を [NetCDF_DIMS] で指定する。スタッガード格子の座標変数名は大気のみ必要である。

変数名の対応は [NetCDF_ITEM] で指定する。[NetCDF_ITEM] の説明を表??に示す。また、(item) のリストを表 4.1.5 に示す。ここに示しているもの以外にも、実験設定に依存するトレーサー変数も指定可能である。

表 4.1.3: [NetCDF_ITEM] のパラメタ

パラメタ名	説明	注釈
item	変数名	表 4.1.5 から選択
name	NetCDF ファイル中の変数名	
zstg	z 方向のスタッガード位置に定義されているかどうか	(optional)
xstg	x 方向のスタッガード位置に定義されているかどうか	(optional)
ystg	y 方向のスタッガード位置に定義されているかどうか	(optional)
offset	オフセット値	(optional)
factor	ファクター値	(optional)

バイナリ形式データの入力

バイナリデータを入力ファイルとして用いる場合は、GrADS で使われる形式に従ってデータを用意しておく必要がある。GrADS のデータ形式は、<http://cola.gmu.edu/grads/gadoc/aboutgriddeddata.html#structure> を参照いただきたい。

GrADS 形式データの [PARAM_MKINIT_REAL_(ATMOS|OCEAN|LAND)] の設定例は以下の通りである。

```
&PARAM_MKINIT_REAL_ATMOS
  NUMBER_OF_FILES = 2,
  FILETYPE_ORG = "GrADS",
  BASENAME_ORG = "namelist.grads_boundary.FNL.2005053112-2015011400",
  BASENAME_ADD_NUM = .true.,
  BASENAME_BOUNDARY = 'boundary_d01',
  BOUNDARY_UPDATE_DT = 21600.0,
  ...
/
&PARAM_MKINIT_REAL_OCEAN
  FILETYPE_ORG = "GrADS",
  BASENAME_ORG = "namelist.grads_boundary.FNL.2005053112-2015011400",
  INTRP_OCEAN_SFC_TEMP = "mask",
  INTRP_OCEAN_TEMP = "mask",
  ...
/
&PARAM_MKINIT_REAL_LAND
  FILETYPE_ORG = "GrADS",
  BASENAME_ORG = "namelist.grads_boundary.FNL.2005053112-2015011400",
  INTRP_LAND_TEMP = "fill",
  INTRP_LAND_WATER = "fill",
  INTRP_LAND_SFC_TEMP = "fill",
  ...
/
```

(**FILETYPE_ORG**) は"GrADS"に設定する。SCALE-RM では、バイナリデータ (GrADS 形式) のファイル名やデータ構造について、「ctl」ファイルの代わりに、(**BASENAME_ORG**) で指定するネームリストファイルで指定する。ネームリストファイルは、予め用意しておく必要がある。

バイナリデータのファイル名やデータ構造の情報を与えるネームリストファイル (namelist.grads_boundary*) の一例を下記に示す。


```

#
# Dimension
#
&GrADS_DIMS
  nx = 360,    ; Default value of the number of grids in the x direction
  ny = 181,    ; Default value of the number of grids in the y direction
  nz = 26,     ; Default value of the number of layers in the z direction
/

#
# Variables
#
&GrADS_ITEM name='lon', dtype='linear', swpoint=0.0d0, dd=1.0d0 /
&GrADS_ITEM name='lat', dtype='linear', swpoint=90.0d0, dd=-1.0d0 /
&GrADS_ITEM name='pressure', dtype='levels', lnum=26,
  lvars=100000,97500,.....,2000,1000, /
&GrADS_ITEM name='height', dtype='map', fname='FNLatm', startrec=1, totalrec=125 /
&GrADS_ITEM name='U', dtype='map', fname='FNLatm', startrec=27, totalrec=125 /
&GrADS_ITEM name='V', dtype='map', fname='FNLatm', startrec=53, totalrec=125 /
&GrADS_ITEM name='T', dtype='map', fname='FNLatm', startrec=79, totalrec=125 /
&GrADS_ITEM name='RH', dtype='map', fname='FNLatm', startrec=105, totalrec=125, nz=21 /
&GrADS_ITEM name='MSLP', dtype='map', fname='FNLSfc', startrec=1, totalrec=9 /
&GrADS_ITEM name='SFC_PRES', dtype='map', fname='FNLSfc', startrec=2, totalrec=9 /
&GrADS_ITEM name='SFC_TEMP', dtype='map', fname='FNLSfc', startrec=3, totalrec=9 /
&GrADS_ITEM name='topo', dtype='map', fname='FNLSfc', startrec=4, totalrec=9 /
&GrADS_ITEM name='lsmask', dtype='map', fname='FNLSfc', startrec=5, totalrec=9 /
&GrADS_ITEM name='U10', dtype='map', fname='FNLSfc', startrec=6, totalrec=9 /
&GrADS_ITEM name='V10', dtype='map', fname='FNLSfc', startrec=7, totalrec=9 /
&GrADS_ITEM name='T2', dtype='map', fname='FNLSfc', startrec=8, totalrec=9 /
&GrADS_ITEM name='RH2', dtype='map', fname='FNLSfc', startrec=9, totalrec=9 /
&GrADS_ITEM name='llev', dtype='levels', lnum=4, lvars=0.05,0.25,0.70,1.50, /
  missval=9.999e+20 /
&GrADS_ITEM name='LAND_TEMP', dtype='map', fname='FNLLand', nz=4, startrec=1, totalrec=8,
  missval=9.999e+20 /
&GrADS_ITEM name='LAND_WATERC', dtype='map', fname='FNLLand', nz=4, startrec=5, totalrec=8,
  missval=9.999e+20 /

```

格子数のデフォルト値は `[GrADS_DIMS]` の `nx`, `ny`, `nz` で指定する。また、入力データに関する設定は、各変数ごとに `[GrADS_ITEM]` を用意し指定する。`[GrADS_ITEM]` に関する説明は、表 4.1.6 に示す。

入力ファイルのベース名は、ネームリストファイル内の `fname` で設定する。`fname="filename"` と指定されている場合、入力ファイルが1つのとき (`(NUMBER_OF_FILES)=1`) は、入力ファイルは「`filename.grd`」という名前で準備する。入力ファイルが複数あるとき、もしくは、`(BASENAME_ADD_NUM) = .true.` の場合には、「`filename_XXXXX.grd`」と番号付けされたファイルを準備する。

ある変数の格子数がデフォルト値と異なる場合には、`[GrADS_ITEM]` の `nx`, `ny`, `nz` でその変数の格子数を設定する。例えば、ある層から上では、比湿 (QV) や相対湿度 (RH) のデータが利用できない場合がある。その場合には、データが存在する層数を `nz` で指定する。

SCALE-RM の計算に必要な変数のリストは、表 4.1.7 に示す。

表 4.1.4: [NetCDF_ITEM] の (item) のリスト

アイテム名 (item)	説明	注釈
lon	経度	
lat	緯度	
height	高度	
pressure	気圧	
DENS	大気密度	
W	鉛直風速	
MOMZ	鉛直運動量	
Umet	東西風速	
U	x 軸方向風速	
MOMX	x 軸方向運動量	
Vmet	南北風速	
V	y 軸方向風速	
MOMY	y 軸方向運動量	
PT	温位	[PARAM_MKINIT_REAL_ATMOS] の (PT_dry) を参照
RHOT	密度重みつき温位	[PARAM_MKINIT_REAL_ATMOS] の (PT_dry) を参照
T	気温	
QV	水蒸気量	[PARAM_MKINIT_REAL_ATMOS_NETCDF] の (mixing_ratio) を参照
RH	相対湿度	
QC	雲水量	[PARAM_MKINIT_REAL_ATMOS_NETCDF] の (mixing_ratio) を参照
QR	雨水量	[PARAM_MKINIT_REAL_ATMOS_NETCDF] の (mixing_ratio) を参照
QI	雲水量	[PARAM_MKINIT_REAL_ATMOS_NETCDF] の (mixing_ratio) を参照
QS	雪量	[PARAM_MKINIT_REAL_ATMOS_NETCDF] の (mixing_ratio) を参照
QG	あられ量	[PARAM_MKINIT_REAL_ATMOS_NETCDF] の (mixing_ratio) を参照
MSLP	平均海面更正気圧	
SFC_PRES	地表気圧	
Umet10	10m 東西風速	
U10	10m x 軸方向風速	
Vmet10	10m 南北風速	
V10	10m y 軸方向風速	
T2	2m 気温	
Q2	2m 水蒸気量	
RH2	2m 相対湿度	

表 4.1.5: [NetCDF_ITEM] の (item) のリスト。前頁からの続き。

アイテム名 (item)	説明	注釈
lz	土壌層厚	
topo	地表高度	
lsmask	ランドマスク	
LAND_TEMP	土壌温度	
LANS_WATER	土壌水分量	
LAND_SFC_TEMP	地表面温度	
LAND_SFC_ALB_IR_dir	地表面アルベド 赤外 (直達)	
LAND_SFC_ALB_IR_dif	地表面アルベド 赤外 (散乱)	
LAND_SFC_ALB_NIR_dir	地表面アルベド 近赤外 (直達)	
LAND_SFC_ALB_NIR_dif	地表面アルベド 近赤外 (散乱)	
LAND_SFC_ALB_VIS_dir	地表面アルベド 可視 (直達)	
LAND_SFC_ALB_VIS_dif	地表面アルベド 可視 (散乱)	
LAND_SFC_EMIS_IR_dif	地表面射出率 赤外 (散乱)	
URBAN_SFC_TEMP	都市表面温度	
OCEAN_TEMP	海水温度	
OCEAN_SFC_TEMP	海水面温度	
OCEAN_SFC_ZOM	海水面粗度	
OCEAN_SFC_ALB_IR_dir	海水面アルベド 赤外 (直達)	
OCEAN_SFC_ALB_IR_dif	海水面アルベド 赤外 (散乱)	
OCEAN_SFC_ALB_NIR_dir	海水面アルベド 近赤外 (直達)	
OCEAN_SFC_ALB_NIR_dif	海水面アルベド 近赤外 (散乱)	
OCEAN_SFC_ALB_VIS_dir	海水面アルベド 可視 (直達)	
OCEAN_SFC_ALB_VIS_dif	海水面アルベド 可視 (散乱)	
OCEAN_SFC_EMIS_IR_dif	海水面アルベド射出率 赤外 (散乱)	

表 4.1.6: [GrADS_ITEM] の変数

GrADS_ITEM の項目	説明	備考
name	変数名	表 4.1.7 より選択
dtype	データタイプ	"linear", "levels", "map"から選択
(dtype) が"linear"の場合のネームリスト ("lon", "lat"専用)		
fname	ファイル名の頭	
swpoint	スタートポイントの値	
dd	増分	
(dtype) が"levels"の場合のネームリスト ("plev", "llev"専用)		
lnum	レベルの数 (層数)	
lvars	各層の値	
(dtype) が"map"の場合のネームリスト		
startrec	変数 (<i>item</i>) のレコード番号	t=1 の時刻の値
totalrec	一時刻あたりの全変数のレコード長	
missval	欠陥値の値	(オプション)
nx	x 方向の格子数	(オプション)
ny	y 方向の格子数	(オプション)
nz	z 方向の層数	(オプション)
yrev	データが北から南の順に記録されている場合は.true. とする	(オプション)

表 4.1.7: [GrADS_ITEM] の (name) の変数リスト。アスタリスクは「オプションであるが、可能な限り推奨される」ことを意味する。二重のアスタリスクは、「利用できるが、推奨されない」ことを意味する。

変数名 (name)	説明	単位	データタイプ (dtype)
lon	経度	[deg.]	linear, map
lat	緯度	[deg.]	linear, map
pressure, plev	気圧	[Pa]	levels, map
* height, HGT	高度 (ジオポテンシャル)	[m]	map
* DENS	密度	[kg/m ³]	map
U	東西風速	[m/s]	map
V	南北風速	[m/s]	map
** W	鉛直風速	[m/s]	map
T	気温	[K]	map
RH	相対湿度 (QV がある場合は省略可)	[%]	map
QV	比湿 (RH がある場合は省略可)	[kg/kg]	map
** QC	雲水の質量比	[kg/kg]	map
** QR	雨水の質量比	[kg/kg]	map
** QI	雲氷の質量比	[kg/kg]	map
** QS	雪の質量比	[kg/kg]	map
** QG	霰の質量比	[kg/kg]	map
** MSLP	海面更正気圧	[Pa]	map
** SFC_RRES, PSFC	地上気圧	[Pa]	map
** U10	10m 東西風速	[m/s]	map
** V10	10m 南北風速	[m/s]	map
** T2	2m 気温	[K]	map
** RH2	2m 相対湿度 (Q2 がある場合は省略可)	[%]	map
** Q2	2m 比湿 (RH2 がある場合は省略可)	[kg/kg]	map
* TOPO	GCM の地形	[m]	map
* lsmask	GCM の海陸分布	0:海 1:陸	map
LAND_SFC_TEMP, SFC_TEMP, SKINT	地表面温度	[K]	map
llev	土壌の深さ	[m]	levels
LAND_TEMP, STEMP	土壌温度	[K]	map
LAND_WATER, SMOISVC	土壌水分 (体積含水率)	[-]	map
	(SMOISDS がある場合は省略可)		
SMOISDS	土壌水分 (飽和度)	[-]	map
	(SMOISVC がある場合は省略可)		
OCEAN_SFC_TEMP or SST	海面温度 (SKINT がある場合は省略可)	[K]	map

4.1.3 ユーザ定義データを使った入力データの作成方法

いくつかのスキームでは、初期値/境界値以外の入力データを必要とする。そのようなスキームを使用する場合、そのデータはシミュレーション実行の前に準備する必要がある。入力データはSCALE-netCDFファイルである必要があり、また、実験設定に応じた格子データである必要がある。そのような入力データを用意するために、SCALE-RMにはユーザ定義データを変換する方法が用意されている。データ変換は、[PARAM_CONVERT] の (CNVERT_USER) を .true. と設定することで、scale-rm_init で変換が行われる。サポートされているユーザ定義データの種類が表 4.1.8 に記載されている。一度の実行で一つの変数しか変換されないため、変換が必要なユーザ定義変数の数だけ実行を繰り返す必要がある。現時点では、空間方向には2次元データのみ変換が可能である。

表 4.1.8: SCALE-RM でサポートされているユーザ定義データの種類

データ種類	説明
GrADS	GrADS 形式バイナリデータ
TILE	水平方向に分割されたタイルデータ

ユーザ定義データに関する設定は、以下のように [PARAM_CNUSER] で行う。

```

&PARAM_CNUSER
  CNVUSER_FILE_TYPE = '',           ; ユーザ定義データの種類、表 4.1.8 参照
  CNVUSER_INTERP_TYPE = 'LINEAR',  ; 水平内挿の種類
  CNVUSER_INTERP_LEVEL = 5,        ; 内挿のレベル
  CNVUSER_OUT_TITLE = 'SCALE-RM 2D Boundary', ; 出力ファイル中のタイトル
  CNVUSER_OUT_VARNAME = '',         ; 出力ファイルにおける変数名
  CNVUSER_OUT_VARDESC = '',        ; 出力変数の説明
  CNVUSER_OUT_VARUNIT = '',        ; 出力変数の単位
  CNVUSER_OUT_DTYPE 'DEFAULT',     ; 出力変数のデータタイプ (DEFAULT,INT2,INT4,REAL4,REAL8)

  CNVUSER_NSTEPS = 10,             ; データの時間ステップ数
  CNVUSER_OUT_DT = -1.000,         ; 出力データの時間間隔 [秒]
  CNVUSER_GrADS_FILENAME = '',     ; GrADS データ用のネームリストファイル名
  CNVUSER_GrADS_VARNAME = '',      ; ネームリスト中の変数名
  CNVUSER_GrADS_LATNAME = 'lat',   ; ネームリスト中の緯度の名前
  CNVUSER_GrADS_LONNAME = 'lon',   ; ネームリスト中の経度の名前
  CNVUSER_TILE_DIR = '',           ; タイルデータとカタログファイルがあるディレクトリパス

  CNVUSER_TILE_CATALOGUE = '',     ; カatalogファイルの名前
  CNVUSER_TILE_DLAT = 1.000,       ; タイルデータの緯度間隔
  CNVUSER_TILE_DLON = 1.000,       ; タイルデータの経度間隔
  CNVUSER_TILE_DTYPE = 'REAL4',    ; タイルデータのデータタイプ (INT2,INT4,REAL4,REAL8)

/

```

空間内挿の種類およびそのレベルをそれぞれ (CNVUSER_INTERP_TYPE) および (CNVUSER_INTERP_LEVEL) で指定する。空間内挿についての詳細は 4.1.2 節参照のこと。

出力ファイル中のタイトル、変数名、変数の説明、変数の単位は、(CNVUSER_OUT_TITLE), (CNVUSER_OUT_VARNAME), (CNVUSER_OUT_VARDESC), (CNVUSER_OUT_VARUNIT) でそれぞれ設定する。ユーザ定義データの種類が GrADS の場合は、(CNVUSER_OUT_VARNAME) が設定されていなければ (CNVUSER_GrADS_VARNAME) が出力変数名として用いられる。

(**CNVUSER_OUT_DTYPE**) が DEFAULT の場合、シミュレーションにおけるデータタイプが使われる。シミュレーションのデータタイプのデフォルト値は REAL8 であり、SCALE-RM が環境変数 `SCALE_USE_SINGLEFP = "T"` としてコンパイルされた場合 (2.2.2 章参照) は REAL4 となる。

ユーザ定義データの時間ステップ数は (**CNVUSER_NSTEPS**) で指定する。出力ファイル中の時刻座標の初期値は [`PARAM_TIME`] の (`TIME_STARTDATE`) (4.2.5 章参照) で指定し、時間間隔は (**CNVUSER_OUT_DT**) で秒単位で指定する。

GrADS タイプでは、入力データの構造を記述したネームリストファイルが必要である。ネームリストファイルは (**USERFILE_GrADS_FILENAME**) で指定する。ネームリストの詳細については 4.1.2 章を参照のこと。デフォルトでは、緯度および経度の名前はそれぞれ `lat` および `lon` である。デフォルト値と異なる場合は、それぞれ (**CNVUSER_GrADS_LATNAME**) および (**CNVUSER_GrADS_LONNAME**) で指定する。GrADS タイプのユーザ定義データの変換を行う 2 つのサンプルが `scale/scale-rm/test/framework/cnvuser` に用意されている。以下はネームリストファイルの例である。

```
#
# Dimension
#
&GrADS_DIMS
  nx = 361,
  ny = 181,
  nz = 1,
/
#
# Variables
#
&GrADS_ITEM name='lon', dtype='linear', swpoint=0.0D0, dd=1.0D0 /
&GrADS_ITEM name='lat', dtype='linear', swpoint=-90.0D0, dd=1.0D0 /
&GrADS_ITEM name='var', dtype='map', fname='fname_in', startrec=1, totalrec=1, \
  bintype='int1', yrev=.true. /
```

TILE タイプは、空間方向にタイル状に分割されたユーザ定義データを読み込む。個々のタイルデータは ダイレクトアクセスのバイナリデータでなければならない。バイナリデータの種別は (**CNVUSER_TILE_DTYPE**) で指定する。データは、等間隔の緯度経度格子である必要があるり、それぞれの間隔は、(**CNVUSER_TILE_DLAT**) および (**CNVUSER_TILE_DLON**) で指定する。個々のタイルデータファイルの名前やカバーする領域の情報を記述したカタログファイルが必要となる。カタログファイルの名前は (**CNVUSER_TILE_CATALOGUE**) で指定する。カタログファイルおよびタイルデータファイルは (**CNVUSER_TILE_DIR**) で指定するディレクトリに配置する。カタログファイルの各行には、通し番号、最南端、最北端の緯度、最西端、最東端の経度、タイルデータの名前が記載されている。カタログファイルについては `$SCALE_DB/topo/DEM50M/Products/DEM50M_catalogue.txt` および `$SCALE_DB/topo/GTOPO30/Products/GTOPO30_catalogue.txt` が参考になる。以下は、全球のデータが南北それぞれ 2x2 の 4 つに分割されたユーザ定義データのためのカタログファイルの例である。

```
001 -90.0 0.0 -180.0 0.0 TILE_sw.grd ; latitude: -90-0, longitude: -180-0, name: TILE_sw.grd
002 -90.0 0.0 0.0 180.0 TILE_se.grd ; latitude: -90-0, longitude: 0-180, name: TILE_se.grd
003 0.0 90.0 -180.0 0.0 TILE_nw.grd ; latitude: 0-90, longitude: -180-0, name: TILE_nw.grd
004 0.0 00.0 0.0 180.0 TILE_ne.grd ; latitude: 0-90, longitude: 0-180, name: TILE_ne.grd
```

4.2 SCALE-RMのフレームワーク

4.2.1 設定ファイルを用意するための補助ツール

実験のための設定ファイル***.confは、pp, init, run用にそれぞれ用意する必要がある。ネームリストのいくつかの項目はこれらの設定ファイル間で共通でなければならず、不整合がある場合にはモデルは適切に動かない。そのような失敗を避けるために、設定ファイルの準備を行うための便利な補助ツール(実験用セッケー式作成ツール)を、下記のように用意している。

```
$ cd ${Tutorial_DIR}/real/
$ ls
  Makefile
    : 実験に必要なファイルを生成するための Makefile
  README
    : README ファイル
  USER.sh
    : 設定を指定するためのシェルスクリプト
  config/
    : 各々の設定に対する設定ファイル (ユーザは書き換える必要はない)
  sample
    : USER.sh のサンプルスクリプト
  data
    : 現実大気実験のチュートリアル用のファイル
  tools
    : 現実大気実験のチュートリアル用のファイル。FNL データを grib 形式からバイナリ形式
    に変換するときに使われる。
```

本ツールの初期設定は現実大気実験のチュートリアルに合わせているが、ユーザーはUSER.shで設定を変更できる。

sample/ ディレクトリの下に、いくつかのサンプルスクリプトを典型的な設定例として用意している。必要に応じて、これらの内容をUSER.shにコピーして使用すると良いだろう。

```
$ ls sample/
  USER.default.sh
    : 現実大気実験のチュートリアル用の USER.sh と同じ (シングルドメイン用)。
  USER.offline-nesting-child.sh
    : オフライン・ネスティングによる実験の子領域用。
  USER.offline-nesting-parent.sh
    : オフライン・ネスティングによる実験の親領域用。
  USER.online-nesting.sh
    : オンライン・ネスティング用。
```

ツールの使い方

使い方は README に書かれているように、以下の通りである。

1. ユーザが希望する実験設定に従って、USER.sh を編集する。
2. make コマンドを実行する。

これにより、experiment ディレクトリ以下に実験に必要な設定ファイル一式が作成される。

USER.sh の設定は現実大気のチュートリアルに対する設定になっているので、以下のようにチュートリアル設定を別ファイルとして残しておくことを勧める。

```
$ mv experiment/ tutorial/  
    : (既に experiment ディレクトリがある場合)  
$ cp USER.sh USER_tutorial.sh  
... USER.sh を編集 ...  
$ make  
$ cp -rL experiment 任意の場所/  
    : 「任意の場所」は、任意の場所にあるディレクトリの名前を意味する。
```

USER.sh の編集

スクリプトファイルの最初の方に、ドメインの数を指定する NUM_DOMAIN がある。その下には、スクリプトが生成する設定ファイルに指定される項目が並んでいて、これらの項目を適切に変更すると良いだろう。項目の後に「# required parameters for each domain」というコメントが存在する場合には、項目の値をドメインの数だけスペースで区切って書く。項目の値の数と NUM_DOMAIN で設定したネスティングドメインの数が異なれば、実験用のファイル一式が作成されないことに注意が必要である。USER.sh にない項目については、experiment ディレクトリ以下に作成された設定ファイルを直接編集されたい。

4.2.2 旧バージョンの設定ファイルの変換プログラム

SCALE のバージョンが 5.4 から 5.5 になったときに、ネームリストのパラメータに対していくつかの変更がなされた。そのため、設定ファイルをバージョン 5.4 用から 5.5 用に変換するためのプログラムを用意している。プログラムの実行には、「ruby」(<https://www.ruby-lang.org/en/>)が必要である。

変換プログラムの使用方法は以下である。

```
$ ruby scale-5.5.4/utils/config-converter/config-converter_5.4-5.5.rb \<\  
    old.conf > new.conf
```


4.2.3 対象計算領域の設定

本節では、格子数、計算領域とその MPI プロセスとの関係を説明する。計算領域は、水平格子間隔と格子点数および MPI プロセス数によって決定される。この関係を図 4.2.1 に示す。水平方向に 2 次元の領域分割を行うことで並列化がなされている。

領域全体の総格子点数および MPI プロセス数は、それぞれ [PARAM_ATMOS_GRID_CARTESC_INDEX] 内の (IMAXG, JMAXG)、および [PARAM_PRC_CARTESC] 内の (PRC_NUM_X, PRC_NUM_Y) で設定する。図 4.2.1 に示すように、計算領域全体は、X 方向に (PRC_NUM_X) 個、Y 方向に (PRC_NUM_Y) 個に分割される。プロセス数はゼロから始まり、左下から右上の順で番号付けされる (図 4.2.1 における矢印)。分割された各領域は 1 つの MPI プロセスによって担当され、各 MPI プロセスは (IMAX) × (JMAX) × (KMAX) 個の格子ブロックを受け持つ。ここで、(KMAX) は鉛直方向の格子点数であり [PARAM_ATMOS_GRID_CARTESC_INDEX] 内で指定する。(IMAX) および (JMAX) はすべての MPI プロセスで同一でなければならないことに注意する必要がある。したがって、各方向のプロセス数は、各方向の総格子点数の約数である必要がある。

各方向の格子点と総格子点数をまとめると以下ようになる。

$$\text{IMAXG} = \text{IMAX} \times \text{PRC_NUM_X} \quad (4.2.1)$$

$$\text{JMAXG} = \text{JMAX} \times \text{PRC_NUM_Y} \quad (4.2.2)$$

$$\begin{aligned} \text{領域内の総格子数} &= \text{IMAXG} \times \text{JMAXG} \times \text{KMAX} \\ &= (\text{IMAX} \times \text{PRC_NUM_X}) \times (\text{JMAX} \times \text{PRC_NUM_Y}) \times (\text{KMAX}) \end{aligned}$$

(IMAXG) および (JMAXG) を設定した場合、(IMAX) および (JMAX) は内部で計算される。(IMAXG) および (JMAXG) の代わりに (IMAX) および (JMAX) を指定した場合、式 (4.2.1) および (4.2.2) を使って、(IMAXG) および (JMAXG) が内部で計算される。conf ファイルには、どちらか一方を設定する。

領域全体の大きさは、

$$\text{X 方向の領域の長さ} = \text{IMAXG} \times \text{DX}$$

$$\text{Y 方向の領域の長さ} = \text{JMAXG} \times \text{DY}$$

である。ここで、第 4.2.3.2 節で記述したように、(DX, DY) は [PARAM_ATMOS_GRID_CARTESC] 内で指定する。

水平-鉛直の 2 次元実験を行うためには、(IMAXG) および (PRC_NUM_X) を 1 に設定する。この場合、Y-Z 平面での運動が計算される。(DX) の値はシミュレーション結果には影響しない。

次の小節では、格子数、格子間隔、MPI プロセス数の設定をより詳しく説明する。上記の設定は pp.conf、init.conf、run.conf の設定ファイル間で一致させなければならないことに注意が必要である。

4.2.3.1 水平・鉛直格子数

格子数は、設定ファイル (***.conf) の [PARAM_ATMOS_GRID_CARTESC_INDEX] で指定する。

```
&PARAM_ATMOS_GRID_CARTESC_INDEX
KMAX = 97,                ; 鉛直層数
IMAXG = 40,              ; X 方向の格子点数
JMAXG = 25,              ; Y 方向の格子点数
/
```

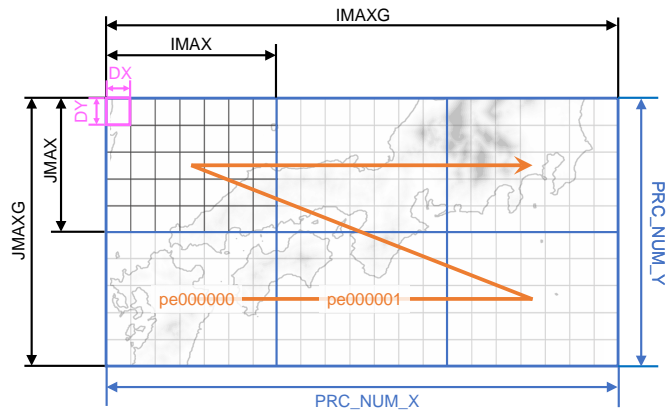


図 4.2.1: 計算領域全体に対する、水平格子間隔 (DX , DY)、MPI プロセスあたりの格子数 ($IMAX$, $JMAX$)、総格子数 ($IMAXG$, $JMAXG$)、MPI プロセス数 (PRC_NUM_X , PRC_NUM_Y) の関係。青色の領域は、1 つの MPI プロセスが担当する領域に対応する。

4.2.3.2 水平・鉛直格子間隔

第 4.2.3.5 節で述べる緩和領域を除いて水平格子間隔は等間隔でのみ設定できるが、鉛直格子間隔は任意に設定できる。全方向について格子間隔を等間隔で設定する場合には、`[PARAM_ATMOS_GRID_CARTESC]` 内の DX , DY , DZ にそれぞれ、東西、南北、鉛直方向の格子間隔を指定する (単位は [m])。

```
&PARAM_ATMOS_GRID_CARTESC
DX = 500.D0,           ; X 方向 の格子間隔
DY = 500.D0,           ; Y 方向 の格子間隔
DZ = 500.D0,           ; Z 方向 (鉛直方向) の格子間隔
/
```

鉛直方向に対しては、任意の等間隔でない格子を指定することができる。モデルは σ 格子系を採用しており、速度ベクトルと他のスカラー量に対する定義点は半格子分ズれている。ここでは、スカラー量の位置をセンターポイントと呼び、それから半格子ズれた位置をフェイスポイントと呼ぶ。鉛直格子点のフェイスポイントを `[PARAM_ATMOS_GRID_CARTESC]` 内の $FZ(:)$ に配列として与えることができる^{*1)}。詳細は図 4.2.2 を参照されたい。また、 $FZ(:)$ で指定する要素の数は、鉛直層数 (`[PARAM_ATMOS_GRID_CARTESC_INDEX]` 内の $KMAX$) と一致している必要があることに注意が必要である。例として、理想実験の設定ファイルを下記に示す。

*1) この場合には、シミュレーションで用いられたものと同じ浮動小数点の精度を用いることが望ましい。デフォルトでは、モデルは倍精度の浮動小数点を使用するとしてコンパイルされる。

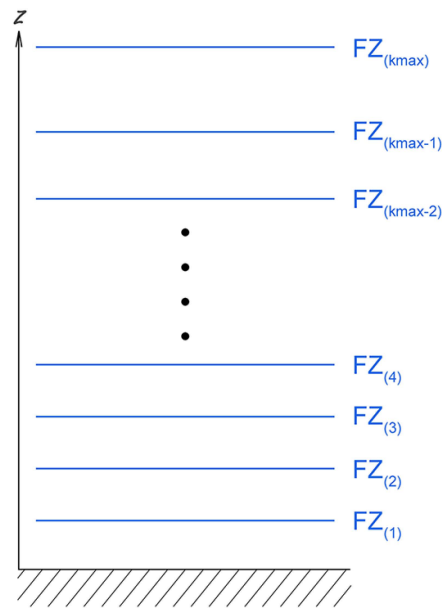


図 4.2.2: SCALE-RM におけるフェイスポイントの定義点。[PARAM_ATMOS_GRID_CARTESC] で (FZ) を指定する時は、 $k = 1$ での値として第 1 層目上端の高さを与える。 $k = 1$ での値は地表面の高さでないことに注意が必要である。

```

&PARAM_ATMOS_GRID_CARTESC
DX = 500.D0,           X 方向の格子間隔 (等間隔) [m]
DY = 500.D0,           Y 方向の格子間隔 (等間隔) [m]
FZ(:) =                Z 方向のフェイスポイントの位置 [m]
  80.00000000000000D0 ,
  168.00000190734863D0 ,
  264.80000610351567D0 ,
  ~ 中略 ~
  14910.428862936289D0 ,
  15517.262523292475D0 ,
  16215.121232702089D0 ,
  17017.658748523147D0 ,
  17940.576891717363D0 ,
  19001.932756390710D0 ,
  20222.492000765058D0 ,
BUFFER_DZ = 5000.D0,   第 4.2.3.5 節参照
BUFFFACT = 1.0D0,     第 4.2.3.5 節参照
/

```

上記の設定は、標高 0 m の場所での値として扱われる。地形が存在する場所での鉛直格子点の位置は、地形に沿った座標系によって適切に取り扱われる。

鉛直格子点の位置は任意に設定できるが、変わった設定をすると計算不安定がしばしば生じる。これを避けるために、ディレクトリ `scale-5.5.4/scale-rm/util/makevgrid/` の中に `make_vgrid.f90` という Fortran プログラムと幾つかのネームリストの例を用意している。必要があれば参考として用いることができる。このツールは (FZ(:)) の値を直接出力するので、コピーして設定ファイルに貼り付けるなどして利用可能である。

4.2.3.3 MPI プロセス数

MPI プロセス数は設定ファイルの `[PARAM_PRC_CARTESC]` 内で指定する。

```
&PARAM_PRC
  PRC_NUM_X = 2, ; X 方向（東西方向）の MPI 並列分割数
  PRC_NUM_Y = 1, ; Y 方向（南北方向）の MPI 並列分割数
/
```

MPI プロセス数は、X 方向および Y 方向それぞれについて総格子点数 (`IMAXG`), (`JMAXG`) の約数でなければならない。そうでなければ、プログラムは以下のメッセージを出力して直ちに終了する。

```
number of IMAXG should be divisible by PRC_NUM_X
```

or

```
number of JMAXG should be divisible by PRC_NUM_Y
```

MPI プロセスの総数は、`PRC_NUM_X × PRC_NUM_Y` によって与えられる。上記の例では、X 方向に領域を 2 分割し、Y 方向には領域を分割しないので、2-MPI 並列ということになる。ジョブを投げる際の MPI コマンドに指定する MPI プロセス数として、この総プロセス数を与える必要がある。この条件を満たさない場合には、プログラムは計算を行わずに直ちに終了し、下記のメッセージが標準出力に出力される。

```
xxx total number of node does not match that requested. Check!
```

SCALE-RM の入出力ファイルは MPI プロセス毎に分割されているため、分割ファイルの総数は MPI プロセス数によって変化する。例えば、2-MPI 並列用に作成した初期値ファイルは、4-MPI 並列のモデル実行には使用できない。MPI プロセス数を変更する場合は、`pp.conf`、`init.conf`、`run.conf` 内の `[PARAM_PRC_CARTESC]` を編集し、`pp`、`init` の過程を再度行う必要がある。もしくは、後処理ツール `SNO` を利用して、ファイルの再分割を行うことも可能である (第 4.6.1 節参照)。

4.2.3.4 スポンジ層

SCALE-RM は高度座標を採用している。最上層の境界条件は剛体壁であり、モデル上端において音波や重力波がしばしば反射する。反射波の悪影響を軽減するために、モデル領域の上部に「スポンジ層」と呼ばれる減衰層を設ける。スポンジ層内では、レイリー摩擦によって鉛直速度を減衰させる。緩和の時定数 (e-folding time) はモデル上端で最も短く、高度が下がるにつれて長くする。スポンジ層の下端より下では、緩和の時定数は無限大に設定する。スポンジ層の厚さの指定方法は 2 種類あり、`[PARAM_ATMOS_DYN]` で設定する。

1. スポンジ層の層数を指定

(`ATMOS_DYN_wdamp_layer`) でスポンジ層の層数を指定する。この層数はモデル上端から数える。

2. スポンジ層の下端高度 [m] の指定

(`ATMOS_DYN_wdamp_height`) で指定した高度よりも上部にある層を、スポンジ層として設定する。

デフォルトでは上記のパラメータは両方とも設定されず、スポンジ層は適用されない、両方が指定された場合は、(`ATMOS_DYN_wdamp_layer`) が優先される。

スポンジ層上端での緩和の時定数は、(`ATMOS_DYN_wdamp_tau`) で設定する (単位は秒)。これには (`TIME_DT_ATMOS_DYN`) よりも小さな値は設定できない。時定数を陽に指定しない場合は、(`TIME_DT_ATMOS_DYN`) の 10 倍の値が自動で設定される。(`TIME_DT_ATMOS_DYN`) については、第 4.2.5 節を参照されたい。また、具体的な設定例は、第 4.3.1.2 節を参照されたい。

4.2.3.5 緩和領域と境界ナッジング

一般に水平境界では、境界条件として与えられる入力データと実際の計算で得られる出力データの間値の不一致が起こる。計算において、この不一致は非物理的なモード等の幾つかの問題を生じさせる。この問題を回避するために、領域内に「緩和領域」を設ける。

図 4.2.3 に示すように、SCALE-RM では計算領域のすぐ内側に緩和領域を設置する。緩和領域では、境界値データや親モデルのデータによって指定した値にある時定数で近づけるように、予報変数を更新する。この緩和を以下ではナッジングと呼ぶ。

緩和領域

緩和領域の幅は、設定ファイルの [`PARAM_ATMOS_GRID_CARTSC`] の中で設定する。この設定は全ての手順で共通していなければならないことを再度注意する。緩和領域の幅を設定する方法は、以下の 2 種類がある。

1. (`BUFFER_NX`, `BUFFER_NY`, `BUFFER_NZ`) によって緩和領域とする格子数を指定
2. (`BUFFER_DX`, `BUFFER_DY`, `BUFFER_DZ`) によって緩和領域の幅 (参考値)[m] を指定

デフォルトでは上記のパラメータは両方とも指定されず、緩和領域は設定されない。また、両方が指定された場合は、格子数による指定が優先される。水平方向には東西南北の四方境界に緩和領域が設定されるが、鉛直方向には領域上端にのみ緩和領域が設定され、下端には設定されない。緩和領域は計算領域の内側に設定されるため、ナッジングの影響を受けない実際の対象領域 (緩和領域を除いた範囲) は計算領域よりも狭くなることに注意が必要である。

以下に 2 種類の設定例を示す。

```
&PARAM_ATMOS_GRID_CARTESC
BUFFER_NX = 30,           ; X 方向 (東西方向) の緩和領域の格子数
BUFFER_NY = 30,           ; Y 方向 (南北方向) の緩和領域の格子数
BUFFACT = 1.00,          ; 全方向の緩和領域内の格子間隔に対するストレッチ係数 (デフォルトは
/                          1.0)
```

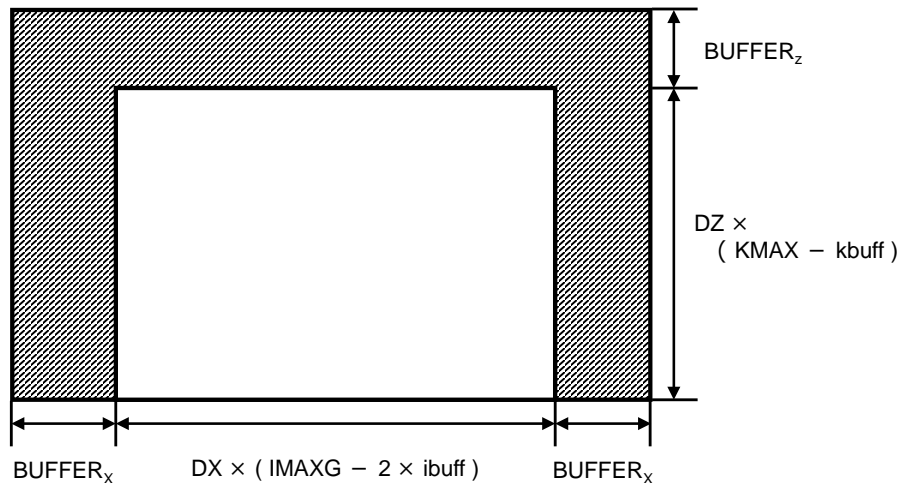


図 4.2.3: 全計算領域内での緩和領域の配置：斜線部分が緩和領域を意味する。図は XZ 断面を示しているが、YZ 断面についても同様である。

```

&PARAM_ATMOS_GRID_CARTESC
BUFFER_DZ = 5000.D0,           ; Z 方向（モデル上端から下向き方向）の緩和領域の幅（参考値）[m]
BUFFER_DX = 300000.D0,        ; X 方向（東西方向）の緩和領域の幅（参考値）[m]
BUFFER_DY = 300000.D0,        ; Y 方向（南北方向）の緩和領域の幅（参考値）[m]
BUFFFACT_Z = 1.20D0,          ; Z 方向の緩和領域内の格子間隔に対するストレッチ係数
BUFFFACT_X = 1.05D0,          ; X 方向の緩和領域内の格子間隔に対するストレッチ係数
BUFFFACT_Y = 1.05D0,          ; Y 方向の緩和領域内の格子間隔に対するストレッチ係数
/

```

X 方向の緩和領域の設定方法を以下で説明する。緩和領域の格子数 $ibuff$ は、 $(BUFFER_NX)$ に等しい。 $(BUFFER_NX)$ を用いずに $(BUFFER_DX)$ で指定した場合は、 $ibuff$ は

$$\sum_{n=1}^{ibuff} BDx(n) \geq BUFFER_DX$$

の関係を満たす最小の整数であるように自動的に計算される。したがって、緩和領域の幅 $BUFFER_X$ ($= \sum_{n=1}^{ibuff} BDx(n)$) は $(BUFFER_DX)$ と一致するとは限らないことに注意が必要である。最後に、緩和領域を除いた計算領域の大きさは、

$$DX \times (IMAXG - 2 \times ibuff)$$

と表現される。Y 方向、Z 方向についても同様に設定されるが、Z 方向 の実際の対象領域は、

$$DZ \times (KMAX - kbuff)$$

と表現される。ここで、 $kbuff$ はモデル上端の緩和領域の格子数である。

一般に、緩和領域の幅の設定や格子の置き方には明確な指標はない。これらの設定は解く問題に依存する。SCALE-RM では、モデル上部における鉛直方向の緩和領域の格子点数は 5 点以上、側面境界の緩和領域の格子点は 20~40 点程度を推奨している。実験によっては、さらに緩和領域の格子点を増やしたり、適切なストレッチ係数を用いて緩和領域自体を広げたり、緩和の時定数を調整したりする必要があるだろう。緩和の時定数については、以下で説明する。

緩和領域の格子間隔は、デフォルトでは [PARAM_ATMOS_GRID_CARTESC] 中の (DX, DY, DZ) で指定した通りである。ただし、(BUFFFACT) に 1 以上に設定することによって、ストレッチさせることもできる。格子間隔を等間隔で指定した場合は、この (BUFFFACT) の設定は全方向に対して適用される。各方向で別々に設定したい場合は、(BUFFFACT_X, BUFFFACT_Y, BUFFFACT_Z) を指定する。(FZ(:)) を与えることで鉛直レベルを指定した場合 (第 4.2.3.2 節参照) は、上記のストレッチの設定は Z 方向には適用されない。

緩和領域内の格子間隔 (BDX) は次の通り決定される。

$$BDX(n) = DX \times BUFFFACT^n$$

ここで、 n は緩和領域内の格子点番号を表し、計算領域の内側から外側へ向う番号である。緩和領域の格子間隔は、(BUFFFACT=1.0) とした場合は内部領域と同じであり、(BUFFFACT=1.2) とした場合は内部から外側の領域に向かって 1.2 倍の割合で広がっていく。(BUFFFACT) の値は任意に設定できるが、計算不安定を避けるために 1.0 から 1.2 までの値が推奨される。

最後に、緩和領域の大きさ $BUFFER_X$ は、

$$BUFFER_X = DX \times \frac{BUFFFACT (BUFFFACT^{i_{buff}} - 1)}{BUFFFACT - 1}$$

となる。緩和領域の幅 (BUFFER_DX) を同じに設定した場合でも、(BUFFFACT) を大きくすると緩和領域の格子数は少なくなる。(BUFFER_NX) を与えた場合は、緩和領域の幅のみが変わる。

緩和領域におけるナッジングの方法

緩和領域におけるナッジングの設定は、[PARAM_ATMOS_BOUNDARY] 内のパラメータで行う。境界データの種類の種類は、[PARAM_ATMOS_BOUNDARY] 内の (ATMOS_BOUNDARY_TYPE) によって設定する (表 4.2.1)。

表 4.2.1: 境界値データの種類の選択

値	種類の説明
NONE	ナッジングしない
CONST	指定された定数値にナッジングする
INIT	初期値にナッジングする
OFFLINE	ファイルから読み込んだ値にナッジングする (時間変化なし)
REAL	親モデルまたは親領域の値にナッジングする (時間変化あり)

以下は、[PARAM_ATMOS_BOUNDARY] 内のパラメータである。


```

&PARAM_ATMOS_BOUNDARY
ATMOS_BOUNDARY_TYPE = 'NONE',           ; 境界値データの種類。表 4.2.1 を参照。
ATMOS_BOUNDARY_IN_BASENAME = '',        ; 境界値データのファイル名 (OFFLINE または REAL type
                                         ; の場合)

ATMOS_BOUNDARY_IN_CHECK_COORDINATES \
  = .true.,                               ; 境界データファイル内の座標変数を確認するかのフラ
                                         ; グ

ATMOS_BOUNDARY_OUT_BASENAME = '',        ; 初期の境界値データを出力するファイル名
ATMOS_BOUNDARY_OUT_TITLE \
  = 'SCALE-RM BOUNDARY CONDITION',       ; 出力ファイルに対するタイトル
ATMOS_BOUNDARY_OUT_DTYPE = 'DEFAULT',    ; 出力のデータ型 (REAL4 or REAL8)
ATMOS_BOUNDARY_USE_DENS = .false.,       ; 密度に対するナッジングのスイッチ
ATMOS_BOUNDARY_USE_VELZ = .false.,       ; w に対するナッジングのスイッチ。
ATMOS_BOUNDARY_USE_VELX = .false.,       ; u に対するナッジングのスイッチ。
ATMOS_BOUNDARY_USE_VELY = .false.,       ; v に対するナッジングのスイッチ。
ATMOS_BOUNDARY_USE_PT = .false.,         ; θ に対するナッジングのスイッチ。
ATMOS_BOUNDARY_USE_QV = .false.,         ; 水蒸気に対するナッジングのスイッチ。
ATMOS_BOUNDARY_USE_QHYD = .false.,       ; 水物質に対するナッジングのスイッチ。
ATMOS_BOUNDARY_VALUE_VELZ = 0.0D0,       ; w の値 (CONST type の場合のみ)
ATMOS_BOUNDARY_VALUE_VELX = 0.0D0,       ; u の値 (CONST type の場合のみ)
ATMOS_BOUNDARY_VALUE_VELY = 0.0D0,       ; v の値 (CONST type の場合のみ)
ATMOS_BOUNDARY_VALUE_PT = 300.0D0,       ; θ の値 (CONST type の場合のみ)
ATMOS_BOUNDARY_VALUE_QTRC = 0.0D0,       ; 水蒸気の数値 (CONST type の場合のみ)
ATMOS_BOUNDARY_ALPHAFACDENS = 1.0D0,     ; 密度に対する 1/τ の係数。
ATMOS_BOUNDARY_ALPHAFACVELZ = 1.0D0,     ; w に対する係数。
ATMOS_BOUNDARY_ALPHAFACVELX = 1.0D0,     ; u に対する係数。
ATMOS_BOUNDARY_ALPHAFACVELY = 1.0D0,     ; v に対する係数。
ATMOS_BOUNDARY_ALPHAFACPT = 1.0D0,       ; θ に対する係数。
ATMOS_BOUNDARY_ALPHAFACQTRC = 1.0D0,     ; 水蒸気に対する係数。
ATMOS_BOUNDARY_SMOOTHER_FACT = 0.2D0,    ; 点ごとの差に対する水平方向の平滑化の係数。
ATMOS_BOUNDARY_FRACZ = 1.0D0,            ; z 方向の緩和領域に対するナッジング領域の割合。
ATMOS_BOUNDARY_FRACX = 1.0D0,            ; x 方向の割合。
ATMOS_BOUNDARY_FRACY = 1.0D0,            ; y 方向の割合。
ATMOS_BOUNDARY_TAUZ = DT * 10.0D0,       ; 上端境界でのナッジングの時定数 (秒)。
ATMOS_BOUNDARY_TAUX = DT * 10.0D0,       ; 東西境界でのナッジングの時定数 (秒)。
ATMOS_BOUNDARY_TAUY = DT * 10.0D0,       ; 南北境界でのナッジングの時定数 (秒)。
ATMOS_BOUNDARY_LINEAR_V = .false.,       ; z 方向に関するナッジングの時定数分布の種類。 .true.
                                         ; であれば線形分布、そうでなければサイン型の分布。
ATMOS_BOUNDARY_LINEAR_H = .false.,       ; x, y 方向に関するナッジングの時定数分布の種類。
                                         ; .true. であれば線形分布、そうでなければ指数関数分
                                         ; 布。
ATMOS_BOUNDARY_EXP_H = 2.0D0,             ; 指数関数分布の場合における指数の係数。
ATMOS_BOUNDARY_DENS_ADJUST = .true.,      ; 質量フラックス調整に対するスイッチ。
ATMOS_BOUNDARY_DENS_ADJUST_TAU \
  = -1.0D0,                               ; 質量フラックス調整が有効な場合の密度ナッジングの
                                         ; 時定数 (秒)。

```

ナッジングによる時間変化率は、

$$\begin{aligned}
 \left. \frac{\partial \phi_{k,i,j}}{\partial t} \right|_{\text{nudging}} &= -\alpha \Delta \phi_{k,i,j} \\
 &+ \alpha_s \left(\frac{\Delta \phi_{k,i-1,j} + \Delta \phi_{k,i+1,j} + \Delta \phi_{k,i,j-1} + \Delta \phi_{k,i,j+1}}{8} - \frac{\Delta \phi_{k,i,j}}{2} \right),
 \end{aligned}
 \tag{4.2.3}$$

と書かれる。ここで、 $\Delta \phi$ は境界値データとの差であり、 $\alpha_s = \alpha \times \text{ATMOS_BOUNDARY_SMOOTHER_FACT}$ である。 α は 3 方向に対する係数 $\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z$ の最大値である。これらの係数は、以下のような長さ

ケール e に依存する。

$$e = \max \left(1 - \frac{d}{\text{BUFFER} \times \text{ATMOS_BOUNDARY_FRAC}}, 0 \right), \quad (4.2.4)$$

ここで、 d は境界からの距離である。もし `(ATMOS_BOUNDARY_LINEAR_V)` が `.true.` であれば、

$$\alpha_z = e_z / \tau_z, \quad (4.2.5)$$

`.false.` であれば、

$$\alpha_z = \sin^2(\pi e_z / 2) / \tau_z, \quad (4.2.6)$$

である。ここで、 τ_z は `(ATMOS_BOUNDARY_TAUZ)` である。水平方向については、`(ATMOS_BOUNDARY_LINEAR_H)` が `.true.` であれば、

$$\alpha_x = e_x / \tau_x, \quad (4.2.7)$$

`.false.` であれば、

$$\alpha_x = e_x \exp\{-(1 - e_x) \times \text{ATMOS_BOUNDARY_EXP_H}\} / \tau_x. \quad (4.2.8)$$

である。 α_y は α_x と同様の方法によって導かれる。

τ は境界 ($d = 0$) での緩和時間であり、計算された値と境界値の差はこの時間スケールで $1/e$ 倍となる。他方、式 4.2.4 の右辺 2 項目によって、 $\Delta\phi$ の two-grid スケールの成分は $\tau / \text{ATMOS_BOUNDARY_SMOOTHER_FACT}$ の時間で $1/e$ 倍となる。 τ のデフォルトの値は、`(TIME_DT)` の 10 倍である。`(TIME_DT)` については第 4.2.5 節を参照されたい。

`[PARAM_ATMOS_BOUNDARY]` の `(ATMOS_BOUNDARY_TYPE)` が “REAL” の時、`(ATMOS_BOUNDARY_USE_{VELX,VELY,PT,QV,DENS})` の設定に関わらず、水平速度・温位・水蒸気・密度に対する上部および側面境界でのナッジングが適用される。加えて `(ATMOS_BOUNDARY_USE_VELZ)` と `(ATMOS_BOUNDARY_USE_QHYD)` が `.true.` の場合、それぞれ鉛直速度および水凝結物に対するナッジングが適用される。オンライン・ネスティング (第 4.2.8.3 節を参照) の子領域として計算が行われる場合、境界での親データの扱いは、上記の “REAL” と同様の設定が適用される。ただし、`(ATMOS_BOUNDARY_USE_VELZ)` と `(ATMOS_BOUNDARY_USE_QHYD)` の代わりに、`[PARAM_COMM_CARTESC_NEST]` の `(ONLINE_USE_VELZ)` および `(ONLINE_BOUNDARYR_USE_QHYD)` で指定する。

密度のナッジングは、側面境界値に対する計算領域での質量バイアスを軽減するために有用である。一方で、密度ナッジングの適用は、緩和領域での気圧傾度力を減少させる。この結果、特に流出域において、気圧傾度力によって境界値情報をドメイン内部に伝える効果も弱まる。この効果 (気圧傾度) を維持したまま、質量バイアスを軽減させる方法として、側面境界における質量フラックスの調整が可能である。これを適用することで、密度ナッジングを弱くすることができる。`(ATMOS_BOUNDARY_DENS_ADJUST)` を `.true.` とすると、親モデルと SCALE の計算領域の間の全領域総質量の差が小さくなるように、側面境界質量フラックスが調整される。例えば、シミュレーションにおける全質量が親モデルの質量に比べて小さい場合は、西境界における ρ_u および南境界における ρ_v を増加、東境界における ρ_u および北境界における ρ_v を減少させることで、全質量収束を増加させる。側面質量フラックス調整は、境界の種類として REAL を用いた場合およびオンライン・ネスティングの子領域においてのみ利用可能である。質量フラックス調整が有効な場合の密度ナッジングの定数は `(ATMOS_BOUNDARY_DEN_ADJUST_TAU)` で設定する。負の値が設定された場合は、内部で境界値データの $1/6$ と設定される。密度ナッジングを弱めるためには、この定数を `(ATMOS_BOUNDARY_TAU_X)` や `(ATMOS_BOUNDARY_TAU_Y)` よりも大きな値に設定する。SCALE-RM における質量フラックス調整方法は、側面境界における質量フラックスによる全質量変化が、降水や地

表面潜熱フラックス等の物理過程による質量変化に比べて十分大きいという仮定のもとで作られている。この仮定が妥当であるかどうかは、対象とするドメインや状況による。

上端境界の周辺における同様な減衰のさせ方として、レイリー摩擦が存在する (第 4.2.3.4 節を参照)。

4.2.3.6 海洋/陸/都市モデルの鉛直格子

海洋/陸/都市モデルの水平格子は、大気モデルの設定と共通である。すなわち、水平格子数は [PARAM_ATMOS_GRID_CARTESC_INDEX] の (IMAXG, JMAXG) で指定され、水平格子間隔は [PARAM_ATMOS_GRID_CARTESC] の (DX, DY) で指定される。一方、鉛直格子についてはそれぞれ個別の設定が必要である。

海洋モデルの鉛直格子設定については、第 4.4.7 節、陸モデルの鉛直格子設定については、第 4.4.8 節、都市モデルの鉛直格子設定については、第 4.4.9 節を参照のこと。

4.2.4 地図投影法と計算領域の位置の設定

SCALE-RM では、格子点は実距離に基づいて配置される。各格子点での緯度・経度の値は、基準位置の緯度経度を与えることによって、ある地図投影法から計算される。格子の緯度・経度に関する情報は、SCALE が生成する NetCDF 形式の全出力ファイルに含まれる。計算領域の位置と地図投影法は、(PARAM_MAPPROJECTION) で設定できる。この設定は、pp.conf、init.conf、run.conf の設定ファイル間で一致させなければならない。上記の設定例を以下に示す。

```
&PARAM_MAPPROJECTION
MAPPROJECTION_basepoint_lon = 138.727778D0,
MAPPROJECTION_basepoint_lat = 35.360556D0,
MAPPROJECTION_type = 'MER', ; 表 4.2.2 から選択.
/
```

表 4.2.2: SCALE-RM で選択可能な地図投影法

MPRJ_type	地図投影法
NONE	地図投影なし (理想実験用)、デフォルト
LC	ランベルト正角円錐図法
PS	ポーラステレオ図法
MER	メルカトル図法
EC	正距円筒図法

(MPRJ_basepoint_lat, MPRJ_basepoint_lon) は、それぞれ基準点の緯度・経度である。デフォルトの設定では、基準点は計算領域の中心である。SCALE-RM では、北緯を正、南緯を負の値として表現し、東経を正、西経を負の値として表現する。経度は 180 度以上の値を用いて表現することができる。上記の設定では、計算領域の中心が北緯 35.360556 度、東経 138.727778 度に設定されている。計算領域の全体は、指定された大きさでこの場所を中心にして配置される。

(MAPPROJECTION_type) は地図投影法の種類を表しており、MER はメルカトル図法を意味する。表 4.2.2 は、SCALE-RM で現在選択できる地図投影法を示している。メルカトル図法の場合には、投射する円筒に接する基準緯線を (MAPPROJECTION_M_lat) で設定する (単位は度)。一般的に基準緯線は赤道にとることが多い。しかし、メルカトル図法は基準緯線に近いほど歪みが少なく正確であるので、SCALE-RM では、(MAPPROJECTION_M_lat) を陽に指定しなければ (MAPPROJECTION_basepoint_lat) を基準緯線として用いる。

次に、地図投影法の中でも利用頻度が高い、ランベルト正角円錐図法の設定を以下で説明する。以下の例は、現実大気実験チュートリアルで使用した run.d01.conf ファイル内の記述と同じである。

```
&PARAM_MAPPROJECTION
MAPPROJECTION_basepoint_lon = 135.220404,
MAPPROJECTION_basepoint_lat = 34.653396,
MAPPROJECTION_type = 'LC',
MAPPROJECTION_LC_lat1 = 30.0,
MAPPROJECTION_LC_lat2 = 40.0,
/
```

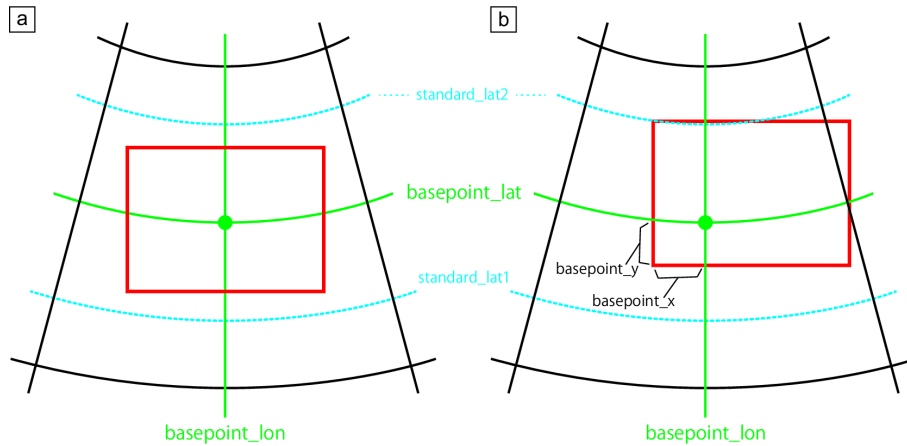


図 4.2.4: 投影中心と計算領域の関係 : (a) はデフォルト設定の場合、(b) は投影中心の位置を計算領域中心からずらした場合。赤線は計算領域の境界を表す。

SCALE-RM では、2 標準緯線型の投影方法を採用している。南側、北側の標準緯線はそれぞれ (`MAPPROJECTION_LC_lat1`, `MAPPROJECTION_LC_lat2`) で指定する (単位は [度])。両標準緯線に挟まれた領域では、経線に対する緯線の長さの比が、地球の楕円体面上での長さの比と近くなるように調節される。

さらに下記のように設定すれば、基準点 (`MAPPROJECTION_basepoint_x`, `MAPPROJECTION_basepoint_y`) を、デフォルト設定である計算領域の中心からずらすことができる。

```
&PARAM_MAPPROJECTION
MAPPROJECTION_basepoint_lon = 135.220404,
MAPPROJECTION_basepoint_lat = 34.653396,
MAPPROJECTION_basepoint_x = 100.0,
MAPPROJECTION_basepoint_y = 100.0,
MAPPROJECTION_type = 'LC',
MAPPROJECTION_LC_lat1 = 30.0,
MAPPROJECTION_LC_lat2 = 40.0,
/
```

地図投影の中心位置は、計算領域の南西端 (左下角) からの距離によって指定する。つまり、(`MAPPROJECTION_basepoint_x`, `MAPPROJECTION_basepoint_y`) はそれぞれ、X 方向や Y 方向に対する左下角と基準位置の間の距離である (単位は [m])。これらを指定しない場合は、地図投影の中心は計算領域の中心に設定される。図 4.2.4 に、両方の場合における地図投影の中心と計算領域の関係を示す。

4.2.5 積分時間と時間刻み幅の設定

積分時間や時間刻み幅は、実験の目的や設定に応じて適切に設定する必要がある。時間刻み幅は、モデルの空間解像度に依存する。数値不安定を回避するために、より短い時間刻み幅がしばしば要求される。積分時間と時間刻み幅は、シミュレーション実行用の設定ファイルの [PARAM_TIME] で設定できる。

<pre> &PARAM_TIME TIME_STARTDATE = 2014, 8, 10, 0, 0, 0, TIME_STARTMS = 0.DO, TIME_DURATION = 12.0DO, TIME_DURATION_UNIT = "HOOR", TIME_DT = 60.0DO, TIME_DT_UNIT = "SEC", TIME_DT_ATMOS_DYN = 30.0DO, TIME_DT_ATMOS_DYN_UNIT = "SEC", TIME_DT_ATMOS_PHY_CP = 600.0DO, TIME_DT_ATMOS_PHY_CP_UNIT = "SEC", TIME_DT_ATMOS_PHY_MP = 60.0DO, TIME_DT_ATMOS_PHY_MP_UNIT = "SEC", TIME_DT_ATMOS_PHY_RD = 600.0DO, TIME_DT_ATMOS_PHY_RD_UNIT = "SEC", TIME_DT_ATMOS_PHY_SF = 60.0DO, TIME_DT_ATMOS_PHY_SF_UNIT = "SEC", TIME_DT_ATMOS_PHY_TB = 60.0DO, TIME_DT_ATMOS_PHY_TB_UNIT = "SEC", TIME_DT_ATMOS_PHY_BL = 60.0DO, TIME_DT_ATMOS_PHY_BL_UNIT = "SEC", TIME_DT_OCEAN = 300.0DO, TIME_DT_OCEAN_UNIT = "SEC", TIME_DT_LAND = 300.0DO, TIME_DT_LAND_UNIT = "SEC", TIME_DT_URBAN = 300.0DO, TIME_DT_URBAN_UNIT = "SEC", TIME_DT_ATMOS_RESTART = 21600.DO, TIME_DT_ATMOS_RESTART_UNIT = "SEC", TIME_DT_OCEAN_RESTART = 21600.DO, TIME_DT_OCEAN_RESTART_UNIT = "SEC", TIME_DT_LAND_RESTART = 21600.DO, TIME_DT_LAND_RESTART_UNIT = "SEC", TIME_DT_URBAN_RESTART = 21600.DO, TIME_DT_URBAN_RESTART_UNIT = "SEC", TIME_DT_WALLCLOCK_CHECK = 21600.DO, TIME_DT_WALLCLOCK_CHECK_UNIT = "SEC", TIME_WALLCLOCK_LIMIT = 86400.DO, TIME_WALLCLOCK_SAFE = 0.95DO, / </pre>	<p>積分を開始する日付:放射過程計算で必要 開始時刻 [mili sec] 積分時間 [単位はTIME_DURATION_UNIT で設定] TIME_DURATION の単位 時間積分の時間刻み幅 TIME_DT の単位 力学過程計算の時間刻み幅 TIME_DT_ATMOS_DYN の単位 積雲パラメタリゼーション計算の時間刻み幅 TIME_DT_ATMOS_PHY_CP の単位 雲物理過程計算の時間刻み幅 TIME_DT_ATMOS_PHY_MP の単位 放射過程計算の時間刻み幅 TIME_DT_ATMOS_PHY_RD の単位 大気下端境界 (フラックス) 過程計算の時間刻み幅 TIME_DT_ATMOS_PHY_SF の単位 乱流過程計算の時間刻み幅 TIME_DT_ATMOS_PHY_TB の単位 混合層過程計算の時間刻み幅 TIME_DT_ATMOS_PHY_BL の単位 海面過程計算の時間刻み幅 TIME_DT_OCEAN の単位 陸面過程計算の時間刻み幅 TIME_DT_LAND の単位 都市過程計算の時間刻み幅 TIME_DT_URBAN の単位 リスタートファイル (大気) の出力間隔 TIME_DT_ATMOS_RESTART の単位 リスタートファイル (海面) の出力間隔 TIME_DT_OCEAN_RESTART の単位 リスタートファイル (陸面) の出力間隔 TIME_DT_LAND_RESTART の単位 リスタートファイル (都市) の出力間隔 TIME_DT_URBAN_RESTART の単位 実経過時間を確認する時間間隔 TIME_DT_WALLCLOCK_CHECK の単位 経過時間の制限 [sec] 経過時間制限に対する安全率</p>
---	--

4.2.5.1 力学過程に対する時間刻み幅

(TIME_DT) は時間積分に対する時間刻み幅であり、 Δt と大抵書かれる。 Δt はトレーサー移流に対する時間刻み幅であり、また全ての物理過程の基本単位でもある。計算不安定を回避するために、

(**TIME_DT**) は、格子間隔を移流速度の最大値で割った値よりも小さくしなければならない。力学変数の時間積分は移流速度ではなく音速で制約されるため、力学過程の時間刻み幅 (**TIME_DT_ATMOS_DYN**) は Δt よりも小さく与えるべきである。**(TIME_DT_ATMOS_DYN)** の値は、計算安定性に関連して時間積分スキームに依存する。**(TIME_DT_ATMOS_DYN)** の標準的な値として、**(ATMOS_DYN_TINTEG_SHORT_TYPE)** が RK4 の場合は最小格子間隔を 420 m/s で割った値、RK3 の場合には最小格子間隔を 840 m/s で割った値が目安である。ただし、**(TIME_DT_ATMOS_DYN)** は、**(TIME_DT)** の約数でなければならないことに注意されたい。また、**(TIME_DT)** の **(TIME_DT_ATMOS_DYN)** に対する比が大きすぎる場合は計算不安定がしばしば起きる。**(TIME_DT)/(TIME_DT_ATMOS_DYN)** が、2 または 3 となるように設定することを推奨する。これらの条件については、第 4.2.5.2 節も参照されたい。**(TIME_DT_ATMOS_DYN)** と **(TIME_DT_ATMOS_DYN_UNIT)** を設定する代わりに、この比 (**(TIME_DT)/(TIME_DT_ATMOS_DYN)**) を **(TIME_NSTEP_ATMOS_DYN)** で指定することができる。**(TIME_NSTEP_ATMOS_DYN)** は整数でなければならない。

4.2.5.2 CFL 条件の確認

移流に対する時間刻み幅 (**TIME_DT**) は、格子幅を速度で割った値よりも小さくしなければならない (すなわち、Courant-Friedrichs-Lewy (CFL) 条件)。無次元数 $U\Delta t/\Delta x$ はクーラン数と呼ばれる。ここで、 U は速度、 Δx は格子幅、 Δt は時間刻み幅である。CFL 条件とは、クーラン数が 1 よりも小さくなければならないことである。

SCALE-RM には、クーラン数が制限値を超えているかを確認する機能がある。この機能を有効にするには、**[PARAM_ATMOS_VARS]** の **(ATMOS_VARS_CHECKCFL_SOFT)** や **(ATMOS_VARS_CHECKCFL_HARD)** を設定する。これらのデフォルト値はそれぞれ、1.0 と 2.0 である。シミュレーション中にクーラン数が **(ATMOS_VARS_CHECKCFL_SOFT)** を超えれば、以下のメッセージをログファイルに出力される。

```
INFO [ATMOS_vars_monitor] Courant number = xxx exceeded the soft limit = yyy
```

もし **(ATMOS_VARS_CHECKCFL_HARD)** を超えれば、以下のメッセージが標準出力に出力され、シミュレーションは強制終了される。

```
ERROR [ATMOS_vars_monitor] Courant number = xxx exceeded the hard limit = yyy
```

4.2.5.3 物理過程に対する時間刻み幅

物理過程に対する時間刻み幅は、各物理過程が与える時間変化率を更新するタイミングを表す。モデルが開始するとすぐに、初期の時間変化率を得るためにモデルの初期化時に各物理過程が呼ばれる。その後、各物理過程ごとに指定した時間間隔で各時間変化率が更新される。物理過程に対する時間間隔は全て、**(TIME_DT)** の倍数でなければならない。

表面フラックスは大気に対する表面過程で計算される。対照的に、あるモデル格子がいくつかの種類の利用区分 (海面・都市・陸面) を含む場合は海面・陸面・都市モデルが用いられ、これらのモデルによって表面フラックスが計算される。フラックスの格子平均値は、各利用区分に対するフラックスの利用区分の割合に応じた重み付き平均値として得られる。

上述したように、各過程の初期の時間変化率はモデルの初期化中に更新される。したがって、リスタートファイルの出力間隔は、全過程の時間刻み幅の倍数であることが要求される。そうしなければ、リスタート計算は、通しで時間積分を行った計算と一致しない。`(TIME_DT_ATMOS_RESTART)`、`(TIME_DT_OCEAN_RESTART)`、`(TIME_DT_LAND_RESTART)`、`(TIME_DT_URBAN_RESTART)` を指定していない場合は、リスタートファイルはシミュレーションの最後 (すなわち `(TIME_DURATION)`) に生成される。リスタート計算の詳細は第 4.2.7 節を参照されたい。

4.2.5.4 経過時間タイマーによるモデルの終了

幾つかのバッチジョブシステムでは、実行時間の制限が大抵設けられている。しかし、長時間積分のシミュレーションの所要時間を推定することは難しく、しばしばジョブが時間制限を超えることがある。この問題を解決するために、SCALE-RM ではセルフタイマーを用いた終了オプションを提供している。

経過時間が `(TIME_WALLCLOCK_LIMIT)` (秒) で指定した時間に達したときに、積分時間を終えていない場合でもリスタートファイルを出力し、時間ループを終了させる。`(TIME_WALLCLOCK_LIMIT)` に対する安全率が存在する。このデフォルトの値は 0.9 であり、`(TIME_WALLCLOCK_SAFE)` で指定する。

上述したように、リスタート出力の間隔は全ての物理過程や表面サブモデルに対する時間刻み幅の倍数とするべきである。しかしながら、セルフタイマーは唐突にシミュレーションを停止する。予期されるタイミングと異なるタイミングでリスタート出力が行われることを避けるために、経過時間を確認するタイミングを指定することができる。経過時間は、`(TIME_DT_WALLCLOCK_CHECK)` と `(TIME_DT_WALLCLOCK_CHECK_UNIT)` で指定した時間間隔で確認される。これらのパラメータを指定しない場合は、物理過程と表面サブモデルの最大時間間隔が設定される。確認の時間間隔を非常に長く設定した場合は、終了のタイミングが遅れる可能性があることに注意が必要である。

上記の例では、`(TIME_WALLCLOCK_LIMIT)` を 24 時間、`(TIME_WALLCLOCK_SAFE)` を 0.95 に設定している。経過時間は、シミュレーション時間の 6 時間ごとに確認される。経過時間が 22.8 時間を超過するとリスタートファイルが生成されて、シミュレーションは停止するだろう。

4.2.6 ヒストリファイルと出力変数の設定

ヒストリファイルと出力変数は、`run.conf` 内の `[PARAM_FILE_HISTORY_CARTESC]`、`[PARAM_FILE_HISTORY]`、`[HISTORY_ITEM]` で設定する。ヒストリファイルのデフォルトの形式は、`[PARAM_FILE_HISTORY]` で指定する。

```
&PARAM_FILE_HISTORY_CARTESC
FILE_HISTORY_CARTESC_PRES_nlayer = -1,      ; 圧力レベル数
                                           ; (圧力レベルへの補間に関するオプション)
FILE_HISTORY_CARTESC_PRES = 0.DO           ; 補間を行う圧力レベル (下層から上層の順) [hPa]
                                           ; (圧力レベルへの補間に関するオプション)
FILE_HISTORY_CARTESC_BOUNDARY = .false.,    ; 八口のデータを出力するか?
                                           ; .true.: 出力する, .false.: 出力しない。
/
```

```

&PARAM_FILE_HISTORY
FILE_HISTORY_TITLE = "", ; データに関する簡単な説明 (5.1.1 節参照)
FILE_HISTORY_SOURCE = "", ; データを作成したソフトウェアの名前 (5.1.1 節参照)
FILE_HISTORY_INSTITUTION = "", ; データの作成者 (5.1.1 節参照)
FILE_HISTORY_TIME_UNITS = "seconds", ; netCDF 中の時間軸の単位
FILE_HISTORY_DEFAULT_BASENAME = "history_d01", ; 出力ファイルのベース名
FILE_HISTORY_DEFAULT_POSTFIX_TIMELABEL = .false., ; ファイル名に時間のラベルを加えるか?
FILE_HISTORY_DEFAULT_ZCOORD = "model", ; 鉛直座標の種類
FILE_HISTORY_DEFAULT_TINTERVAL = 3600.DO, ; ヒストリ出力の時間間隔
FILE_HISTORY_DEFAULT_TUNIT = "SEC", ; DEFAULT_TINTERVAL の単位
FILE_HISTORY_DEFAULT_TSTATS_OP = "none", ; 時間統計量操作
FILE_HISTORY_DEFAULT_DATATYPE = "REAL4", ; 出力データの種類: REAL4 or REAL8
FILE_HISTORY_OUTPUT_STEPO = .true., ; 初期時刻 (t=0) のデータを出力するか?
FILE_HISTORY_OUTPUT_WAIT = 0.DO, ; 出力を抑制する時間
FILE_HISTORY_OUTPUT_WAIT_TUNIT = "SEC", ; OUTPUT_WAIT の単位
FILE_HISTORY_OUTPUT_SWITCH_TINTERVAL = -1.DO, ; ファイルを切り替える時間間隔
FILE_HISTORY_OUTPUT_SWITCH_TUNIT = "SEC", ; OUTPUT_SWITCH_TINTERVAL の単位
FILE_HISTORY_ERROR_PUTMISS = .true., ; データの準備状況の整合性を確認するか?
FILE_HISTORY_AGGREGATE = .false., ; PnetCDF を用いて単一のファイルにまとめるか?
/

```

デフォルトでは、各プロセスがヒストリファイルを出力する。`(FILE_HISTORY_AGGREGATE)` を `.true.` に設定した場合は、parallel NetCDF を用いることによって分散した出力ファイルが単一のファイルへとまとめられる。`(FILE_HISTORY_AGGREGATE)` のデフォルト設定は、`[PARAM_FILE]` 内の `(FILE_AGGREGATE)` によって決定される (第 5.1.1 節を参照)。

`(FILE_HISTORY_DEFAULT_TINTERVAL)` はヒストリ出力の時間間隔であり、その単位は `(FILE_HISTORY_DEFAULT_TUNIT)` によって定義される。単位は、"MSEC", "msec", "SEC", "sec", "s", "MIN", "min", "HOUR", "hour", "h", "DAY", "day" から選択できる。`(FILE_HISTORY_DEFAULT_TSTATS_OP)` を "mean" として平均値の出力を設定した場合は、`(FILE_HISTORY_DEFAULT_TINTERVAL)` に指定した直近の期間に渡って平均されたヒストリデータを出力する。同様に、"min", "max" を設定した場合は、それぞれ期間における最小値および最大値を出力する。

ヒストリ出力の時間間隔は、それと関係したスキームの時間間隔と等しいか倍数でなければならない。この整合性の確認を無効にしたい場合には、`(FILE_HISTORY_ERROR_PUTMISS)` を `.false.` に設定すれば良い。

`(FILE_HISTORY_DEFAULT_POSTFIX_TIMELABEL)` を `.true.` に設定した場合は、時間に関するラベルが出力ファイル名に付加される。時間のラベルはシミュレーションの現時刻に基づいて生成され、その形式は YYYYMMDD-HHMMSS.msec によって定義される。

`(FILE_HISTORY_OUTPUT_STEPO)` を `.true.` に設定した場合は、時間積分前の時刻における変数 (初期値) をヒストリファイルに出力する。`(FILE_HISTORY_OUTPUT_WAIT)` と `(FILE_HISTORY_OUTPUT_WAIT_TUNIT)` で定義したシミュレーションの期間、ヒストリ出力を抑制することができる。値が負であれば、出力の抑制は起こらない。`(FILE_HISTORY_OUTPUT_SWITCH_TINTERVAL)` は出力ファイルの切り替えの時間間隔であり、その単位は `(FILE_HISTORY_OUTPUT_SWITCH_TUNIT)` で定義する。値が負であれば、ヒストリ出力のために各プロセス毎に単一ファイルだけが使われる。このオプションを有効にした場合は、時間に関するラベルがファイル名に付加される。

大気の3次元変数を出力するために、3種類の鉛直座標が利用できる。デフォルトでは (FILE_HISTORY_DEFAULT_ZCOORD) = "model" が選択される。この場合は、変数はモデルのもとの座標系 (SCALE-RMにおいて地形に沿った、z*座標系) を用いて出力される。(FILE_HISTORY_DEFAULT_ZCOORD) を "z" に設定した場合は、変数は絶対高度へと補間される。出力データのレベル数は、モデルのレベル数と同じである。各レベルにおける高度は、地形を伴わない格子セルにおけるモデル高度と同じである。(FILE_HISTORY_DEFAULT_ZCOORD) を "pressure" に設定した場合は、変数は圧力レベルへと補間される。この場合は、[PARAM_FILE_HISTORY_CARTESC] 内の (FILE_HISTORY_CARTESC_PRES_nlayer) と (FILE_HISTORY_CARTESC_PRES) を設定する必要がある。

[PARAM_FILE_HISTORY_CARTESC] 内の (FILE_HISTORY_CARTESC_BOUNDARY) を .true. にした場合は、周期境界条件の場合を除いて、対象領域の外側に位置する八口のデータも出力される。

(FILE_HISTORY_CARTESC_BOUNDARY) の設定は、全ての出力変数に適用される。

出力変数は [HISTORY_ITEM] を加えることで設定される。出力可能な変数のリストは、SCALE HP のリファレンスマニュアルにある履歴変数リストより確認することができる(詳しくは、5.3.2節を参照いただきたい)。出力の形式は、[PARAM_FILE_HISTORY] で指定されたデフォルト設定に従う。下記のように、「(オプション)」と書かれたネームリストの項目を追加することで、特定の変数に対する形式をデフォルト設定から変更できる。

```

&HISTORY_ITEM
NAME = "RAIN",                変数名
OUTNAME = "",                 (オプション) NAME と同じ
BASENAME = "rain_d01",        (オプション) FILE_HISTORY_DEFAULT_BASENAME と同じ
POSTFIX_TIMELABEL = .false., (オプション) FILE_HISTORY_DEFAULT_POSTFIX_TIMELABEL と同じ
ZCOORD = "model",             (オプション) FILE_HISTORY_DEFAULT_ZCOORD と同じ
TINTERVAL = 600.DO,           (オプション) FILE_HISTORY_DEFAULT_TINTERVAL と同じ
TUNIT = "SEC",                (オプション) FILE_HISTORY_DEFAULT_TUNITS と同じ
TSTATS_OP = "mean",           (オプション) FILE_HISTORY_DEFAULT_TSTATS_OP と同じ
DATATYPE = "REAL4",          (オプション) FILE_HISTORY_DEFAULT_DATATYPE と同じ
/

```

[HISTORY_ITEM] で要求した変数がシミュレーションの時間ステップ中に準備されていない場合は、実行が停止し、エラーログがログファイルに書かれる。この状況は、(NAME) にスペルミスがある場合や、要求した変数が選択したスキーム内で使用されていない場合に発生し得る。

「(オプション)」と書かれたネームリストの項目は、変数 (NAME) に対してのみ適用される。変数に対してデフォルト設定を用いる場合は、「(オプション)」の項目は省略できる。例えば、[PARAM_FILE_HISTORY] の上記の設定を維持しつつ、[HISTORY_ITEM] に対して以下の設定を付け加えよう。ファイル history_d01.xxxxxx.nc に、U と V の瞬間値を 3600 秒間隔で 4 バイトの実数値として格納する。一方で、RAIN については 600 秒間隔でその期間に渡った平均値をファイルに格納する。T の値は、U や V と同じ規則で T として出力し、圧力座標系に補間した値を T_pres として出力する。

```

&HISTORY_ITEM NAME="T" /
&HISTORY_ITEM NAME="U" /
&HISTORY_ITEM NAME="V" /
&HISTORY_ITEM NAME="RAIN", TINTERVAL=600.DO, TSTATS_OP="mean" /
&HISTORY_ITEM NAME="T", OUTNAME="T_pres", ZCOORD="pressure" /

```

4.2.7 リスタート計算の方法

リスタート機能は、計算システムで決められたジョブ実行の時間制限のために、シミュレーションが途切れてしまう場合などに役立つ。リスタート機能を用いることで、長期間の一続きのシミュレーションを複数のランに分割できる。リスタートファイルは、初期のランで生成されたデータと同じ形式を持つ。各シミュレーションの最後にリスタートファイルを出力する以外にも、特定の時間間隔で複数のリスタートファイルを出力する機能もある。リスタートファイルに対する設定は、シミュレーション実行用の設定ファイル中の [PARAM_RESTART] と [PARAM_TIME] で行う。以下の例では、ファイル restart1_*** によってシミュレーションをリスタートし、6 時間ごとにリスタートファイル restart2_*** を生成する。

```

&PARAM_RESTART
RESTART_IN_BASENAME = "restart1_d01_20070715-000000.000",
RESTART_IN_POSTFIX_TIMELABEL = .false.,
RESTART_OUTPUT = .true.,
RESTART_OUT_BASENAME = "restart2_d01",
RESTART_OUT_POSTFIX_TIMELABEL = .true.,
RESTART_OUT_TITLE = "",
RESTART_OUT_DTYPE = "DEFAULT",
/

&PARAM_TIME
TIME_STARTDATE = 2007, 7, 15, 00, 0, 0,
TIME_STARTMS = 0.DO,
TIME_DURATION = 12.0DO,
TIME_DURATION_UNIT = "HOUR",
..... 略 .....
TIME_DT_ATMOS_RESTART = 21600.DO,
TIME_DT_ATMOS_RESTART_UNIT = "SEC",
TIME_DT_OCEAN_RESTART = 21600.DO,
TIME_DT_OCEAN_RESTART_UNIT = "SEC",
TIME_DT_LAND_RESTART = 21600.DO,
TIME_DT_LAND_RESTART_UNIT = "SEC",
TIME_DT_URBAN_RESTART = 21600.DO,
TIME_DT_URBAN_RESTART_UNIT = "SEC",
/

```

入力する初期値ファイルまたはリスタートファイルのベース名。
 RESTART_IN_BASENAME の後に入力時の年月日時刻を追加するか?
 リスタートファイルを出力するか?
 .true.: 出力する、.false.: 出力しない。
 リスタートファイルのファイルのベース名。
 RESTART_OUT_BASENAME の後に出力時の年月日時刻が追加を追加するか?
 リスタートファイルに書かれる題目
 REAL4 or REAL8 or DEFAULT
 リスタート計算の開始時刻
 計算開始時刻 [mili sec]
 積分時間 [単位はTIME_DURATION_UNIT で設定]
 TIME_DURATION の単位
 リスタートファイル (大気) の出力間隔
 TIME_DT_ATMOS_RESTART の単位
 リスタートファイル (海洋) の出力間隔
 TIME_DT_OCEAN_RESTART の単位
 リスタートファイル (陸面) の出力間隔
 TIME_DT_LAND_RESTART の単位
 リスタートファイル (都市) の出力間隔
 TIME_DT_URBAN_RESTART の単位

リスタートファイルの出力間隔は、(TIME_DT_ATMOS_RESTART), (TIME_DT_OCEAN_RESTART), (TIME_DT_LAND_RESTART), (TIME_DT_URBAN_RESTART) で指定する。これらが指定されていない場合は、積分時刻の最終時刻 (TIME_DURATION) にリスタートファイルが作成される。出力されるリスタートファイルの名前は、(RESTART_IN_BASENAME) で指定する。(RESTART_OUT_POSTFIX_TIMELABEL) は、(RESTART_OUT_BASENAME) の後のファイル名に出力時の日時を自動的に追加するかを指定する。

デフォルト設定は、`(RESTART_OUT_POSTFIX_TIMELABEL) = .true.` である。

リスタートファイルは、全てのシミュレーションに対する互換性はない。リスタートファイルに含まれる変数は、設定ファイルで選択したスキームによって異なる。整合性を担保したリスタートファイルを用意するための簡単な方法は、一連のシミュレーションにおいてスキームに対して同じ設定を使用することである。

他の設定は、通常のランと基本的に同じである。`(RESTART_IN_BASENAME)` は、大気や表面サブモデルの初期状態を含む入力ファイルの名前である。通常のランでは `scale-rm_init` で準備した `init_***` を用いるが、リスタートランでは前のランで出力されたリスタートファイルを用いる。

`(RESTART_IN_POSTFIX_TIMELABEL)` は `(RESTART_OUT_POSTFIX_TIMELABEL)` と同様であるが、`(RESTART_IN_BASENAME)` に対する日時の付加を指定する。デフォルト設定では、`(RESTART_IN_POSTFIX_TIMELABEL) = .false.` である。

上記の例において、`(RESTART_IN_BASENAME) = "restart1_d01_20070715-000000.000"` と設定することは、`(RESTART_IN_POSTFIX_TIMELABEL) = .true.` として `(RESTART_IN_BASENAME) = "restart1_d01"` と設定することと等価である。リスタート計算の開始日時や積分時間はそれぞれ、`(TIME_STARTDATE)` と `(TIME_DURATION)` で指定する。

現実大気実験の場合は、初期値データに加えて `scale-rm_init` で作成した境界値データが必要である。以下に例を示す。

```

&PARAM_ATMOS_BOUNDARY
  ATMOS_BOUNDARY_TYPE = "REAL",
  ATMOS_BOUNDARY_IN_BASENAME = "../init/output/boundary_d01",
/

```

現実実験の場合は"REAL"。
境界値データのファイル名の頭。

リスタート計算において、境界値データの適切な日時は、境界値ファイル `boundary_***.nc` から読み込まれる。

4.2.8 領域ネスティング実験の方法

ネスティングとは、領域が重複するように複数の計算領域を入れ子（ネスト）構造に設定する方法である。図 4.2.5 は、3 つの領域を用いたネスティングの例を示している。外側の領域は、大きな空間スケールの現象を表現するため、低い水平解像度で広い領域を設定する。一方、内側の領域は、小さな空間スケールの現象を解像するために、狭い範囲であるが高い水平解像度で設定する。外側の領域の計算結果は、内側の領域に対する境界値データとして用いられる。ここでは、データを渡す外側の領域を「親領域」、データを受ける内側の領域を「子領域」と呼ぶことにする。

ネスティングの方法は下記のように分類される。

- 実行方法

- オンライン・ネスティング

- 計算途中で親領域と子領域の情報を交換しながら、親領域と子領域の計算を同時に実行する方法。

- オフライン・ネスティング

- 最初に親領域の計算を行って子領域用の初期値・境界値を作成し、その後に子領域の計算を行う方法。

- データの受け渡し方法

- 一方向ネスティング

- 親領域は子領域にデータを送るが、子領域は親領域にデータを送らない。親領域の結果は、子領域の結果の影響を受けない。

- 双方向ネスティング

- 親領域は子領域にデータを送り、子領域からのデータも受け取る。したがって、二つの領域の計算は互いに影響し合う。この方法はオンライン・ネスティング時に適用できるが、SCALE-RM v5.5.4 ではまだ実装されていない。

オンラインとオフラインの違いは、親領域から子領域にデータを与える更新頻度にある。オンライン・ネスティング実験では、子領域の境界条件は親領域の時間刻み幅 (Δt) 毎に更新される。オフライン・ネスティング実験では、更新頻度は親領域の計算におけるヒストリファイルの出力間隔に依存する。

ネスティングがオフラインかオンラインかに関わらず、親領域と子領域の格子間隔比 (DX_{d01}/DX_{d02}) に関してコードの実装上の制限はない。ただし、この比率が大きすぎると計算結果の物理性能が下がる可能性がある。SCALE-RM では、5 倍以下でを使用することを推奨する。

本節では、親領域の設定ファイルを `***.d01.conf`、子領域の設定ファイルを `***.d02.conf` と表記する。

4.2.8.1 子領域における地形の取り扱い

ネスティング実験では、一般的に、親領域と子領域の間で空間解像度が異なるために地形の解像度も異なる。子領域の緩和領域 (第 4.2.3.5 節を参照) では、大気の変数は親領域の変数へとナッジングされる。2 つの領域間で地形の表現が異なると、親領域で計算されるナッジングのための参照データが存在しないことがある。その場合は外挿により大気データを見積もることになるが、外挿による見積もりの精度が悪いと不整合が生じる。地形の違いによる不整合を回避するために、SCALE-RM

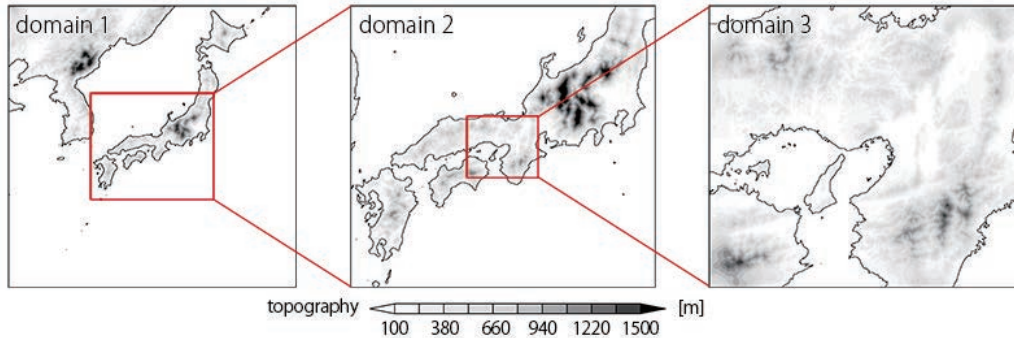


図 4.2.5: 西日本を対象とした領域ネスティングの例。domain 1 が最外領域で domain 3 が最内領域である。赤い矩形と線は、領域の位置や他の領域との関係を示している。水平格子間隔は domain 1 では 7.5 km、domain 2 では 2.5 km、domain 3 では 0.5 km である。

では「地形コピー」機能を使用することを推奨している。この機能は、子領域の緩和領域における地形として親領域の地形をコピーする。この機能を使えば、図 4.2.6 に示すように、子領域の緩和領域の地形と親領域の地形を完全に一致させられる。さらに、地形の解像度を外側から内側に行くに従って徐々に高めるために、緩和領域の内側に地形の遷移領域を置く。地形の遷移領域では、地形は親領域と子領域の地形を重み付けすることで生成される。地形遷移領域の幅は、デフォルト設定では緩和領域と同じ幅である。これよりも内側の計算領域では、地形は子領域の地形を与える。「実験用セット一式作成ツール」(第 4.2.1 節)を利用する場合は、地形コピー機能が自動的に適用される。

本節で示す pp.d0*.conf ファイルは、サンプル設定ファイル

`${Tutorial_dir}/real/sample/USER.online-nesting.sh` を `USER.sh` に名前を変更して、「実験用セット一式作成ツール」を実行することで作成される。説明を読み進める上で参考にしてもらいたい。以降は、具体的な設定方法と実行手順を説明する。

地形コピー機能の使い方

地形コピー機能で親の地形を用いるために、子領域に対する pp.d02.conf ファイルを以下のように編集する。ここでは、親領域の地形の出力データが SCALE netCDF フォーマットで `topo_d01.pe***.nc` として保存されていると想定する。その他のフォーマットとしては、GrADS がサポートされている(第 4.1.2 節)。

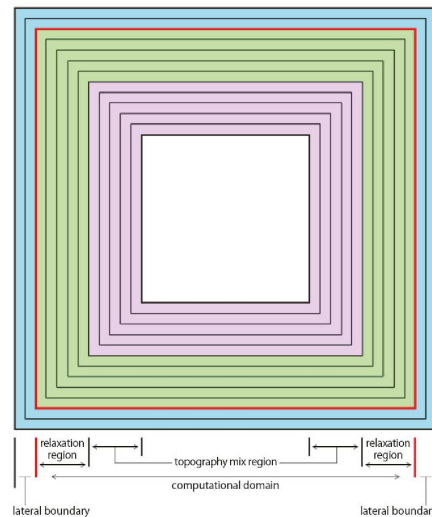


図 4.2.6: 地形コピー機能を適用したときの地形の水平分布。水色で塗られた最外にある格子は HALO 領域であり、その格子数は水平移流スキームに依存する。これらの格子は側面境界である。赤色の線で囲われた部分は、計算領域である。緑色や桃色の領域はそれぞれ、緩和領域と地形遷移領域である。最内の白色の領域では、地形は子領域のもとの地形と同じである。地形遷移領域では、外側から内側にかけて徐々に親領域の地形データから子領域の地形データへ遷移する。

```

&PARAM_CNVTPOPO
~ 中略 ~
CNVTPOPO_copy_parent = .true.,      地形コピー機能を適用するかどうか
/

&PARAM_COPYTOPO
COPYTOPO_IN_BASENAME = "topo_d01",  親領域の地形データファイルのベース名
COPYTOPO_IN_FILETYPE = "SCALE",     親領域の地形データファイルのタイプ名 (SCALE, GrADS)
COPYTOPO_TRANSITION_DX = -1,        x 方向の遷移域の幅
COPYTOPO_TRANSITION_DY = -1,        y 方向の遷移域の幅
COPYTOPO_ENTIRE_REGION = .false.,   子領域の全域に親領域の地形をコピーするかどうか
COPYTOPO_LINEAR_H = .true.,
/

```

[PARAM_CNVTPOPO] の (CNVTPOPO_copy_parent) を .true. とすれば、地形のコピー機能が適用される。(COPYTOPO_ENTIRE_REGION) は、子領域の全域に渡って親領域の地形をコピーするかを決めるオプションである。これが .true. の場合は、子領域の地形は親領域から完全にコピーされる。(COPYTOPO_LINEAR_H) は地形の遷移方法を指定するパラメータである。(COPYTOPO_LINEAR_H) が .true. であれば子領域と親領域の地形の混合割合が線形的に変化し、そうでなければ指数関数的に変化する。遷移領域の幅は (COPYTOPO_TRANSITION_DX) や (COPYTOPO_TRANSITION_DY) で指定する。これらの値が負であればデフォルトの設定が適用され、地形の遷移領域の幅は緩和領域の幅と同じに取られる。

地形の作成

地形コピー機能を使用する場合は、親領域から順番に地形を作成しなければならない。領域が 3 つ以上ある場合は、実行の順番は以下ようになる。


```
$ mpirun -n [プロセス数] ./scale-rm_pp pp.d01.conf
$ mpirun -n [プロセス数] ./scale-rm_pp pp.d02.conf
$ mpirun -n [プロセス数] ./scale-rm_pp pp.d03.conf
```

4.2.8.2 オフライン・ネスティング実験

以下の2点は、オフライン・ネスティング実験に対する制限事項である。

- 子領域は親領域に完全に含まれる。
- 子領域の積分期間は、親領域の積分期間と同じかそれより短い。

また、オフライン・ネスティング実験は次の順番でなされる。

1. 親領域の時間積分を行う。
2. 親領域の履歴出力あるいは初期値/リスタート出力を用いて、子領域の初期値/境界値を作成する。
3. 作成した初期値/境界値を用いて、子領域の時間積分を行う。

以下では、上記の流れに沿って説明を進める。

親領域の時間積分

子領域の境界値データとして用いる親領域のデータを準備するために、いくつか必要な設定がある。親領域の計算に対する設定ファイルは、「実験用セッター式作成ツール」(第 4.2.1 節を参照)で作成する。サンプルファイル`#{Tutorial_dir}/real/sample/USER.offline-nesting-parent.sh`を`USER.sh`に名前を変更し、編集後`make`を実行する。

親領域の時間積分はシングルドメインの場合と同じ方法で実行するが、設定に関して次の5点に注意する必要がある。

- 子領域の計算に必要な変数全てが、親領域の計算によって履歴/リスタート出力として作成されている。
- 履歴/リスタート出力の間隔が十分に短い。
- 子領域の計算開始時刻が親領域と同じ場合は、親領域における $t=0$ の履歴出力データが必要である。

履歴ファイルを用いたければ、次のような設定が必要である。

```
&PARAM_FILE_HISTORY
FILE_HISTORY_DEFAULT_BASENAME = "history",
FILE_HISTORY_DEFAULT_TINTERVAL = 900.DO,      ヒストリデータの出力時間間隔。
FILE_HISTORY_DEFAULT_TUNIT = "SEC",           FILE_HISTORY_DEFAULT_TINTERVAL の単位。
FILE_HISTORY_DEFAULT_TSTATS_OP = "none",
FILE_HISTORY_DEFAULT_DATATYPE = "REAL4",
FILE_HISTORY_OUTPUT_STEP0 = .true.,          t=0 の値を出力に含める。
/
```

(`FILE_HISTORY_DEFAULT_TINTERVAL`) は履歴データの出力間隔であり、子領域の計算で用いる

更新時間間隔を設定する。相対的に短い時間間隔でデータを出力する場合には、ディスクの空き容量にも注意が必要である。その他、`[PARAM_FILE_HISTORY]` の各項目の詳細は、第 4.2.6 節を参照されたい。

リスタートファイルを用いたければ、設定は次のようになる。

```
&PARAM_RESTART
  RESTART_OUTPUT = .true.
  RESTART_OUT_BASENAME = 'restart_d01',
/
&PARAM_TIME
  TIME_DT_ATMOS_RESTART = 900.DO,           リスタートデータの出力時間間隔
  TIME_DT_ATMOS_RESTART_UNIT = "SEC",
  TIME_DT_OCEAN_RESTART = 900.DO,           リスタートデータの出力時間間隔
  TIME_DT_OCEAN_RESTART_UNIT = "SEC",
  TIME_DT_LAND_RESTART = 900.DO,            リスタートデータの出力時間間隔
  TIME_DT_LAND_RESTART_UNIT = "SEC",
  TIME_DT_URBAN_RESTART = 900.DO,          リスタートデータの出力時間間隔
  TIME_DT_URBAN_RESTART_UNIT = "SEC",
/
```

これらのパラメータの詳細は、第 4.2.7 節を参照されたい。

計算実行用の設定ファイル中の `[FILE_HISTORY_ITEM]` には、子領域の初期値/境界値データの作成に必要な変数を全て記述しなければならない。オフライン・ネスティングに必要な変数は子領域の計算設定に依存し、標準的な現実大気の計算における変数は以下である。

DENS, W (もしくは MOMZ), Umet (もしくは U か MOMX), Vmet (もしくは V か MOMY), PT (もしくは RHOT か T), QV

```
LAND_SFC_TEMP, URBAN_SFC_TEMP, OCEAN_SFC_TEMP
OCEAN_SFC_ALB_IR_dir OCEAN_SFC_ALB_IR_dif,
OCEAN_SFC_ALB_NIR_dir OCEAN_SFC_ALB_NIR_dif,
OCEAN_SFC_ALB_VIS_dir OCEAN_SFC_ALB_VIS_dif,
LAND_SFC_ALB_IR_dir, LAND_SFC_ALB_IR_dif,
LAND_SFC_ALB_NIR_dir, LAND_SFC_ALB_NIR_dif,
LAND_SFC_ALB_VIS_dir, LAND_SFC_ALB_VIS_dif,
OCEAN_TEMP, OCEAN_SFC_ZOM, LAND_TEMP, LAND_WATER
```

(親モデルが用いる雲微物理モデルに応じて出力する)

```
QC, QR, QI, QS, QG
NC, NR, NI, NS, NG
```

設定が完了したら、`scale-rm` を実行して親領域の時間積分を行う。

子領域に対する初期値/境界値データの作成

子領域の計算用の設定ファイルは、「実験用セット一式作成ツール」(第 4.2.1 節を参照) を用いることで作成できる。サンプルスクリプト `real/sample/USER.offline-nesting-child.sh` を `USER.sh` に名前を変更し、編集後 `make` を実行する、

親領域の計算で得られたヒストリデータを用いて初期値/境界値データを作成する場合は、初期値生成のための設定ファイルを以下のように設定する。


```

&PARAM_MKINIT_REAL_ATMOS
NUMBER_OF_FILES = 1,
FILETYPE_ORG = "NetCDF",
BASENAME_ORG = "history_d01",      run.d01.conf のHISTORY_DEFAULT_BASENAME
BASENAME_BOUNDARY = "boundary_d01",
BOUNDARY_UPDATE_DT = 900.DO,      history ファイルの出力時間間隔 (単位は"SEC")
/

&PARAM_MKINIT_REAL_OCEAN
BASENAME_ORG = "history_d01",      run.d01.conf のHISTORY_DEFAULT_BASENAME
NUMBER_OF_FILES = 1,
FILETYPE_ORG = "NetCDF",
BOUNDARY_UPDATE_DT = 900.DO,      history ファイルの出力時間間隔 (単位は"SEC")
/

&PARAM_MKINIT_REAL_LAND
NUMBER_OF_FILES = 1,
BASENAME_ORG = "history_d01",      run.d01.conf のHISTORY_DEFAULT_BASENAME
FILETYPE_ORG = "NetCDF",
BOUNDARY_UPDATE_DT = 900.DO,      history ファイルの出力時間間隔 (単位は"SEC")
/

```

SCALE-RM 形式の出力データから初期値/境界値データを作成する場合は、(FILETYPE_ORG) に "NetCDF" を指定する。基本的に、(BOUNDARY_UPDATE_DT) は親領域の設定ファイル (run.d01.conf) の (FILE_HISTORY_DEFAULT_TINTERVAL) と同じ値を設定する。

設定ファイルを編集し終わったら、scale-rm_init を実行し、子領域の初期値/境界値を作成する。実行時に下記のようなメッセージが表示されて計算が止まる場合は、子領域が親領域に完全には含まれていないことを意味する。

```

xxx ERROR: REQUESTED DOMAIN IS TOO MUCH BROAD
xxx -- LONGITUDINAL direction over the limit

```

子領域の時間積分

初期値/境界値データの作成が終わったら、scale-rm を実行して子領域の時間積分を行う。これは、通常の現実大気実験と同じである。

多段のオフライン・ネスティング実験を行う場合は、以上の方法を繰り返せばよい。つまり、子領域における上記の時間積分の結果を親領域の結果とみなして、さらに内側にある孫領域の計算のための初期値/境界値を作成する。

4.2.8.3 オンライン・ネスティング実験

オンライン・ネスティング実験を実行する際には、以下の2つの制約が存在する。

- 子領域の積分時間は、親領域の積分時間と一致していなければならない。
- 親領域の時間ステップは、子領域の時間ステップの倍数でなければならない。

一方で、親領域と子領域で鉛直層数、鉛直レベル、地図投影法、物理スキームが一致している必要はない。オンライン・ネスティング実験では、全ての領域の計算は同時に実行される。現在のバージョン

ンでは、SCALE-RM は一方向ネスティングのみ対応する。ネスティングの段数は最大で 10 段まで可能である。

SCALE-RM のオンライン・ネスティング実験では、複数領域の時間積分を逐次的でなく並列的に行う。図 4.2.7 に示すように、MPI プロセスはいくつかのグループに分割される。各々のグループは一つの領域を担当し、独立したモデルのように計算を進める。複数の領域を立ち上げるために、`launch.conf` という設定ファイルが実行時に必要である。

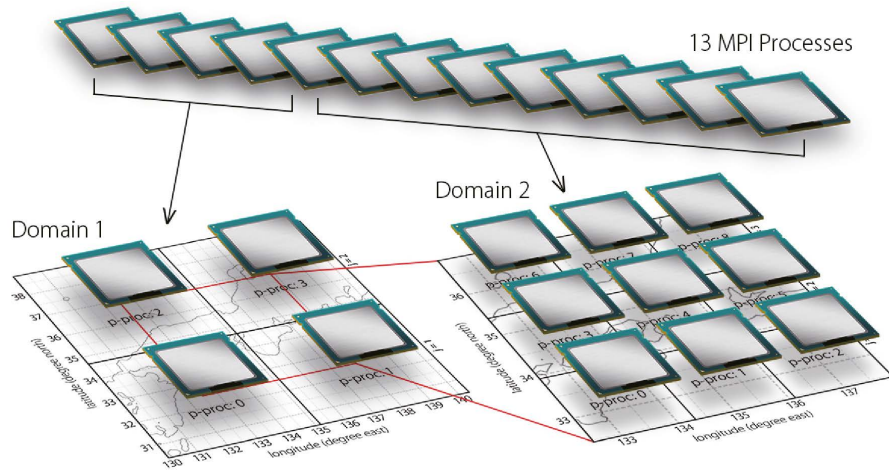


図 4.2.7: オンライン・ネスティング実験における MPI プロセスの配分。この例では 13 のプロセスが最初に立ち上げられ、これらを適切に分配する。つまり、Domain 1 では 2×2 の 4-MPI 並列計算、Domain 2 では 3×3 の 9-MPI 並列計算が行われる。MPI 通信によって Domain 1 から Domain 2 へデータを受け渡ししながら時間積分が進められる。

以下では、最も単純なオンライン・ネスティングの例として 2 段ネスティングを説明する。ここで記述される実験セット一式は、サンプルファイル `real/sample/USER.online-nesting.sh` を `USER.sh` に名前を変更して、「実験用セット一式作成ツール」を実行することで作成される (第 4.2.1 節を参照)。以下の説明では、各領域に対する地形/土地利用データと初期値/境界値データの作成を終えているとする。地形データの作成手順は、第 4.2.8.1 節に示した通りである。

オンライン・ネスティングの設定

親領域と子領域のそれぞれの設定ファイル (`run.***.conf`) において、オンライン・ネスティングのための設定を以下のように `[PARAM_COMM_CARTESC_NEST]` に追加する。

`run.d01.conf` の設定

```
&PARAM_COMM_CARTESC_NEST
ONLINE_DOMAIN_NUM = 1,           領域の番号。外側から 1 番。
ONLINE_IAM_PARENT = .true.,
ONLINE_IAM_DAUGHTER = .false.,
ONLINE_BOUNDARY_USE_QHYD = .false.,
ONLINE_USE_VELZ = .false.,
ONLINE_AGGRESSIVE_COMM = .false.,
/
```

run.d02.conf の設定

```

&PARAM_COMM_CARTESC_NEST
  ONLINE_DOMAIN_NUM = 2,           領域の番号。外側から 1 番。
  ONLINE_IAM_PARENT = .false.,
  ONLINE_IAM_DAUGHTER = .true.,
  ONLINE_BOUNDARY_USE_QHYD = .false.,
  ONLINE_USE_VELZ = .false.,
  ONLINE_AGGRESSIVE_COMM = .false.,
/

```

(ONLINE_DOMAIN_NUM) は、領域の ID 番号であり、外側領域から内側領域へ順番に番号を振っていく。上の例において、親領域と子領域の ID 番号はそれぞれ 1 番と 2 番である。

(ONLINE_IAM_PARENT) と (ONLINE_IAM_DAUGHTER) は、各領域がその親領域や子領域を持っているかを指定する項目である。N 番目の領域において (ONLINE_IAM_PARENT) が .true. であれば、N 番目の領域の計算データは N + 1 の領域番号をもった子領域に送られる。(ONLINE_IAM_DAUGHTER) が .true. であれば、N 番目の境界データは N - 1 番の領域番号をもった親から受け取る。最も外側の領域は親領域としてのみ働き、最も内側の領域は子領域としてのみ働く。一方で、中間的な領域は親領域と子領域の両方を担うので、(ONLINE_IAM_PARENT) と (ONLINE_IAM_DAUGHTER) は共に .true. である。表 4.2.3 は N 段ネスティング実験の設定を示している。

表 4.2.3: N 段ネスティングの設定例

領域	ONLINE_DOMAIN_NUM	ONLINE_IAM_PARENT	ONLINE_IAM_CHILD
最外領域	1	.true.	.false.
中間領域	2 ~ (N-1)	.true.	.true.
最内領域	N	.false.	.true.

(ONLINE_BOUNDARY_USE_QHYD) は、子ドメインの境界条件として親ドメインの水凝結物の値を使うかどうかを指定する。外部入力データから側面境界条件を作成するときには、通常、水凝結物の値は使われない。しかし、SCALE-RM のオンラインネスティング実験では、ネスティングの親子間で同じ物理スキームを使用することが多い。その場合、親領域で計算された水凝結物を子領域の境界条件として与えることができる。これにより、子ドメインの流入境界付近での雲や降水の発生の遅れを抑制することができる。と期待される。(ONLINE_USE_VELZ) は、鉛直速度を子ドメインの境界条件として使うかを指定する。(ONLINE_AGGRESSIVE_COMM) は、親ドメインから子ドメイン (のプロセス) にデータを受け渡す際の MPI 通信に関する設定である。親ドメインは、親ドメインの計算ステップ ((TIME_DT)) 毎に子ドメインに境界条件を渡すが、その際、(ONLINE_AGGRESSIVE_COMM) が .true. の場合は、子ドメインがデータを受け取ったかどうかに関わらず、親ドメインは親ドメインのタイミングでデータを渡し、次の計算を始める。.false. の場合は、子ドメインが前ステップのデータを受け取ったことを確認した後でデータを渡し、次ステップの計算に進む。.true. の場合、親ドメインと子ドメインの計算にかかる時間差が大きいと、メモリ使用量が大きくなり、ハードウェア側の制限により計算が止まることもある。

ランチャーの設定

オンライン・ネスティング実験には、run.***.conf の他に、起動用設定ファイル launch.conf が必要である。

<pre>&PARAM_LAUNCHER NUM_DOMAIN = 2, PRC_DOMAINS = 4, 16, CONF_FILES = run.d01.conf, run.d02.conf, LOG_SPLIT = .false., COLOR_REORDER = .true., /</pre>	<p>領域の数 それぞれの領域で使用する MPI プロセス数 (領域の数だけ必要)</p> <p>それぞれの領域の設定ファイル (領域の数だけ必要)</p> <p>MPI 分割に関するログを出力するか?</p> <p>MPI 分割におけるプロセス番号の再割り当てを行うか?</p>
---	--

(PRC_DOMAINS) と (CONF_FILES) の記載順は対応している必要がある。上記の例の場合は、親領域は 4-MPI 並列、子領域は 16-MPI 並列で実行するように指定されている。launch.conf で指定する MPI プロセス数は、各々の領域の設定ファイル (run.***.conf) で指定された総 MPI プロセス数 (PRC_NUM_X×PRC_NUM_Y) と一致させなければならない。

(LOG_SPLIT) を .true. にした場合は、MPI のコミュニケータの分割のログが出力される。(LOG_SPLIT) のデフォルト値は .false. である。

(COLOR_REORDER) というオプションは、ジョブのプロセス数に応じて MPI のコミュニケータのグループ内のジョブの再配置を行うためのスイッチである。最も大きなプロセス数を持つジョブは最前列に配置される。効率的であるノード内通信が用いられる点で、この方法は合理的である。

実行時には、シングル領域計算の場合とは異なり、計算全体で使用する MPI プロセス数を指定する。例えば、上記の場合だと 20 プロセスを指定する。

```
$ mpirun -n [プロセス数] ./scale-rm launch.conf
```

複数領域の計算が同時に実行されるときに、混同を避けるために、異なるファイル名を入出力ファイルに対して使用しなければならない。例えば、「実験用セト一式作成ツール」によって用意した設定ファイルでは、ヒストリ出力のファイル名を history_d01.pe***.nc, history_d02.pe***.nc としている。

実行時に次のようなメッセージが出力されて、計算が異常終了することがある。これは、子領域の計算領域が親領域の計算領域よりも大きいことを意味するエラーメッセージである。このようなメッセージが出た場合は、地形・土地利用データ、および初期値/境界値の作成からやり直し、設定が適切であるか再度確認されたい。

```
ERROR [COMM_CARTESC_NEST_domain_relate] region of daughter domain is larger than that of parent
```

MPI プロセスの分配に関するガイドライン

オンライン・ネスティング実験では、図 4.2.7 に示したように、複数の領域間で MPI プロセスを共有しない。つまり、それぞれの MPI プロセスは特定の領域の一部を担当することになる。このため、ユーザはいくつの MPI プロセスを各領域に割り当てるかを決める必要がある。この割り当て配分が適切でない場合は、長い待ち時間が発生する。これを避けるためには、各プロセスにおける

時間積分の計算量がプロセス間で可能な限り揃うように、MPI プロセスを配置するのが合理的である^{*2)}。ここで、時間積分の計算量は、格子数とタイムステップ数の積として定義する。

ここでは、N 段ネスティングを考える。n 番目の領域の X 方向、Y 方向、Z 方向の総格子数をそれぞれ $IMAXG_n$ 、 $JMAXG_n$ 、 $KMAX_n$ と表す。また、n 番目の領域の時間ステップ ($TIME_DT$) を DT_n と表す。この時、一番外側の領域 ($n=1$) の時間積分のタイムステップ DT_1 を基準とし、この時間を積分するのに必要な n 番目の領域の計算ステップ数は、

$$TSTEP_n = DT_1/DT_n$$

と表される。領域全体での計算量は、領域が持つ格子数を掛けて

$$OPR_n = IMAXG_n \times JMAXG_n \times KMAX_n \times TSTEP_n$$

と見積もられる。したがって、n 番目の領域に配分する MPI プロセス数 (MPI_n) の目安は、

$$MPI_n = MPI_total \times \frac{OPR_n}{\sum_{m=1}^N OPR_m} \quad (4.2.9)$$

と見積もられる。ここで、 MPI_total は全 MPI プロセス数である。

MPI_n のうち、X 方向 と Y 方向に分配するプロセス数 (PRC_NUM_X 、 PRC_NUM_Y) には任意性が残る。X 方向の格子数 ($IMAX = IMAXG/PRC_NUM_X$ と Y 方向の格子数 ($JMAX = JMAXG/PRC_NUM_Y$) の違いができるだけ小さくなるように、これらを設定することが推奨される。その理由は、このような設定によってハ口領域を減らせるためである。結果的に、計算機の演算性能を引き出しやすいと考えられる^{*3)}。

上記の説明では、格子点数と積分時間の時間刻み幅のみを考慮した。しかし、現実大気のネスティング実験のような実計算では、各物理過程の時間間隔の違いや、領域内や領域間の MPI 通信にかかる時間の違いも計算時間に影響を及ぼす。オンライン・ネスティングの設定では、通常は最内領域で最も計算負荷が高く、そこでの MPI 通信の待ち時間が最小となるようにプロセスを分配するのが効率的であることが多い。大規模計算、長期積分、アンサンブル実験を行う場合は、上記の方法で効率的な配分を大まかに見積もり、微調整することを勧める。

^{*2)} 正確を期すなら演算量を見積もる必要がある。

^{*3)} ただし、スレッド並列も併用するハイブリッド並列の場合には、スレッド間の演算量の不釣り合いを小さくするために X 方向よりも Y 方向の格子点数を大きく取る必要がある。

4.3 力学コアの設定

4.3.1 デカルト座標系 C-grid による力学コア

本節では、デカルト座標系 C-grid による力学コアについて記述する。SCALE-RM では、デカルト座標系 C-grid が採用されている。C-grid において、密度・熱力学変数・水蒸気といったスカラー量はセル中心で定義され、運動量やフラックスといったベクトル量の成分はセル中心から半格子ずれた位置 (staggered point) で定義される。詳細は SCALE-RM の記述文書を参照されたい。

4.3.1.1 時間積分の数値解法の設定

力学コアの時間積分の数値解法は、設定ファイル内の [PARAM_ATMOS] の (ATMOS_DYN_TYPE) で行う。

```
&PARAM_ATMOS
  ATMOS_DYN_TYPE = "HEVI", ; 表 4.3.1 より選択。
/
```

陽解法を用いる場合は時間刻み幅は音速に依存するが、陰解法を用いる場合は依存しない。多くの現実大気実験では、鉛直格子間隔は水平格子間隔よりも非常に小さい。そのため、完全陽解法 (「HEVE」) を用いると、鉛直格子間隔や音速に応じて、かなり小さな時間刻み幅を設定する必要がある。そのため、現実大気実験では「HEVI」がしばしば用いられる。

表 4.3.1: 力学過程における時間積分法の選択肢

設定名	スキームの説明	備考
HEVE	完全陽解法 (水平陽解法-鉛直陽解法)	
HEVI	水平陽解法-鉛直陰解法	現実大気実験ではこちらを推奨

4.3.1.2 時間・空間差分スキーム

時間・空間差分スキームの設定は、[PARAM_ATMOS_DYN] で設定する。現実大気実験で推奨される設定の例を以下に示す。


```

&PARAM_ATMOS_DYN
ATMOS_DYN_TINTEG_SHORT_TYPE = RK4, ; 表 4.3.2 の時間スキームより選択
ATMOS_DYN_TINTEG_TRACER_TYPE = RK3WS2002, ; 時間積分スキームより選択
ATMOS_DYN_FVM_FLUX_TYPE = UD3, ; 表 4.3.2 の空間スキームより選択
ATMOS_DYN_FVM_FLUX_TRACER_TYPE = UD3KOREN1993, ; 空間スキームより選択
ATMOS_DYN_FLAG_FCT_TRACER = .false., ; FCT スキームを利用するかどうか
ATMOS_DYN_NUMERICAL_DIFF_COEF = 0.D0,
ATMOS_DYN_NUMERICAL_DIFF_COEF_TRACER = 0.D0,
ATMOS_DYN_wdamp_height = 15.D3, ; スポンジ層の下端高度
; (レイリー摩擦用)
/

```

表 4.3.2 に、時間スキームや空間スキームの他のオプションを示す。時間刻み幅は、選択するスキームに応じて数値安定性を考慮して設定すべきである。時間刻み幅を決定する基準は、第 4.2.5 節に記述する。

表 4.3.2: 時間スキーム・空間スキームの設定

設定名	スキーム名
時間積分スキーム	
RK3	Heun 型の 3 段 3 次精度のルンゲ・クッタスキーム
RK3WS2002	Wicker and Skamarock (2002) の 3 段 (一般には)2 次精度のルンゲ・クッタスキーム
RK4	4 段 4 次精度のルンゲ・クッタスキーム
RK7s6o	Lawson (1967) の 7 段 6 次精度ルンゲ・クッタスキーム (HEVE でのみ利用可)
RK11s8o	Cooper and Verner (1972) の 11 段 8 次精度ルンゲ・クッタスキーム (HEVE でのみ利用可)
空間差分スキーム	
	最小のハ口格子数
CD2	2 次精度の中心系フラックス 1
CD4	4 次精度の中心系フラックス 2
CD6	6 次精度の中心系フラックス 3
CD8	8 次精度の中心系フラックス 3
UD3	3 次精度の風上系フラックス 2
UD5	5 次精度の風上系フラックス 3
UD7	7 次精度の風上系フラックス 3
UD3KOREN1993	3 次精度の風上系フラックス + Ko- ren(1993) フィルター 2

SCALE-RM において、力学の予報変数に対する移流スキーム (**ATMOS_DYN_FVM_FLUX_TYPE**) で指定) のデフォルト設定は、4 次精度の中心系フラックス (CD4) である。地形の起伏が大きい計算で CD4 を用いると、格子スケールの偽の鉛直流が山頂周辺でしばしば確認される。この格子スケールの流れは、UD3 を使用することで緩和される。そのため、地形の起伏が大きい実験では UD3 を使用することを推奨する。

4.3.1.3 数値拡散

数値安定性は、計算で用いる力学スキームに依存する (第 4.3.1.2 節)。数値拡散を適用することで、安定性を良くすることができる。SCALE-RM では、数値拡散として超粘性と発散減衰 (divergence

damping) を使用できる。

これらの設定例を以下に示す。

```
&PARAM_ATMOS_DYN
ATMOS_DYN_NUMERICAL_DIFF_LAPLACIAN_NUM = 2,
ATMOS_DYN_NUMERICAL_DIFF_COEF = 1.D-4,
ATMOS_DYN_NUMERICAL_DIFF_COEF_TRACER = 0.DO,
ATMOS_DYN_DIVDMP_COEF = 0.DO,
/
```

超粘性は、対象とする変数の高波数成分を小さくするもので、主に、数値ノイズの除去のために使われる。変数 ϕ に対する超粘性は以下のように定義されている。

$$\nu \Delta^n \rho(\phi - \phi_0). \quad (4.3.1)$$

ここで、 ν は粘性係数、 ϕ_0 はその変数に対する基準状態 (4.3.1.7 節参照)、 Δ はラプラシアン演算子

$$\Delta^n = \nabla^{2n} = \frac{\partial^{2n}}{\partial x^{2n}} + \frac{\partial^{2n}}{\partial y^{2n}} + \frac{\partial^{2n}}{\partial z^{2n}}. \quad (4.3.2)$$

である。超粘性の階数は、(ATMOS_DYN_NUMERICAL_DIFF_LAPLACIAN_NUM) で指定する。

(ATMOS_DYN_NUMERICAL_DIFF_COEF) と (ATMOS_DYN_NUMERICAL_DIFF_COEF_TRACER) は、超粘性に対する無次元の係数である。(ATMOS_DYN_NUMERICAL_DIFF_COEF) は密度・運動量・温位といった力学の予報変数に対する係数であり、(ATMOS_DYN_NUMERICAL_DIFF_COEF_TRACER) は比湿・水物質・乱流運動エネルギーといったトレーサ変数に対する係数である。この係数の値が大きいほど減衰は強く、もしこの係数が 1 であれば、2-grid scale のノイズは 1 タイムステップで $1/e$ 倍まで減衰する。係数が 1 よりも大きい場合には、超粘性自体が数値不安定を引き起こす可能性がある。UD3, UD5 等の風上スキームを用いる場合は既に数値拡散が含まれているので、(ATMOS_DYN_NUMERICAL_DIFF_COEF) をゼロに設定できる。

発散減衰もまた、数値安定性を向上させるために利用できる。発散減衰は、3 次元の発散成分を小さくするもので、主に音波の除去のために使用する。その係数は (ATMOS_DYN_DIVDMP_COEF) で設定する。

4.3.1.4 正定値性

多くの場合、トレーサ移流では非負値が保証されることが要求される。UD3KOREN1993 スキームでは非負値が保証されるが、その他のスキームではそうでない。UD3KOREN1993 以外のスキームを選択した場合は、非負保証のために FCT フィルタを用いることができる。移流スキームは (ATMOS_DYN_FVM_FLUX_TRACER_TYPE) で指定し、FCT フィルタは (ATMOS_DYN_FLAG_FCT_TRACER) を .true. とすれば利用できる。

4.3.1.5 八口

必要な八口の格子点数は、表 4.3.2 に示すように空間差分スキームに依存する。x 方向や y 方向に対する八口の格子点数はそれぞれ、[PARAM_ATMOS_GRID_CARTESC_INDEX] における (IHALO) と (JHALO) で設定する。デフォルトでは八口の格子点数は 2 であり、「UD3」、「UD3UD3KOREN1993」

「CD4」に対して適切な設定である。例えば、5次風上差分スキームに対するハロは以下のように設定する。

```
&PARAM_ATMOS_GRID_CARTESC_INDEX
  IHALO = 3,
  JHALO = 3,
/
```

4.3.1.6 コリオリ力

この小節では、SCALE-RMにおけるコリオリ力の取り扱いを説明する。デフォルトではコリオリパラメータはゼロであるので、実験においてコリオリ力を導入するには(いくつかの)パラメータを設定する必要がある。コリオリパラメータの設定には2種類あり、 f -面/ β -面および球面である。この種類は [PARAM_CORIOLIS] の (CORIOLIS_type) で指定できる。

f -面/ β -面

(CORIOLIS_type) を “PLANE” に設定した場合は、コリオリパラメータ f は $f = f_0 + \beta(y - y_0)$ と計算される。デフォルトでは $f_0 = 0$ および $\beta = 0$ あり、コリオリ力は考慮されない。

$\beta = 0$ とした平面は f -面と呼ばれ、そうでない場合は β -面と呼ばれる。 f_0, β, y_0 は、[PARAM_CORIOLIS] のパラメータによって次のように設定する。

```
&PARAM_CORIOLIS
  CORIOLIS_type = 'PLANE',
  CORIOLIS_f0 = 1.0D-5, ! f0
  CORIOLIS_beta = 0.0D0, ! beta
  CORIOLIS_y0 = 0.0D0, ! y0
/
```

(CORIOLIS_f0), (CORIOLIS_beta) のデフォルト値はともにゼロであり、(CORIOLIS_y0) のデフォルト値は領域中心の y である。

地衡風に伴うコリオリ力と地衡風バランスにある圧力勾配力を加えたい場合は、ユーザー定義ファイル mod_user.f90 を修正する必要がある(第 5.2.1 節を参照)。

scale-rm/test/case/inertial_oscillation/20km のテストケースは、地衡風の圧力勾配力を入れた f -面での実験例である。

球面

球面において、コリオリパラメータは $f = 2\Omega \sin(\phi)$ のように緯度に依存する。ここで、 Ω は球の角速度、 ϕ は緯度である。この場合、(CORIOLIS_type) は “SPHERE” に設定する必要がある。球の角速度は [PARAM_CONST] のパラメータ (CONST_OHM) で設定する(第 4.5.3 節を参照)。各格子点の緯度は、第 4.2.4 節で説明した地図投影法に応じて決定される。

コリオリ力に伴う側面境界条件の注意点

地衡風が存在する場合は、その垂直方向には風場が周期的でないため、周期境界条件を適用することはできない。 f -面では地衡風が存在しない場合には両方向に周期境界条件を適用することができる。一方で、 β -面や球面においてコリオリパラメータは南北の境界で異なる値を持つために、 y 方向の側面境界に対して周期境界条件を用いることはできない。子午面方向の地衡風が存在しない場合は、全ての設定 (f -面、 β -面、球面) において x 方向の側面境界は周期境界にすることができる。

f -面や β -面による実験においては、南北境界側面境界条件としてナッジング型境界を用いることができる。ナッジングを行う境界の詳細は、第 4.2.3.5 節を参照されたい。

scale-rm/test/case/rossby_wave/beta-plane のテストケースは、ナッジングを行う南北境界を適用した β -面上での実験例である。

4.3.1.7 基準状態

4.3.1.3 節で説明したとおり、基準状態は力学過程の数値粘性の計算で使用される。また、運動方程式の気圧傾度力の計算にも使用される。基準状態は静水圧バランスが成り立つように定義されるため、基準状態からの偏差で気圧傾度力を計算することができる。

基準状態の設定は以下の通りである。

```
&PARAM_ATMOS_REFSTATE
ATMOS_REFSTATE_IN_BASENAME = "",           ! 入力ファイル名
ATMOS_REFSTATE_OUT_BASENAME = "",         ! 出力ファイル名
ATMOS_REFSTATE_OUT_TITLE = "SCALE-RM RefState, ! 出力ファイル中のタイトル
ATMOS_REFSTATE_OUT_DTYPE = "DEFAULT",    ! 出力ファイル中のデータタイプ
ATMOS_REFSTATE_TYPE = "UNIFORM",         ! 基準状態のタイプ
ATMOS_REFSTATE_TEMP_SFC = 300.0D0,       ! 地表面温位
ATMOS_REFSTATE_RH = 0.0D0,              ! 相対湿度
ATMOS_REFSTATE_POTT_UNIFORM = 300.0D0,   ! 温位
ATMOS_REFSTATE_UPDATE_DT = -1.0D0,       ! 更新間隔 [秒]
/
```

(**ATMOS_REFSTATE_IN_BASENAME**) が指定された場合、基準状態はそのファイルから読み込まれる。そうでなければ、計算開始時に、(**ATMOS_REFSTATE_TYPE**) で指定されたタイプに従って基準状態が作られる。(**ATMOS_REFSTATE_TYPE**) が取りうる値は "ISA", "UNIFORM", "ZERO", "INIT" であり、それぞれの説明は以下の通り。

ISA 国際標準大気。地表面温位、相対湿度、地表面気圧は、それぞれ (**ATMOS_REFSTATE_TEMP_SFC**), (**ATMOS_REFSTATE_RH**), (**CONST_Pstd**) (Section 4.5.3 節参照) で指定する。

UNIFORM 温位と相対湿度が一定のプロファイル。温位と相対湿度は、それぞれ (**ATMOS_REFSTATE_POTT_UNIFORM**), (**ATMOS_REFSTATE_RH**) で指定する。

ZERO すべての変数が 0 であるプロファイル。

INIT 水平平均された初期値。

(**ATMOS_REFSTATE_TYPE**) が "INIT" の場合、シミュレーションの途中で、基準状態を更新することができる。更新間隔は、(**ATMOS_REFSTATE_UPDATE_DT**) で指定する。単位は秒である。基準状態は、更新時における水平平均値となる。(**ATMOS_REFSTATE_UPDATE_DT**) が負の値の場合、基準状態はシミュレーションの間、更新されない。

シミュレーションをリスタートする場合には、基準状態の設定に気をつける必要がある。リスタートシミュレーションの結果が継続シミュレーションと一致するためには、両者の基準状態が同じになるよう設定をする必要がある。"INIT" タイプを使用し、基準状態を更新する場合 ($ATMOS_REFSTATE_UPDATE_DT > 0$)、更新間隔をリスタート間隔の約数に設定することで、リスタートシミュレーションと継続シミュレーションの基準状態を一致させることができる。また、"INIT" タイプを使用し、基準状態を更新しない場合 ($ATMOS_REFSTATE_UPDATE_DT < 0$)、リスタート前のランで基準状態をファイルに出力し、リスタート後のランでそのファイルを読み込むことで同じ基準状態を使用することができる。リスタート前のランでの出力ファイル名は ($ATMOS_REFSTATE_OUT_BASENAME$) で、リスタート後のランでの入力ファイル名は ($ATMOS_REFSTATE_IN_BASENAME$) で指定する。

4.4 物理過程の設定

4.4.1 雲微物理スキーム

雲微物理スキームの選択は、`init.conf` と `run.conf` 中の `[PARAM_ATMOS]` の `(ATMOS_PHY_MP_TYPE)` で設定する。このとき、`(ATMOS_PHY_MP_TYPE)` は初期値作成用とシミュレーション実行用の設定ファイル両方で同じスキームを指定する必要がある。雲微物理スキームに対する更新間隔は `[PARAM_TIME]` で設定する。呼び出しの時間間隔の詳細な設定は、第 4.2.5 節を参照されたい。以下の例は、氷雲を含む 6-class 1 モーメントバルク法を用いるときの設定を示している。

```
&PARAM_ATMOS
  ATMOS_PHY_MP_TYPE = "TOMITA08", ; 表 4.4.1 より選択。
/
```

表 4.4.1: 雲微物理スキームの選択肢

スキーム名	スキームの説明	参考文献
OFF	雲微物理による水の相変化を計算しない	
KESSLER	3-class 1 モーメントバルク法	Kessler (1969)
TOMITA08	6-class 1 モーメントバルク法	Tomita (2008)
SN14	6-class 2 モーメントバルク法	Seiki and Nakajima (2014)
SUZUKI10	スペクトルビン法 (氷雲を含めるかはオプションで選択)	Suzuki et al. (2010)

典型的な雲微物理スキームとして、以下の 4 種類のスキームが用意されている。

1. 氷を含まない 1 モーメントバルク法 [Kessler \(1969\)](#)
このスキームでは、粒径分布関数は質量濃度のみで表現されると仮定する。カテゴリは雲粒と雨粒の 2 種類であり、空気的全密度に対する雲水や雨水の密度比が予報される。
2. 氷を含む 1 モーメントバルク法 [Tomita \(2008\)](#)
このスキームでは、粒径分布関数に関して [Kessler \(1969\)](#) と同様の仮定を置くが、水のカテゴリは雲粒、雨粒、氷粒、雪片、あられの 5 種類である。
3. 氷を含む 2 モーメントバルク法 [Seiki and Nakajima \(2014\)](#)
このスキームでは、粒径分布関数は雲粒の数密度とそれらの質量濃度によって表現される。
4. 1 モーメントビン法 [Suzuki et al. \(2010\)](#)
このスキームでは、粒径分布関数を各カテゴリに対して適切なビン数を用いて離散化すること

で表現する。水のカテゴリは、雲粒、雨粒、氷粒、雪片、霰、雹の5種類である。粒径分布を表現する精度はビン数の取り方に依存する。

上記の雲微物理スキームの精度は1から4の順に高くなるが、その分計算コストも高くなる。

SUZUKI10 を選択する場合には、(ATMOS_PHY_MP_TYPE) の指定に加えて、初期値生成やシミュレーション実行用の設定ファイルの両方に以下のような設定が必要である。

```
&PARAM_ATMOS_PHY_MP_SUZUKI10_bin
nbin = 33, ; ビンの数
ICEFLG = 1, ; 氷雲を考慮するか?(0:なし, 1:あり)
kphase = 0, ; 衝突併合過程における衝突カーネル関数の種類。0: hydro-
; dynamic kernel, 1: Golovin type kernel (Golovin (1963)), 2:
; Long type kernel (Long (1974))。詳細は SCALE-RM の記述
; 文書を参照されたい。
/
```

この場合も、初期値生成の設定ファイル内の PARAM_ATMOS_PHY_MP_SUZUKI10_bin は、シミュレーション実行用の設定ファイルと同じにしなければならない。micpara.dat という雲微物理の計算に必要なファイルは、自動生成される。micpara.dat が既存の場合は、それを計算に使う。最初の行に書かれている nbin を変更した場合は、このファイルは作り直される。もし run.conf に記載されている nbin が micpara.dat 内の nbin と異なる場合は、以下のようなエラーメッセージを出力し、計算が行われずにプログラムは終了する。

```
ERROR [ATMOS_PHY_MP_suzuki10_setup] nbin in inc_tracer and nbin in micpara.dat is
different check!
```

このエラーを避けるために、前もって古い micpara.dat を消去して、再生成する必要がある。新しいデータファイルは、SUZUKI10 を設定して SCALE-RM を実行すれば自動で作り直される。

4.4.2 積雲パラメタリゼーション

積雲パラメタリゼーションは、設定ファイル init.conf と run.conf 中の [PARAM_ATMOS] の (ATMOS_PHY_CP_TYPE) で指定する。積雲パラメタリゼーションを呼び出す時間間隔は、[PARAM_TIME] で設定する (詳細は第 4.2.5 節を参照)。

```
&PARAM_ATMOS
ATMOS_PHY_CP_TYPE = "KF", ; 表 4.4.2 に示すスキームから選択
/
```

表 4.4.2: 積雲パラメタリゼーションの選択肢

スキーム名	スキームの説明	参考文献
OFF	積雲パラメタリゼーションを使用しない	
KF	Kain-Fritsch 対流パラメタリゼーション	Kain and Fritsch (1990); Kain (2004)

SCALE-RM の現版では、積雲パラメタリゼーションとして KF のみ対応している。KF は質量フラックス保存型の積雲パラメタリゼーションスキームであり、サブグリッドスケールの一つの積雲を表現する。格子間隔が 5 km 以下の場合に、非自然的な強力な深い対流が計算されることを避けるために、この積雲パラメタリゼーションを使用することを推奨する。積雲パラメタリゼーションと雲微物理のスキームは、RAIN_CPRAIN_MP という名前前で別々に降水量を出力する。RAIN と PREC は、両者のスキームによる合計の降水量である。つまり、 $RAIN = RAIN_CP + RAIN_MP$ 、 $PREC = PREC_CP + PREC_MP$ である。KF は大気中の水蒸気と水物質（雲水・雲氷等）の変化を計算することに注意が必要である。水物質の変化は、雲微物理の過程でさらに計算される。KF では、雲水や雲氷等の数密度は考慮されない。したがって、KF における水物質の変化と関係した数密度の変化は、指定した関数によって見積もられ、2 モーメントの雲微物理スキームへと渡される。

Kain-Fritsch スキームに関する設定

KF では、以下のチューニングパラメータを設定できる。

```
&PARAM_ATMOS_PHY_CP_KF
  ATMOS_PHY_CP_kf_trigger_type = 1, ; トリガー関数の種類: 1=Kain, 3=Narita-Ohmori
  ATMOS_PHY_CP_kf_dlcape = 0.1, ; CAPE の減率
  ATMOS_PHY_CP_kf_dlifetime = 1800, ; 深い対流の生存時間のスケール [sec]
  ATMOS_PHY_CP_kf_slifetime = 2400, ; 浅い対流の生存時間のスケール [sec]
  ATMOS_PHY_CP_kf_DEPTH_USL = 300, ; 上昇流の発生源となる層 (updraft source layer) の探索開始
  ; 時の深さ [hPa]
  ATMOS_PHY_CP_kf_prec_type = 1, ; 降水の種類: 1=Ogura-Cho, 2=Kessler
  ATMOS_PHY_CP_kf_rate = 0.03, ; Ogura-Cho の降水関数における雲水と降水の比
  ATMOS_PHY_CP_kf_thres = 1.E-3, ; Kessler の降水関数における Autoconversion の比
  ATMOS_PHY_CP_kf_LOG = false, ; 警告メッセージを出力するか?
/
```

ユーザーはトリガー関数として以下の 2 つから選択できる。

1. Kain タイプ [Kain \(2004\)](#)
SCALE-RM におけるデフォルト。
2. Narita and Ohmori タイプ [Narita and Ohmori \(2007\)](#)
日本域でより適していると思われるトリガー関数。

また、降水関数は以下の 2 つから選択できる。

1. Ogura-Cho タイプ [Ogura and Cho \(1973\)](#)
SCALE-RM におけるデフォルト。この場合、`(ATMOS_PHY_CP_kf_rate)` というチューニングパラメータをさらに設定できる。
2. Kessler タイプ [Kessler \(1969\)](#)
Kessler type の簡単な降水関数。この場合、`(ATMOS_PHY_CP_kf_thres)` というチューニングパラメータをさらに設定できる。

`[PARAM_TIME]` 内の `(TIME_DT_ATMOS_PHY_CP)` で指定する、KF を呼び出す時間間隔もまたチューニングパラメータであり、降水量に影響を及ぼす。`(TIME_DT_ATMOS_PHY_CP)` の最初の設定として 300 秒を推奨する。`(PARAM_ATMOS_PHY_CP_kf_LOG)` を true にした場合は、上昇流の発生源となる層がモデルの上下端を超えた際に警告メッセージを出力する。上昇流の発生源となる層はしきい値（デフォルトでは 50 hPa）よりも厚い必要があるが、この条件を満たさなくても計算は止まらない。

4.4.3 乱流スキーム

Large-eddy シミュレーション (LES) において、サブグリッドスケール乱流モデルは、移流項によるサブグリッドスケールへのエネルギーカスケードを表現するために存在する。

乱流スキームの選択は、`init.conf` と `run.conf` 中の `[PARAM_ATMOS]` の `(ATMOS_PHY_TB_TYPE)` で設定する。乱流スキームを呼び出す時間間隔は、`[PARAM_TIME]` で設定する (詳細は第 4.2.5 節を参照)。

```
&PARAM_ATMOS
  ATMOS_PHY_TB_TYPE = "SMAGORINSKY", ; 表 4.4.3 より選択。
/
```

表 4.4.3: 乱流スキームの選択肢

スキーム名	スキームの説明	参考文献
OFF	乱流過程を計算しない	
SMAGORINSKY	Smagorinsky Lilly 型のサブグリッドスケール乱流モデル	Smagorinsky (1963); Lilly (1962); Brown et al. (1994); Scotti et al. (1993)
D1980	Deardorff 型のサブグリッドスケール乱流モデル	Deardorff (1980)

SMAGORINSKY スキームは、RANS 計算での水平渦粘性としても使用できる。惑星境界層パラメタリゼーション (第 4.4.4 節) は、鉛直混合のみを取り扱うスキームであり、RANS 計算において水平粘性を考慮したい場合には、水平混合にサブグリッドスケール乱流モデルを利用することができる。サブグリッドスケール乱流モデルを惑星境界層パラメタリゼーションと併用する場合、SMAGORINSKY スキームにおいては鉛直渦粘性は無効になる。

4.4.4 惑星境界層スキーム

惑星境界層 (PBL) パラメタリゼーションは、惑星境界層における乱流による鉛直混合を表現するためのスキームである。このスキームは、レイノルズ平均ナビエ-ストークス方程式の計算 (RANS) で用いられる。

惑星境界層パラメタリゼーションスキームは、設定ファイル `init.conf`、`run.conf` 中の `[PARAM_ATMOS]` の `(ATMOS_PHY_BL_TYPE)` で指定する。このスキームを呼び出す時間間隔は、`[PARAM_TIME]` で設定する (詳細は第 4.2.5 節を参照)。

```
&PARAM_ATMOS
  ATMOS_PHY_BL_TYPE = "MYNN", ; 表 4.4.4 に示したスキームから選択
/
```

惑星境界層スキームは鉛直混合のみを計算する。RANS において水平渦粘性を考慮したい場合には、サブグリッドスケール乱流モデルを水平混合を表現するために用いることができる (第 4.4.3 節を参照)。

表 4.4.4: 惑星境界層スキームの選択

スキーム名	スキームの説明	参考文献
OFF	惑星境界層の過程を計算しない	
MYNN	MYNN level 2.5 boundary scheme	Mellor and Yamada (1982); Nakanishi and Niino (2004, 2009)

4.4.5 放射スキーム

放射スキームの選択は、init.conf と run.conf 中の [PARAM_ATMOS] の (ATMOS_PHY_RD_TYPE) で設定する。放射スキームが呼び出される時間間隔は、[PARAM_TIME] で設定する (第 4.2.5 節を参照)。

```
&PARAM_ATMOS
  ATMOS_PHY_RD_TYPE = "MSTRNX", ; 表 4.4.5 に示した放射スキームから選択。
/
```

表 4.4.5: 放射スキームの選択肢

スキーム名	スキームの説明	参考文献
OFF または NONE	放射過程を計算しない	
OFFLINE	外部ファイルから与えた放射データを指定	
MSTRNX	mstrnX (相関 k 分布法ブロードバンド大気放射伝達モデル)	Sekiguchi and Nakajima (2008)

OFFLINE の場合の設定

[PARAM_ATMOS] の (ATMOS_PHY_RD_TYPE) を OFFLINE とした場合は、データのファイル名やその情報は [PARAM_ATMOS_PHY_RD_OFFLINE] で設定する。


```

&PARAM_ATMOS_PHY_RD_OFFLINE
  ATMOS_PHY_RD_OFFLINE_BASENAME = "", ; 外部データのファイルのベース名
  ATMOS_PHY_RD_OFFLINE_AXISTYPE = "XYZ", ; ファイルにおける 3 次元データの
                                           空間次元順。'XYZ' or 'ZXY'

  ATMOS_PHY_RD_OFFLINE_ENABLE_PERIODIC_YEAR = .false., ; 年ごとの繰り返しデータかどうか
  ATMOS_PHY_RD_OFFLINE_ENABLE_PERIODIC_MONTH = .false., ; 月ごとの繰り返しデータかどうか
  ATMOS_PHY_RD_OFFLINE_ENABLE_PERIODIC_DAY = .false., ; 日ごとの繰り返しデータかどうか
  ATMOS_PHY_RD_OFFLINE_STEP_FIXED = 0, ; とある決まった時間ステップのデー
                                           タのみを使う場合に、そのステップ
                                           番号を指定する。時間変化するデー
                                           タを与える場合は 0 以下を指定する。

  ATMOS_PHY_RD_OFFLINE_CHECK_COORDINATES = .true., ; ファイル内の座標変数とモデル実
                                           行時の値の整合性を確認するかどうか

  ATMOS_PHY_RD_OFFLINE_STEP_LIMIT = 0, ; 読み出すデータの時間ステップ数
                                           の上限。この数を越える時間ステッ
                                           プのデータは読まれない。0 を与え
                                           ると上限無し。

  ATMOS_PHY_RD_OFFLINE_DIFFUSE_RATE = 0.5D0, ; 地表面下向き直達短波放射のデー
                                           タを与えない場合に使われる散乱率
                                           (散乱日射/全天日射)

/

```

外部データのファイル形式は、初期値/境界値データのファイルと同じ軸情報を持つ netCDF 形式のファイルである。外部データとして、表 4.4.6 にある変数を与える。

表 4.4.6: 外部ファイルとして与える放射データ

変数名	変数の説明	次元数
RFLX_LW_up	上向き長波放射フラックス	空間 3 次元+時間 1 次元
RFLX_LW_dn	下向き長波放射フラックス	空間 3 次元+時間 1 次元
RFLX_SW_up	上向き短波放射フラックス	空間 3 次元+時間 1 次元
RFLX_SW_dn	下向き短波放射フラックス	空間 3 次元+時間 1 次元
SFLX_LW_up	地表面上向き長波放射	空間 2 次元+時間 1 次元
SFLX_LW_dn	地表面下向き長波放射	空間 2 次元+時間 1 次元
SFLX_SW_up	地表面上向き短波放射	空間 2 次元+時間 1 次元
SFLX_SW_dn	地表面下向き短波放射	空間 2 次元+時間 1 次元
SFLX_SW_dn_dir	地表面下向き直達短波放射	空間 2 次元+時間 1 次元 オプション

MSTRNX に対する設定

放射計算のための太陽放射量は、モデルの計算設定に従って日付、時刻、緯度経度を用いて計算される。理想実験のために、計算領域全域で緯度経度や時刻を固定した値を任意に与えることもできる。また、太陽定数の変更が可能である。これらは、以下のように [PARAM_ATMOS_SOLARINS] で設定する。

```

&PARAM_ATMOS_SOLARINS
  ATMOS_SOLARINS_constant = 1360.250117      太陽定数 [W/m2]
  ATMOS_SOLARINS_set_ve = .false.             春分点条件に設定するかどうか
  ATMOS_SOLARINS_set_ideal = .false.          黄道傾斜角と離心率を固定するかどうか
  ATMOS_SOLARINS_obliquity = 0.0              ATMOS_SOLARINS_set_ideal=.true. の場合の黄道
                                              傾斜角 [deg.]
  ATMOS_SOLARINS_eccentricity = 0.0          ATMOS_SOLARINS_set_ideal=.true. の場合の離心
                                              率
  ATMOS_SOLARINS_fixedlatlon = .false.        放射計算の緯度経度を固定するかどうか
  ATMOS_SOLARINS_lon = 135.221                ATMOS_SOLARINS_fixedlatlon=.true. の場合の経
                                              度 [deg.]
  ATMOS_SOLARINS_lat = 34.653                 ATMOS_SOLARINS_fixedlatlon=.true. の場合の緯
                                              度 [deg.]
  ATMOS_SOLARINS_fixeddate = .false.          放射計算の日時を固定するかどうか
  ATMOS_SOLARINS_date = -1,-1,-1,-1,-1,-1,   ATMOS_SOLARINS_fixeddate=.true. の場合の年月
                                              日時刻 [Y,M,D,H,M,S]
/

```

地球の公転周期上の位置は、春分点を基準に計算される。しかし、グレゴリオ暦にはうるう年があり、毎年春分の日とは同じではない。そこで、2000年3月20日7時35分を春分通過点と暦を一致させる基準時刻とし、太陽年を365.2425日として扱う。この値は平均太陽年である365.24219よりも大きいので、およそ400年で公転軌道に3時間分のずれを生じるが、ほとんど無視できる。

(`ATMOS_SOLARINS_set_ideal`) を `.true.` とした場合は、(`ATMOS_SOLARINS_obliquity`) や (`ATMOS_SOLARINS_eccentricity`) でそれぞれ指定した黄道傾斜角 = 地軸 (deg.) と離心率を用いて太陽放射を計算する。これらの設定は理想実験や地球以外の惑星を想定した実験を行うときに有用である。(`ATMOS_SOLARINS_fixedlatlon`) を `.true.` とした場合は、計算領域全域において (`ATMOS_SOLARINS_lon`, `ATMOS_SOLARINS_lat`) で指定した緯度経度をもとに太陽放射を計算する。これらのデフォルト値は、`[PARAM_MAPPROJECTION]` で設定した (`MAPPROJECTION_basepoint_lon`, `MAPPROJECTION_basepoint_lat`) である。`[PARAM_MAPPROJECTION]` の説明は第4.2.4節を参照されたい。(`ATMOS_SOLARINS_fixeddate`) を `.true.` とした場合は、(`ATMOS_SOLARINS_date`) で指定した日時(年、月、日、時、分、秒)を用いて太陽放射を計算する。このとき、負の値を指定したものは固定されない。例えば、(`ATMOS_SOLARINS_date`) を 2000,3,20,-1,-1,-1 と指定したときには、日付は2000年3月20日(春分)に固定されるが、太陽放射の日変化が計算で考慮される。(`ATMOS_SOLARINS_set_ve`) を `.true.` とした場合は、理想実験で用いる春分点条件のための設定がまとめて行われる。このオプションは、黄道傾斜角と離心率をゼロ、計算領域全域を緯度0度、経度0度、日時を2000年3月20日12時00分00秒に設定する。上述した (`ATMOS_SOLARINS_set_ideal`, `ATMOS_SOLARINS_fixedlatlon`, `ATMOS_SOLARINS_fixeddate`) を用いてこれらの値を設定した場合は、それらの設定が優先される。

実験設定によっては、モデル上端の高度が大気の高さと比べて随分と低く、10-20 km ということがしばしばある。この状況に対処するために、放射計算に対する上端高度を、モデル上端の高度とは別に設定できる。放射計算用の上端高度のとり方は、放射スキームのパラメータファイルに依存する。例えば、MSTRNXを使う場合は、そのデフォルトのパラメータテーブルは最上層が100 kmであることを想定している。モデル上端よりも高高度で放射計算を行うために、いくつかの層が用意される。デフォルトでは追加される層は10層である。もしモデル上端が22 kmであれば、放射計算のために、格子間隔7.8 kmの層を10層追加する。これらは `[PARAM_ATMOS_PHY_RD_MSTRN]` で設定する。

MSTRNXでは、放射計算のためのパラメータテーブルが必要である。デフォルトでは、太陽放射が

ら赤外放射までの波長帯を 29 バンド 111 チャンネルに分割し、雲・エアロゾル粒子は 9 種類、粒径を 8 ビンで表した時のテーブルを用いる。ディレクトリ `scale-rm/test/data/rad/` に、3 種類のパラメータファイルを用意している。

```
scale-rm/test/data/rad/PARAG.29 ; 気体吸収パラメータファイル
scale-rm/test/data/rad/PARAPC.29 ; 雲・エアロゾル吸収・散乱パラメータファイル
scale-rm/test/data/rad/VARDATA.RM29 ; 雲・エアロゾル粒径パラメータファイル
```

これらのファイルは、`[PARAM_ATMOS_PHY_RD_MSTRN]` で以下のように指定する。

<code>&PARAM_ATMOS_PHY_RD_MSTRN</code>	
<code>ATMOS_PHY_RD_MSTRN_KADD = 10</code>	モデルトップから TOA までの間の大気層数
<code>ATMOS_PHY_RD_MSTRN_TOA = 100.0</code>	放射計算で考慮する大気最上層 (TOA) の高さ [km] (パラメータファイルに依存)
<code>ATMOS_PHY_RD_MSTRN_nband = 29</code>	波長帯ビンの数 (パラメータファイルに依存)
<code>ATMOS_PHY_RD_MSTRN_nptype = 9</code>	エアロゾルの種類の数 (パラメータファイルに依存)
<code>ATMOS_PHY_RD_MSTRN_nradius = 8</code>	エアロゾル粒径ビンの数 (パラメータファイルに依存)
<code>ATMOS_PHY_RD_MSTRN_GASPARA_IN_FILENAME = "PARAG.29"</code>	気体吸収パラメータの入力ファイル
<code>ATMOS_PHY_RD_MSTRN_AEROPARA_IN_FILENAME = "PARAPC.29"</code>	雲・エアロゾル吸収・散乱パラメータの入力ファイル
<code>ATMOS_PHY_RD_MSTRN_HYGROPARA_IN_FILENAME = "VARDATA.RM29"</code>	雲・エアロゾル粒径パラメータの入力ファイル
<code>ATMOS_PHY_RD_MSTRN_ONLY_QCI = .false.</code>	放射計算で雲水・雲氷のみを考慮する (雨・雪・あられを無視する) かどうか
<code>/</code>	

上記の MSTRNX のパラメータファイルは、version 5.2 リリース時に更新された。そのため、SCALE-RM の最新版では新しいパラメータファイルを用いることを推奨する。version 5.1 以前で提供していた MSTRNX のパラメータファイルは、ディレクトリ `scale-rm/test/data/rad/OpenCLASTR` 以下に置いている。粒子の種類の数や粒径のビン数が、新しいパラメータファイルとは異なる。これらの古いパラメータファイルを利用したい場合は、`[PARAM_ATMOS_PHY_RD_MSTRN]` において下記のように (`ATMOS_PHY_RD_MSTRN_nptype`, `ATMOS_PHY_RD_MSTRN_nradius`) を変更する必要がある。

```
ATMOS_PHY_RD_MSTRN_nptype = 11
ATMOS_PHY_RD_MSTRN_nradius = 6
```

放射計算のために追加した層では、気温、気圧、二酸化炭素やオゾン等の気体濃度の鉛直分布を与える必要がある。この鉛直分布の与え方は 2 種類あり、気候値またはユーザが準備した ASCII 形式

の入力データを用いることができる。

気候値を与える場合は、SCALE-RM では気温・気圧については CIRA86 ^{*1)}(Committee on Space Research; NASA National Space Science Data Center, 2006)、気体種については MIPAS2001(Remedios et al., 2007) をデータベースとして用意している。気候値の分布は、これらのデータベースを日付・時刻・緯度経度について内挿することで得られる。[PARAM_ATMOS_SOLARINS] において日付と位置を固定した場合には、これらの設定に従って分布の計算は行われる。気候値の入力ファイルもまた、ディレクトリ scale-rm/test/data/rad/ に用意している。

```
scale-rm/test/data/rad/cira.nc      ; CIRA86 データ (NetCDF format)
scale-rm/test/data/rad/MIPAS/day.atm ; MIPAS2011 データ (中緯度) (ASCII format)
scale-rm/test/data/rad/MIPAS/equ.atm ; MIPAS2011 データ (熱帯) (ASCII format)
scale-rm/test/data/rad/MIPAS/sum.atm ; MIPAS2011 データ (夏半球高緯度) (ASCII format)
scale-rm/test/data/rad/MIPAS/win.atm ; MIPAS2011 データ (冬半球高緯度) (ASCII format)
```

これらのファイル名やディレクトリ名は、[PARAM_ATMOS_PHY_RD_PROFILE] で指定する。例えば、上記の 5 ファイルを実行ディレクトリに配置した場合は以下のように設定する。

&PARAM_ATMOS_PHY_RD_PROFILE	
ATMOS_PHY_RD_PROFILE_use_climatology = .true.	CIRA86 と MIPAS2001 の気候値を利用するかどうか
ATMOS_PHY_RD_PROFILE_CIRA86_IN_FILENAME = "cira.nc"	CIRA86 ファイル名
ATMOS_PHY_RD_PROFILE_MIPAS2001_IN_BASENAME = "."	MIPAS2001 ファイルがあるディレクトリ名

放射計算で考慮される気体は、水蒸気 (H₂O)、二酸化炭素 (CO₂)、オゾン (O₃)、一酸化二窒素 (N₂O)、一酸化炭素 (CO)、メタン (CH₄)、酸素 (O₂)、クロロフルオロカーボン類 (CFCs) である。これらの濃度は以下のように、[PARAM_ATMOS_PHY_RD_PROFILE] でゼロに設定することができる。

&PARAM_ATMOS_PHY_RD_PROFILE	
ATMOS_PHY_RD_PROFILE_USE_CO2 = .true.	false の場合、CO ₂ 濃度を常に 0 に設定する
ATMOS_PHY_RD_PROFILE_USE_O3 = .true.	false の場合、O ₃ 濃度を常に 0 に設定する
ATMOS_PHY_RD_PROFILE_USE_N2O = .true.	false の場合、N ₂ O 濃度を常に 0 に設定する
ATMOS_PHY_RD_PROFILE_USE_CO = .true.	false の場合、CO 濃度を常に 0 に設定する
ATMOS_PHY_RD_PROFILE_USE_CH4 = .true.	false の場合、CH ₄ 濃度を常に 0 に設定する
ATMOS_PHY_RD_PROFILE_USE_O2 = .true.	false の場合、O ₂ 濃度を常に 0 に設定する
ATMOS_PHY_RD_PROFILE_USE_CFC = .true.	false の場合、すべての CFC 濃度を常に 0 に設定する

ユーザが指定した分布を用いる場合は、高度 [m]、気圧 [Pa]、気温 [K]、水蒸気量 [kg/kg]、オゾン濃度 [kg/kg] を ASCII 形式で準備しなければならない。水蒸気とオゾン以外の気体濃度はゼロと設定され、時間変化は取り扱われない。ユーザが用意したファイルの例は、以下に用意されている。

*1) <http://catalogue.ceda.ac.uk/uuid/4996e5b2f53ce0b1f2072adadaeda262>

scale-rm/test/data/rad/rad_o3_profs.txt

これを用いるには、[PARAM_ATMOS_PHY_RD_PROFILE] 内の (ATMOS_PHY_RD_PROFILE_use_climatology) を .false. に設定し、(ATMOS_PHY_RD_PROFILE_USER_IN_FILENAME) にファイル名とディレクトリ名を指定する必要がある。

```

&PARAM_ATMOS_PHY_RD_PROFILE
  ATMOS_PHY_RD_PROFILE_use_climatology = .false.
  ATMOS_PHY_RD_PROFILE_USER_IN_FILENAME = "rad_o3_profs.txt"
/

```

CIRA86 と MIPAS2001 の気候値を利用するかどうか
気候値を利用しない場合に用いるユーザ指定ファイルの名前 (ASCII 形式)

ユーザが準備するファイルにおいて、デフォルトのモデル設定とは独立に層数や層の高度を与えることができる。実行時に、モデルの層での値は与えた分布から内挿される。ただし、放射計算で想定される最上層の高度が、入力した分布の高度よりも高い場合は、外挿が行われることに注意が必要である。

4.4.6 地表面フラックススキーム

地表面フラックススキームは、大気下端境界における運動量・熱・水蒸気フラックスを計算する。スキームの種類は、以下のように [PARAM_ATMOS] の (ATMOS_PHY_SF_TYPE) で設定する。

```

&PARAM_ATMOS
  ATMOS_PHY_SF_TYPE = "NONE", ; 表 4.4.7 から表面フラックススキームを選択。
/

```

海面・陸面・都市モデルを用いる場合は、(ATMOS_PHY_SF_TYPE) に COUPLE もしくは NONE を設定する。NONE と設定された場合は自動的に COUPLE が使われる。これらのモデルを用いる場合、それぞれのモデルで地表面フラックスが計算され、格子点値はこれらの面積重み付平均として計算される。

表 4.4.7: 大気下端境界の選択肢

スキーム名	スキームの説明
NONE	地表面フラックスを計算しない(海面・陸面・都市モデルを用いる場合は COUPLE に変更される)
OFF	地表面フラックスを計算しない
CONST	地表面フラックスの計算に固定が使われる
BULK	地表面フラックスをバルクモデルで計算
COUPLE	海面・陸面・都市モデルから表面フラックスを受け取る

この表面フラックススキームが呼び出される時間間隔は、[PARAM_TIME] の (TIME_DT_ATMOS_PHY_SF) および (TIME_DT_ATMOS_PHY_SF_UNIT) で設定する (詳細は第 4.2.5 節を参照)。

Constant スキーム

(ATMOS_PHY_SF_TYPE) を CONST とした場合は、地表面フラックスは [PARAM_ATMOS_PHY_SF_CONST] の設定にしたがって計算される。

```

&PARAM_ATMOS_PHY_SF_CONST
  ATMOS_PHY_SF_FLG_MOM_FLUX = 0           ; 0: バルク交換係数を一定にする
                                           ; 1: 摩擦速度を一定にする
  ATMOS_PHY_SF_U_minM = 0.0EO           ; 絶対速度の下限値 [m/s]
  ATMOS_PHY_SF_Const_Cm = 0.0011EO      ; 運動量に対する一定バルク係数値
                                           ; (ATMOS_PHY_SF_FLG_MOM_FLUX = 0 のとき有効)
  ATMOS_PHY_SF_Cm_min = 1.0E-5          ; 運動量に対するバルク係数の下限値
                                           ; (ATMOS_PHY_SF_FLG_MOM_FLUX = 1 のとき有効)
  ATMOS_PHY_SF_Const_Ustar = 0.25EO     ; 一定摩擦係数値 [m/s]
                                           ; (ATMOS_PHY_SF_FLG_MOM_FLUX = 1 のとき有効)
  ATMOS_PHY_SF_Const_SH = 15.EO          ; 一定地表面顕熱フラックス値 [W/m2]
  ATMOS_PHY_SF_FLG_SH_DIURNAL = .false. ; 顕熱フラックスに日変化をつけるか否か [logical]
  ATMOS_PHY_SF_Const_FREQ = 24.EO       ; 顕熱フラックスに日変化を付けるときのサイクル [hour]
  ATMOS_PHY_SF_Const_LH = 115.EO        ; 一定地表面潜熱フラックス値 [W/m2]
/

```

(ATMOS_PHY_SF_FLAG_MOM_FLUX) が 0 の場合は、運動量に対するバルク交換係数として固定値が使われる。係数の値は (ATMOS_PHY_SF_Const_Cm) で設定する。(ATMOS_PHY_SF_FLAG_MOM_FLUX) が 1 の場合は、固定値の摩擦速度を用いて交換係数が計算される。摩擦速度の値は (ATMOS_PHY_SF_Const_Ustar) で設定する。摩擦速度固定の場合、計算される交換係数の下限値を (ATMOS_PHY_SF_Cm_min) で設定する。両方の場合において、計算中に用いる最下層の絶対速度の下限値を (ATMOS_PHY_SF_U_minM) で設定する。

(ATMOS_PHY_SF_FLG_SH_DIURNAL) が .false. の場合は、顕熱フラックスは固定値となる。この値は (ATMOS_PHY_SF_Const_SH) で設定する。このフラグが .true. の場合は、顕熱フラックスはサイン関数的に時間変化する。振幅および周期はそれぞれ (ATMOS_PHY_SF_Const_SH) および (ATMOS_PHY_SF_Const_FREQ) で指定する。つまり顕熱フラックスは $ATMOS_PHY_SF_Const_SH \times \sin(2\pi t/3600/ATMOS_PHY_SF_Const_FREQ)$ となる。ここで t は、積分開始からの積分時間 [sec] である。

潜熱フラックスは固定値となり、値は (ATMOS_PHY_SF_Const_LH) で設定する。

バルクスキーム

(ATMOS_PHY_SF_TYPE) を BULK とした場合は、地表面フラックスは表面温度・粗度・アルベドなどの与えた表面状態を用いてバルクモデルによって計算される。表面状態の値は初期値ファイルから読み込まれる。scale-rm_init を用いた初期値作成時において、表面温度、粗度長、短波および長波に対するアルベドは、それぞれ [PARAM_ATMOS_PHY_SF_VARS] の (ATMOS_PHY_SF_DEFAULT_SFC_TEMP), (ATMOS_PHY_SF_DEFAULT_ZSF_ZO), (ATMOS_PHY_SF_DEFAULT_SFC_ALBEDO_SW), (ATMOS_PHY_SF_DEFAULT_SFC_ALBEDO_LW) で設定することができる。

潜熱フラックスの計算において、蒸発効率を 0 から 1 の範囲で任意に与えることができる。この柔軟性によって、海面だけでなく陸面を想定した理想実験を行うことができる。値を 0 に設定

した場合、表面は完全に乾燥していることになり、潜熱フラックスは 0 となる。1 に設定した場合は、海面のように表面は完全に湿っていることになる。蒸発効率 `[PARAM_ATMOS_PHY_SF_BULK]` の `(ATMOS_PHY_SF_BULK_beta)` で以下のように指定する。

```
&PARAM_ATMOS_PHY_SF_BULK
  ATMOS_PHY_SF_BULK_beta = 1.0, ; 蒸発効率 (0 から 1 までの範囲)
/
```

バルク交換係数

`(ATMOS_PHY_SF_TYPE)` が BULK もしくは COUPLE の場合、バルク交換係数は Monin-Obukhov の相似則に基づいて計算される。係数計算のためのパラメータは、以下のように `[PARAM_BULKFLUX]` で設定する。

```
&PARAM_BULKFLUX
  BULKFLUX_TYPE = "B91W01", ; 表 4.4.8 に示すバルク交換係数スキームから選択
  BULKFLUX_Uabs_min = 1.0D-2, ; 地表面フラックス計算における絶対風速の下限値 [m/s]
  BULKFLUX_surfdiag_neutral = .true., ; 地表面診断変数の計算において中立を仮定するかどうかのスイッチ
  BULKFLUX_WSCF = 1.2D0, ; w* に対する経験係数 (Beljaars, 1994)
  BULKFLUX_Wstar_min = 1.0E-4, ; w* の下限値 [m/s]
  BULKFLUX_NK2018 = .true., ; Nishizawa and Kitamura (2018) のスキームを使うかどうかのスイッチ
/
```

表 4.4.8: バルク交換係数スキームの選択肢

スキーム名	スキームの説明	参考文献
B91W01	繰り返し計算によるバルク法 (デフォルト)	Beljaars and Holtslag (1991); Wilson (2001); Nishizawa and Kitamura (2018)
U95	Louis 型のバルク法 (Louis (1979) の改良版)	Uno et al. (1995)

交換係数の計算のためのスキームは `(BULKFLUX_TYPE)` で指定する。サポートされているスキームは表 4.4.8 にリストされている。

交換係数は風速に強く依存している。モデルで計算される風速には格子スケール以下の成分が含まれていないので、特に静穏時に地表面フラックスが過小評価される可能性がある。したがって、計算に用いる最下層の絶対風速に下限値を設けることができる。この下限値は `(BULKFLUX_Uabs_min)` で設定する。

10 m 風速や 2 m 気温・比湿といった地上診断変数は、交換係数と整合するように計算される。これらの値は地表面状態や静的安定度に依存する。したがって、海岸など地表面状態が大きく異なる格子が隣り合って分布している場合、地上診断変数の値はそれらの格子の境で大きな差異を持つ場合がある。また、日の出や日没時近くなど静的安定度が大きく変化する場合にも、地上診断変数の値は短時間の間に大きく変化することがある。これらの時空間方向のギャップは、地上診断変数の計算にお

いて中立の静的安定度を仮定することにより小さくすることができる。中立を仮定した計算を行うためには、(BULKFLUX_surfdiag_neutral) を .true. とする。

B91W01 スキームには、加えていくつかのパラメータが用意されている。(BULKFLUX_WSCF) は、Beljaars (1994) で導入された自由対流速度スケール w^* に対する経験スケール定数 (彼らの論文では β と表記されている) である。デフォルトでは、水平格子間隔にしたがって値が決まっており、 $1.2 \times \min(\Delta x/1000, 1)$ となる。1 km よりも大きな格子間隔のシミュレーションでは、その定数は 1.2 となる。格子間隔が 1 km よりも小さい場合は、格子間隔に比例して小さくなり、 $\lim_{\Delta x \rightarrow 0} w^* = 0$ である。ただし、 w^* の下限値は (BULKFLUX_Wstar_min) で設定し、デフォルト値は 1.0E-4 である。(BULKFLUX_NK2018) は、Nishizawa and Kitamura (2018) によって提案された相似則の定式化を使うためのスイッチである。これは有限体積モデルにおいてより適切となるよう定式化されたものである。

4.4.7 海洋モデル

海面過程は、海面の状態の更新と大気-海面間のフラックス計算の2つに大別される。これらの過程を計算する時間間隔は、[PARAM_TIME] で設定する (詳細は第 4.2.5 節を参照)。

海洋モデルのスキームは、設定ファイル中の [PARAM_OCEAN] の (OCEAN_DYN_TYPE), (OCEAN_SFC_TYPE), (OCEAN_ICE_TYPE), (OCEAN_ALB_TYPE), (OCEAN_RGN_TYPE) で設定する。

```
&PARAM_OCEAN
  OCEAN_DYN_TYPE = "SLAB",           ; 表 4.4.9 に示す海洋表層の取り扱いから選択
  OCEAN_SFC_TYPE = "FIXED-TEMP",    ; 表 4.4.10 に示す海面スキームから選択
  OCEAN_ICE_TYPE = "SIMPLE",        ; 表 4.4.11 に示す海水スキームから選択
  OCEAN_ALB_TYPE = "NAKAJIMA00",    ; 表 4.4.12 に示す海面アルベドスキームから選択
  OCEAN_RGN_TYPE = "MOON07",        ; 表 4.4.13 に示す海面粗度の計算方法から選択
/
```

表 4.4.9: 海洋表層スキームの選択肢

スキーム名	スキームの説明
NONE または OFF	海面モデルを利用しない
INIT	初期値のまま固定する
OFFLINE	外部データによって更新する
SLAB	板海モデル

表 4.4.10: 海洋表面スキームの選択肢 (OCEAN_SFC_TYPE)。現版では 1 種類のみ。

スキーム名	スキームの説明
FIXED-TEMP	海面温度を診断せずにフラックスを計算する。

表 4.4.11: 海水スキームの選択肢 (OCEAN_ICE.TYPE).

スキーム名	スキームの説明
NONE	海洋モデルを無効化
INIT	初期条件に固定
SIMPLE	簡単な海水モデル

表 4.4.12: 表面アルベドスキームの選択肢 (OCEAN_ALB.TYPE).

スキーム名	スキームの説明	参考文献
INIT	初期条件に固定	
CONST	一定値を使用	
NAKAJIMA00	太陽天頂角から短波放射に対するアルベドを計算	Nakajima et al. (2000)

海洋モデルの鉛直格子設定

海洋モデルの鉛直格子数は、`[PARAM_OCEAN_GRID_CARTESC_INDEX]` の `(OKMAX)` で指定する。また、鉛直格子間隔は `[PARAM_OCEAN_GRID_CARTESC]` の `(ODZ)` で指定する (単位は [m])。

```
&PARAM_OCEAN_GRID_CARTESC_INDEX
  OKMAX = 1,                ; 鉛直層数
/

&PARAM_OCEAN_GRID_CARTESC
  ODZ = 10.DO,             ; 鉛直方向の格子間隔
/
```

`(ODZ)` には `(OKMAX)` で指定した格子数分の配列を指定する。配列の順序は、海表面から海中に向かう方向である。

4.4.7.1 初期条件固定

`(OCEAN_DYN_TYPE)` が `INIT` の場合、海洋の状態は初期値のまま一定となる。この場合、鉛直層数は 1 でなければならない。鉛直層の厚さは、正の値である限りどんな値でも良い。

4.4.7.2 海洋表層スキーム

海洋比率がゼロでない (すなわち陸面比率が 1.0 以下である) 表面の格子点では、物理量は海洋サブモデルによって計算されなければならない。陸-海洋比率の設定は、`[PARAM_LANDUSE]` によって制御できる。海洋比率を持つ格子点が存在するにも関わらず、`(OCEAN_DYN_TYPE)` を `"NONE"` や `"OFF"` に設定した場合は、以下のエラーメッセージがログファイルに出力される。

```
ERROR [CPL_vars_setup] Ocean fraction exists, but ocean component has not been called.
Please check this inconsistency. STOP.
```

表 4.4.13: 海面粗度の計算方法の選択 (OCEAN_RGN_TYPE).

スキーム名	スキームの説明	参考文献
MOON07	経験式に基づく (時間変化あり)	Moon et al. (2007)
INIT	初期条件に固定	
CONST	一定値を使用	
MILLER92	経験式に基づく (時間変化なし)	Miller et al. (1992)

(OCEAN_DYN_TYPE) を"SLAB"と設定した場合は、海洋表層は板海 (slab ocean) として取り扱われる。板海の温度は、表面からの熱フラックスによって時間とともに変化する。熱容量を支配する板海の深さは、鉛直層第 1 層目の厚さとして指定する。

板海モデルでは、外部データを用いることで海面温度を緩和 (すなわちナッジング) させることができる。ナッジングのパラメータは [PARAM_OCEAN_DYN_SLAB] で指定する。

```

&PARAM_OCEAN_DYN_SLAB
OCEAN_DYN_SLAB_nudging = .false., ; 海洋の変数に対してナッジング
                                ; を行うか?
OCEAN_DYN_SLAB_nudging_tau = 0.0_DP, ; ナッジングのための緩和の時定
                                ; 数
OCEAN_DYN_SLAB_nudging_tau_unit = "SEC", ; 緩和の時定数の単位
OCEAN_DYN_SLAB_nudging_basename = "", ; 入力ファイルのベース名
OCEAN_DYN_SLAB_nudging_enable_periodic_year = .false., ; 年周期データか?
OCEAN_DYN_SLAB_nudging_enable_periodic_month = .false., ; 月周期データか?
OCEAN_DYN_SLAB_nudging_enable_periodic_day = .false., ; 日周期データか?
OCEAN_DYN_SLAB_nudging_step_fixed = 0, ; データの特定のステップ数を用
                                ; いるか?
OCEAN_DYN_SLAB_nudging_defval = UNDEF, ; 変数のデフォルト値
OCEAN_DYN_SLAB_nudging_check_coordinates = .true., ; 変数の座標を確認するか?
OCEAN_DYN_SLAB_nudging_step_limit = 0, ; データを読み込む時間ステップ
                                ; 数の最大値
/

```

(OCEAN_DYN_SLAB_nudging_tau) が 0 であるときは、海面温度の値は外部ファイルによって完全に置き換わる。(OCEAN_DYN_SLAB_nudging_step_fixed) が 1 以下であれば、現時刻における値は外部データを時間内挿することで計算される。(OCEAN_DYN_SLAB_nudging_step_fixed) に特定のステップを指定した場合は、そのステップのデータが時間内挿することなく常に用いられる。(OCEAN_DYN_SLAB_nudging_step_limit) に 0 よりも大きい値を設定した場合は、その制限を超える時間ステップのデータを読み込まず、最後に読み込んだデータをナッジングに用いる。この制限は、(OCEAN_DYN_SLAB_nudging_step_limit) が 0 の場合には設定されない。

(OCEAN_DYN_TYPE) を"OFFLINE"に設定した場合は、海洋表層の力学過程や物理過程は計算されない。海面温度の時間変化は外部ファイルによって与えられる。この設定は、SCALE の旧バージョンで (OCEAN_TYPE) = "FILE"とした場合と同じである。また、板海スキームで (OCEAN_DYN_SLAB_nudging_tau) を 0 に設定した場合と同じである。

```

&PARAM_OCEAN_DYN_OFFLINE
OCEAN_DYN_OFFLINE_basename = "", ; 入力ファイルのベース名
OCEAN_DYN_OFFLINE_enable_periodic_year = .false., ; 年周期データか?
OCEAN_DYN_OFFLINE_enable_periodic_month = .false., ; 月周期データか?
OCEAN_DYN_OFFLINE_enable_periodic_day = .false., ; 日周期データか?
OCEAN_DYN_OFFLINE_step_fixed = 0, ; データの特定のステップ数を用いるか?
OCEAN_DYN_OFFLINE_defval = UNDEF, ; 変数のデフォルト値
OCEAN_DYN_OFFLINE_check_coordinates = .true., ; 変数の座標を確認するか?
OCEAN_DYN_OFFLINE_step_limit = 0, ; データを読み込む時間ステップ数の最大値
/

```

オフラインモードにおける外部ファイルに対する各パラメータは、板海スキームにおけるナッジングの設定に対するパラメータと同様である。

4.4.7.3 海面過程

海面過程は以下のサブプロセスを含む。

- 海氷のない海洋 (open ocean) 面の計算
 - 海面アルベドの計算
 - 海面粗度長の計算
 - 大気海洋間の熱/蒸発/放出フラックスの計算
- 海氷面の計算
 - 海氷面アルベドの計算
 - 海氷面粗度長の計算
 - 海氷と海洋表層間の熱伝導計算
 - 大気と海氷間の熱/蒸発/放出フラックス
 - 海氷と海洋表層間の熱フラックスと水フラックスの計算

open ocean での海面アルベドは、(OCEAN_ALB_TYPE) で選択したスキームによって設定される。(OCEAN_ALB_TYPE) を "CONST" とした場合は、open ocean での海面アルベドは (PARAM_OCEAN_PHY_ALBEDO_const) で指定した定数値となる。(OCEAN_ALB_TYPE) を "NAKAJIMA00" とした場合は、短波放射に対するアルベドは太陽天頂角に依存するように計算されるが、長波放射 (IR) に対しては (PARAM_OCEAN_PHY_ALBEDO_const) で設定したアルベドの値が用いられる。

```

&PARAM_OCEAN_PHY_ALBEDO_const
OCEAN_PHY_ALBEDO_IR_dir = 0.05D0, ; 長波 (赤外) 直達光に対する海面アルベド
OCEAN_PHY_ALBEDO_IR_dif = 0.05D0, ; 長波 (赤外) 散乱光に対する海面アルベド
OCEAN_PHY_ALBEDO_NIR_dir = 0.07D0, ; 長波 (近赤外) 直達光に対する海面アルベド
OCEAN_PHY_ALBEDO_NIR_dif = 0.06D0, ; 短波 (近赤外) 散乱光に対する海面アルベド
OCEAN_PHY_ALBEDO_VIS_dir = 0.07D0, ; 短波 (可視) 直達光に対する海面アルベド
OCEAN_PHY_ALBEDO_VIS_dif = 0.06D0, ; 短波 (可視) 散乱光に対する海面アルベド
/

```

海氷面のアルベドは (OCEAN_ALB_TYPE) に関わらず一定値であり、その値は (PARAM_OCEAN_PHY_ALBEDO_seaice) で設定する。

```
&PARAM_OCEAN_PHY_ALBEDO_seaice
OCEAN_PHY_ALBEDO_seaice_IR_dir = 0.05D0, ; 長波 (赤外) 直達光に対する海氷面アルベド
OCEAN_PHY_ALBEDO_seaice_IR_dif = 0.05D0, ; 長波 (赤外) 散乱光に対する海氷面アルベド
OCEAN_PHY_ALBEDO_seaice_NIR_dir = 0.60D0, ; 長波 (近赤外) 直達光に対する海氷面アルベド
OCEAN_PHY_ALBEDO_seaice_NIR_dif = 0.60D0, ; 短波 (近赤外) 散乱光に対する海氷面アルベド
OCEAN_PHY_ALBEDO_seaice_VIS_dir = 0.80D0, ; 短波 (可視) 直達光に対する海氷面アルベド
OCEAN_PHY_ALBEDO_seaice_VIS_dif = 0.80D0, ; 短波 (可視) 散乱光に対する海氷面アルベド
/
```

海面粗度長は (OCEAN_RGN_TYPE) で選択したスキームを用いて計算される。(OCEAN_RGN_TYPE) を "CONST" とした場合は、(PARAM_OCEAN_PHY_ROUGHNESS_const) で設定したパラメータを用いる。

```
&PARAM_OCEAN_PHY_ROUGHNESS_const
OCEAN_PHY_ROUGHNESS_ZOM = 1.0D-5, ; 運動量に対する海面粗度長 [m]
OCEAN_PHY_ROUGHNESS_ZOH = 1.0D-5, ; 熱に対する海面粗度長 [m]
OCEAN_PHY_ROUGHNESS_ZOE = 1.0D-5, ; 水蒸気に対する海面粗度長 [m]
/
```

(OCEAN_RGN_TYPE) を "MOON07" あるいは "MILLER92" に設定した場合は、選択したスキーム内で運動量・熱・水蒸気に対する粗度長が計算される。(PARAM_OCEAN_PHY_ROUGHNESS) を設定することで、これらの値の計算における幾つかの制限値を指定できる。

```
&PARAM_OCEAN_PHY_ROUGHNESS
OCEAN_PHY_ROUGHNESS_visck = 1.5D-5, ; 動粘性 [m2/s]
OCEAN_PHY_ROUGHNESS_Ustar_min = 1.0D-3, ; 摩擦速度の最小制限値 [m/s]
OCEAN_PHY_ROUGHNESS_ZOM_min = 1.0D-5, ; 運動量に対する粗度長の最小制限値 [m]
OCEAN_PHY_ROUGHNESS_ZOH_min = 1.0D-5, ; 熱に対する粗度長の最小制限値 [m]
OCEAN_PHY_ROUGHNESS_ZOE_min = 1.0D-5, ; 水蒸気に対する粗度長の最小制限値 [m]
/
```

海氷面の粗度長は (OCEAN_RGN_TYPE) に依らず一定値であり、その値は (PARAM_OCEAN_PHY_ROUGHNESS_seaice) で設定する。(PARAM_OCEAN_PHY_ROUGHNESS) で指定した粗度長の最小制限値が海氷面に対しても適用される。

```
&PARAM_OCEAN_PHY_ROUGHNESS_seaice
OCEAN_PHY_ROUGHNESS_seaice_ZOM = 2.0D-2, ; 運動量に対する海氷面粗度長 [m]
OCEAN_PHY_ROUGHNESS_seaice_ZOH = 2.0D-3, ; 熱に対する海氷面粗度長 [m]
OCEAN_PHY_ROUGHNESS_seaice_ZOE = 2.0D-3, ; 水蒸気に対する海氷面粗度長 [m]
/
```

上記の表面アルベドと粗度長を用いて、(OCEAN_SFC_TYPE) で選択したスキームによって大気-海洋間や大気-海氷間の表面フラックスが計算される。この計算では、[PARAM_BULKFLUX] の (BULKFLUX_TYPE) で指定したバルクスキームが用いられる (詳細は第 4.4.6 節を参照)。

海氷過程

(OCEAN_ICE_TYPE) を "SIMPLE" とした場合は、海氷過程が考慮されるようになる。海氷と海洋表層間の熱伝導は、[PARAM_OCEAN_PHY_TC_seaice] で指定したパラメータを用いて計算される。

```
&PARAM_OCEAN_PHY_TC_seaice
OCEAN_PHY_thermalcond_max = 10.D0, ; 深さあたりの熱伝導率の最大値 [J/m2/s/K]
OCEAN_PHY_thermalcond_seaice = 2.D0, ; 海氷の熱伝導率 [J/m/s/K]
/
```

海氷過程のパラメータは [PARAM_OCEAN_PHY_ICE] で設定する。

```
&PARAM_OCEAN_PHY_ICE
OCEAN_PHY_ICE_density = 1000.D0, ; 海氷の密度 [kg/m3]
OCEAN_PHY_ICE_mass_critical = 1600.D0, ; 被覆率が 1 の場合の海氷の質量 [kg/m2]
OCEAN_PHY_ICE_mass_limit = 50000.D0, ; 海氷の質量の最大制限値 [kg/m2]
OCEAN_PHY_ICE_fraction_limit = 1.D0, ; 海氷の被覆率の最大制限値 [1]
/
```

SCALE において海氷の質量は予報変数である。海氷の被覆率は以下の式から診断する。

$$\text{海氷の被覆率} = \sqrt{\frac{\text{海氷の質量}}{\text{OCEAN_PHY_ICE_mass_critical の値}}}$$

4.4.8 陸モデル

海面過程と同様に陸面過程も、陸面の状態量の更新と大気-陸面間のフラックス計算の 2 つに大別される。これらの過程が呼び出される時間間隔はどちらも [PARAM_TIME] で設定する (詳細については第 4.2.5 節を参照)。

陸面スキーム

陸モデルでは、陸面温度と土壌温度、土壌水分量といった陸面の状態量の更新を行う。このスキームは、init.conf と run.conf 中の [PARAM_LAND] の (LAND_DYN_TYPE) で設定する。

```
&PARAM_LAND
LAND_DYN_TYPE = "NONE", ; 表 4.4.14 に示す陸の力学から選択
LAND_SFC_TYPE = "SKIN", ; (BUCKET の場合) 表 4.4.15 に示す陸面の種類から選択
/
```

表 4.4.14: 陸面スキームの選択肢

スキーム名	スキームの説明
NONE or OFF	陸面モデルを使用しない
BUCKET	熱拡散/パケツモデル
INIT	初期条件に固定

[PARAM LANDUSE] で入力・設定された土地利用分布に陸面が含まれる場合は、(LAND_TYPE) に”NONE”または”OFF”を選択できない。この条件を満たさない場合は、下記のメッセージを LOG ファイルに出力して、プログラムは計算を行わずに直ちに終了する。

```
ERROR [CPL_vars_setup] Land fraction exists, but land component has not been called.
Please check this inconsistency. STOP.
```

(LAND_DYN_TYPE) に対して”NONE”, ”OFF”以外を指定した場合は、土地利用分布の入力データや各土地利用における粗度長やアルベドなどの情報を含むパラメータテーブルが必要である。パラメータテーブルの例は、scale-rm/test/data/land/param.bucket.conf に用意してある。

陸モデルの鉛直格子設定

陸モデルの鉛直格子数は、[PARAM_LAND_GRID_CARTESC_INDEX] の (LKMAX) で指定する。また、鉛直格子間隔は [PARAM_LAND_GRID_CARTESC] の (LDZ) で指定する (単位は [m])。

```
&PARAM_LAND_GRID_CARTESC_INDEX
LKMAX = 7, ; 鉛直層数
/

&PARAM_LAND_GRID_CARTESC
LDZ = 0.05, 0.15, 0.30, 0.50, 1.00, 2.00, 4.00, ; 鉛直方向の格子間隔
/
```

(LDZ) には (LKMAX) で指定した格子数分の配列を指定する。配列の順序は、地表面から地中に向かう方向である。

大気-陸面間のフラックス

大気-陸間の表面フラックスは、(LAND_SFC_TYPE) で選択したスキームによって計算される。この計算では、[PARAM_BULKFLUX] の (BULKFLUX_TYPE) で指定したバルクスキーム (詳細は第 4.4.6 節を参照) が用いられる。

4.4.8.1 初期条件固定

(LAND_DYN_TYPE) が INIT の場合、陸の状態は初期値のまま一定となる。この場合、鉛直層数 (LKMAX) は 1 でなければならない。鉛直層の厚さは、正の値である限りどんな値でも良い。

4.4.8.2 BUCKET 陸面スキーム

表面スキーム

陸面の地表面温度の計算方法は [PARAM_LAND] の (LAND_SFC_TYPE) で設定する。デフォルトの設定は SKIN である。

表 4.4.15: BUCKET スキームにおける表面スキームの選択肢

スキーム名	スキームの説明
SKIN	地表面熱収支がバランスするように表面温度を決定する
FIXED-TEMP	陸モデルの最上層の土壌温度を表面温度とする

(LAND_SFC_TYPE) が SKIN の場合、地表面でのエネルギーフラックスの熱収支がバランスするように表面温度を決める。具体的には、Tomita (2009) に基づき、熱収支の残差が小さくなるように反復計算によって求める。この表面温度は、陸モデルの最上層の土壌温度とは異なる。

(LAND_SFC_TYPE) が FIXED-TEMP の場合、表面温度は陸モデルの最上層の土壌温度と同値であり、この土壌温度は陸モデルによって計算される。予め与えられた表面温度で熱エネルギーフラックスを決定する。熱収支の残差は地中熱フラックスとして、陸モデルに与えられる。

陸面ナudging

(LAND_DYN_TYPE) を "BUCKET" とした場合は、外部データを用いて陸の変数を緩和させることができる (ナudging)。ナudgingのパラメータは run.conf で指定できる。

```

&PARAM_LAND_DYN_BUCKET
LAND_DYN_BUCKET_nudging = .false.,           ; 陸の変数に対してナudgingを
                                                ; 行うか?
LAND_DYN_BUCKET_nudging_tau = 0.0_DP,        ; ナudgingにおける緩和の時定
                                                ; 数
LAND_DYN_BUCKET_nudging_tau_unit = "SEC",    ; 緩和の時定数の単位
LAND_DYN_BUCKET_nudging_basename = "",      ; 入力データのベース名
LAND_DYN_BUCKET_nudging_enable_periodic_year = .false., ; 年周期データか?
LAND_DYN_BUCKET_nudging_enable_periodic_month = .false., ; 月周期データか?
LAND_DYN_BUCKET_nudging_enable_periodic_day = .false., ; 日年周期データか?
LAND_DYN_BUCKET_nudging_step_fixed = 0,     ; データの特定のステップ数を用
                                                ; いるか?
LAND_DYN_BUCKET_nudging_defval = UNDEF,     ; 変数のデフォルト値
LAND_DYN_BUCKET_nudging_check_coordinates = .true., ; 変数の座標を確認するか?
LAND_DYN_BUCKET_nudging_step_limit = 0,     ; データを読み込む時間ステップ
                                                ; 数の最大値
/

```

(LAND_DYN_BUCKET_nudging_tau) が 0 である場合は、陸面温度の値は外部ファイルによって完全に置き換わる。(LAND_DYN_BUCKET_nudging_step_fixed) が 1 以下であれば、現時刻における値は外部データを時間内挿することで計算される。(LAND_DYN_BUCKET_nudging_step_fixed) に特定のステップを指定した場合は、そのステップのデータが時間内挿することなく常に用いられる。(LAND_DYN_BUCKET_nudging_step_limit) に 0 よりも大きい値を設定した場合は、その制限を超え

る時間ステップのデータを読み込まず、最後に読み込んだデータをナudgingに用いる。この制限は、(LAND_DYN_BUCKET_nudging_step_limit) が 0 の場合には設定されない。

4.4.9 都市モデル

都市スキームの目的は大気と都市面間のフラックスを計算することである。そのために、都市の表面温度や水分量などの都市域内の状態量も計算する。都市スキームの更新（計算する時間間隔）は [PARAM_TIME] の (TIME_DT_URBAN) と (TIME_DT_URBAN_UNIT) で設定する（詳細は第 4.2.5 節を参照）。

使用する都市スキームは、init.conf と run.conf 中の [PARAM_URBAN] の (URBAN_DYN_TYPE) で設定する。

```
&PARAM_URBAN
  URBAN_DYN_TYPE = "NONE", ; 表 4.4.16 から都市スキームを選択。
/
```

表 4.4.16: 都市スキームの選択肢

スキーム名	スキームの説明	参考文献
NONE または OFF	都市モデルを利用しない	
LAND	都市域は陸面モデルによって計算される	
KUSAKA01	単層キャノピーモデル	Kusaka et al. (2001)

計算領域に都市の土地利用が含まれる場合は、(URBAN_TYPE) に NONE または OFF を選択することはできない。もし NONE や OFF が選択された場合には、下記のメッセージを LOG ファイルに出力して、実行は直ちに終了する。

```
ERROR [CPL_vars_setup] Urban fraction exists, but urban component has not been called.
Please check this inconsistency. STOP.
```

(URBAN_DYN_TYPE) として LAND を選択した場合は、表面フラックスや都市域の土壌変数を計算するために陸面モデルが用いられる。現在、陸面モデルはスラブモデルが実装されているので、LAND はスラブモデルを選択していることと同等である。この場合、陸面モデルのためのパラメータテーブルに、都市域に対するパラメータを与える必要がある（第 4.4.8 節参照）。

KUSAKA01 スキームは、単層キャノピーモデルである。都市キャノピー上端と大気との間のエネルギー交換をモデル化しているため、建物高さ (ZR) in [PARAM_URBAN_DATA] は、大気第 1 層の Face level よりも 2m 以上、下に設定する必要がある。

4.4.9.1 KUSAKA01 スキーム

構造物表面 (屋根面・壁面・道路面) の層の設定

KUSAKA01 は、都市形状として 2 次元の対称的なストリートキャニオンを考える。構造物と大気との境界面は、建物の屋根面と壁面、道路面の 3 つから構成される。これらの構造物面の温度は熱拡散によっ

て計算される。この熱拡散を計算する際に使用する層数は、[\[PARAM_URBAN_GRID_CARTESC_INDEX\]](#) の (UKMAX) で指定する。また、各層の層厚は [\[PARAM_URBAN_GRID_CARTESC\]](#) の (UDZ) で指定する (単位は [m])。

```
&PARAM_URBAN_GRID_CARTESC_INDEX
UKMAX = 5, ; 人工構造物の表面に設定される層数
/

&PARAM_URBAN_GRID_CARTESC
UDZ = 0.01, 0.01, 0.03, 0.05, 0.10, ; 各層の層厚
/
```

(UDZ) には (UKMAX) で指定した層数分の配列を指定する。配列の順序は、構造物表面から内部に向かう方向である。また、設定は、屋根面・壁面・道路面全てに適用される。

都市パラメータに関する設定

KUSAKA01 には、都市形態を指定するパラメータが数多く存在する。設定可能な都市パラメータは、[\[PARAM_URBAN_DATA\]](#) を参照いただきたい (第 5.3.2 節のネームリストに記述のリンクから参照可能)。[\[PARAM_URBAN_DATA\]](#) の設定例は、scale/scale-rm/test/data/urban/param.kusaka01.dat に用意されている。

都市パラメータの設定は、[\[PARAM_URBAN_DYN_KUSAKA01\]](#) で行う。

```
&PARAM_URBAN_DYN_KUSAKA01
DTS_MAX = 0.1, ; lstep 当たりの最大気温変化量
; = DTS_MAX * DT [K/step]

BOUND = 1, ; 建物・屋根・道路最内層の計算条件
; 1: Zero-flux, 2: T=Const.

URBAN_DYN_KUSAKA01_PARAM_IN_FILENAME = "", ; 都市パラメータ用のテーブルファイル
URBAN_DYN_KUSAKA01_GRIDDED_ZOM_IN_FILENAME = "", ; Z0m の 2 次元グリッドデータファイル
URBAN_DYN_KUSAKA01_GRIDDED_AH_IN_FILENAME = "", ; AH の 2 次元グリッドデータファイル
URBAN_DYN_KUSAKA01_GRIDDED_AHL_IN_FILENAME = "", ; AHL の 2 次元グリッドデータファイル
/
```

計算に使用する都市パラメータの値は、以下の 3 段階の手続きを経て決定される。

- 1) ソースコード内のデフォルト値が、全ての格子に適用される。
- 2) [\[PARAM_URBAN_DYN_KUSAKA01\]](#) の (URBAN_DYN_KUSAKA01_PARAM_IN_FILENAME) にファイルが指定されている場合は、そのファイル内の [\[PARAM_URBAN_DATA\]](#) で与えられる都市パラメータの値を読み込み、1) で設定したデフォルト値を置き換える。ここで読み込んだ値も、全ての格子に適用される。
- 3) 運動量粗度 (Z0m)、人工排熱の顕熱 (AH) と潜熱 (AHL) については、グリッドデータが用意されている場合はそれらを読み込み、1) もしくは 2) で設定された値を置き換える。つまり、Z0m, AH, AHL については、グリッド毎に異なる値を設定することが可能である。これらのグリッドデータファイルは、(URBAN_DYN_KUSAKA01_GRIDDED_ZOM_IN_FILENAME)、(URBAN_DYN_KUSAKA01_GRIDDED_AH_IN_FILENAME)、(URBAN_DYN_KUSAKA01_GRIDDED_AHL_IN_FILENAME) でそれぞれ指定する。

(URBAN_DYN_KUSAKAO1_GRIDDED_(ZOM|AH|AHL)_IN_FILENAME) は予め、計算設定に応じた格子の値を SCALE-netCDF 形式で用意しておく必要がある。このデータは、ユーザーが用意したバイナリー形式のデータから、scale_init を使って変換することが可能である。

都市パラメータのためグリッドデータの作成方法

データの作成には、scale_init を使用する。詳細な説明は、第 4.1.3 節を参照いただきたい。ここでは、conf ファイルなどでの具体的な設定例のみ示す。

任意のバイナリー形式のデータから計算設定に応じた格子データを作成するには、init.conf に [PARAM_CONVERT] と [PARAM_CNVUSER] を追加する。下記は、AH データを作成する際の例である。

```
&PARAM_CONVERT
  CONVERT_USER = .true.,
/

&PARAM_CNVUSER
  CNVUSER_FILE_TYPE = "GrADS",
  CNVUSER_NSTEPS = 24, ; Set 1 for ZOM and 24 for AH and AHL
  CNVUSER_GrADS_FILENAME = "namelist.grads.ah",
  CNVUSER_GrADS_VARNAME = "AH", ; (name) of (GrADS_ITEM)
  CNVUSER_GrADS_LONNAME = "lon", ; (name) of (GrADS_ITEM)
  CNVUSER_GrADS_LATNAME = "lat", ; (name) of (GrADS_ITEM)
  CNVUSER_OUT_BASENAME = "urb_ah.d01",
  CNVUSER_OUT_VARNAME = "URBAN_AH", ; URBAN_AH, URBAN_AHL, or URBAN_ZOM
  CNVUSER_OUT_VARDESC = "Anthropogenic sensible heat flux",
  CNVUSER_OUT_VARUNIT = "W/m2", ; 単位
  CNVUSER_OUT_DTYPE = "REAL8"
  CNVUSER_OUT_DT = 360000,
/
```

また、GrADS の “ctl” に相当するネームリストファイルの例は下記の通りである。

```
#
# Dimension
#
&GrADS_DIMS
  nx = 361,
  ny = 181,
  nz = 1,
/

#
# Variables
#
&GrADS_ITEM name='lon', dtype='linear', swpoint=0.0d0, dd=1.0d0 /
&GrADS_ITEM name='lat', dtype='linear', swpoint=-90.0d0, dd=1.0d0 /
&GrADS_ITEM name='AH', dtype='map', fname='urb_ah', startrec=1, totalrec=1, \
  bintype='real4', yrev=.false., missval=-999.0E+0 /
```

第 4.1.3 節に記載されているように、出力ファイル中の時刻座標の初期値は [PARAM_TIME] の (TIME_STARTDATE) で指定し、時間間隔は (CNVUSER_OUT_DT) で指定することになっているが、都市スキームでは、これらの情報を無視してデータを読み込む。つまり、AH と AHL データは、SCALE-

netCDF の時刻情報に関わらず、1時から24時(ローカルタイム: LT)までの24時間分のデータが1時間毎で用意されていることを仮定して読み込まれる。ここでのローカルタイムは、計算ドメインの基準経度から、 $UTC + (\text{MAPPROJECTION_basepoint_lon})/15.0$ によって定義される。ただし、AHとAHLデータ配列の時間軸の単位については、次バージョン以降に変更となる可能性があるので注意が必要である。ZOMは時間変化を考慮しないので、データは1時刻分でもよい(つまり、 $(\text{CNVUSER_NSTEPS})=1$)。その他の項目については、第4.1.3節に記載の通りである。

4.5 共通の設定

4.5.1 ログファイル

4.5.1.1 ログファイルの出力

scale-rm、scale-rm_init、scale-rm_ppを実行するときに、SCALE-RMはログファイルを出力できる。デフォルト設定において、scale-rmでは”LOG.pe000000”、scale-rm_initでは”init_LOG.pe000000”、scale-rm_ppでは”pp_LOG.pe000000”に、番号ゼロのプロセスからのログメッセージが書き込まれる。ユーザーは以下のように設定ファイルを編集することで、ログファイルの出力設定を変更できる。

```
&PARAM_IO
IO_LOG_BASENAME = 'LOG',           ; ログファイルのベース名
IO_LOG_ALLNODE = .false.,         ; 全てのプロセスに対するログファイルを出力するか?
IO_LOG_SUPPRESS = .false.,       ; .true. であれば、ログの出力を抑制する
IO_LOG_NML_SUPPRESS = .false.,   ; .true. であれば、ネームリストのパラメータの出力を抑制する
IO_NML_FILENAME = '',            ; 指定された場合には、ネームリストのパラメータを指定したファイルに出力する。指定がなければ、ログファイルに出力する。
IO_STEP_TO_STDOUT = -1,          ; 正であれば、時間ステップの情報を標準出力に出力する
/
```

ログファイルの名前は [PARAM_IO] の (IO_LOG_BASENAME) で設定する。上記のデフォルト設定の場合は、マスタープロセスに対するログファイル名は”LOG.pe000000”である。全てのプロセスに対するログファイルを出力するかは、(IO_LOG_ALLNODE) で制御する。(IO_LOG_ALLNODE) を .true. とした場合は、全プロセスに対するログファイルが生成され、そうでない場合はログファイルはマスタープロセス (すなわちランク 0) からのみ出力される。

(IO_LOG_SUPPRESS) を .true. に設定した場合はログファイルは生成されず、ほぼ全てのログメッセージが出力されない。この場合でも、経過時間に関する情報だけは標準出力 (STDOUT) に送られる。

ネームリストのパラメータは、(IO_LOG_NML_SUPPRESS) を .true. に設定した場合を除いて出力される。デフォルトでは、パラメータはログファイルに出力される。(IO_NML_FILENAME) を設定することによって、異なるファイルに出力することもできる。(IO_NML_FILENAME) で指定したファイルは、その後の実行の入力設定ファイルとして用いることができる。

時間ステップの情報はログファイルに出力される。その情報の詳細は次節で説明する。(IO_STEP_TO_STDOUT) > 0 と設定されている場合は、時間ステップの情報は標準出力にも出力される。全ての時間ステップの情報はログファイルに出力される。標準出力については、出力するステップ間隔を (IO_STEP_TO_STDOUT) に数値で指定する。

4.5.1.2 ログファイル内の時間に関する情報

`scale-rm` を実行すると、ログファイル中に以下の形式の行を見つけることができる。

```
+++++ TIME: 0000/01/01 00:06:36 + 0.600 STEP: 1984/ 432000 WCLOCK: 2000.2
```

この行は、以下のような計算状況に関するメッセージを意味する。

- 現在、初期時刻「0000/01/01 00:00:00 + 0.000」から 6m36.6s の時間積分が行われたこと。
- 今回の時間ステップは、全時間ステップ数である 432000 回中の 1984 回目であること。
- 経過時間 (cpu 時間) は 2000.2s であること。

さらに、これらの情報から本計算に必要な時間を推測できる。この場合には、推定される所要時間は、121 時間 (= $2000.2 \times 432000 \div 1984$) である。

ログファイル内のメッセージは以下の形式で出力される。

```
type [subroutine name] message
messages
...
```

type : メッセージの種類 (以下の中の1つをとる)

- INFO: ジョブ実行に関する一般的な情報
- WARN: ジョブ実行に関する重要な出来事
- ERROR: 実行停止を伴う致命的なエラー

subroutine name : メッセージを書き込んだサブルーチンの名前

message : メッセージの本文

以下は、エラーメッセージの例である。

```
ERROR [ATMOS_PHY_MP_negative_fixer] large negative is found. rank = 1
k,i,j,value(QHYD,QV) = 17 8 1 1.7347234759768071E-018 0.00000000000000000
k,i,j,value(QHYD,QV) = 19 8 1 -5.4717591620764856E-003 0.00000000000000000
...
```

4.5.2 モニターファイル

モニターファイルと出力変数は、`run.conf` 中の `[PARAM_MONITOR]` と `[MONITOR_ITEM]` で設定する。モニターのデフォルトの形式は、`[PARAM_MONITOR]` で設定する。

```
&PARAM_MONITOR
MONITOR_OUT_BASENAME = "monitor", ; 出力ファイルのベース名
MONITOR_USEDEVIATION = .true., ; 最初のステップからの偏差を使うか?
MONITOR_GLOBAL_SUM = .true., ; 全領域積算値を使うか?
MONITOR_STEP_INTERVAL = 1, ; モニター出力ステップ間隔
/
```

```
&MONITOR_ITEM
NAME = "ENGT", ; 変数名。 変数のリストは表 4.5.1, 4.5.2, 4.5.3, 4.5.4 に示される。
/
```

モニターコンポーネントは、乾燥空気の状態・水蒸気・全エネルギー・表面での降水フラックス等の物理量の領域での合計値を出力する。これらの出力は、質量収支やエネルギー収支の確認に役立つ。出力される値は、(MONITOR_GLOBAL_SUM) が .true. の場合は全領域での積算値となり、.false. の場合は各 MPI プロセス内での積算値となる。スナップショットタイプの変数については、(MONITOR_USEDEVIATION) が .true. の場合は出力値は初期値からの偏差となる。テンデンスタイプの変数については、出力値は時間積算値である。

モニターファイルは ASCII 形式であり、ファイル名は (MONITOR_OUT_BASENAME) にしたがって設定される。(MONITOR_GLOBAL_SUM) が .true. の場合は、ファイル名は (MONITOR_OUT_BASENAME).peall となり、.false. の場合は (MONITOR_OUT_BASENAME).peXXXXXX となる。ここで、XXXXXX はプロセス番号である。

モニター出力の時間間隔は、時間刻み幅 (Δt) の倍数として (MONITOR_STEP_INTERVAL) に指定する。

例えば、(MONITOR_STEP_INTERVAL) = 10 および (MONITOR_USEDEVIATION) = .true. と指定して、[MONITOR_ITEM] に以下の設定を付け加えたとする。

```
&MONITOR_ITEM NAME="DENS" /
&MONITOR_ITEM NAME="QTOT" /
&MONITOR_ITEM NAME="EVAP" /
&MONITOR_ITEM NAME="PREC" /
```

このとき、モニターファイルは以下のように出力される。

```
DENS QTOT EVAP PREC
STEP= 1 (MAIN) 0.00000000E+00 0.00000000E+00 0.00000000E+00 0.00000000E+00
STEP= 11 (MAIN) -2.27510244E+11 6.67446186E+11 9.39963392E+10 2.98914905E+11
STEP= 21 (MAIN) -3.04179976E+11 1.16811060E+12 1.64602175E+11 7.56753096E+11
STEP= 31 (MAIN) -7.55688670E+11 1.42784177E+12 2.25452889E+11 1.42932656E+12
STEP= 41 (MAIN) -9.45082752E+11 1.56057082E+12 2.82959478E+11 2.19673659E+12
STEP= 51 (MAIN) -1.02869018E+12 1.66179511E+12 3.45854371E+11 2.98295445E+12
STEP= 61 (MAIN) -1.69997222E+12 1.74413176E+12 4.20139948E+11 3.78414734E+12
STEP= 71 (MAIN) -1.72816474E+12 1.81512719E+12 5.04055360E+11 4.59740827E+12
STEP= 81 (MAIN) -1.58692434E+12 1.88174470E+12 5.93665632E+11 5.41341475E+12
STEP= 91 (MAIN) -1.71362764E+12 1.94867974E+12 6.86327009E+11 6.22069061E+12
STEP= 101 (MAIN) -2.04231630E+12 1.99886166E+12 7.80859828E+11 7.03479603E+12
```


表 4.5.1: モニターに出力可能な大気モデルの変数

Values	Description	Unit	Type
DENS	大気の質量	kg	スナップショット
MOMZ	z 方向の運動量	kg m/s	スナップショット
MOMX	x 方向の運動量	kg m/s	スナップショット
MOMY	y 方向の運動量	kg m/s	スナップショット
RHOT	温位	kg K	スナップショット
TRACER*	予報変数のトレーサー	unit × kg	スナップショット
QDRY	乾燥空気の質量	kg	スナップショット
QTOT	水物質の質量	kg	スナップショット
EVAP	表面での蒸発	kg	テンデンシー
PREC	降水量	kg	テンデンシー
ENGT	全エネルギー (ENGP + ENGK + ENGI)	J	スナップショット
ENGP	ポテンシャルエネルギー ($\rho * g * z$)	J	スナップショット
ENGK	運動エネルギー ($\rho * (W^2 + U^2 + V^2)/2$)	J	スナップショット
ENGI	内部エネルギー ($\rho * C_v * T$)	J	スナップショット
ENGFLXT	全エネルギーのフラックスの収束 (SH + LH + SFC_RD - TOM_RD)	J	テンデンシー
ENGSFC_SH	表面での顕熱フラックス	J	テンデンシー
ENGSFC_LH	表面での潜熱フラックス	J	テンデンシー
ENGSFC_EVAP	表面での潜熱フラックス	J	テンデンシー
ENGSFC_PREC	表面での潜熱フラックス	J	テンデンシー
ENGSFC_RD	表面での正味の放射フラックス (SFC_LW_up + SFC_SW_up - SFC_LW_dn - SFC_SW_dn)	J	テンデンシー
ENGTOM_RD	モデル上端での正味の放射フラックス (TOM_LW_up + TOM_SW_up - TOM_LW_dn - TOM_SW_dn)	J	テンデンシー
ENGSFC_LW_up	表面での上向き長波放射フラックス	J	テンデンシー
ENGSFC_LW_dn	表面での下向き長波放射フラックス	J	テンデンシー
ENGSFC_SW_up	表面での上向き短波放射フラックス	J	テンデンシー
ENGSFC_SW_dn	表面での下向き短波放射フラックス	J	テンデンシー
ENGTOM_LW_up	モデル上端での上向き長波放射フラックス	J	テンデンシー
ENGTOM_LW_dn	モデル上端での下向き長波放射フラックス	J	テンデンシー
ENGTOM_SW_up	モデル上端での上向き短波放射フラックス	J	テンデンシー
ENGTOM_SW_dn	モデル上端での下向き短波放射フラックス	J	テンデンシー
MASSTND_DAMP	ナッジングによる質量変化	kg	テンデンシー
MASSFLX_WEST	西側境界における質量フラックス	kg	テンデンシー
MASSFLX_EAST	東側境界における質量フラックス	kg	テンデンシー
MASSFLX_SOUTH	南側境界における質量フラックス	kg	テンデンシー
MASSFLX_NORTH	北側境界における質量フラックス	kg	テンデンシー
QTOTTND_DAMP	ナッジングによる水物質の質量変化	kg	テンデンシー
QTOTFLX_WEST	西側境界における水物質の質量フラックス	kg	テンデンシー

前ページからの続き..

QTOTFLX_EAST	東側境界における水物質の質量フラックス	kg	テンデンシー
QTOTFLX_SOUTH	南側境界における水物質の質量フラックス	kg	テンデンシー
QTOTFLX_NORTH	北側境界における水物質の質量フラックス	kg	テンデンシー
QTOTTND_NF	負値修正による水物質の質量変化	kg	テンデンシー
ENGITND_NF	負値修正による内部エネルギー変化	kg	テンデンシー
QTOTFLX_TB_WEST	乱流による西側境界における水物質の質量フラックス	kg	テンデンシー
QTOTFLX_TB_EAST	乱流による東側境界における水物質の質量フラックス	kg	テンデンシー
QTOTFLX_TB_SOUTH	乱流による南側境界における水物質の質量フラックス	kg	テンデンシー
QTOTFLX_TB_NORTH	乱流による北側境界における水物質の質量フラックス	kg	テンデンシー

表 4.5.2: モニターに出力可能な海洋モデルの変数

Values	Description	Unit	Type
OCN_TEMP	海水温度	K m ³	スナップショット
OCN_ICE_TEMP	海氷温度	K m ³	スナップショット
OCN_ICE_MASS	海氷質量	kg	スナップショット
OCN_MASFLX_TOP	表面質量フラックス (オープンオーシャン上面および海氷上面)	kg	スナップショット
OCN_MASFLX_MID	海面質量フラックス (オープンオーシャン上面および海氷下面)	kg	スナップショット
OCN_MAS_SUPL	海水量保存のために供給された質量	kg	テンデンシー
OCN_MASCNV	全質量収束	kg	テンデンシー
OCN_WTR_MASCNV	海水質量収束	kg	テンデンシー
OCN_ICE_MASCNV	海氷質量収束	kg	テンデンシー
OCN_WTR_ENGI	海水内部エネルギー	J	スナップショット
OCN_ICE_ENGI	海氷内部エネルギー	J	スナップショット
OCN_GHFLX_TOP	表面熱フラックス	J	テンデンシー
OCN_GHFLX_MID	海面熱フラックス	J	テンデンシー
OCN_ENGIFLX_TOP	表面内部エネルギーフラックス	J	テンデンシー
OCN_ENGIFLX_MID	海面内部エネルギーフラックス	J	テンデンシー
OCN_ENGI_SUPL	海水量保存のために供給された内部エネルギー	J	テンデンシー
OCN_ENGICNV	全内部エネルギー収束	J	テンデンシー
OCN_WTR_ENGICNV	海水内部エネルギー収束	J	テンデンシー
OCN_ICE_ENGICNV	海氷内部エネルギー収束	J	テンデンシー

表 4.5.3: モニターに出力可能な陸面モデルの変数

Values	Description	Unit	Type
LND_TEMP	土壌温度	K m ³	スナップショット
LND_WATER	土壌液水量	kg	スナップショット
LND_ICE	土壌凍結水量	kg	スナップショット
LND_MASSFC	地表面水質量フラックス	kg	テンデンスー
LND_ROFF	Runoff 水量	kg	テンデンスー
LND_MASFLX	全質量変化	kg	テンデンスー
LND_ENGI	全内部エネルギー	J	スナップショット
LND_WTR_ENGI	液水内部エネルギー	J	スナップショット
LND_ICE_ENGI	凍結水内部エネルギー	J	スナップショット
LND_ENGSFC_GH	地表面熱フラックス	J	テンデンスー
LND_ENGSFC_EI	地表面内部エネルギー	J	テンデンスー
LND_ROFF_EI	Runoff 水の内部エネルギー	J	テンデンスー
LND_ENGFLX	全内部エネルギー変化	J	テンデンスー

表 4.5.4: モニターに出力可能な都市モデルの変数

Values	Description	Unit	Type
URB_TRL	屋根温度	K m ³	スナップショット
URB_TBL	壁温度	K m ³	スナップショット
URB_TGL	道路温度	K m ³	スナップショット
URB_TR	屋根表面温度	K m ²	スナップショット
URB_TB	壁表面温度	K m ²	スナップショット
URB_TG	道路表面温度	K m ²	スナップショット
URB_TC	キャノピー温度	K m ²	スナップショット
URB_UC	キャノピー風速	m ³ /s	スナップショット
URB_QC	キャノピー比湿	kg/m	スナップショット
URB_RAINR	屋根水分量	kg	スナップショット
URB_RAINB	壁水分量	kg	スナップショット
URB_RAING	道路水分量	kg	スナップショット
URB_ROFF	Runoff 水質量	kg	テンデンスー

4.5.3 物理定数

いくつかの物理定数の値は、設定ファイルの [PARAM_CONST] で変更できる。

```
&PARAM_CONST
CONST_RADIUS = 6.37122D+6,      ; 惑星半径 [m]
CONST_OHM = 7.2920D-5,         ; 惑星の自転角速度 [1/s]
CONST_GRAV = 9.80665D0,       ; 標準重力加速度 [m/s2]
CONST_Rdry = 287.04D0,        ; 気体定数 (乾燥空気) [J/kg/K]
CONST_CPdry = 1004.64D0,      ; 定圧比熱 (乾燥空気) [J/kg/K]
CONST_LAPS = 6.5D-3,          ; 国際標準大気 of 温度減率 [K/m]
CONST_Pstd = 101325.D0,       ; 標準圧力 [Pa]
CONST_PRE00 = 100000.D0,      ; 圧力の参照値 [Pa]
CONST_Tstd = 288.15D0,        ; 標準温度 (15°C) [K]
CONST_THERMODYN_TYPE = 'EXACT', ; 内部エネルギーの定式化の種類
CONST_SmallPlanetFactor = 1.D0, ; 小さな惑星設定に対するファクタ [1]
/
```

(CONST_THERMODYN_TYPE) が 'EXACT' の場合は、潜熱の温度依存性を考慮する。(CONST_THERMODYN_TYPE) が 'SIMPLE' の場合は、水物質の各カテゴリーの比熱を乾燥空気の定積比熱に設定し、潜熱の温度依存性は無視する。(CONST_RADIUS) には (CONST_SmallPlanetFactor) が掛けられる。同時に、(CONST_OHM) には (CONST_SmallPlanetFactor) の逆数が掛けられる。

4.5.4 暦

暦の種類は、設定ファイルの [PARAM_CALENDAR] で指定できる。デフォルトでは、グレゴリオ暦を用いる。

```
&PARAM_CALENDAR
CALENDAR_360DAYS = .false.    ; 12x30 days の暦を用いるか?
CALENDAR_365DAYS = .false.    ; うるう年を考慮するか?
/
```

暦の設定は太陽天頂角の計算に影響を及ぼし、一年の長さや黄道の一週が一致するように計算される。異なる暦を使用している外部データは、読み込むべきでないことに注意されたい。

(CALENDAR_360DAYS) を .true. とした場合は、1年が12ヶ月、1ヶ月が30日ある暦を設定する。(CALENDAR_365DAYS) を .true. とした場合は、うるう年の無いグレゴリオ暦を用いる。

4.5.5 乱数生成

乱数生成のパラメータは設定ファイルの [PARAM_RANDOM] で設定する。

```
&PARAM_RANDOM
RANDOM_FIX = .false.    ; 乱数のシードを固定するか?
/
```

SCALE では、乱数生成のための組み込み関数を用いる。生成される乱数は擬似乱数であることに注意が必要である。乱数のシードは、現在の日時、cpu 時間、プロセス ID によって決定される。**(RANDOM_FIX)** を `.true.` とした場合は、シードを特定の数字に固定する。このオプションは、初期場としてランダムな擾乱を用いるシミュレーションの結果を再現するときに便利である。

4.5.6 パフォーマンスの測定

パフォーマンス測定のためのパラメータは、設定ファイルの **[PARAM_PROF]** で与える。

```
&PARAM_PROF
  PROF_rap_level = 2           ; ラップを測定するレベル
  PROF_mpi_barrier = .false.   ; ラップ毎に MPI のバリア命令を追加するか?
/
```

経過時間を測定するために、ソースコードにはユーティリティ関数 (`PROF_rapstart`, `PROF_rapend`) が埋め込まれている。これらの測定区間は、詳細なパフォーマンス測定のためにも用いられる。ラップ時間の結果は、ログファイルの終わりに表示される。**[PARAM_IO]** の **(IO_LOG_ALLNODE)** を `.true.` とした場合は、各プロセスの結果が個々のログファイルに報告される。**[PARAM_IO]** の **(IO_LOG_SUPPRESS)** が `.true.` とした場合は、結果は標準出力に送られる。それぞれの測定区間は、出力に関するレベルを持つ。**(PROF_rap_level)** よりも大きな出力のレベルを持つ区間は、経過時間が測定されない。

(PROF_mpi_barrier) を `.true.` とした場合は、現在時刻を取得する前後で MPI のバリア命令が呼ばれる。このオプションは計算時間と通信時間を分離するために役立つ。計算時間はしばしばプロセス間の大きな不均衡を明らかにする。

4.5.7 統計量のモニター

統計量モニターに関するパラメータは、設定ファイルの **[PARAM_STATISTICS]** で与える。

```
&PARAM_STATISTICS
  STATISTICS_checktotal = .false. ; 変数の合計量を計算し、ログファイルへ出力するか?
  STATISTICS_use_globalcomm = .false. ; 全通信を用いて全量を計算するか?
/
```

(STATISTICS_checktotal) を `.true.` とした場合は、デバッグのために、いくつかの変数の領域内の合計量を計算して、ログファイルに出力する。**(STATISTICS_use_globalcomm)** を `.true.` とした場合は、全通信を用いて領域全体の合計量が計算される。ただし、これはシミュレーション時間を長くする可能性がある。このオプションを `.false.` とした場合は、各プロセスに割り当てられた空間領域内での合計量が計算される。

4.6 後処理

4.6.1 SCALE NetCDF Operator (SNO)

NOTICE _____ G SNO は、version 5.3 以降の SCALE で作成された SCALE-netCDF のための後処理ツールである。それより古い SCALE-netCDF ファイルでは、グローバル属性や軸データの属性の情報が不足しているために利用できない。

Parallel netCDF(PnetCDF) (第 5.1.1.5 節) を使用して [PARAM_FILE] の (FILE_AGGREGATE) = .true. としている場合を除き、SCALE-RM の出力ファイル (SCALE-netCDF ファイル) は、実行時の並列数に応じてプロセスごとに分割して出力される。プロセスごとのファイル出力は、シミュレーション実行時におけるファイル I/O のスループット効率の観点では有利であるが、次の点では不利である。1) MPI プロセス数が多い場合、ファイル数が膨大となり、それらを扱うのが簡単ではない。2) 同じ実験設定でも、使用する MPI プロセス数が異なると、初期値・境界値・リスタート・ヒストリファイルを実験間で共有して使用することができない。3) 広く一般に提供されている多くの解析ツールや可視化ツールは、空間方向の分割ファイルに対応していない。

これらの分割ファイルの扱いづらさを軽減し、補助するため、SNO は以下の機能を備えている。括弧内は、対応している SNO の出力データ形式を示す。

- 分割された複数のファイルを結合して、1 個のファイルにまとめる (SCALE-netCDF)。
- 1 個のファイル、あるいは、複数のファイルを、別の分割数のファイルに変換する (SCALE-netCDF)。
- モデル面高度座標系をモデル高度座標系へとリグリッドする (SCALE-netCDF)。
- モデル面高度座標系を実高度座標系へとリグリッドする (SCALE-netCDF)。
- モデル面高度座標系を気圧面高度座標系へとリグリッドする (SCALE-netCDF)。
- モデル格子から測地線 (緯度経度) 格子系へとリグリッドする (NetCDF : SCALE-netCDF 形式ではなくなるので注意)。
- 出力データを複数時間ステップに渡って平均する (SCALE-netCDF)。

4.6.1.1 基本的な使い方

SNO 実行のための設定は、[PARAM_SNO] で行う。

```

&PARAM_SNO
  basename_in = "",           ; 入力ファイルのパスとベース名
  basename_out = "",         ; 出力ファイルのベース名
  vars = "",                 ; 処理を行う変数の名前
  debug = .false.,          ; デバッグのための詳細なログを出力するか?
  nprocs_x_out = 1,          ; 出力ファイルの x 方向の分割数
                              output_grads = true の時、値は 1 でなければいけない。
  nprocs_y_out = 1,          ; 出力ファイルの y 方向の分割数
                              output_grads = true の時、値は 1 でなければいけない。
  output_single = .false.,   ; (SCALE-netCDF) 複数プロセス実行時、単一の netCDF ファイルに
                              出力するか?
  dirpath_out = "",          ; (GrADS) 出力先のディレクトリパス
  output_grads = .false.,    ; (GrADS) grads 形式で出力するか?
/

```

(**basename_in**) は必須である。入力ファイルの総数や 2 次元トポロジー等情報は、1 番目のファイル (*.pe000000.nc) から読み込まれる。

(**vars**) は、指定しなければ、入力ファイル内全ての変数に対して処理が実行される。

(**nprocs_x_out**) と (**nprocs_y_out**) のデフォルト値は 1 であり、この場合、単一のファイルに結合されて出力される。(output_single) = .true. の場合には、(**nprocs_x_out**) と (**nprocs_y_out**) の設定によらず、単一のファイルに結合されて出力される。

SNO に与える MPI プロセス数は、**nprocs_x_out** × **nprocs_y_out** と同じでなければならない。**(nprocs_x_out)** と (**nprocs_y_out**) で指定するプロセス数は、それぞれ、入力ファイルの X 方向と Y 方向の分割数の約数でなければならない。

出力形式が SCALE-netCDF の場合、(**basename_out**) は必須である。(output_grads) = .true. の場合、GrADS で読み込み可能なバイナリ形式の単一ファイルとして出力される。(dirpath_out) が空であれば、出力先のパスはカレントディレクトリに設定される。GrADS ファイル出力の場合、(**nprocs_x_out**) および (**nprocs_y_out**) は 1 でなければならない。

[PARAM_SNO] 以外に、SNO は以下のネームリストが有効です。

- [PARAM_IO]: ログファイル (第 4.5.1 節を参照)
- [PARAM_PROF]: パフォーマンス測定 (第 4.5.6 を参照)
- [PARAM_CONST]: 物理定数 (第 4.5.3 を参照)
- [PARAM_CALENDAR]: カレンダー (第 4.5.4 を参照)

4.6.1.2 設定例: ファイルのデータ形式、及び、分割数の変換

複数の SCALE-netCDF ファイルから単一の NetCDF ファイルへの変換 (単一実行プロセス)

```

&PARAM_SNO
  basename_in = 'input/history_d02',
  basename_out = 'output/history_d02_new',
/

```

この例では、ディレクトリ ./input にある history_d02.pe#####.nc という名前のヒストリファイルを変換する。ここで、##### は MPI のプロセス番号を表す。この例では、出力ファイルの分

割数や変数に関するオプションは指定されていないので、出力ファイルは、全ての変数を含む単一ファイルとなる。変換されたファイルは、history_d02_new.pe#####.nc という名前で ./output ディレクトリの中に出力される。一般的に、単一の netCDF ファイルは外部メタデータファイルが無くても GrADS で読み込める。しかし、GrADS のインターフェイスは制限的であり、関連する座標や地図投影を含む SCALE-netCDF 形式を解釈できない。その場合、コントロールファイルが必要である。以下は、コントロールファイルの例である。

```

SET ^history_d02_new.pe000000.nc
TITLE SCALE-RM data output
DTYPE netcdf
UNDEF -0.99999E+31
XDEF 88 LINEAR 134.12 0.027
YDEF 80 LINEAR 33.76 0.027
ZDEF 35 LEVELS
  80.841 248.821 429.882 625.045 835.409 1062.158 1306.565 1570.008 1853.969
  2160.047 2489.963 2845.574 3228.882 3642.044 4087.384 4567.409 5084.820 5642.530
  6243.676 6891.642 7590.075 8342.904 9154.367 10029.028 10971.815 11988.030 13083.390
  14264.060 15536.685 16908.430 18387.010 19980.750 21698.615 23550.275 25546.155
TDEF 25 LINEAR 00:00Z01MAY2010 1HR
PDEF 80 80 LCC 34.65 135.22 40 40 30.00 40.00 135.22 2500.00 2500.00
VARS 3
U=>U 35 t,z,y,x velocity u
PREC=>PREC 0 t,y,x surface precipitation flux
OCEAN_SFC_TEMP=>OCEAN_SFC_TEMP 0 t,y,x ocean surface skin temperature
ENDVARS

```

メルカトル図法などのシンプルな LATLON 出力でも問題ない場合は、SNO を用いて単一ファイルに結合することで、ctl ファイルを作成しなくとも GrADS の sdfopen コマンドで読み込むことができるようになる。

複数の SCALE-netCDF ファイルから単一の NetCDF ファイルへの変換（複数実行プロセス）

```

&PARAM_SNO
  basename_in = 'input/history_d02',
  basename_out = 'output/history_d02',
  nprocs_x_out = 4,
  nprocs_y_out = 6,
  output_single = .true.,
/

```

この例では、上の例と同じく出力は単一ファイルとなり、また、出力ファイルには全ての変数が含まれる。ただし、この例では MPI プロセスの数は 24 (= 4 × 6) とする必要がある。

複数の SCALE-netCDF ファイルから異なる分割数を持つ複数の SCALE-netCDF ファイルへの変換

```
&PARAM_SNO
  basename_in = 'input/history_d02',
  basename_out = 'output/history_d02',
  nprocs_x_out = 4,
  nprocs_y_out = 6,
/
```

複数ファイルを再編成する場合、各出力ファイルは(ハ口の格子を除いて)同じ格子数でなければならないという制限がある。これを満たすためには、(nprocs_x_out)は、領域全体のX方向の格子数(IMAXG)の約数でなければならない(第4.2.3章参照)。(nprocs_y_out)も同様である。

上記の例において、入力ファイル数は4([x,y]=[2,2])、各ファイルにはX方向とY方向にそれぞれ(ハ口を除いて)30個の格子点が含まれるとする。つまり、領域全体の格子数は60×60である。出力ファイル数は24([x,y]=[4,6])が指定されているので、各出力ファイルにはx方向に15個、y方向に10個の格子点が含まれることになる。

入力ファイルの格子数や分割に関する情報は、SCALE-netCDFファイルのグローバル属性を確認することで得られる。例えば、以下のように「ncdump」コマンドを用いればヘッダー情報を確認できる。

```
$ ncdump -h history_d02.pe000000.nc
```

ダンプされた情報の最後に、グローバル属性がある。

```
.....
// global attributes:
.....
:scale_cartesC_prc_rank_x = 0 ;
:scale_cartesC_prc_rank_y = 0 ;
:scale_cartesC_prc_num_x = 2 ;
:scale_cartesC_prc_num_y = 2 ;
.....
:scale_atmos_grid_cartesC_index_imaxg = 60 ;
:scale_atmos_grid_cartesC_index_jmaxg = 60 ;
.....
```

scale_cartesC_prc_num_x と scale_cartesC_prc_num_y はそれぞれ、二次元のファイルトポロジーにおけるx方向とy方向のサイズである。また、scale_cartesC_prc_rank_x と scale_cartesC_prc_rank_y はそれぞれ、2次元マップにおけるx方向とy方向の位置である。このランク番号は0から始まる。scale_atmos_grid_cartesC_index_imaxg と scale_atmos_grid_cartesC_index_jmaxg はそれぞれ、領域全体におけるx方向とy方向の格子数である。これらの格子点数にはハ口格子は含まれない。その他の属性情報については、第5.1.1.1節の表5.1.1を参照いただきたい。

複数の SCALE-netCDF ファイルから GrADS ファイルへの変換

```
&PARAM_SNO
  basename_in = 'input/history_d02',
  dirpath_out = 'output',
  output_grads = .true.,
  vars = "U", "PREC", "LAND_TEMP",
/
```

(**output_grads**) を `.true.` とした場合は、全ての分割データは結合され、単一のバイナリファイルが作成される。変換は、(**vars**) で指定した変数について実施される。GrADS 用のバイナリファイルは、異なる鉛直層を持つ複数の変数を含むことができないなどの制約があるため、SNO は各変数ごとに別々のファイルに出力する。出力ファイルの名前は変数名と同じに設定される。コントロールファイルもまた出力される。変換されたファイルの出力先ディレクトリは、`./output` である。**(basename_out)** を指定しても無視され、(**dirpath_out**) で指定した出力先のパスのみ設定されることに注意。

4.6.1.3 設定例: プラグイン機能

ファイルの出力や結合/分割を行う前に、時間平均や水平・鉛直方向のリマッピング等の演算を適用できる。

時間平均

時間平均のための設定は、**[PARAM_SNOPLGIN_TIMEAVE]** で行う。

```
&PARAM_SNO
  basename_in = 'input/history_d02',
  basename_out = 'output/history_d02',
  nprocs_x_out = 2,
  nprocs_y_out = 2,
/

&PARAM_SNOPLGIN_TIMEAVE
  SNOPLGIN_timeave_type = 'NUMBER',
  SNOPLGIN_timeave_interval = 4,
/
```

(**SNOPLGIN_timeave_type**) を `'NUMBER'` に設定した場合は、データを等時間軸間隔毎に平均する。平均の間隔は (**SNOPLGIN_timeave_interval**) で指定する。上記の例の場合、4 出力ステップごとに変数が平均される。データは 2×2 に分割され、合計 4 ファイルに出力される。

他の例を以下に示す。

```
&PARAM_SNO
  basename_in = 'input/history_d02',
  basename_out = 'output/history_d02',
/

&PARAM_SNOPLGIN_TIMEAVE
  SNOPLGIN_timeave_type = 'MONTHLY',
/
```

この例では、ファイルの集約と時間平均の両方を行う。`(SNOPLGIN_timeave_type)`として、'DAILY', 'MONTHLY', 'ANNUAL' のいずれかを設定した場合、SNO は変数の日平均、月平均、年平均の計算を試みる。データの日付や時刻はファイルから読み込まれる。シミュレーションでデフォルトとは異なる暦を用いた場合は、SNO の設定ファイルにも同様の `[PARAM_CALENDAR]` の設定を加える必要がある (第 4.5.4 節参照)。

等緯度経度格子への変換

データを等緯度経度格子にリマッピングするための設定は、`[PARAM_SNOPLGIN_HGRIDOPE]` で行う。

```
&PARAM_SNO
  basename_in = 'input/history_d02',
  basename_out = 'output/history_d02',
  /

&PARAM_SNOPLGIN_HGRIDOPE
  SNOPLGIN_hgridope_type = 'LATLON',
  SNOPLGIN_hgridope_lat_start = 30.0,
  SNOPLGIN_hgridope_lat_end = 40.0,
  SNOPLGIN_hgridope_dlat = 0.5,
  SNOPLGIN_hgridope_lon_start = 130.0,
  SNOPLGIN_hgridope_lon_end = 140.0,
  SNOPLGIN_hgridope_dlon = 0.5,
  /
```

`(SNOPLGIN_hgridope_type)` を 'LATLON' に設定した場合は、緯度経度格子系への水平方向のリマッピングが行われる。このプラグインの演算は、出力ファイルが単一である場合にのみ利用できる。その他の `[PARAM_SNOPLGIN_HGRIDOPE]` のオプションで、出力データの領域境界や格子間隔を設定する。経度方向の格子点数 `nlon` は、以下のように計算される。

$$nlon = \frac{SNOPLGIN_hgridope_lon_end - SNOPLGIN_hgridope_lon_start}{SNOPLGIN_hgridope_dlon} + 1.$$

この計算結果は整数に丸められる。そのため、最も東にある格子点は `(SNOPLGIN_hgridope_lon_end)` と異なる可能性がある。緯度方向の格子点数も経度方向と同じ方法で計算する。

出力データの領域は、シミュレーションで用いた領域よりも大きく取ることができる。この場合、リマッピングの過程で外挿は許されず、内挿値を持たない格子には欠損値が埋められる。

モデル高度座標への変換

モデル面の鉛直座標を別の座標系へ変換するための設定は、`[PARAM_SNOPLGIN_VGRIDOPE]` で行う。鉛直座標系の変換は、出力ファイルが複数であっても利用できる。

```
&PARAM_SNO
  basename_in = 'input/history_d02',
  basename_out = 'output/history_d02',
/

&PARAM_SNOPLGIN_VGRIDOPE
  SNOPLGIN_vgridope_type = 'model',
  SNOPLGIN_vgridope_lev_num = 5,
  SNOPLGIN_vgridope_lev_data = 80.0, 160.0, 400.0, 1000.0, 2000.0,
/
```

(**SNOPLGIN_vgridope_type**) を 'model' に設定した場合は、モデル高度座標系への鉛直方向のリマッピングが行われる。(SNOPLGIN_vgridope_lev_num) で鉛直層の数を設定し、(SNOPLGIN_vgridope_lev_data) で座標情報を与える必要がある。座標単位は [m] で設定する。

実高度座標への変換

```
&PARAM_SNO
  basename_in = 'input/history_d02',
  basename_out = 'output/history_d02',
/

&PARAM_SNOPLGIN_VGRIDOPE
  SNOPLGIN_vgridope_type = 'z',
  SNOPLGIN_vgridope_lev_num = 3,
  SNOPLGIN_vgridope_lev_data = 100.0, 300.0, 500.0,
/
```

(**SNOPLGIN_vgridope_type**) を 'z' に設定した場合は、実高度座標系への鉛直方向のリマッピングが行われる。(SNOPLGIN_vgridope_lev_num) で鉛直層の数を設定し、(SNOPLGIN_vgridope_lev_data) で座標情報を与える必要がある。座標単位は [m] で設定する。

気圧高度座標への変換

```
&PARAM_SNO
  basename_in = 'input/history_d02',
  basename_out = 'output/history_d02',
/

&PARAM_SNOPLGIN_VGRIDOPE
  SNOPLGIN_vgridope_type = 'pressure',
  SNOPLGIN_vgridope_lev_num = 3,
  SNOPLGIN_vgridope_lev_data = 850.e+2, 500.e+2, 200.e+2,
/
```

(`SNOPLGIN_vgridope_type`) を 'pressure' に設定した場合は、気圧高度座標系への鉛直方向の
マッピングが行われる。(`SNOPLGIN_vgridope_lev_num`) で鉛直層の数を設定し、(`SNOPLGIN_vgridope_lev_data`)
で座標情報を与える必要がある。座標単位は [Pa] で設定する。ただし、気圧高度の情報を必要とす
るため、入力ファイルに気圧データ (PRES) が含まれていなければならない。

第5部

詳細説明（応用編）

5.1 SCALEにおけるファイル入出力

5.1.1 SCALE-netCDF ファイルとは?

本節では、SCALE が直接読み書きする SCALE-netCDF ファイルについて説明する。SCALE では、データファイルの形式として netCDF(network Common Data Format) を採用している。NetCDF は Unidata (<http://www.unidata.ucar.edu>) が開発を行っているソフトウェアであり、自己記述的で計算機に依存しないデータ形式のファイルを生成することを可能にする。例えば、前者についてはファイル中に軸変数と一緒に変数を記述できる長所がある。また、後者については、どのエンディアンが使用されるかを気にせずにデータを扱える長所がある。SCALE では、上記の利点に基づいてある規約 (SCALE-netCDF convention) を定めている。この規約は、CF convection (<http://cfconventions.org>) におおよそ従っている。

5.1.1.1 グローバル属性

SCALE-netCDF ファイルには、ファイルに含まれるデータの情報 (空間分割に関する情報等) がグローバル属性 (global attribute) として格納されている (表 5.1.1)。
(`PRC_NUM_X`, `PRC_NUM_Y`) については、第 4.2.3 節を参照されたい。

5.1.1.2 八口領域データ

ファイルに八口領域データが含まれるかは、ファイルの種類や設定によって依存する。ただし、ここで定義する八口領域とは計算領域全体に対する八口であり、各々の局所領域に対する八口を意味しないことに注意されたい。

初期値 (またはリスタート) データおよび境界値データについては、側面境界条件が周期境界でない場合 (`[PARAM_PRC_CARTESC]` において (`PRC_PERIODIC_X`) と (`PRC_PERIODIC_Y`) を `.false.` とした場合)、もしくは単一ファイルの入出力の場合 (`[PARAM_IO]` の (`IO_AGGREGATE`) を `.true.` とした場合) には八口領域データが含まれる。それ以外の場合、八口領域データは含まれない。

一方で、ヒストリデータについては、側面境界条件が周期的でなく、かつ `[PARAM_HIST]` の (`HIST_BND`) を `.true.` とした場合には八口領域データが含まれる。それ以外の場合、八口領域データは含まれない。詳細は第 4.2.6 節を参照されたい。

5.1.1.3 軸変数

SCALE-netCDF ファイルには、軸に関するデータが格納されている。全ての軸変数は「long_name」と「units」の属性を持ち、これらはそれぞれ変数の説明や単位を記述する。また、`x`, `y`, `xh`, `yh` には、全領域データ格子数 (`size_global`)、ファイルに含まれるデータの全格子中での開始格子点位置 (`start_global`)、全領域データにおける先頭および末尾における八口領域の格子数 (`halo_global`)、ファイルに含まれるデータの八口領域の格子数 (`halo_local`) に関する属性が付加されている。

表 5.1.1: SCALE-netCDF ファイルのグローバル属性

名前	説明	備考
title	データの簡潔な説明	[PARAM_FILE_HISTORY] の (FILE_History_TITLE) の値
source	ソフトウェア名	履歴ファイルに対しては [PARAM_FILE_HISTORY] の (FILE_History_SOURCE) の値。他のファイルに対しては [PARAM_IO] の (H_SOURCE) の値
institution	データ作成者	履歴ファイルに対しては [PARAM_FILE_HISTORY] の (FILE_History_INSTITUTION) の値。他のファイルに対しては [PARAM_IO] の (H_INSTITUTE) の値
rankid	MPI プロセスのランク番号	モデルの PRC_myrank
Conventions	CF 規約のバージョン	“CF-1.6” for version 5.3
grid_name	格子の種類	SCALE-RM では “cartesC”
scale.cartesC_prc_rank_[xy]	二次元分割のマッピング番号	モデルにおいて変数 PRC_2Drank(PRC_myrank, i) に等しい (x: i=1, y: i=2)
scale.cartesC_prc_num_[xy]	二次元分割数	モデルでは、(PRC_NUM_X), (PRC_NUM_Y)
scale.cartesC_prc_periodic_[zxy]	境界条件が周期的か?	.false.or.true. モデルでは (PRC_PERIODIC_X), (PRC_PERIODIC_Y) に対応
scale.atmos_grid_cartesC\ _index_[ij]maxg	領域全体の格子点数	モデルにおいて、(IMAXG), (JMAXG)
scale.atmos_grid_cartesC\ _index_kmax	大気モデルの鉛直層数	モデルでは (KMAX)
scale.ocean_grid_cartesC\ _index_kmax	海洋モデルの鉛直層数	モデルでは (OKMAX)
scale.land_grid_cartesC\ _index_kmax	陸モデルの鉛直層数	モデルでは (LKMAX)
scale.urban_grid_cartesC\ _index_kmax	都市モデルの鉛直層数	モデルでは (UKMAX)
scale.atmos_grid_cartesC\ _index_[kij]halo	ハ口の格子数	モデルでは (KHALO), (IHALO), (JHALO)
Calendar	暦の種類	モデルでは (PARAM_CALENDAR)
time_units	時間の単位	
time_start	開始時刻	

(History_TITLE, History_SOURCE, History_INSTITUTION) は第 4.2.6 節を参照。

(PRC_NUM_X, PRC_NUM_Y, PRC_PERIODIC_X, PRC_PERIODIC_Y)、(KMAX, IMAXG, JMAXG) は第 4.2.3 節を参照。(PARAM_CALENDAR) は第 4.5.4 節を参照。

表 5.1.2 に、軸データのリストを示す。座標変数は自身の次元を持ち、その変数名は次元名と同じである。小文字の名前の変数はファイルの中で主に用いられ、一方で大文字の名前の変数は計算で用いられる軸を表す。図 5.1.1 と図 5.1.2 はそれぞれ、座標変数の水平位置や鉛直位置を示している。同時に、表 5.1.2 も参照されたい。

格子の面積データや体積データもそれぞれ、「cell_area**」と「cell_volume**」としてファイルに格納されている。各変数の「cell_measures」属性には、対応する面積や体積データを指定する。

地図投影データは無次元変数として格納されており、これらの名前は変数の属性「grid_mapping」で指定する。

スタガード格子の位置関係に関する情報は、SGRID 規約 (<https://github.com/sgrid/sgrid>) に基づいて、属性や無次元変数として格納している。その無次元変数の名前は、各変数の「grid」属性で指定される。

ファイルには、地表面高度データ「topo」や陸に対するマスクのデータ「lsmask」も含まれる。

表 5.1.2: SCALE-netCDF に含まれる軸データ。

座標変数	
名前	説明
水平軸 & 時間軸: 共通	
x	ファイルに含まれるデータの x 方向の full level の位置
x_bnds	ファイルに含まれるデータの x 方向の full level のセル境界
xh	ファイルに含まれるデータの x 方向の half level の位置
xh_bnds	ファイルに含まれるデータの x 方向の half level のセル境界
y	ファイルに含まれるデータの y 方向の full level の位置
y_bnds	ファイルに含まれるデータの y 方向の full level のセル境界
yh	ファイルに含まれるデータの y 方向の half level の位置
yh_bnds	ファイルに含まれるデータの y 方向の half level のセル境界
time	時刻の情報
time_bnds	時刻の境界情報
CX	局所領域に対する x 方向の full level の格子位置 (ハ口格子を含む)
FX	局所領域に対する x 方向の half level の格子位置 (ハ口格子を含む)
CDX	x 方向の full level の格子間隔 (ハ口格子を含む)
FDX	x 方向の half level の格子間隔 (ハ口格子を含む)
CY	局所領域に対する y 方向の full level の格子位置 (ハ口格子を含む)
FY	局所領域に対する y 方向の half level の格子位置 (ハ口格子を含む)
CDY	y 方向の full level の格子間隔 (ハ口格子を含む)
FDY	y 方向の half level の格子間隔 (ハ口格子を含む)
CXG	全領域に対する x 方向の full level の格子位置 (ハ口格子を含む)
FXG	全領域に対する x 方向の half level の格子位置 (ハ口格子を含む)
CYG	全領域に対する y 方向の full level の格子位置 (ハ口格子を含む)
FYG	全領域に対する y 方向の half level の格子位置 (ハ口格子を含む)
鉛直軸: 大気	
z	ファイルに含まれる大気データの z 方向の full level の位置
z_bnds	ファイルに含まれる大気データの z 方向の full level のセル境界
zh	ファイルに含まれる大気データの z 方向の half level の位置
zh_bnds	ファイルに含まれる大気データの z 方向の half level のセル境界

前ページからの続き..

CZ	大気モデルの z 方向の full level の格子位置 (ハ口格子を含む)
FZ	大気モデルの z 方向の half level の格子位置 (ハ口格子を含む)
CDZ	大気モデルの z 方向の full level の格子間隔 (ハ口格子を含む)
FDZ	大気モデルの z 方向の half level の格子間隔 (ハ口格子を含む)

鉛直軸：海洋

oz	ファイルに含まれる海洋データの z 方向の full level の位置
oz_bnds	ファイルに含まれる海洋データの z 方向の full level のセル境界
ozh	ファイルに含まれる海洋データの z 方向の half level の位置
ozh_bnds	ファイルに含まれる海洋データの z 方向の half level のセル境界
OCZ	海洋モデルの z 方向の full level の格子位置
OFZ	海洋モデルの z 方向の half level の格子位置
OCDZ	海洋モデルの z 方向の full level の格子間隔

鉛直軸：陸面

lz	ファイルに含まれる陸面データの z 方向の full level の位置
lz_bnds	ファイルに含まれる陸面データの z 方向の full level のセル境界
lzh	ファイルに含まれる陸面データの z 方向の half level の位置
lzh_bnds	ファイルに含まれる陸面データの z 方向の half level のセル境界
LCZ	陸面モデルの z 方向の full level の格子位置
LFZ	陸面モデルの z 方向の half level の格子位置
LCDZ	陸面モデルの z 方向の full level の格子間隔

鉛直軸：都市キャノピー

uz	ファイルに含まれる都市データの z 方向の full level の位置
uz_bnds	ファイルに含まれる都市データの z 方向の full level のセル境界
uzh	ファイルに含まれる都市データの z 方向の half level の位置
uzh_bnds	ファイルに含まれる陸面データの z 方向の half level のセル境界
UCZ	都市モデルの z 方向の full level の格子位置
UFZ	都市モデルの z 方向の half level の格子位置
UCDZ	都市モデルの z 方向の full level の格子間隔

他の軸変数 (1D)

名前	説明
CBFZ	CZ でのバッファ係数
FBFZ	FZ でのバッファ係数
CBFX	局所領域に対する CX でのバッファ係数
FBFX	局所領域に対する FX でのバッファ係数
CBFY	局所領域に対する CY でのバッファ係数
FBFY	局所領域に対する FY でのバッファ係数
CBFXG	全領域に対する CXG でのバッファ係数
FBFXG	全領域に対する FXG でのバッファ係数
CBFYG	全領域に対する CYG でのバッファ係数
FBFYG	全領域に対する FYG でのバッファ係数

他の軸変数 (2D)

名前	説明
----	----

前ページからの続き..

lon	(y, x) での経度
lon_uy	(y, xh) での経度
lon_xv	(yh, x) での経度
lon_uv	(yh, xh) での経度
lat	(y, x) での緯度
lat_uy	(y, xh) での緯度
lat_xv	(yh, x) での緯度
lat_uv	(yh, xh) での緯度
他の軸変数 (3D)	
名前	説明
height	ヒストリファイル中の (z,y,x) or リスタート/初期値ファイル中の (y,x,z) での高度
height_xyw	ヒストリファイル中の (zh,y,x) or リスタート/初期値ファイル中の (y,x,zh) での高度
height_xvz	ヒストリファイル中の (z,yh,x) or リスタート/初期値ファイル中の (yh,x,z) での高度
height_uyz	ヒストリファイル中の (z,y,xh) or リスタート/初期値ファイル中の (y,xh,z) での高度
height_xvw	ヒストリファイル中の (z,yh,x) or リスタート/初期値ファイル中の (yh,x,z) での高度
height_uyw	ヒストリファイル中の (zh,y,xh) or リスタート/初期値ファイル中の (y,xh,zh) での高度
height_uvz	ヒストリファイル中の (z,yh,xh) or リスタート/初期値ファイル中の (yh,xh,z) での高度
height_uvw	ヒストリファイル中の (zh,yh,xh) or リスタート/初期値ファイル中の (yh,xh,zh) での高度

5.1.1.4 データ変数

データ変数は、long_name, units に加えて、未定義値を表す _FillValue や欠損値を表す missing_value を属性として持っている。

初期値 (リスタート) データファイル、境界値データのデータ構造はモデル内の配列構造と同じで、z, x, y の順番である。一方、ヒストリデータファイルは、x, y, z の順番である。

5.1.1.5 単一ファイルの入出力

デフォルトでは、全てのデータファイルは各プロセスごとに出力される。つまり、ファイル I/O は各プロセスで独立である。pnetCDF を使用するように SCALE-RM をコンパイルした場合 (環境変数を SCALE_ENABLE_PNETCDF=T と設定してコンパイルした場合) は、全プロセスからのデータを単一ファイルにまとめることができる (第 2.2.1 節を参照)。これを行うには、`[PARAM_FILE]` の `(FILE_AGGREGATE)` を `.true.` に設定する必要がある。あるいは、ヒストリ、地形、土地利用区分ファイルといった個々のファイルの種類に対して、単一ファイルの入出力を切り替えることもできる。ヒストリファイルについては、`[PARAM_FILE_HISTORY]` の `(FILE_HISTORY_AGGREGATE)` を `.true.` にすれば良い。初期値/リスタートファイルについては、`[PARAM_RESTART]` の `(RESTART_(IN|OUT)_AGGREGATE)`、または `[PARAM_(MODELNAME)_VARS]` の `((MODELNAME)_RESTART_(IN|OUT)_AGGREGATE)` を `.true.` にすれば良い。ただし、(MODELNAME) には「ATMOS」、「OCEAN」、「LAND」、「URBAN」が入る。地形ファイルや土地利用区分ファイルについてはそれぞれ、`[PARAM_TOPOGRAPHY]` の `(TOPOGRAPHY_(IN|OUT)_AGGREGATE)` や `[PARAM_LANDUSE]` の `(LANDUSE_(IN|OUT)_AGGREGATE)` を `.true.` にすれば良い。

表 5.1.3: netCDF の各バージョンの機能性

	複数の 時間間隔	圧縮	netCDF3 ファイルの 読み込み	netCDF4 ファイルの 読み込み	単一ファイルの 読み込み
netCDF3	NG	NG	OK	NG	NG*
netCDF4	OK	OK	OK	OK	NG*
pnetCDF	NG	NG	NG*	NG	OK

(*) 全プロセス数が 1 であれば読み込み可能

5.1.1.6 NetCDF3 に伴う制限

netCDF version 3 と共に SCALE をコンパイルした場合は、次の制限が存在する。

- 異なる時間間隔の変数は、同じファイルに出力できない。
- データ圧縮が使用できない。
- netCDF4 形式のファイルは読み込めない。

異なる時間間隔で変数を出力したい場合は、それらを異なるファイルに出力するために `[HISTORY_ITEM]` の `(BASENAME)` を設定されたい。

pnetCDF は netCDF3 のファイル形式に基づくので、単一ファイルの入出力機能を用いる場合は複数の時間間隔や圧縮が制限されることに注意が必要である。

Horizontal grid positions for all the components

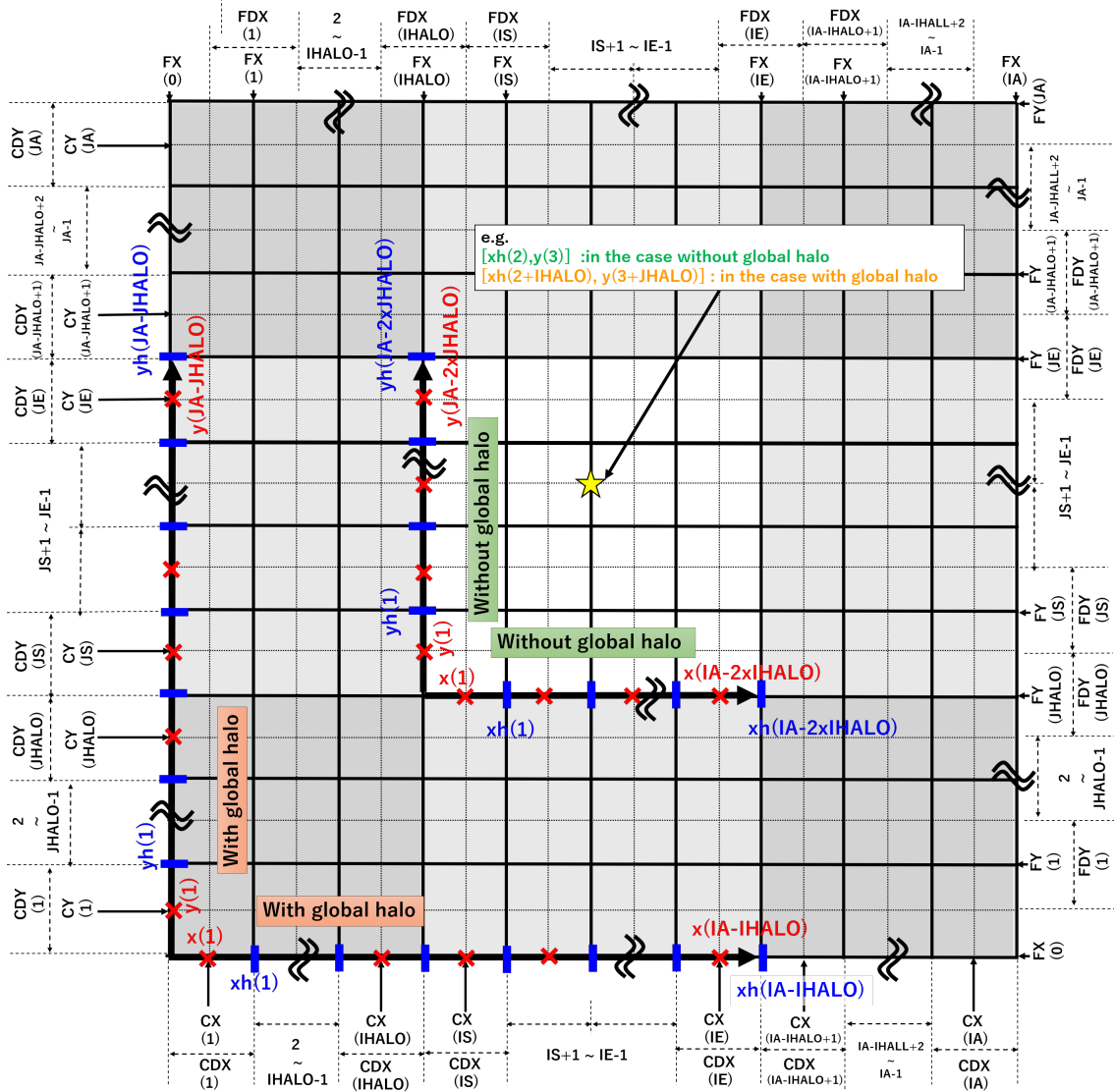


図 5.1.1: SCALE-netCDF ファイルにおける水平座標

Vertical grid positions for each component and physical meanings

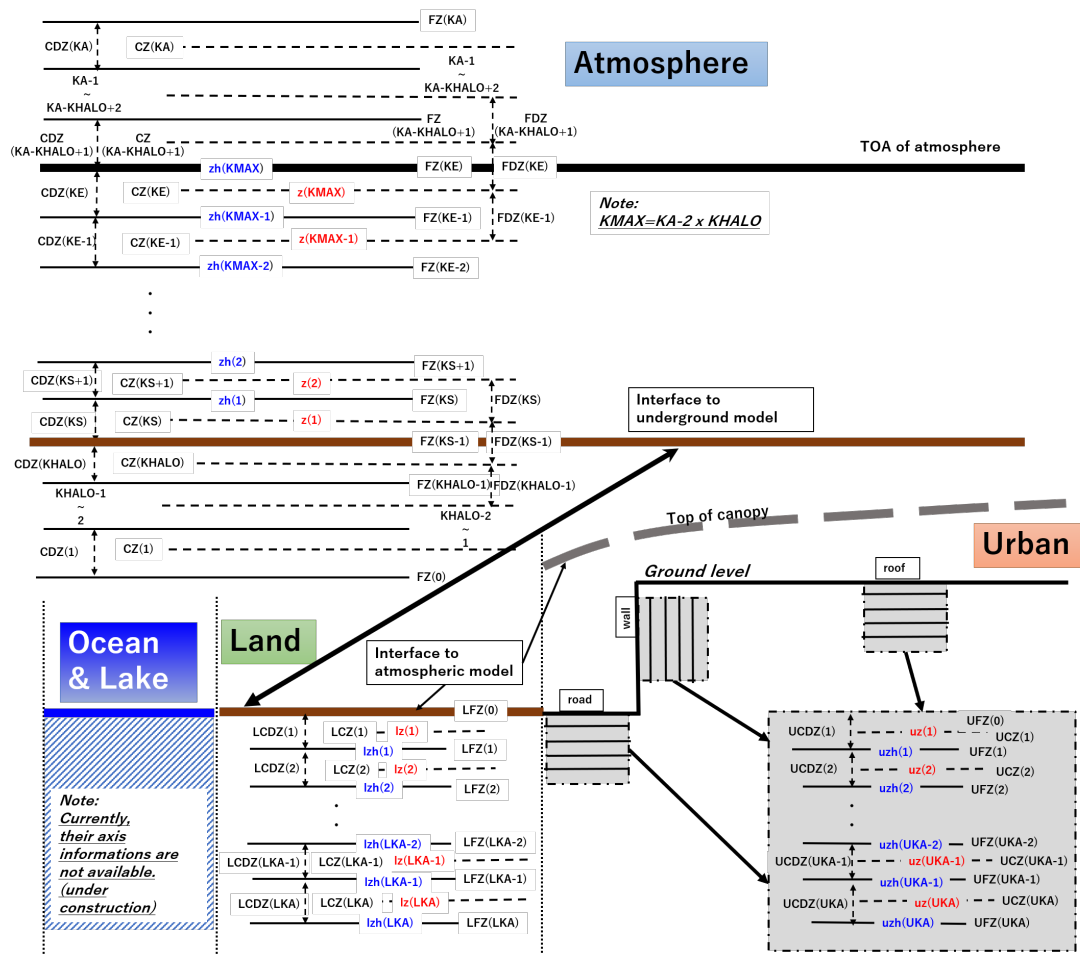


図 5.1.2: SCALE-netCDF ファイルにおける鉛直座標

5.2 ユーザーが作成したプログラムの組み込み方

5.2.1 ユーザーが設定を行うためのモジュール

計算に対するユーザーの要求を満たすために、SCALE-RM は数多くのオプションを用意している。これらはネームリストのパラメータで指定することができる。しかし、期待するオプションが存在しない場合は、ユーザー用のモジュール(mod_user) にプログラムを記述することで、ユーザーが望むようにモデル変数を直接書き換えられる。本節では、mod_user とは何であるかを説明し、その使い方を記述する。

5.2.1.1 mod_user モジュールとは?

デフォルトの mod_user モジュールは、scale-5.5.4/scale/scale-rm/src/user/mod_user.F90 に用意されている。適宜 mod_user.F90 を書き換え、このファイルをデフォルトのファイルの代わりにコンパイルする。

mod_user モジュールには、以下のサブルーチンを含めなければならない。

```
subroutine USER_tracer_setup
subroutine USER_setup
subroutine USER_mkinit
subroutine USER_update
subroutine USER_calc_tendency
```

以下は、SCALE-RM における各プロセスの実行順序である。

初期設定

IO の設定

MPI の設定

格子の設定

力学や物理スキームの管理モジュールの設定

トレーサーの設定

[USER_tracer_setup](#)

地形、陸面の設定

力学や物理スキームの変数やドライバーの設定

[USER_setup](#)

メインルーチン

時間進展

海洋/陸面/都市/大気モデルの更新

[User_update](#)

リスタートファイルの出力
海洋/陸面/都市/大気モデルにおける時間変化率の計算
[USER_calc_tendency](#)
ヒストリファイルの出力

mod_user の各サブルーチンが呼び出されるタイミングを、青色で示している。USER_mkinit は、初期値作成プログラム scale-rm_init で呼び出される。

mod_user のサブルーチンは基本的には各プロセスを処理した後に呼び出されるので、設定や変数を思うように置き換えることができる。また、USER_tracer_setup においてパッシブトレーサー等のトレーサーを追加できる。mod_user.F90 の例として、各テストケース (scale-5.5.4/scale-rm/test/case 以下) に含まれる mod_user.F90 が参考になるだろう。

5.2.1.2 コンパイル

テストケース用の Makefile を活用することで、ユーザが作成した mod_user.F90 と共に SCALE-RM をコンパイルできる。この手順の例は以下である。

```
$ cd scale-5.5.4/scale-rm/test/case  
$ mkdir -p your_dir/exp_name  
$ cd your_dir/exp_name  
$ cp ../../advection/500m/Makefile .
```

ユーザが作成した mod_user.F90 を本ディレクトリにコピー

```
$ make
```

5.3 SCALE ライブラリの使い方

5.3.1 SCALE を使用するユーザープログラム

SCALE はサブルーチンの集合体である。これらのサブルーチンは、任意のプログラムで利用できる。ライブラリファイルは、SCALE をコンパイルした後に `scale-5.5.4/lib/` の下に「`scalelib.a`」として作成される。

以下は、ユーザがプログラム中で SCALE を使用する時のテンプレートである。

```
program template
  use scalelib
  implicit none

  call SCALE_init

  ! user instructions

  call SCALE_finalize

  stop
end program template
```

以下は、ファイルから読み込まれた大気の物理量から対流有効位置エネルギー (CAPE) を計算する擬プログラムである。メイン部分の前に、必要なモジュールを引用 (`use`) し、また必要な入力変数を用意しなければならない。以下の例は、プログラムの一部分であることに注意されたい。

```

use scale_const, only: &
  Rdry => CONST_Rdry, Rvap => CONST_Rvap, CPdry => CONST_CPdry
use scale_atmos_hydrometeor, only: &
  CPvap => CP_VAPOR, CL => CP_WATER
use scale_file, only: &
  FILE_open, FILE_read, FILE_close
use scale_atmos_adiabat, only: &
  ATMOS_ADIABAT_setup, ATMOS_ADIABAT_cape
:
real(8) :: z(kmax,imax,jmax), zh(0:kmax,imax,jmax)
real(8) :: temp(kmax,imax,jmax), pres(kmax,imax,jmax), dens(kmax,imax,jmax)
real(8) :: qv(kmax,imax,jmax), qc(kmax,imax,jmax), qdry(kmax,imax,jmax)
real(8) :: rtot(kmax,imax,jmax), cptot(kmax,imax,jmax)
real(8) :: cape(imax,jmax), cin(imax,jmax)
real(8) :: lcl(imax,jmax), lfc(imax,jmax), lnb(imax,jmax)
:
call FILE_open( basename, fid ) ! ファイルを開く
call FILE_read( fid, 'height', z(:, :, :) ) ! full-level での高度データを読み込む
call FILE_read( fid, 'height_xyw', zh(:, :, :) ) ! half-level での高度データを読み込む
call FILE_read( fid, 'T', temp(:, :, :) ) ! 温度データを読み込む
: ! PRES, DENS, QV, QC を読み込む
call FILE_close( fid )

! CAPE を計算するために必要ないくつかの変数を計算する
qdry(:, :, :) = 1.0D0 - qv(:, :, :) - qc(:, :, :) ! 乾燥空気の質量比
rtot(:, :, :) = qdry(:, :, :) * Rdry + qv(:, :, :) * Rvap ! 気体定数 \
cptot(:, :, :) = qdry(:, :, :) * CPdry + qv(:, :, :) * CPvap + ql(:, :, :) * CL ! 熱容量

call ATMOS_ADIABAT_setup
call ATMOS_ADIABAT_cape( kmax, 1, kmax, imax, 1, imax, jmax, 1, jmax, & ! 配列サイズ
  k0, & ! パーセルの持ち上げを開始する鉛直インデックス
  dens(:, :, :), temp(:, :, :), pres(:, :, :), & ! 入力
  qv(:, :, :), qc(:, :, :), qdry(:, :, :), & ! 入力
  rtot(:, :, :), cptot(:, :, :), & ! 入力
  z(:, :, :), zh(:, :, :), & ! 入力
  cape(:, :), cin(:, :), lcl(:, :), lfc(:, :), lnb(:, :)) ! 出力

```

リファレンスマニュアル (第 5.3.2 節を参照) では、利用できるサブルーチンの一覧やそれらのサブルーチンの詳細を確認できる。ディレクトリ `scale-5.5.4/scalelib/test/analysis` に、SCALE-RM が出力したヒストリファイルを解析するサンプルプログラムを用意してあるので、必要に応じて参照されたい。

5.3.1.1 コンパイル

SCALE を用いたプログラムをコンパイルする前に、SCALE をコンパイルする必要がある。

```

$ cd scale-5.5.4/scalelib/src
$ make

```

ユーザーが作成したプログラムをコンパイルするときに、`scale-5.5.4/lib` に置かれている `libscale.a` をリンクする必要がある。また、モジュールファイルのパスをコンパイラに伝えなければならない。モジュールファイルのパスは `scale-5.5.4/include` であり、このパスを指定するオプションはコンパイラに依存する。オプションは、`sysdep` ディレクトリ下のファイル内で指定される変数 `MODDIROPT`

の値を見れば分かる (第 2.2.1 節を参照)。

```
$ ${FC} your-program ${MODDIROPT} scale-top-dir/include \\  
    'nc-config --cflags' -lscale-top-dir/lib -lscale 'nc-config --libs'  
ユーザーが作成したプログラムをコンパイルするために、サンプルにある Makefile を以下のよう  
に利用することもできる。
```

```
$ cd scale-5.5.4/scalelib/test/analysis  
$ mkdir your_dir  
$ cd your_dir  
$ cp ../horizontal_mean/Makefile .
```

プログラムファイルを本ディレクトリにコピーする。

Makefile を編集する (BINNAME = your_program_name)。

```
$ make
```

5.3.2 リファレンスマニュアル

SCALE のサブルーチンに対するリファレンスマニュアルは、<https://scale.riken.jp/archives/5.5.4/index.html> で公開している。このリファレンスマニュアルは、doxygen (<http://www.doxygen.org/>) によって生成されている。

リファレンスには、次の情報が含まれる。

- サブルーチン
- ネームリストのパラメータ
- ヒストリ (出力) 変数

5.3.2.1 サブルーチン

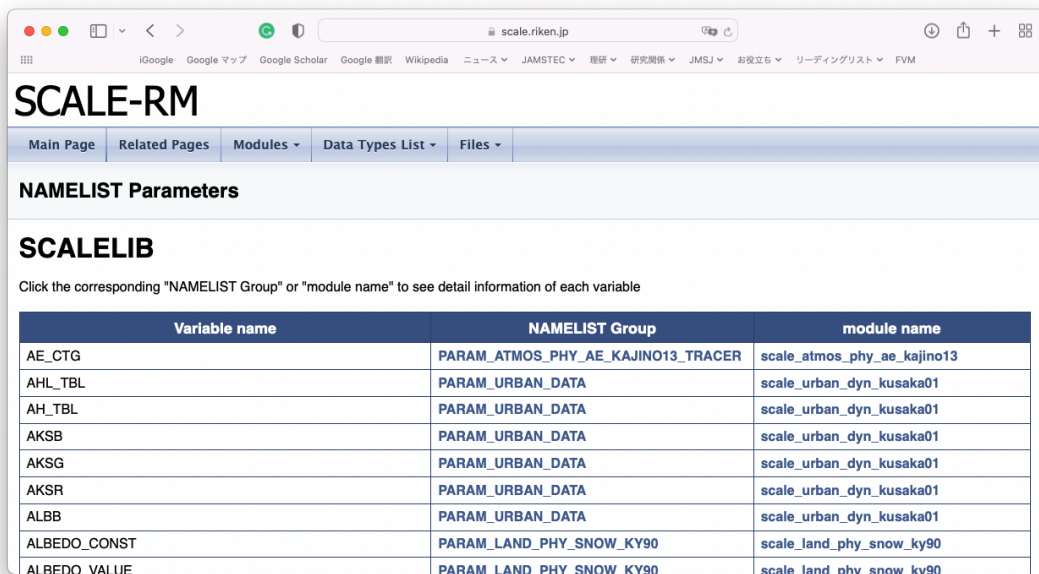
サブルーチンの説明、引数、コールグラフがサブルーチンの情報として含まれる。サブルーチンのソースコードも見ることができる。ユーザーは、トップページやトップメニューにリンクされている「Module List」あるいは「File List」からサブルーチンを探し出すことができる。モジュールのリストには、各モジュールに対する簡単な説明が書かれている。

モジュール名の接頭子は、SCALE については「scale_」、SCALE-RM については「mod_」である。ファイル名は、「.F90」の接尾子を付けたモジュール名である。サブルーチン名は、接頭子を除いたモジュール名と関数を説明する名前からなる。例えば、ATMOS_ADIABAT_cape というサブルーチンは、ファイル scale_atmos_adiabat.F90 中のモジュール scale_atmos_adiabat 内に含まれる。

```
scale_atmos_adiabat.F90  
  
module scale_atmos_adiabat  
... ..  
contains  
!-----  
    subroutine atmos_adiabat_cape( &  
        Kstr, &  
        DENS, &  
        ...
```

5.3.2.2 ネームリストのパラメータ

ネームリストのパラメータのリストは、リファレンスマニュアルのトップページにあるリンク先、もしくは直接 <https://scale.riken.jp/archives/5.5.4/d5/d8a/namelist.html> に行くと見ることができる。リストには、パラメータ名、ネームリストのグループ名、変数が定義されているモジュールの名前が含まれる。パラメータは変数名で並び替えられている。パラメータの詳細は、ネームリストのグループ名またはモジュール名をクリックすれば確認できる。

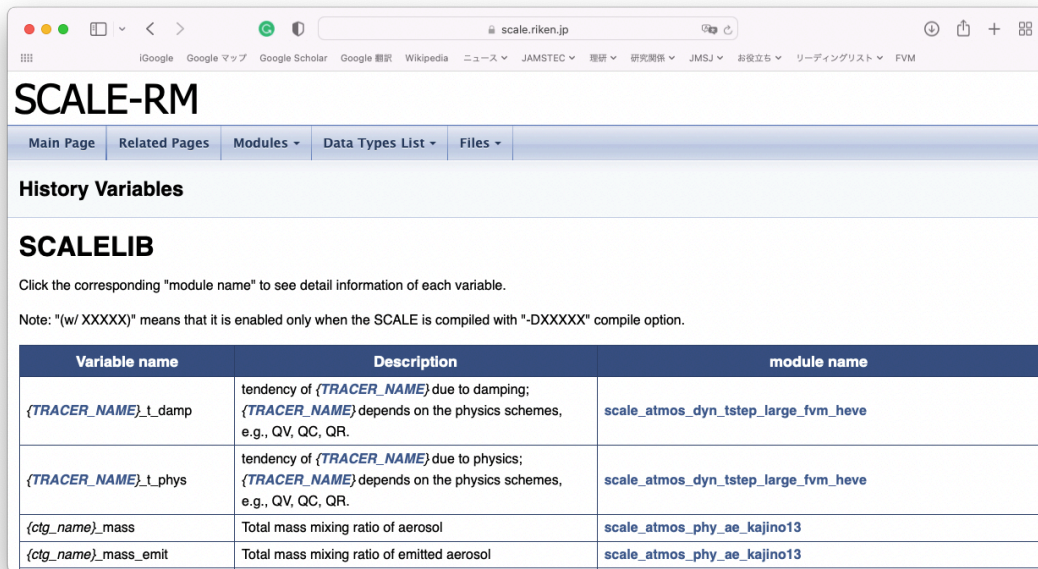


Variable name	NAMELIST Group	module name
AE_CTG	PARAM_ATMOS_PHY_AE_KAJINO13_TRACER	scale_atmos_phy_ae_kajino13
AHL_TBL	PARAM_URBAN_DATA	scale_urban_dyn_kusaka01
AH_TBL	PARAM_URBAN_DATA	scale_urban_dyn_kusaka01
AKSB	PARAM_URBAN_DATA	scale_urban_dyn_kusaka01
AKSG	PARAM_URBAN_DATA	scale_urban_dyn_kusaka01
AKSR	PARAM_URBAN_DATA	scale_urban_dyn_kusaka01
ALBB	PARAM_URBAN_DATA	scale_urban_dyn_kusaka01
ALBEDO_CONST	PARAM_LAND_PHY_SNOW_KY90	scale_land_phy_snow_ky90
ALBEDO_VALUE	PARAM_LAND_PHY_SNOW_KY90	scale_land_phy_snow_ky90

図 5.3.1: ネームリストのパラメータリストの Web ページの例

5.3.2.3 ヒストリ（出力）変数

ヒストリ（出力）変数のリストは、リファレンスマニュアルのトップページにあるリンク先、または直接 <https://scale.riken.jp/archives/5.5.4/dc/dd1/history.html> に行くと見ることができる。リストには、変数名、簡単な説明、ヒストリデータのために変数が登録されているモジュールの名前が含まれる。ヒストリ変数はモジュール名で並び替えられている。変数の詳細情報は、モジュール名をクリックすれば確認できる。



The screenshot shows a web browser window displaying the 'History Variables' page on the SCALE-RM website. The page title is 'SCALELIB' and it includes a navigation menu with 'Main Page', 'Related Pages', 'Modules', 'Data Types List', and 'Files'. Below the title, there is a note: 'Click the corresponding "module name" to see detail information of each variable.' and another note: 'Note: "(w/ XXXXX)" means that it is enabled only when the SCALE is compiled with "-DXXXXX" compile option.' The main content is a table with three columns: 'Variable name', 'Description', and 'module name'.

Variable name	Description	module name
{TRACER_NAME}_t_damp	tendency of {TRACER_NAME} due to damping; {TRACER_NAME} depends on the physics schemes, e.g., QV, QC, QR.	scale_atmos_dyn_tstep_large_fvm_heve
{TRACER_NAME}_t_phys	tendency of {TRACER_NAME} due to physics; {TRACER_NAME} depends on the physics schemes, e.g., QV, QC, QR.	scale_atmos_dyn_tstep_large_fvm_heve
{ctg_name}_mass	Total mass mixing ratio of aerosol	scale_atmos_phy_ae_kajino13
{ctg_name}_mass_emit	Total mass mixing ratio of emitted aerosol	scale_atmos_phy_ae_kajino13

図 5.3.2: ヒストリ（出力）変数リストの Web ページの例

5.4 バルクジョブの実行方法

5.4.1 バルクジョブとは?

SCALE-RM には、独立した実験を同時に複数実行できる「一括実行機能」、いわゆるバルクジョブ機能が備わっている。この機能は、パラメタスイープ実験、初期値アンサンブル実験、タイムスライス気候実験等を行うのに便利である。

バルクジョブ機能は、モデル本体 (scale-rm) の実行はもちろん、地形・土地利用データ、初期値/境界値データの作成にも適用できる。ただし、バルクジョブ機能による地形・土地利用データの作成は、地形コピー機能 (第 4.2.8.1 節を参照) を利用しない場合に限る。

以下の説明では、1 のバルクジョブに含まれる独立した実行命令を「サブジョブ」と呼ぶこととする。ここでは、3 つの 2 段オンライン・ネスティング実験を例に説明する。この 3 つの実験は、積分期間もしくは計算領域中心が異なる 3 つのサブジョブを想定している。ファイル launch.conf 中の [PARAM_LAUNCHER] の (NUM_DOMAIN, PRC_DOMAINS, CONF_FILES) (第 4.2.8.3 節参照) は、全ての設定で同じにする必要がある。その他の設定 (積分時間、使用するスキーム、1 つの MPI プロセスあたりの格子数等) は、サブジョブ間で異なっても構わない。

5.4.2 バルクジョブの設定

バルクジョブ機能は、オンライン・ネスティングで利用した MPI プロセスを分割・分配する機能を拡張したものである。従って、ジョブの起動のために launch.conf ファイルが必要になる。オンライン・ネスティングとバルクジョブ機能を併用する場合も、launch.conf ファイルは 1 個だけ用意すれば良い。そのような場合の例を、以下に示す。

<pre>&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, /</pre>	<p>サブジョブの数 ネスティング領域の数 各領域の全プロセス数 設定ファイル名 MPI 分割に関するログを出力するか? MPI 分割におけるプロセス番号の再割り当てを行うか? 失敗したプロセスの管理機能を使用するか? 失敗プロセスの許容数 DT ごとの FPM による調査頻度</p>
--	---

サブジョブの数は (NUM_BULKJOB) で指定します。シングルドメインの実験 (ネスティングは使用しない) の場合は、(NUM_DOMAIN) = 1 を指定する。

ジョブディレクトリ名は 4 桁の数字で、デフォルトでは 0 から始まるジョブ ID に対応します。(BULKJOB_START_DIRNUM) を指定することで、開始番号を変更することができます。

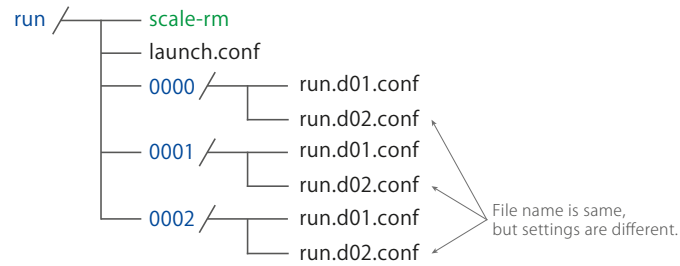


図 5.4.1: バルクジョブ機能を使って `scale-rm` を実行する場合のディレクトリ構造。「0000」や「0001」といった数字は、ジョブ番号に対応するディレクトリ (ジョブディレクトリと呼ぶ) の名前である。各ジョブディレクトリの中には、サブジョブの実行に必要な全設定ファイルが用意されていないといけない。

デフォルトでは、サブジョブの設定ファイル (`init.conf`, `run.conf` など) 中のファイル名には、ジョブのディレクトリ名が含まれていなければなりません (例: `0000/history.nc`)。 (`ADDD_BULKJOB_PATH`) を `.true.` に指定すると、絶対パス以外のすべてのファイル名にジョブディレクトリ名が追加されます。

利用する計算機においてサブジョブを一度に実行できるだけのリソースがない場合は、サブジョブを複数のグループに分けることができます。一度に実行されるサブジョブの数は (`NUM_BULKJOB`) / (`NUM_ITERATION_BULK`) 個になります。

他の設定は、第 4.2.8.3 節における設定と同様である。

5.4.3 失敗プロセスの管理

SCALE-RM のバルクジョブシステムでは、失敗プロセスの管理 (failure process management ; FPM) ツールが使用できる。FPM は、ある調査周期でジョブグループを監視する。いくつかのジョブが不幸にも異常終了した場合でも、失敗したジョブ数が制限値に達するまでは他のジョブを終了させない。 (`FAILURE_PRC_MANAGE`) は FPM ツールを用いるためのスイッチである。 (`NUM_FAIL_TOLERANCE`) と (`FREQ_FAIL_CHECK`) はそれぞれ、失敗したジョブの制限値と失敗したジョブを調べる間隔を設定するパラメータである。FPM ツールの現版では、単一領域に対してのみ使用でき、オンライン・ネスティング計算での完全なシステムには対応していない。オンライン・ネスティング計算においても FPM ツールを使用したい場合は、 (`NUM_FAIL_TOLERANCE`) を全ジョブ数と同じにしなければならない。

5.4.4 バルクジョブのための準備

バルクジョブの実行にあたり、サブジョブの数だけディレクトリ (ジョブディレクトリと呼ぶ) を用意する必要がある。図 5.4.1 において、ジョブディレクトリは `0000/` `0001/` `0002/` に対応する。ディレクトリ名には、ゼロから始まる 4 桁の数字が付けられる。各ジョブディレクトリには、実験に必要な全てのファイル (設定ファイル、入力ファイル、出力用ディレクトリ等) を用意しなければならない。設定ファイルに指定されているディレクトリやファイルのパスが、以下で説明するように適切に設定されているか注意する必要がある。以下は、ジョブ `0000` の `run.d01.conf` の抜粋である。

```

&PARAM_IO
  IO_LOG_BASENAME = "0000/LOG_d01",
/

&PARAM_RESTART
  RESTART_OUTPUT = .true.,
  RESTART_OUT_BASENAME = "0000/restart_d01",
  RESTART_IN_BASENAME = "../init/0000/init_d01_00013046400.000",
/

&PARAM_TOPOGRAPHY
  TOPOGRAPHY_IN_BASENAME = "../pp/0000/topo_d01",
/

&PARAM_LANDUSE
  LANDUSE_IN_BASENAME = "../pp/0000/landuse_d01",
/

&PARAM_ATMOS_BOUNDARY
  ~ ... ~
  ATMOS_BOUNDARY_IN_BASENAME = "../init/0000/boundary_d01",
  ~ ... ~
/

&PARAM_FILE_HISTORY
  FILE_HISTORY_DEFAULT_BASENAME = "0000/history_d01",
  ~ ... ~
/

```

図 5.4.1 に示すように、ジョブディレクトリは実行バイナリと同じディレクトリの階層にある。つまり、設定ファイルは各ジョブディレクトリの下にあるが、入力ファイルや出力先のディレクトリは、実行バイナリの位置から見た相対パスを記述する必要がある。従って、ジョブ 0000 番の実験に対する出力用ディレクトリは 0000/であり、出力ファイル名は 0000/**となる。ジョブディレクトリ名を付け忘れてファイル名を全実験で同じにしてしまうと、同じファイルに出力を行うためデータが消失することに注意されたい。

5.4.5 バルクジョブの実行

バルクジョブの実行時には、以下のように MPI プロセスの総数を指定する。

```
$ mpirun -n 135 ./scale-rm launch.conf
```

この例では、1 サブジョブあたりが使用するプロセス数は 45 (= 9 + 36) であり、3 つのジョブで使用するプロセスの総数は 135 である。MPI のプロセス分割に関する情報を与えるメッセージは、LOG ファイルの中の SCALE のロゴの後に書き込まれる。下記は、ドメイン 1 のプロセス 0 からのログの出力例である。

```
+++++ start making Cartesian topology
*** UNIVERSAL_COMM_WORLD : 0 ;実行環境によって値が異なる
*** total process [UNIVERSAL] : 135
*** my process ID [UNIVERSAL] : 36
*** master rank? [UNIVERSAL] : F
*** GLOBAL_COMM_WORLD : 3 ;実行環境によって値が異なる
*** total process [GLOBAL] : 45
*** my process ID [GLOBAL] : 36
*** master rank? [GLOBAL] : F
*** LOCAL_COMM_WORLD : 4 ;実行環境によって値が異なる
*** total process [LOCAL] : 9
*** my process ID [LOCAL] : 0
*** master rank? [LOCAL] : T
*** ABORT_COMM_WORLD : 0
*** master rank ID [each world] : 0
```

[LOCAL] と表記されている項目は、ドメイン内のプロセスグループに関する情報である。また、[GLOBAL] と表記されている項目はネスティンググループ、[UNIVERSAL] と表記されている項目はジョブグループに関する情報である。LOCAL グループは GLOBAL グループに包含され、さらに GLOBAL グループは UNIVERSAL グループに包含される。total process は各グループ内の全プロセス数、my process ID はあるグループで見た時のプロセス番号を表す。

この例では、total process [UNIVERSAL] は 135 であるので、全体で 135 のプロセスが起動したことが確認できる。また、total process [GLOBAL] は 45 であるので、1 サブジョブあたり 45 プロセスを使用したことが分かる。この例ではドメイン 1 に対する LOG メッセージであるため、total process [LOCAL] が 9 と表記されていることは正しい。もしドメイン 2 の LOG メッセージを確認した場合、これは 36 である。LOG ファイルやヒストリファイルの番号に対応するプロセス番号は、my process ID [UNIVERSAL] である。異常終了時にも、この表記法に従ってメッセージが出力される。そのため、この表記法を理解していれば、大量のサブジョブを実行している時にどのプロセスでエラーが発生したか即座に判断できる。

関連図書

- A. C. M. Beljaars. The parameterization of surface fluxes in large-scale models under free convection. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 121:255–270, 1994. doi: 10.1002/qj.49712152203.
- A. C. M. Beljaars and A. A. M. Holtslag. Flux parameterization over land surfaces for atmospheric models. *J. Appl. Meteor.*, 30:327–341, 1991.
- A. R. Brown, S. H. Derbyshire, and P. J. Mason. Large-eddy simulation of stable atmospheric boundary layers with a revised stochastic subgrid model. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 120:1485–1512, 1994.
- Committee on Space Research; NASA National Space Science Data Center. COSPAR International Reference Atmosphere (cira-86): Global climatology of atmospheric parameters, 2006.
- J. W. Deardorff. Stratocumulus-capped mixed layers derived from a three-dimensional model. *Boundary-Layer Meteorology*, 18:495–527, 1980.
- A. M. Golovin. The solution of the coagulation equation for cloud droplets in a rising air current. *Izv. Geophys. Ser.*, 5:482–487, 1963.
- J. S. Kain. The kain-fritsch convective parameterization: An update. *J. Appl. Meteor.*, 43:170–181, 2004.
- J. S. Kain and J. M. Fritsch. A one-dimensional entraining/detraining plume model and its application in convective parameterization. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 47:2784–2802, 1990.
- E. Kessler. On the distribution and continuity of water substance in atmospheric circulation. *Meteorological Monograph*, 10:1–84, 1969.
- Barry Koren. *A robust upwind discretization method for advection, diffusion and source terms*. Centrum voor Wiskunde en Informatica Amsterdam, 1993.
- H. Kusaka, H. Kondo, Y. Kikegawa, and F. Kimura. A simple single-layer urban canopy model for atmospheric models: comparison with multi-layer and slab models. *Boundary-Layer Meteorol.*, 101:329–358, 2001.
- D. K. Lilly. On the numerical simulation of buoyant convection. *Tellus*, 14:148—171, 1962.
- A. Long. Solutions to the droplet collection equation for polynomial kernels. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 31:1041–1052, 1974.
- J.-F. Louis. A parametric model of vertical eddy fluxes in the atmosphere. *Boundary-Layer Meteorol.*, 17:187–202, 1979. doi: 10.1007/BF00117978.

- G. L. Mellor and T. Yamada. Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems. *Rev. Geophys. Space Phys.*, 20:851–875, 1982.
- M. J. Miller, A. C. M. Beljaars, and T. N. Palmer. The sensitivity of the ecmwf model to the parameterization of evaporation from the tropical oceans. *Journal of Climate*, 5(5):418–434, 1992.
- I.-J. Moon, I. Ginis, T. Hara, and B. Thomas. A physics-based parameterization of air-sea momentum flux at high wind speeds and its impact on hurricane intensity predictions. *Mon. Weather Rev.*, 135:2869–2878, 2007. doi: 10.1175/MWR3432.1.
- T. Nakajima, M. Tsukamoto, Y. Tsushima, A. Numaguti, and T. Kimura. Modeling of the radiative process in an atmospheric general circulation model. *Applied Optics*, 39:4869–4878, 2000. doi: 10.1364/AO.39.004869.
- M. Nakanishi and H. Niino. An improved mellor-yamada level-3 model with condensation physics: Its design and verification. *Bound-Lay. Meteorol.*, 112:1–31, 2004.
- M. Nakanishi and H. Niino. Development of an improved turbulence closure model for the atmospheric boundary layer. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 87:895–912, 2009. doi: 10.2151/jmsj.87.895.
- M. Narita and S. Ohmori. Improving precipitation forecasts by the operational nonhydrostatic mesoscale model with the kain-fritsch convective parameterization and cloud microphysics. *12th Conference on Mesoscale Processes*, 6-9 August 2007, Waterville Valley conference & event center: available from https://ams.confex.com/ams/12meso/techprogram/paper_126017.htm, 2007.
- S. Nishizawa and Y. Kitamura. A surface flux scheme based on the Monin-Obukhov similarity for finite volume models. *J. Adv. Model. Earth Syst.*, 10:3159–3175, 2018. doi: 10.1029/2018MS001534.
- S. Nishizawa, H. Yashiro, Y. Sato, Y. Miyamoto, and H. Tomita. Influence of grid aspect ratio on planetary boundary layer turbulence in large-eddy simulations. *Geosci. Model Dev.*, 8(10): 3393–3419, 2015. doi: 10.5194/gmd-8-3393-2015.
- Y. Ogura and H.-R. Cho. Diagnostic determination of cumulus cloud populations from observed large-scale variables. *Journal of the atmospheric sciences*, 30(15):1276–1286, 1973.
- Katsuyuki V Ooyama. A dynamic and thermodynamic foundation for modeling the moist atmosphere with parameterized microphysics. *Journal of the atmospheric sciences*, 58(15):2073–2102, 2001.
- J-L Redelsperger, PRA Brown, F Guichard, C How, M Kawasima, S Lang, Th Montmerle, K Nakamura, K Saito, C Seman, et al. A gcss model intercomparison for a tropical squall line observed during toga-coare. i: Cloud-resolving models. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 126(564):823–863, 2000.
- J. J. Remedios, R. J. Leigh, A. M. Waterfall, D. P. Moore, H. Sembhi, I. Parkes, J. Greenhough, M. P. Chipperfield, and D. Hauglustaine. Mipas reference atmospheres and comparisons to v4.61/v4.62 mipas level 2 geophysical data sets. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 7:9973–10017, 2007. doi: doi:10.5194/acpd-7-9973-2007.

- Y. Sato, S. Nishizawa, H. Yashiro, Y. Miyamoto, Y. Kajikawa, and H. Tomita. Impacts of cloud microphysics on trade wind cumulus: which cloud microphysics processes contribute to the diversity in a large eddy simulation? *Progress in Earth and Planetary Science*, 2(1):1–16, 2015. doi: 10.1186/s40645-015-0053-6.
- Team SCALE. *The detail formulation of SCALE-RM*. RIKEN/R-CCS, 2015.
- A. Scotti, C. Meneveau, and D. K. Lilly. Generalized smagorinsky model for anisotropic grids. *Physics of Fluids A*, 5:2306–2308, 1993.
- T. Seiki and T. Nakajima. Aerosol effects of the condensation process on a convective cloud simulation. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 71:833–853, 2014.
- M. Sekiguchi and T. Nakajima. A k-distribution-based radiation code and its computational optimization for an atmospheric general circulation model. *J. of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 109:2779—2793, 2008.
- J. Smagorinsky. General circulation experiments with the primitive equations. *Mon. Weather Rev.*, 91:99—164, 1963.
- K. Suzuki, T. Nakajima, T. Y. Nakajima, and A. P. Khain. A study of microphysical mechanisms for correlation patterns between droplet radius and optical thickness of warm clouds with a spectral bin microphysics cloud model. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 67(4):1126–1141, 2010.
- H. Tomita. New microphysical schemes with five and six categories by diagnostic generation of cloud ice. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 86:121–142, 2008.
- H. Tomita. Analysis of spurious surface temperature at the atmosphere-land interface and a new method to solve the surface energy balance equation. *J. Hydrometeorology*, 10:833–844, 2009. doi: 10.1175/2008JHM1080.1.
- I Uno, X-M Cai, DG Steyn, and S Emori. A simple extension of the louis method for rough surface layer modelling. *Boundary-Layer Meteorology*, 76(4):395–409, 1995.
- Louis J Wicker and William C Skamarock. Time-splitting methods for elastic models using forward time schemes. *Monthly Weather Review*, 130(8):2088–2097, 2002.
- D. K. Wilson. An alternative function for the wind and temperature gradients in unstable surface layers. *Bound-Lay. Meteorol.*, 99:151—158, 2001.
- S. T. Zalesak. Fully multidimensional flux-corrected transport algorithms for fluids. *J. Comput. Phys.*, 31:335–362, 1979. doi: 10.1016/0021-9991(79)90051-2.

第6部

付録

付録A よくある質問とその回答：FAQ

ここでは、よくある質問を具体的な練習問題として列挙する。その後、それぞれの問題に対する回答を示す。

練習問題

1. 計算領域を変えず、MPI 並列数を変更したい
第 3.2 章の現実大気実験のチュートリアルにおいて、4-MPI 並列の設定を 6-MPI 並列に変更する。(参考：4.2.3.3 節、4.2.3.1 節)
2. MPI 並列数を変えず、計算領域を変更したい
第 3.2 章の現実大気実験のチュートリアルにおいて、MPI 並列数は変更せずに、計算領域を元のサイズに比べて、 x 方向に $4/3$ 倍に拡大、 y 方向は $2/3$ 倍に縮小する。(参考：4.2.3.1 節)
3. 計算領域を変えず、水平格子間隔を変更したい
第 3.2 章の現実大気実験のチュートリアルにおいて、計算領域を変えず、水平格子間隔をデフォルト値から 5 km に変更する。(参考：4.2.3.1 節、4.2.3.2 節、4.2.3.5 節、4.2.5 節、4.2.6 節)
4. 計算領域の位置を変更したい
第 3.2 章の現実大気実験のチュートリアルにおいて、計算領域の大きさは変えず、中心位置をデフォルト値から経度 139 度 45.4 分、緯度 35 度 41.3 分に変更する。(参考：4.2.4 節)
5. 積分時間を変更したい
第 3.2 章の現実大気実験のチュートリアルにおいて、積分時間を 6 時間から 12 時間に変更する。(参考：4.2.5 節)
6. 出力変数の追加と出力間隔の変更をしたい
第 3.2 章の現実大気実験のチュートリアルにおいて、出力の時間間隔をデフォルト値から 30 分に変更し、地表面での下向き短波放射と上向き短波放射の出力変数に追加する。(参考：4.2.6 節、5.3.2 節)
7. リスタート計算をしたい
第 3.2 章の現実大気実験のチュートリアルにおいて、まず 3 時間の積分を行う。続いて、最初の積分時に作成されたリスタートファイルを使用してさらに 3 時間の積分を行う。(参考：4.2.7 節、4.1.2 節)

回答

1. 計算領域は変えず、MPI 並列数を変更したい

[PARAM_PRC] 内の (PRC_NUM_X, PRC_NUM_Y) を変更する。下記 3 つの式を満たしていれば正解である。

$$MPI \text{ 並列数} = PRC_NUM_X \times PRC_NUM_Y = 6$$

$$IMAXG \bmod PRC_NUM_X = 0$$

$$JMAXG \bmod PRC_NUM_Y = 0$$

2. MPI 並列数は変えず、計算領域を変更したい

格子数を n 倍にすれば、領域サイズも n 倍となる。したがって、[PARAM_ATMOS_GRID_CARTESC_INDEX] 内の (IMAXG, JMAXG) のみ変更すれば良い。赤字の部分がデフォルトからの変更点である。

```
&PARAM_ATMOS_GRID_CARTESC_INDEX
KMAX = 36,
IMAXG = 120,           (オリジナル設定は IMAXG = 90)
JMAXG = 60,           (オリジナル設定は JMAXG = 90)
/
```

3. 計算領域は変えず、水平格子間隔を変更したい

MPI 並列数を変えない場合は、[PARAM_ATMOS_GRID_CARTESC] の (DX, DY) と、[PARAM_ATMOS_GRID_CARTESC_INDEX] 内の (IMAXG, JMAXG) を変更する。

```
&PARAM_PRC_CARTESC
PRC_NUM_X = 2,
PRC_NUM_Y = 2,

&PARAM_ATMOS_GRID_CARTESC_INDEX
KMAX = 36,
IMAXG = 360,           (オリジナル設定は IMAXG = 90)
JMAXG = 360,           (オリジナル設定は JMAXG = 90)
/

&PARAM_ATMOS_GRID_CARTESC
DX = 5000.DO,          (オリジナル設定は DX = 20000.DO)
DY = 5000.DO,          (オリジナル設定は DY = 20000.DO)
/
```

MPI 並列数も変更している場合は、&PARAM_ATMOS_GRID_CARTESC の設定において、下記の関係を満たしていれば正解である。

$$IMAXG \bmod PRC_NUM_X = 0$$

$$JMAXG \bmod PRC_NUM_Y = 0$$

これに加えて、力学変数の時間積分に対する時間刻み幅 (TIME_DT_ATMOS_DYN) や (TIME_DT) などの調整も必要である (第 4.2.5 節を参照)。それに伴い、ヒストリ出力の時間間隔も設定し直す必要がある (第 4.2.6 節を参照)。また、緩和領域も格子間隔の 20 倍から 40 倍となるように設定しなければならない (第 4.2.3.5 節を参照)。以下はその解答例であり、緩和領域を格子間隔の 20 倍に取った場合を示している。

```
&PARAM_PRC_CARTESC
  BUFFER_DX = 100000.DO, (オリジナル設定はBUFFER_DX = 400000.DO,)
  BUFFER_DY = 100000.DO, (オリジナル設定はBUFFER_DY = 400000.DO,)
/
```

4. 計算領域の位置を変更したい

計算領域の中心位置の座標を下記の通り、変更すれば良い。ここで、単位を度で設定する必要があることに注意されたい。例えば、139 度 45.4 分 = 139 + 45.5/60 度である。

```
&PARAM_MAPPROJECTION
  MAPPROJECTION_basepoint_lon = 139.7567D0, (オリジナル設定は135.220404D0)
  MAPPROJECTION_basepoint_lat = 35.6883D0, (オリジナル設定は34.653396D0)
  MAPPROJECTION_type = 'LC',
  MAPPROJECTION_LC_lat1 = 30.00D0,
  MAPPROJECTION_LC_lat2 = 40.00D0,
/
```

5. 積分時間を変更したい

```
&PARAM_TIME
  TIME_STARTDATE = 2007, 7, 14, 18, 0, 0,
  TIME_STARTMS = 0.DO,
  TIME_DURATION = 12.0D0, (オリジナル設定は 6.0D0,)
  TIME_DURATION_UNIT = "HOUR",
/
```

さらに、scale-rm_init によって境界値を 12 時間以上用意しておく必要がある。第 4.1.2 節を参照して、(NUMBER_OF_FILES) の数を 3 以上に設定しなければならない。

6. 出力変数の追加と出力時間間隔の変更を行いたい

[PARAM_FILE_HISTORY] 中の (FILE_HISTORY_DEFAULT_TINTERVAL) を下記のように変更する。出力変数は、[HISTORY_ITEM] 中の (NAME) で指定する。履歴変数の一覧は、リファレンスマニュアルで確認できる (第 5.3.2 節を参照)。

また、[HISTORY_ITEM] の (TINTERVAL) で書き出し間隔を設定している変数を SNO で等緯度経度格子にリマッピングする場合は、(TINTERVAL) と (FILE_HISTORY_DEFAULT_TINTERVAL) は同じ値にしておく必要がある。

```

&PARAM_FILE_HISTORY
FILE_HISTORY_DEFAULT_BASENAME = "history_d01",
FILE_HISTORY_DEFAULT_TINTERVAL = 1800.DO,      (オリジナル設定は3600.DO,)
FILE_HISTORY_DEFAULT_TUNIT = "SEC",
/

&HISTORY_ITEM NAME="SFLX_SW_up" /              追加
&HISTORY_ITEM NAME="SFLX_SW_dn" /              追加
....(省略)....
&HISTORY_ITEM NAME="DENS", TINTERVAL=1800.DO /  SNO でリマッピングする場合
                                                    (オリジナル設定は 3600.DO)
....(省略)....
/

```

7. リスタート計算をしたい

最初の3時間分の積分については、run.conf を下記のように設定する。積分3時間目に、リスタートファイルが作成される。

```

&PARAM_TIME
TIME_STARTDATE = 2007, 7, 14, 18, 0, 0,
TIME_STARTMS = 0.DO,
TIME_DURATION = 3.0DO,      3時間以上であれば良い。
TIME_DURATION_UNIT = "HOURL",
....(省略)....
TIME_DT_ATMOS_RESTART = 10800.DO,
TIME_DT_ATMOS_RESTART_UNIT = "SEC",
TIME_DT_OCEAN_RESTART = 10800.DO,
TIME_DT_OCEAN_RESTART_UNIT = "SEC",
TIME_DT_LAND_RESTART = 10800.DO,
TIME_DT_LAND_RESTART_UNIT = "SEC",
TIME_DT_URBAN_RESTART = 10800.DO,
TIME_DT_URBAN_RESTART_UNIT = "SEC",
/

&PARAM_RESTART
RESTART_OUTPUT = .true.,
RESTART_IN_BASENAME = "../init/init_d01_20070714-180000.000",
RESTART_OUT_BASENAME = "restart_d01",
/

&PARAM_ATMOS_BOUNDARY
ATMOS_BOUNDARY_TYPE = "REAL",
ATMOS_BOUNDARY_IN_BASENAME = "../init/output/boundary_d01",
/

&PARAM_ATMOS_REFSTAT
ATMOS_REFSTATE_TYPE = "INIT",
ATMOS_REFSTART_UPDATE_DT = 10800.DO,
/

```

(TIME_DURATION) を3時間に設定し、(RESTART_OUTPUT) を.true. とした場合は、リスタートファイルは積分終了時に作成される。したがって、(TIME_DT_ATMOS_RESTART)、(TIME_DT_OCEAN_RESTART)、(TIME_DT_LAND_RESTART)、(TIME_DT_URBAN_RESTART) を設定する必要はない。(TIME_DURATION) を3時間以上に設定した場合には、(TIME_DT_ATMOS_RESTART)、(TIME_DT_OCEAN_RESTART)、(TIME_DT_LAND_RESTART)、(TIME_DT_URBAN_RESTART) に、3時間(10800秒)の約数かつ (TIME_DT)

の倍数を指定する必要がある。リスタート計算において連続計算と基準状態 (4.3.1.7 節参照) を一致させるために、(ATMOS_REFSTAT_UPDATE_DT) に 3 時間の約数を指定する。

3 時間目から 6 時間目までのリスタート計算に対する設定は下記である。

```
&PARAM_TIME
  TIME_STARTDATE = 2007, 7, 14, 21, 0, 0,
  TIME_STARTMS = 0.DO,
  TIME_DURATION = 3.0DO,
  TIME_DURATION_UNIT = "HOURL",
/

&PARAM_RESTART
  RESTART_OUTPUT = .true.,
  RESTART_IN_BASENAME = "restart_d01_20070714-210000.000",
  RESTART_OUT_BASENAME = "restart2_d01",
/

&PARAM_ATMOS_BOUNDARY
  ATMOS_BOUNDARY_TYPE = "REAL",
  ATMOS_BOUNDARY_IN_BASENAME = "../init/output/boundary_d01",
/

&PARAM_ATMOS_REFSTAT
  ATMOS_REFSTATE_TYPE = "INIT",
  ATMOS_REFSTART_UPDATE_DT = 10800.DO,
/
```

3 時間以上であれば良い。

あってもなくてもよい。
必須
あってもなくてもよい。

SCALE USERS GUIDE [日本語版]

執筆・編集

Team SCALE ユーザーズガイド制作委員会 (UGC Working Group)

本書中に不明点やお気づきの点、ご要望がございましたら、
SCALE ユーザー窓口 scale@m1.riken.jp
までご連絡ください。

Copyright ©Team SCALE, RIKEN R-CCS, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022. All rights reserved.