

SCALE USERS GUIDE

SCALE 使用者指南

5.3.5 版

SCALE 團隊
UGC 工作組

2020 年 1 月 21 日



目錄

1 綜述	2
1.1 引言	3
1.1.1 什麼是 SCALE ?	3
1.1.2 SCALE-RM 結構	5
1.2 本檔中使用的符號	7
2 安裝	8
2.1 準備	9
2.1.1 系統環境	9
2.2 SCALE 的編譯	12
2.2.1 下載和環境設置	12
2.2.2 編譯	13
2.3 後處理工具 (net2g) 的編譯	15
2.3.1 netcdf2grads (net2g) 的編譯	15
3 SCALE-RM 教程	16
3.1 操作檢查和基本用法	17
3.1.1 引言	17
3.1.2 如何執行模型	17
3.1.3 後處理和繪圖	19
3.1.4 進一步研究指南	20
3.2 真實大氣實驗	22
3.2.1 綜述	22
3.2.2 輸入資料 (邊界資料) 的準備工作	23
3.2.3 實驗組的準備工作	25
3.2.4 創建地形資料: pp	26
3.2.5 創建初始資料和邊界資料: init	27
3.2.6 模擬執行: 運行	29
3.2.7 快速查看模擬結果: net2g	33

第 1 部分

綜述

1.1 章

引言

本使用手冊適用於首次使用區域氣候/氣象模型 **SCALE-RM** 的使用者。本手冊基於數值庫 **SCALE 5.3.5** 版。儘管當前版本的 **SCALE** 包含一個區域模型 **SCALE-RM** 和一個全球模型 **SCALE-GM**，但該版本的使用手冊僅解釋了如何使用 **SCALE-RM** 的方法。下一個版本或以後的版本將包含對 **SCALE-GM** 的解釋。

本檔的結構如下：第 **1** 部分提供了對 **SCALE** 的綜述、第 **2** 部分描述了如何安裝 **SCALE-RM** 以及系統需求。然後，第 **3** 部分用一系列教程解釋了 **SCALE-RM** 的基本使用；第 **3.1** 章和第 **3.2** 章分別為理想實驗和真實大氣實驗提供了教程。建議 **SCALE-RM** 的初級使用者仔細閱讀這些章節。有關如何更改模型配置、資料格式以及可用函數和工具的詳細資訊，請參考《**SCALE** 使用者指南》（英文版）的第 **4** 和第 **5** 部分。因為每一章基本上都是自相隔絕的，所以這些章節可以作為字典使用。

如果您有任何問題或意見，請通過 **SCALE**-使用者郵寄清單 (scale-users@ml.riken.jp) 與我們聯繫。要訂閱使用者郵寄清單，請將電子郵件發送至 (scale@ml.riken.jp)，並附上您的簡短自我介紹。

1.1.1 什麼是 **SCALE**?

高級庫和環境的可擴展計算 (**Scalable Computing for Advanced Library and Environment**)，簡稱 **SCALE**，是一個軟體庫，可方便地在任何電腦上進行氣候和氣象研究。該庫具有以下優勢：

- **SCALE** 在「**BSD-2** 許可證」下作為開源軟體提供使用。無論使用者為事業單位還是其他企業，都可以免費使用、修改和重新發佈本軟體。
- **SCALE** 包含一個區域模型，稱為 **SCALE-RM (SCALE Regional Model)**。
- **SCALE** 作為構件，制定了各種方案；使用者可以根據所需實驗選擇合適的方案。
- **SCALE** 為物理進程提供了一個框架，它不僅可以被 **SCALE-RM** 調用，也可以被其他數值模型調用。

有關許可證的詳細資訊，感興趣的使用者可以參考主目錄下的檔 `scale-5.3.5/LICENSE`。對其用途的說明也在 **SCALE** 的網頁上 (<https://scale.riken.jp/>) 提供。

本節中解釋了 **SCALE** 的概念及其與實際模型的關係。可跳過本節，因為它與實際使用沒有直接關係。

SCALE 庫與模型的關係

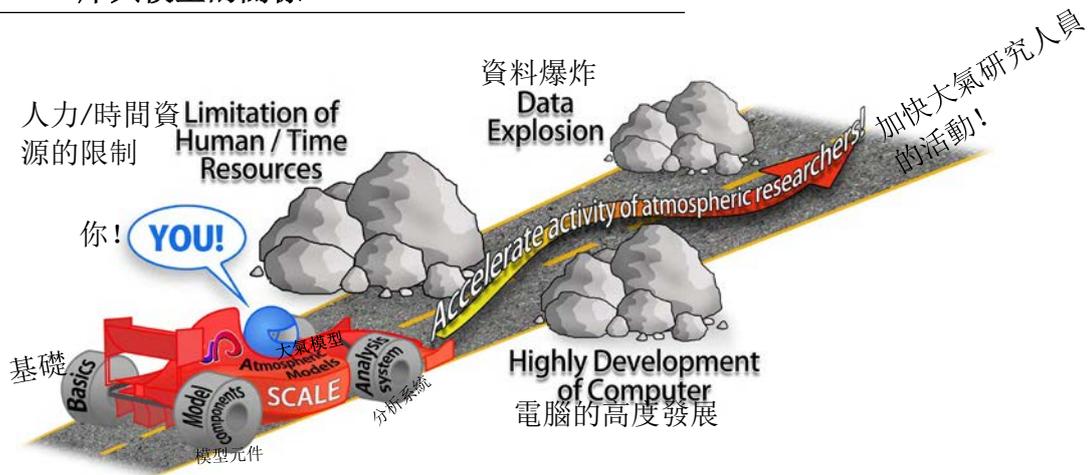


圖 1.1.1: SCALE 的目標

SCALE 是在日本理化研究所 (RIKEN) 與幾個外部貢獻者共同開發的，並且它還在持續改進和擴展。圖 1.1.1 顯示的是 SCALE 的概念原理圖。如圖所示，SCALE 旨在解決各種問題。從小型個人電腦集群到下一代超級電腦，SCALE 的開發考慮到了被廣泛應用於各種設備的情況。為此，氣象/氣候科學和電腦科學的科學家正在進行合作。

SCALE-RM 是一個充分利用 SCALE 的數值模型。這個模型包含在 SCALE 包中，如圖 1.1.2 所示。SCALE 對並行進程、檔輸入/輸出和內部通信進行管理。SCALE 還為大氣流動（動力框架）和諸如微觀物理和輻射過程的物理進程提供求解程式。另一方面，SCALE-RM 是由 SCALE 提供的函數和方案組合而成。SCALE-RM 本身讀取輸入資料，保存預測變數，並進行時間積分。使用者可以根據自己的模擬需要為每個元件選擇一個方案。

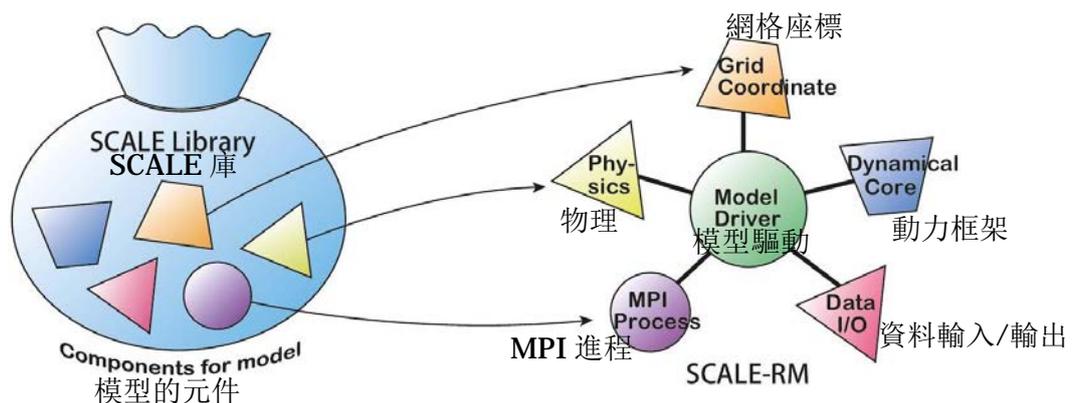


圖 1.1.2: SCALE 庫與 SCALE-RM 模型的關係

1.1.2 SCALE-RM 的結構

SCALE 所有元件中的所有方案均可在 **SCALE-RM** 中獲得。元件分為三個部分：框架、動力框架和物理進程。當前版本 **SCALE-RM** 中已經實現了各種方案的元件，如下所列^{*1)}。

框架

- 基於實際距離的三維 (3D) 笛卡爾座標網格系統
- 基於消息傳遞介面 (MPI) 通信的 2D 域分解
- 幾種常用的地圖投影
- 域嵌套系統（單向，即從父系網域到子域的資料傳輸。）
 - 線上嵌套：多個域的併發執行。
 - 離線嵌套：在外域中執行計算後在內域中執行計算。
- 多重條件的集體執行制度，即批量作業制度
- 基於氣候和預報 (CF) 公約^{*2)}的 netCDF 檔輸入/輸出
 - netCDF 3 和 netCDF 4 格式的選擇
- 為理想實驗生成初始資料
- 從外部資料轉換而來的地形和陸地使用資料的生成
- 從外部資料生成初始資料和邊界資料
 - 支持 WRF-ARW^{*3)} 和 GrADS^{*4)} 格式的輸入。

動力框架

- 控制方程：三維 (3D) 完全可壓縮非流體靜力學方程
- 空間離散化：有限體積法
 - 二階、四階和六階中心差
 - 三階和五階迎風差分
- 時間積分：選擇「完全顯式方法」或「橫向顯式方法和垂直隱式方法」
 - Heun 型三階龍格-庫塔 (Runge - Kutta) 方案
 - Wicker 和 Skamarock (2002) 的三階龍格-庫塔方案
 - 四階龍格-庫塔方案
- 非負值保證：
 - 通量校正傳輸法 (Zalesak, 1979)
 - Koren (1993) 的過濾器：僅在使用三階迎風方案時可用
- 數字過濾器：四階超高粘度和擴散
- 地形：用地形跟隨座標表示

*1) 參考 Team SCALE (2015), Sato et al. (2015) 和 Nishizawa et al. (2015) 來瞭解模型結構和離散化方法的詳細資訊。

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

*3) <http://www.wrf-model.org/>

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

物理進程

- 湍流過程：可從以下選項中選擇
 - Smagorinsky (1963) 和 Lilly (1962)-型亞網格尺度湍流模型，經過 Brown et al. (1994) 和 Scotti et al. (1993) 的修正
 - Deardorff (1980) 亞網格尺度湍流模型
 - MYNN 2.5 級邊界方案 (Mellor and Yamada (1982); Nakanishi and Niino (2004))
- 雲微物理學：可從以下選項中選擇
 - 3 級單力矩散裝方案 (Kessler, 1969)
 - 6 級單力矩散裝方案 (Tomita, 2008)
 - 6 級雙力矩散裝方案 (Seiki and Nakajima, 2014)
 - 光譜 bin 方案 (Suzuki et al., 2010)
- 輻射過程：基於 k 分佈的寬頻輻射傳輸模型 (Sekiguchi and Nakajima (2008))
- 表面模型
 - 陸地模型：熱擴散/bucket 模型
 - 海洋模型：可從以下選項中選擇
 - * 固定到初始狀態
 - * 來自外部資料的輸入
 - * 平板模型
 - 城市模型：單層冠層模型 (Kusaka et al., 2001)
 - 陸地和海洋的熱傳遞係數：可從以下選項中選擇
 - * 使用通用函數的批量法 (Beljaars and Holtslag, 1991; Wilson, 2001)
 - * Louis 型批量法 (Uno et al., 1995)

1.2 章

本檔中使用的符號

本文檔假設在某些 Unix 系統的 shell 「bash」中執行。如果您的環境不同，請用適合您環境的相關命令替換這些命令。除非有特殊說明，否則本文檔遵循以下符號用法：

用於執行的命令列符號用 \$ 或 # 表示。這兩種符號的區別在於程式執行的許可權級別，如下所示：

```
#      <- Root 許可權命令  
$      <- 用戶許可權命令
```

矩形中包含的描述表示命令列生成的消息，如下所示。

```
- - - 命令列消息  
- - - - - 命令列消息  
- - - - - 命令列消息
```

另一方面，包含在圓角多邊形中的描述是指該描述載於一個可編輯的檔中。

```
- - - - 在一個檔中描述  
- - - - - 在一個檔中描述  
- - - - - 在一個檔中描述
```

在本文檔中，FORTRAN 名稱列表及其項目分別由 `[namelist]` 和 `(Item_of_namelist)` 表示。

第 2 部分

安裝

2.1 章

準備

本章解釋了如何編譯 SCALE / SCALE-RM 以及執行它們的最低計算要求。

2.1.1 系統環境

推薦硬體

儘管必要的硬體取決於要進行的實驗，但以下部分也給出了理想大氣實驗和真實大氣實驗教程所使用的品質標準，兩種實驗分別見第 3.1 章和第 3.2 章描述。

- **CPU**：對於理想實驗，系統需要有兩個或兩個以上的物理核心；對於真實大氣實驗，需要四個或四個以上的物理核心。
- **記憶體**：理想實驗和真實大氣實驗分別需要 512 MB 和 2 GB 記憶體。請注意，這適用於使用雙精度浮點數的情況。
- **硬碟**：為了進行真實大氣實驗，系統需要有 3 GB 的可用磁碟空間。

所需軟體

- **作業系統 (OS)**: Linux OS、Mac OS
- **編譯器**: C、Fortran

由於 SCALE 的原始程式碼是用 FORTRAN 2003 標準語法編寫的，編譯器必須支援此語法。例如，GNU gfortran 4.3 版或以前的版本不能用於 SCALE 編譯，因為它們不遵循 FORTRAN 2003 標準。參考表格 2.1.1 用於獲得已被確認受支持的編譯器。

表 2.1.1: 已檢查的編譯器

編譯器名稱	
GNU (gcc/gfortran)	不支援 4.3 版或更低版本。4.4.x 版系列有時會發出警告
Intel (icc/ifort)	建議使用 2013 版或更高版本。
PGI (gcc/pgfortran)	版本 17.1 已確認。

表 2.1.2: 編譯器列表

MPI 庫名	
openMPI	支援 1.7.2 或更高版本。
Intel MPI	支援 2013 版或更高版本。
SGI MPT	支援 2.09 或更高版本。

所需的庫

所需的外部庫描述如下：

- netCDF 庫 (<http://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/>)
- MPI 庫 (例如, openMPI <http://www.open-mpi.org/>)
- LAPACK (<http://www.netlib.org/lapack/>) (僅適用於 SCALE-GM)

MPI 庫應支援 MPI 1.0/2.0 協定。參考表 2.1.2，以瞭解已被確認為受支持的 MPI 庫。

建議使用 netCDF 4，但也可以使用 netCDF 3。請注意，netCDF 3 有一些限制（請參見英文版本的第 5.1.1 節）。您也可以為 Linux 和 Mac 使用分散式二進位包。第 3.1 和 3.2 章中的教程假設已經準備好了上述庫環境。

繪圖工具

在本分段中，介紹了可以利用 SCALE-RM 繪製初始條件、邊界資料和類比結果的繪圖工具。

GPhys 和 GrADS 分別用於第 3.1 和 3.2 章教程中的快速視圖和繪圖模型輸出。如果其他工具能夠讀取 SCALE- netCDF 檔案格式，也可以利用這些工具（請參見英文版本的第 5.1.1 節）。

- 由 GFD DENNOU Club 提供的 GPhys / Ruby-DCL
 - URL: <http://ruby.gfd-dennou.org/products/gphys/>
 - 注意: SCALE 根據 MPI 進程對域的分解以 netCDF 格式輸出拆分檔。GPhys 中的「gpview」和/或「gpvect」可以直接繪製拆分檔，無需後期處理。
 - 如何安裝: 在 GFD DENNOU Club 的網頁上，解釋了主要作業系統的安裝 <http://ruby.gfd-dennou.org/tutorial/install/>
- COLA 的網格分析與顯示系統 (GrADS)
 - URL: <http://cola.gmu.edu/grads/>
 - 注意: 這是最流行的繪圖工具之一，但是由 SCALE 生成的 netCDF 的拆分檔不可直接讀取。需要後處理工具 netcdf2grads_h 或 snow 來將 SCALE 的輸出檔合併成一個可從 GrADS 讀取的檔。有關 netcdf2grads_h 的安裝說明，請參考第 2.3.1 節；有關其使用的詳細資訊，請參考英文版本的第 3 部分和第 4.6.1 節。
 - 如何安裝: 參考 <http://cola.gmu.edu/grads/downloads>。
- Ncview: David W. Pierce 開發的 netCDF 視覺化瀏覽器
 - URL: http://meteora.ucsd.edu/~pierce/ncview_home_page.html
 - 注意: Ncview 是 netCDF 檔案格式的快速檢視器。雖然它不能在 SCALE 中合併拆分檔，但它在逐個檔繪製結果時很有用。
 - 如何安裝: 參見 http://meteora.ucsd.edu/~pierce/ncview_home_page.html

有用的工具（不總是必要的）

- 資料轉換工具：wgrib, wgrib2, NCL
真實大氣實驗教程使用了 wgrib。
- 計算性能評估工具：可用 PAPI 庫^{*1)}。

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

2.2 章

SCALE 的編譯

2.2.1 下載和環境設置

以下解釋中使用的環境如下：

- CPU: 英特爾酷睿 (Intel Core) i5 2410M 2 核/4 執行緒
- 記憶體: DDR3-1333 4GB
- 作業系統: CentOS 6.6 x86-64、CentOS 7.1 x86-64、openSUSE 13.2 x86-64
- GNU C/C++、FORTRAN 編譯器

獲取原始程式碼

最新版本的原始程式碼可以從 <https://scale.riken.jp/download/index.html> 下載。當原始程式碼的 **tarball** 檔被提取出來時，可以看到目錄 `scale-5.3.5/`。

```
$ tar -zxvf scale-5.3.5.tar.gz
$ ls ./
scale-5.3.5/
```

設置 **Makedef** 檔和環境變數

SCALE 利用環境變數「`SCALE_SYS`」中指定的 **Makedef** 檔編譯。在目錄 `scale-5.3.5/sysdep/` 中準備了與電腦環境相對應的 **Makedef** 檔的幾個變體。根據您的環境選擇一個 **Makedef** 檔。表 2.2.1 顯示了 **Makedef** 檔所支援的環境。如果沒有適合您的環境的檔，請通過修改任何現有檔來創建一個 **Makedef** 檔。例如，如果使用 **Linux x86-64 OS**、**GNU** 編譯器和 **openMPI**，則「**Makedef.Linux64-gnu-ompi**」是合適的。還必須指定一個環境變數，如下所示：

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

如果環境始終相同，即可方便地在環境設定檔（例如 `.bashrc`）中明確描述環境變數。

SCALE 需要 **netCDF**。在大多數情況下，**netCDF** 的路徑會通過使用「`nc-config`」命令自動找到。如果無法自動找到路徑，則應設置以下路徑。您必須按下列方式設置 **netCDF** 的環境變數：

```
$ export SCALE_NETCDF_INCLUDE="-I/opt/netcdf/include"
$ export SCALE_NETCDF_LIBS= \
  "-L/opt/hdf5/lib64 -L/opt/netcdf/lib64 -lnetcdff -lnetcdf -hdf5_hl
  -lhdf5 -lm -lz"
```

表 2.2.1: 環境及其相應的 Makedef 文件的示例。

作業系統/電腦	編譯器	MPI	Makedef 文件
Linux OS x86-64	gcc/gfortran	openMPI	Makedef.Linux64-gnu-ompi
	icc/ifort	intelMPI	Makedef.Linux64-intel-impi
	icc/ifort	SGI-MPT	Makedef.Linux64-intel-mpt
Mac OS	gcc/gfortran	openMPI	Makedef.MacOSX-gnu-ompi
K Computer	fccpx/frtpx	mpiccp/mpiwrtpx	Makedef.K
Fujitsu PRIME-HPC FX100	fccpx/frtpx	mpiccp/mpiwrtpx	Makedef.FX100

2.2.2 編譯

SCALE-RM 的編譯

移動到 SCALE-RM 原始目錄，並通過執行以下命令進行編譯：

```
$ cd scale-5.3.5/scale-rm/src
$ make -j 4
```

-j 選項後面的數字顯示了並行編譯進程數；在本例中為 4 個並行進程。為了減少編譯所用的時間，最好使用這個選項，根據您的環境指定一個合適的並行數。編譯成功後，將在 scale-5.3.5/bin 目錄下生成以下三個可執行檔。

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

SCALE-GM 的編譯

移動到 SCALE-GM 原始目錄，並通過執行以下命令進行編譯：

```
$ cd scale-5.3.5/scale-gm/src
$ make -j 4
```

我們建議使用 2~8 個並行進程數來編譯 SCALE-GM。當編譯成功時，將在 scale-5.3.5/bin 目錄中創建以下可執行檔。「fio」是基於二進位檔案的原始格式，並帶有標題資訊。

```
scale-gm    (executable binary of \scalegm)
gm_fio_cat  (cat command tool for fio format)
gm_fio_dump (dump tool for fio format file)
gm_fio_ico2ll (convert tool from icosahedral grid data with fio format to
LatLon grid data)
gm_fio_sel  (sel command tool for fio format)
gm_mkghgrid (generation tool of icosahedral horizontal grid using spring grid)
gm_mkllmap  (generation tool of LatLon horizontal grid)
gm_mkmnginfo(tool for creating management file of MPI process)
gm_mkrawgrid(generation tool of icosahedral horizontal grid)
gm_mkvlayer (generation tool of vertical grid)
```

注意事項

如果您想再次編譯它們，請通過以下命令刪除已創建的二進位檔案：

```
$ make clean
```

請注意，此命令不會刪除已編譯的庫。通過更改編譯環境和選項重新編譯檔時，請使用以下命令刪除所有通過編譯創建的檔：

```
$ make allclean
```

在 SCALE 中，編譯和存檔是在目錄 `scale-5.3.5/scalelib/` 中進行的。當您執行編譯時，目的檔案會存放於此目錄下的一個名為「`.lib`」的隱藏目錄中。

當您想在調試模式下編譯模型時，請使用 `"make -j 4 SCALE_DEBUG=T"` 來編譯它。（表 2.2.2 列出了編譯時應用的所有環境變數。）如果要詳細更改編譯選項，請編輯 `Makedef.***`。

表 2.2.2: 編譯時應用的環境變數清單

環境變數	描述
<code>SCALE_SYS</code>	系統選擇（必需）
<code>SCALE_DISABLE_MPI</code>	不使用 MPI（僅適用於 <code>utils</code> ）
<code>SCALE_DEBUG</code>	使用編譯選項進行調試
<code>SCALE_QUICKDEBUG</code>	使用編譯選項進行快速調試（在保留加速選項的同時檢測浮點錯誤）
<code>SCALE_USE_SINGLEFP</code>	使用單精確度浮點數（適用於所有來源）
<code>SCALE_USE_FIXEDINDEX</code>	在編譯時固定網格索引大小
<code>SCALE_ENABLE_OPENMP</code>	啟用 OpenMP
<code>SCALE_ENABLE_OPENACC</code>	啟用 OpenACC
<code>SCALE_USE_AGRESSIVEOPT</code>	進行強優化（僅針對 <code>K computer</code> 和 <code>FX</code> ，這可能有副作用）
<code>SCALE_DISABLE_INTELVEC</code>	禁止向量化的選項（僅適用於 Intel 編譯器）
<code>SCALE_NETCDF_INCLUDE</code>	包含 NetCDF 庫的路徑
<code>SCALE_NETCDF_LIBS</code>	NetCDF 庫和指定庫的目錄路徑
<code>SCALE_ENABLE_PNETCDF</code>	啟用並行 NetCDF
<code>SCALE_COMPAT_NETCDF3</code>	限制使用與 NetCDF3 相容的功能
<code>SCALE_ENABLE_MATHLIB</code>	使用數值計算庫
<code>SCALE_MATHLIB_LIBS</code>	數值庫和指定庫的目錄路徑
<code>SCALE_ENABLE_PAPI</code>	使用應用程式性能介面 (PAPI)
<code>SCALE_PAPI_INCLUDE</code>	包含 PAPI 庫的路徑
<code>SCALE_PAPI_LIBS</code>	PAPI 庫和指定庫的目錄路徑
<code>SCALE_DISABLE_LOCALBIN</code>	禁止在測試用例的目錄中創建本地二進位檔案
<code>SCALE_IGNORE_SRCDEP</code>	編譯時忽略依賴項檢查
<code>SCALE_ENABLE_SDM</code>	使用超級液滴法 (SDM) 模型

2.3 章

後處理工具 (net2g) 的編譯

2.3.1 netcdf2grads (net2g) 的編譯

「net2g」是 SCALE-RM 的後處理工具。SCALE-RM 的輸出檔被分割並存儲在每個計算節點中。SCALE 提供了一個後處理工具「net2g」來組合這些輸出檔 (history.*****.nc)，並將它們轉換成在 GrADS 中直接可讀的資料格式。由於本教程 (第 3.1 和 3.2 章) 使用了它，因此在這裡解釋「net2g」的編譯方法。

根據您的環境為 **Makedef** 檔指定環境變數，就像在編譯 SCALE 主體時進行的那樣。然後，移動到目錄「net2g」並執行一個命令。以下命令會生成使用 MPI 庫的並行可執行檔：

```
$ cd scale-5.3.5/scale-rm/util/netcdf2grads_h
$ make -j 2
```

如果沒有 MPI 庫，則給出一個編譯命令來生成串列可執行二進位檔案。

```
$ make -j 2 SCALE_DISABLE_MPI=T
```

如果生成了可執行檔「net2g」，則編譯成功。刪除可執行二進位檔案後，執行以下命令：

```
$ make clean
```

第 3 部分

SCALE-RM 教程

3.1 章

操作檢查和基本用法

3.1.1 引言

在這一章中，解釋了 **SCALE-RM** 進行數值實驗的基本操作。為此，我們準備了一個理想的實驗用例。強烈建議首次使用者執行本教程，因為其中包括了檢查第 2 部分中的 **SCALE** 編譯是否已經完成。本章假設已經生成了以下檔：

```
scale-5.3.5/bin/scale-rm
scale-5.3.5/bin/scale-rm_init
scale-5.3.5/scale-rm/util/netcdf2grads_h/net2g
```

此外，**GrADS** 被用作繪圖工具。「**gpview**」也可用於結果的確認。關於它們的安裝步驟，請參考第 2.1.1 節。

本教程按照準備的順序進行描述：創建初始資料、進行模擬、對輸出進行後處理以及繪製結果。

3.1.2 如何執行模型

實驗裝置

本教程是一個理想實驗，以積雲對流為例。在這項實驗中，通過提供典型的大氣垂直剖面 and 一個下部對流層的初始擾動，積雲以准 2D 模型出現和發展。表 3.1.1 顯示了實驗設置。

準備

這個理想實驗是在 `scale-rm/test/tutorial/ideal` 目錄下進行的。移動到此目錄，並創建一個靜態連結，連結到 `scale-5.3.5/bin` 中的可執行二進位檔案，如下所示：

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

其中，「`scale-rm`」是本模擬的可執行二進位檔案，「`scale-rm_init`」是創建初始條件和邊界條件的工具。

創造初始條件

要創建初始條件，需要 `scale-rm_init` 的設定檔。根據表 3.1.1，已在教程目錄中準備了設定檔 `init_R20kmDX500m.conf`

表 3.1.1: 理想實驗的實驗設置

	配置	注意
MPI 進程數	2: 向東方向, 1: 向北方向	2 個 MPI 並行
橫向網格間距	500 m: 向東方向, 500 m: 向北方向	准二維向東和垂直方向的實驗。
橫向網格的數量	40: 向東方向, 2: 向北方向 ^a	
垂直層數	97 層, 模型頂部為 20 km	拉伸的網格在較低層具有更高的解析度。
橫向邊界條件	週期性條件	向東和向北
時間步長	5 s	微觀物理學方案中的 10 s
積分時間	3,600 s	時間步長為 720。
資料輸出的時間間隔	300 s	
物理方案	只有微觀物理學方案	6 級單力矩散裝模型 (Tomita, 2008)
初始垂直剖面	GCSS Case1 颶線 (Redelsperger et al., 2000)	給出了基於 Ooyama (2001) 的風廓線作為垂直切變。
初始擾動	暖泡	水準半徑為 4 公里, 垂直半徑為 3 公里, 最大強度為 3K。

^a 在當前版本中, 沒有準備純 2D 實驗框架。在這種情況下, 具有相同值的初始條件被設置為向北。因此, 該設置對應於 2D 實驗。此外, 向北網格的數量應該與暈圈的數量相同。關於所需的暈圈數量, 請參考英文版本中的 4.3.1.2 章節。

3.1.1. scale-rm_init 讀取設定檔, 然後計算分層大氣結構和初始擾動。

SCALE-RM 中可執行命令的一般形式如下:

```
$ mpirun -n [the number of processes] \\  
[executable binary name] [the configuration file]
```

使用 MPI 並行處理的進程數在 [the number of processes] 處填寫。可執行二進位檔案的名稱在 [executable binary name] 處填寫, 例如 scale-rm、scale-rm_init 等。描述實驗設置的設定檔在 [the configuration file] 處填寫。如果 init_R20kmDX500m.conf 設定檔使用兩個 MPI 並行進程來執行 scale-rm_init 的情況下, 請執行以下操作:

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

如果成功完成, 命令列中將輸出以下消息:

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

通過以上操作, 在給定的目錄下會生成以下三個檔:

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

整個計算域被橫向地除以 **MPI** 進程數。檔案名中 **pe** 後面的數位表示 **MPI** 的進程數。在日誌檔 `init_LOG.pe000000` 中，記錄了命令列中未顯示的詳細資訊。儘管在這種情況下使用了兩個 **MPI** 進程，但預設情況下只輸出第 0 個進程（主級）的日誌檔。如果執行正常結束，下面的語句將輸出到此日誌 (**LOG**) 檔的末尾：

```
+++++ finalize MPI...  
+++++ MPI is peacefully finalized
```

此兩個文件 `init_00000101-000000.000.pe000000.nc` 和 `init_00000101-000000.000.pe000001.nc` 是初始條件檔，每個大約 **600 KB**。檔案名以「.nc」結尾的檔將會由 **netCDF** 格式化。它可以直接由 **GPhys/Ruby-DCL** 和 **ncview** 讀取。

模擬的執行

並行進程數必須與創建初始條件時的並行進程數量相同。運行的設定檔是 `run_R20kmDX500m.conf`。

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

如果使用滿足必需要求的電腦，計算將在兩分鐘內完成。然後會在給定的目錄下生成以下三個檔：

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

當執行正常結束時，在此日誌檔的末尾會輸出以下消息：

```
+++++ finalize MPI...  
+++++ MPI is peacefully finalized
```

這兩個文件 `history.pe000000.nc` 和 `history.pe000001.nc` 是包含計算結果的歷史檔。它們會由 **netCDF** 格式化，每個檔大約為 **5.8 MB**。

3.1.3 後處理和繪圖

在本節中，我們將解釋後處理和繪製計算結果的方法。在本教程中，我們將 **netCDF** 格式的分散式檔合併成一個檔，並轉換成簡單的二進位格式（**GrADS** 格式）。二進位格式便於使用者分析結果。連結到第 **2.3.1** 節中編譯的後處理工具 `net2g`：

```
$ ln -s ../../../../util/netcdf2grads_h/net2g ./
```

`net2g` 的執行方法與 **SCALE-RM** 相同，即，

```
$ mpirun -n [the number of the processes] ./net2g [the configuration file]
```

用於執行 `net2g` 的 **MPI** 進程數應該等於用於運行 **SCALE-RM** 的 **MPI** 進程數，或者它的一個除數。`net2g` 的設定檔是 `net2g_R20kmDX500m.conf`。提供此設定檔來執行 `net2g`，如下所示：

```
$ mpirun -n 2 ./net2g net2g_R20kmDX500m.conf
```

如果沒有錯誤消息，並且在標準輸出中顯示以下消息，則轉換順利完成：

```
+++ MPI COMM: Corrective Finalize
```

然後，在該執行過程的同一目錄下會生成以下六個檔：

```
QHYD_d01z-3d.ct1
QHYD_d01z-3d.grd
U_d01z-3d.ct1
U_d01z-3d.grd
W_d01z-3d.ct1
W_d01z-3d.grd
```

「**grd**」檔是通過合併被分割的 **SCALE-netCDF** 檔而獲得的直接存取的簡單二進位形式（**GrADS** 形式）的轉換檔，而「**ctl**」檔的作用是使這些「**grd**」檔可以被 **GrADS** 讀取。為了確認計算是否令人滿意，使用 **GrADS** 腳本 `checkfig_ideal.gs` 繪製一個圖形。

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

請注意，**GrADS** 腳本的語法取決於 **GrADS** 的版本。如果出現警告，應該適當地重寫 **GrADS** 腳本。如果成功完成後處理，則生成與圖 3.1.1 相同的圖形：

```
ideal_QHYD.pn
g ideal_W.png
```

要將輸出結果轉換為其他變數的二進位資料，請將它們添加到設定檔 `net2g_R20kmDX500m.conf` 中 **[VARI]** 下的 (**VNAME**)：

```
&VARI
VNAME = "U", "W", "QHYD"
/
```

要檢查歷史檔中的輸出變數，請使用 **netCDF** 的 `ncdump`。關於 **net2g** 的詳細使用，請參考英文版本中的第 4.6.1 節。

3.1.4 進一步研究指南

本章將通過一個簡單的理想實驗來解釋如何執行 **SCALE-RM**。我們建議根據教程的設置更改模型解析度、計算域、物理方案以及 **MPI** 進程數，以進一步研究。在本實驗使用目錄下的「**sample**」目錄中準備了幾個具有其他配置的示例檔。如何更改它們的詳細資訊在英文版本的第 4 部分中有描述。此外，在「`scale-rm/test/case`」目錄中還準備了各種理想實驗的設置。對於一些理想實驗，可能需要在與設定檔相同的目錄中再次執行「**make**」命令，因為一些測試用例需要根據它們的實驗設置使用特殊的原始程式碼。初始條件的生成過程和模擬執行的過程與本教程中的相同。

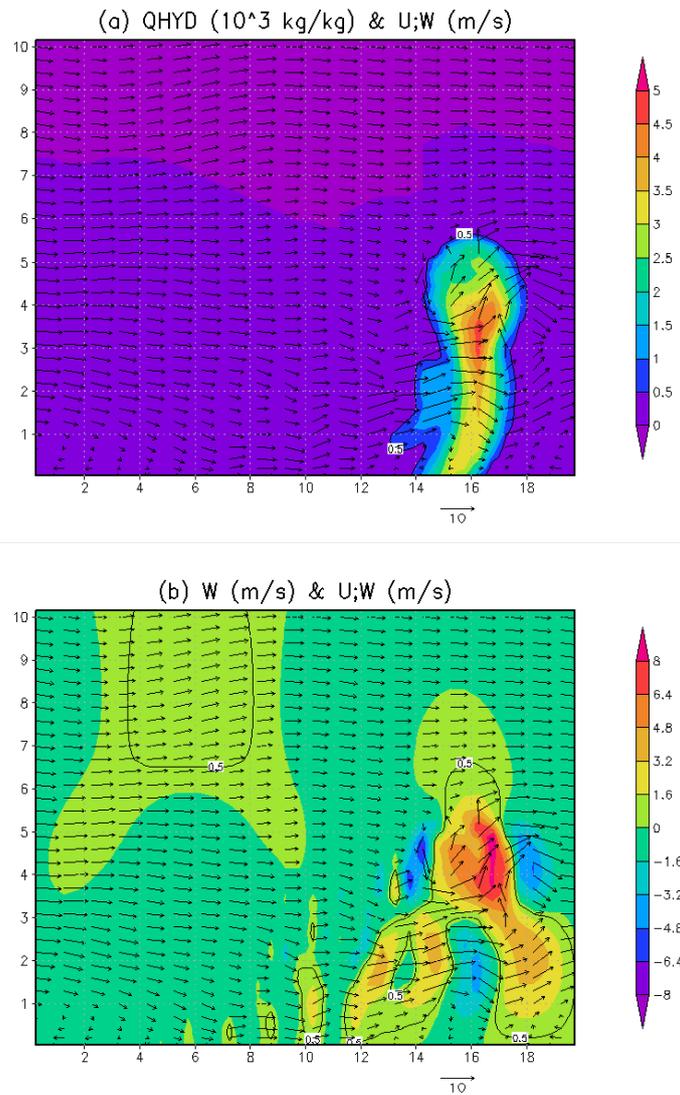


圖 3.1.1: $t=1200 \text{ s}$ 後 (20分鐘後), $Y=750\text{m}$ 處的橫向-垂直橫截面; 圖中顏色表示了 (a) 水汽凝結體的品質濃度和 (b) 垂直速度。兩個圖中的向量均表示氣流。

3.2 章

真實大氣實驗

3.2.1 綜述

在本章中，根據圖 3.2.1 中的工作流程，使用一個簡單的案例描述了真實大氣實驗的基本執行過程。

1. 輸入資料的準備工作。輸入資料必須由使用者自己準備。
2. pp: 製作地形資料
3. init: 製作初始和邊界資料
4. run: 執行模擬
5. net2g: 將 netCDF 輸出資料轉換為 GrADS 格式 (可選)

在下文中，絕對路徑 `scale-5.3.5/scale-rm/test/tutorial/` 表示為 `${Tutorial_DIR}`。

本教程的實驗設置如表 3.2.1 所示。圖 3.2.2 顯示了目標域。由於本教程側重於學習如何使用 SCALE-RM 快速進行真實大氣實驗，所以本實驗將在短時間內完成。請注意，該設置可能不適合作為物理上有效的實驗，使用者需要根據需要選擇適當的設置。

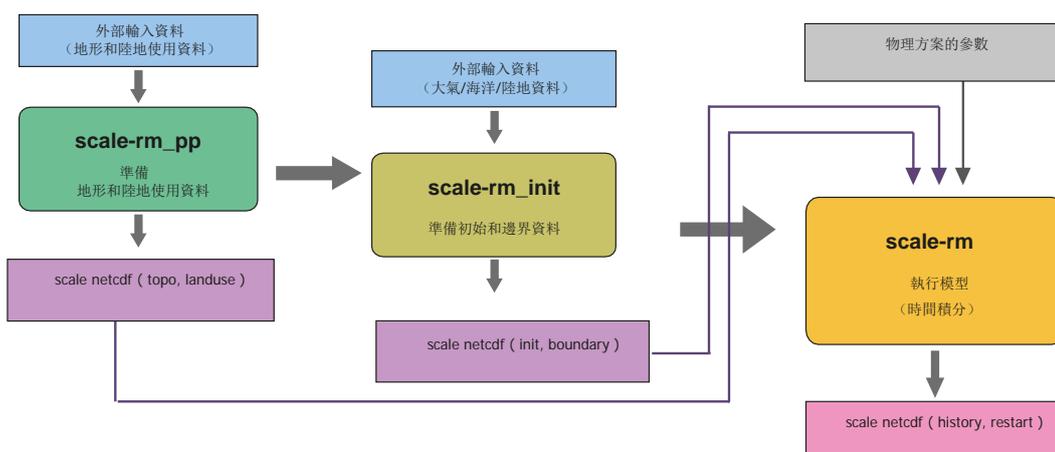


圖 3.2.1: 模型執行時的 SCALE-RM 步驟

表 3.2.1: 實驗設置概述

項目	配置
MPI 進程分解 (東西×南北)	2 × 2 (總計: 4 個進程)
橫向網格數量 (東西×南北)	90 × 90
垂直層數	36
橫向網格間隔	$\Delta x = \Delta y = 20\text{km}$
整合期	2007 年 7 月 14 日, 18UTC - 7 月 15 日, 00UTC (6 小時積分)
時間步長	90 s/步 (總計: 240 步)

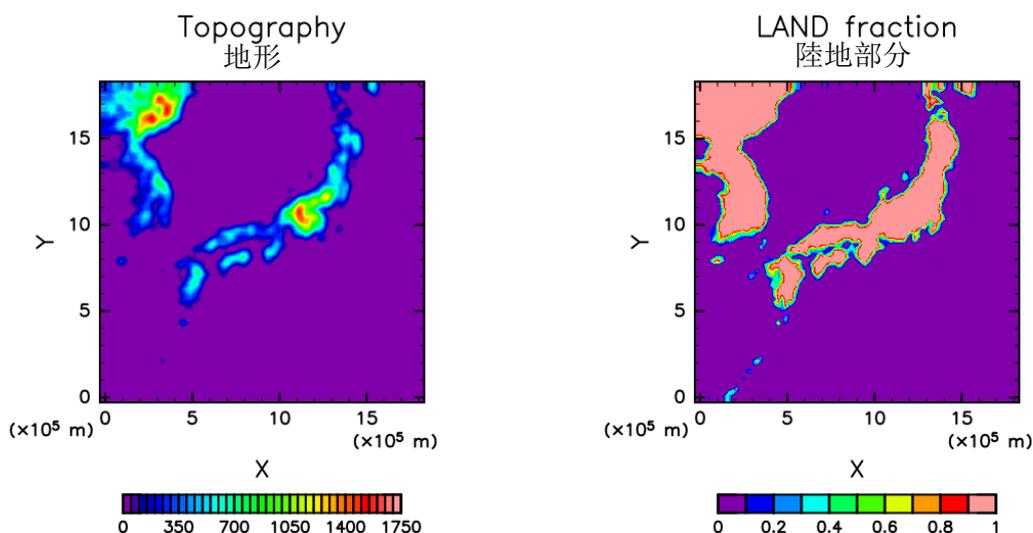


圖 3.2.2: 該區域的地形和海陸分佈

3.2.2 輸入資料 (邊界資料) 的準備工作

當進行真實大氣實驗時, 需要向 SCALE-RM 提供邊界資料。表 3.2.2 顯示了創建邊界資料所需的外部輸入資料的變數。該表中由藍色字元表示的變數總是需要的, 而其他變數 (黑色字元) 是可選的。

地形和陸地使用分類資料

利用外部地形和陸地利用分類資料, 得到各網格點的海拔高度和土地利用分類。為了讓使用者能夠計算全球任何地區, 美國地質調查局 (USGS) 提供的海拔高度資料 GTOPO30 和 GLCCv2 提供的陸地利用分類資料都在 SCALE-RM 網頁上提供。

1. 下載資料庫

從 https://scale.riken.jp/archives/scale_database.tar.gz 獲得適用於 SCALE-RM 的海拔高度和陸地使用分類資料, 並將其解壓縮到任何目錄:

```
$ tar -zxvf scale_database.tar.gz
```

表 3.2.2: 用於真實大氣實驗的外部輸入資料項目

用於創建地形和陸地使用資料的資料（通常為現場資料）
海拔資料
陸地使用分類資料
用於創建 SCALE-RM 的初始資料和邊界資料的資料（一般來說，為 GCM 資料）
父模型的緯度和經度資訊
— 3D 大氣資料 —
緯向和經向風、溫度、比濕度（相對濕度）、壓力、位勢高度
— 2D 大氣資料 —
海平面氣壓、地面氣壓、10m 處的緯向和經向風、2m 處的溫度和比濕度（相對濕度）
— 2D 陸地資料 —
父模型中的陸地和海洋地圖
表層溫度
父模型中土壤資料的深度、土壤溫度、土壤濕度（體積含量或飽和度）資訊
— 地表的 2D 海洋資料 —
海面溫度（如果表層溫度也用於海面溫度 (SST)，則省略此項）

```
$ ls
scale_database/topo/      <- altitude data
scale_database/landuse/  <- land use classification data
```

2. 路徑的設置

要準備用於真實大氣實驗的檔，可以使用「實驗完整設置的製作工具」。要使用該工具，請將包含上述資料庫的目錄名設置為環境變數 `SCALE_DB`:

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

其中 `${path_to_directory_of_scale_database}` 是包括地形和陸地使用資料庫在內的 tar 檔所被提取到的目錄名。例如，如果您展開 `scale_database.tar.gz` 的絕對路徑是 `/home/user/scale`，則需要進行如下設置。

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

大氣、陸地和海面溫度資料

SCALE-RM 允許幾種類型的資料格式作為輸入資料格式；其中之一是四位元組二進位資料格式（所謂的 **GrADS** 格式；以下簡稱「二進位資料」）。因此，使用者需要準備初始和邊界資料作為「二進位」資料。在本教程中，`${Tutorial_DIR}/real/tools/` 目錄中提供了準備「二進位」資料的示例程式。下面將解釋一個步驟。請注意，假設已完成 `wgrib`^{*1)} 的安裝，以使用 `grib1` 格式的 **NCEP FNL**（最終）操作全域分析資料。

1. 下載資料

從 **NCAR** 網站下載兩個由 `grib1` 格式化的 6 小時資料 <http://rda.ucar.edu/datasets/ds083.2/> 並將它們放於目錄中 `${Tutorial_DIR}/real/tools/FNL_input/grib1/2007:`

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

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

2. 將資料從 **grib** 轉換為二進位格式

在目錄 `${Tutorial_DIR}/real/tools/` 下執行 `convert_FNL-grib2grads.sh` :

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

將創建以下檔:

```
$ 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 資料中的資料格式和變數名可能會發生變化。在這種情況下，應該根據使用的 NCEP-FNL 資料來固定 `convert_FNL-grib2grads.sh` 。

3.2.3 實驗裝置的準備

在真實大氣實驗中，與理想實驗相比，需要許多執行步驟和大量檔。`pp`、`init` 和 `run` 的設定檔 (`***.conf`) 需要保持彼此的一致性。這些設置之間的不一致和檔的缺乏會導致模型運行異常。為了避免這種情況，我們準備了工具「實驗完整設置的製作工具」；該工具生成一組必要的檔案。

首先轉到以下目錄，為真實大氣實驗教程準備一系列檔:

```
$ cd ${Tutorial_DIR}/real/
$ ls
Makefile      : Makefile 用於生成一組必要的檔案。
README       : README 與腳本的使用相關
USER.sh      : 實驗設置說明。
config/      : 生成一組檔的每一個配置（基本上不需要重寫使用者）
sample/      : USERS.sh 的腳本示例
data/        : 教程工具
tools/       : 本教程中使用的初始條件工具
              （基本上，用戶自己做，教程除外）
$ make
$ ls experiment/: 通過上面的 make 命令添加的目錄
  init/
  net2g/
  pp/
  run/
```

根據 `USER.sh` 中描述的設置，當執行 `make` 命令時，在目錄 `experiment` 下會生成一個實驗集。關於「實驗完整設置的製作工具」的詳細說明，請參考英文版本中的第 4.2.1 節。

3.2.4 創建地形資料: pp

移動到目錄 pp，為實驗創建地形資料，如下所示：

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

在目錄 pp 中，存在設定檔 pp.d01.conf。有必要根據實驗設置編輯 pp.d01.conf，如域和網格數。由於 pp.d01.conf 已經在本教程中進行了編輯，因此可以不做任何更改就使用它。該實驗的設置如表 3.2.1 所示。

在 pp.d01.conf 的名稱列表中，與域相關的參數在 [PARAM_PRC_CARTESC]、[PARAM_ATMOS_GRID_CARTESC_INDEX] 和 [PARAM_ATMOS_GRID_CARTESC] 中配置。該域沿 X 和 Y 方向被分解成兩個域。因此，使用了四個 MPI 進程。每個 MPI 進程的網格數為 (IMAX = 45) 和 (JMAX = 45)。因此，沿 X 和 Y 方向的網格總數為 90 (= 2 × 45)。在 [PARAM_ATMOS_GRID_CARTESC] 中，每個方向的網格間距 (DX, DY) 為 20,000 m (20 km)。這意味著計算區域為 1,800 km × 1,800 km，因為一側的長度為 90 × 20 km。

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

&PARAM_ATMOS_GRID_CARTESC_INDEX
  KMAX = 36,
  IMAX = 45,
  JMAX = 45,
/

&PARAM_ATMOS_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 具有 [PARAM_CONVERT] 的特定名稱列表。如果 (CONVERT_TOPO=.true.)，則地形資料已處理。如果 (CONVERT_LANDUSE=.true.)，則陸地使用分類資料已處理。

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

[PARAM_CNVTOPO_GTOPO30] 中的 (GTOPO30_IN_DIR) 和 [PARAM_CNVLANDUSE_GLCCv2] 中的 (GLCCv2_IN_DIR) 分別指定了高度資料和陸地使用分類資料的位置。

```
&PARAM_CNVTOPO_GTOPO30
GTOPO30_IN_DIR = "./topo/GTOPO30/Products",
GTOPO30_IN_CATALOGUE = "GTOPO30_catalogue.txt",
/

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

準備好設定檔後，通過以下命令執行 `scale-rm_pp` 以創建地形資料：

```
$ mpirun -n 4 ./scale-rm_pppp.d01.conf
```

在本教程中，MPI 進程數是四個，如表 3.2.1 所示。當作業正常完成時，在 LOG 檔的末尾輸出以下消息：`pp_LOG_d01.pe000000`。

```
+++++ finalize MPI...
+++++ MPI is peacefully finalized
```

此外，會生成檔 `topo_d01.pe#####.nc`（檔案大小約為 **310 Kb**）和 `landuse_d01.pe#####.nc`（檔案大小約為 **380 Kb**），根據使用的 MPI 進程劃分四個檔。##### 表示 MPI 進程號。有關海拔、海洋和陸地比率、湖泊比率、城市覆蓋和植被比率以及陸地使用分類的資訊存儲在這些檔的每個網格點。

選項

安裝「`gpview`」後，您可以通過以下命令確認地形資料是否已正確生成：

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

如果結果正確，則生成與圖 3.2.2 相同的圖。

3.2.5 創建初始和邊界資料：init

移動到目錄 `init`，為 SCALE-RM 模擬創建初始和邊界資料，如下所示：

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

在目錄 `init` 中，存在設定檔 `init.d01.conf`。也存在 `init.launch.conf` 檔，但這裡並未使用到此檔。有必要根據實驗設置編輯檔 `init.d01.conf`。已經針對本教程實驗對 `init.d01.conf` 進行了編輯，見表 3.2.1。為了創建初始資料和邊界資料，將使用上一節中預先準備的地形資料。在 `init.d01.conf` 中設置它以引用相對路徑，如下所示：

```
&PARAM_TOPO
  TOPO_IN_BASENAME = "../pp/topo_d01",
/

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

特別地，處理了 `[PARAM_MKINIT_REAL_ATMOS]`、`[PARAM_MKINIT_REAL_OCEAN]` 和 `[PARAM_MKINIT_REAL_LAND]` 的內容。應該確認 `init.d01.conf` 中的設置是正確的。

```
&PARAM_MKINIT_REAL_ATMOS
  NUMBER_OF_FILES = 2,                : 讀取的文件數
  FILETYPE_ORG = "GrADS",              : 從英文版本的表 4.1.1 中選擇
  BASENAME_ORG = "namelist.grads_boundary.FNL.2005053112-2016051106",
  BASENAME_BOUNDARY = "boundary_d01",  : 邊界資料的輸出名
  BOUNDARY_UPDATE_DT = 21600.0,        : 輸入資料的時間間隔
  PARENT_MP_TYPE = 3,
  USE_FILE_DENSITY = .false.,          : 在父模型中是否使用大氣密度?
/

&PARAM_MKINIT_REAL_OCEAN
  .....
  INTRP_OCEAN_SFC_TEMP = "mask",       : 如何處理海面溫度 (SST) 的缺失值
  INTRP_OCEAN_TEMP = "mask",           : 如何處理溫度 (SST) 的缺失值
/

&PARAM_MKINIT_REAL_LAND
  .....
  USE_FILE_LANDWATER = .true.,          : 是否在父模型中使用土壤濕度資料?
  INTRP_LAND_TEMP = "mask",             : 如何處理土壤溫度缺失
  INTRP_LAND_WATER = "fill",           : 如何處理土壤濕度缺失
  INTRP_LAND_SFC_TEMP = "fill",        : 如何處理地表溫度缺失值
/
```

氣象欄位資料的檔案格式在 (`FILETYPE_ORG`) 中指定。在這種情況下，檔案格式被指定為「GrADS」，以使用 GrADS「二進位」格式讀取資料。有關輸入檔的詳細資訊，請參考英文版本中的第 4.1.1 節。

為了將第 3.2.2 節中轉換為二進位格式的輸入資料 (FNL) 連結到當前工作目錄，在目錄 `${Tutorial_DIR}/real/data` 中準備了一個 shell 腳本「`gradsinput-link_FNL.sh`」：

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

如果成功完成，將創建以下連結：

```

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

```

然後，將一個名稱清單檔連結到目錄 `init`，以讀取二進位 (GrADS) 資料。

```
$ ln -s ../../data/namelist.grads_boundary.FNL.2005053112-2016051106 ./
```

完成上述準備工作後，使用四個 MPI 進程執行 `scale-rm_init`。

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

如果作業正常完成，將生成以下檔：

```
$ 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
```

文件 `init_LOG_d01.pe000000` 是一個日誌檔。以下消息在檔 `init_LOG_d01.pe000000` 的末尾輸出：

```

+++++ finalize MPI...
+++++ MPI is peacefully finalized

```

邊界和初始資料，`boundary_d01.pe#####.nc` 和 `init_d01_20070714-180000.000.pe#####.nc` 的檔大小分別約為 **18.9 MB** 和 **12.6 MB**，其中 ##### 代表 MPI 進程號。

選項

如果已經安裝「`gpview`」，可以通過以下命令確認初始資料和邊界資料是否已正確創建：

```
$ gpvectl --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"
```

如果發現了與圖 3.2.3 相同的圖，則表明成功正確創建。

3.2.6 模擬執行：run

`run.conf` 的準備工作

移動到目錄 `run`。

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

QV, MOMX, MOMY

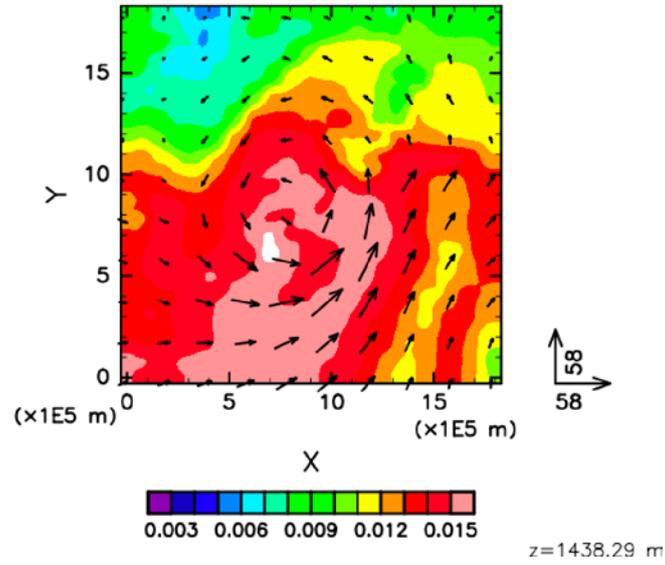


圖 3.2.3: 教程實驗中 $z = 1500\text{m}$ 處的初始場。顏色表示比濕度和向量橫向動量通量。

在這個目錄中，有一個設定檔 `run.d01.conf`，它已經根據表 3.2.1 中的教程設置準備好了。雖然此目錄中也存在檔 `run.launch.conf`，但是這裡不使用此檔。

先前生成的地形資料和初始/邊界資料用於模擬模型的執行。這些檔在 `run.d01.conf` 的以下部分中指定：

```

&PARAM_TOPO
  TOPO_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_START_DATE = 2007, 7, 14, 18, 0, 0,
  ATMOS_BOUNDARY_UPDATE_DT = 21600.0,
  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,
/

```

關於時間積分，它是在 `run.d01.conf` 中的 `[PARAM_TIME]` 中配置的。用世界協調時 (UTC) 在 `(TIME_STARTDATE)` 中指定初始時間。在本教程中，它被指定為 2007 年 7 月 14 日 18:00 UTC。積分週期在 `(TIME_DURATION)` 處指定。物理進程的時間步長可以逐過程配置。

```

&PARAM_TIME
  TIME_STARTDATE = 2007, 7, 14, 18, 0, 0,      : 積分開始時間
  TIME_STARTMS = 0.D0,
  TIME_DURATION = 6.0D0,                        : 積分週期
  TIME_DURATION_UNIT = "HOUR",                  : TIME_DURATION 的單位
  TIME_DT = 90.0D0,                             : 示蹤劑平流的時間步長
  TIME_DT_UNIT = "SEC",                         : TIME_DT 的單位
  TIME_DT_ATMOS_DYN = 45.0D0,                   : 除示蹤劑平流外的動力學過程的時
                                                : 間步長
  TIME_DT_ATMOS_DYN_UNIT = "SEC",               : TIME_DT_ATMOS_DYN 的單位
  .....
/

```

計算結果的輸出在 `(PARAM_FILE_HISTORY)` 中配置。

```

&PARAM_FILE_HISTORY
  FILE_HISTORY_DEFAULT_BASENAME = "history_d01", : 輸出檔案名
  FILE_HISTORY_DEFAULT_TINTERVAL = 3600.D0,     : 輸出時間間隔
  FILE_HISTORY_DEFAULT_TUNIT = "SEC",           : 輸出時間間隔的單位
  FILE_HISTORY_DEFAULT_TAVERAGE = .false.,
  FILE_HISTORY_DEFAULT_DATATYPE = "REAL4",
  FILE_HISTORY_DEFAULT_ZCOORD = "model",        : 無垂直插值
  FILE_HISTORY_OUTPUT_STEP0 = .true.,           : 是否在初始時刻 (t=0) 輸出
/

```

根據上述設置，輸出下列 (`HISTORY_ITEM`) 中的變數。如果需要，可以通過添加選項來改變 (`HISTORY_ITEM`) 中每個變數的輸出間隔。也可以輸出平均值而不是快照值。詳見英文版本第 4.2.8 節。

```

&HISTORY_ITEM NAME="MSLP" /      : 海平面氣壓
&HISTORY_ITEM NAME="PREC" /      : 降水強度 (2D)
&HISTORY_ITEM NAME="OLR" /      : 向外長波輻射 (2D)
&HISTORY_ITEM NAME="U10m" /     : 10m 處的緯向風向量 (2D)
&HISTORY_ITEM NAME="V10m" /     : 10m 處的經向風向量 (2D)
&HISTORY_ITEM NAME="U10" /      : 10m 處沿 X 方向的水準風速 (2D)
&HISTORY_ITEM NAME="V10" /      : 10m 處沿 Y 方向的水準風速 (2D)
&HISTORY_ITEM NAME="T2" /       : 2m 處的溫度 (2D)
&HISTORY_ITEM NAME="Q2" /       : 2m 處的比濕度 (2D)
&HISTORY_ITEM NAME="SFC_PRES" /  : 表面氣壓 (2D)
&HISTORY_ITEM NAME="SFC_TEMP" /  : 體積表面溫度 (2D)
&HISTORY_ITEM NAME="DENS" /     : 密度 (3D)
&HISTORY_ITEM NAME="QV" /       : 比濕度 (3D)
&HISTORY_ITEM NAME="QHYD" /     : 總水汽凝結體質量濃度 (3D)
&HISTORY_ITEM NAME="PRES" /     : 壓力 (3D)
&HISTORY_ITEM NAME="Umet" /     : 緯向風向量 (3D)
&HISTORY_ITEM NAME="Vmet" /     : 經向風向量 (3D)
&HISTORY_ITEM NAME="U" /        : 沿 X 方向的橫向風速 (3D)
&HISTORY_ITEM NAME="V" /        : 沿 Y 方向的橫向風速 (3D)
&HISTORY_ITEM NAME="T" /        : 溫度 (3D)
&HISTORY_ITEM NAME="W" /        : 垂直風速 (3D)
&HISTORY_ITEM NAME="Uabs" /     : 風速絕對值 (3D)
&HISTORY_ITEM NAME="PT" /      : 潛在溫度 (3D)
&HISTORY_ITEM NAME="RH" /      : 相對濕度 (3D)

```

如果對動態進程和物理進程使用其他方案，則為動態進程配置 [`PARAM_ATMOS_DYN`] 參數，為物理進程配置 [`PARAM_ATMOS`, `PARAM_OCEAN`, `PARAM_LAND`, `PARAM_URBAN`] 參數。詳見英文版本中的第 4.3.1 和 4.4 節。

模擬的執行

以下列表是已經被準備好執行的必要檔：

```

$ ls
MIPAS PARAG.29 PARAPC.29 VARDATA.RM29 cira.nc
                                : parameter file for radiation scheme
run.d01.conf                    : configuration file
param.bucket.conf              : parameter file for land schemes
scale-rm                       : executable binary of \scalerm
run.launch.conf                : launch file for nesting calculations
                                (not used in the tutorial)

```

如果所有準備工作都已完成，請使用四個 MPI 並行進程來執行 **SCALE-RM**：

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

執行需要一些時間來完成。在推薦的環境中需要 10-20 分鐘。標準輸出被寫入檔「log」，而處理結果在計算過程中被同時輸出到檔「LOG_d01.pe000000」。如果作業正常完成，將在「LOG_d01.pe000000」檔中輸出以下消息：

```
+++++ finalize MPI...
+++++ MPI is peacefully finalized
```

還會生成以下檔：

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

每個檔的大小大約為 **34 MB**。輸出檔 (`history_d01.pe#####.nc`) 將根據 **MPI** 進程數進行拆分，其中 ##### 表示 **MPI** 進程號。在這些檔中，會輸出 (`HISTORY_ITEM`) 中指定的變數。這些檔由 **NetCDF** 格式化，對應於氣候和預報 (**CF**) 中繼資料約定。

3.2.7 快速查看模擬結果：net2g

在本節中，我們將解釋如何使用 `netcdf2grads`。程式 `netcdf2grads` (簡稱 `net2g`) 會將按進程劃分的 **netCDF** 檔 (`history.**.nc`)^{*2)} 合併為 **GrADS** 格式的二進位檔案。模擬結果也將會使用轉換後的 **GrADS** 二進位資料進行驗證。

轉換為 **GrADS** 二進位

這裡只解釋了其中的一小部分步驟。關於它們的詳細用法，請參考英文版本中的第 4.6.1 節。

首先，移動到目錄 `net2g`：

```
$ cd ${Tutorial_DIR}/real/experiment/net2g
$ ls
  net2g -> ../../../../util/netcdf2grads_h/net2g
  net2g.2D.d01.conf
  net2g.3D.d01.conf
```

這個目錄中有一些設定檔和一個二進位檔案。此二進位檔案被連結到第 2.3.1 節中編譯的可執行檔。這裡舉例解釋了將 **2D** 變數 **MSLP** 和 **PREC** 轉換成 **GrADS** 格式的過程。我們還解釋了如何在 **850 hPa**、**500 hPa** 和 **200 hPa** 下提取 **3D** 變數、緯向風 (**Umet**) 和經向風 (**Vmet**)，並將它們轉換成 **GrADS** 格式。**2D** 和 **3D** 變數的設定檔分別製備為 `net2g.3D.d01.conf` 文件和 `net2g.2D.d01.conf` 文件。

當執行 `net2g` 時，進程數需要成為用於模擬的進程數的除數。這裡使用了四個 **MPI** 進程。由於 `net2g` 無法同時轉換 **2D** 和 **3D** 變數，因此將分別轉換它們，如下所示：

```
$ mpirun -n 4 ./net2g net2g.2D.d01.conf
$ mpirun -n 4 ./net2g net2g.3D.d01.conf
```

只有在標準輸出中發現以下消息且沒有錯誤消息時，才表明轉換成功了：

```
+++ MPI COMM: Corrective Finalize
```

還可以找到以下檔。`**ctl` 表示 **SCALE-RM** 的 **XY** 網格系統的「`ctl`」檔，`**lccr.ctl` 表示在經緯度座標上繪製結果的 `ctl` 檔：

*2) 如果安裝了「`gpview`」，它也可以用於繪圖。該工具更適合快速檢查，因為它不需要轉換歷史資料。

```
MSLP_d01z-2d.ct1  
MSLP_d01z-2d.grd  
MSLP_d01z-2d_lccr.ct1  
PREC_d01z-2d.ct1  
PREC_d01z-2d.grd  
PREC_d01z-2d_lccr.ct1  
PRES_d01z-3d.ct1  
PRES_d01z-3d.grd  
PRES_d01z-3d_lccr.ct1  
Umet_d01z-3d.ct1  
Umet_d01z-3d.grd  
Umet_d01z-3d_lccr.ct1  
Vmet_d01z-3d.ct1  
Vmet_d01z-3d.grd  
Vmet_d01z-3d_lccr.ct1
```

模擬結果的驗證

使用 **GrADS** 腳本 `checkfig_real.gs` 檢查確認計算結果。

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

轉換成功完成後，將生成以下檔。請注意，當出現警告時，腳本需要進行相應地更改。這是因為不同版本的 **GrADS** 語法不同。

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

如果計算成功，則會得到與圖 [3.2.4](#)、[3.2.5](#) 和 [3.2.6](#) 相同的圖。

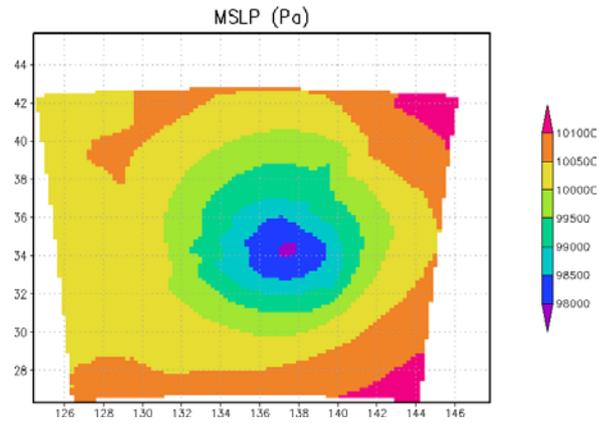


圖 3.2.4: 6 小時後的海平面氣壓

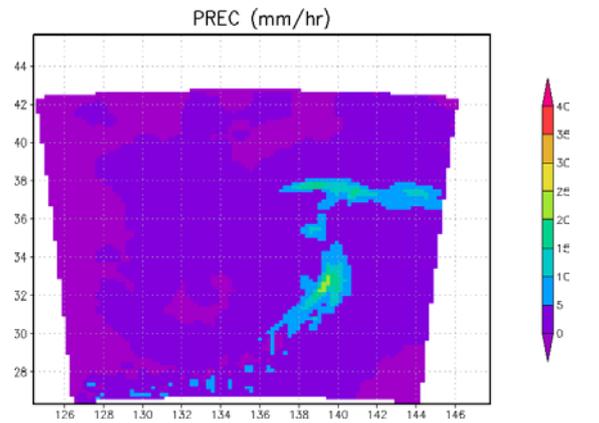


圖 3.2.5: 6 小時後的降水通量

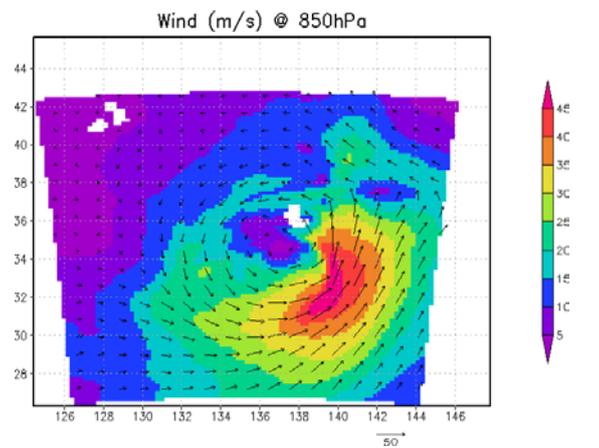


圖 3.2.6: 6 小時後的風速

参考文献

- 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.
- J. W. Deardorff. Stratocumulus-capped mixed layers derived from a three-dimensional model. *Boundary-Layer Meteorology*, 18:495 - 527, 1980.
- 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.
- 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. 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.
- 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.
- 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 gcsm 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.
- 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.
- 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.
- Team SCALE. *The detail formulation of SCALE-RM*. RIKEN/AICS, 2015.
- H. Tomita. New microphysical schemes with five and six categories by diagnostic generation of cloud ice (special issue: the international workshop on high-resolution and cloud modeling, 2006). *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*, 86:121 - 142, 2008.
- 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.

SCALE-RM 使用者指南 (中文版)

作者與編輯

SCALE 團隊使用者指南工作組

如果您有任何問題或疑慮,
請聯繫開發團隊 (scale@ml.riken.jp)

版權所有 © SCALE 團隊, RIKEN R-CCS, 2016, 2017, 2018, 2019. 保留所有權利。