

# 雲解像モデル deepconv

杉山耕一郎<sup>1</sup>, 山下達也<sup>2</sup>, 小高正嗣<sup>2</sup>, 中島健介<sup>3</sup>,  
deepconv 開発グループ

1: 北大低温研, 2: 北大理・宇宙理学,  
3: 九大理・地球惑星科学



2012年3月6日  
davis@九州大学

- 地球も含めた惑星大気への応用を想定した雲解像モデルの開発.
- 現段階では方程式系は、普通の“地球用”を踏襲
  - 地球大気での経験を生かす
  - 地球で得られてきた常識の再検討
    - 何をどう犠牲にして表現してきたかを思い出す
- dcmmodel 群の 1 つとして共通の書式・ライブラリ
  - 自由な実験設計・複数のモデルの同時使用を担保する  
可読性可変性の重視(統合されたソフトウェア書式)
  - 共通したデータ構造、可視化・解析ツール



- 力学過程
  - 準圧縮系 (Klemp and Wilhelmson, 1978)
- 物理過程
  - 乱流
    - 1.5 次のクロージャ (Klemp and Wilhelmson, 1978)
  - 湿潤過程 (複数凝結成分, 主成分凝結を考慮)
    - Kessler (1969) のパラメタリゼーション
    - 雲粒の拡散成長
  - 放射
    - 一様冷却/加熱
    - 地球用放射モデル
  - 地表面フラックス
    - バルク法
    - 拡散



- F77 版 deepconv
  - 2次元非弾性系モデル(中島, 1994)
  - 放射, 地表面過程を導入し火星へ応用(Odaka, 2001)
- F90 版 deepconv
  - 2003年: コード名 kaminari 開発開始
    - 乾燥大気用モデルの試作
  - 2004年: コード名 arare 開発開始
    - 準圧縮系モデル
    - Ver.2: 乾燥大気
    - Ver.3: 湿潤過程と主成分凝結過程の試験的導入
    - Ver.4: 複数の凝結成分, 3次元化, MPI対応, 主成分大気凝結
    - Ver.5: 3次元化, dcpamと書式を合わせる, 木星・地球版と火星版のコードを統合



- 地球・木星版
  - 特に無し
- 火星版
  - 主成分  $\text{CO}_2$  凝結を扱うための増強.
    - 雲粒の重力落下, 引きずりの効果



# deepconv/arare5 (開発版)

- arare4 からの変更点
  - dcpam と書式を合わせる
    - 設定ファイル
      - 設定ファイルで物理過程の差し替え可能に
    - Fortran90 プログラム
      - 関数の多用 => サブルーンでまとめる
  - I/O を gtool5\_historyauto 化
    - 出力変数・出力間隔等は設定ファイルで指定.
  - 3次元化
    - 設定ファイルで 2, 3次元を切り替え可能.
  - dcpam の放射過程の移植
  - 木星・地球版と火星版のコードを統合
- TODO
  - バグフィックス.
    - 圧力方程式で無視した項が悪さしているようだ.
    - 計算が落ち易い? 要整理.
  - 性能評価
  - MPI 並列化の改善
    - 現在のソースコードは x 方向しか領域分割出来ない

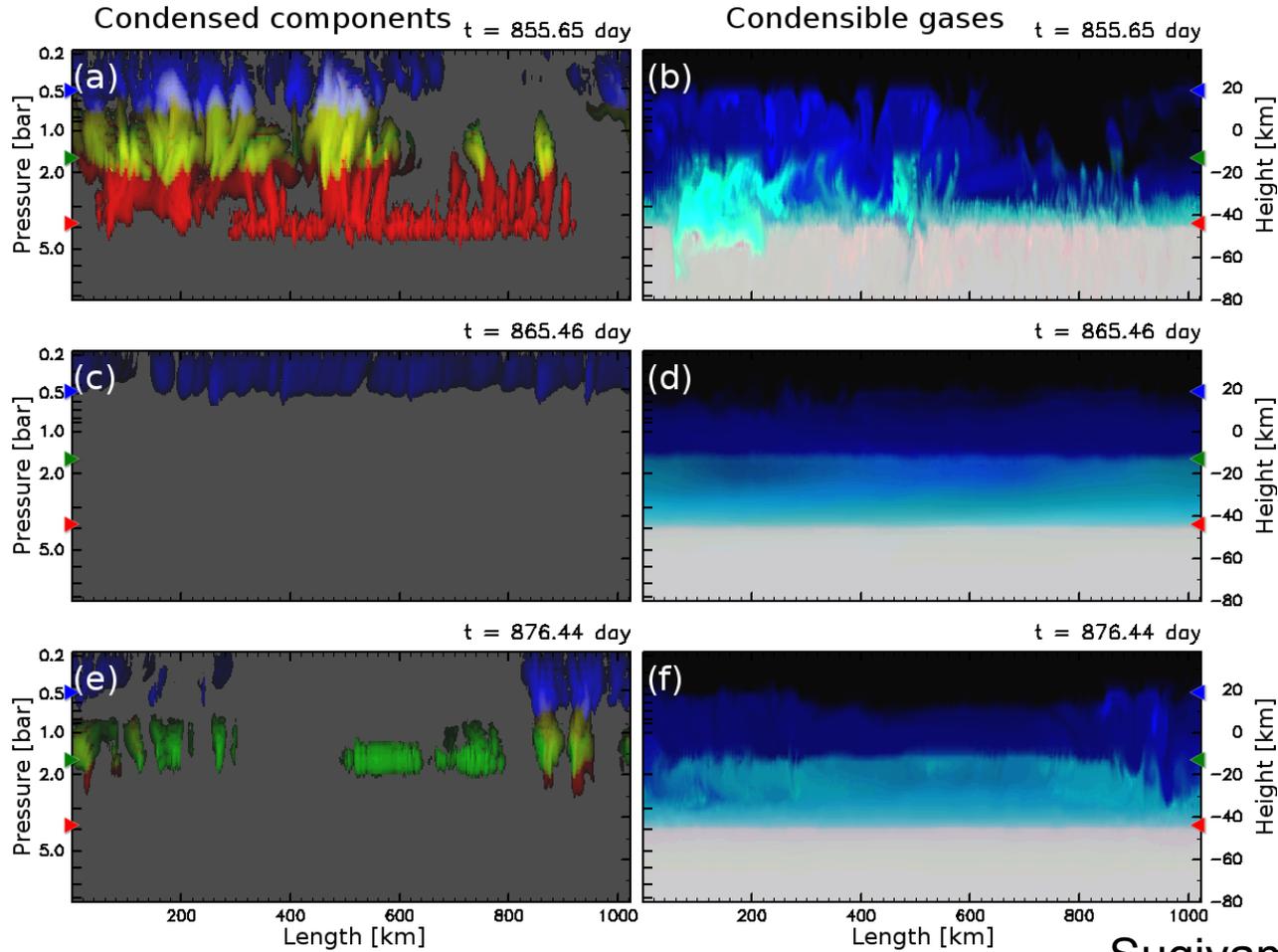


- 木星の雲対流計算
  - 3つの凝結気体
  - 3つの雲成分
- 火星の乾燥対流の3次元計算
  - 地表面から高さ数キロまでの乾燥対流
  - 渦の発生
- 火星大気の主成分凝結を伴う対流(2次元)
  - 大気量は現在の火星
  - 温度は火星の極域程度
- 地球の雲対流(2次元)
- タイタンの雲対流(2次元)

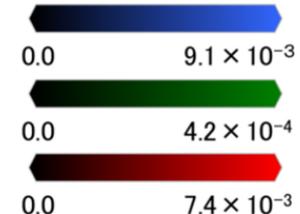
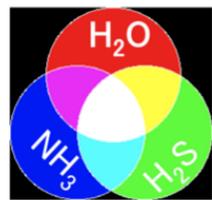
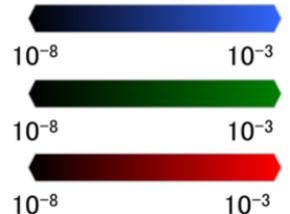
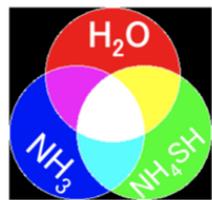




# 計算例: 木星の雲対流



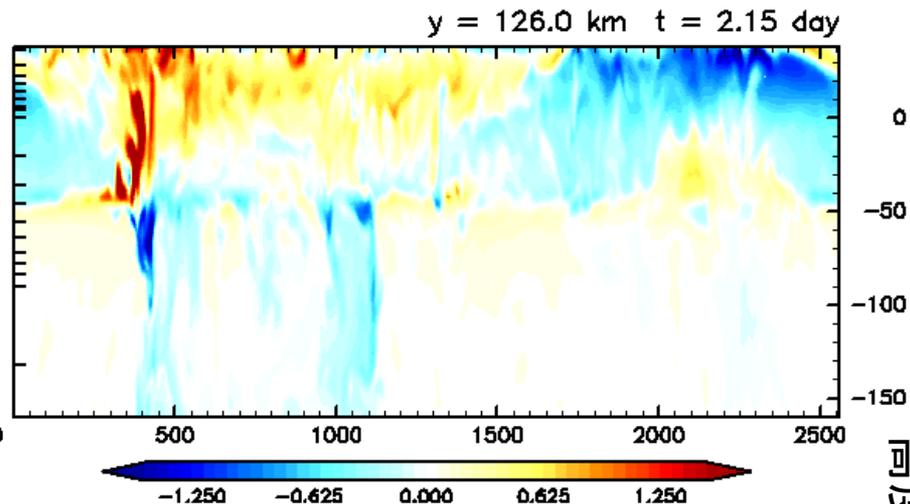
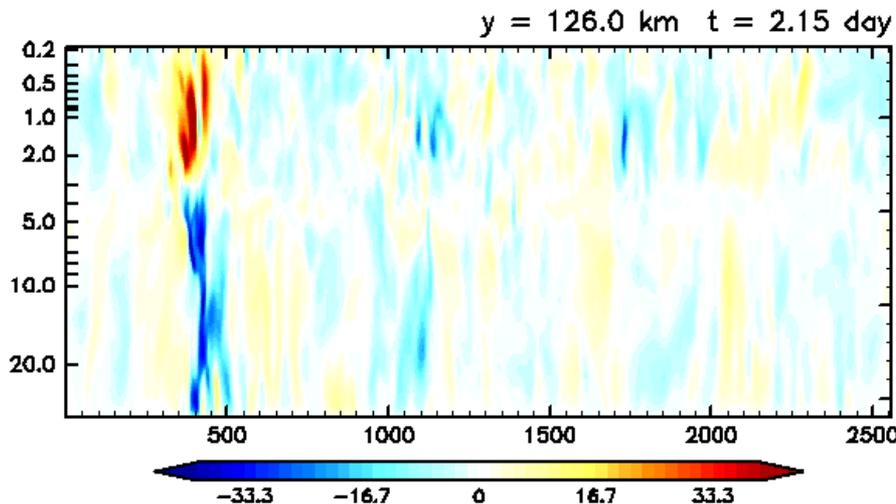
Sugiyama et al. (2011)



# 計算例: 3次元のテスト計算

鉛直速度

仮温位の水平平均からの偏差

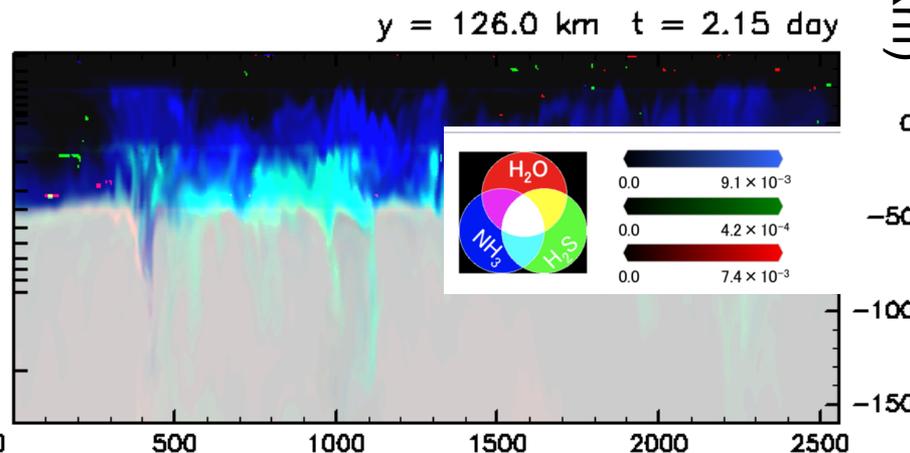
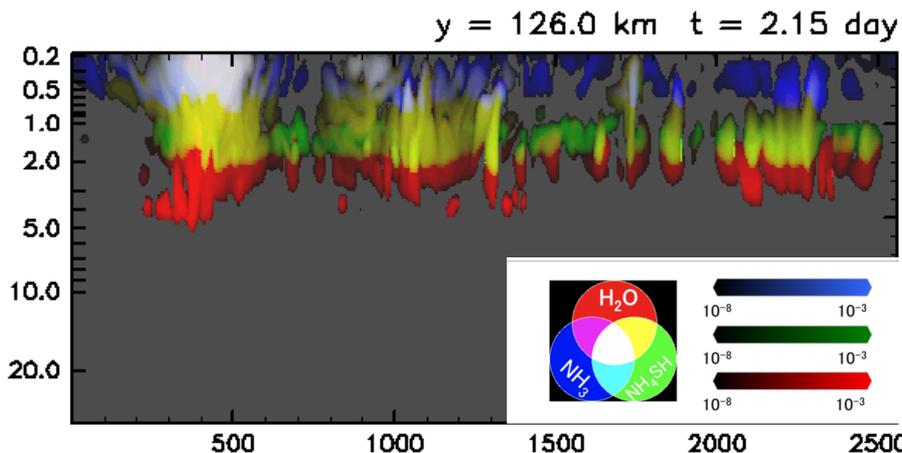


凝結物

凝結性成分気体

圧力 (bar)

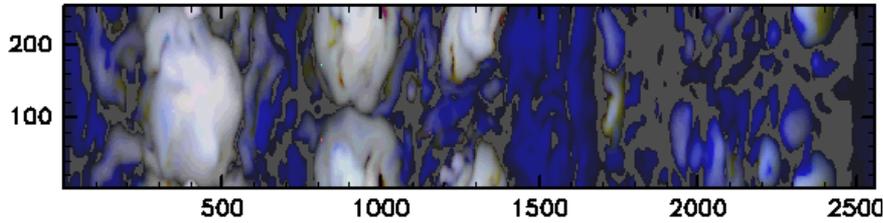
高度 (km)



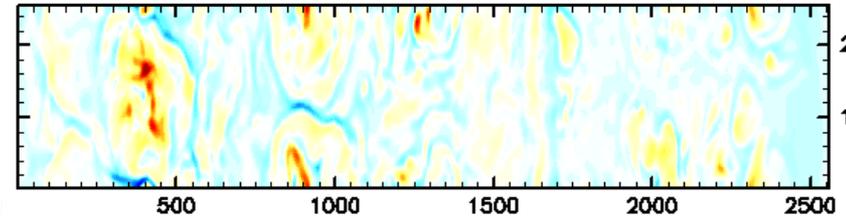
距離 X (km)

距離 Y (km)

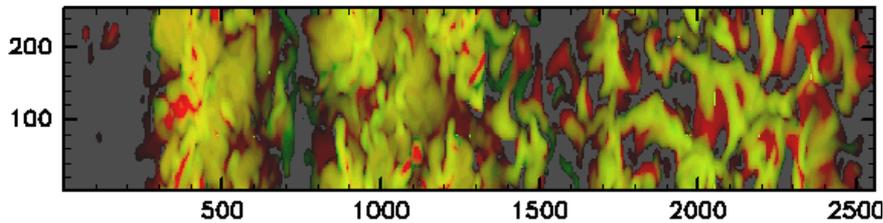
$z = 32.0$  km  $t = 2.15$  day



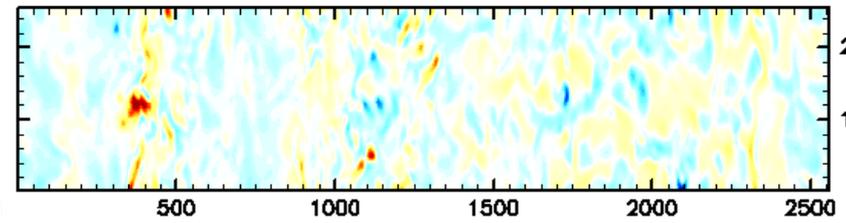
$z = 32.0$  km  $t = 2.2$  day



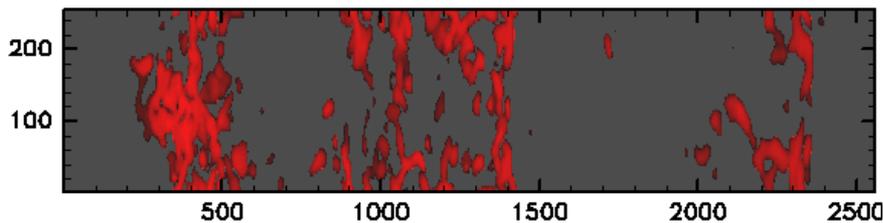
$z = -16.0$  km  $t = 2.15$  day



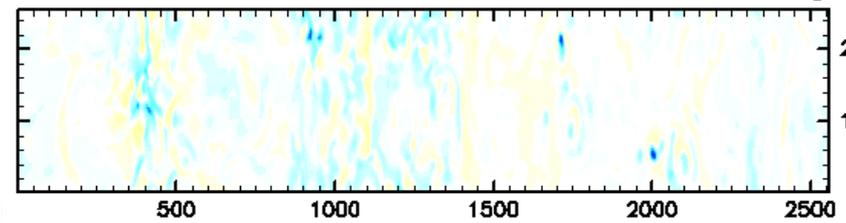
$z = -16.0$  km  $t = 2.2$  day



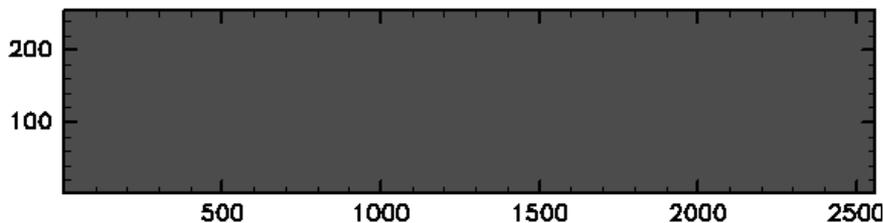
$z = -40.0$  km  $t = 2.15$  day



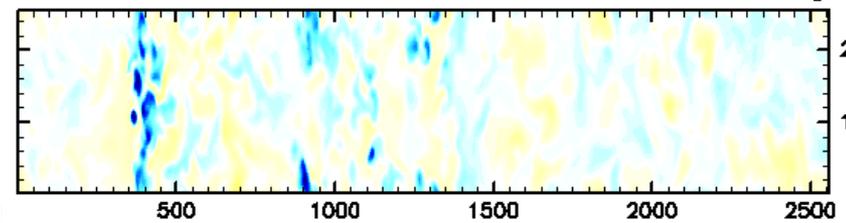
$z = -40.0$  km  $t = 2.2$  day



$z = -80.0$  km  $t = 2.15$  day



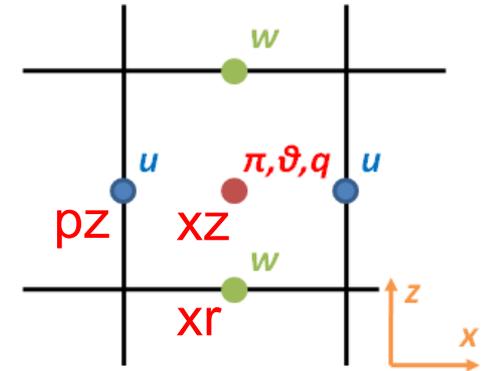
$z = -80.0$  km  $t = 2.2$  day



距離 X (km)



- 用いるテクニックとライブラリは  
SPMODEL を模倣
  - Fortran90 配列計算機能を活用
- 格子点位置を合わせて計算



pz\_VelX (水平速度)  
xr\_VelZ (鉛直速度)  
xz\_PotTemp (温位)

$$\frac{\partial^2 \zeta}{\partial x^2} \rightarrow \text{xz\_dx\_pz}(\text{pz\_dx\_xz}(\text{xz\_ZetaN}))$$

- 位置を変更するには平均操作する

$$\frac{\partial \zeta}{\partial x} \rightarrow \text{xz\_pz}(\text{pz\_dx\_xz}(\text{xz\_ZetaN}))$$

# deepconv/arare4 の書法

```

program diffuse_2d
  use gridset, only :: DimXMin...
  use differentiate_center4, only:xz_dx_pz...
  ...
do it=1, nt
  write(*,*) '*it = ', it
  xz_ZetaA = xz_ZetaN &
    & + dt * nu * ( &
    &   xz_dx_pz(pz_dx_xz(xz_ZetaN)) &
    & + xz_dz_xr(xr_dz_xz(xz_ZetaN)) &
    & )
  call BoundaryXcyc_xz( xz_ZetaA )
  call BoundaryZCyc_xz( xz_ZetaA )
  xz_ZetaN = xz_ZetaA
end do

```

- モジュール引用
- 格子点生成, 微分演算 (4次中央差分)モジュールを引用

- 拡散の計算
- 配列添え字を隠蔽
  - 形式的に一行で書ける

- 境界条件適用
- ループ処理



- 各物質の物性値をプログラム内に保持
  - 物質を ID 管理
  - 分子量, 比熱, 飽和蒸気圧, etc.
  
- 複数の凝結成分・化学反応を取り扱う
  - 使う物質は Namelist で指定
  - 凝結と反応が共存する系も扱えるように
    - $\text{NH}_3(\text{g}) \rightarrow \text{NH}_3(\text{s}), \quad \text{NH}_3(\text{g}) + \text{H}_2\text{S}(\text{g}) \rightarrow \text{NH}_4\text{SH}(\text{s})$



# deepconv 開発ロードマップ

Y2011	Y2012	Y2013	Y2014	Y2015	-
-------	-------	-------	-------	-------	---

力学



火星



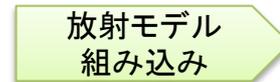
地球



木星型



系外



文書整備



# 実習編

---



- 動作環境
  - x86Linux + (Fujitsu fortran, g95, Intel fortran)
  - MacOS + g95
  - CRAY XT4 + PGI Fortran
  - HITACHI SR11000 + 最適化 Fortran
  - NEC SX6, SX8 + sxf90
  - Fujitsu FX1 + Fujitsu fortran
- ライブラリ
  - netCDF (I/O)
  - gtool5 (I/O)
  - Lapack, blas (線形計算)



- ソースの場所へ移動  
`$ cd ~/Desktop/Tutorial/deepconv/`
- ファイルの展開, ソースディレクトリへの移動  
`$ tar xzvf arare5_current.tgz`  
`$ cd arare5-20100303`
- コンパイル. シェルスクリプトを使って.  
`$ ../compile_with_pkgs.sh`
  - 各種ファイルが生成
    - bin :実行ファイルが格納
    - lib: ライブラリ libarare.a が格納される
    - include: 各種 \*.mod ファイルが格納される



- 初期値生成

```
$ ./bin/arare_init-data ¥
```

```
    -N=arare-jupitetr_initdata.conf
```

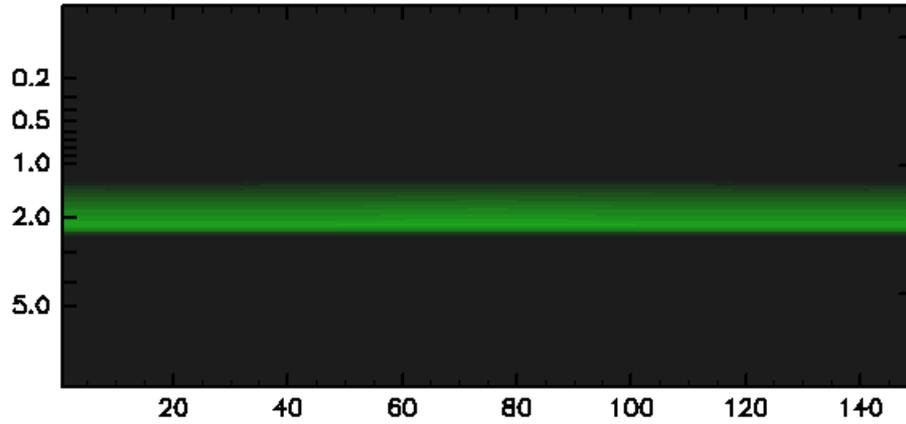
- 実行

```
$ ./bin/arare -N=arare-jupiter.conf
```

- 設定ファイルのサンプル (src/sample\_nml/)



t = 0.00 day



t = 0.00 day

