

雲解像モデル deepconv

杉山耕一郎, 小高 正嗣
deepconv 開発グループ
2017 年 3 月 10 日

地球流体データ解析・数値計算ワークショップ

deepconv

- 地球流体電脳倶楽部で開発している、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
 - 金星、火星、木星、…
- 直線直交座標系の格子点モデル
 - 準圧縮方程式系、等方格子、地形なし、水平周期境界
- 階層モデル群の1つとして整備
 - コード書法は dcmode1 コーディングルールに沿う
 - I/O は gtool5

定式化

- 状態方程式

$$\rho = \frac{p}{R_d T} \left(\frac{1/M_d}{1/M_d + \sum q_v/M_v} \right) (1 + \sum q_v + \sum q_c + \sum q_r) = \frac{p_0 \pi^{c_{vd}/R_d}}{R_d \theta_v} \left(\theta_v = \frac{\theta}{\left(\frac{1/M_d}{1/M_d + \sum q_v/M_v} \right) (1 + \sum q_v + \sum q_c + \sum q_r)} \right)$$

- 速度の式

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} &= - \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) - c_{pd} \bar{\theta}_v \frac{\partial \pi}{\partial x} + Turb.u \\ \frac{\partial w}{\partial t} &= - \left(u \frac{\partial w}{\partial x} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) - c_{pd} \bar{\theta}_v \frac{\partial \pi}{\partial z} + Turb.w + g \left(\frac{\theta}{\bar{\theta}} + \frac{\sum q_v/M_v}{1/M_d + \sum \bar{q}_v/M_v} - \frac{\sum q_v + \sum q_c + \sum q_r}{1 + \sum \bar{q}_v} \right) \end{aligned}$$

- 圧力の式

$$\frac{\partial \pi}{\partial t} = - \frac{\bar{C}_s^2}{c_{pd} \bar{\rho} \bar{\theta}_v^2} \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{\rho} \bar{\theta}_v u_j)$$

- 熱の式

$$\begin{aligned} \frac{\partial \theta}{\partial t} &= - \left(u \frac{\partial \theta}{\partial x} + w \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) - w \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial x} + \frac{L}{c_{pd} \bar{\pi}} (CN_{vc} - EV_{cv} - EV_{rv}) \\ &\quad + \frac{1}{\bar{\pi}} (Q_{rad} + Q_{dis}) + Turb.\bar{\theta} + Turb.\theta \end{aligned}$$

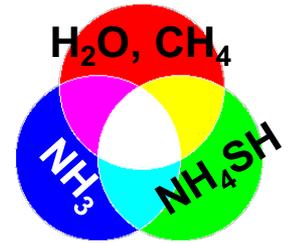
変数		上付き添え字
p : 圧力	R : 気体定数	$\bar{\cdot}$: 平均成分
π : 無次元圧力	M : 分子量	
T : 温度	c_p : 比熱	
θ : 温位	C_s : 音速	下付き添え字
θ_v : 仮温位	V_i : 雨の落下速度	d : 乾燥成分
u : 水平風速	L : 潜熱	v : 凝縮成分気体
w : 鉛直風速	$Turb$: 乱流拡散項	c : 雲
q : 混合比	Q_{rad} : 放射加熱項	r : 雨
ρ : 密度	Q_{dis} : 散逸加熱項	

- 凝縮成分の保存式 (蒸気, 雲, 雨 × 成分)

$$\begin{aligned} \frac{\partial q_v}{\partial t} &= - \left(u \frac{\partial q_v}{\partial x} + w \frac{\partial q_v}{\partial z} \right) - w \frac{\partial \bar{q}_v}{\partial x} - (CN_{vc} - EV_{cv} - EV_{rv}) + Turb.q_v + Turb.\bar{q}_v, \\ \frac{\partial q_c}{\partial t} &= - \left(u \frac{\partial q_c}{\partial x} + w \frac{\partial q_c}{\partial z} \right) + (CN_{vc} - EV_{cv} - CN_{cr} - CL_{cr}) + Turb.q_c, \\ \frac{\partial q_r}{\partial t} &= - \left(u \frac{\partial q_c}{\partial x} + w \frac{\partial q_c}{\partial z} \right) + (CN_{cr} + CL_{cr} - EV_{rv}) + \frac{\partial}{\partial z} (\bar{\rho} V_t q_r) + Turb.q_r \end{aligned}$$

計算例：土星・天王星（2D）

- 3種類の雲の生成を考慮した、熱強制固定計算
 - 1024 km x 500 / 650 km
 - dx = dz = 2km

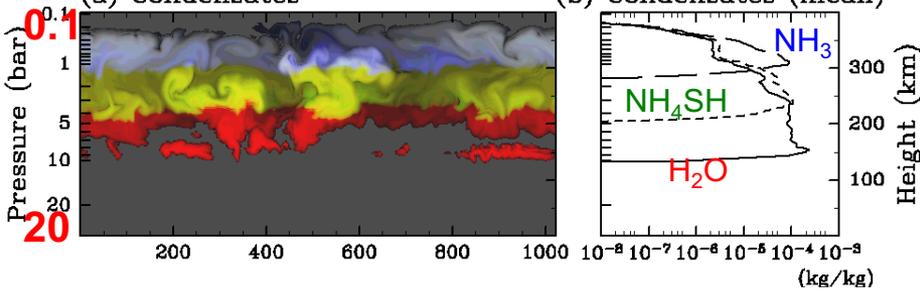


Saturn

t = 531.25 day

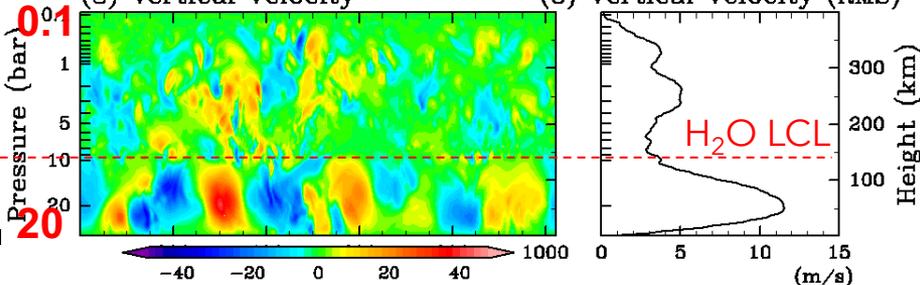
(a) Condensates

(b) Condensates (mean)



(3) Vertical Velocity

(8) Vertical Velocity (RMS)

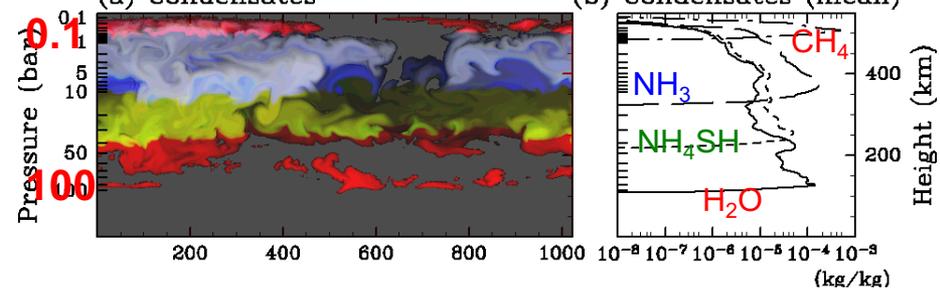


Uranus

t = 415.05 day

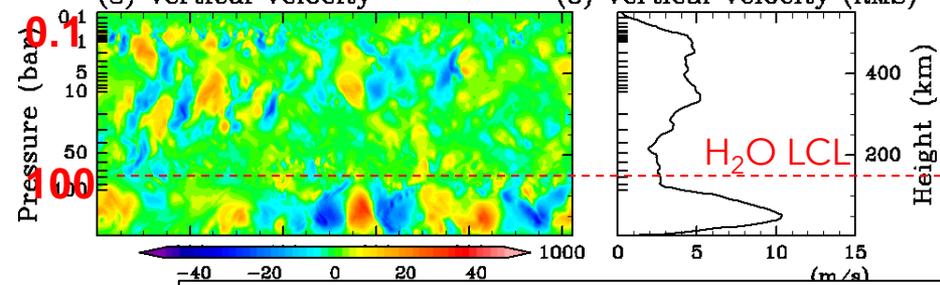
(a) Condensates

(b) Condensates (mean)

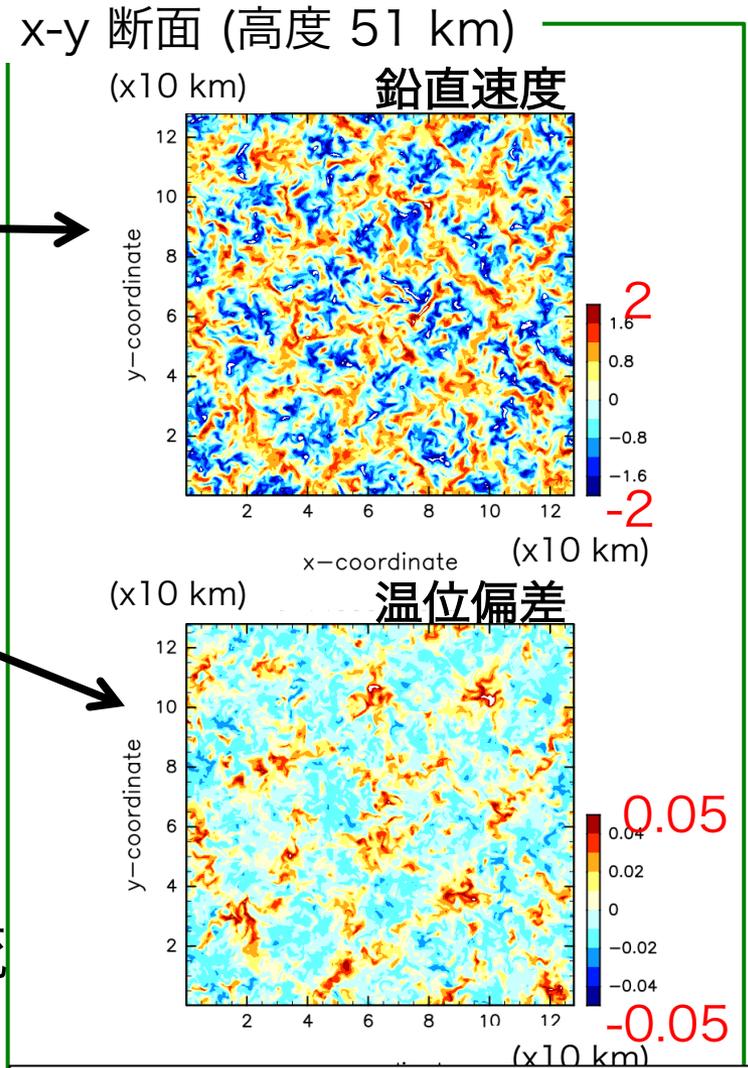
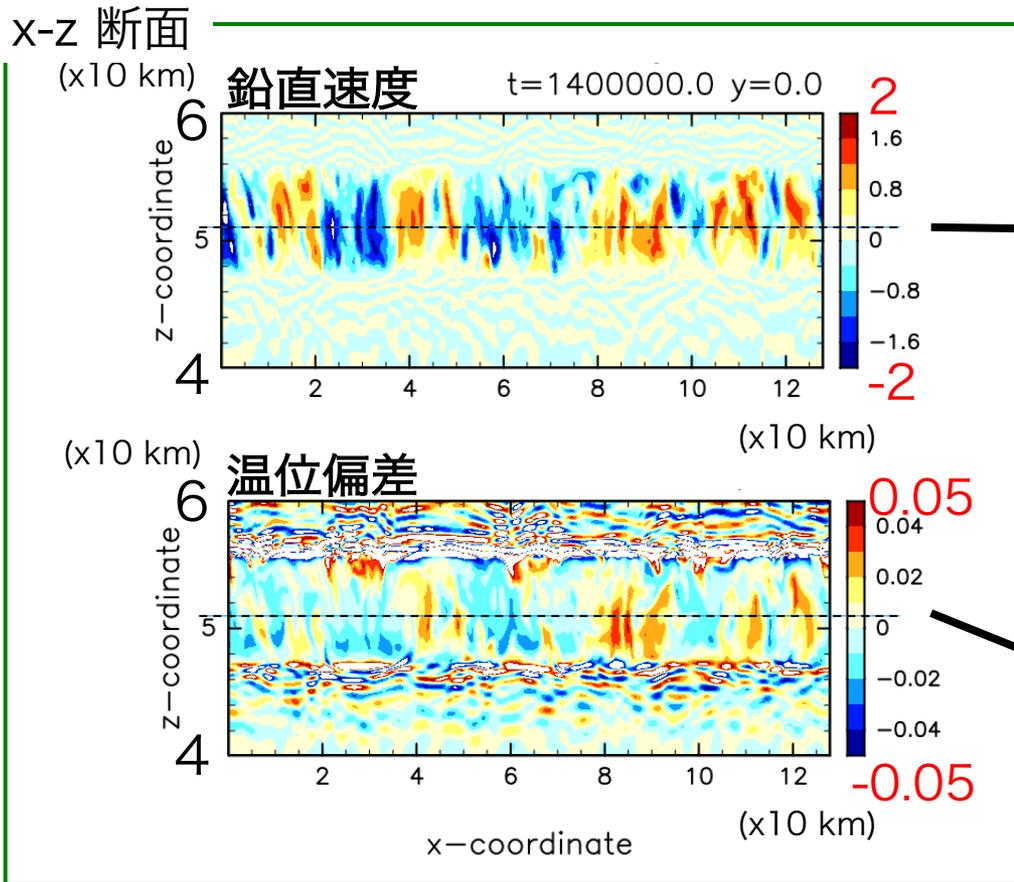


(3) Vertical Velocity

(8) Vertical Velocity (RMS)



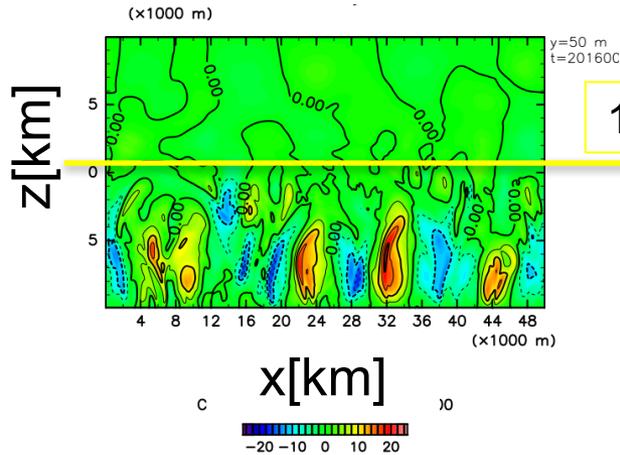
計算例：金星（3D）



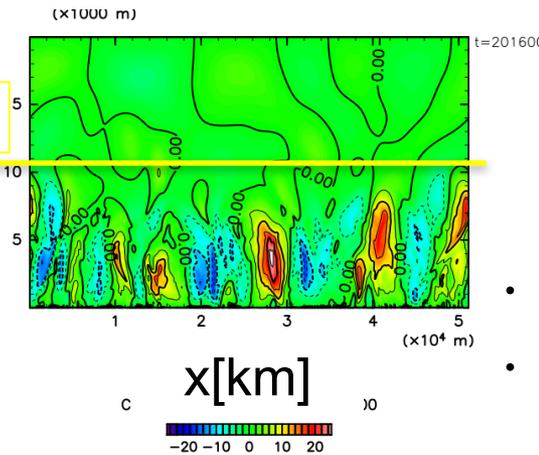
- 雲層（高度45~55km）の対流
 - 128 km x 128 km x 30 km、
 - dx=dy=200 m、 dz=125 m

火星計算 (2D・3D)

deepconv



Odaka et al., 2001

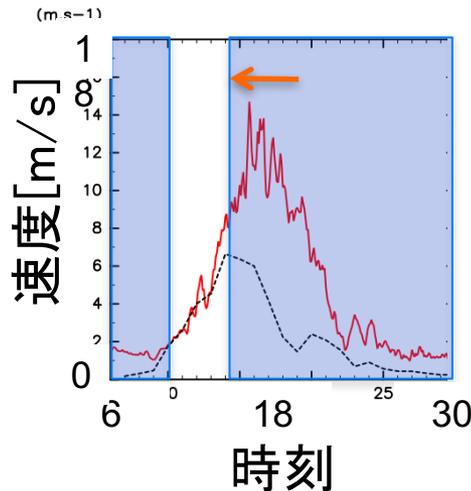


- Odaka et al. (2001) の加熱分布と地面温度の日変化を与えた計算
 - SCALE 火星計算と同じ設定
- 50 km x 20 km
- $dx = dz = 100m$

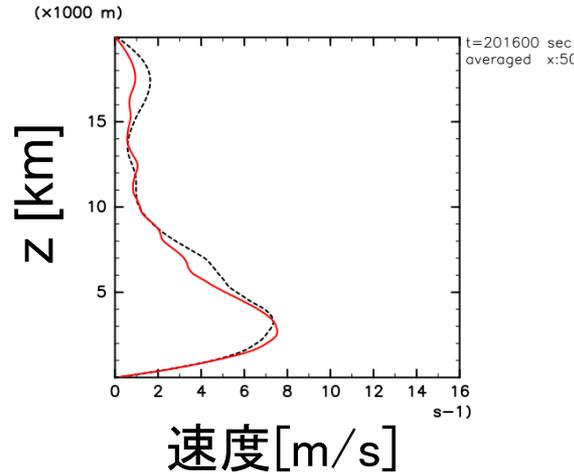
赤線 : deepconv

黒線 : Odaka et al.(2001)

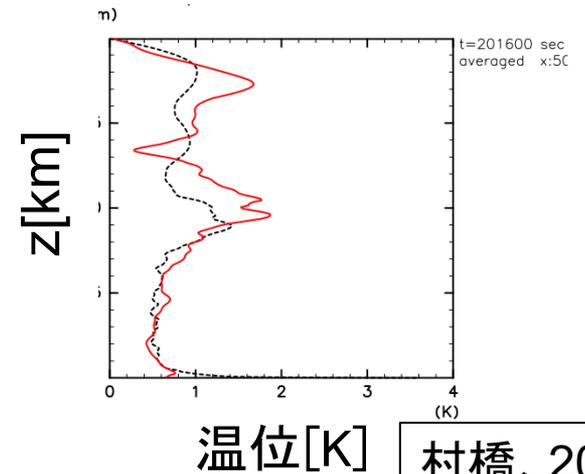
$(\overline{u^2})^{1/2}$ (z=50m)



$(\overline{w^2})^{1/2}$ (LT=14)



$(\overline{\Theta^2})^{1/2}$ (LT=14)



deepconv/arare5 的書法

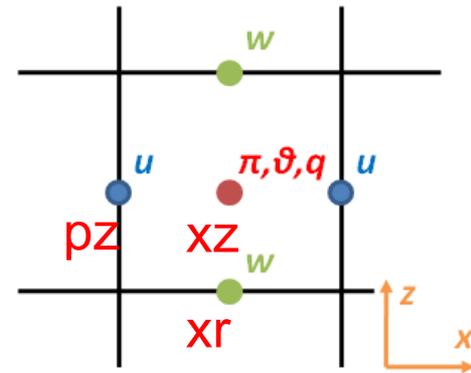
- SPMODEL を模倣 (SPMODEL チュートリアル参照)

- 格子点位置を合わせて計算

$$\frac{\partial^2 \zeta}{\partial x^2} \rightarrow \text{xz_dx_pz}(\text{pz_dx_xz}(\text{xz_ZetaN}))$$

- 位置を変更するには平均操作する

$$\frac{\partial \zeta}{\partial x} \rightarrow \text{xz_pz}(\text{pz_dx_xz}(\text{xz_ZetaN}))$$



pz_VelX (水平速度)
xr_VelZ (鉛直速度)
xz_PotTemp (温位)

実習



ごくらく deepconv (1)

その1) テストプログラムを実行してみる

- ・ ブラウザを起動して, localhost:8088 にアクセス
- ・ チュートリアル資料をクリックし, arare-20160127-3.tgz をダウンロード
- ・ ターミナルを開き, ファイルを解凍

```
$ tar zxvf arare5.tgz
```

```
$ cd arare5-20160127-3
```

- ・ コンパイル

```
$ export FC=gt5frt
```

```
$ ./configure
```

```
$ make
```

ごくらく deepconv (2)

- テストプログラムを格納したディレクトリに移動

```
$ cd exp_setup_files
```

- テスト毎にディレクトリが用意されている

```
$ ls
```

01_sound-wave	(音波)
02_advection	(移流その1)
02_advection-Qmix	(移流その2)
03_gravity-wave	(内部重力波)
04_density-current	(重力流)
05_warm-bubble	(サーマルその1)
06_warm-bubble-kw1978	(サーマルその2)

ごくらく deepconv (3)

- ここでは「サーマル実験 I」実験を行う

```
$ cd 05_warm-bubble
```

- スクリプトを実行

```
$ ./testrun.rb
```

```
...
```

(しばらくお待ちください)

- 計算が終了すると、いくつかの netCDF ファイルと画像ファイルが作成される

```
$ ls
```

```
$ qiv (画像ファイル名)
```

ごくらく deepconv (4)

- ・ スクリプトで実行していた計算を手で実行

```
$ cd ../
```

```
$ mkdir test
```

```
$ cd test
```

- ・ 実行ファイル、NAMELIST ファイルをコピー

```
$ cp ../../bin/arare* ./
```

```
$ cp ../05_warm-bubble/*.conf ./
```

- ・ 例として, 設定ファイルの AlphaNDiff の値を $1.0e-2$ にしてみよう.

- ・ 初期値を作成

```
$ ./arare_init-data -N=warm-bubble_160x1x80_Center4_Center2_0.0.conf
```

- ・ 計算を実行

```
$ ./arare -N=warm-bubble_160x1x80_Center4_Center2_0.0.conf
```

- ・ 計算が終了すると、いくつかの netCDF ファイルが作成される

```
$ ls
```

(お手元で確認してください)

ごくらく deepconv (5)

- ・ 初期値を作成

```
$ ./arare_init-data -N=warm-bubble_  
160x1x80_Center4_Center2_0.0.conf
```

- ・ 計算を実行

```
$ ./arare -N=warm-bubble_160x1x80  
_Center4_Center2_0.0.conf
```

- ・ 計算が終了すると、いくつかの netCDF ファイルが作成される

```
$ ls
```

(お手元で確認してください)

ごくらく deepconv (6)

- 描画 (温位偏差)

```
$ gpview warm-bubble_160x1x80  
_Center4_Center2_0.0_PTemp.nc@PTemp,  
y=0,t=1020
```

- 描画 (鉛直流)

```
$ gpview warm-bubble_160x1x80  
_Center4_Center2_0.0_VelZ.nc@VelZ,  
y=0,t=1020
```

補足

- ごくらく deepconv は、「気象庁 数値予報課報告・別冊 第60号 次世代非静力学モデルasuca」を意識
 - 2.6.6 節
 - <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/nwpreport/nwpreport.html>

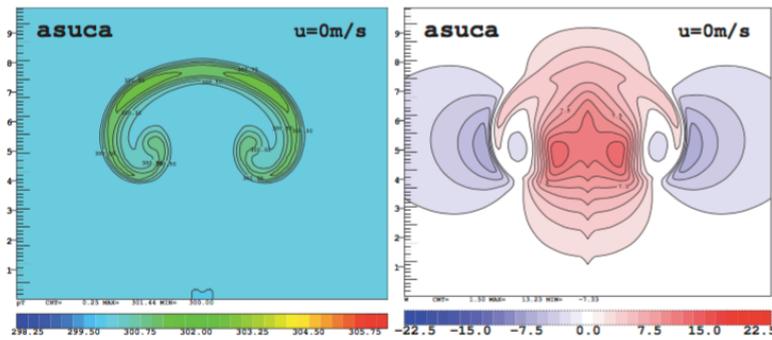


図 2.6.17 asuca の実験結果 (水平風速 0 m/s)。横軸 (x) : 4-16 km (計算領域 20 km のうち)、縦軸 (z):0-10 km。(左) (K)、(右) 鉛直速度 (m/s)

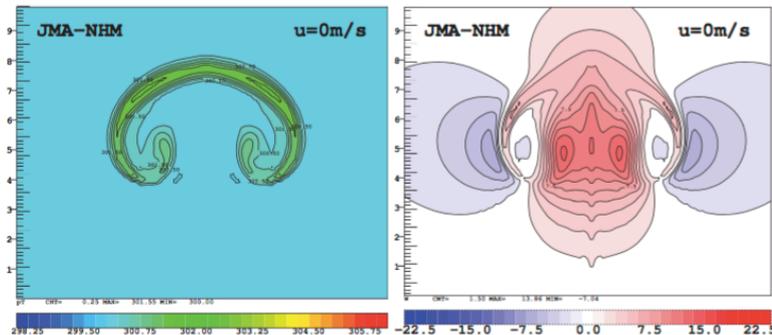
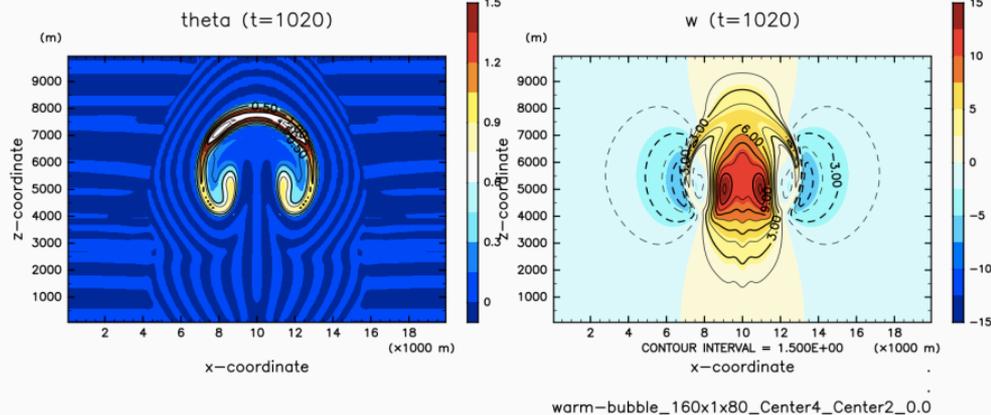
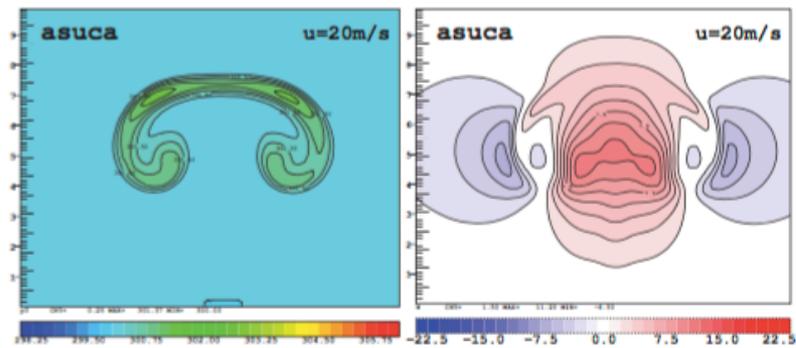


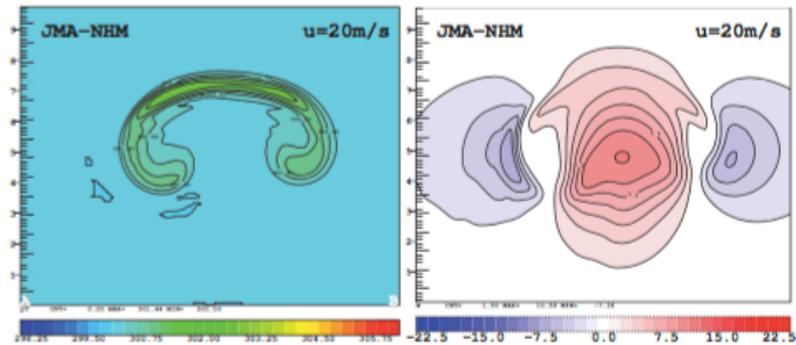
図 2.6.18 JMA-NHM の実験結果 (水平風速 0 m/s)。横軸 (x) : 4 km-16 km (計算領域 20 km のうち)、縦軸 (z):0-10 km。(左) 温度 (K)、(右) 鉛直速度 (m/s)



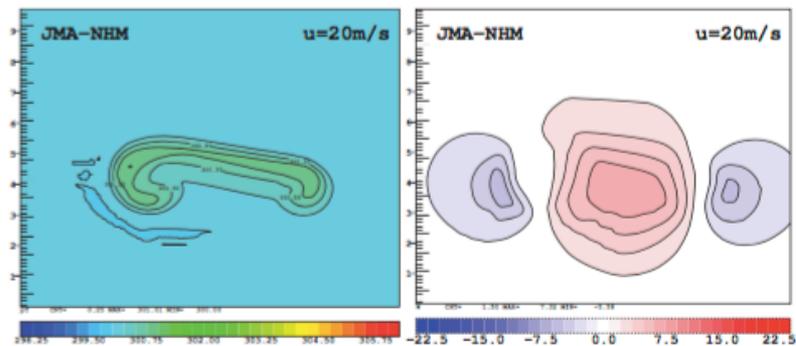
warm-bubble_160x1x80_Center4_Center2_0_0



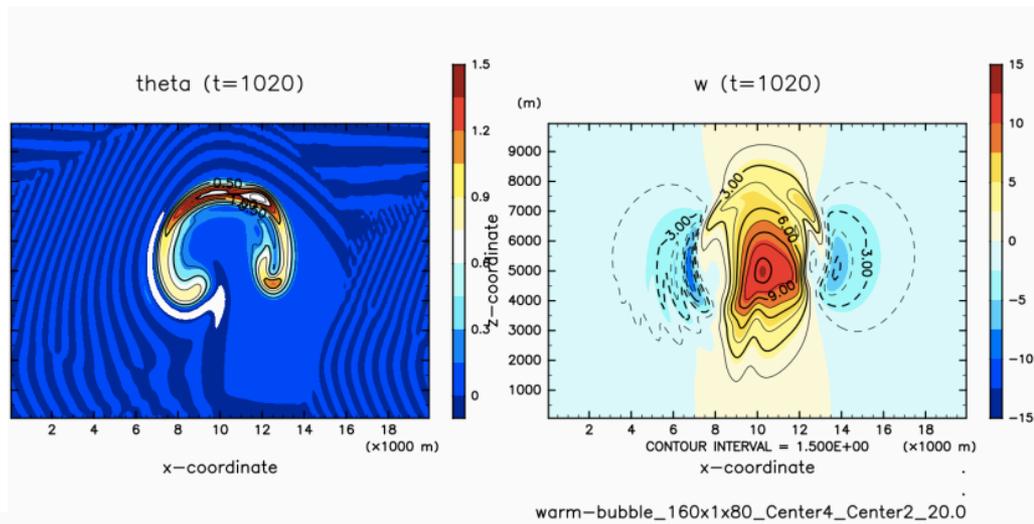
1.19 asucaの実験結果 (水平風速 20 m/s)。横軸 (x): 4-16 km (計算領域 20 kmのうち)、縦軸 (z): 0-10 km。(左) 温位、(右) 鉛直速度 (m/s)



1.20 JMA-NHMの実験結果 (水平風速 20 m/s)。横軸 (x): 4-16 km (計算領域 20 kmのうち)、縦軸 (z): 0-10 km。(左) 温位 (K)、(右) 鉛直速度 (m/s)。積分時間間隔 $\Delta t = 1$ 秒。



1.21 JMA-NHMの実験結果 (水平風速 20 m/s)。横軸 (x): 4-16 km (計算領域 20 kmのうち)、縦軸 (z): 0-10 km。(左) 温位 (K)、(右) 鉛直速度 (m/s)。積分時間間隔 $\Delta t = 2$ 秒とした場合。



warm-bubble_160x1x80_Center4_Center2_20.0

おわりに

- 自分で NAMELIST ファイルを編集することで、さまざまな実験ができます
- くわしくは以下のページを参照
 - <http://www.gfd-dennou.org/library/deepconv/>