

惑星大気大循環モデル DCPAM 概要

石渡正樹¹, 高橋芳幸²,
地球流体電脳倶楽部 dcmode1 プロジェクト

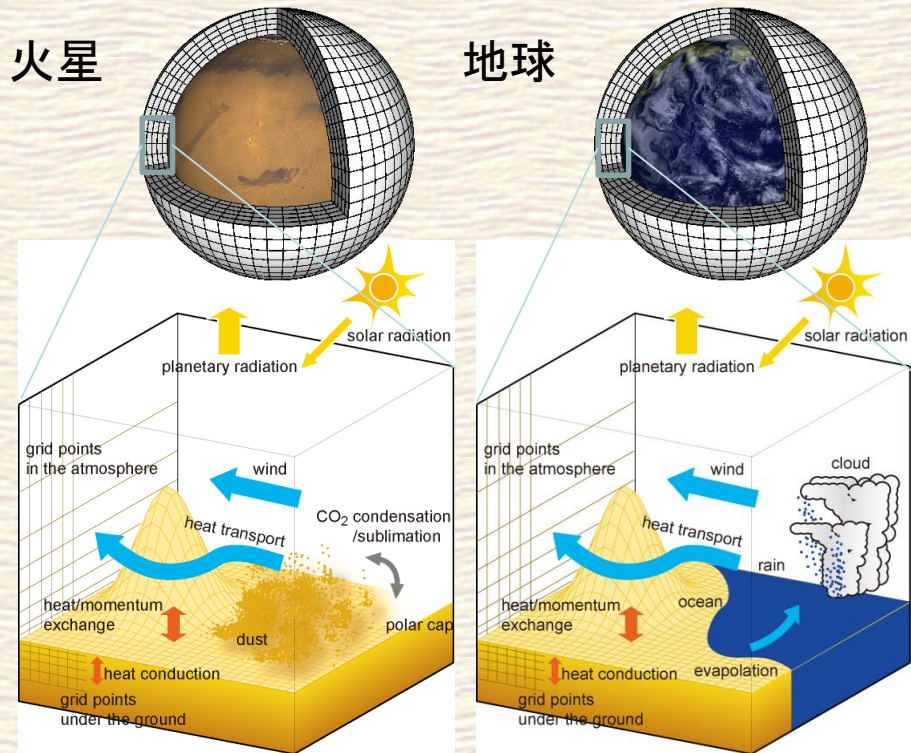
1. 北海道大学大学院理学研究院
2. 神戸大学大学院理学研究科



DCPAM の設計方針と現状

- DCPAM は dcmode1 の一部として, 次のようなモデルを目指して開発中.
 - 様々な惑星の大気を一つのモデルで計算
 - ◆ 完成しているわけではないが.
 - 他のモデルと共通のライブラリを使用
 - ◆ 入出力は gtool を使用, スペクトル変換には spmodel library (spml) を使用 (内部で ispack を使用),
 - ◆ dcmode1 の他のモデルを使った経験のある人には, 実行の際・ソースコードを読む際の敷居が下がることを期待.
 - 計算内容に関する文書を付属(したいと思っている)
 - ◆ 何を計算しているのかがわかるように / 学べるように.

モデル概要



■ 移流過程

- プリミティブ方程式系
 - ◆ 鉛直静水圧近似

■ 放射過程

- 地球放射モデル
- 火星放射モデル
- 灰色放射モデル
- 簡単放射強制

■ 乱流混合過程

- Mellor and Yamada (1982) level 2 or 2.5
- 乾燥対流調節 (Manabe, 1965)
- バルク法に依る地表面フラックス評価 (Louis et al., 1982; Beljaars and Holstlag, 1991)

■ 凝結過程

- Relaxed Arakawa-Schubert (Moorthi and Suarez, 1992)
- 大規模凝結
- 湿潤対流調節 (Manabe, 1965)

■ 雲モデル

■ 地表面過程

- 土壤熱伝導モデル
- バケツモデル (Manabe, 1969)

モデル概要: プリミティブ方程式系

方程式系は、静水圧平衡を仮定し、鉛直方向に $\sigma = p/p_s$ 座標を用いたプリミティブ方程式系.

$$\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} = -(\vec{u} \cdot \nabla) \vec{u} - \dot{\sigma} \frac{\partial \vec{u}}{\partial \sigma} - f \vec{k} \times \vec{u} - \nabla \Phi + \frac{RT}{p_s} \nabla p_s + \vec{F}$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \sigma} = -\frac{RT}{\sigma}$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -(\vec{u} \cdot \nabla) T - \dot{\sigma} \frac{\partial T}{\partial \sigma} + \frac{\kappa T}{p} \frac{dp}{dt} + Q$$

$$\frac{\partial p_s}{\partial t} = -\nabla \cdot (p_s \vec{u}) - \frac{\partial}{\partial \sigma} (p_s \dot{\sigma})$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} = -(\vec{u} \cdot \nabla) q - \dot{\sigma} \frac{\partial q}{\partial \sigma} + S_q$$

境界条件:

$$\dot{\sigma} = \frac{d\sigma}{dt} = 0 \quad \text{at } \sigma = 0, 1$$

\vec{u} は水平風速, p は気圧, p_s は惑星表面気圧, T は温度, q は物質の混合比, Φ はジオポテンシャル, $\kappa = R/C_p$, R は気体定数, C_p は定圧比熱, \vec{F} , Q , S_q はそれぞれ摩擦, 非断熱加熱, 物質の生成・消滅である.

モデル概要: 放射過程

$$Q_{rad} = \frac{g}{c_p} \frac{\partial F_{rad}}{\partial \sigma}, \quad F_{rad} = \int_{\lambda_s}^{\lambda_e} F_{rad,\lambda} d\lambda$$

散乱のない大気に対する放射伝達方程式:

$$F_{rad,\lambda}(\tau) = \pi B_\lambda(\tau_s) \mathfrak{S}(\tau_s, \tau) - \int_0^{\tau_s} \pi B_\lambda(\tau) \frac{\partial \mathfrak{S}(\tau', \tau)}{\partial \tau'} d\tau'$$

射出のない散乱吸収大気に対する放射伝達方程式

$$\frac{\partial F_{rad,\lambda}^+}{\partial \tau} = \gamma_1 F_{rad,\lambda}^+ + \gamma_2 F_{rad,\lambda}^- - S^+(\tau)$$

$$\frac{\partial F_{rad,\lambda}^-}{\partial \tau} = \gamma_2 F_{rad,\lambda}^+ + \gamma_1 F_{rad,\lambda}^- + S^-(\tau)$$

$$S^+(\tau) = \gamma_3 \pi F_s \omega_0 \exp\left(-\frac{\tau}{\mu_0}\right), \quad S^-(\tau) = \gamma_4 \pi F_s \omega_0 \exp\left(-\frac{\tau}{\mu_0}\right)$$

τ は光学的厚さ,
 $\mathfrak{S}(\tau', \tau)$ は τ', τ 間の透過率, F^+, F^- はそれぞれ上向き, 下向きフラックス, $\gamma_{1,2,3,4}$ は係数 (詳細は, 例えば, Toon et al. (1989) を参照のこと), μ_0, F_s は太陽天頂角の余弦, 太陽放射フラックスであり, ω_0 は一次散乱アルベドである.

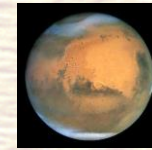
DCPAM による計算例 その 1: 金星, 地球, 火星計算



金星
(簡単強制計算)

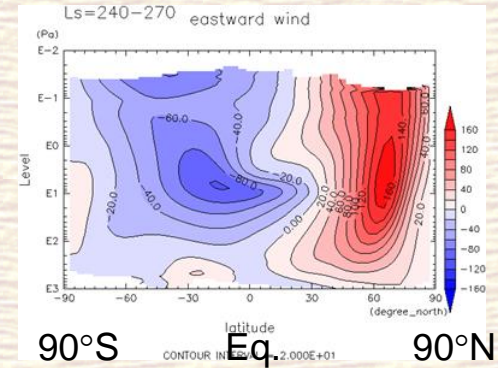
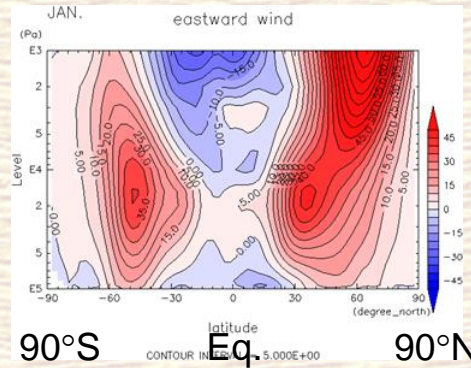
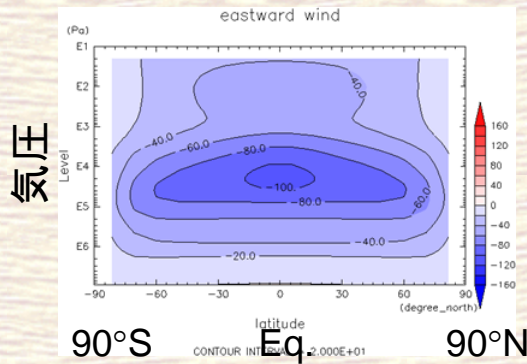


地球

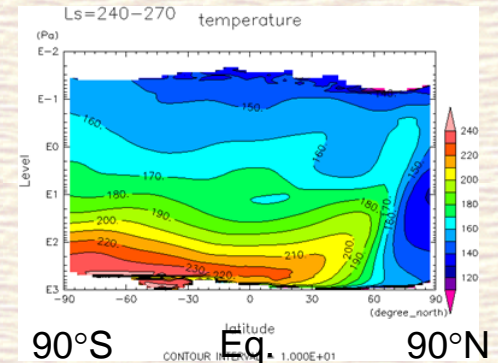
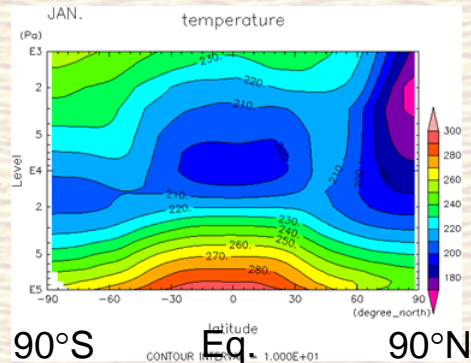
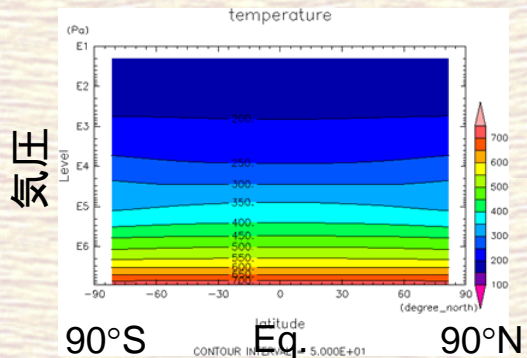


火星

東西風



温度



緯度

緯度

緯度

注意: 色の付け方と縦軸は図によって異なる.

DCPAM による計算例 その 2: 仮想惑星計算, 理想条件計算

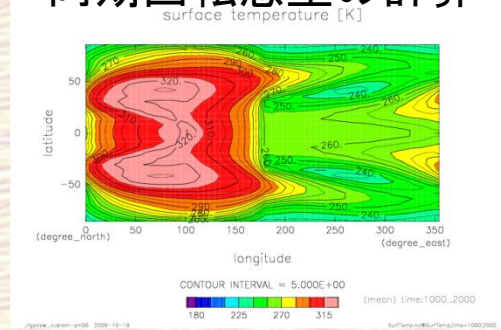
■ 仮想惑星の計算

- 水惑星計算
- 同期回転惑星の計算

■ 理想的条件における数値計算

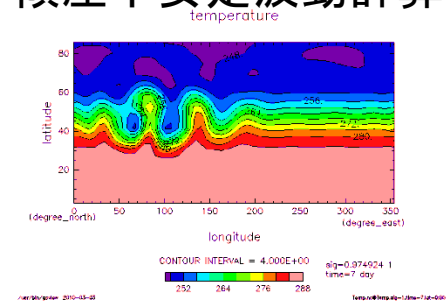
- 強制なし計算
 - ◆ 傾圧不安定波動計算 (Polvani et al., 2004)
このあと実習で!
- 力学コア実験 (Held and Suarez, 1994)

同期回転惑星の計算



Time mean Surface temperature, T21L16

傾圧不安定波動計算



Temperature at lowest level at 7th day, T21L20

より詳しく知るためには

続くチュートリアルで体験してください。

または、ウェブページを参照してください。

<http://www.gfd-dennou.org/library/dcpam/>

ソースコードもこちらからダウンロードできます。

DCPAM 実習

石渡 正樹¹, 高橋 芳幸²,
地球流体電脳倶楽部 dcmode1 プロジェクト

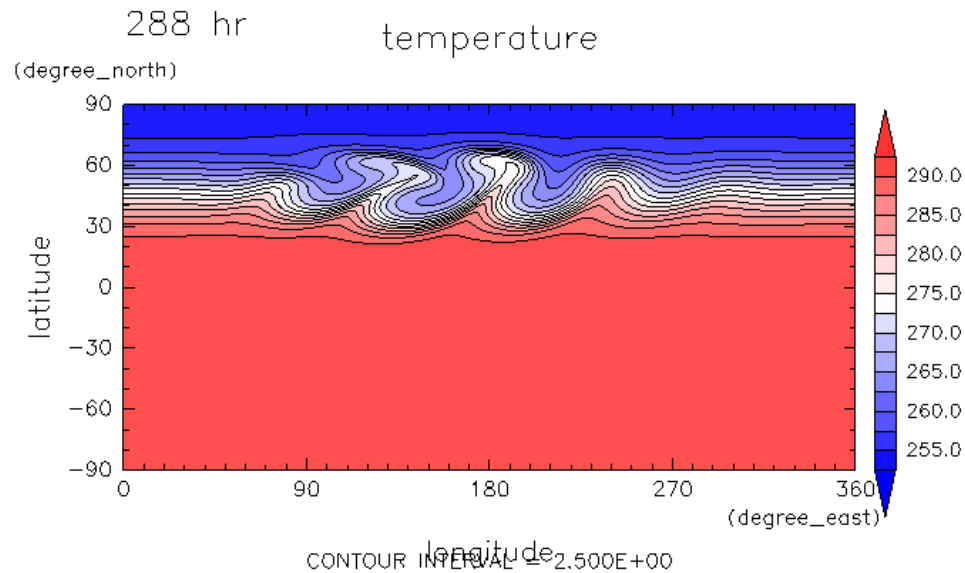
1. 北海道大学大学院理学研究院
2. 神戸大学大学院理学研究科



DCPAM チュートリアル

- Polvani et al. (2004) による傾圧不安定波動実験をしてみます。

サンプル画像

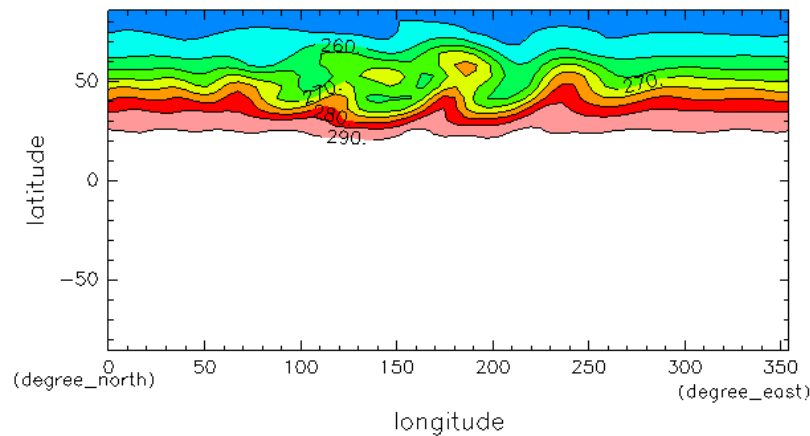


DCPAM チュートリアル

- Polvani et al. (2004) による傾圧不安定波動実験をしてみます。

チュートリアルで見られる画像

temperature



CONTOUR INTERVAL = 5.000E+00
240 250 260 270 280 290

time=12 day
sig=0.974924 1

/usr/bin/gpview 2014-03-08

Temp.nc@Temp,time=12

コンパイル (1) ~ソース解凍~

- 「ターミナルエミュレーター」を起動してください。
 - 下のパネルの左から二番目
- DCPAM のソースをコピーしてください。

```
$ cp /var/www/html/Tutorial/dcpam/dcpam5-20180304-2.tgz .
```

- 解凍してそのディレクトリに移動してください。

```
$ tar xvf dcpam5-20180304-2.tgz  
$ cd dcpam5-20180304-2
```

コンパイル (2) ~コンパイル& make~

- 通常は、自分の環境に合わせて **configure**, **make** をしなければなりません.
 - 詳しくは DCPAM インストール概要を参照
 - ◆ https://www.gfd-dennou.org/library/dcpam/dcpam5/dcpam5_latest/INSTALL.htm
- でも、今回は簡易コンパイルスクリプトを用います.
 - netcdf, gtool, ispack, spmodel をパッケージからインストールしていた場合に自動で環境設定し, make する
- 以下のメッセージが出ると終了です.

```
You have successfully built dcpam5.
```

実験 (1) ~実験用ディレクトリ準備~

- 実験をするためのディレクトリを準備してください

```
$ mkdir -p ../dcpam5-exp/p04-exp  
$ cd ../dcpam5-exp/p04-exp  
$ mkdir ./bin ./conf
```

- 実験用ディレクトリに実行ファイルと設定ファイルをコピーしてください

```
$ cp ../../dcpam5-20180304-2/src/main/dcpam_main ./bin/  
$ cp ../../dcpam5-20180304-2/src/main/dcpam_init_data ./bin/  
$ cp ../../dcpam5-20180304-2/exp_setup_files/*p04* ./conf/
```


実験 (2) ~実行~

■ 初期値データを生成します.

```
$ ./bin/dcpam_init_data -N=./conf/init_data_p04_T21L20.conf
```

- `init_T21L20.nc` ができたことを確認してください.

■ 本計算をします.

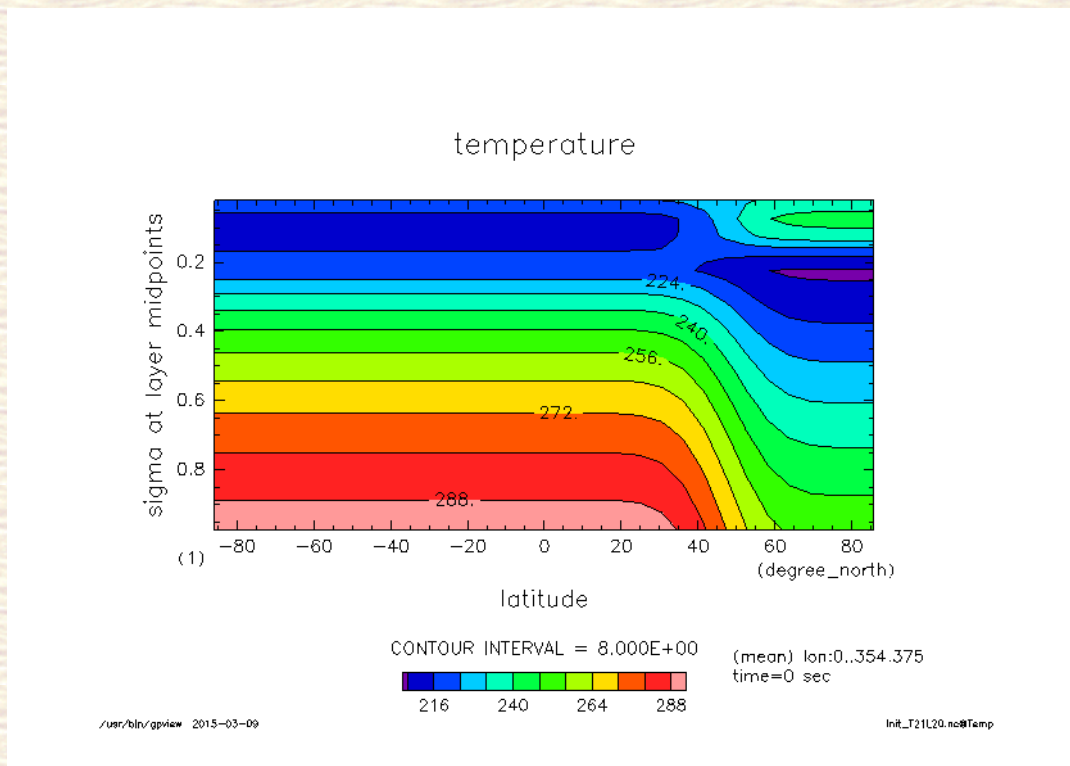
```
$ ./bin/dcpam_main -N=./conf/dcpam_p04_T21L20.conf
```

しばらくお待ちください.

初期値を見てみよう (1)

■ 温度の子午面分布

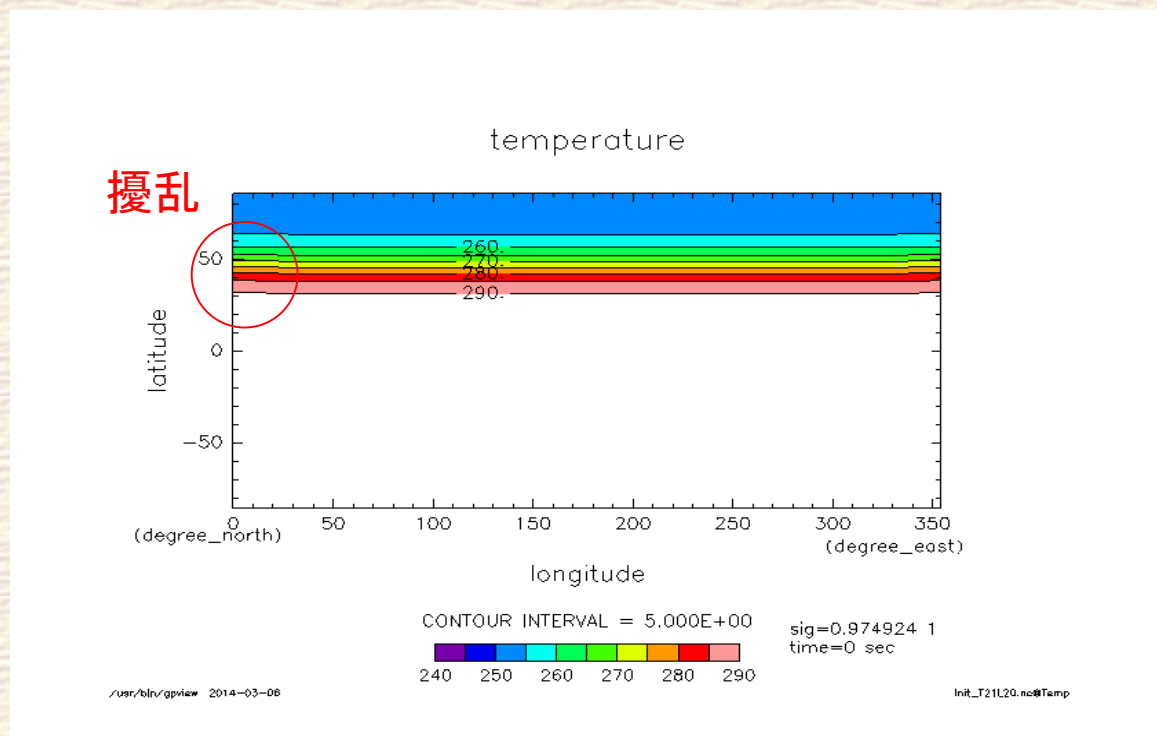
```
$ gpview init_T21L20.nc@Temp --mean lon
```



初期値を見てみよう (2)

■ 最下層の温度

```
$ gpview init_T21L20.nc@Temp --range 240:290
```



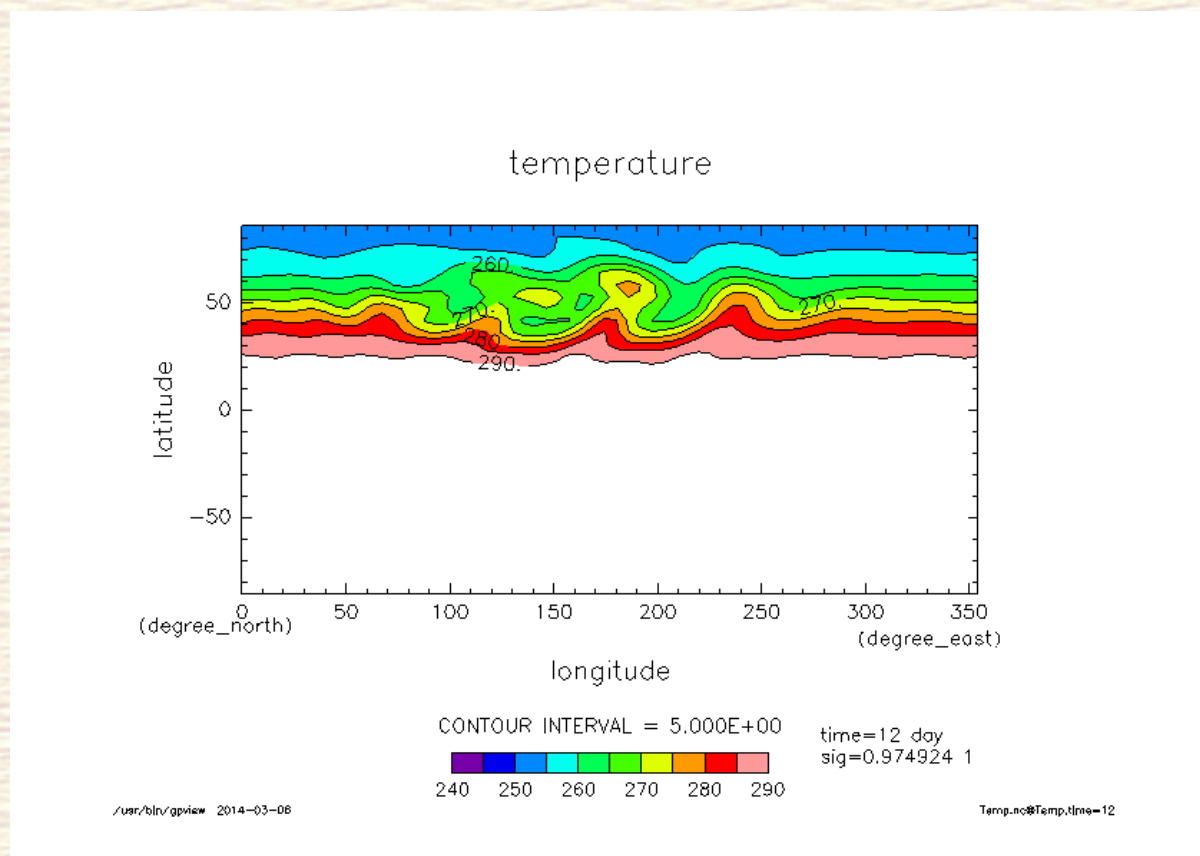
結果を見てみよう (1)

- 計算からできた温度の時間発展のアニメを見てみよう

```
$ gpview Temp.nc@Temp --anim time --range 240:290 --smooth
```

結果を見てみよう (2)

■ time=12 での最下層の温度分布



最後に

- 今の DCPAM は以下のような条件の計算に使うことができます。
 - 地球計算
 - 火星計算
 - 簡易的な金星計算
 - etc.
- 詳しくは DCPAM のページを参照してください
 - ◆ <http://www.gfd-dennou.org/library/dcpam/index.htm.ja>
 - ◆ google で DCPAM を検索して見つけることもできます

参考文献

- Polvani, L. M., R. K. Scott, S. J. Thomas, 2004: Numerically converged solutions of the global primitive equations for testing the dynamical core of atmospheric GCMs, *J. Atmos. Sci.*, 132, 2539—2552
- 高橋 芳幸, 檜村 博基, 竹広 真一, 石渡 正樹, 納多 哲史, 小高 正嗣, 堀之内 武, 林 祥介, DCPAM 開発グループ, 2018: 惑星大気モデル DCPAM, <http://www.gfd-dennou.org/library/dcpam/>, 地球流体電脳倶楽部.