

# 惑星大気大循環モデル DCPAM 概要

高橋芳幸<sup>1</sup>,

地球流体電脳倶楽部 dcmode1 プロジェクト

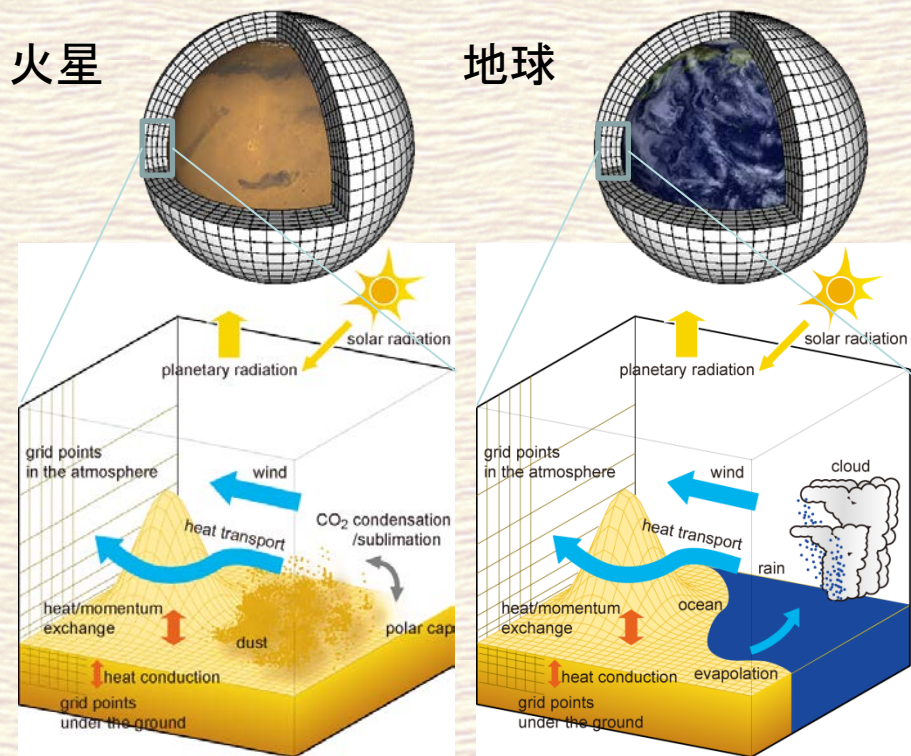
1.神戸大学大学院理学研究科



# DCPAM の設計方針と現状

- DCPAM は dcmmodel 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),
    - ◆ dcmmodel の他のモデルを使った経験のある人には, 計算内容を知る敷居が下がることを期待.
  - 計算内容に関する文書を付属,
    - ◆ 何を計算しているのかがわかるように / 学べるように.
    - ◆ 努力中.

# モデル概要



## ■ 移流過程

- プリミティブ方程式系
  - ◆ 鉛直静水压近似

## ■ 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

## ■ 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 (1992)
- 大規模凝結
- 湿潤対流調節 (Manabe, 1965)

## ■ 雲モデル

## ■ 地表面過程

- 土壌熱伝導モデル
- 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,  $\Phi$  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

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

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

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

$\tau$  は光学的厚さ,  
 $\mathfrak{S}(\tau', \tau)$  は  $\tau', \tau$  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),  $\mu_0, F_s$  は太陽天頂角の余弦, 太陽放射フラックスであり,  $\omega_0$  は一次散乱アルベドである.

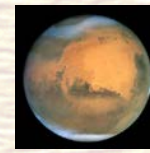
# DCPAM による計算例 その 1: 金星, 地球, 火星計算



金星  
(簡単強制計算)

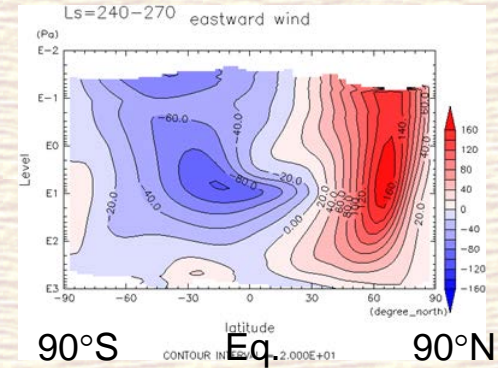
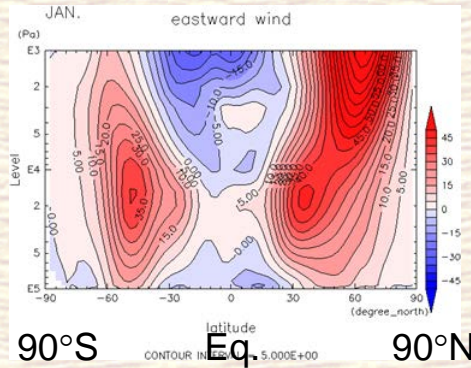
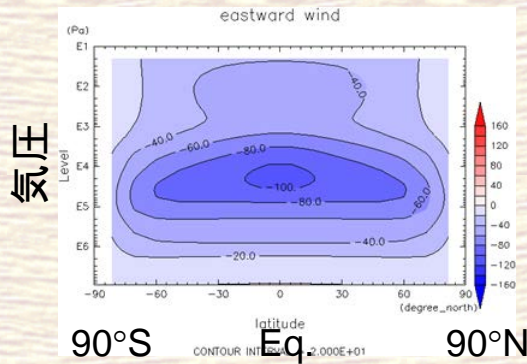


地球

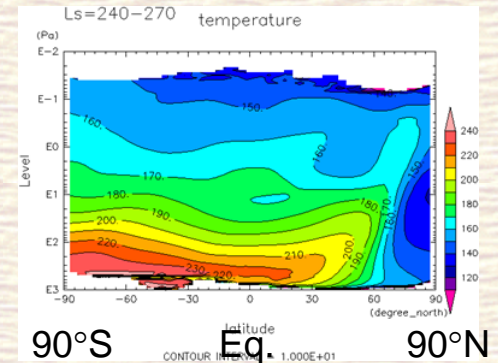
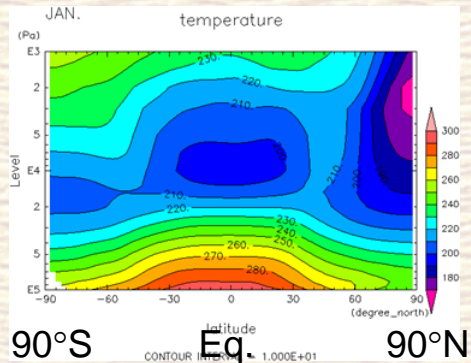
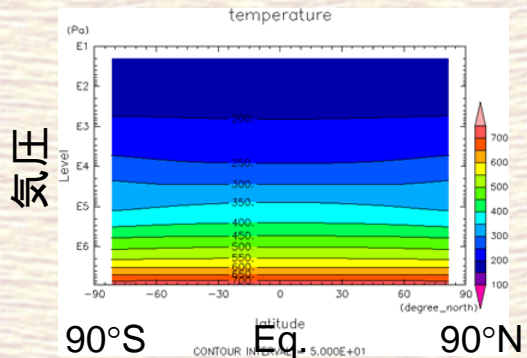


火星

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

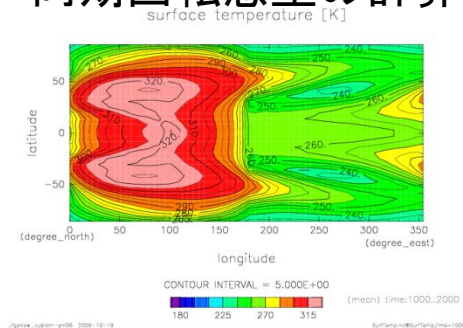
## ■ 仮想惑星の計算

- 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

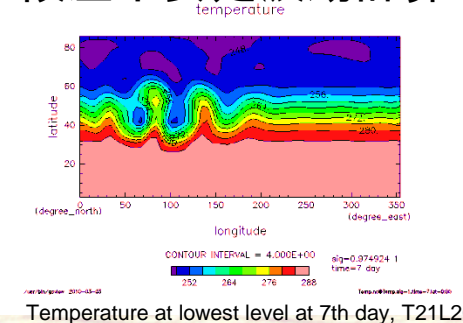
- 強制なし計算
  - ◆ 傾圧不安定波動計算 (Polvani et al., 2004)
- 力学コア実験 (Held and Suarez, 1994)

### 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みてください。

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。