

惑星大気大循環モデル DCPAM 概要

高橋芳幸¹,

地球流体電脳倶楽部 dcmode1 プロジェクト

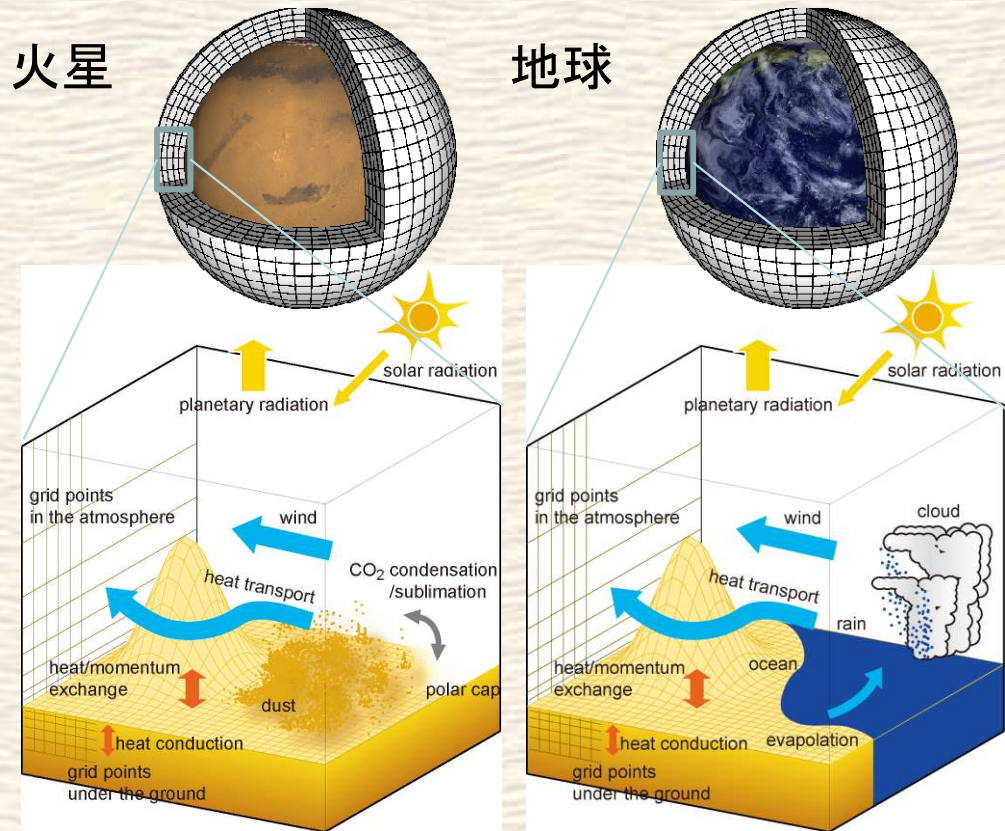
1.神戸大学大学院理学研究科



DCPAM の設計方針と現状

- DCPAM は 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, 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
- **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

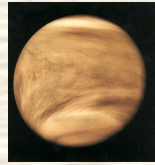
$$\frac{\partial F_{rad,\lambda}^+}{\partial \tau} = \gamma_1 F_{rad,\lambda}^+ + \gamma_2 F_{rad,\lambda}^- - S^+(\tau)$$

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

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

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

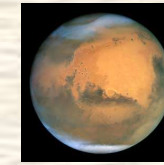


金星

(簡単強制計算)



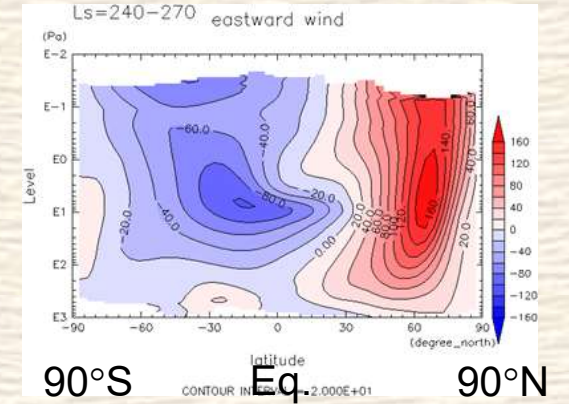
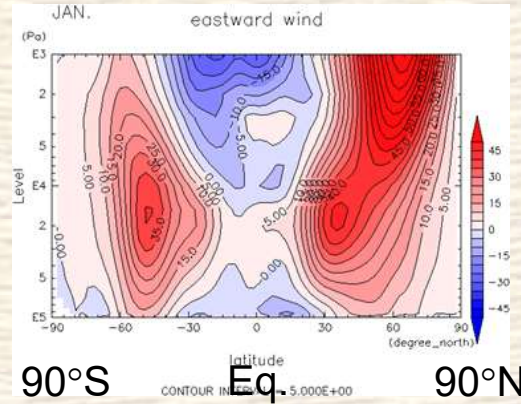
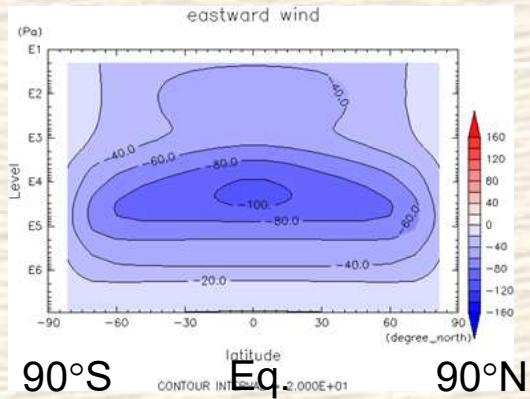
地球



火星

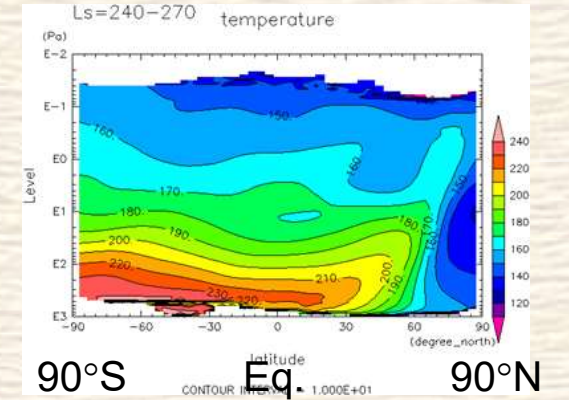
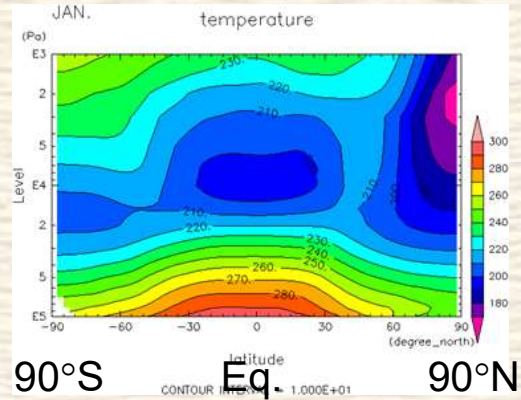
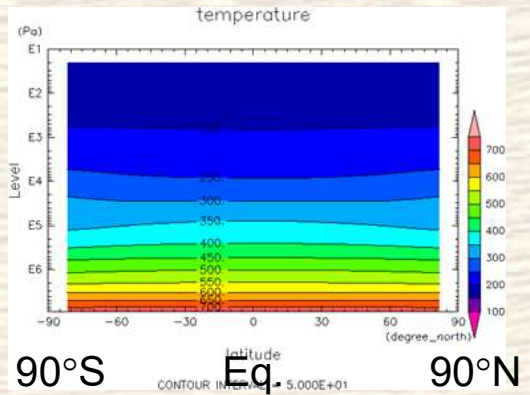
東西風

気圧



温度

気圧



緯度

緯度

緯度

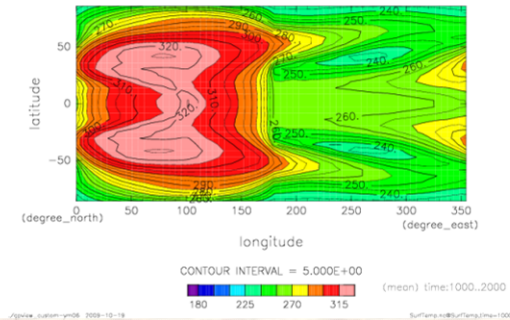
注意: 色の付け方と縦軸は図によって異なる.

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

同期回転惑星の計算

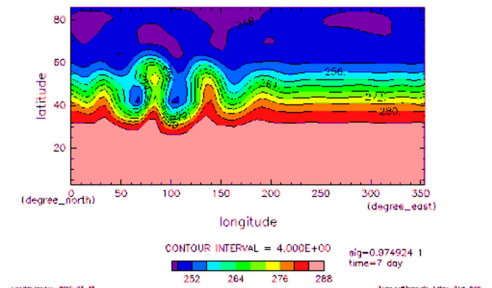


Time mean Surface temperature, T21L16

■ 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)

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。