

ハビタブル惑星大気の 大循環

石渡正樹(北大理)
納多哲史(神戸大理)
中島健介(九大理)
森川靖大(北大理)
高橋芳幸(神戸大理)
倉本圭(北大理)
小高正嗣(北大理)
林祥介(神戸大理)



「地球型」系外惑星の気候の計算

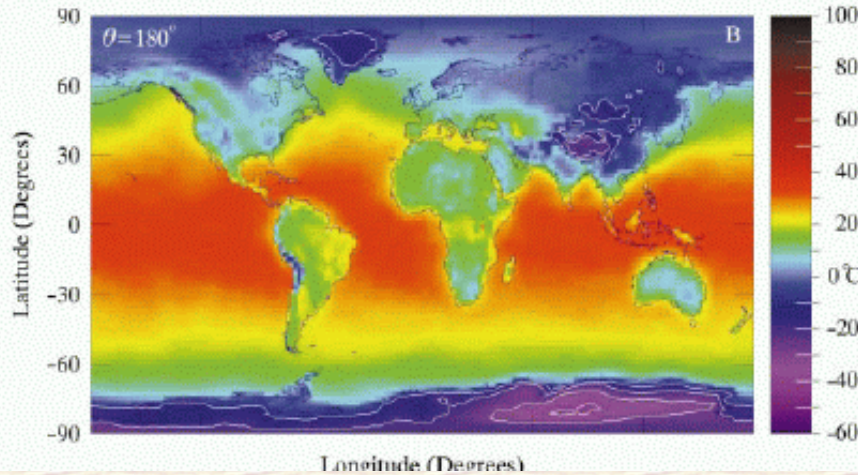
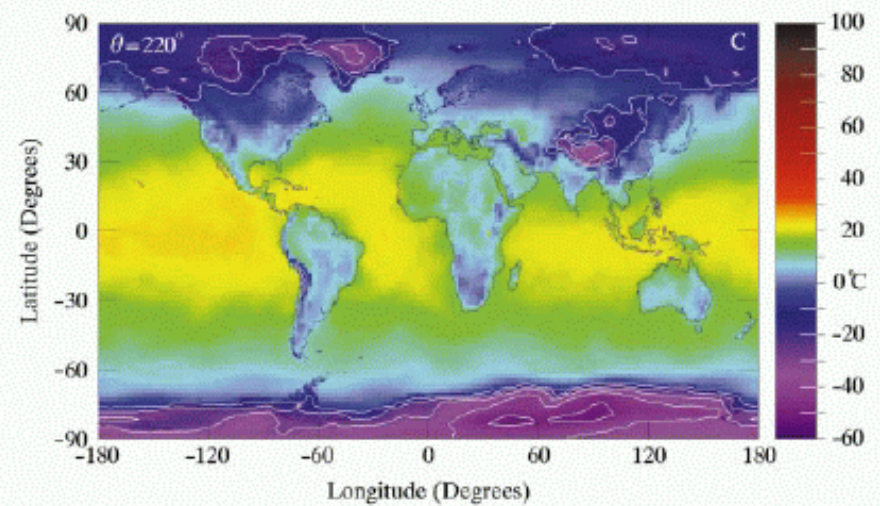
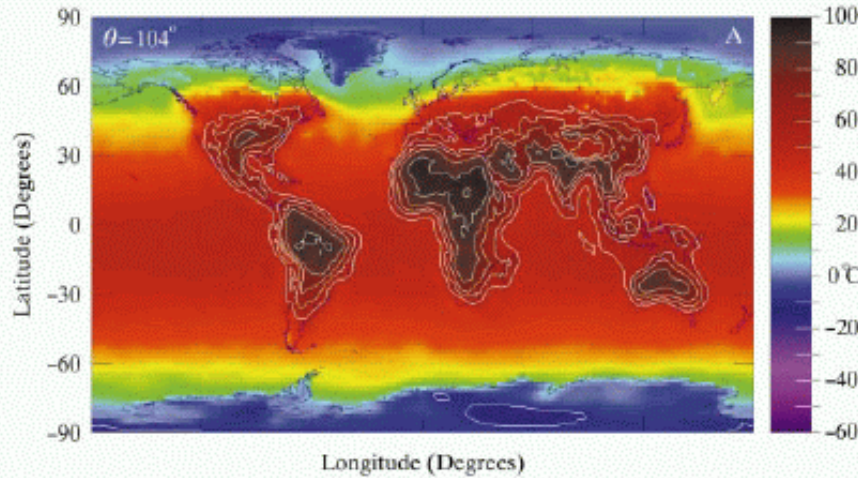
■ 離心率が大きな惑星

- Williams and Pollard (2002)
 - ◆ 大気大循環モデルとエネルギーバランスモデル
 - ◆ 地球のモデルで離心率を変える ($e=0.1, 0.4, 0.7$)

■ 同期回転惑星

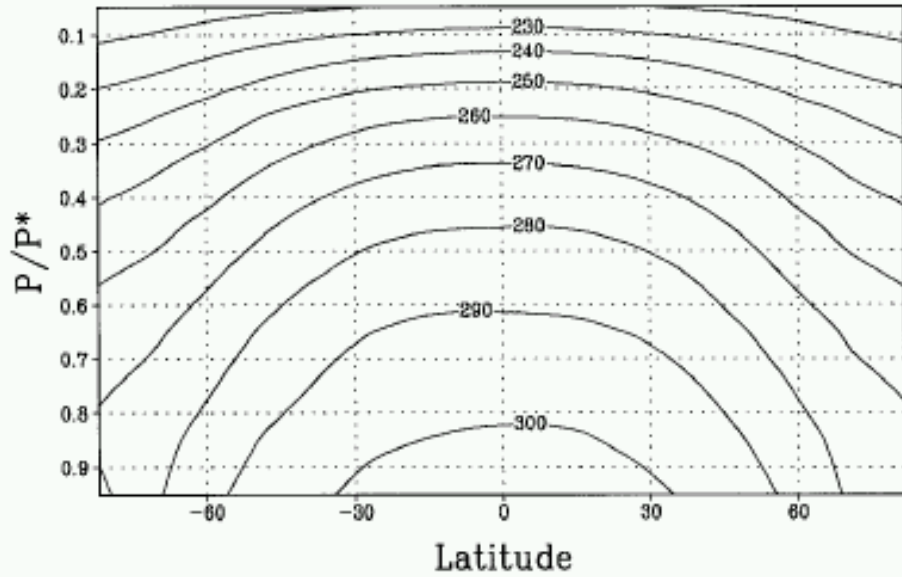
- Joshi et al. (1997)
 - ◆ 火星のモデル(二酸化炭素大気)で同期回転させる

Williams and Pollard (2002)

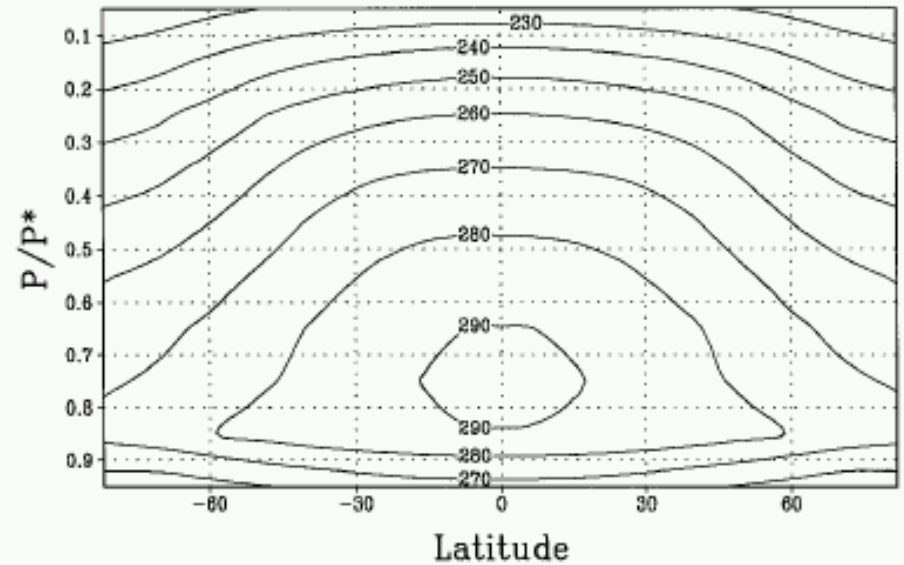


表面温度分布
 $e=0.7$, その他は地球のパラメータ
50mのslab ocean

Joshi et al. (1997)



昼半球温度



夜半球温度

「系外気候」の数値的探索

■ 絨毯爆撃的パラメータスタディ

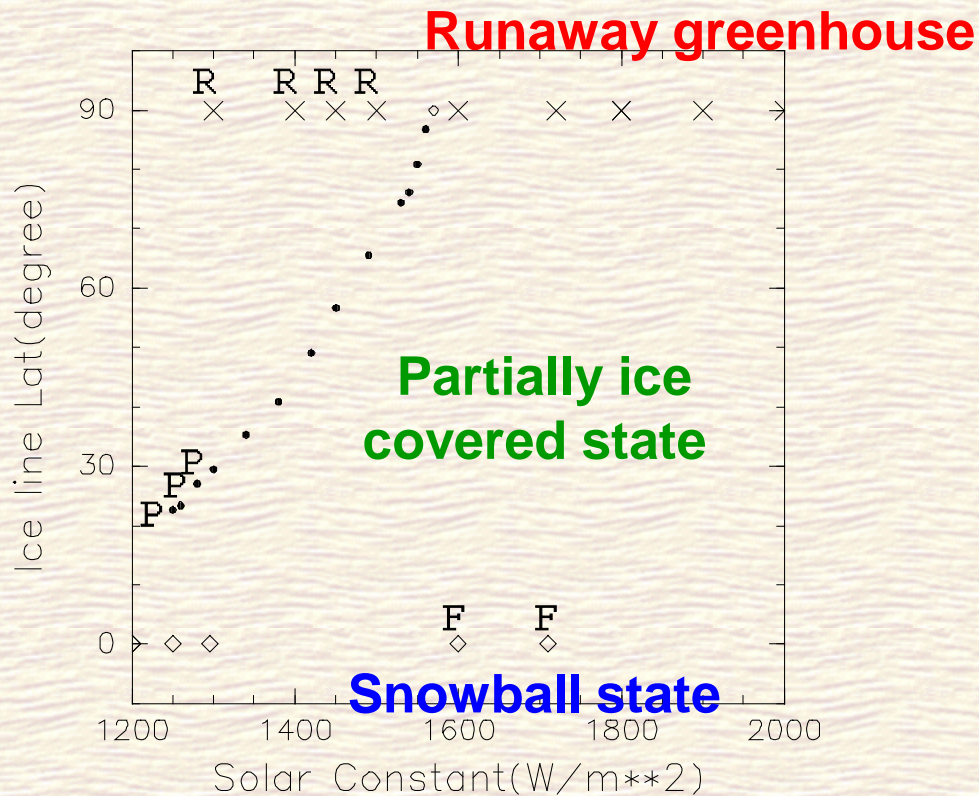
- 軌道要素、太陽定数、大気成分、大気量・・・などのパラメータ空間を埋め尽くす計算
- 「簡単な」大気大循環モデルを使う
- 解の分枝、分岐点の分布を掌握することを目指す

■ 問題

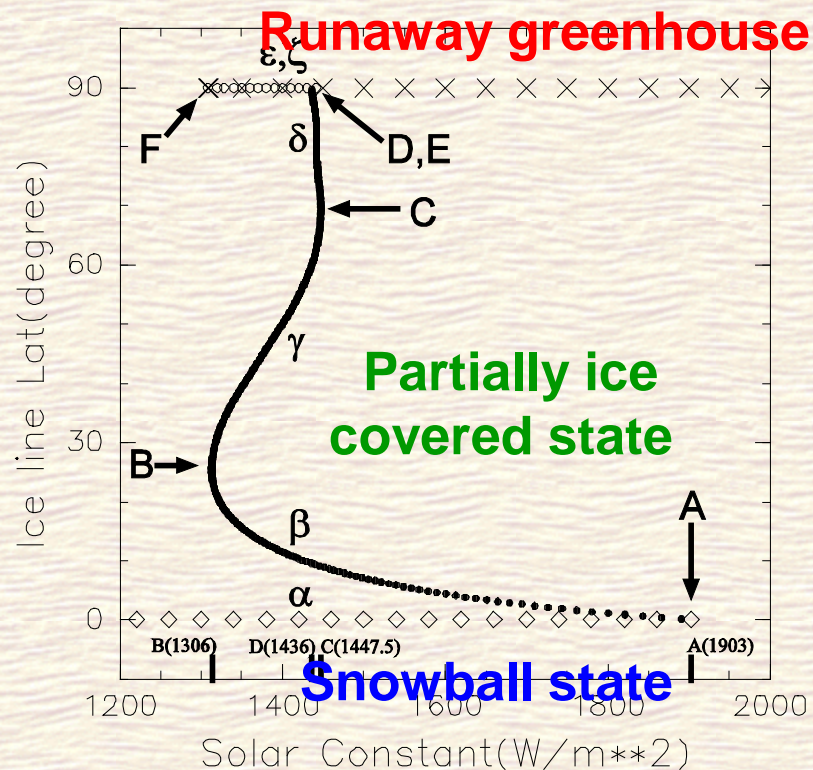
- 解が「正しい」ことの検証は？
 - ◆ まずはself-consistentであることのチェック
 - ◆ 簡単モデルの解と対応付けができれば安心できるか？
- 分岐ダイアグラムは描けるのか？
 - ◆ 簡単モデルの解と対応付けができれば可能？

GCMとEBMの解の対応付け

GCM

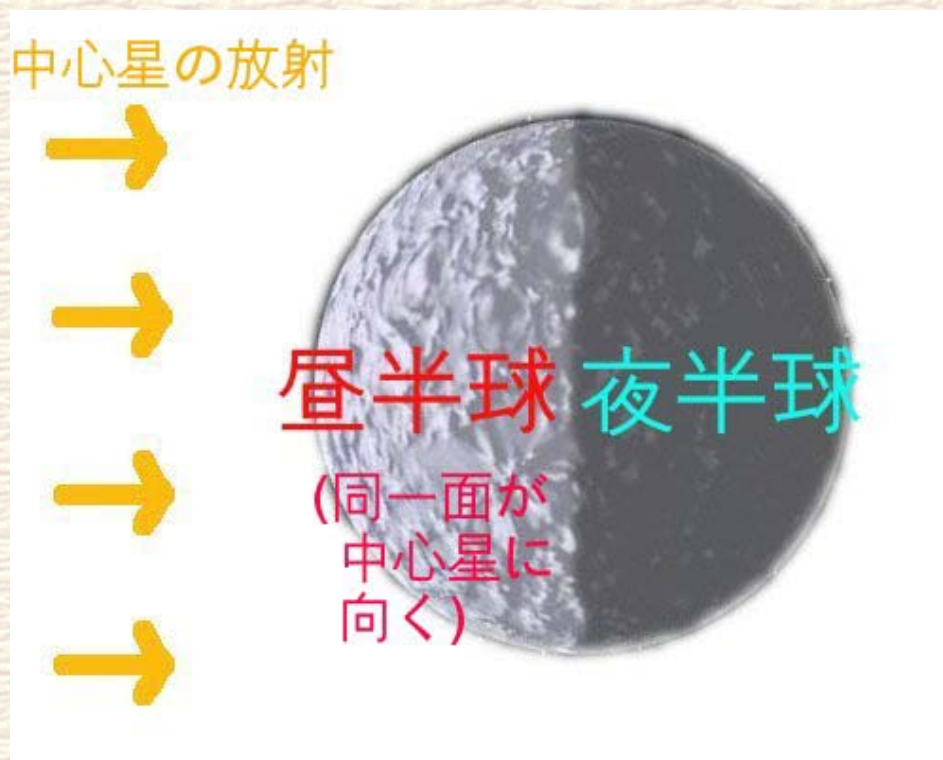


EBM



Ishiwatari et al. (2007)

同期回転惑星の計算



- Joshi et al. (1997)は二酸化炭素大気を考えていたが、ここでは湿潤大気(水もどきが入った大気)を考える

大気大循環モデル

■ dcpam5 (<http://www.gfd-dennou.org/library/dcmmodel/>)

- 3次元球殻中の静水圧大気
- 水平方向スペクトル法、鉛直差分法

$$\frac{du}{dt} - fv - \frac{uv}{a} \tan \varphi - \frac{1}{a \cos \varphi} \frac{\partial \Phi}{\partial \lambda} - \frac{RT}{a \cos \varphi} \frac{\partial \pi}{\partial \lambda} + \frac{g}{p_s} \frac{\partial F_u^{rad}}{\partial \sigma} + F_\lambda^{diff},$$

$$\frac{dv}{dt} + fu + \frac{u^2}{a} \tan \varphi - \frac{1}{a} \frac{\partial \Phi}{\partial \varphi} - \frac{RT}{a} \frac{\partial \pi}{\partial \varphi} + \frac{g}{p_s} \frac{\partial F_v^{rad}}{\partial \sigma} + F_\varphi^{diff},$$

$$\frac{d\pi}{dt} - \frac{1}{a \cos \varphi} \frac{\partial u}{\partial \lambda} - \frac{1}{a \cos \varphi} \frac{\partial}{\partial \varphi} (v \cos \varphi) - \frac{\partial \dot{\sigma}}{\partial \sigma},$$

$$\sigma \equiv \frac{p}{p_s}$$

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

$$\Phi \equiv gz,$$

$$\frac{dq}{dt} - \frac{g}{p_s} \frac{\partial F_q^{rad}}{\partial \sigma} + F_q^{diff} + S_q^{cond},$$

$$\pi \equiv \ln p_s$$

$$\frac{dT}{dt} - \frac{RT}{c_p} \left\{ \frac{\partial \pi}{\partial t} + \frac{u}{a \cos \varphi} \frac{\partial \pi}{\partial \lambda} + \frac{v}{a} \frac{\partial \pi}{\partial \varphi} + \frac{\dot{\sigma}}{\sigma} \right\}$$

$$\frac{d}{dt} \equiv \frac{\partial}{\partial t} + \frac{u}{a \cos \varphi} \frac{\partial}{\partial \lambda} + \frac{v}{a} \frac{\partial}{\partial \varphi} + \dot{\sigma} \frac{\partial}{\partial \sigma}$$

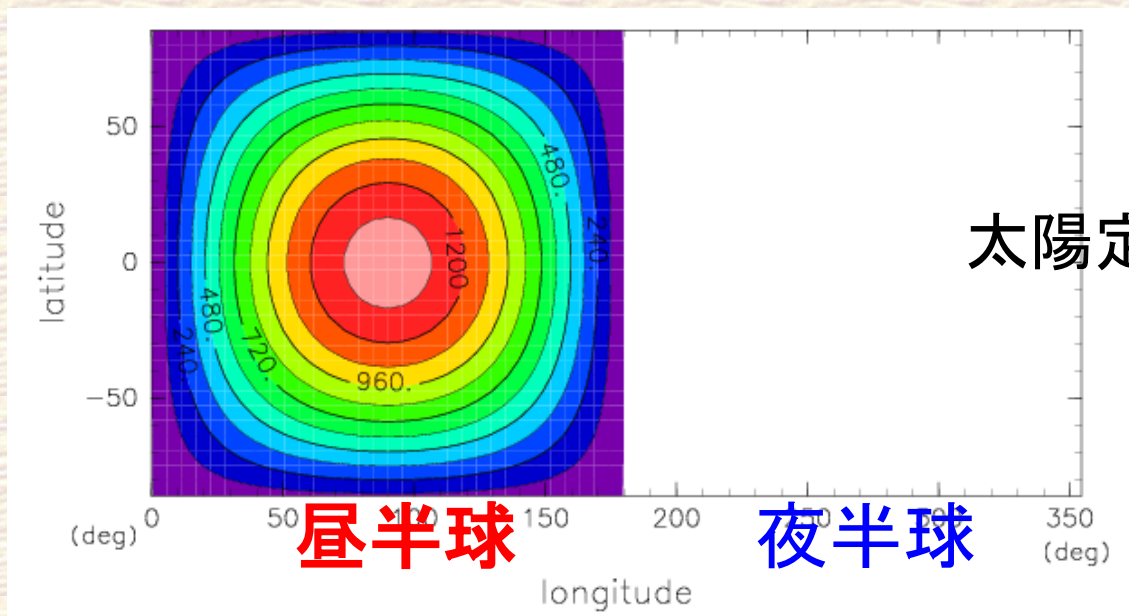
$$+ \frac{1}{c_p} \left(\frac{g}{p_s} \frac{\partial F_T^{rad}}{\partial \sigma} + \frac{g}{p_s} \frac{\partial F_{rad}}{\partial \sigma} \right) + F_T^{diff} + LS_q^{cond},$$

- 大気成分：非凝結性成分と水蒸気
- 灰色放射
- 対流調節，雲無し
- 地表面は常に熱バランス

$$C_g \frac{\partial T_g}{\partial t} = q_{rad} + q_{surfT} + q_{surfq}$$

計算設定

- ごく簡単な設定: 陸なし、雲なし、灰色放射
- 重力加速度, 惑星半径は地球の値
- 入射放射
 - 入射放射は全て地表に到達



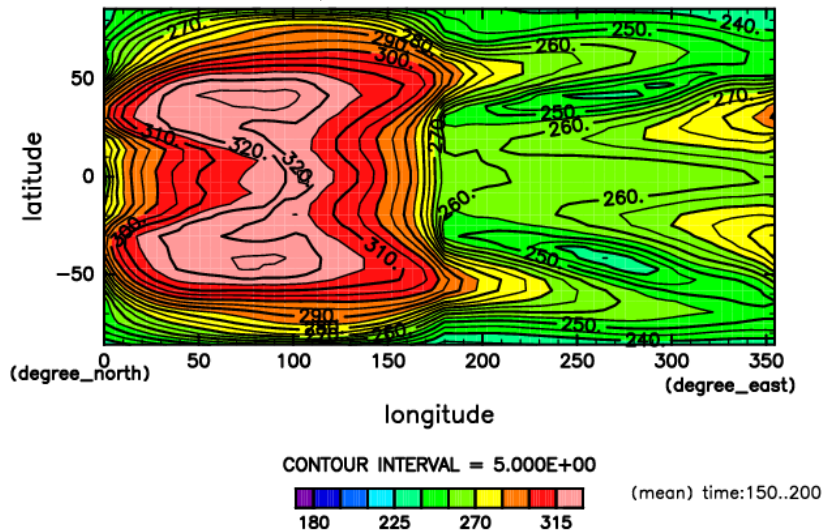
太陽定数: 1380 W/m^2

■ 解像度

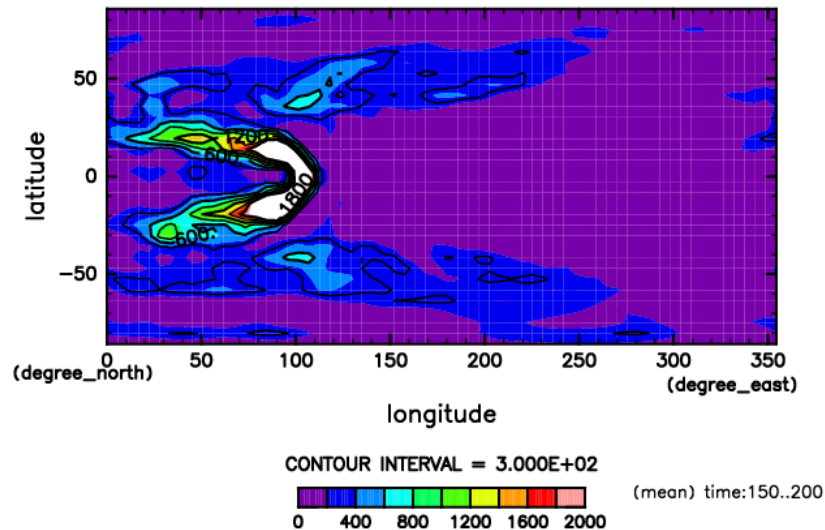
- 水平方向スペクトル法(全波数21)、鉛直差分法(16層)

地球の太陽定数の場合

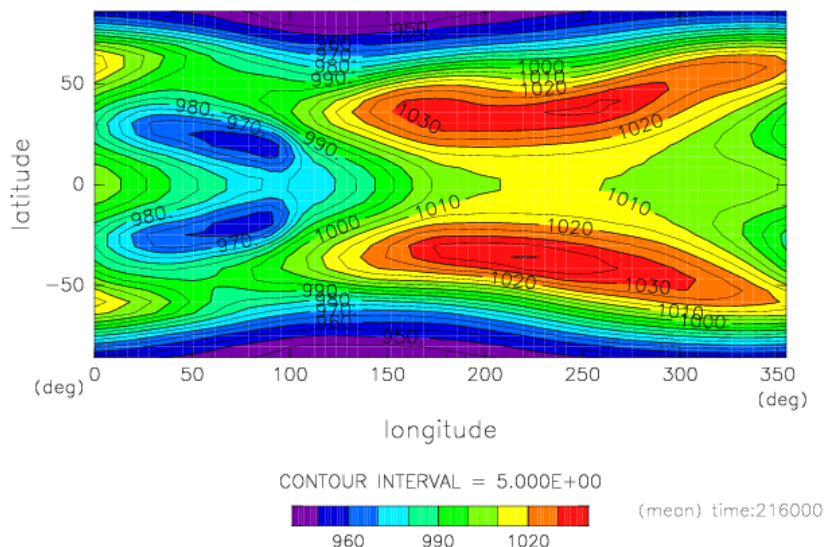
表面温度



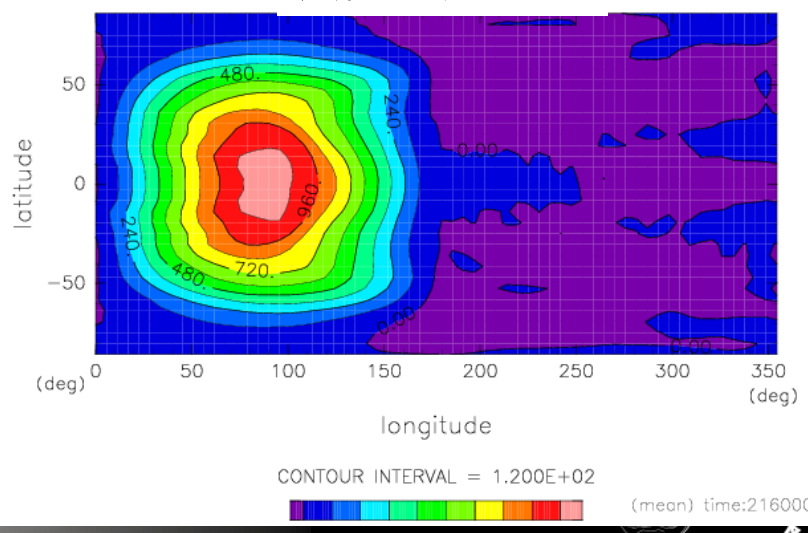
降水分布



表面気圧

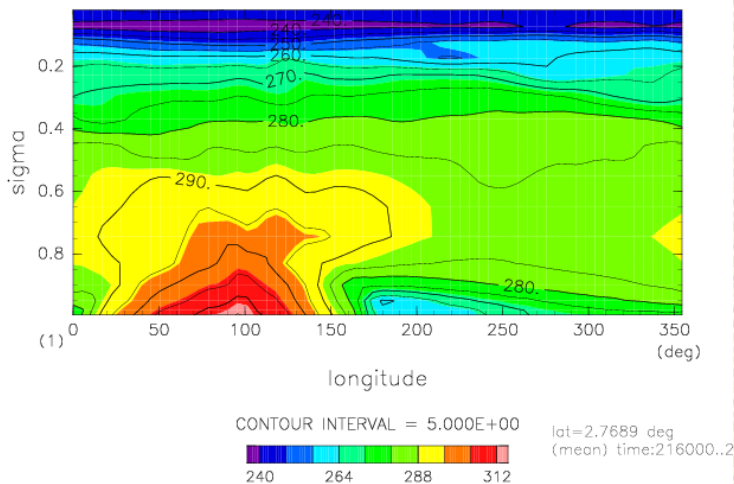


蒸発フラックス

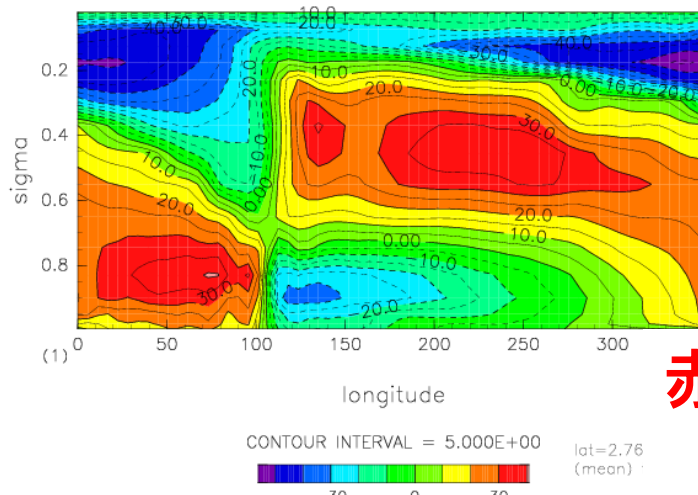


赤道域における東西熱輸送

温度赤道断面

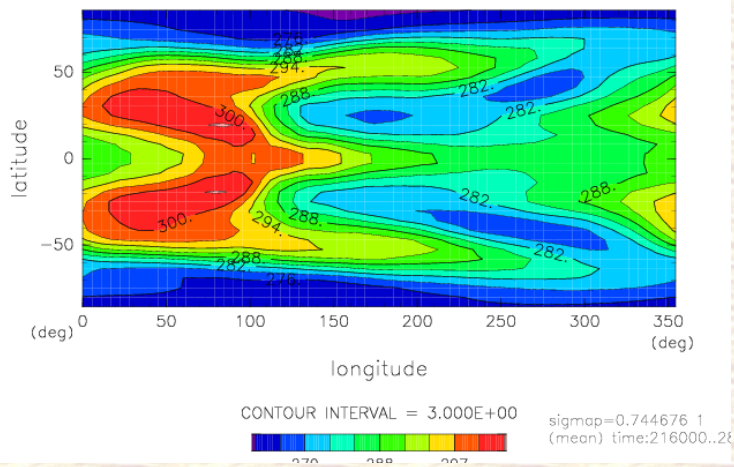


東西風赤道断面

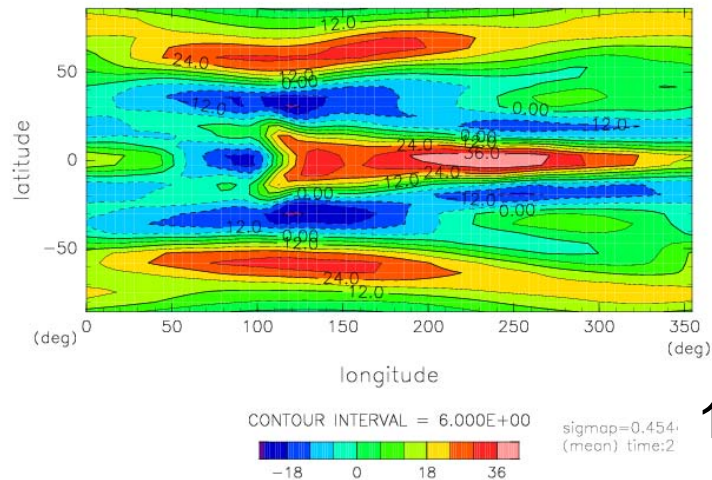


赤道波による
熱輸送

温度水平分布 ($\sigma=0.7$)



東西風水平分布 ($\sigma=0.5$)

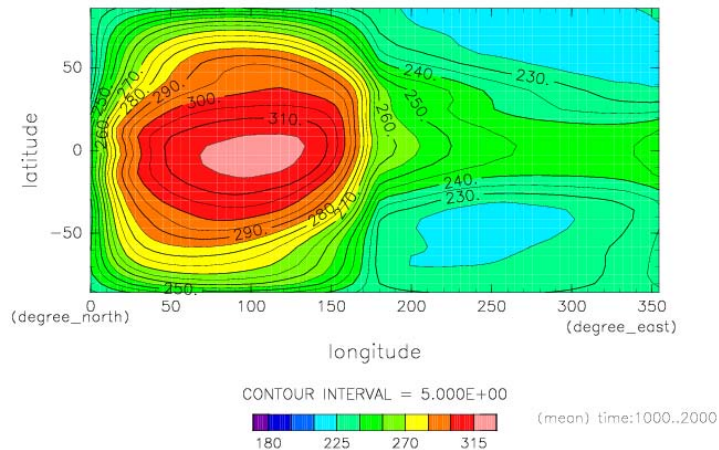


150-200日平均

太陽定数を下げる・放射スキームを変えた場合

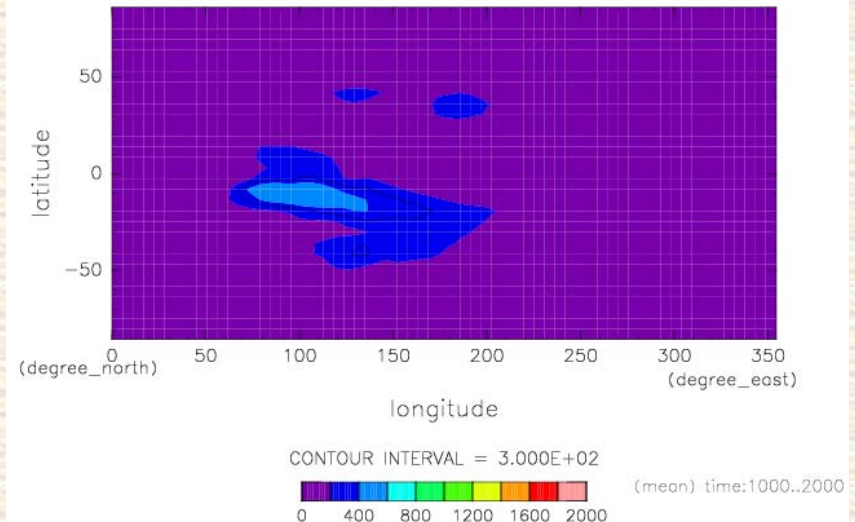
表面温度

surface temperature [K]



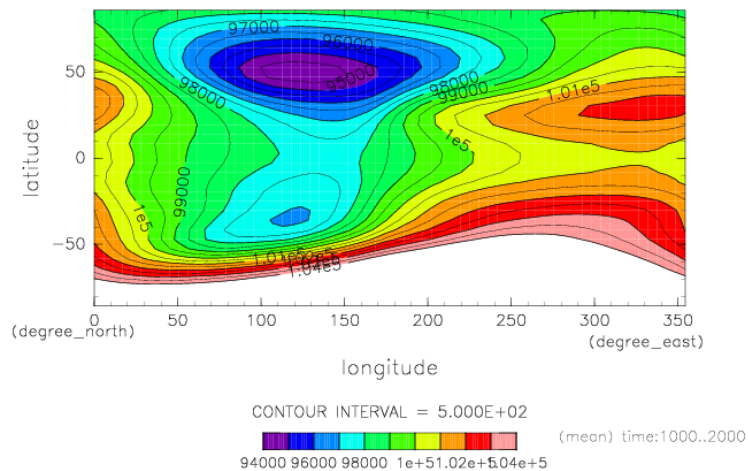
降水分布

precipitation [mm-2]

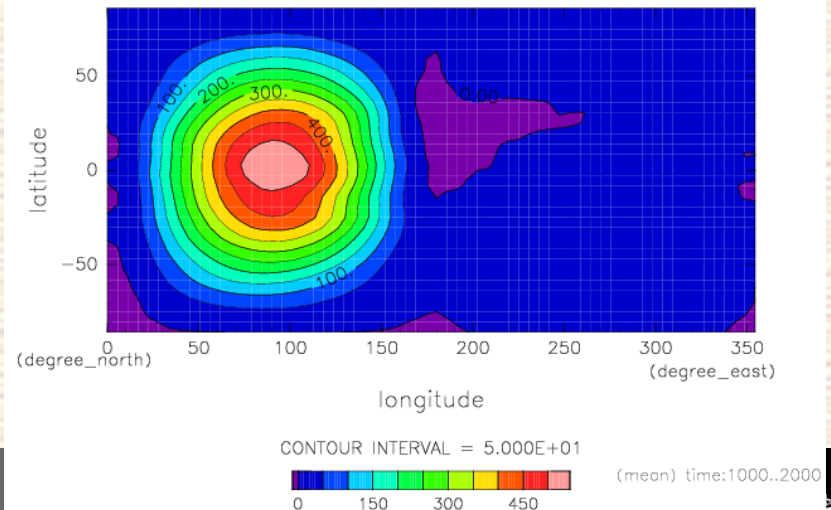


表面気圧

surface pressure [Pa]



蒸発フラックス



まとめ：問題点

■ 同期回転惑星の数値計算

- 得られた解の「チェック」ができてない
 - ◆ Self consistent であるかどうかの確認もサッサと終わられていない
 - ◆ 初期値を変えた場合についての調査もこれから
- 簡単モデルを使った記述にたどりつけていない
 - ◆ 階層モデル群としてモデルをどんどん作っていかないといけない