

# 暴走に近い状態の大気大循環

石渡正樹（北大・理）

「太陽系形成から考える冥王代の大気」冥王代生命科学A01班A05班合同ワークショップ  
2015年6月2日

# 目次

- **イントロダクション**
- **モデル**
- **GCMを用いた太陽定数増加実験**
- **まとめ**

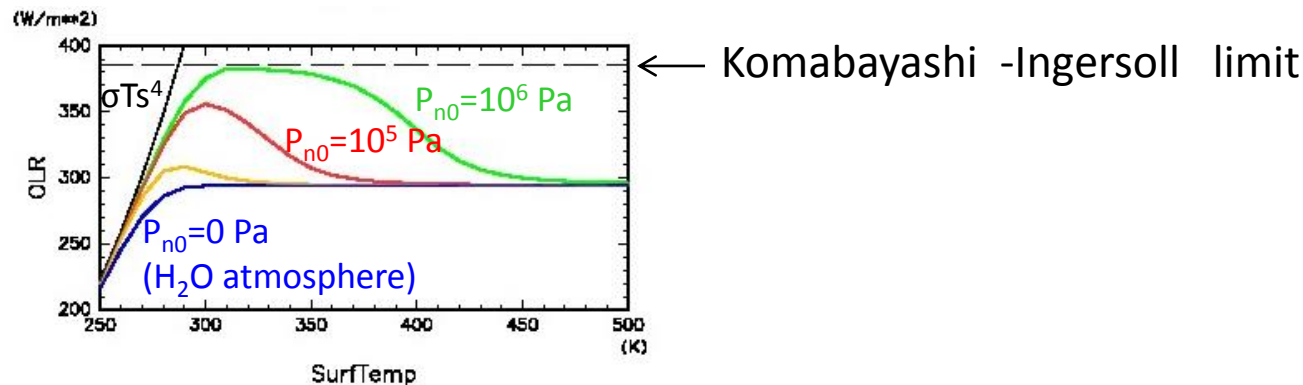
イントロダクション

# 太陽定数増大時の大気構造の変化

- 冥王代の大気は高温？
- ここでは入射エネルギーの増加によって「高温」となる大気を考える
- 大気へのエネルギー入射量がある程度増加すると暴走温室状態が発生
- 暴走温室状態は鉛直 1 次元モデルで定義される

Nakajima et al (1992)

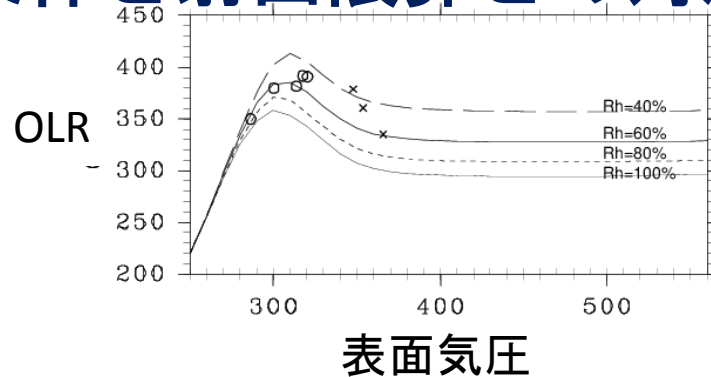
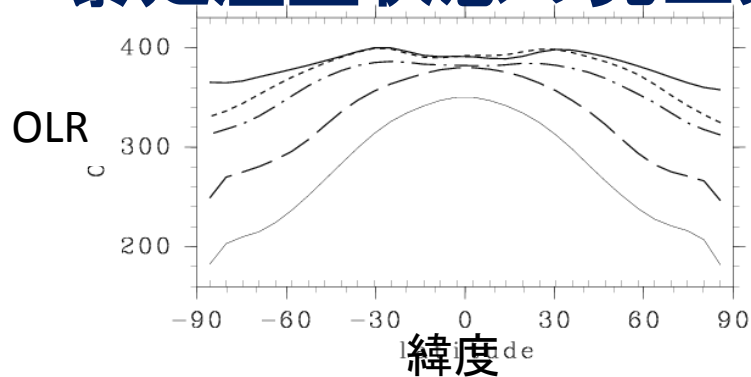
鉛直 1 次元放射対流平衡モデル



# 暴走温室状態の発生条件(3次元系)

- Ishiwatari et al (2002, 2007) : 灰色放射

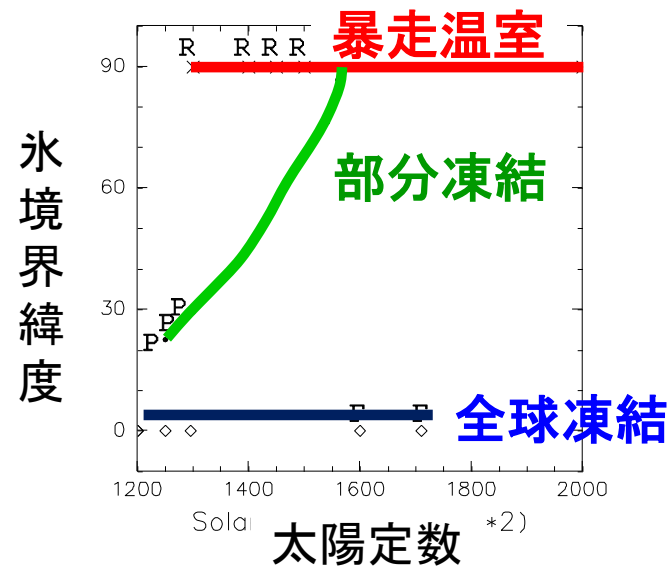
- 暴走温室状態の発生条件と射出限界との対応



- 暴走温室状態の発生は  
けっこう広い太陽定数の  
範囲でおこるかも

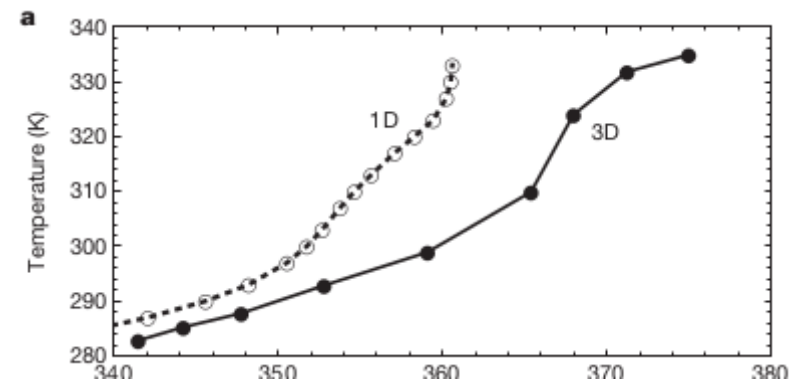
- 阿部他 (2015)

- 暴走温室状態の発生条件の  
決定には、射出限界の存在  
は重要ではない



# ここでは

- 太陽定数増加させた GCM実験の結果を紹介する
  - 非灰色放射スキーム・単純雲スキームを用いた場合
  - 統計的平衡状態に達する場合を中心に
- ちなみに、他の研究グループでも太陽定数増加実験が実施されている
  - Leconte et al (2013)
    - LMDモデル、将来の地球
    - 3次元系では亜熱帯域が乾くことにより暴走温室状態が発生しにくくなる、と主張



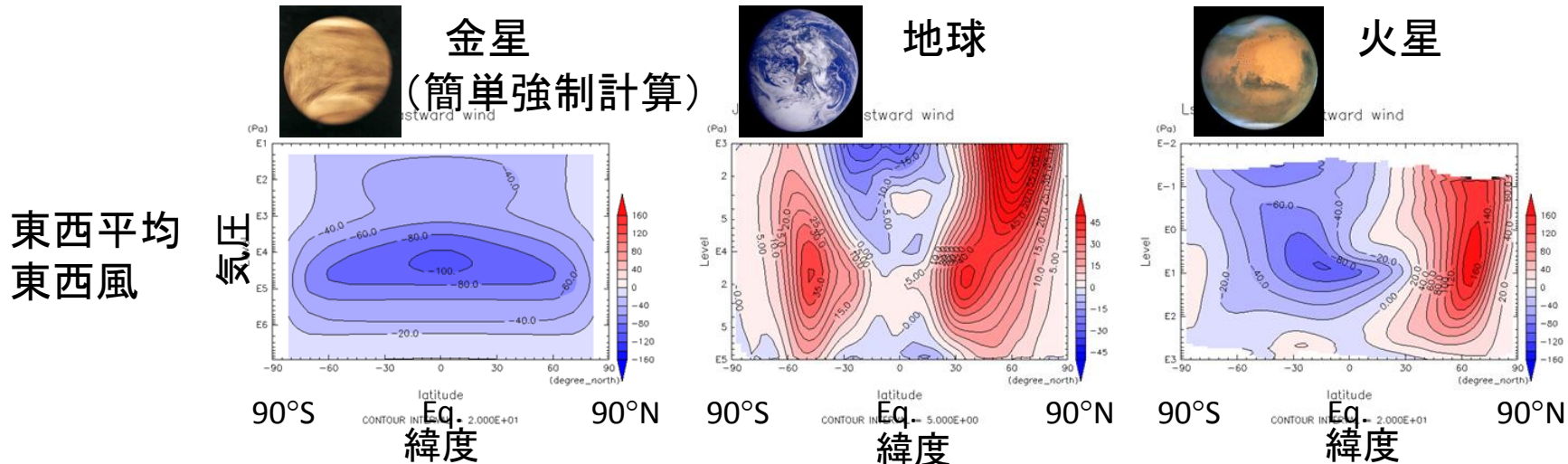
全球平均入射量

Laconte et al. (2013)

モデル

# モデル

- 大気大循環モデル: dcpam5
  - <http://www.gfd-dennou.org/library/dcpam/>
- 多様な惑星を同一の枠組みで



- 基礎方程式・差分法
  - 基礎方程式: 3次元球殻中のプリミティブ方程式
  - 差分化: 水平方向スペクトル法、鉛直方向差分



# 物理過程

- 放射

- $\Delta$ -Eddington 近似 (Toon et al., 1989)

- 水蒸気、CO<sub>2</sub>、雲水の吸収と散乱を考慮  
Chou and Lee (1996), Chou et al (2001)

- 中心星からの短波放射は太陽のものと同じ

- 積雲対流

- Relaxed Arakawa-Schubert (Moorthi and Suarez, 1992)

- 地表面フラックス: Beljaars and Holtslag (1991)

- 鉛直乱流拡散: Mellor and Yamada (1974) level2.5

- 地表面: 熱容量 0 の海面、海洋の熱輸送無し、海氷なし

- 簡単雲モデル

- 移流、乱流混合、生成、消滅を考慮

$$\frac{\partial q_c}{\partial t} = -v \cdot \nabla v - \sigma \frac{\partial q_c}{\partial \sigma} + F_{turb} + S_c + \frac{q_c}{\tau_{LT}}$$

$S_c$  : 雲水の生成

– 大規模凝結で計算される凝結量

– RAS スキームで計算される雲頂からのデトレイン量

$\frac{q_c}{\tau_{LT}}$  : 雲水の消滅

地球設定計算(T42L26)でチューニング  
すると  $\tau_{LT} = 1500\text{sec}$

# 実験設定

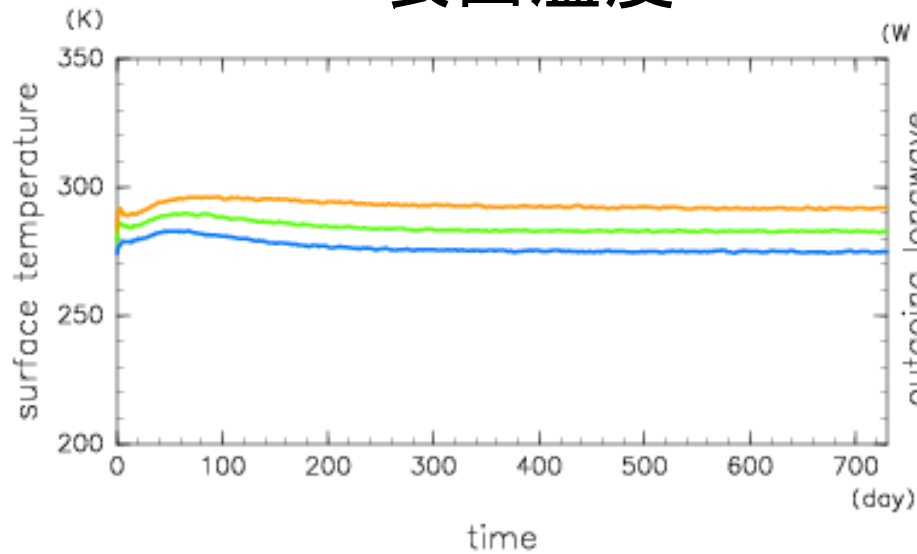
## • 実験設定

- 日射分布:地球の日射分布、年平均日平均日射
- 太陽定数:1366-2000W/m<sup>2</sup>
- 自転角速度、惑星半径、重力加速度は現在地球の値
- 雲の消滅時間: $1.5 \times 10^3$ sec
- 表面における乾燥空気量:1気圧
- 地表面アルベド: 0.15
- 解像度:T42L26
- 積分期間:2地球年もしくは3地球年

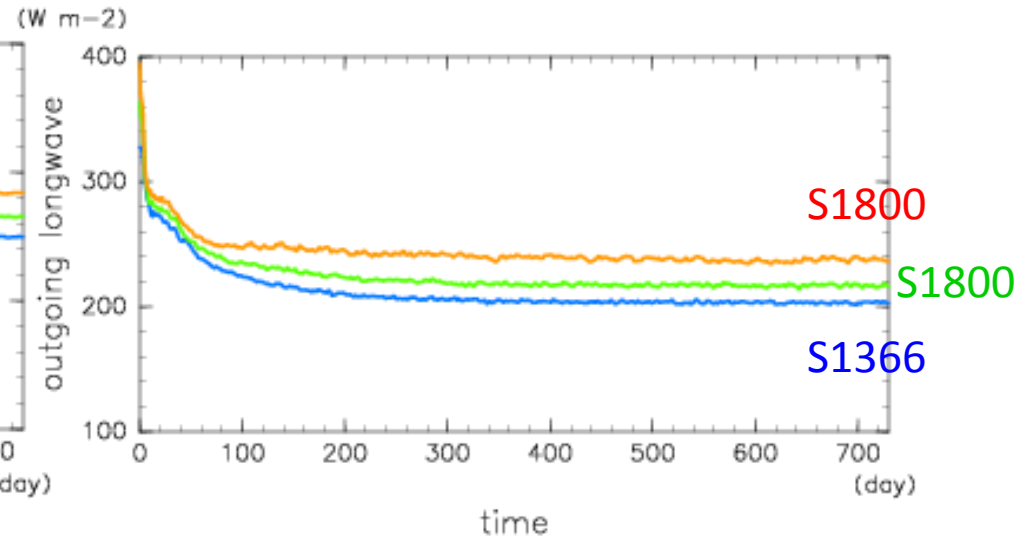
# 太陽定数増加 における大気の状態

# 表面温度・OLR時間変化

## 表面温度



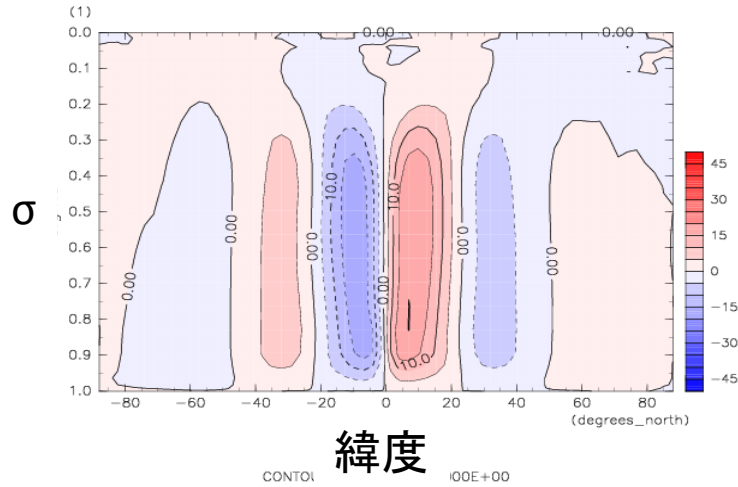
## OLR



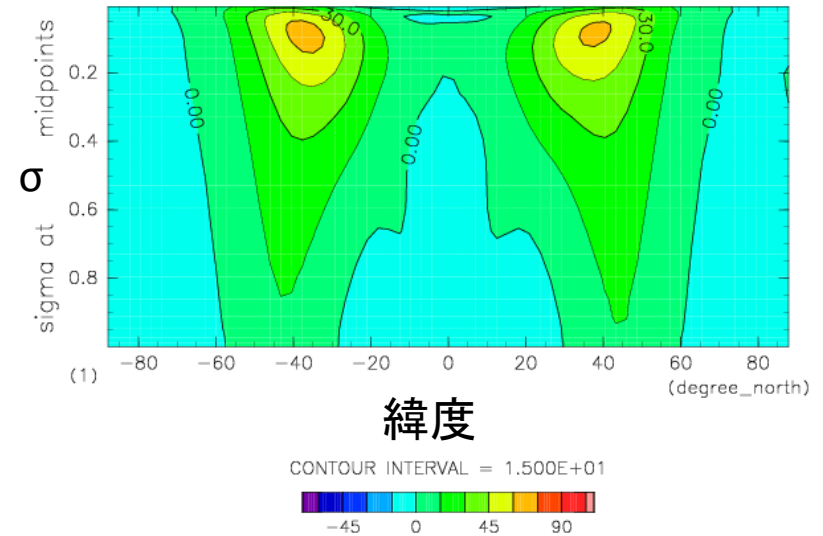
季節変化なし

# 大気の状態(S1366)

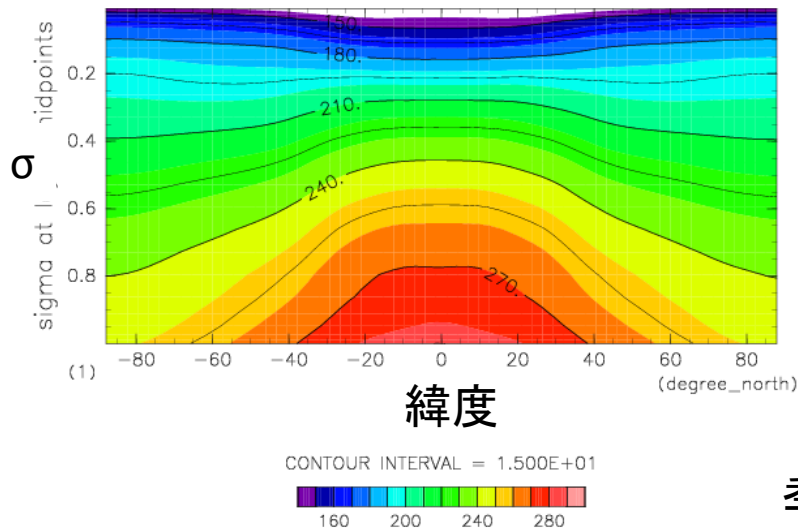
## 質量流線関数



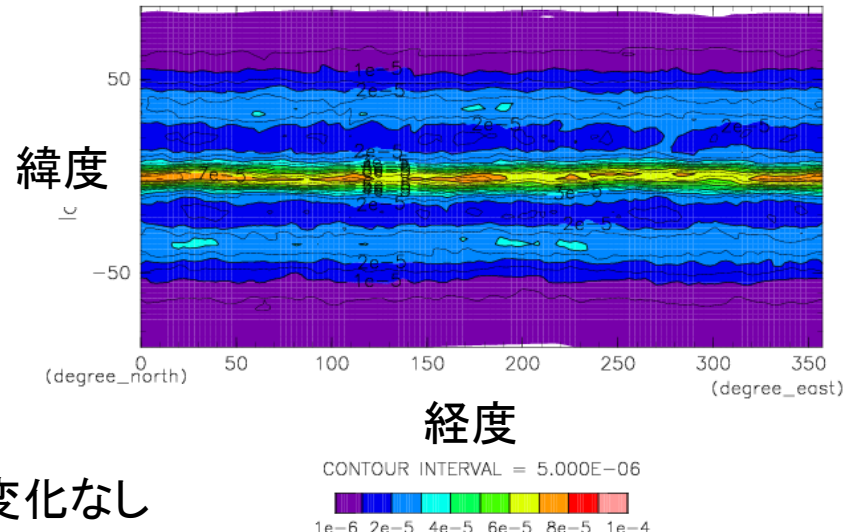
## 東西風(東西平均)



## 温度(東西平均)



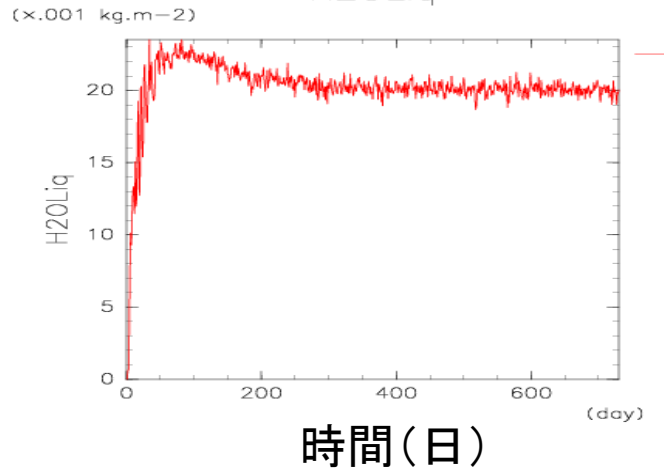
## 降水水平分布



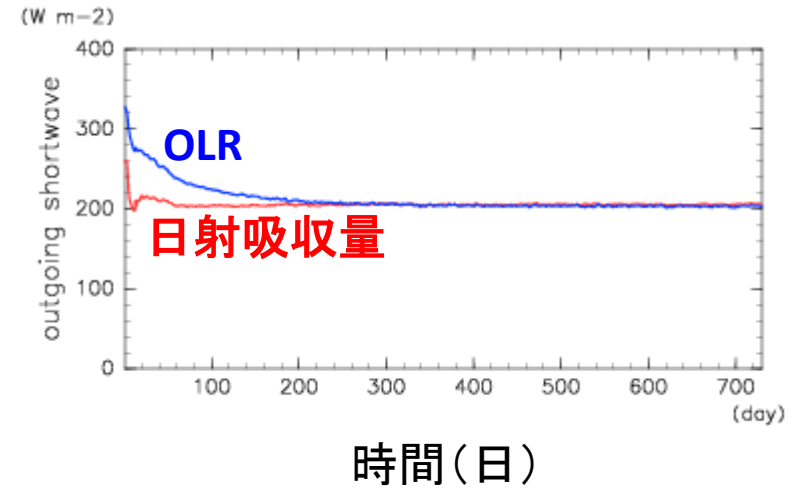
季節変化なし

# 統計的平衡状態であることの確認

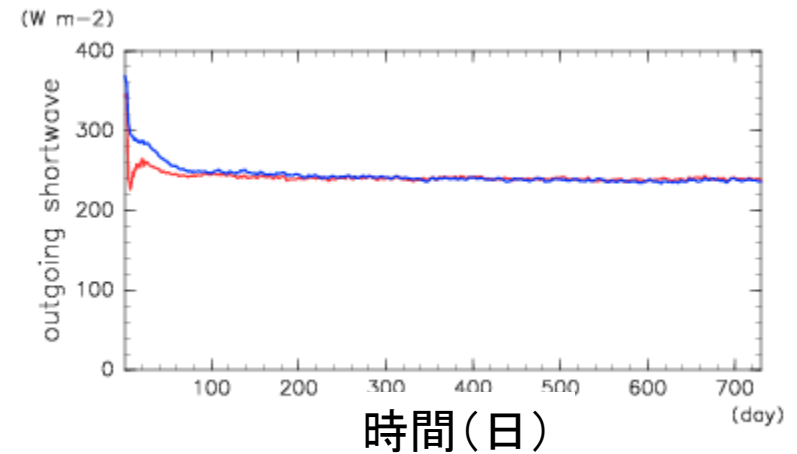
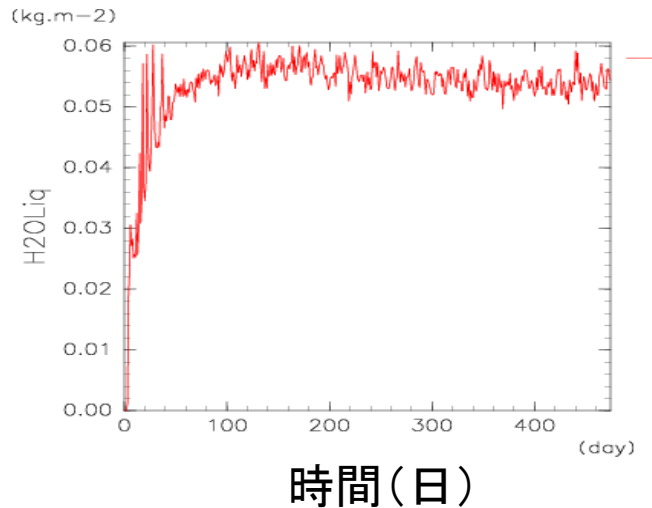
## 雲水量



## 日射吸収量とOLR



S1366

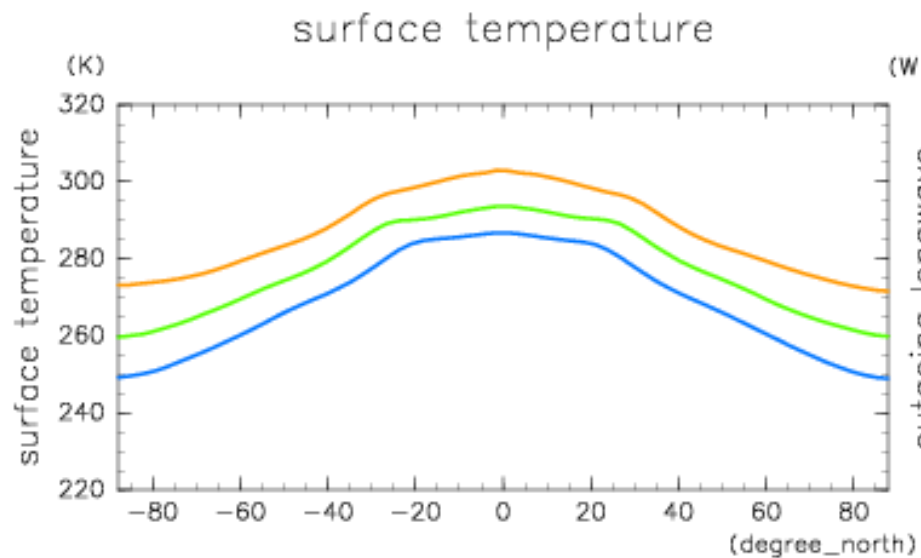


S1800

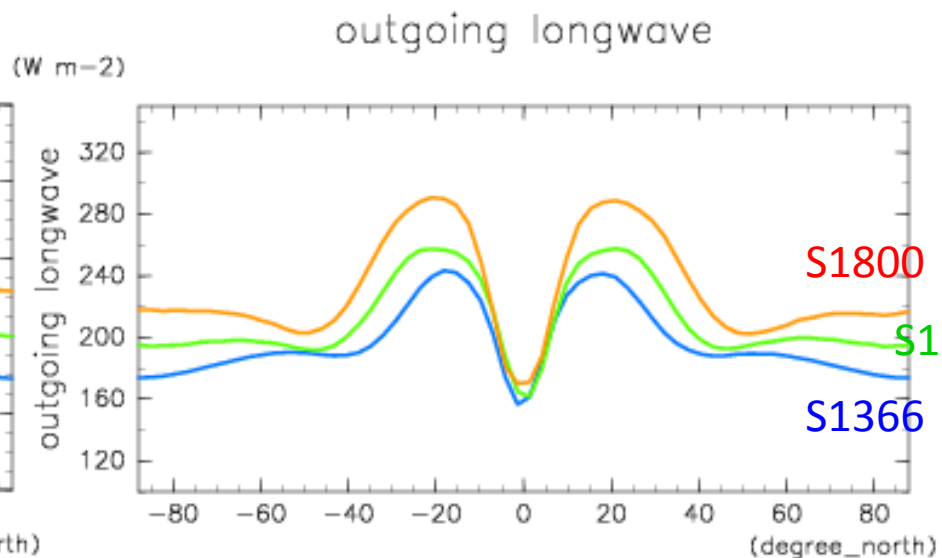
# 表面温度・OLRの南北分布

## 表面温度

## OLR



緯度



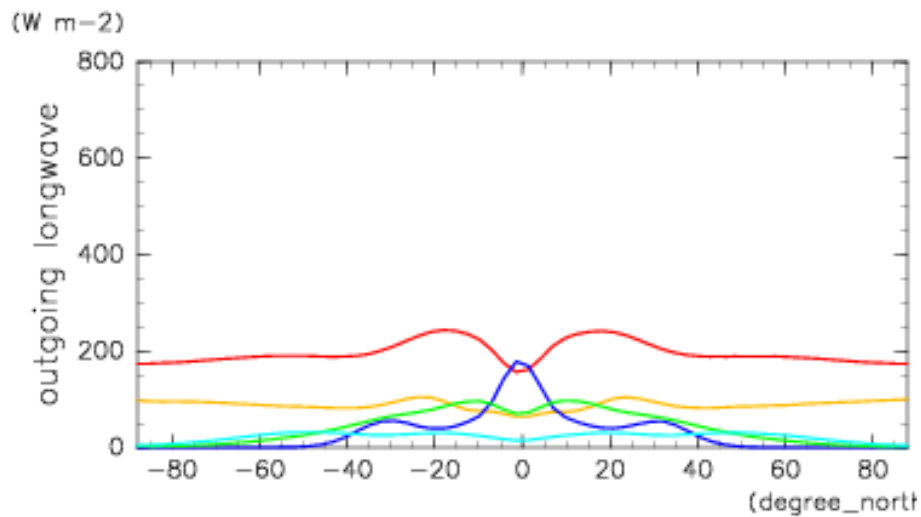
緯度

季節変化なし

# 熱フラックス南北分布

S1366

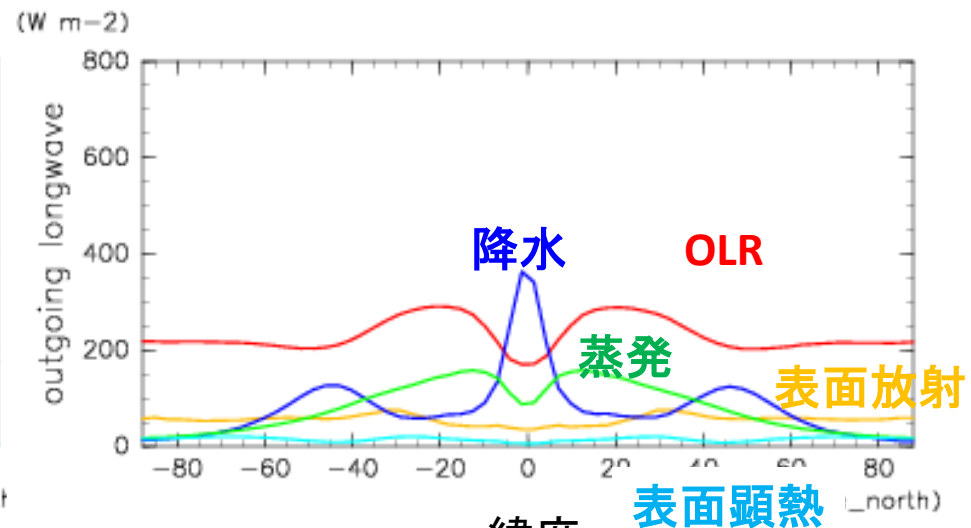
Heat flux



緯度

S1800

Heat flux

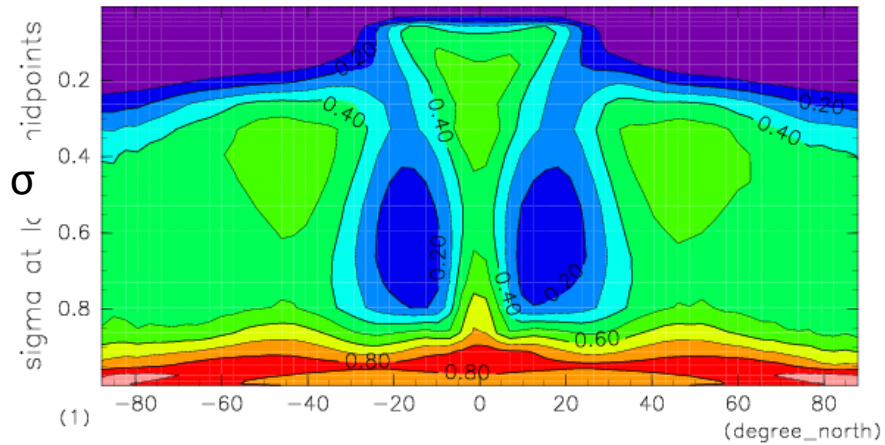


緯度



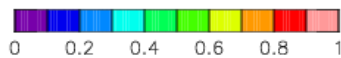
# 相对湿度

S1366

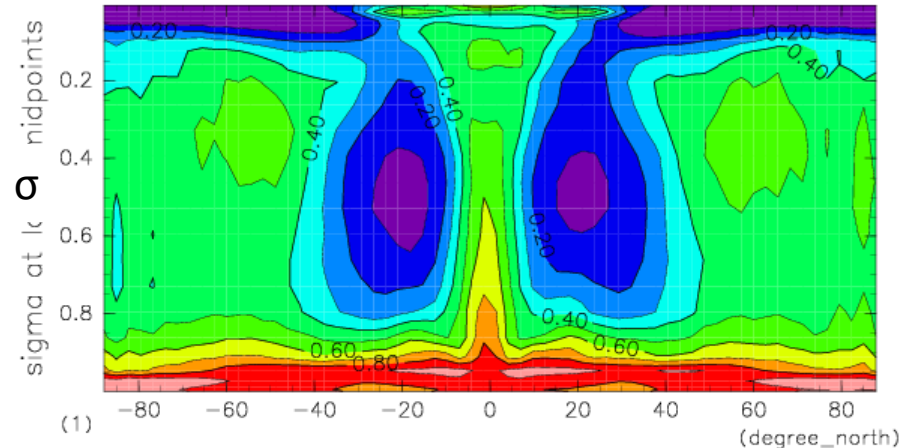


緯度

CONTOUR INTERVAL = 1.000E-01

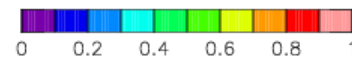


S1800



緯度

CONTOUR INTERVAL = 1.000E-01



1年平均

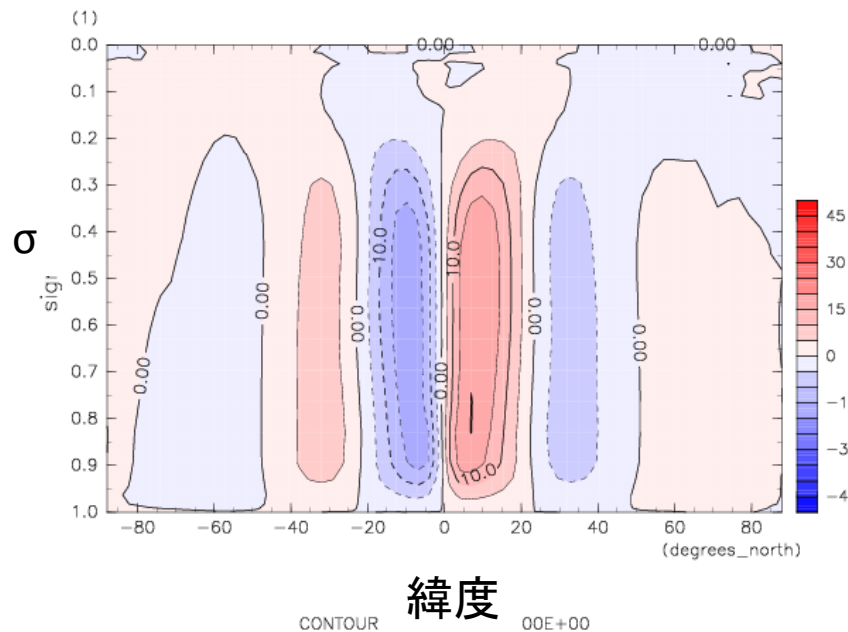
(どれだけ意味があるかわからないけど)

# ハドレー循環

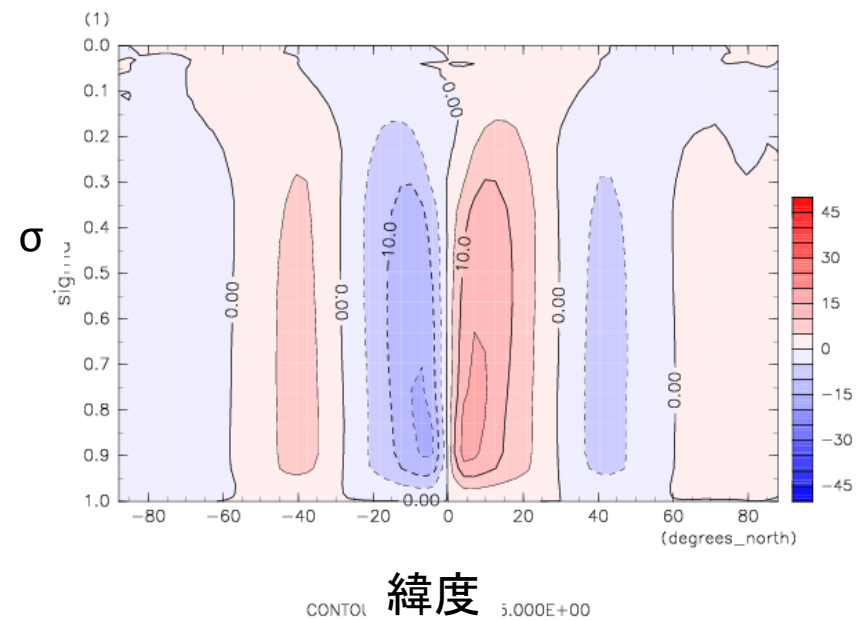
- ハドレー循環の緯度幅は変わらない

- Held and Hou (1980), Satoh (1993)の理論と整合的？

S1366

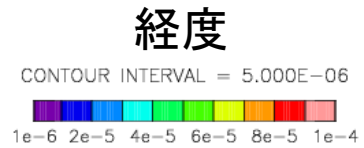
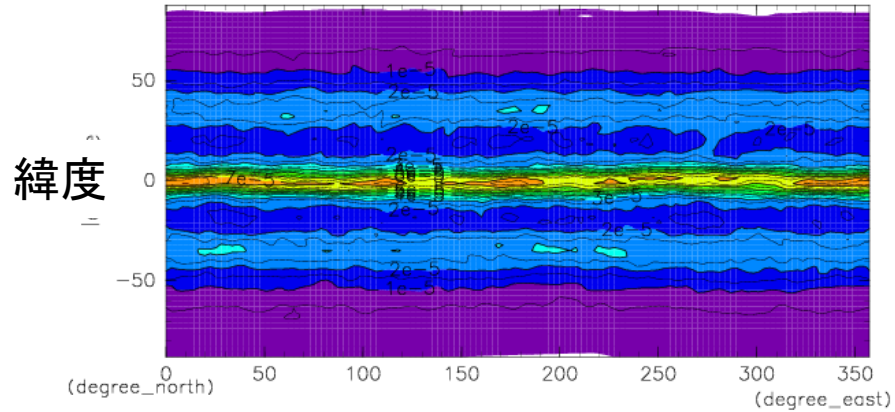


S1800

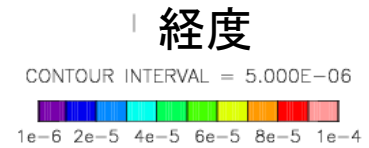
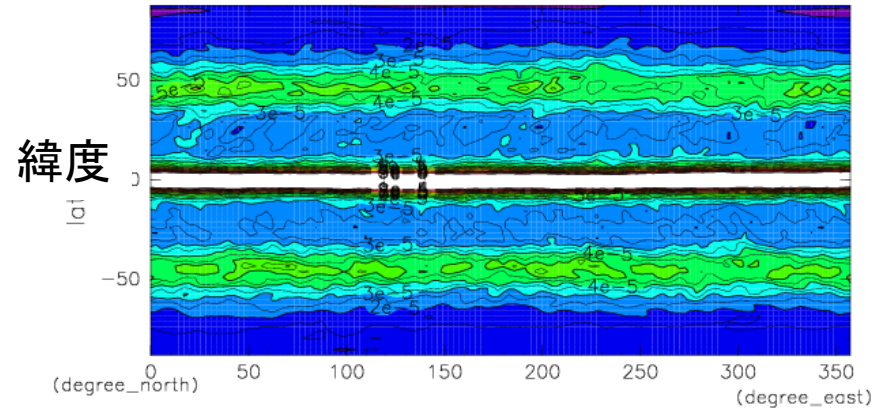


# 降水分布

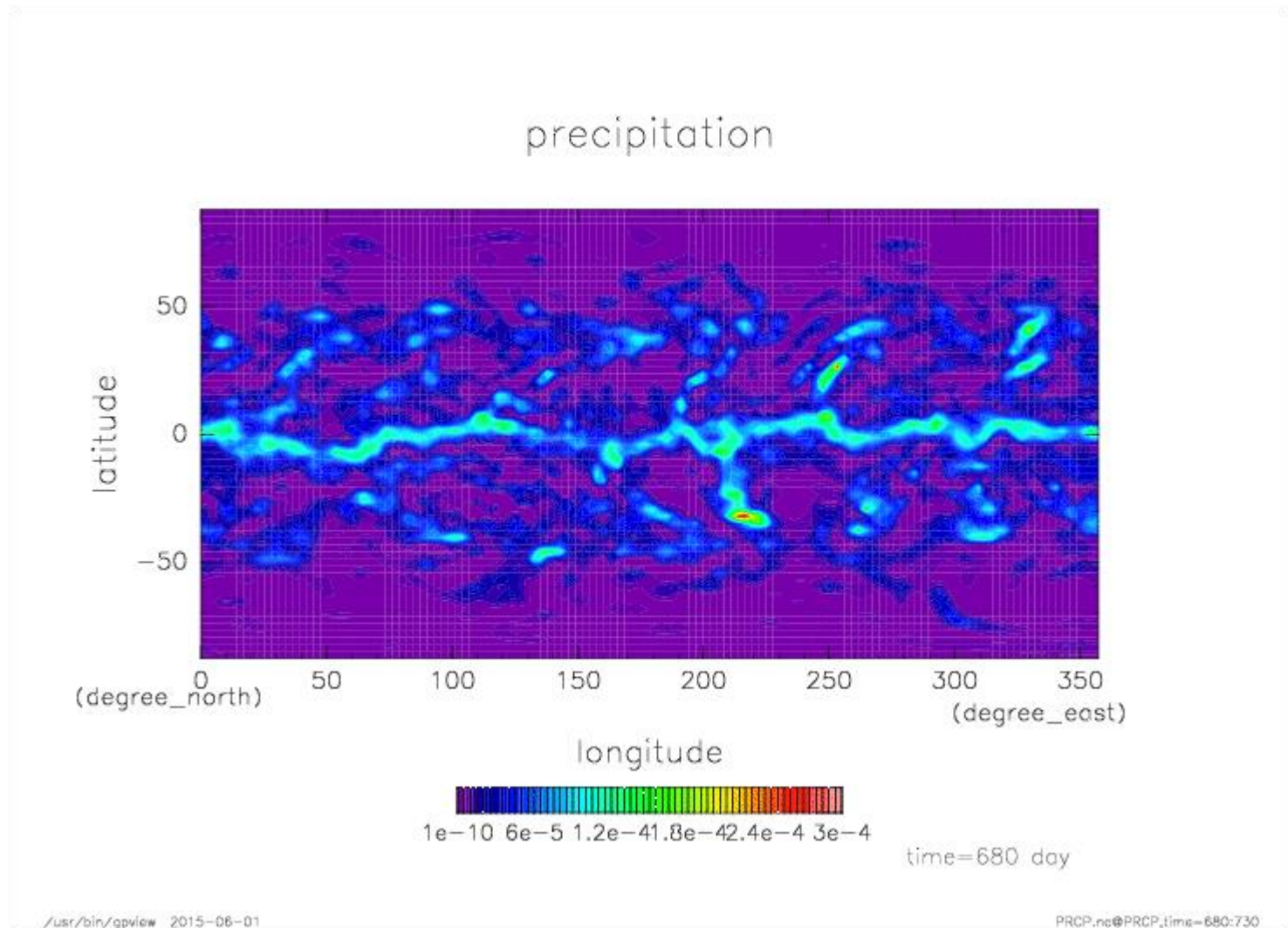
S1366



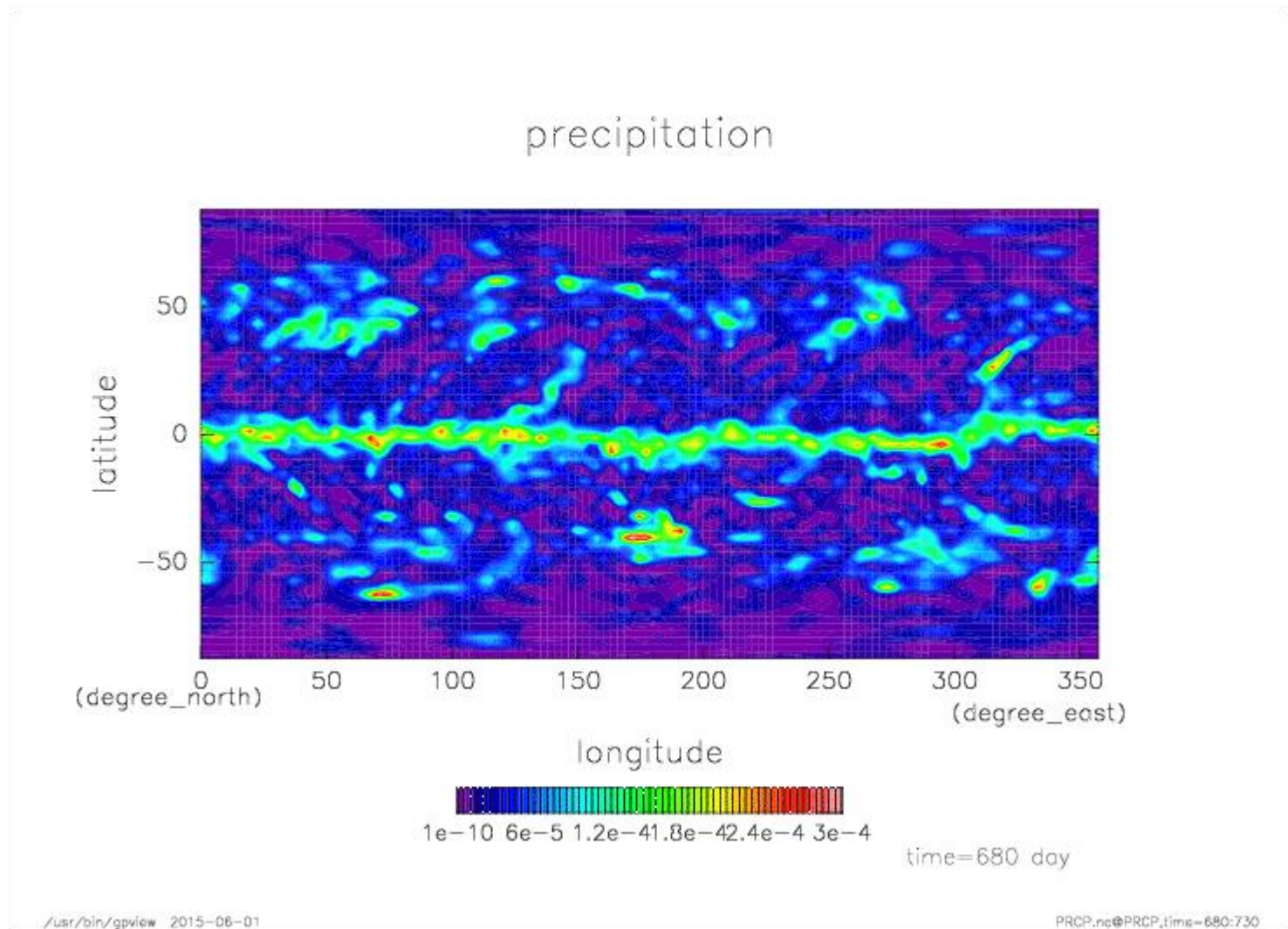
S1800



# 降水分布の動画 (S1366)



# 降水分布の動画 (S1800)

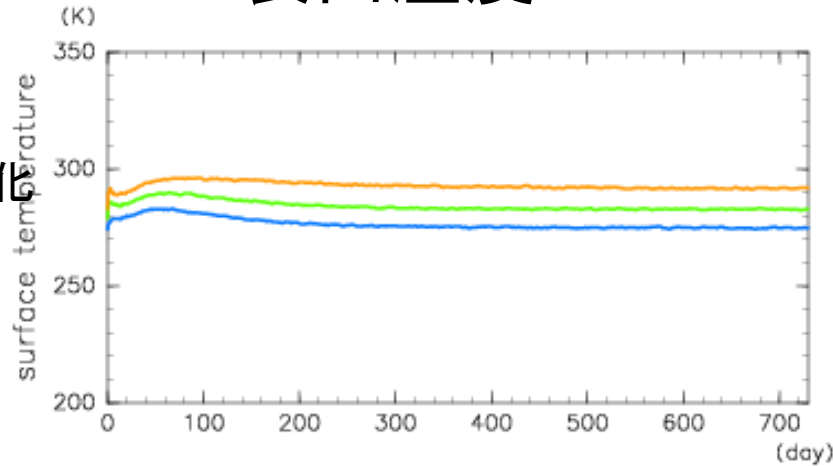


太陽定数増加  
における大気の状態：  
季節変化ありの場合



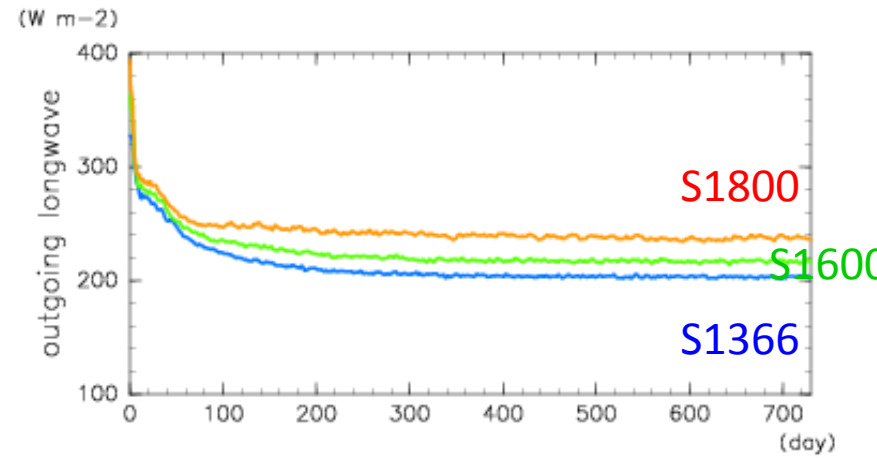
# 表面温度・OLRの時間変化

## 表面温度



時間(日)

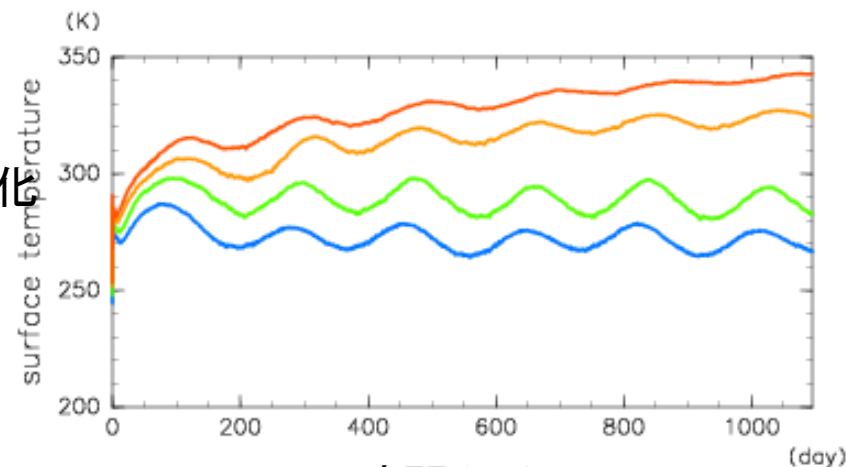
## OLR



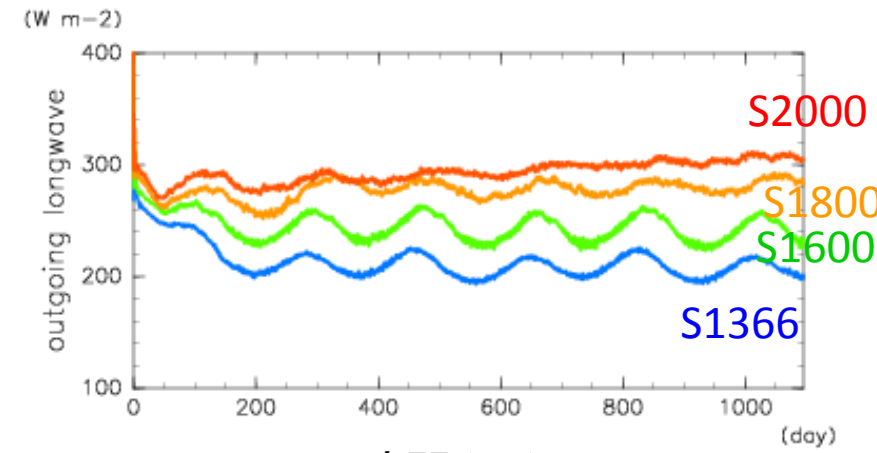
時間(日)

季節変化  
無し

季節変化  
あり



時間(日)



時間(日)

S2000

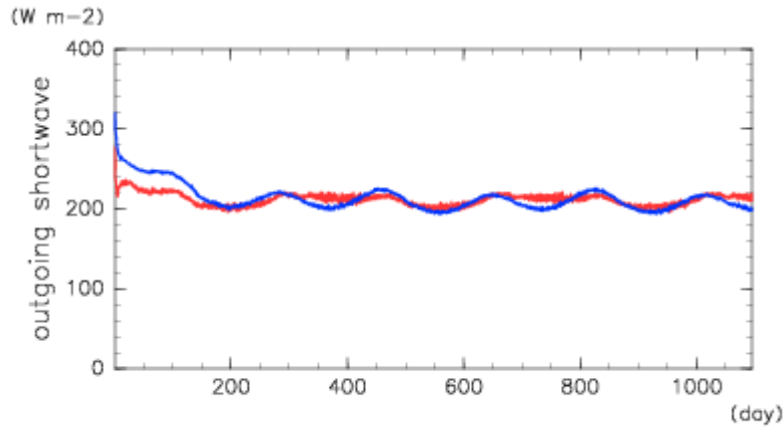
S1800

S1600

S1366

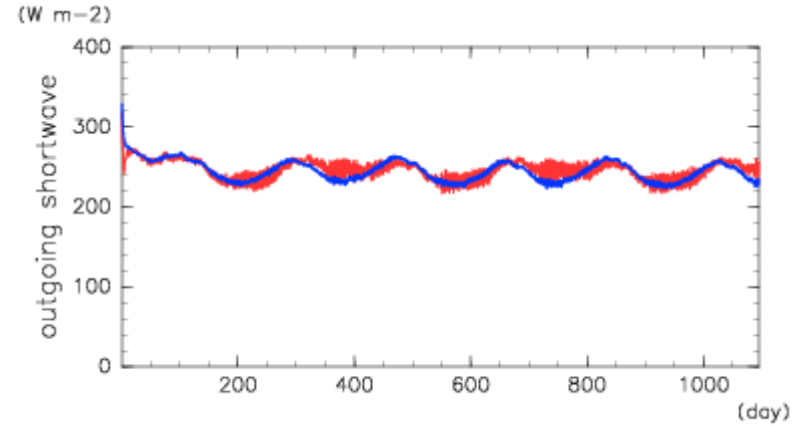
# 日射吸収量と惑星放射量

## S1366



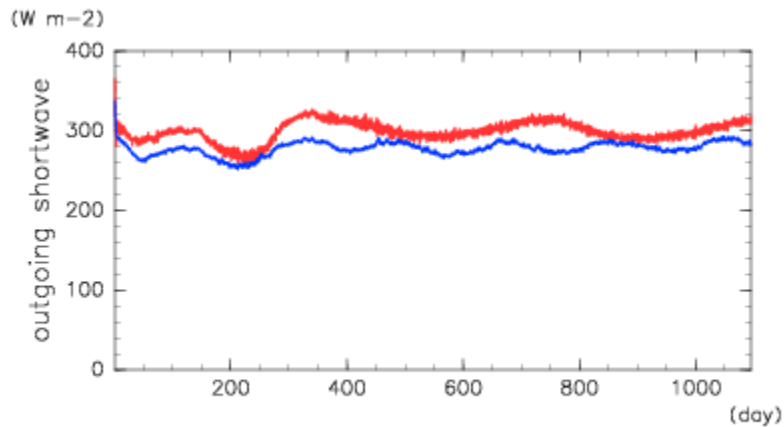
時間(日)

## S1600



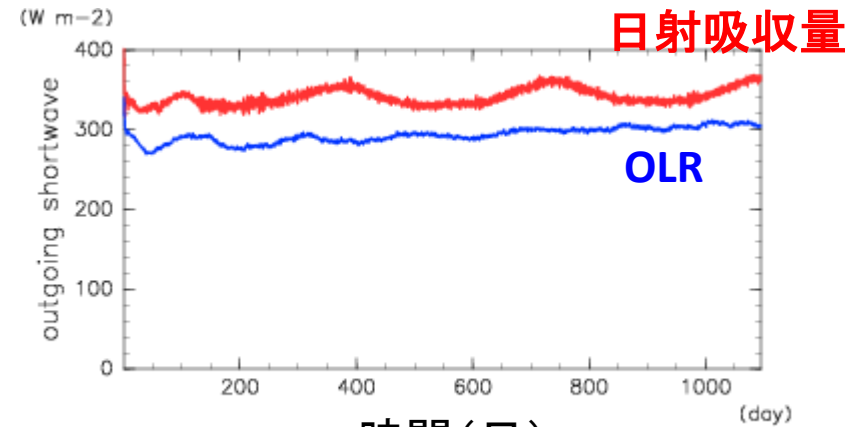
時間(日)

## S1800



時間(日)

## S2000



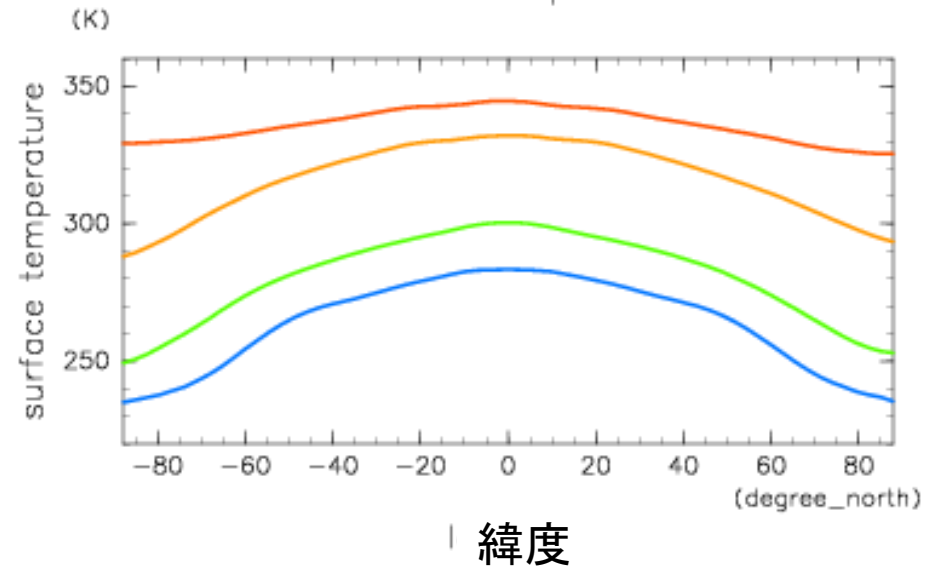
時間(日)

季節変化あり

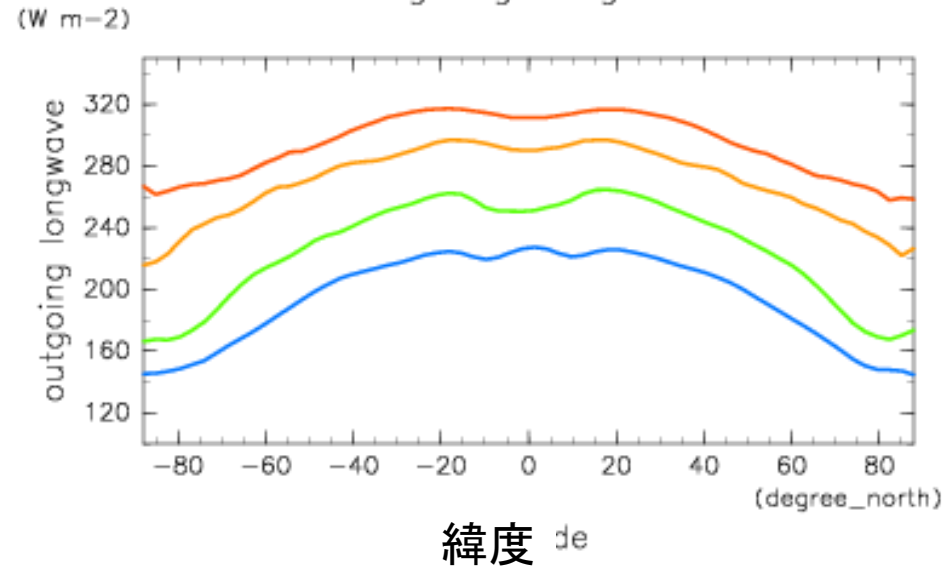


# 表面温度・OLR南北分布

表面温度  
surface temperature



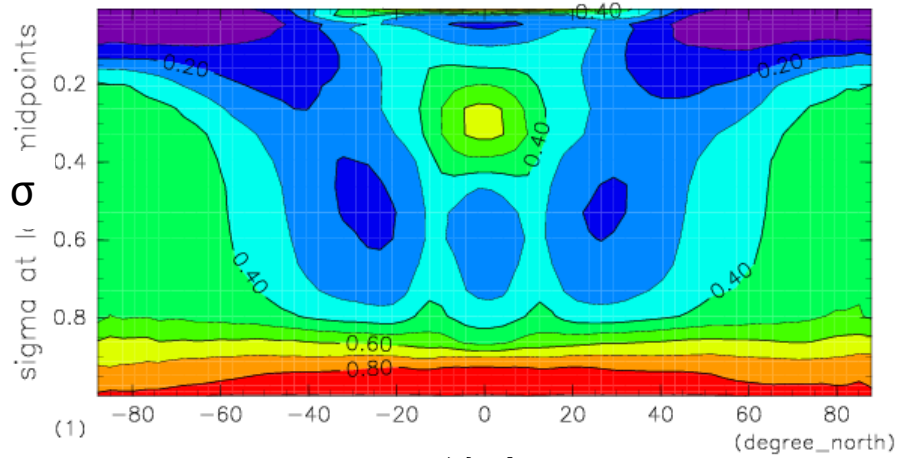
OLR  
outgoing longwave



季節変化あり

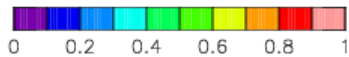
# 相对湿度

S1366

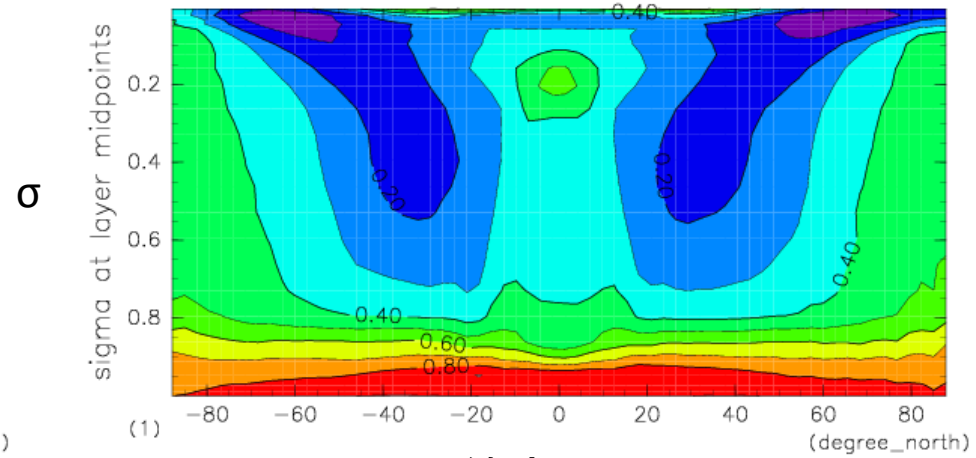


緯度

CONTOUR INTERVAL = 1.000E-01

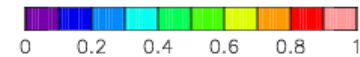


S1600



緯度 de

CONTOUR INTERVAL = 1.000E-01



1年平均

(どれだけ意味があるかわからないけど)

# まとめ

- **GCMによる太陽定数増加実験**
  - 平衡状態にあるうちは循環パターンは大まかには変わらないように見える
  - 太陽定数増加により、降水は増加。亜熱帯における乾燥化が起こるかどうかは設定によって変わらうる？
- **過去の地球の気候を計算するために考えるべきモデル設定**
  - 大気中のCO<sub>2</sub>量
  - 海、海氷、雲
  - 陸面（分布、陸面過程）