

# AFES を用いた 地球型惑星の大気大循環 シミュレーション

**プロジェクト責任者**

林祥介(北海道大学大学院理学研究院)

**主要参加機関**

北海道大学、東京大学、京都大学、  
神戸大学、九州大学

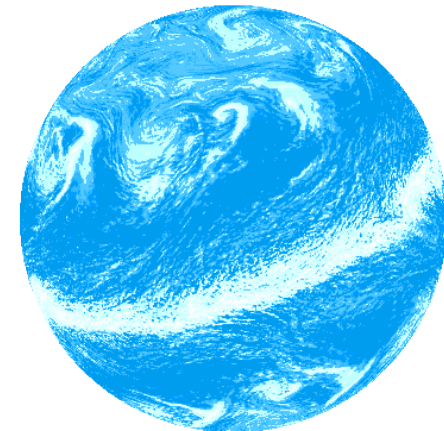
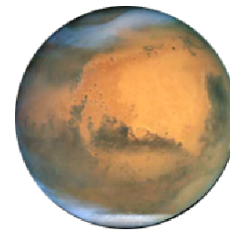
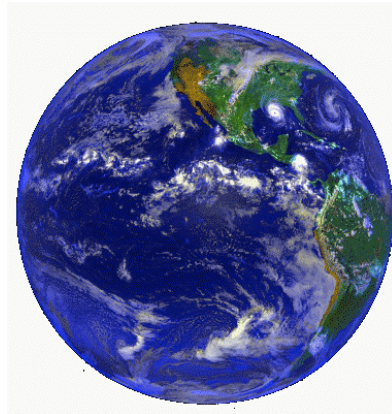
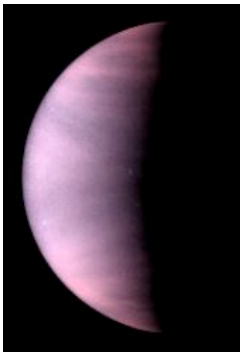
**協力機関**

地球シミュレータセンター

# 研究目的

---

- 惑星大気循環構造の多様性の理解を目指す。
  - 火星, 金星, 水惑星(地球の全球を海で覆った仮想的な惑星)における大気大循環の個別の数値実験



# 高解像度実験で目指すもの

---

## □ 火星大気数値実験

- 観測の難しい中小規模擾乱(数百キロメートル以下)の表現
- それらによる自然なダスト巻き上げ過程の表現

## □ 水惑星数値実験

- 赤道降水活動領域の階層構造の表現
  - クラウドクラスターとスーパークラスターの分離

## □ 金星大気数値実験

- 鉛直波長の小さい熱潮汐波, 重力波の表現
- 人工的な粘性効果の低減

# モデル

---

- 力学過程 (流体運動の記述)
  - AFES (AGCM (Atmospheric General Circulation Model) for the Earth Simulator, Ohfuchi et al., 2004)
    - CCSR/NIES AGCM version 5.4.02 を元に地球シミュレータ向けに最適化
    - “伝統的/古典的”なスペクトルモデル, セミインプリシット時間積分
  
- 物理過程 (流体運動以外の記述)
  - 火星, 金星独自の物理過程モジュールを開発
  - AFES と組み合わせることで各惑星大気実験を実施

# 計算性能(例)

---

## □ 火星モデル解像度 T319L96<sup>†</sup> の実験

使用ノード数	40 node
メモリサイズ	180 GB
ベクトル化率	99.015%
並列化率	99.978%
CPU 時間	10 火星日積分/12 時間

<sup>†</sup>格子間隔~22 km; Nx=960, Ny=480, 鉛直 96 層

# 火星物理過程モジュール

---

- Takahashi et al. (2003, 2006) の火星モデルの物理過程
  - 放射 ( $\text{CO}_2$ , ダスト)
  - 乱流混合 (Mellor and Yamada [1982] level 2.5)
  - 地面過程
  - $\text{CO}_2$  相変化過程 (熱, 質量に対する効果を含む)
  - ダスト巻き上げ過程 (Newman et al., 2002)
  - ダストの重力沈降過程

# 火星実験, 循環構造

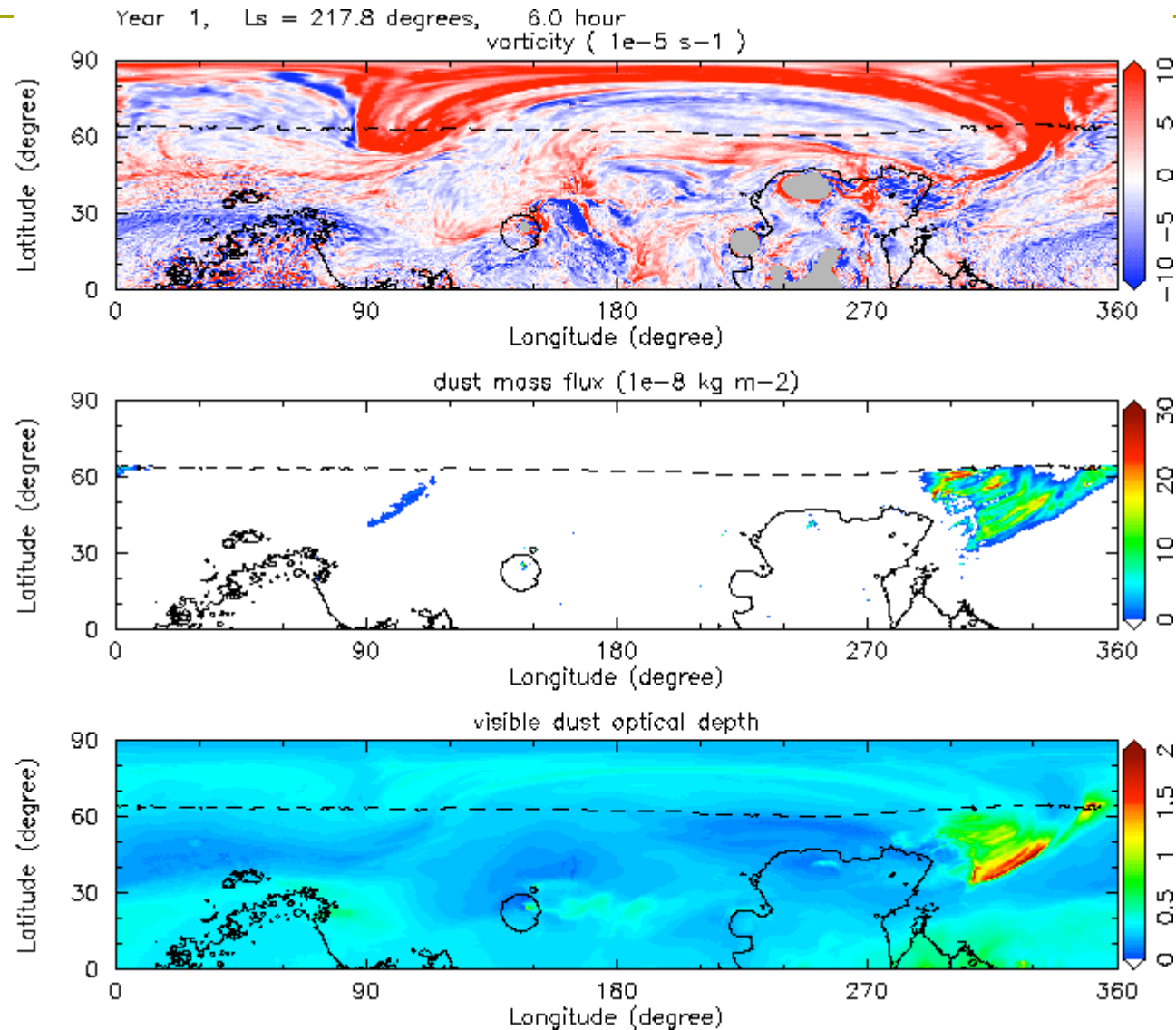
T319L96 (格子間隔~22 km)

---

□ 循環構造(渦度): 動画 

# 火星実験, ダストストーム

## T319L96 (格子間隔~22 km)



# 火星実験：まとめ

---

- T319L96 (格子間隔~22 km) の解像度で、北半球の秋の季節における火星大気大循環実験を行った。
- 傾圧波動に伴う前線構造、地形性の中規模擾乱、小規模渦といった大気擾乱が見られた。
  - 山岳の風下で見られた中規模渦は、平均流と山岳の相互作用と、日変化する局地循環によって形成されていることが示された。
- 傾圧波動に伴う前線における強風がダストを巻き上げることが示された。
  - その結果として巻き上げられたダストは、しばしば探査機によって観測されるようなダストストームとして発達する。
  - ただし、ダスト供給効率はモデルのチューニングパラメタ(ダスト巻き上げ閾値はマイクロな経験式)
- 中規模山岳周辺の大気擾乱が局所的なダスト巻き上げに寄与していることが示唆された。

# 水惑星実験概要

- AFES 標準物理過程を使用
- 積雲パラメタリゼーション
  - non (積雲スキーム使用せず, 大規模凝結スキームで降水)
  - eml (Emanuel スキーム)
- SST 分布
  - 水惑星国際比較実験 提唱 control 分布
    - 南北対称・東西一様分布
- 解像度

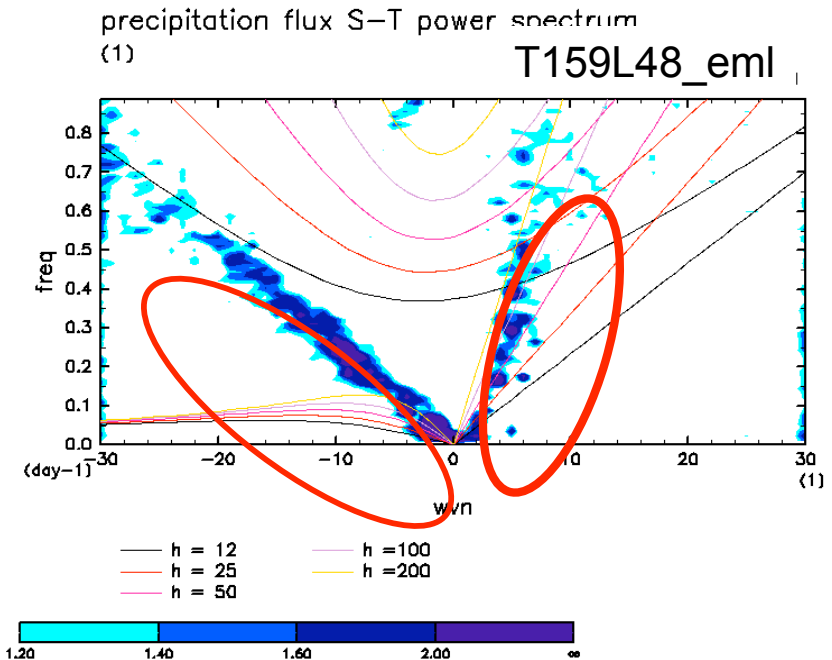
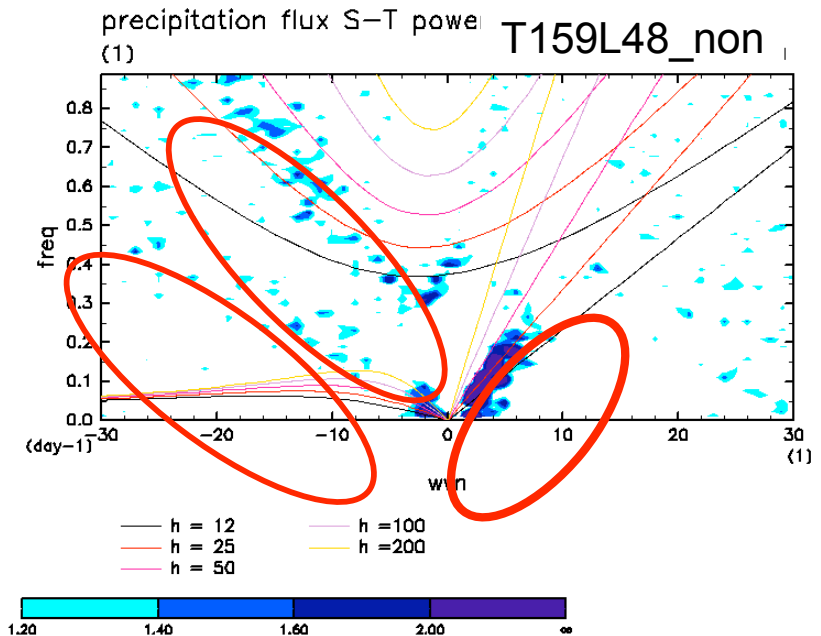
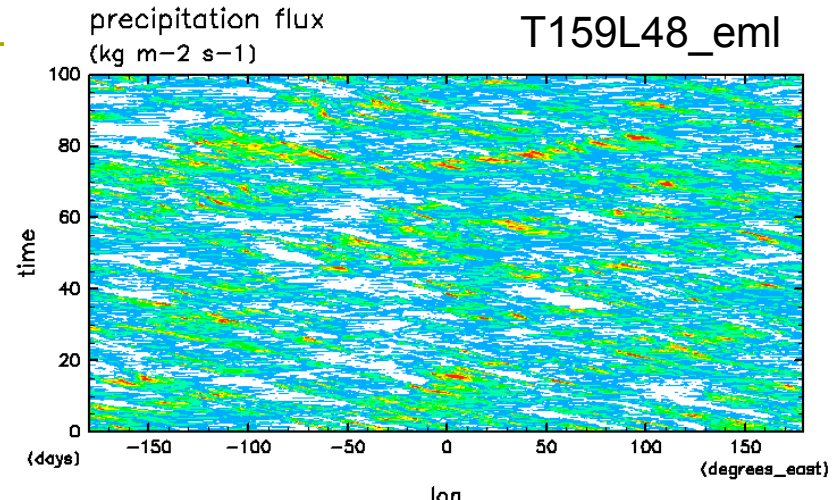
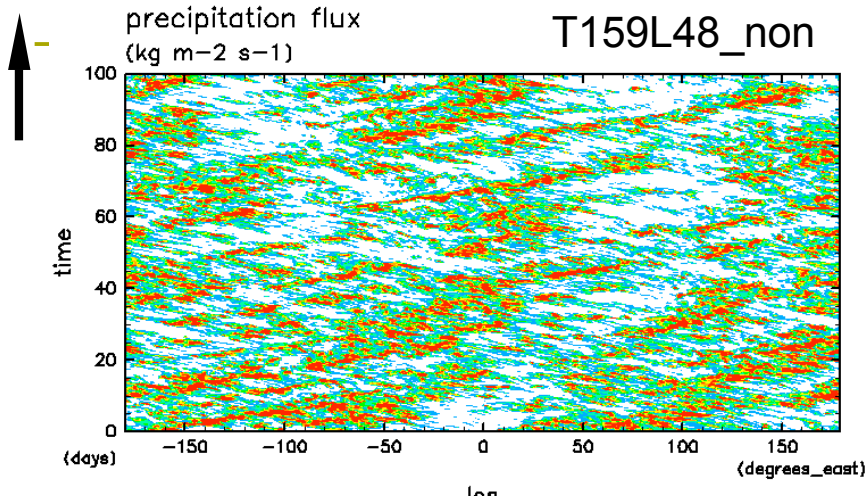
鉛直 \ 水平	T39	T79	T159	T319
24 Level	T39L24			
48 Level	T39L48	T79L48	T159L48	T319L48
96 Level	T39L96			

T39, 79, 159, 319 はそれぞれ格子間隔 333, 167, 83, 42 km に相当.



# 水惑星実験, 積雲スキーム比較

## T159L48\_non, eml



# 水惑星実験, 降水帯の鉛直構造

T159L48\_non

---

- 潜熱加熱, 比湿, 温度 : 動画 

# 水惑星実験：まとめ

---

- 様々な解像度 (T39, 79, 159, 319, L48) で水惑星実験を行った。
  - Emanuel スキームおよび積雲スキーム無し.
- 積雲無し実験では,
  - 解像度向上に伴い階層性が表現.
    - 移流される西進構造と wave-CISK 的東進構造とがスケールの分離？
    - 東進構造は Kelvin wave-CISK 的な循環構造を持つ？
- Emanuel スキーム実験でも,
  - 階層性が見られるようだ.

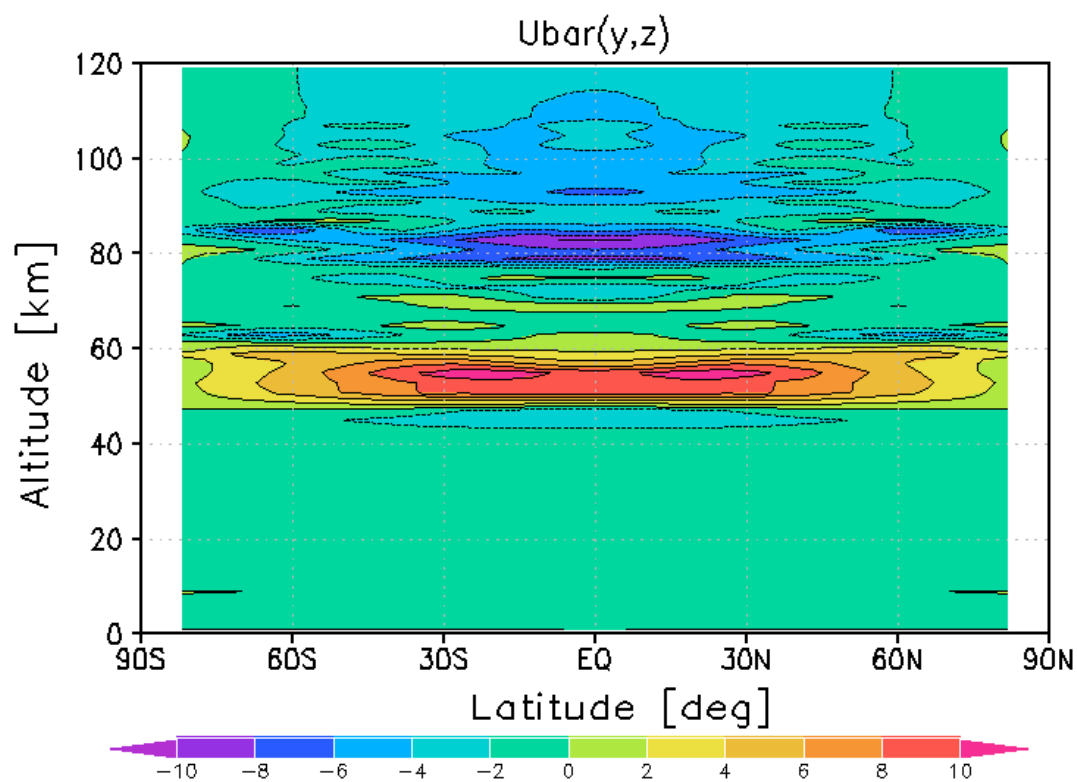
# 金星物理過程モジュール

---

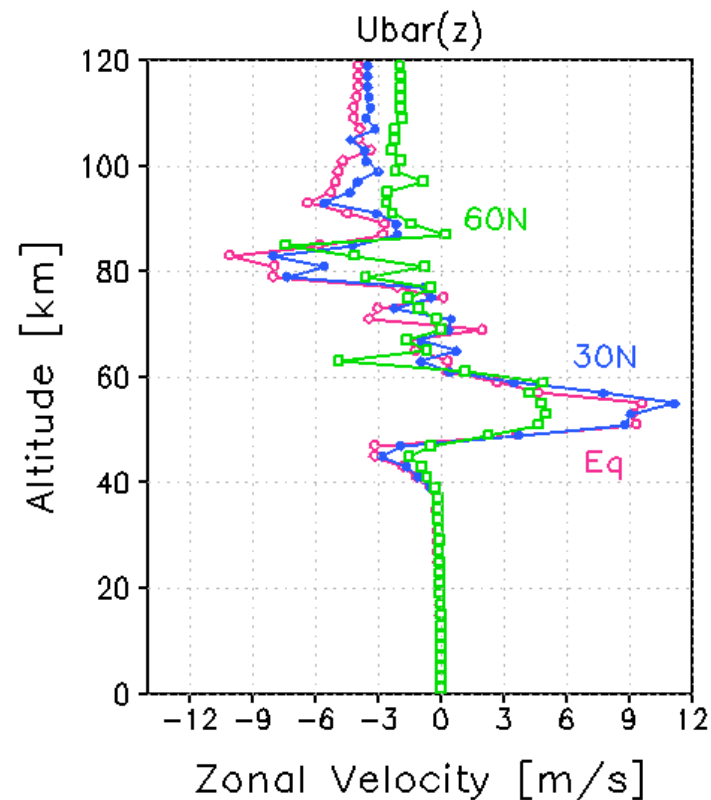
- 熱潮汐波メカニズムのAFES/ESによる検証
  - 現実的な太陽加熱の強度・分布 (Tomasko et al. 1980; Crisp 1986)
  - 長波放射はニュートン冷却で簡略化 (Crisp 1989)
    - 金星大気の高温・高圧を考慮した精密化を計画中
  - 地表面摩擦 (地形なし)
  - レーリー摩擦なし
    - 過去のモデルは上層のレーリー摩擦が角運動量を供給 (Newman and Leovy 1992; etc)
  - 観測に基づく現実的な基本場 (Seiff et al. 1985)

# 金星実験：結果

積分時間25地球年における平均東西流の分布



高度 50-60 km にスーパーローテーションの形成 (12 m/s 程度)



高度 90-100 km に臨界高度

# 金星実験：まとめ

---

- 金星物理過程モジュールを AFES に実装した.
- 金星モデルを用いて予備的な数値実験を開始した.

# 本年度の成果

---

## □ 火星大気数値実験

- 水平解像度 ~22 km での高解像度実験
  - 中小規模擾乱の表現
  - 傾圧波動に伴うダストストームの再現

## □ 水惑星数値実験

- 様々な解像度, 積雲パラメタリゼーションを用いない実験
  - 水平解像度向上に伴い、東進構造と西進構造とがスケール的に分離され、階層的構造が表現

## □ 金星大気数値実験

- 金星物理過程モジュールを AFES に実装

# 今後の挑戦課題

---

- 火星大気数値実験
  - 異なる季節における高解像度実験
    - 異なる季節の中小規模擾乱の理解
  - 長期間積分
    - 中小規模擾乱の惑星規模循環への影響の評価
- 水惑星数値実験
  - 積雲パラメタリゼーション依存性探査
  - 国際水惑星比較実験
- 金星大気数値実験
  - 長期間積分
    - スーパーローテーションの再現
  - モデルの精密化
    - 放射過程 (CO<sub>2</sub>の赤外吸収の最新データ)
    - 乱流パラメタリゼーションによるモデルの高度化