

# 火星境界層乱流 のLES実験

西澤誠也<sup>1</sup>, 八代尚<sup>1</sup>, 宮本佳明<sup>1</sup>, 小高正嗣<sup>2</sup>, 高橋芳幸<sup>3</sup>, 林祥介<sup>3</sup>, 富田浩文<sup>1</sup>,  
竹広真一<sup>4</sup>, 石渡正樹<sup>2</sup>, 中島健介<sup>5</sup>, 佐藤陽祐<sup>1</sup>, 杉山耕一郎<sup>6</sup>,  
Team SCALE, 地球流体電脳倶楽部

1.AICS, 2.北海道大学, 3.CPS, 4.京都大学, 5.九州大学, 6.ISAS

# はじめに

- 火星境界層

- 太陽光の地表面加熱により活発な乱流活動
- 大気と地表面間の熱・運動量・物質交換 (ダスト巻き上げ)

- 数値実験

- 境界層内の流れの時間・空間スケールは小さい → LES実験
- 等方乱流には等方格子が好ましい
  - ・ ほとんどの研究では、格子の鉛直・水平解像度が異なる
- 変動は、解像度/ドメインサイズに依存 (Spiga et al. 2010)

境界層内の乱流の性質をちゃんとおさえる

等方格子で、解像度に対する依存性・収束性を調べる

# Model



- SCALE-LES ver. 3
  - RIKEN AICS で開発中のLarge-Eddy Simulation (LES) モデル
  - 超並列計算機での高い並列性能 (弱並列効率 99%@「京」)
  - 計算機科学の専門家とのコデザインによる開発
  - オープンソースとして公開予定 (<http://scale.aics.riken.jp/>)
- 構成
  - 力学過程 (非静力)
    - 完全陽解法
    - 有限体積法 (Arakawa-C 格子)
    - 4次中央差分 + FCT, 3次陽的ルンゲ・クッタ
  - 物理過程
    - サブグリッド乱流
    - 地表面乱流フラックス
    - 雲微物理
    - 放射



# 実験設定



- 物理過程

- SGS乱流モデル: Smagorinsky-Lilly type, Brown et al. (1994)
- 地表面フラックス: Louis (1979), Uno et al. (1995)
- 放射, 地表面温度(offline計算): Odaka et al. (2001) (1Dモデル)

- 実験設定

- 計算領域: 24km x 24km x 20km
- 下端境界: 平坦地形, 粗度一定
- 大気: 乾燥条件

- 初期値

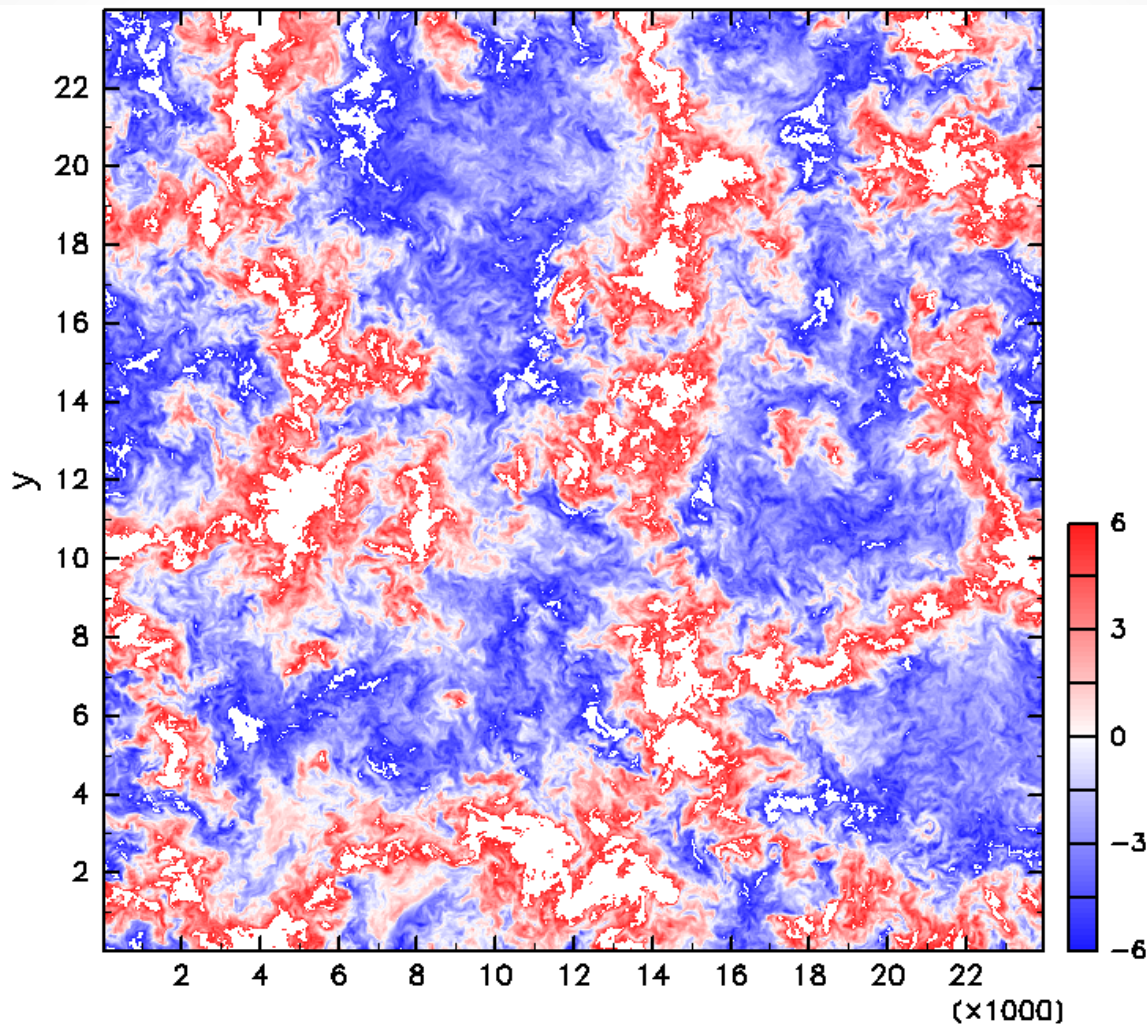
- 鉛直温度分布(Odaka et al. 2001), 静止 (+擾乱)
- 00:00 ローカルタイム



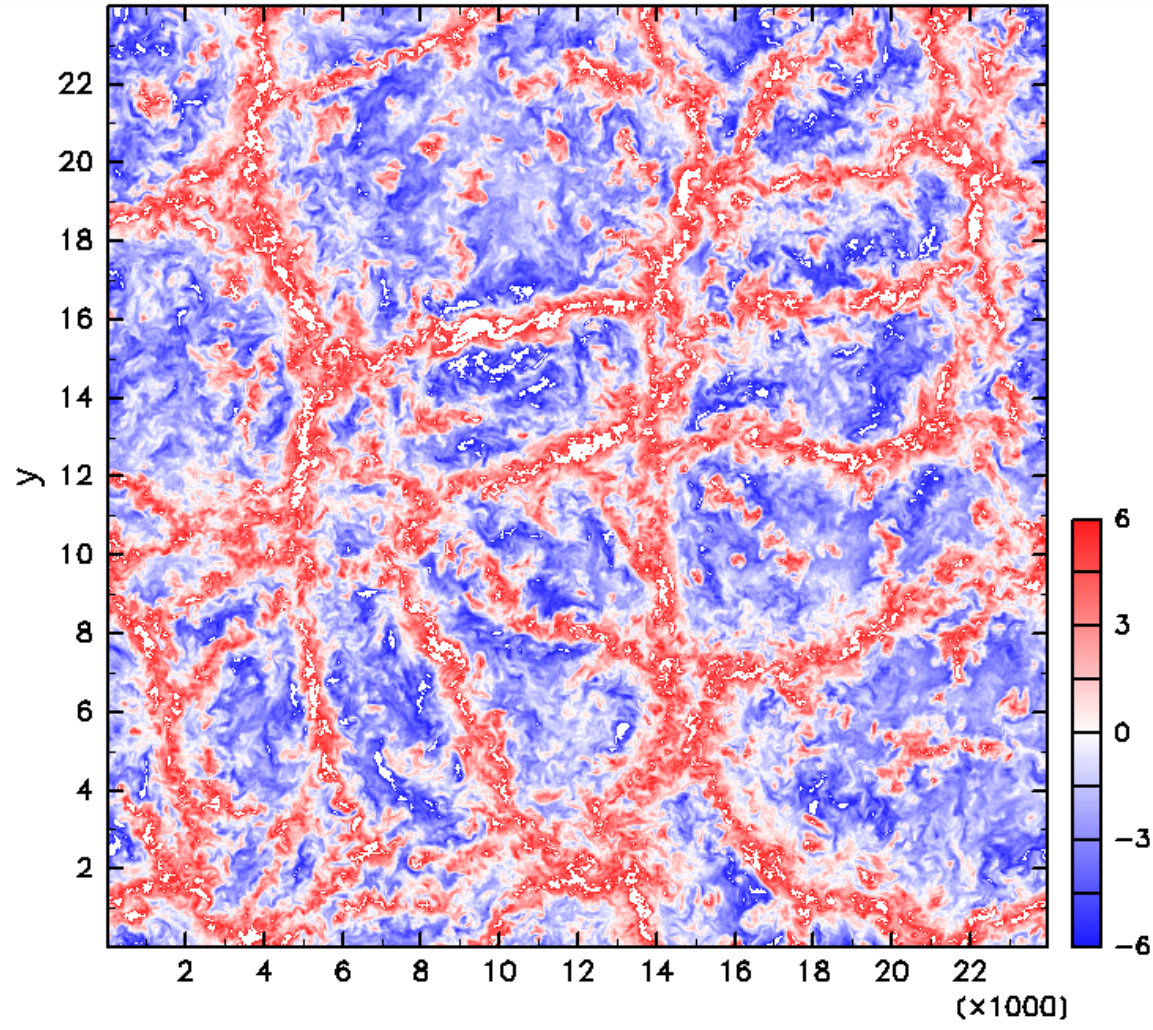
## • 実験パラメター

- 光学的厚さ ( $\tau$ ): 0.0, 0.2, 1.0 (放射加熱分布の違い)
- 解像度 ( $\Delta xyz$ ): 100m, 50m, 25m (等方格子)

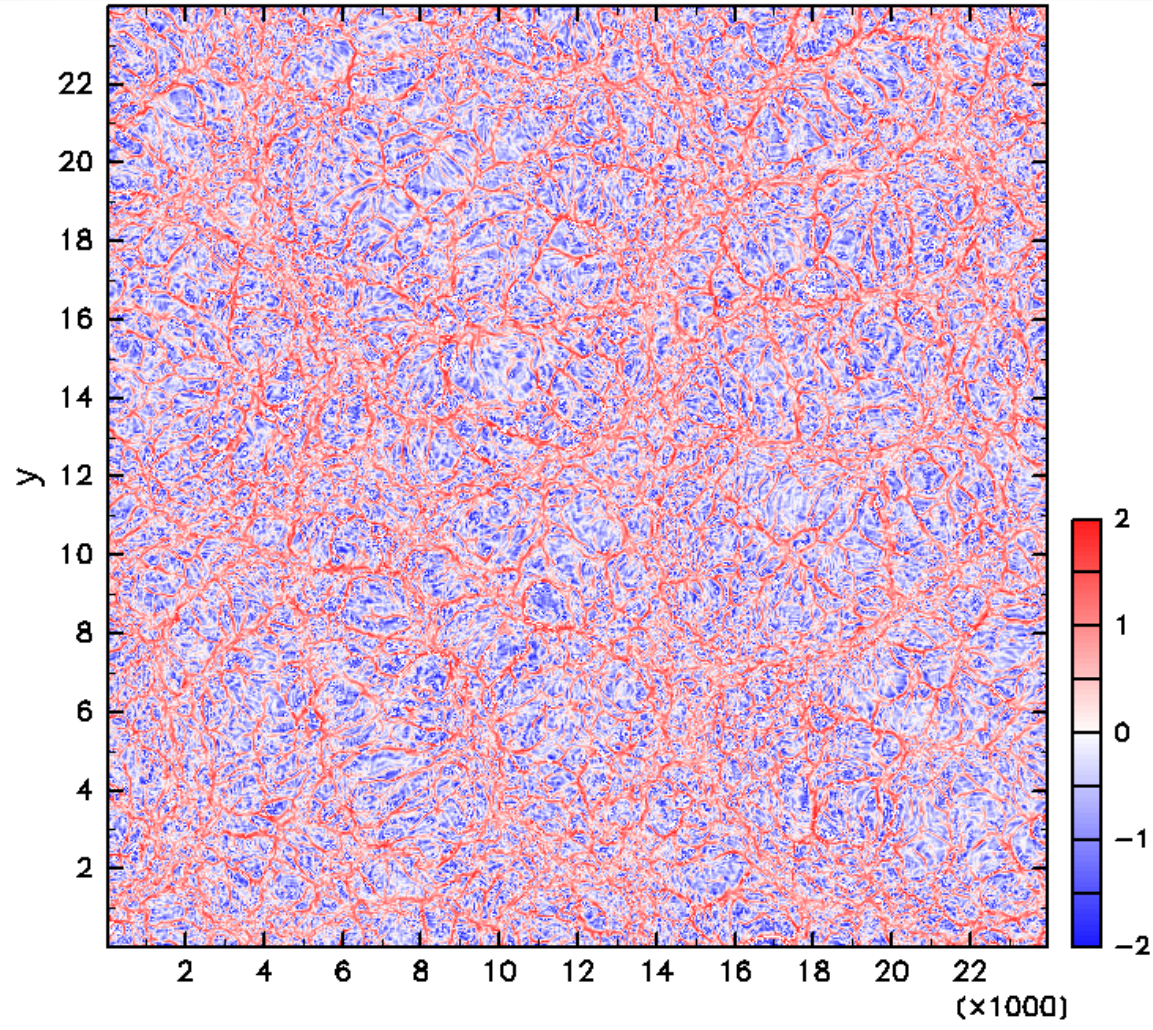
# 対流セル水平構造



$\tau=0.2$ ,  $\Delta xyz=25\text{m}$ ,  $z=2\text{km}$ ,  $t=14:00$



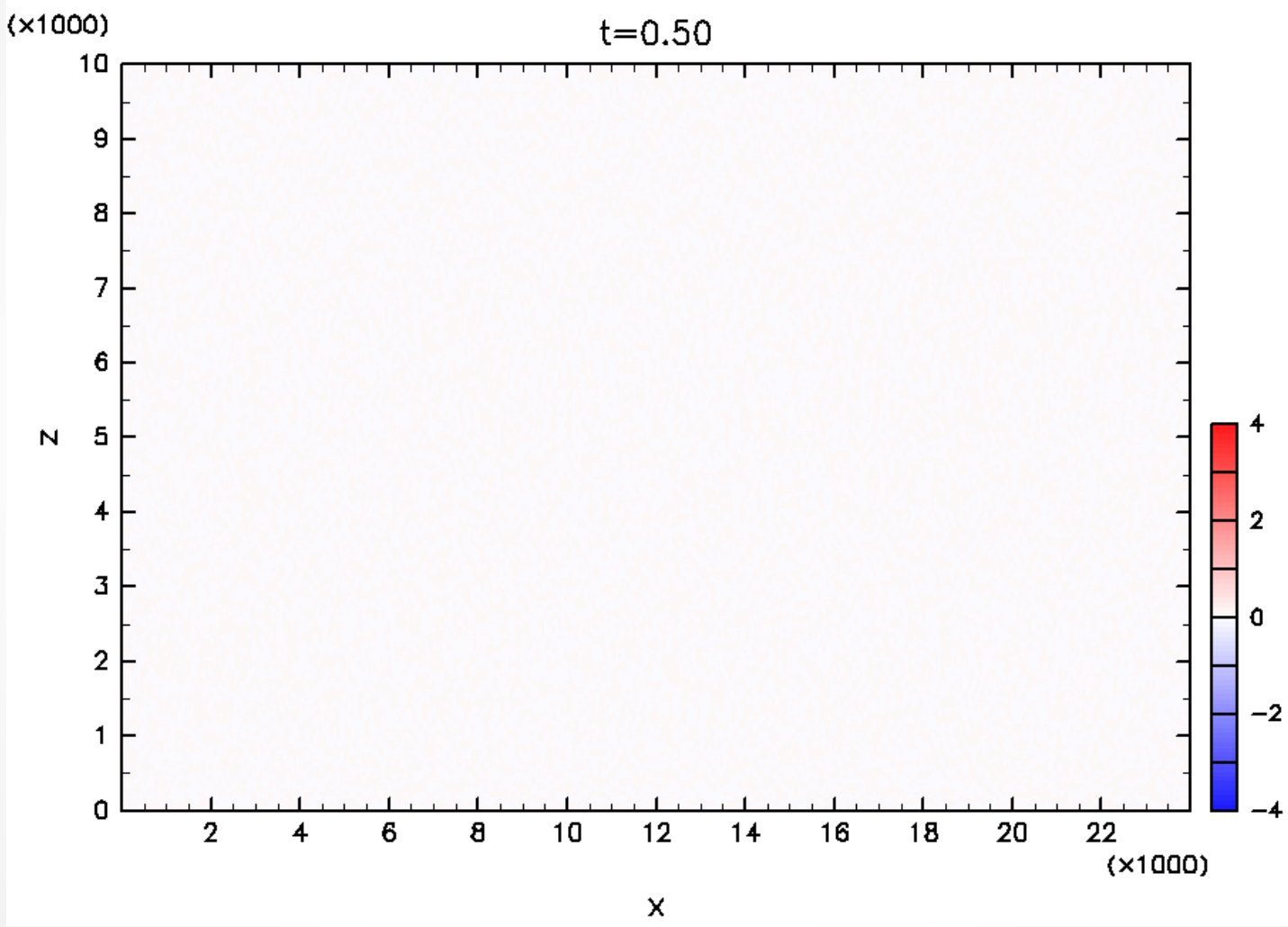
$\tau=0.2, \Delta xyz=25m, z=500m, t=14:00$



$\tau=0.2, \Delta xyz=25m, z=13m, t=14:00$

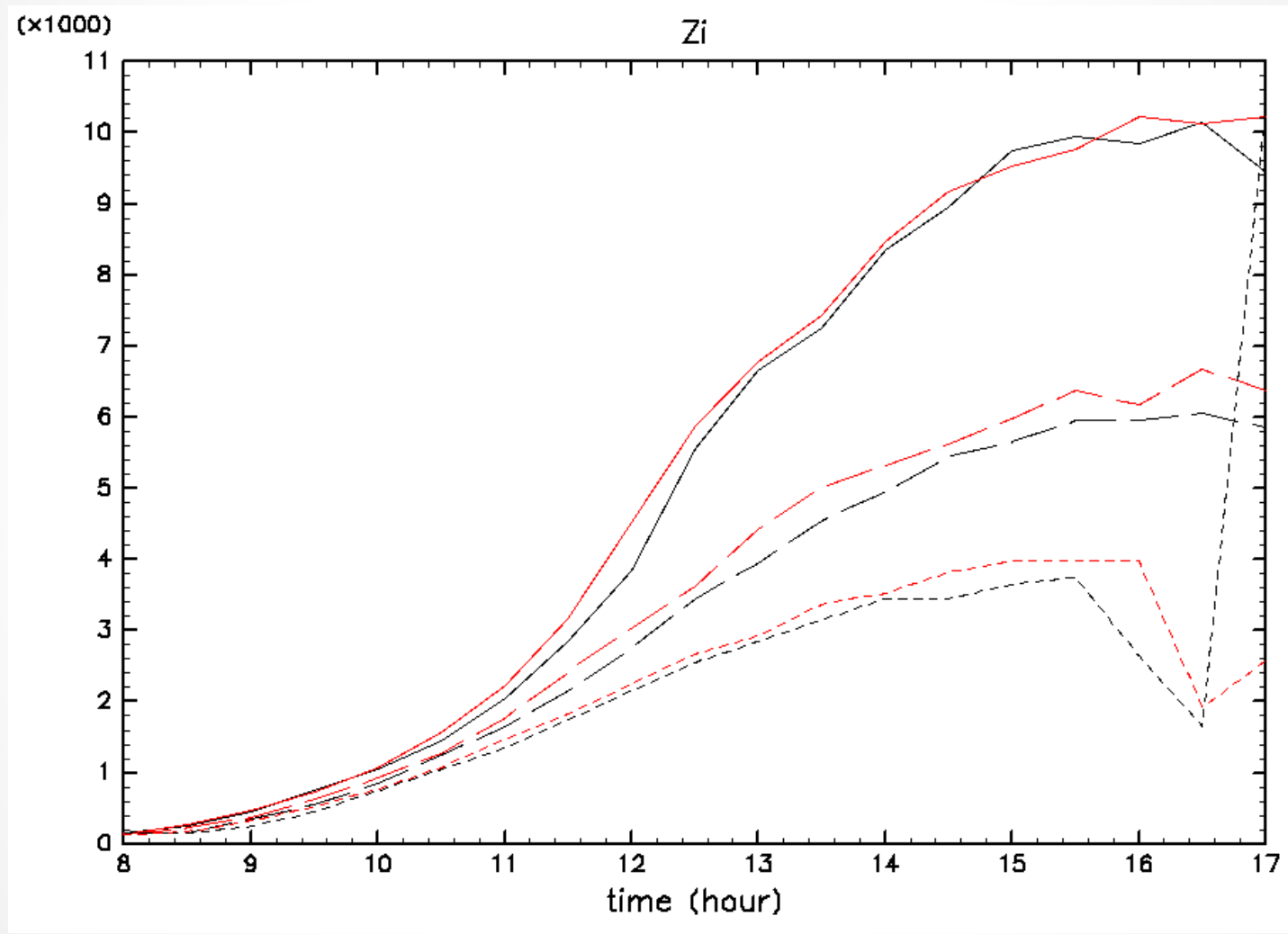


# 温位擾乱



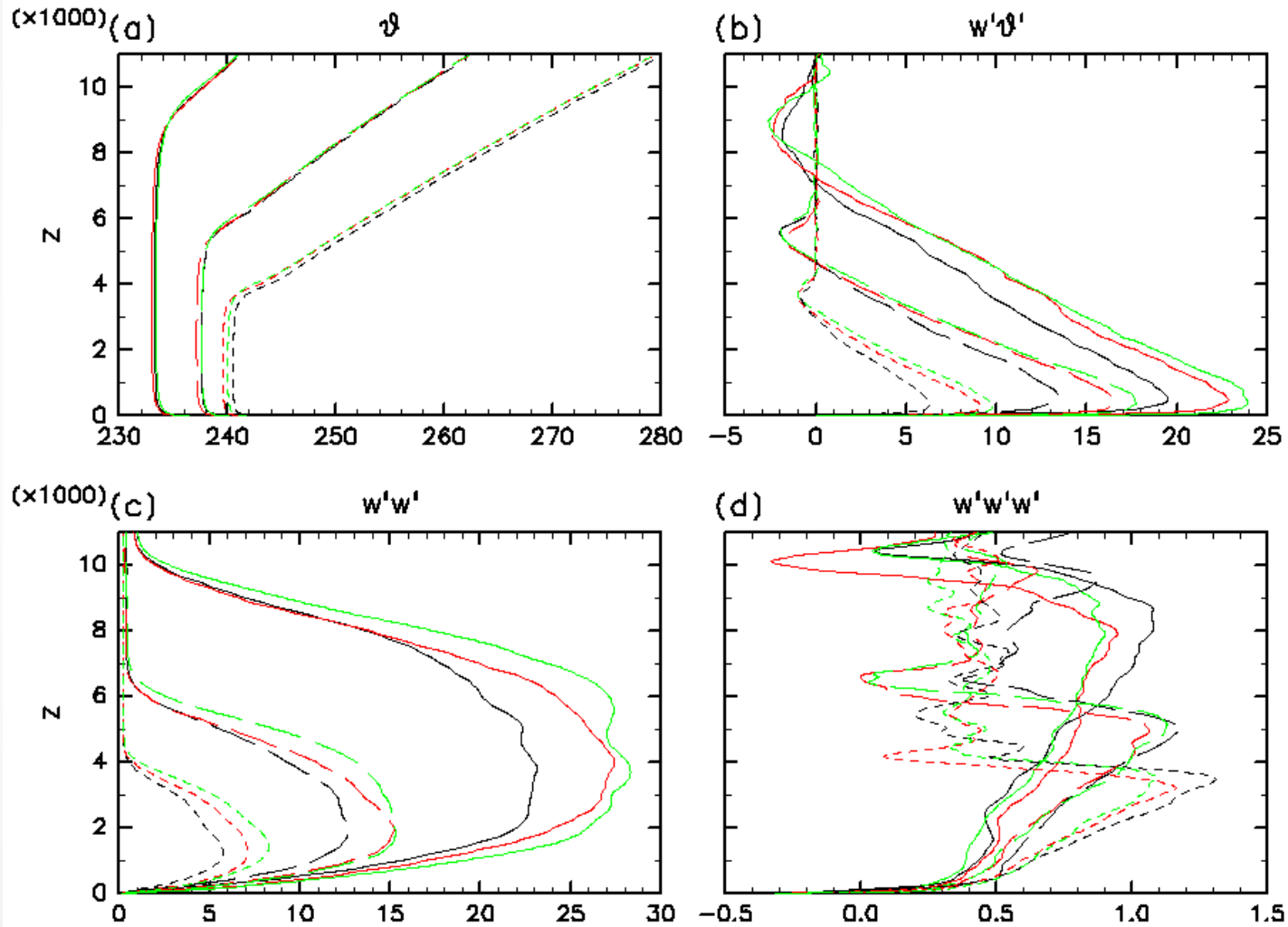
$\tau=0.2, \Delta xyz=25m, y=0$

# 境界層深さ



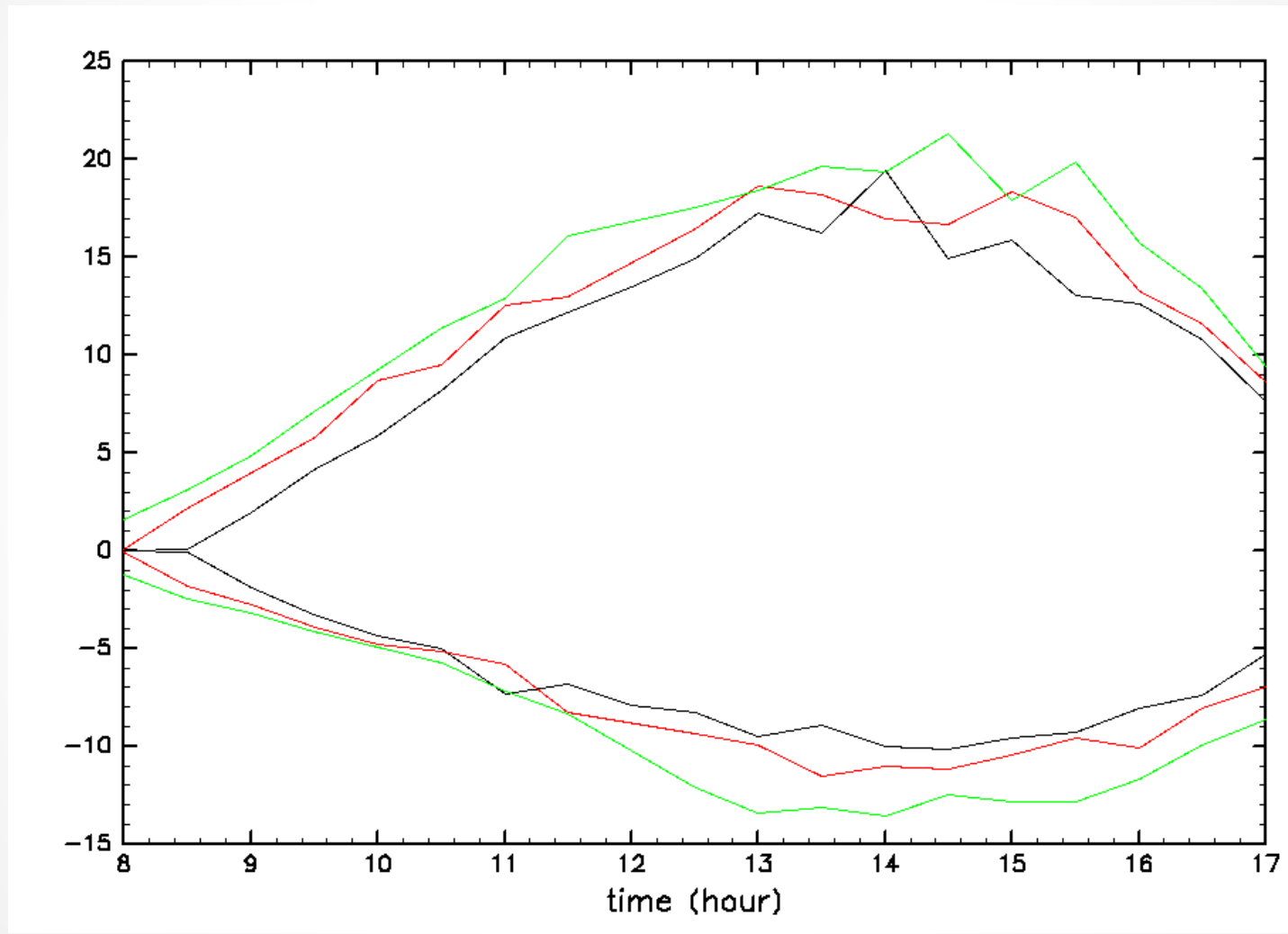
$\Delta xyz = 100m, 50m$

# 乱流統計量



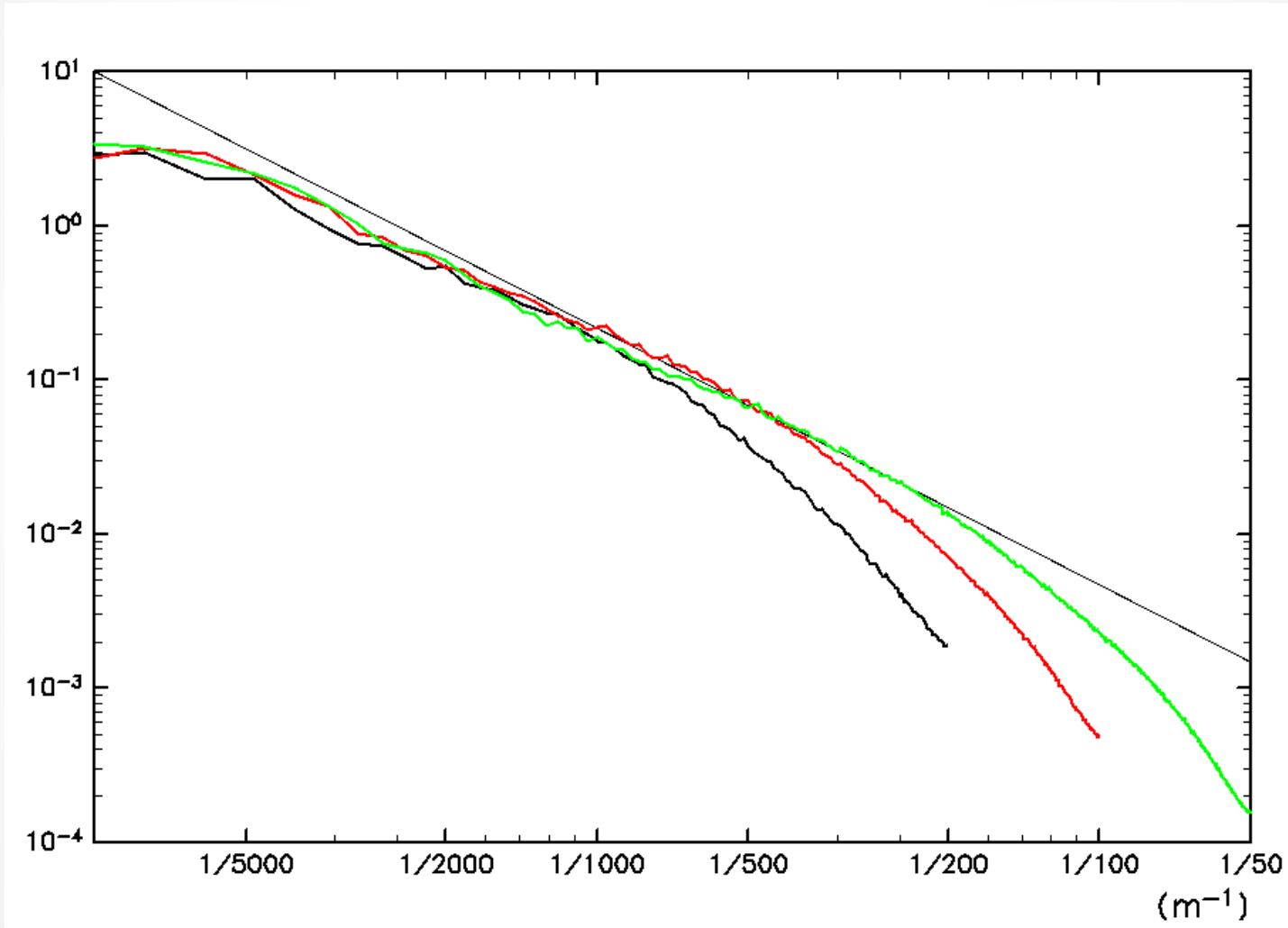
t=14:00-14:30

# 最大鉛直風速

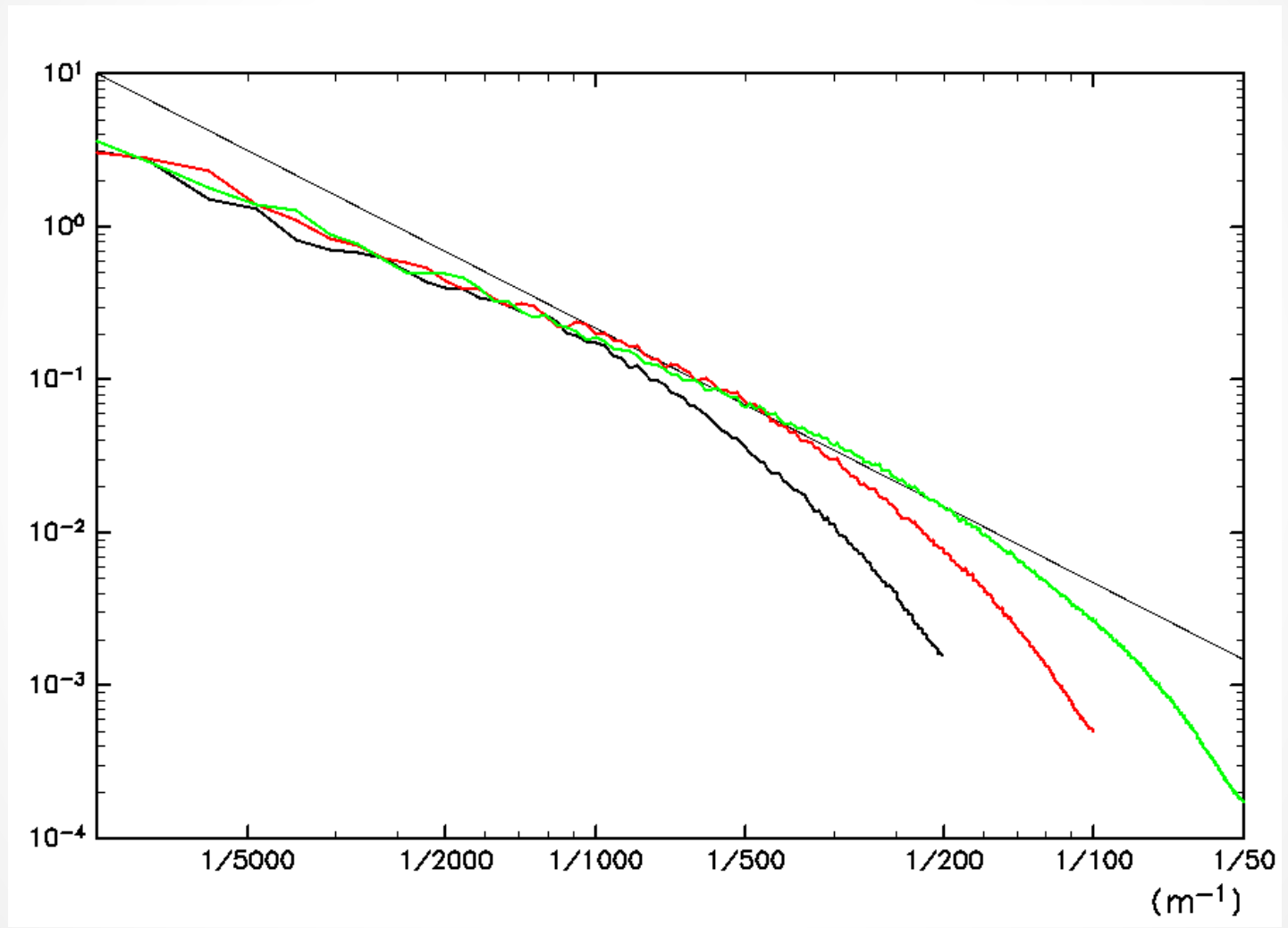


tau=0.2

# 水平方向パワースペクトル

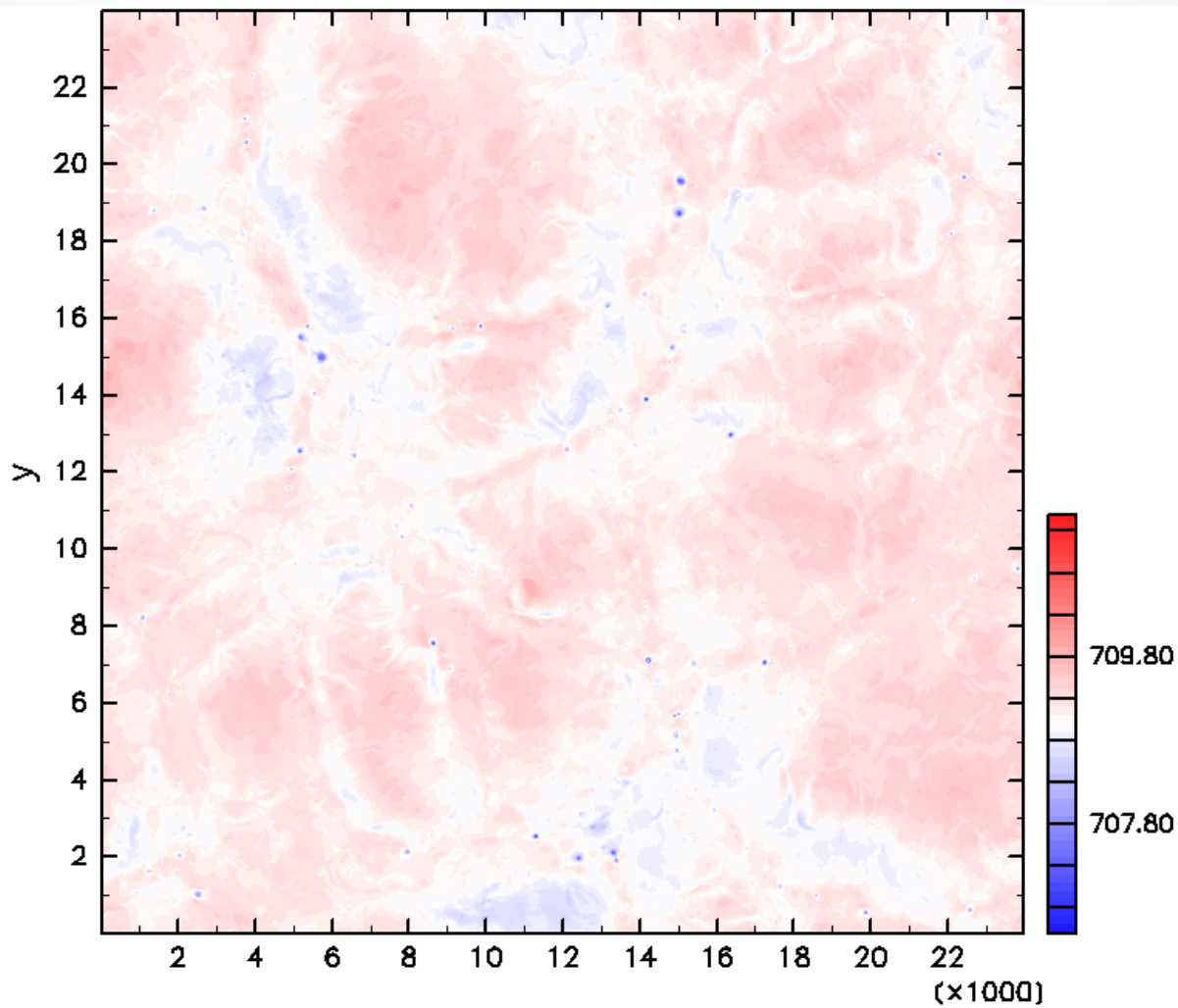


$\tau=0.2, z=2\text{km}, t=14:00$



$\tau=0.2, z=500m, t=14:00$

# 気圧分布



# まとめ

- 火星の混合層の等方格子LES実験
  - Model: SCALE-LES ver.3 (RIKEN/AICS で開発)
  - 実験パラメータ: ダスト量 および 解像度
- 混合層乱流
  - 混合層の深さ
    - ダストの光学的厚さが小さいほど深い
    - 解像度が高い方がやや深くなる傾向 (先行研究と整合的)
  - 乱流統計量
    - $\Delta xyz=100\text{m}$  では、他に比べ、大きな違いが見られる
  - 鉛直速度
    - $\Delta xyz=25\text{m}$  でも収束しているとは言えない
  - パワースペクトル
    - 解像度によるおおきな違いは見られない
    - 高度による違いは、主に1km 以上のスケールにみられる



# 今後の予定

- 実験

- より高解像度計算
  - 10m
- より現実的な放射加熱分布
  - CReSS との連携
- 地形

- 解析

- 非等方性
- 時間方向のスペクトル
- ダストデビル