

# 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>3</sup>, 中島健介<sup>5</sup>, 佐藤陽祐<sup>1</sup>, 杉山耕一郎<sup>3</sup>,  
Team SCALE, 地球流体電脳倶楽部

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

# はじめに

- 火星境界層

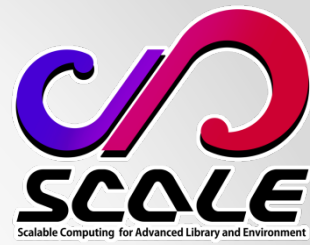
- 太陽光の地表面加熱により活発な乱流活動
- 大気と地表面間の熱・運動量・物質交換 (ダスト巻き上げ)

- 数値実験

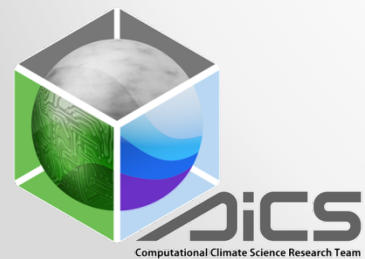
- 境界層内の流れの時間・空間スケールは小さい → LES実験
- ほとんどの研究では、格子の鉛直・水平解像度が異なる
  - LESの前提である等方性の仮定と矛盾
- 変動は、解像度/ドメインサイズに依存 (Spiga et al. 2010)
  - ドメインサイズは、境界層高さより広い必要がある

等方格子で、解像度・ドメインサイズ  
に対する依存性・収束性を調べる

# 実験



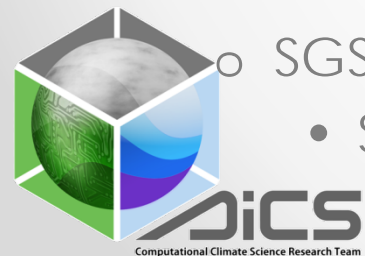
- モデル
  - SCALE-LES ver.3



# SCALE-LES



- RIKEN/AICS で開発中の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
- 構成
  - 力学 (非静力)
    - 完全陽解法
    - カーテシアン格子
    - 4次中央差分 + FCT, 3次陽的ルンゲ・クッタ
  - 雲微物理
    - 2モーメント6カテゴリ (Seiki 2011), ビン法
  - SGS乱流
    - Smagorinsky-Lilly type



D165, D166, D167 で関連発表



# 実験設定



## ● 物理過程

- SGS乱流モデル: Smagorinsky-Lilly, Nakanishi (2000)
- 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)

## ● 実験パラメター

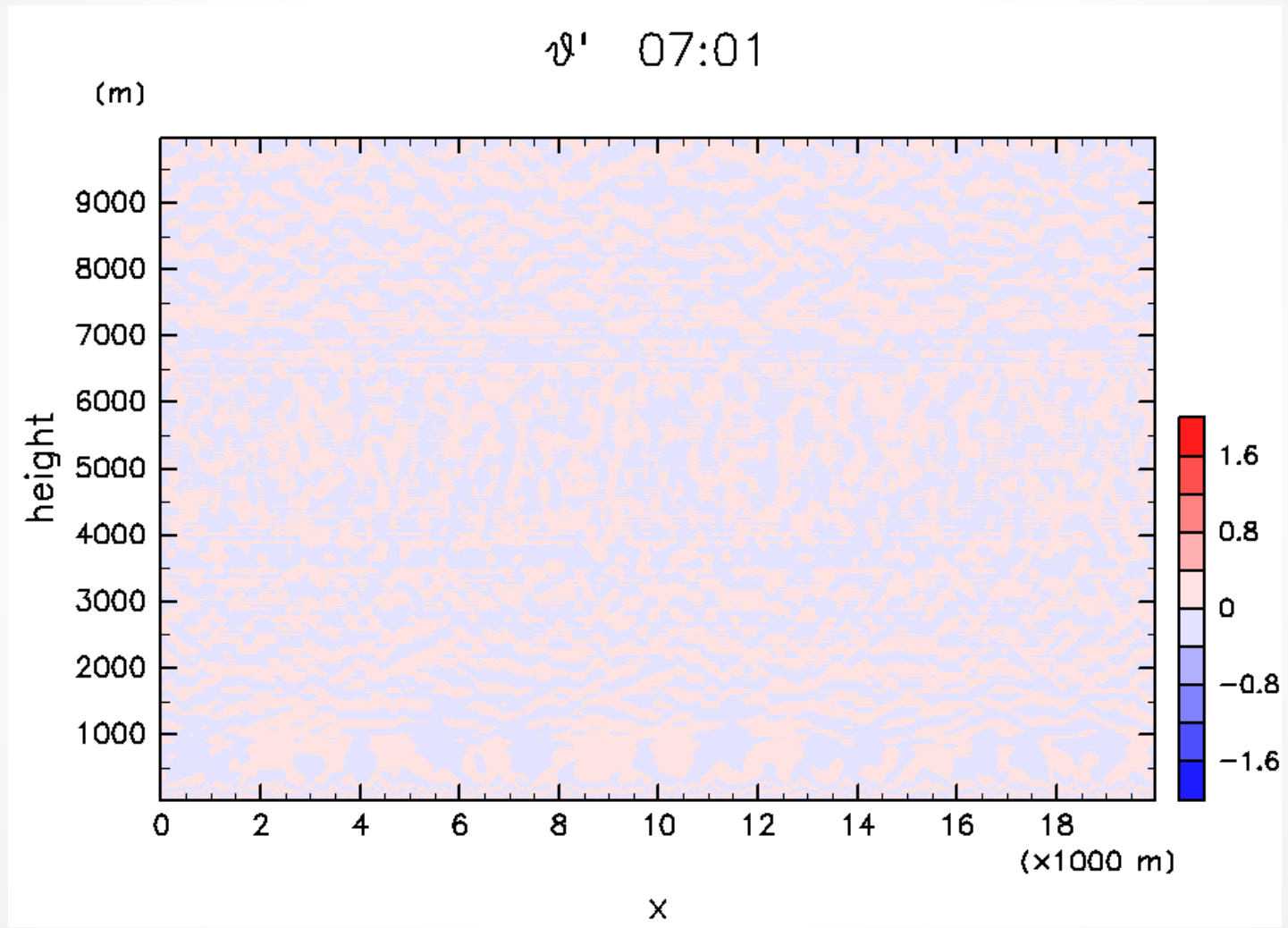
- 光学的厚さ ( $\tau$ ): 0.0, 0.3, 1.0
- 解像度 ( $\Delta xyz$ ): 200m, 100m, 50m, 25m ( $L_{xy}=20\text{km}$ )
- ドメインサイズ ( $L_{xy}$ ): 20km 40km ( $\Delta xyz=200\text{m}$ )

## ● 初期値

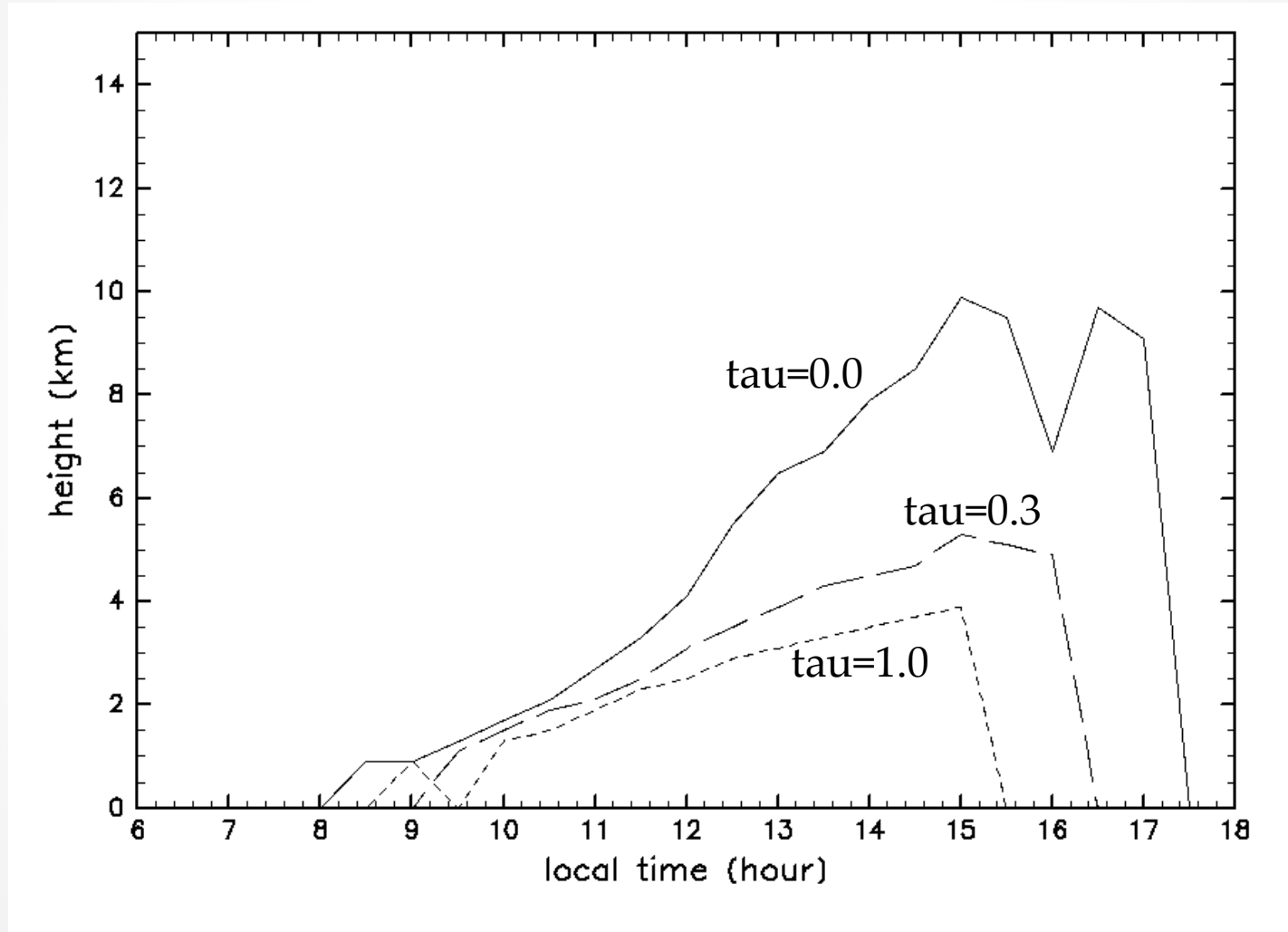
- 鉛直温度分布(Odaka et al. 2001), 静止 (+擾乱)
- 00:00 ローカルタイム



# 温位擾乱

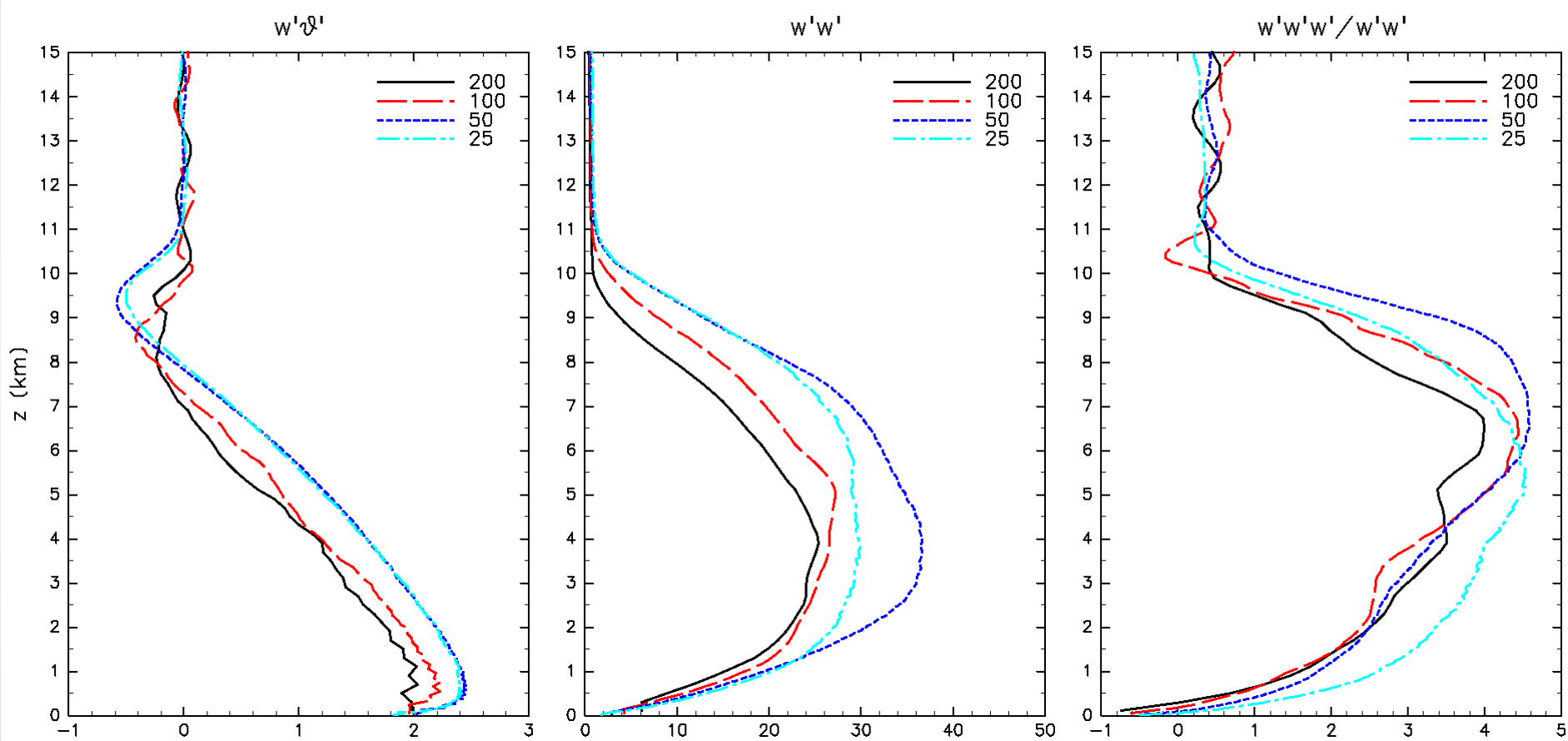


# 境界層深さ



$\Delta xyz=200\text{m}, L=20\text{km}$

# 乱流統計量

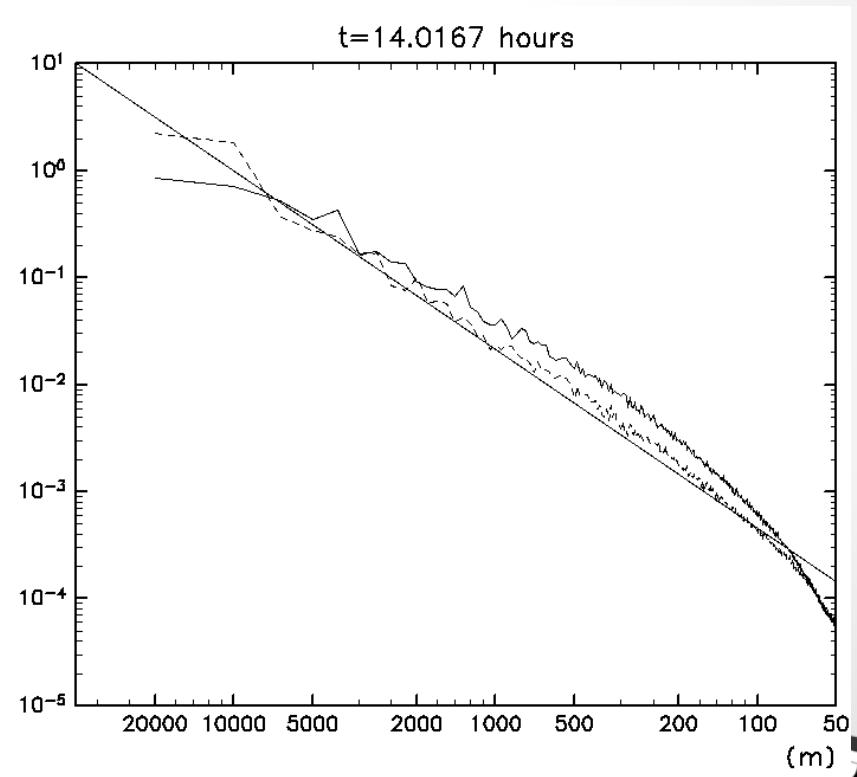
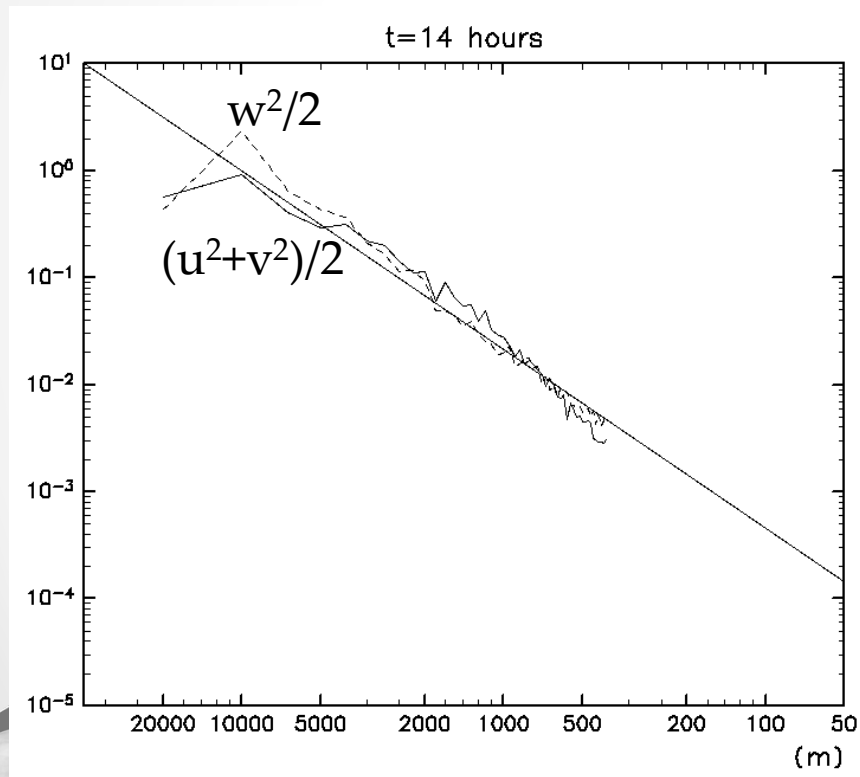




# パワースペクトル

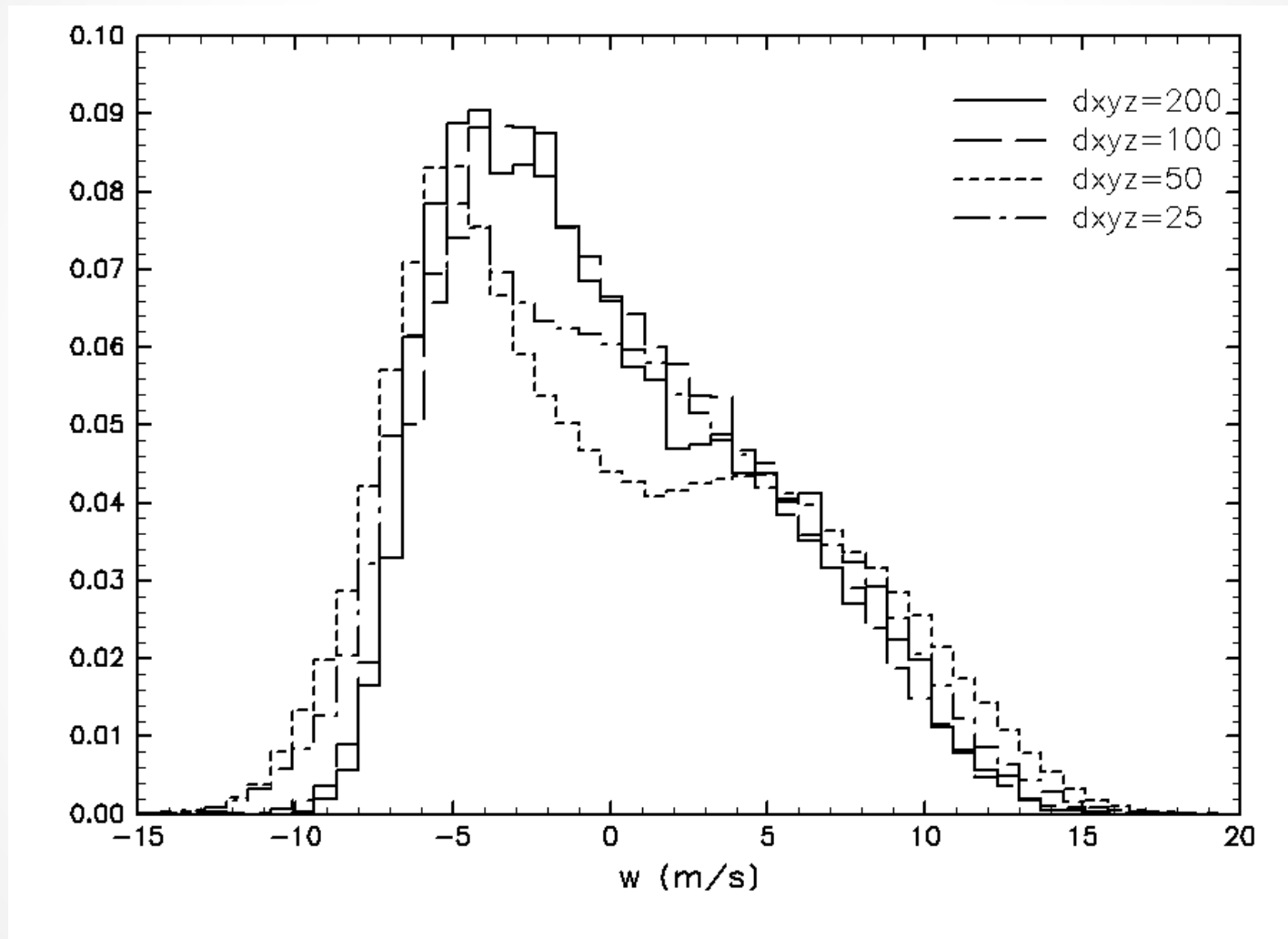
$\Delta xyz = 200\text{m}$

$\Delta xyz = 25\text{m}$

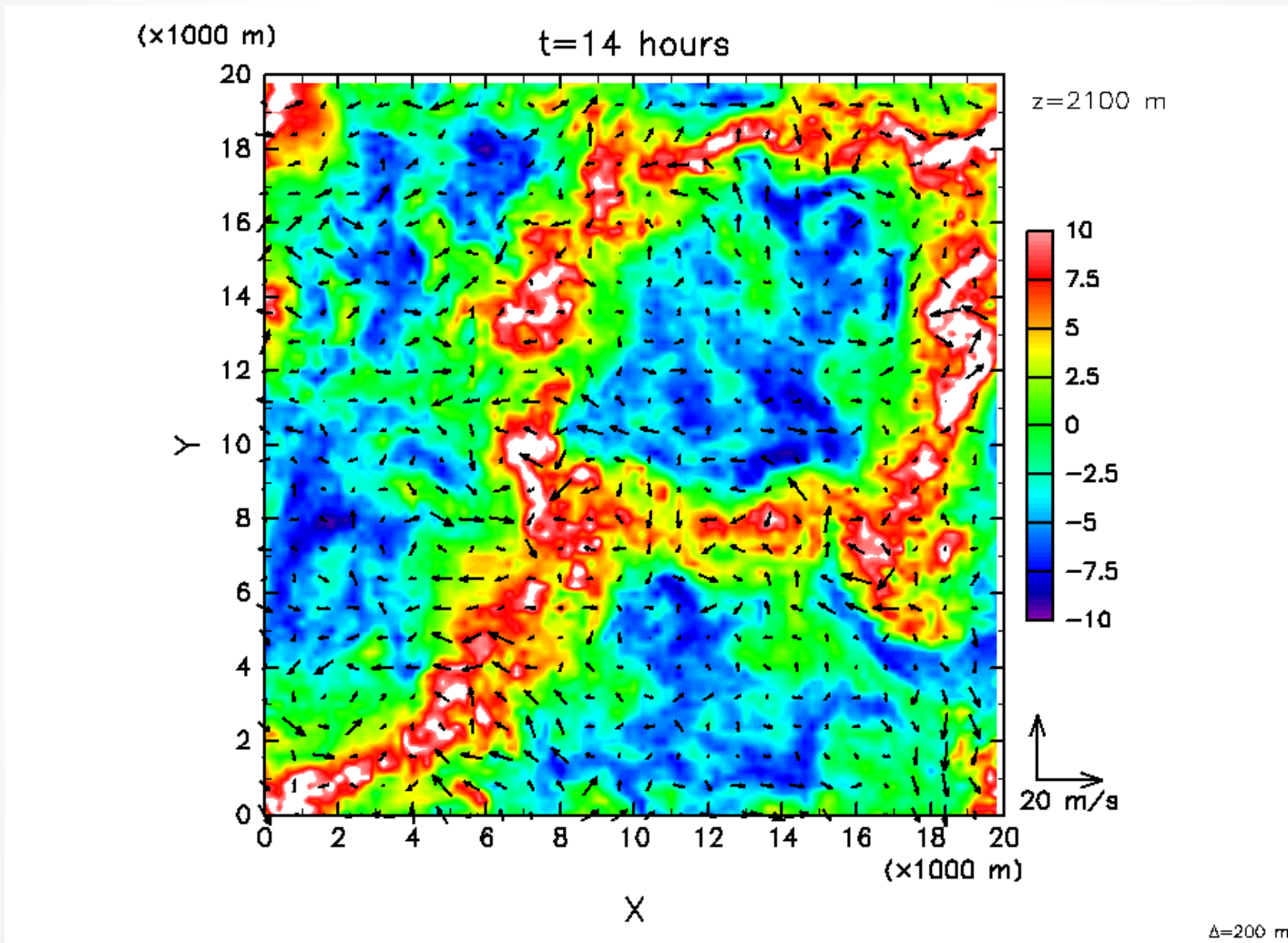


$\tau=0.0, L=20\text{km}, z=5\text{km}, t=14:00$

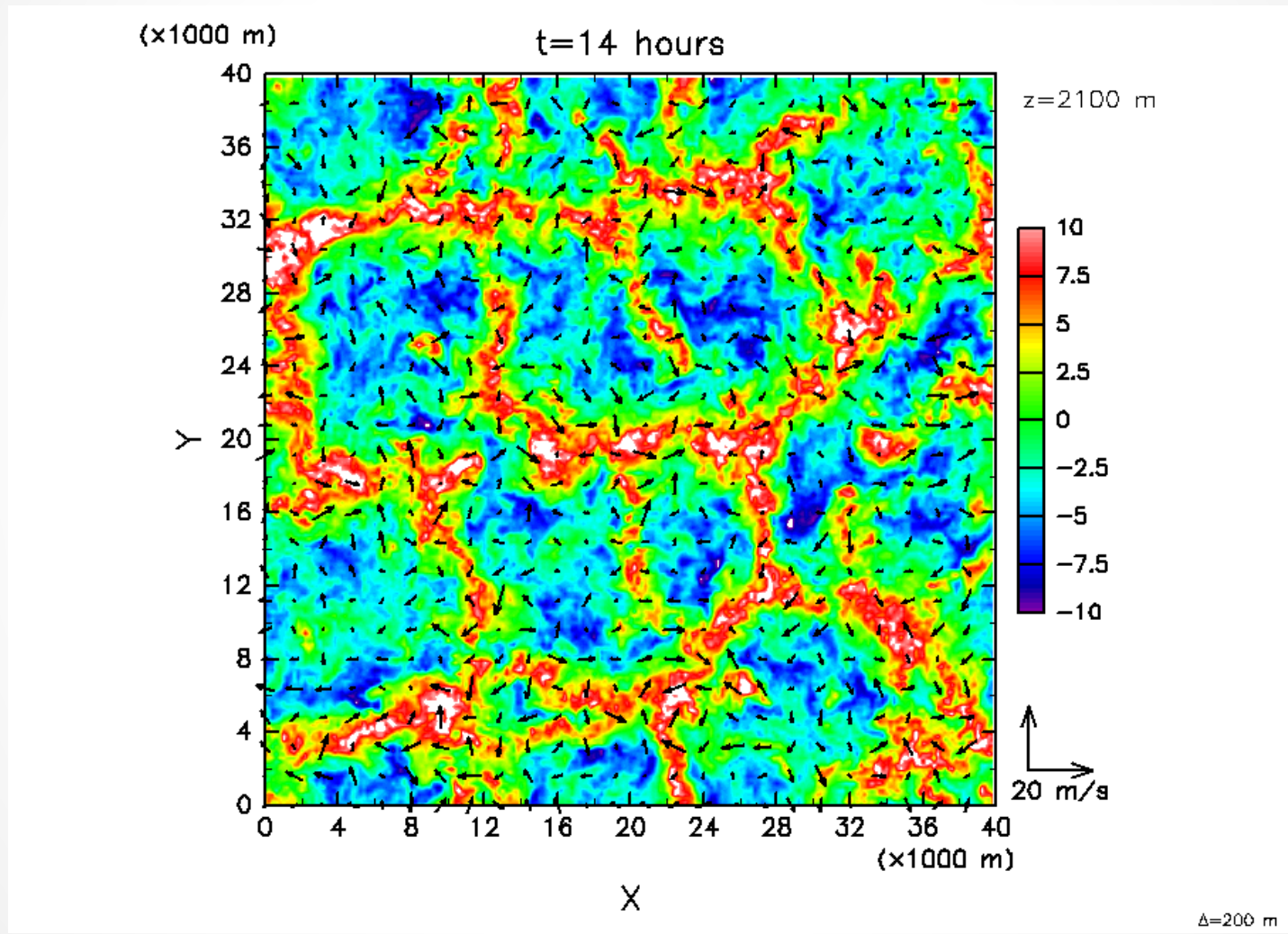
# 鉛直流 頻度分布



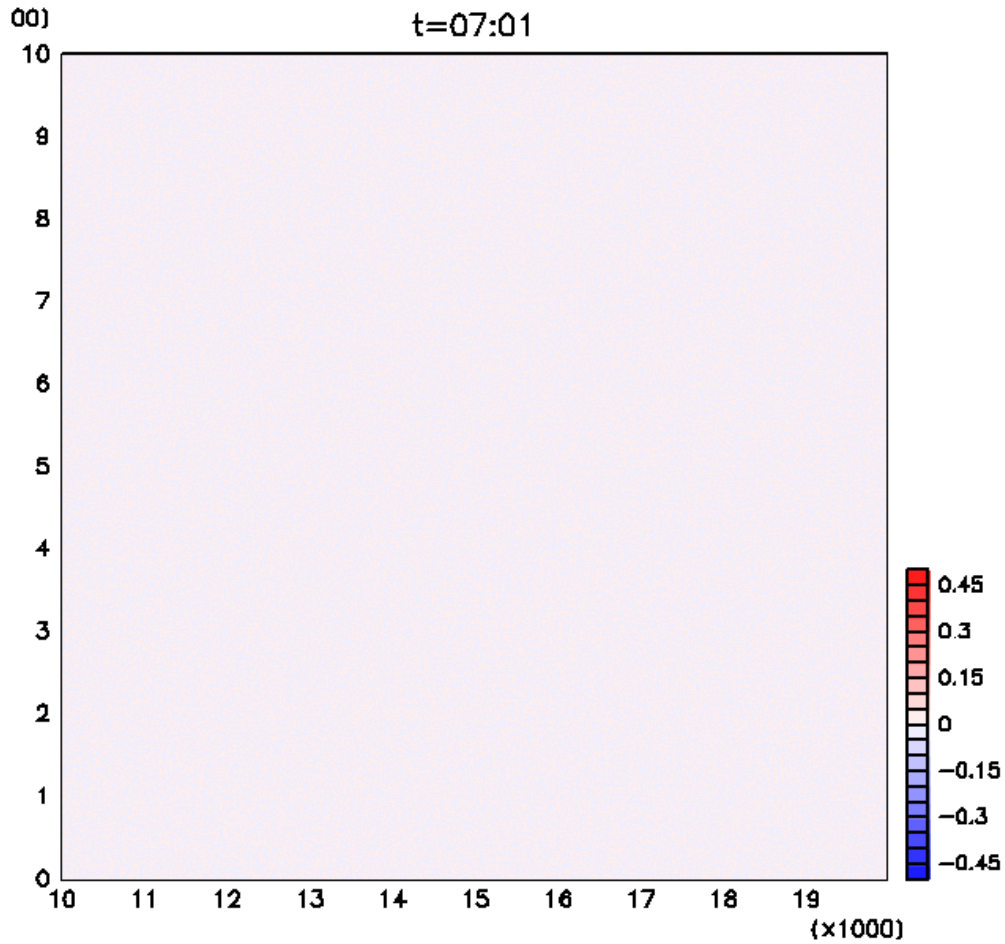
# 対流セル水平構造



$\tau=0.0$ ,  $\Delta xyz=200\text{m}$ ,  $L=20\text{km}$ ,  $z=2\text{km}$ ,  $t=14:00$



# 渦度





# まとめ

## • 火星の混合層の等方格子LES実験を行った

- Model: Scale-LES ver.3 (RIKEN/AICS で開発)
- 混合層の日変化は、先行研究と整合的
- (ダストデビルと思われる)強い渦度が表現されている

## ✓ 解像度依存性

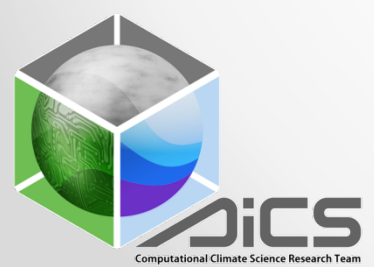
- 混合層の深さ: 細かい方がやや深くなる傾向 (先行研究と整合的)
- パワースペクトル: おおきな違いは見られない
- 熱フラックス:  $\Delta xyz=50m$  でほぼ収束
- 鉛直速度: フラックス, 分布が大きく変化  $\Delta xyz=25m$  でも収束していない

## ✓ ドメインサイズ依存性

- セル構造にドメイン形状の影響がみられる
- $L=40km$  でも十分であるとはいえない

# 今後

- より高解像度、広領域での実験
  - 鉛直速度分布は収束するか?
  - セルの構造が収束するために必要な領域サイズは?  
HPCI一般公募課題 (課題番号:hp120076, 代表: 林祥介)
- 非等方格子実験とその比較
  - 格子のアスペクト比の影響は?
- ダストデビルの詳細解析
  - 高解像度実験が必要





# 渦度

