

## 火星大気高解像度

# ラージエディシミュレーションで得られた 強い地表面応力をもたらす流れ場の特徴

Characteristics of the relationship between wind fields and surface stress with high-resolution large eddy simulations for the Martian atmosphere

\*村橋究理基<sup>1</sup>, 和氣光一<sup>1</sup>, 西澤誠也<sup>2</sup>, 石渡正樹<sup>1</sup>, 中島健介<sup>3</sup>,  
竹広真一<sup>4</sup>, 杉山耕一郎<sup>5</sup>, 高橋芳幸<sup>6</sup>, 林祥介<sup>6,7</sup>

1. 北大・理, 2. 理研 AICS, 3. 九大・理, 4. 京大 数理研,  
5. 松江高専, 6. 神大・理, 7. CPS

# はじめに

- ダスト巻き上げ量を決定するのは地表面付近の流れ
  - 例えばダストデビルなどの小スケール現象



ダストが巻き上がる様子 (探査機 Spirit 撮影)

<http://mars.nasa.gov/mer/gallery/press/spirit/20050819a.html>

- 火星大気境界層を想定した高解像度ラージエディーションシミュレーション (LES) 実験が行われている
  - LES : 数十 m 程度の小スケールの流れまで直接表現する数値計算法
- 本研究では高解像度 LES のデータを解析し、ダスト巻き上げに関わる地表面応力をもたらす場の特徴を解析する

# 最も高解像度な火星境界層の LES 計算

## ■ Nishizawa et al. (2016)

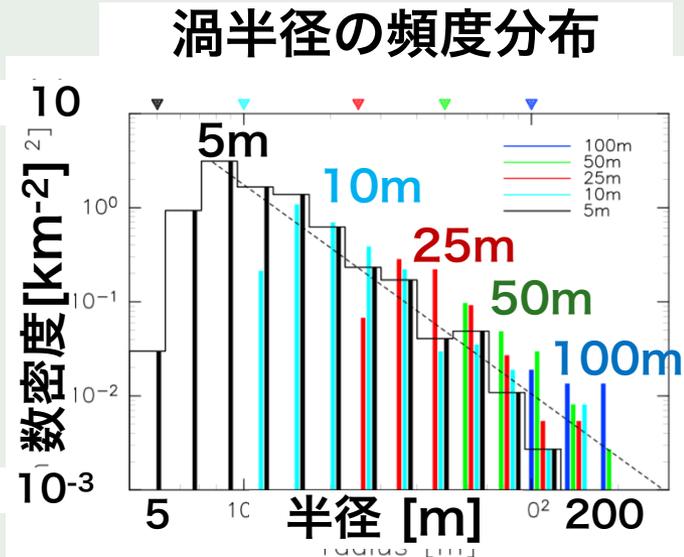
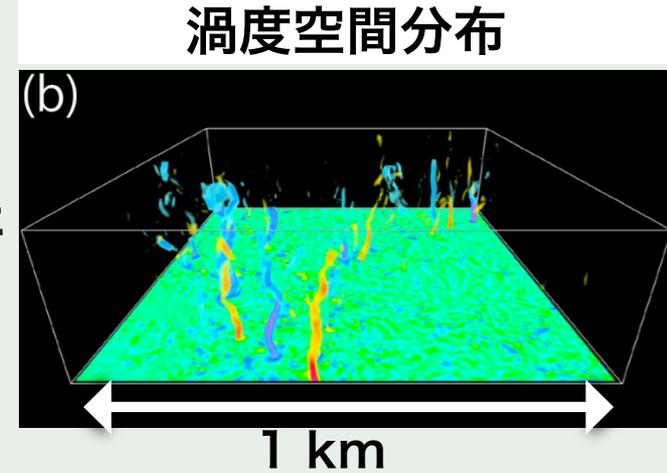
- 広範囲を高解像度で計算し、対流セルとダストデビルを同時に表現することを目指した
- 計算領域 水平 19.2 km, 鉛直 21 km
- 空間解像度 5, 10, 25, 50, 100 m

## ■ 孤立渦に関する統計量と計算解像度依存性を調べた

- LT = 14:30 の高度 62.5 m 付近における孤立渦の半径分布など (LT: 現地時刻)
- 孤立渦の半径が計算解像度によらず冪乗則に従うことを示した

## ■ ダストを巻き上げに関わる流れ場についてよく調べられていない

- 地表面応力の強度や空間分布の様子は示されていない
- 強い地表面応力をもたらす流れ場は示されていない

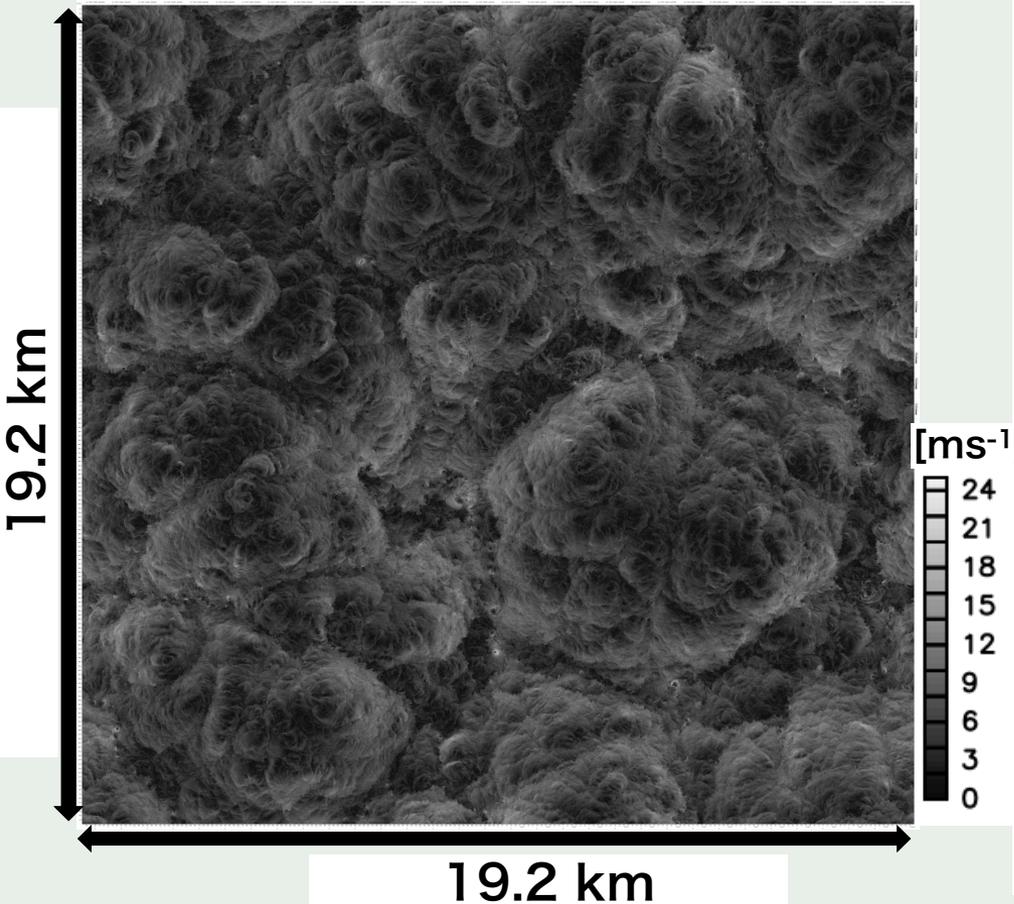


# 本研究の目的

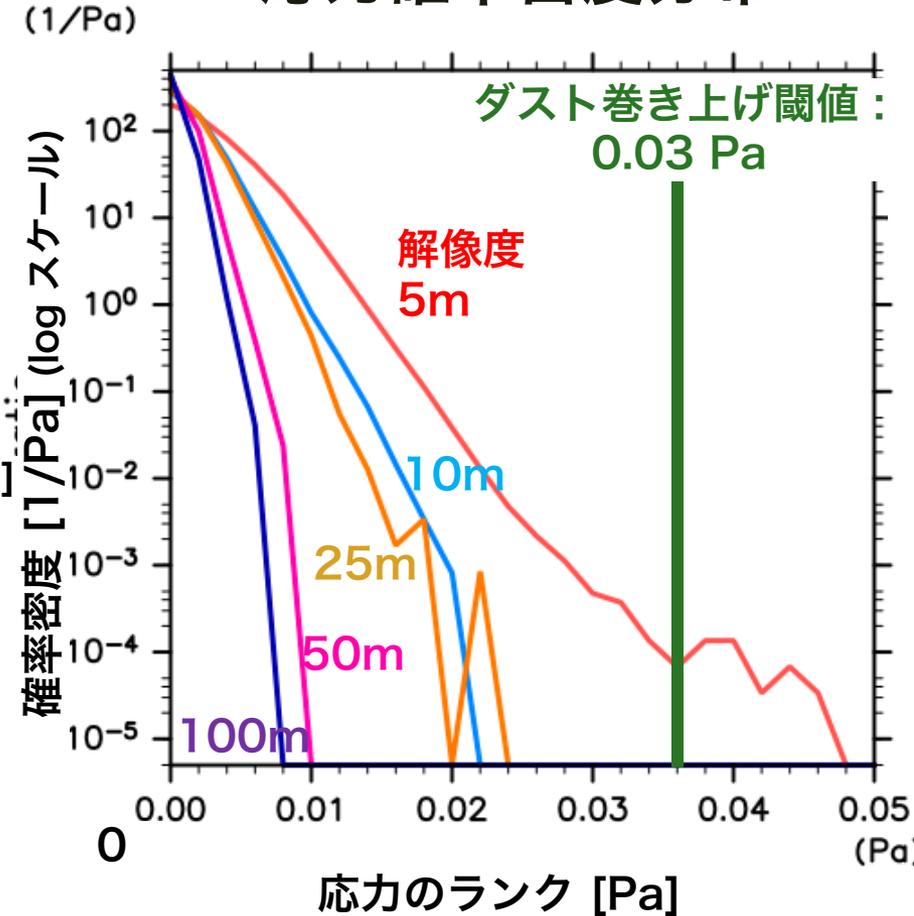
- **ダスト巻き上げ量を決定する地表面応力はどうのような流れ場構造によってもたらされるか調べる**
  - これまでダスト巻き上げに重要な地表面応力が強い場所に渦構造を伴っているかどうか調べた  
(村橋 他, 2018 惑星科学会秋季講演会)
  - 今回は応力が強い場所における流れ場構造の特徴の詳細と計算解像度依存性を調べた結果を報告する

# これまでの解析 (村橋 他, 2018 惑星科学会)

## 水平風絶対値空間分布 高度 2.5 m



## 応力確率密度分布



- 上昇流が生じる水平風の収束場付近で強い応力
- 解像度 5 m のみが応力閾値を超える

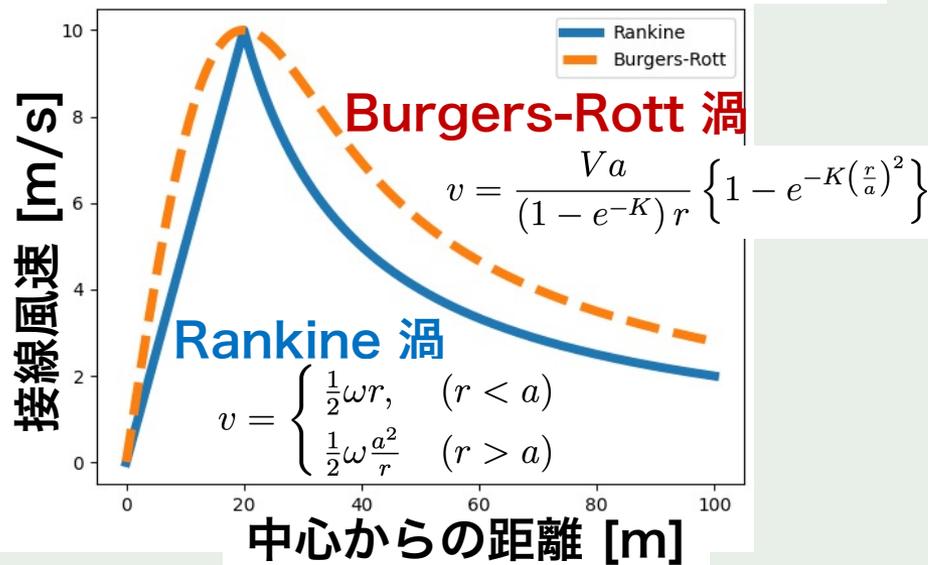
# 使用データ

- **使用モデル：SCALE-LES** (Nishizawa et al., 2015; Sato et al., 2015)
  - 方程式系：3次元完全圧縮流体方程式
  - 地表面フラックス：Louis モデル (Louis, 1979)
- **計算領域**
  - 水平方向 19.2 km × 19.2 km, 鉛直方向 21 km
  - 側面境界に周期境界条件, 地形なし
- **空間解像度：5 m, 10 m, 25 m, 50 m, 100 m**
- **熱強制**
  - Odaka et al. (2001) の1次元計算から得られた地表面温度及び大気加熱率分布を与える
- **初期条件及び積分時間 (計算解像度で異なる)**
  - 解像度 5 m 以外  
初期条件：安定成層した静止大気に微細な温度擾乱を加える  
積分時間：LT = 0:00 から 24 時間計算
  - 解像度 5 m  
初期条件：解像度 10 m の LT = 14:00 の結果を内挿  
積分時間：LT = 15:00 までの 1 時間計算
- **解析には Nishizawa et al. (2016) と同じ LT = 14:30 のデータを用いる**

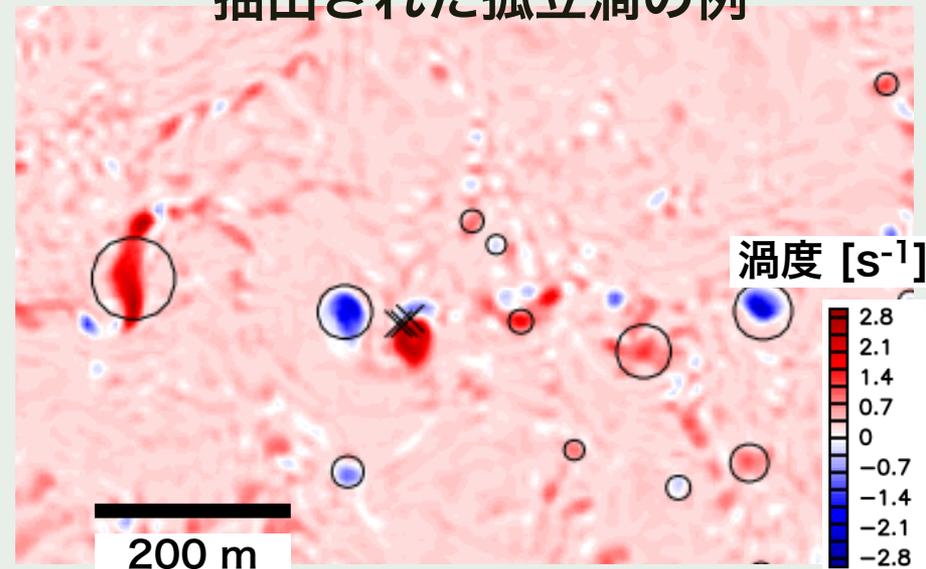
# 孤立渦の抽出

- 理想的な渦構造に近い風速分布を持つ場所を抽出する
  - 渦度, 中心位置, 最大接線風速, 最大接線風速半径を決定
- 抽出方法 (Nishizawa et al. (2016) と同じ方法)
  - 渦度強度が上位で強度が極大となる計算格子点を選ぶ
  - 選んだ点ごとに理想的な渦の接線風速分布にフィッティング
    - 理想的な渦 : Rankine 渦, Burgers-Rott 渦

理想的な渦構造における接線風速分布の例



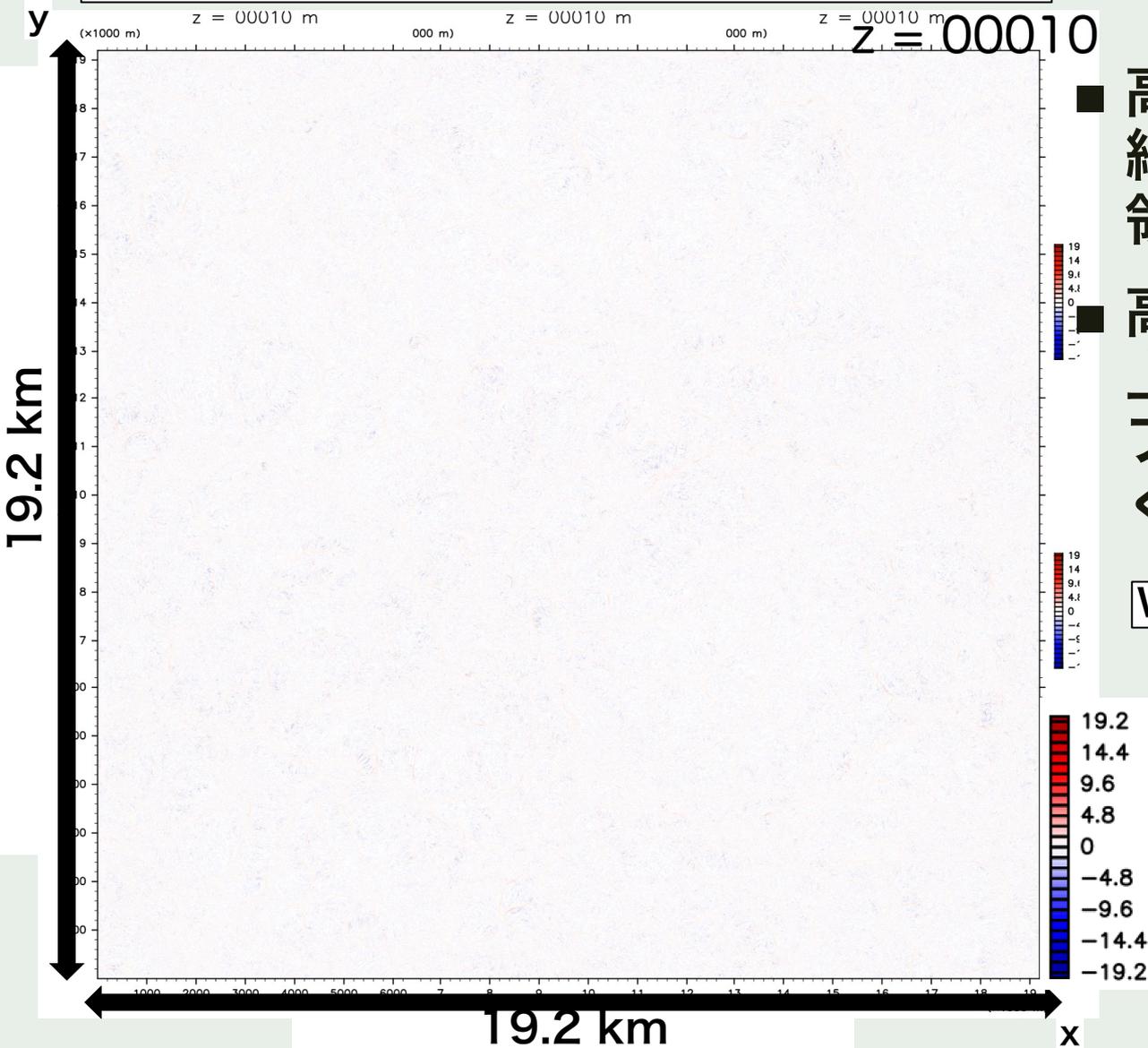
抽出された孤立渦の例



# 解析結果

# 解析結果：流れ場の概観

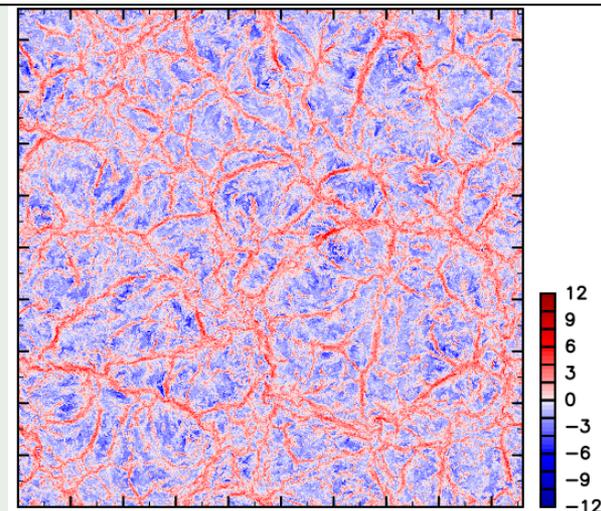
鉛直風 W [m/s] 水平断面高度変化



■ 高度 < 1,000 m では網目状に広がる上昇流領域が見られる

■ 高度が上がるに連れて上昇流領域が塊になり、プルーム状になっていく様子が見られる

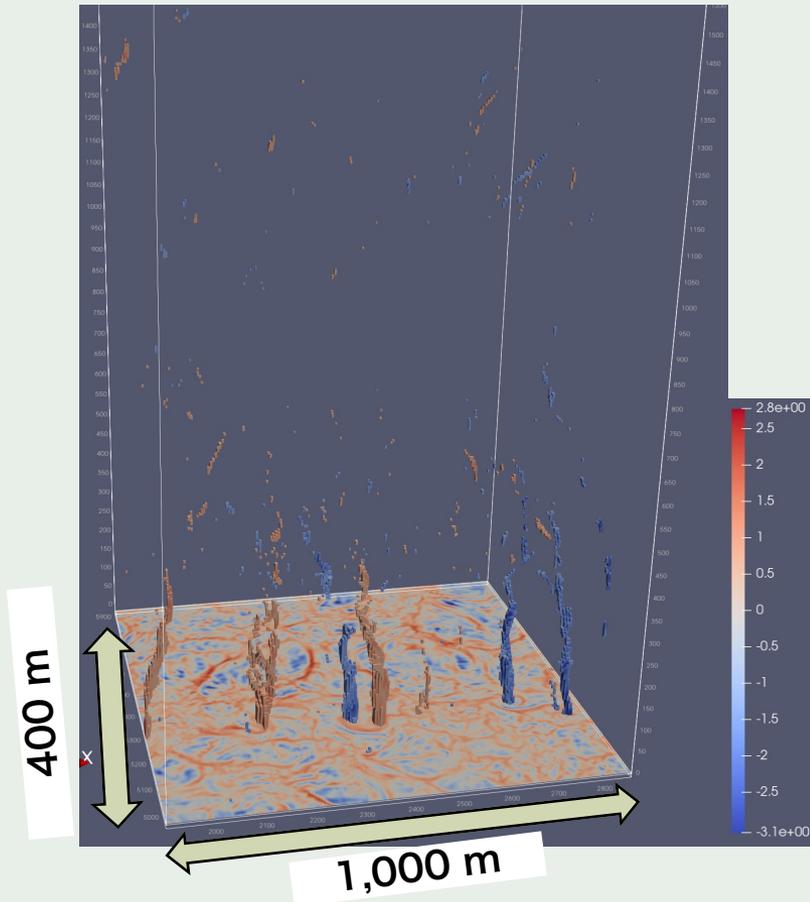
W [m/s] 水平断面 高度 97.5 m



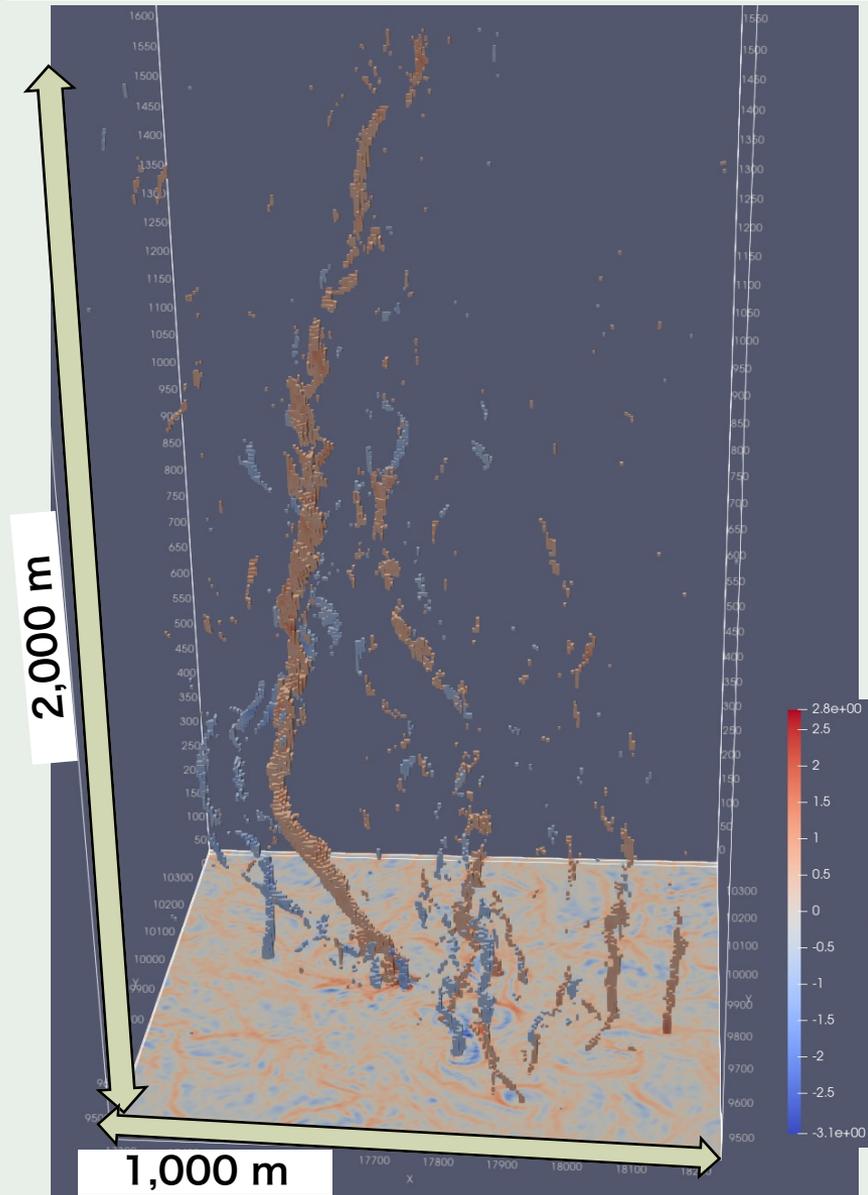
# 解析結果: 抽出された渦の例

- 高度数 100 m から 2,000 m まで伸びる渦が見られる

渦度絶対値  $|\zeta| > 1.5 \text{ [s}^{-1}\text{]}$  の 3D プロット



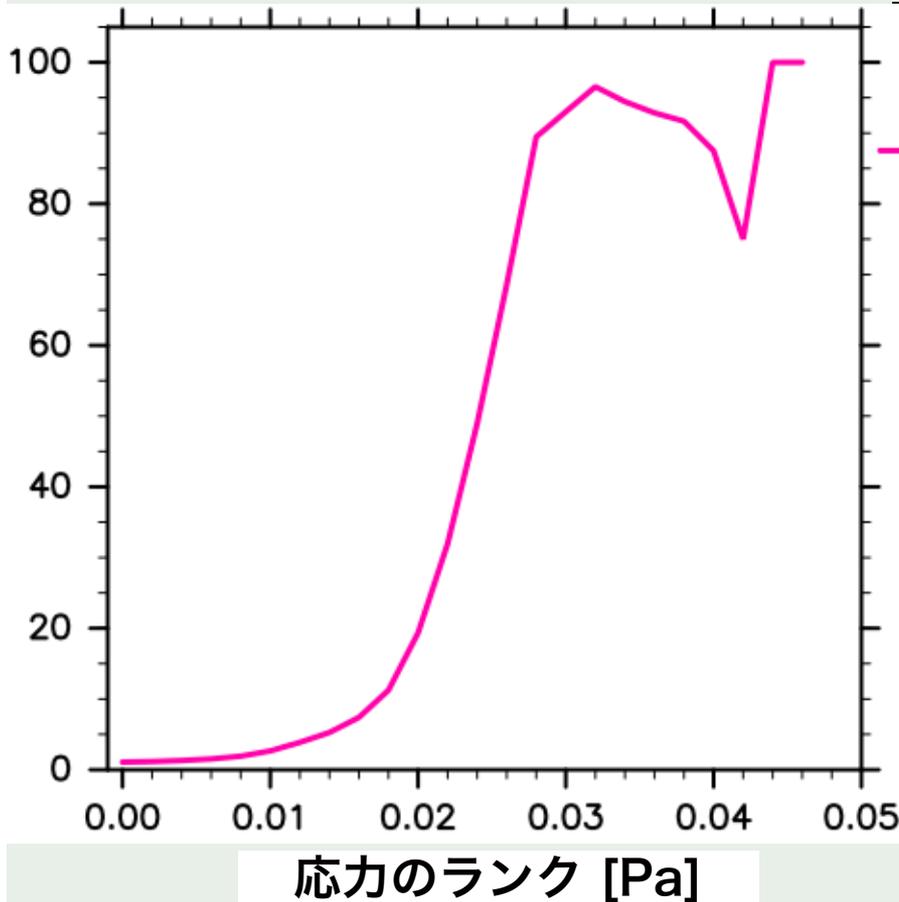
渦度絶対値  $|\zeta| > 1.5 \text{ [s}^{-1}\text{]}$  の 3D プロット



# 解析結果：孤立渦による応力強度分布

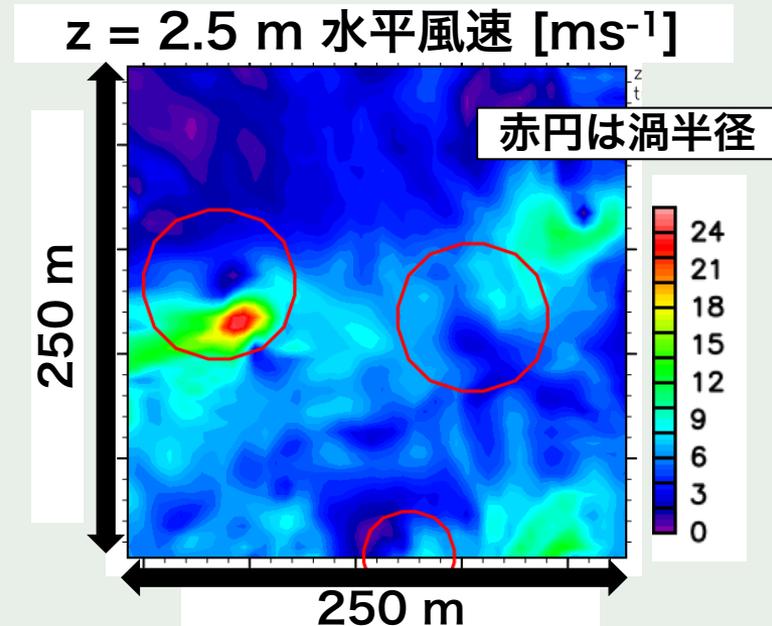
渦によってもたらされる点の存在比率 [%]

応力強度分布比率



- 応力の強度分布を渦によるものと、それ以外のものに分類

フィッティングで決めた渦半径内の領域よりも広い領域 (渦半径の 1.3 倍) をとる



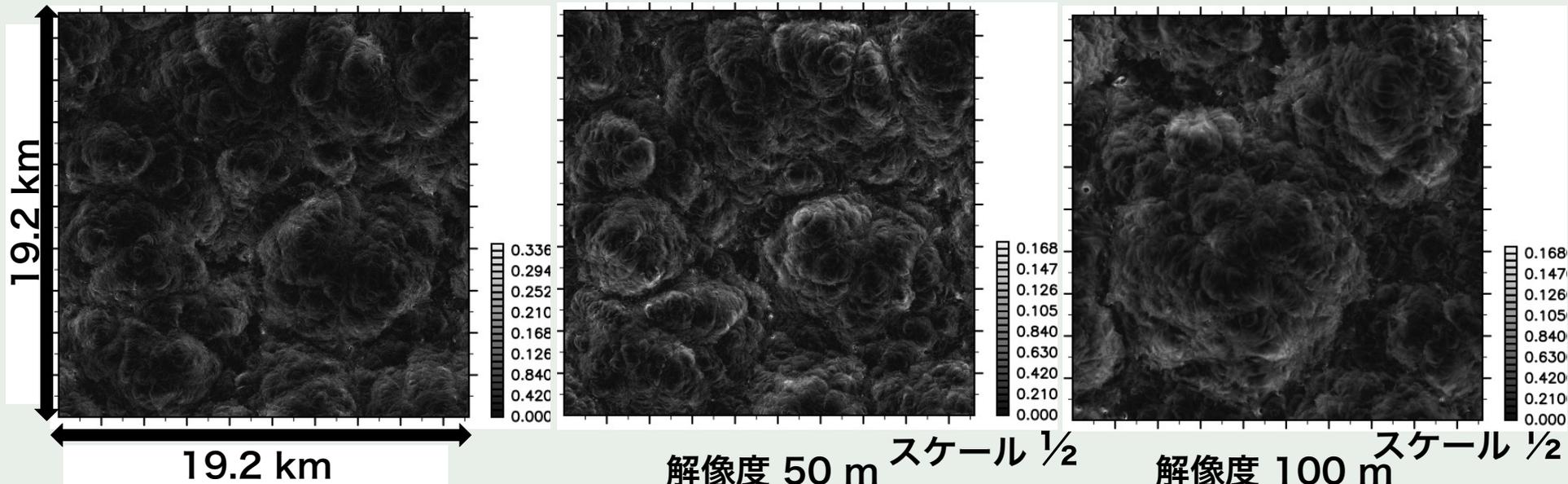
- 強い地表面応力をもつ場所のほとんどが渦によるものだとわかった

# 計算解像度依存性：地表面応力分布

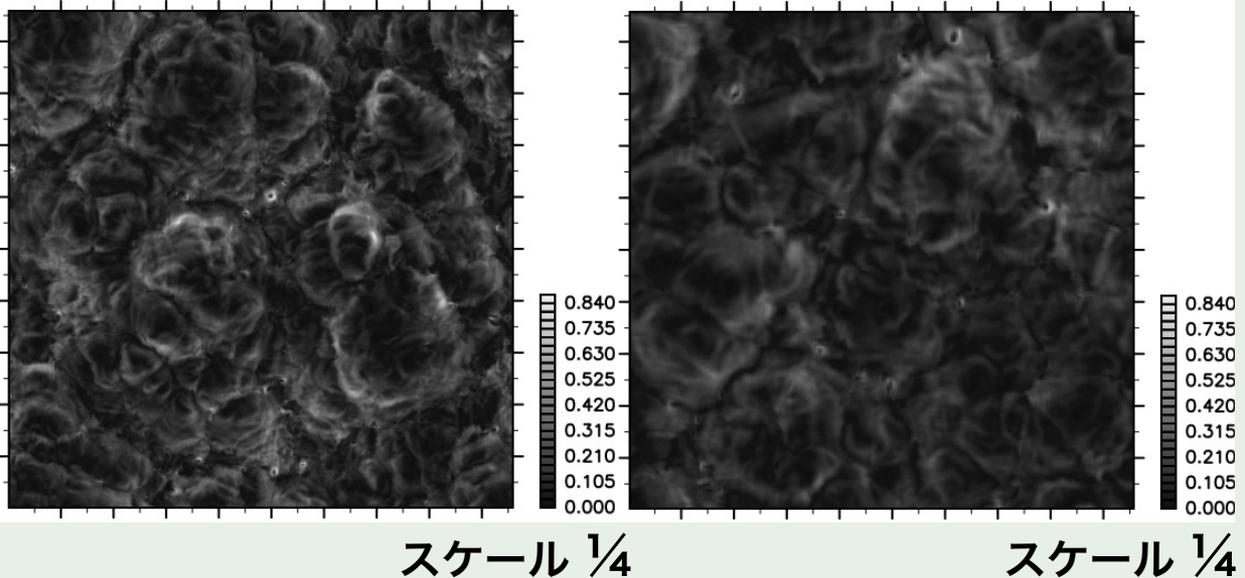
解像度 5 m

解像度 10 m

解像度 25 m

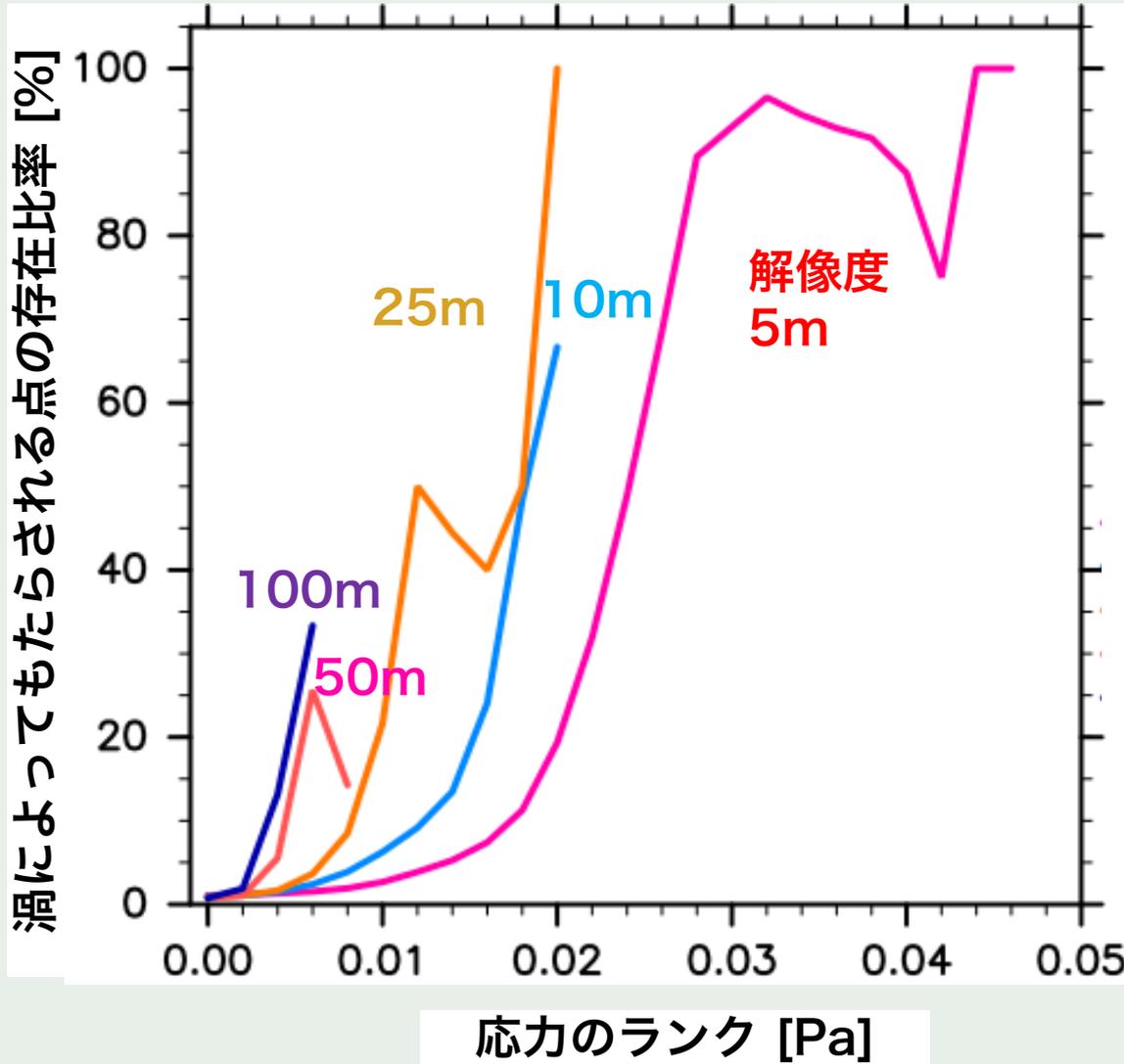


■ どの計算解像度においても応力が強いところは上昇流が生じる場所付近にある

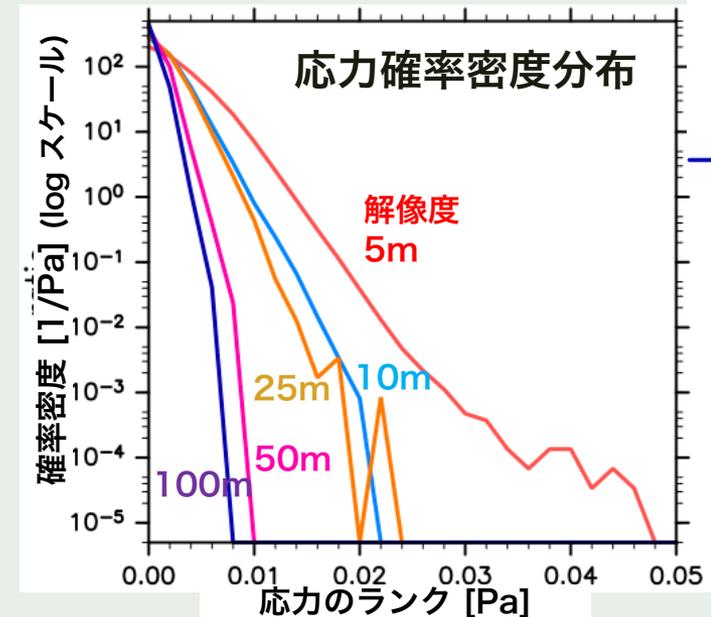


# 計算解像度依存性：孤立渦による応力

## 応力強度分布比率



- 応力が強くなるほど渦による比率が高まる
- 特に解像度 25 m 以上では渦による比率が 50% を大きく超え出し始めることがわかった



# まとめ

- 高解像度火星大気数値シミュレーションにおいて、地表面応力が強い場所について調査した
  - 強い地表面応力をもたらす流れ場の多くは渦によるものであることがわかった
- 地表面応力が強い場所の特徴について計算解像度による違いを調査した
  - 計算解像度によらず、強い応力は渦によってもたらされる
  - 特に解像度 25 m 以上ではその傾向が高まる
    - 強い応力のうち過半数が渦によってもたらされる