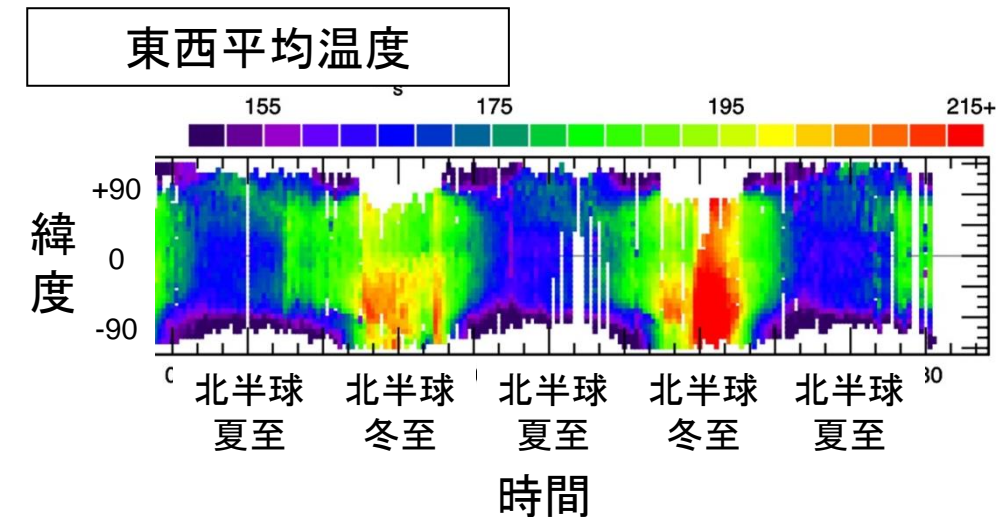
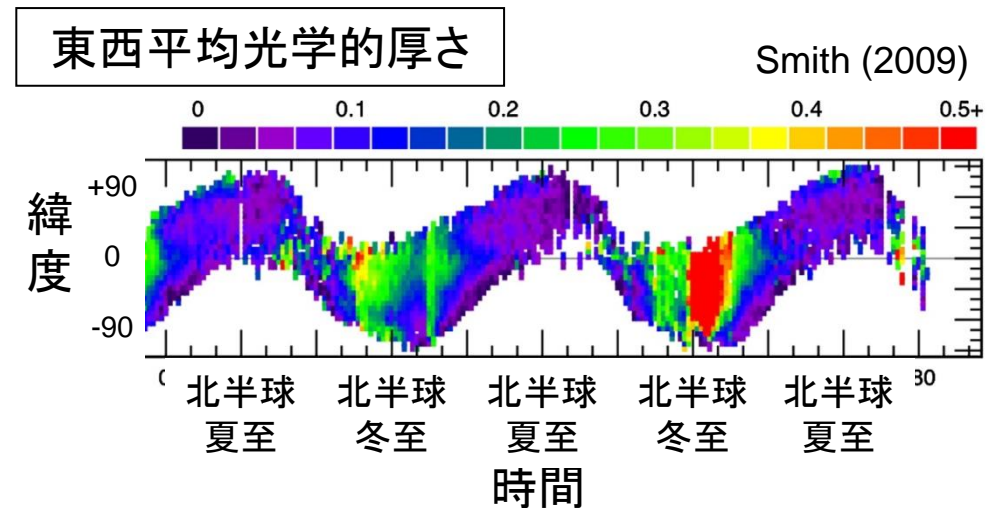


火星大気 LES から得られる境界層内の流れ - 空間解像度に応じて表現される流れ場の違い -

北海道大学大学院理学院 宇宙理学専攻
惑星宇宙グループ GFD 研究室
修士課程 2 年
須藤 康平

火星大気とダスト

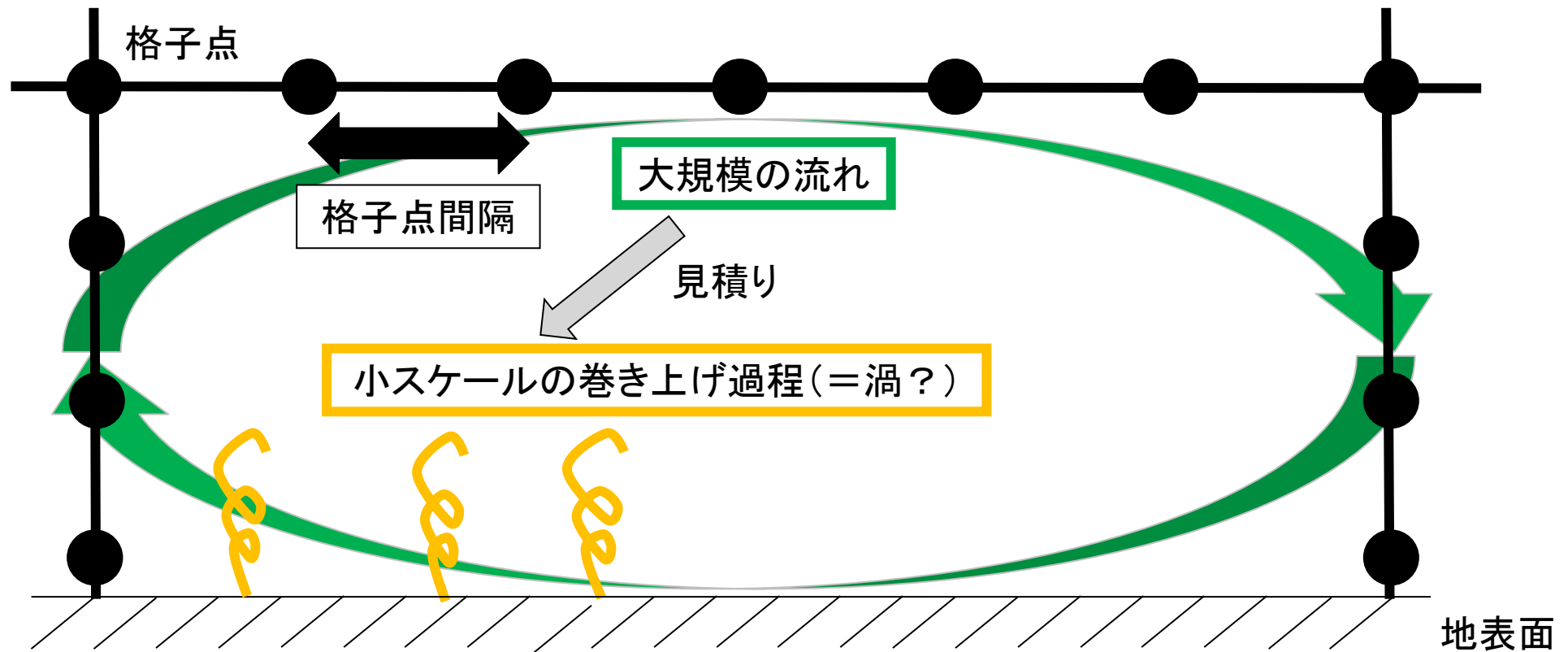
- 火星大気にはダスト(塵)が定常的に存在
- 火星大気中のダスト量変化は大気の光学的厚さを変化させ、温度場に影響
- 大気中のダスト量はダストデビル(塵旋風)などの小スケールのダスト巻き上げ過程により維持(Rafkin et al., 2013)
- 火星大気の数値計算を行う際には、小スケールのダスト巻き上げ過程はパラメタリゼーションで表現されている



Mars Odyssey の観測結果
MY(火星年) 27~29 の時間範囲を示す

パラメタリゼーション

- 解像できないスケールの現象の効果を格子点値で見積り、計算に取り込む方法

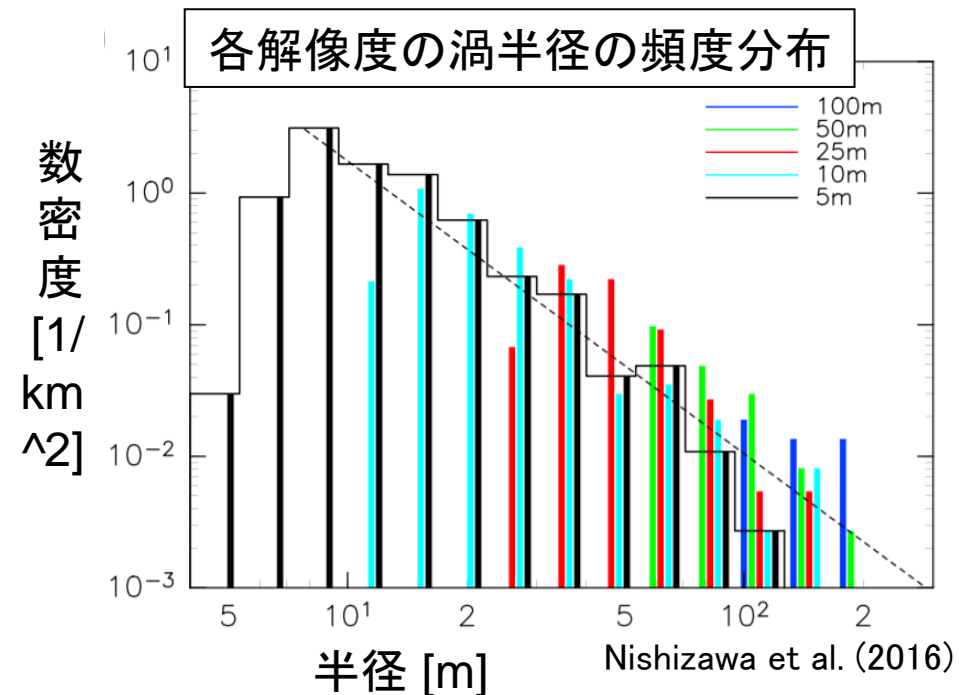
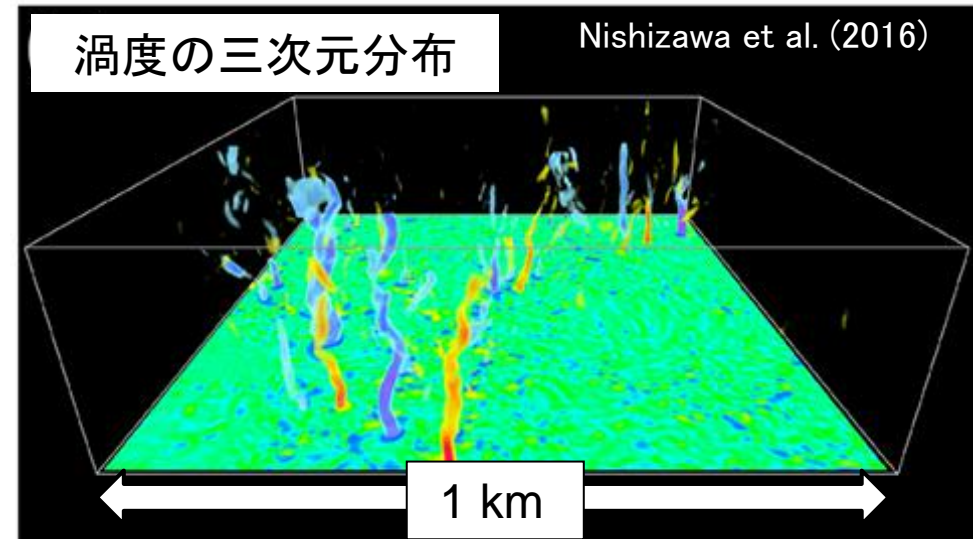


パラメタリゼーションの概念図

パラメタリゼーションによる見積りをより正確に行うためには、空間スケールの小さな現象について理解を深めることが重要

高解像度火星大気 LES

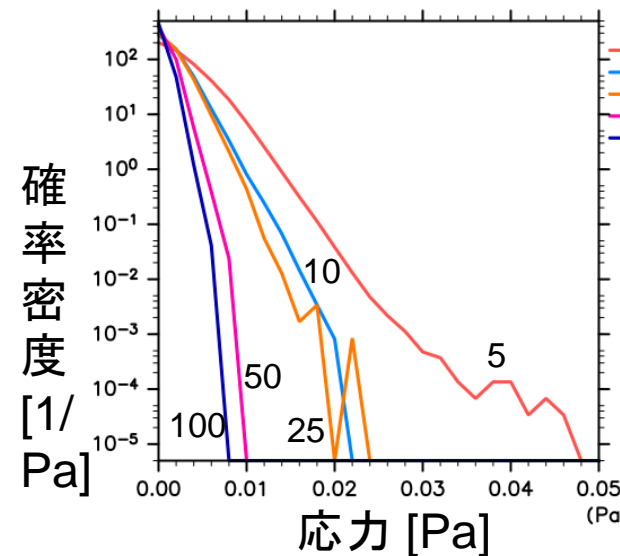
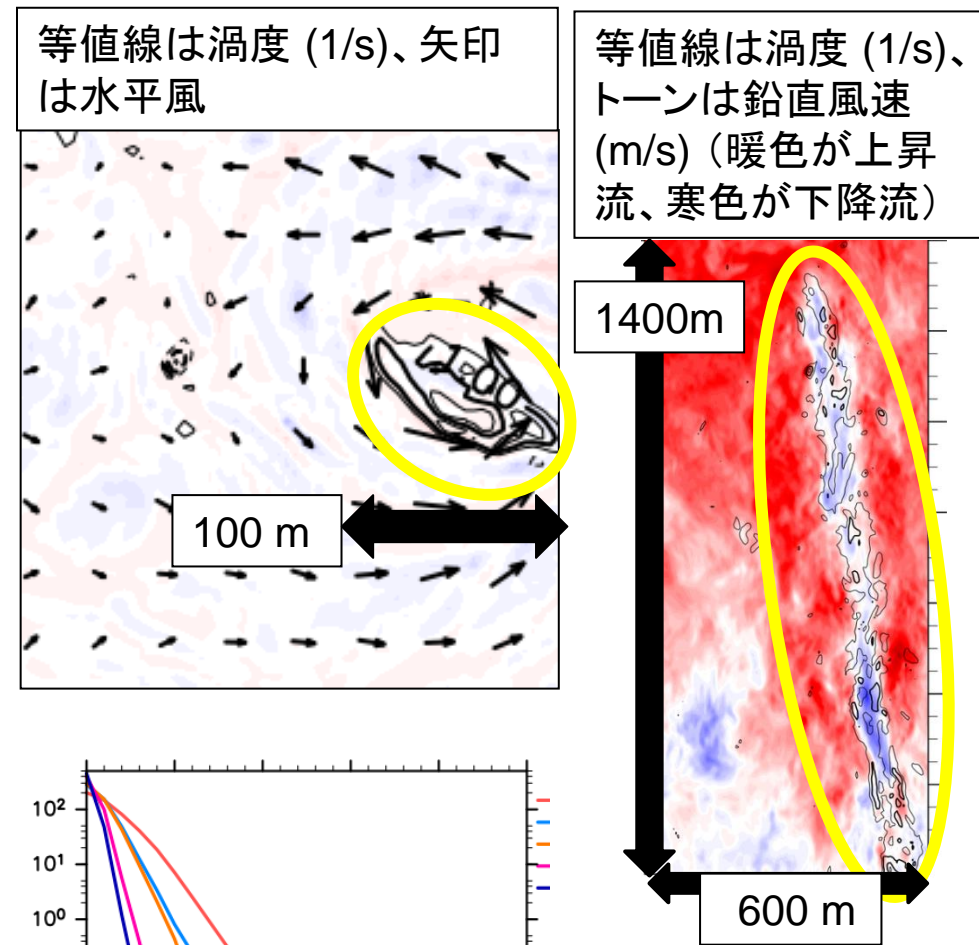
- 小スケール現象の研究手段の1つは **LES**
 - LES (Large-Eddy Simulation): 乱流渦による効果を入れた数値計算法
- Nishizawa et al. (2016)
 - 世界最高解像度の火星大気 LES 計算
 - これ以前の LES の解像度は数十 m - 100 m
 - 使用解像度は 5 m, 10 m, 25 m, 50 m, 100 m
 - 渦半径や渦度強度分布を調査
 - **ダスト巻き上げに最も関係する地表付近の速度場や応力場については未調査**



5 m 解像度実験の流れ場の調査

- 村橋 他 (2017)
 - 地表面応力の大きい地点の流れ場を観察
 - 孤立渦がある地点は半分
 - 孤立渦の特徴
直径: 100 m、高さ: 1-2 km
 - 地表面応力の頻度分布は、5 m 解像度と他の解像度で概形が大きく異なる
 - **流れ場の調査は 5 m 解像度以外行われていない**

地表面応力の大きい地点の流れ場



解像度毎の地表面
応力頻度分布
(図中の数字は解
像度を表す)

本研究の目的・内容

目的:

- Nishizawa et al. (2016) の LES 計算結果を調査し、各解像度の流れ場の特徴に**解像度依存性**があるかどうか調べ、パラメタリゼーションの改善に向けた情報を得たい

内容:

- 5 m 解像度以外の各解像度 (10 m, 25 m, 50 m, 100 m) の地表面応力が大きい地点の流れ場を描画
- それぞれの流れ場について以下の項目を調べた
 - 孤立渦が見られるかどうか
 - 孤立渦が存在する場合、その直径や高さ

解析したデータの説明・解析方法

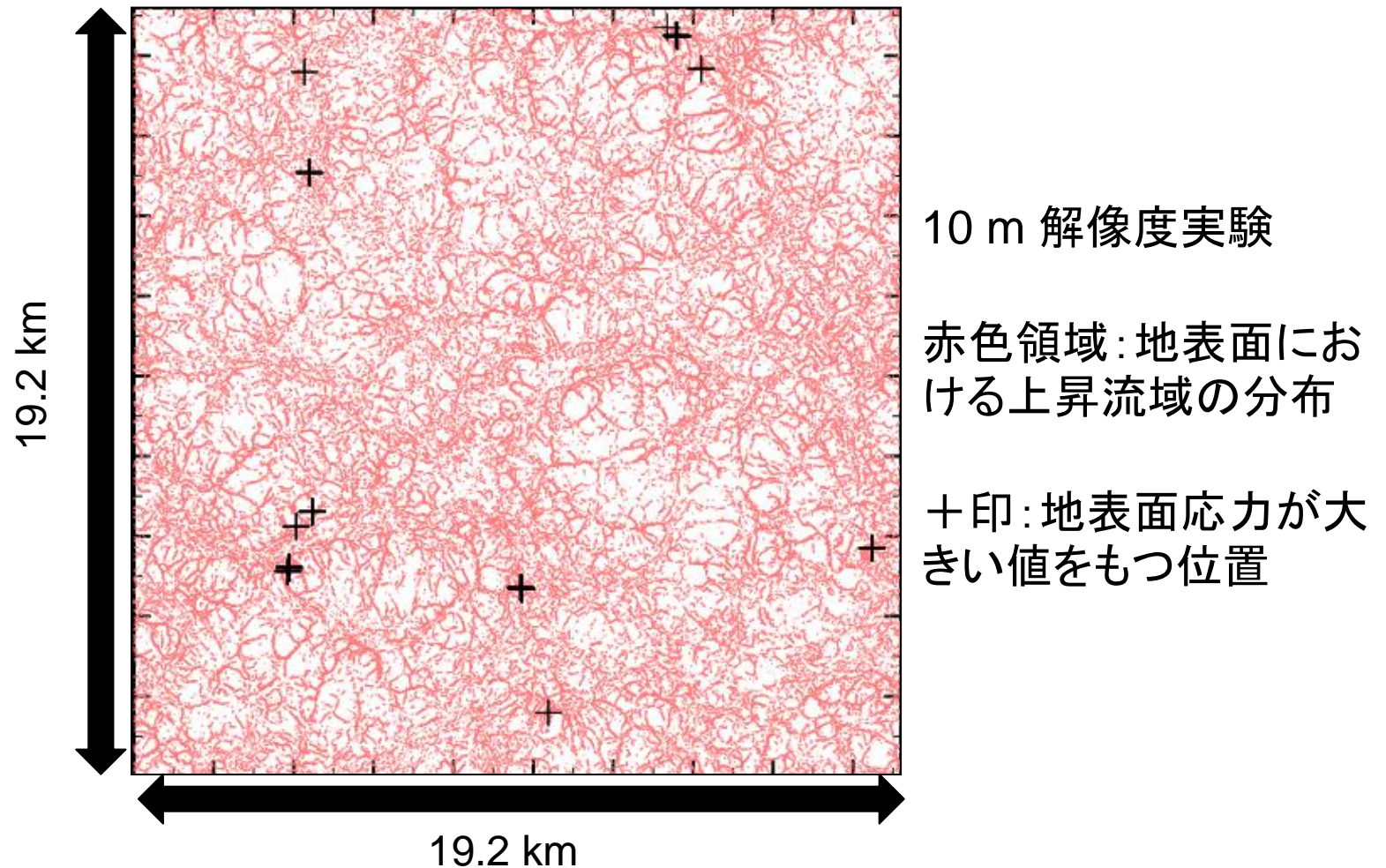
解析したデータ

- 使用モデル：SCALE-LES (<http://scale.aics.riken.jp/ja/scaleles/>)
- 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
- 空間解像度：5 m、10 m、25 m、50 m、100 m
- 熱強制
 - Odaka et al.(2001)の地表面温度および大気加熱率分布を使用
- 初期状態
 - 標準定常状態を初期条件とし、LT（現地時間）= 0:00 から1 火星日分シミュレーションを行う（5 m 解像度実験以外）
- 解析では LT = 14:30 の瞬間値を使用
 - Nishizawa et al.(2016)、村橋 他(2017)で同時刻データを解析

解析方法

- 10 m ~ 100 m 各解像度実験結果から地表面応力が大きい値をもつ位置を求め、その地点の流れ場の構造を調べた

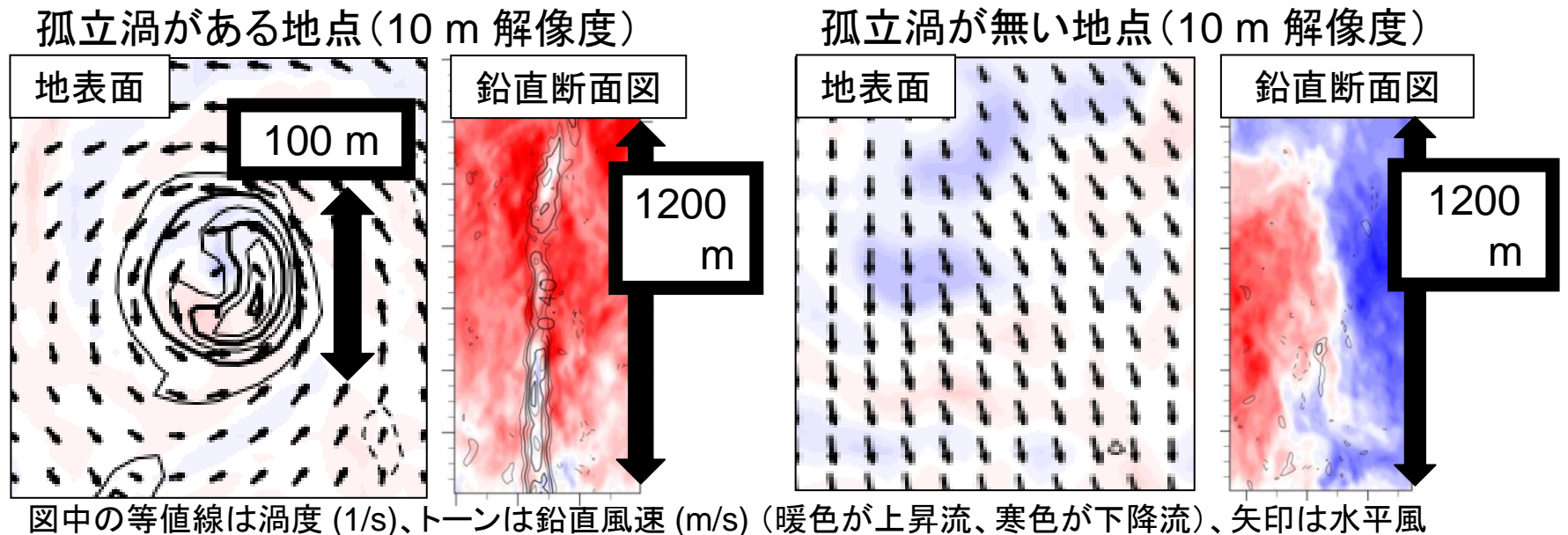
解析結果：地表面応力の大きい地点の分布 と上昇流域との対応



- 各解像度ともに、地表面応力が大きい値をもつ格子点の分布と地表面における上昇流の分布の対応が見られる
 - 上昇流域の集中箇所には地表面応力の大きな格子点が位置

解析結果：地表面応力の大きい地点で見られる流れ場の様子

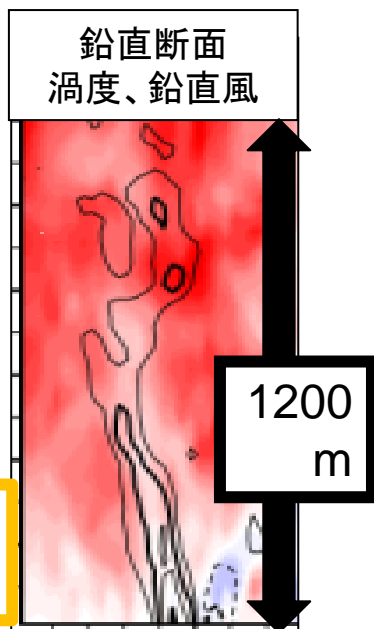
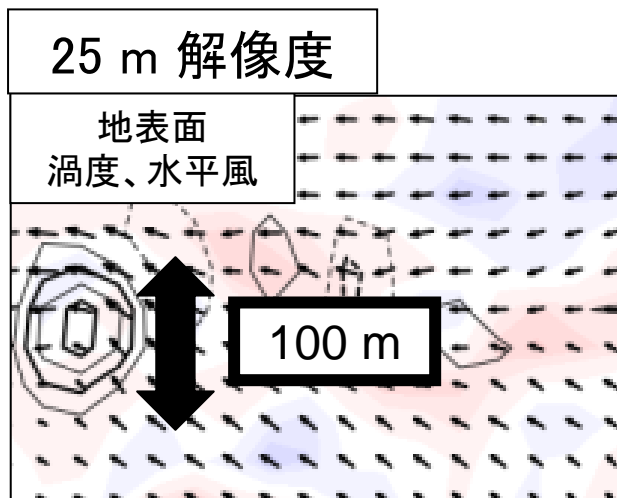
- 孤立渦がある地点と孤立渦の無い地点の両方が見られた



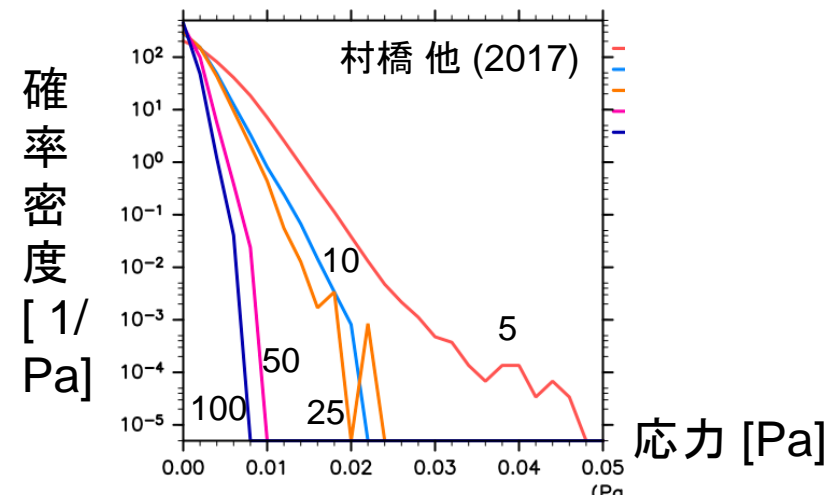
- それぞれの地点数の割合はどの解像度でも半々であった
 - 村橋 他 (2017) 調査の 5 m 解像度で見られた特徴に合致

| 解像度 | 10 m | 25 m | 50 m | 100 m | 参考: 5m |
|--------------|-------|--------|--------|--------|--------|
| 応力閾値 [Pa] | 0.017 | 0.0115 | 0.0068 | 0.0042 | 0.025 |
| 格子点数 | 73 | 136 | 48 | 63 | 199 |
| 渦あり:渦なし(個数比) | 5 : 5 | 6 : 4 | 6 : 4 | 5 : 5 | 5 : 5 |

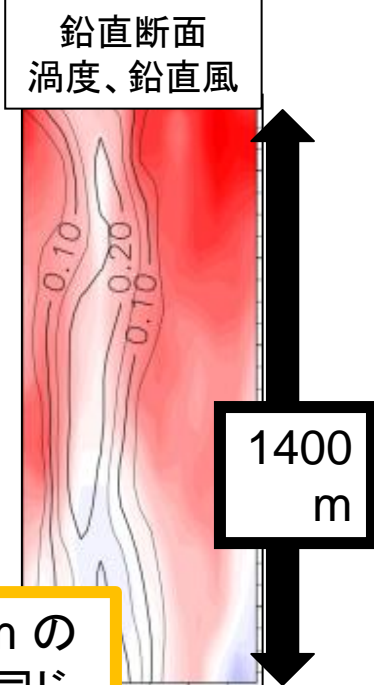
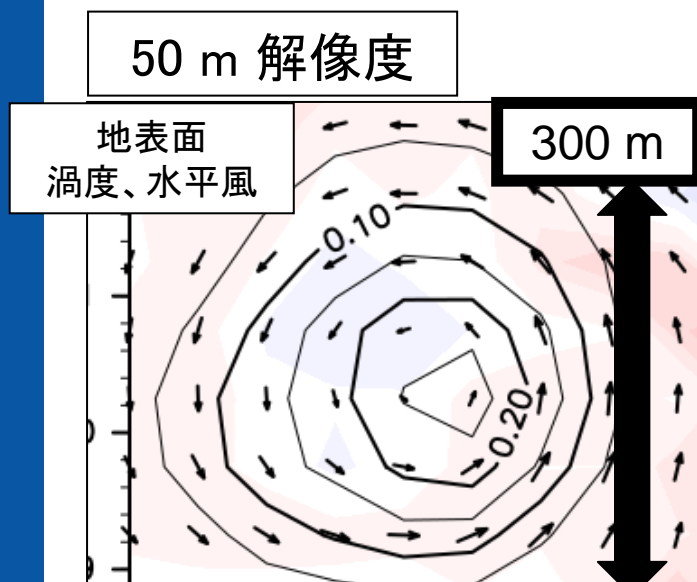
解析結果：解像度毎の孤立渦の比較



10 m, 25 m 解像度では 5 m 解像度と同サイズの渦が見られた



解像度毎の地表面応力頻度分布
(図中の数字は解像度を表す)



50 m, 100 m 解像度では直径 300-400 m の渦が見られた。渦構造は他解像度の渦と同じ

- 10 m, 25 m 解像度の結果から 5 m 解像度の渦の振る舞いを見積るのは本解析の結果のみからは難しい
- 5 m 解像度で得られた弱い渦を観察して、10 m, 25 m 解像度での渦と比較する

まとめ

- 本研究では世界最高解像度の火星大気 LES のデータを用いて解析を行い、地表面応力の大きい地点の流れ場の解像度依存性を調べた
- 各解像度で共通した特徴
 - 地表面応力の大きい地点は上昇流域の円環状構造の周囲に位置
 - 孤立渦が見られた。また、渦構造も共通していた
 - 孤立渦がある地点と孤立渦が無い地点の割合は半々
 - 5 m 解像度における村橋 他 (2017) の結果と同様の特徴
- 各解像度で異なっていた特徴
 - 孤立渦のサイズ
 - 10 m, 25 m 解像度: 5 m 解像度と同様に 100 m サイズの渦
 - 50 m, 100 m 解像度: 5 m - 25 m 解像度よりサイズは大きかった
- パラメタリゼーションの改善に向けて
 - 地表面応力の大きい地点では渦(ダストデビル)の他に渦以外によるダスト巻き上げ過程を考慮する必要あり
 - 5 m 解像度実験結果で地表面応力の小さい地点の渦の調査

参考文献

- Michael D. Smith, 2009: THEMIS observations of Mars aerosol optical depth from 2002–2008, *Icarus*, Volume 202, Issue 2, 444–452.
- Rafkin et al., 2013: Mars: Atmosphere and Climate Overview, University of Arizona Press, Tuscon, 610 pp., 444–452.
- Spiga et al., 2016: Large-Eddy Simulations of Dust Devils and Convective Vortices, *Space Science Reviews*, 203, 245–275.
- Nishizawa et al., 2016: Martian dust devil statistics from high-resolution large-eddy simulations, *Geophysical Research Letters*, Volume 43, Issue 9, 4180–4188.
- S. Nishizawa, H. Tomita, Team-SCALE, 2016: The detail formulation of SCALE-LES, [〈http://scale.aics.riken.jp/doc/scale_les.description.pdf〉](http://scale.aics.riken.jp/doc/scale_les.description.pdf).
- 村橋 他, 2017: 火星大気境界層 LES で表現された対流と渦, 大気境界層乱流ワークショップ, 2017/11/20, 惑星科学研究センター.