

2018/08/25

GFD セミナー 分科会

火星大気数値シミュレーションにおける 地表面付近の流れ場構造について

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
地球流体力学研究室
村橋 究理基

自己紹介

■ 村橋 究理基 (むらはし くりき)

■ 北海道大学 大学院理学院 宇宙理学専攻 D3

■ 学部生のときは北大恵迪(けいてき)寮で寮長をやったりしていました

- どんな場所かは NHK 72 時間 「北の大地の学生寮」など参照
- 見たい！知りたい！北海道 (<https://www.stv.jp/tv/mitai-shiritai-hokkaido/naivou/u3f86t000001trkp.html>)



LESを用いて火星のダストデビルに注目した解析を行なっている

自分

寮生集合写真 (2013年, 全体の 1/3 程度)

はじめに

■ 火星大気中のダスト量変化は, 大気の光学的深さを
変化させ, 温度場に影響を与えている
(Smith, 2009)

■ 実際の火星では様々な時空間スケールのダスト現象が存在



ダストデビル (探査機 Spirits 撮影)

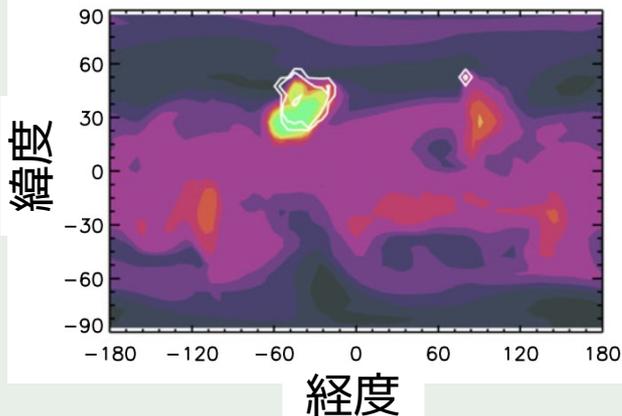
<http://mars.nasa.gov/mer/gallery/press/spirit/20050819a.html>

ダスト巻き上げを考慮した MGCM 計算

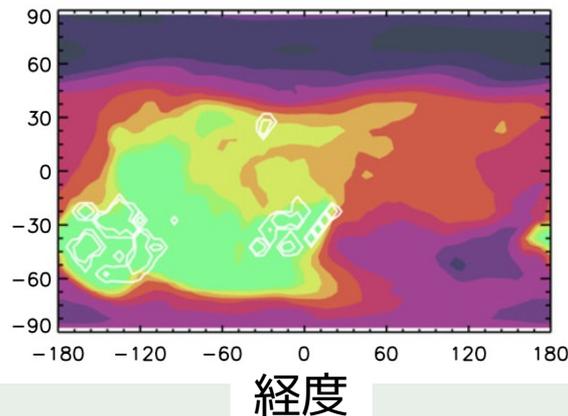
- Mulholland et al. (2013) : グローバルダストストームによる大気中ダスト量の年々変動が再現できたと主張

全球の光学的深さ (610 Pa 面, 対数プロット)

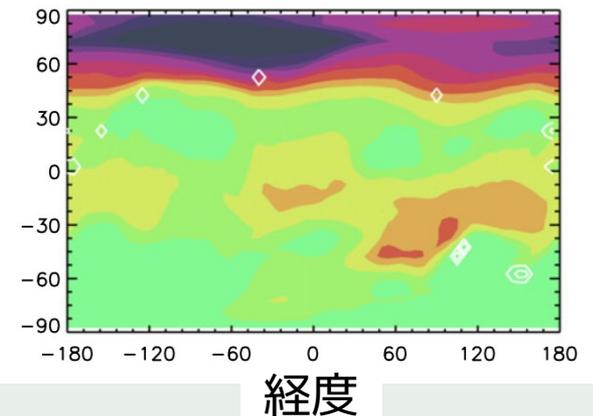
$L_s = 231^\circ$, sol 455



$L_s = 236^\circ$, sol 463



$L_s = 242^\circ$, sol 471



Mulholland et al. (2013)

- どの程度の量のダストが巻き上がるのかということは地表面付近の流れ場を詳細に検討した上で決められてはいない

もっとも高解像度な火星大気境界層の LES 計算

■ Nishizawa et al. (2016)

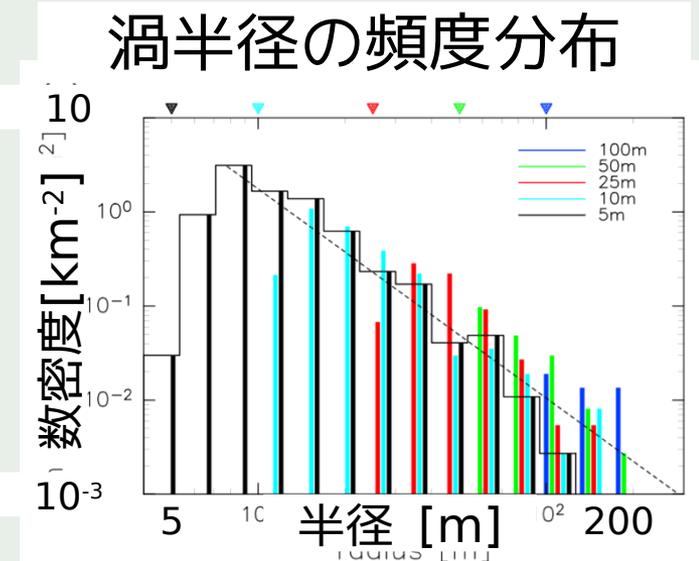
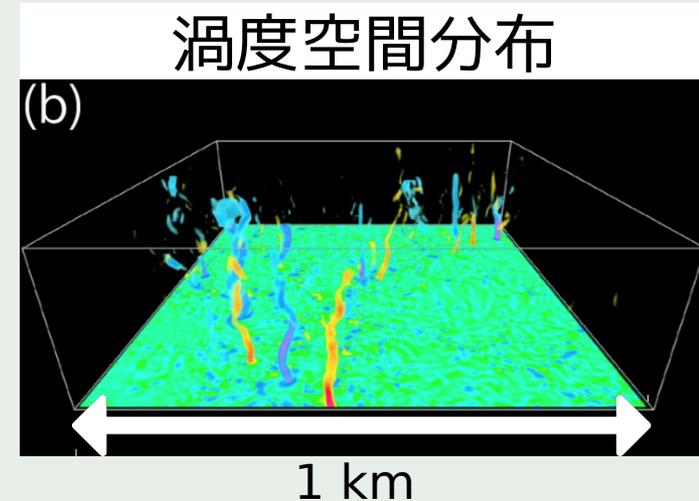
- 計算領域 水平 19.2 km, 鉛直 21 km
- 空間解像度 5, 10, 25, 50, 100 m
- 日変化する熱強制を外部から与える
- LT = 0:00 から計算開始 (LT : 現地時刻)

■ 渦に関する統計量を調べた

- LT = 14:30 の高度 62.5 m 付近における渦のサイズ分布など

■ しかし、地表付近における速度場や応力場については未調査

- ダストの巻き上げを考える上では地表付近を観察する必要がある



使用データ

■ 使用モデル：SCALE-LES

- 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
- 側面境界には周期境界条件

■ 空間解像度

- 等方 5 m, 10 m, 25 m, 50 m, 100 m
- 5 m 解像度の格子点数は約 4.8×10^{10} 点
(1 時刻 1 スナップショットのデータ量は 1.2 TB)

■ 熱強制

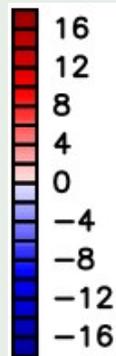
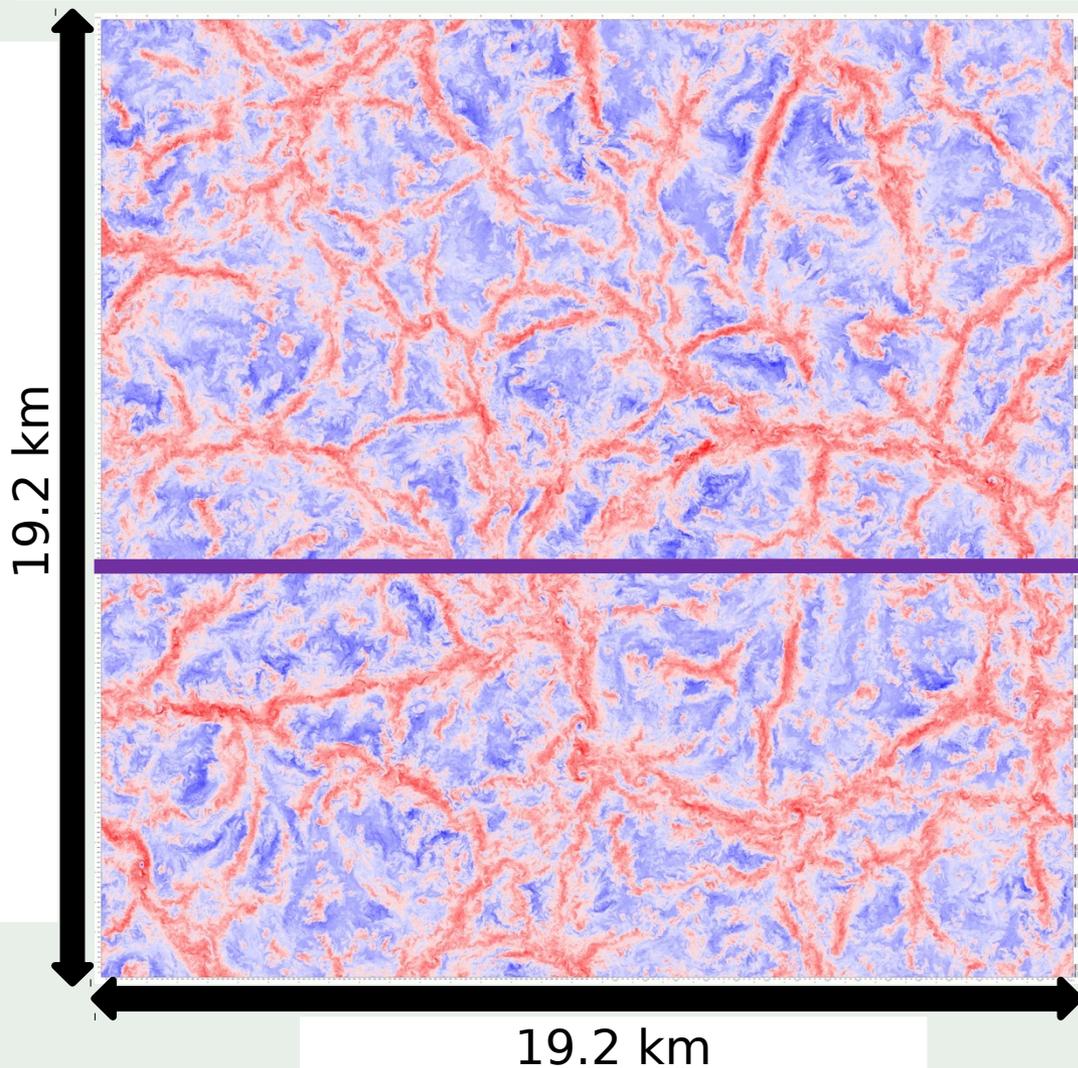
- Odaka et al. (2001) の1次元計算から得られた地表面温度及び大気加熱率分布を与える

■ 初期状態

- 安定成層した静止大気に微細な温度擾乱を加えたもの

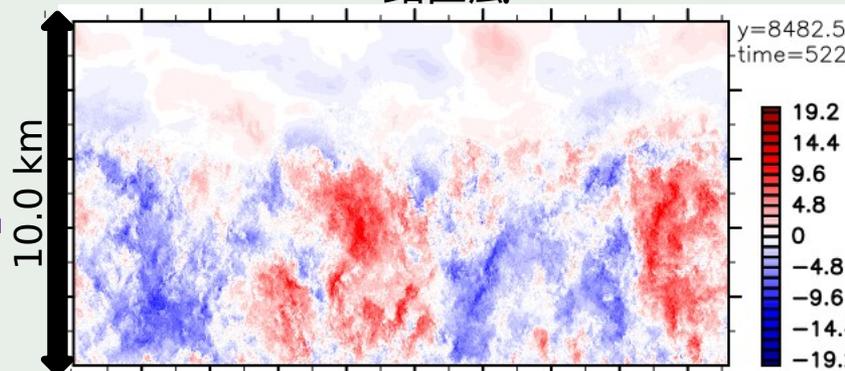
流れ場空間分布概観 (z = 197.5, LT = 14:30)

鉛直風 [m/s] 水平分布

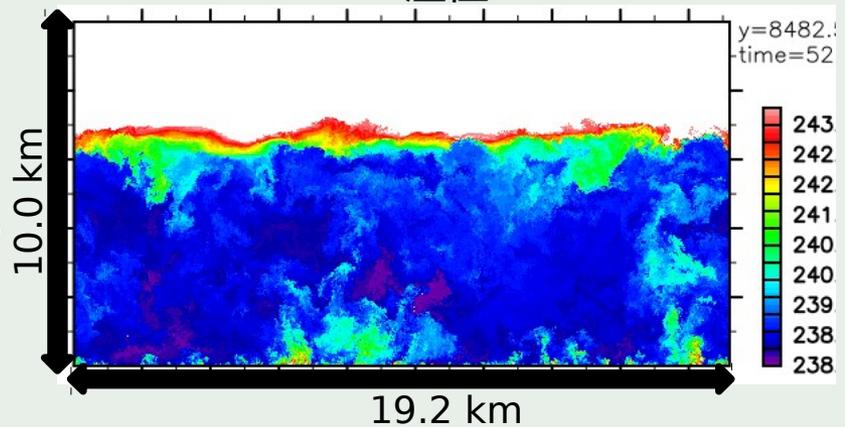


- 対流セルサイズ
 - 水平 : 数 km
 - 鉛直 : 6 km 程度

鉛直風

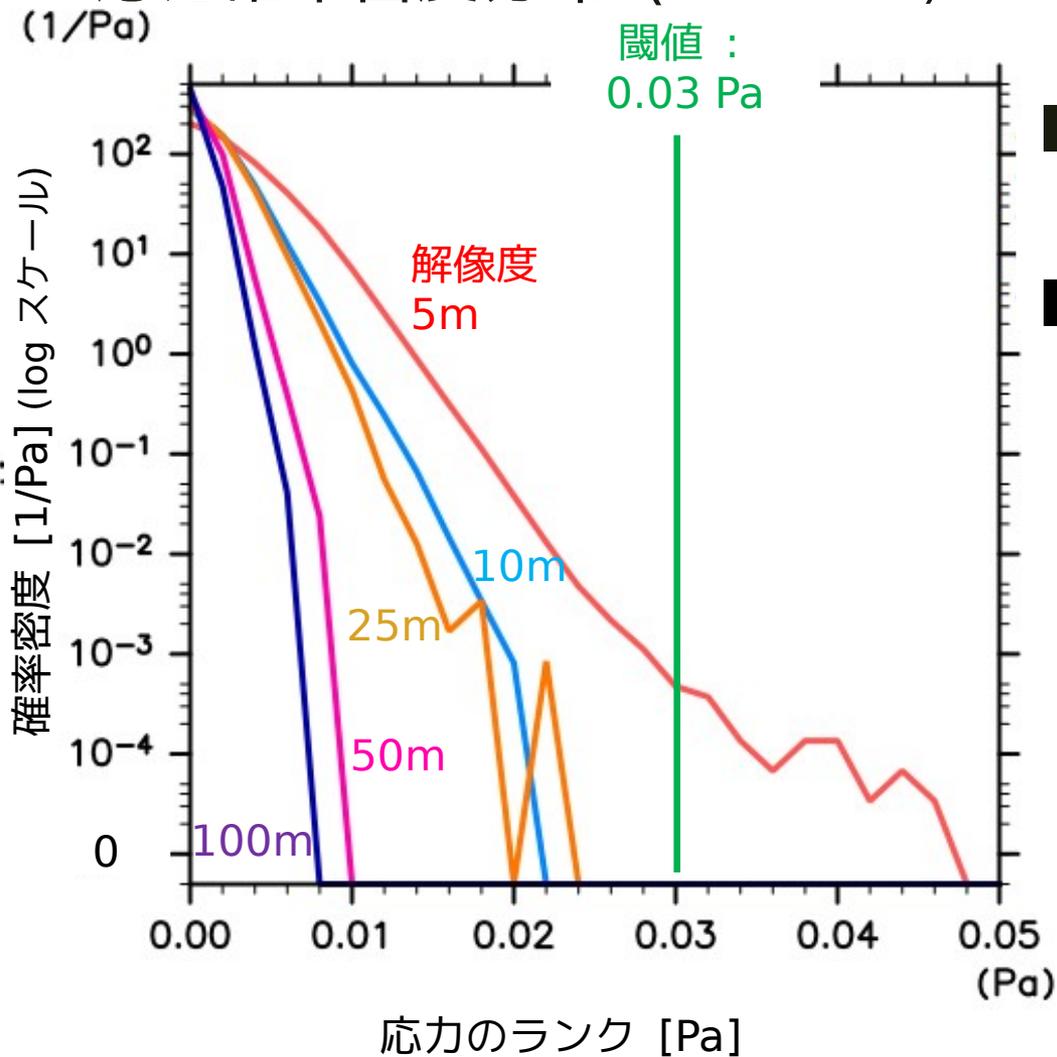


温位



これまでの解析：地表面応力確率密度分布

応力確率密度分布 (LT=14:30)



- 解像度 5 m と 10 m では概形が大きく異なる
- 他の解像度では閾値を超えない
- 実験によるダスト巻き上げの閾値 0.03 Pa (Greeley and Iversen, 1985)

$$\text{確率密度} \frac{dn}{N dr}$$

dn : ビンに含まれる格子点数

N : 全格子点数

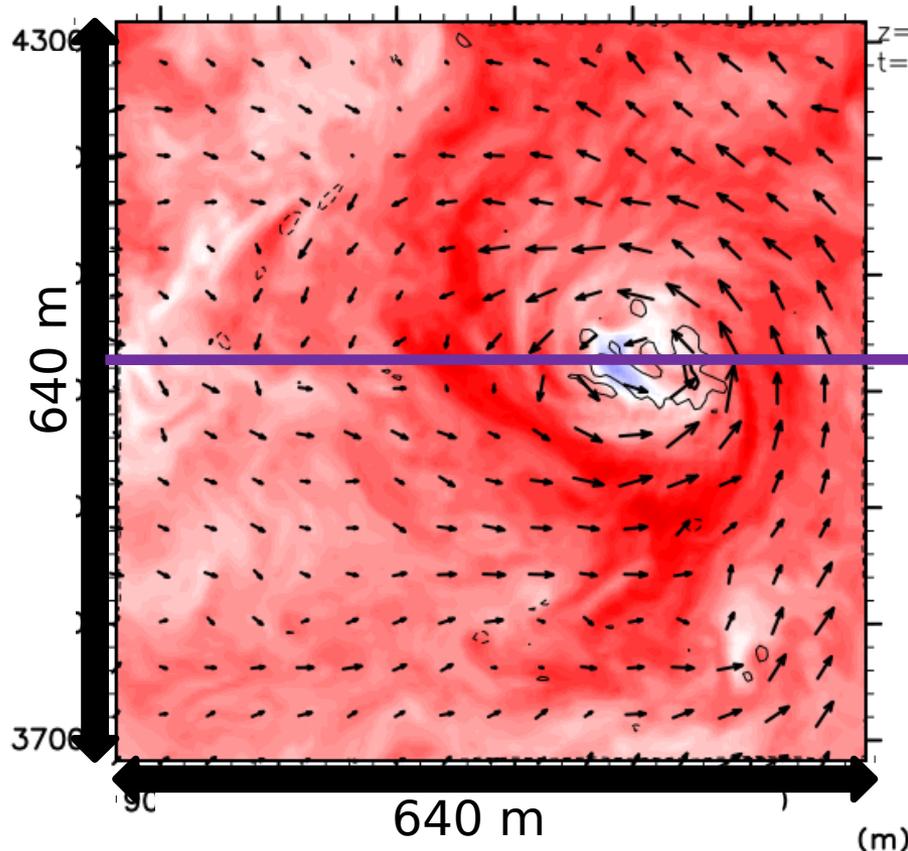
dr : ビンの幅 (0.002 Pa)

応力が強い箇所の流れ場

■ 孤立渦があるように見える

- 直径 120 m 程度, 高さ 1,500 m 程度

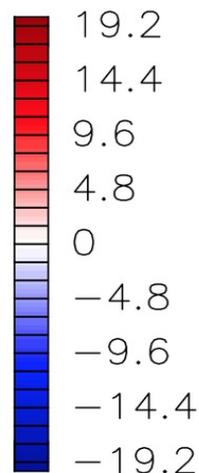
鉛直風, 水平風, 渦度 水平断面 ($z = 802.5 \text{ m}$)



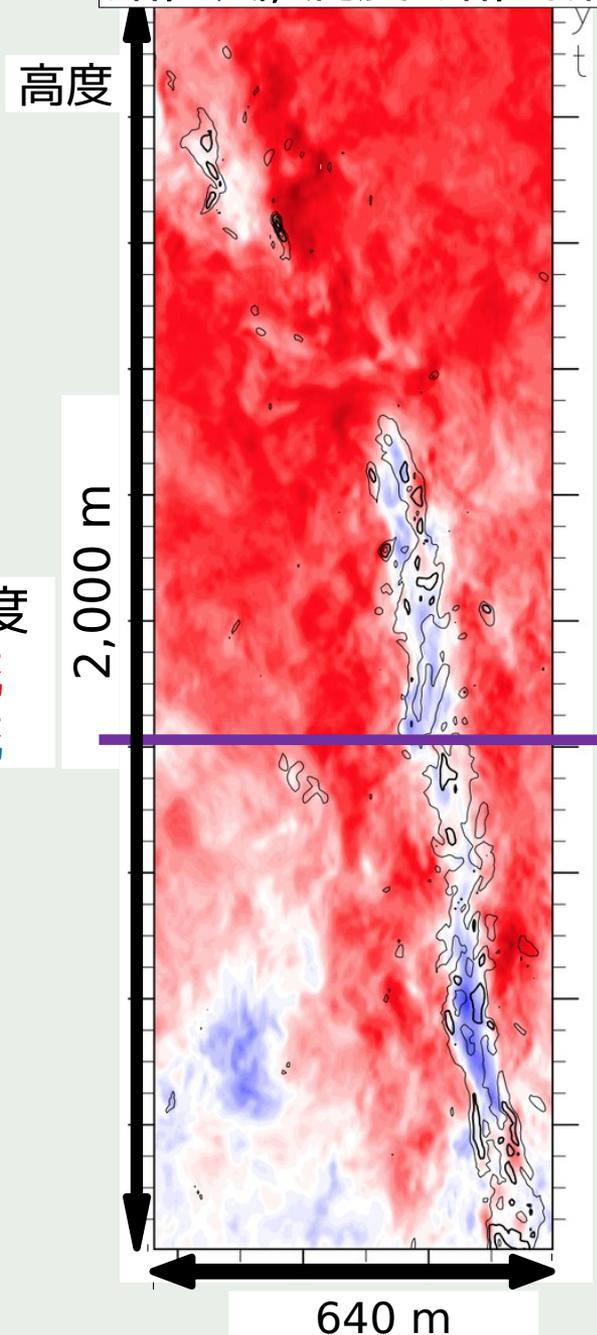
等値線 : 渦度

赤 : 上昇流

青 : 下降流



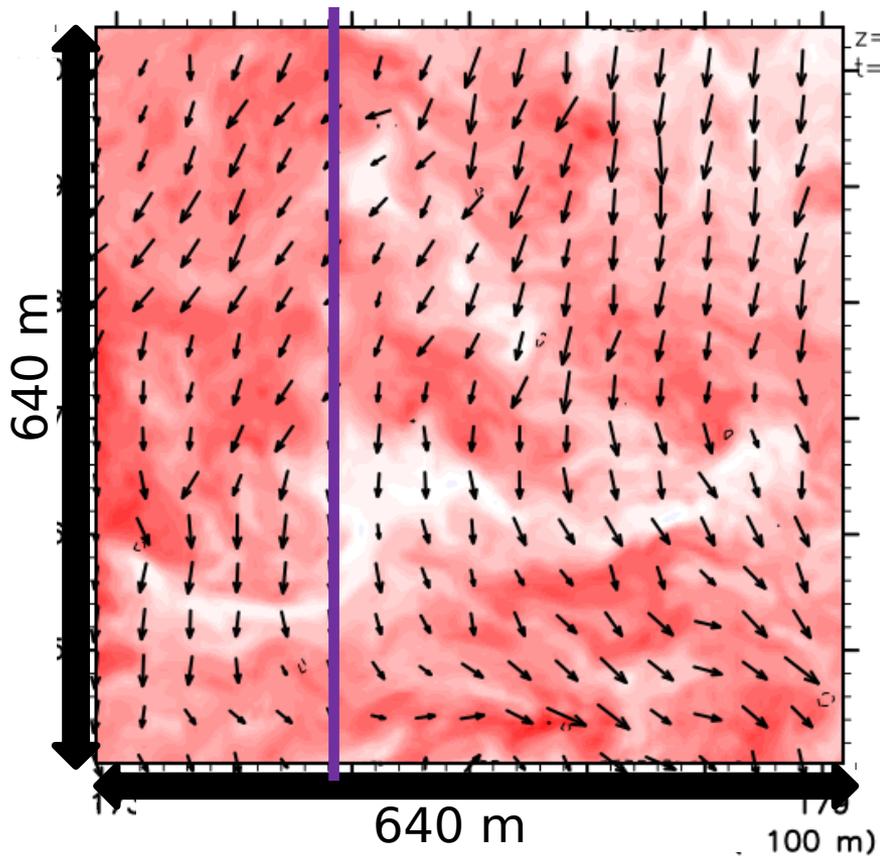
鉛直風, 渦度 鉛直断面



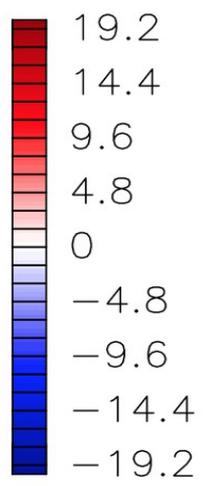
応力が強い箇所の流れ場

■ 明確な渦構造はみられない

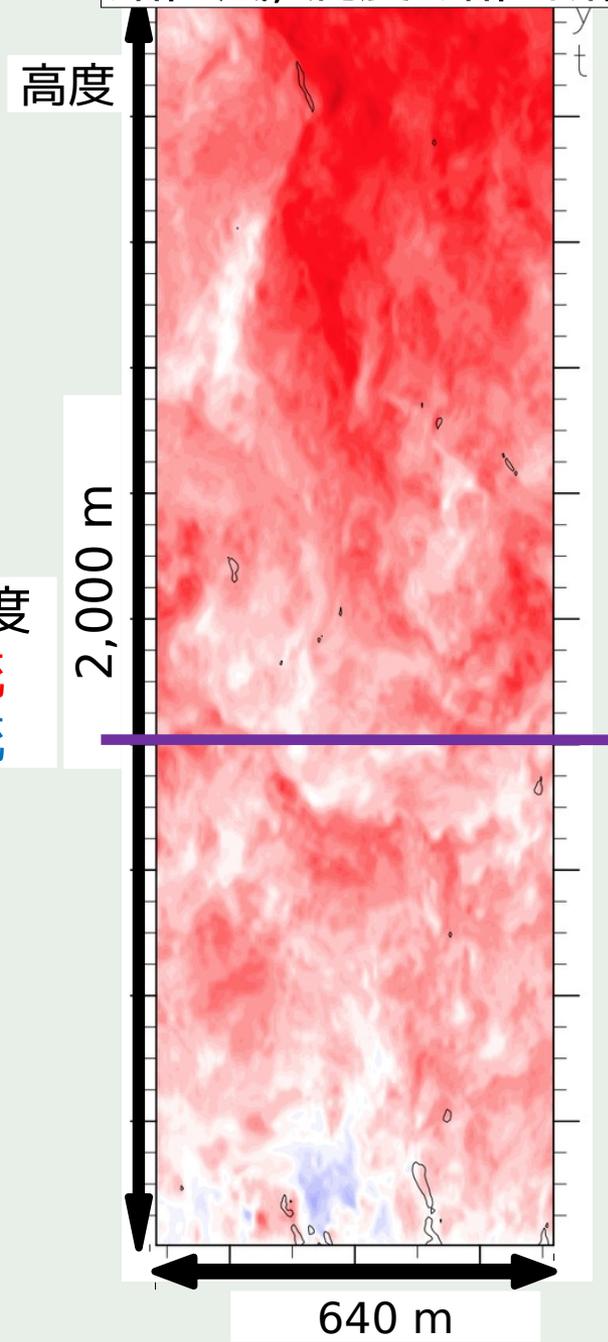
鉛直風, 水平風, 渦度 水平断面 ($z = 802.5 \text{ m}$)



等値線 : 渦度
赤 : 上昇流
青 : 下降流



鉛直風, 渦度 鉛直断面



応力が強い箇所における渦構造の有無

14:30 以降の時刻における地表面応力値 > 0.025 Pa を超えた箇所 (各時刻において ~ 10 箇所) について調査

時刻	応力値 > 0.025 Pa の箇所の数	渦構造が見られる 箇所の数
14:30	11	5 (45 %)
14:35	8	3 (38 %)
14:40	14	8 (57 %)
14:45	8	3 (38 %)
14:50	13	7 (54 %)
14:55	16	5 (31 %)
15:00	12	5 (47 %)

まとめ

- 火星地表面でダストを巻き上げるような応力が強い箇所には渦構造を伴う場所とそうでない場所がある
 - 渦構造はダストデビルである可能性がある
 - そうでない場所は対流セルの境界付近 (~ 水平風の収束域) にある
 - 応力が強い箇所のうち, 渦構造を伴うのは半分程度
- 将来的な展望
 - 渦の有無によってどの程度ダストを巻き上げる量に差があるか(ないのか)検討する
 - 将来的なダスト巻き上げパラメタリゼーションスキームの改良に向けて流れ場とダストフラックスの関係について考察したい

参考文献

- Greeley, R., and J. D. Iversen, 1985: Wind as a Geological Process on Earth, Mars, Venus, and Titan., Cambridge Univ. Press., 333 pp
- Louis, J.-F., 1979: A parametric model of vertical eddy fluxes in the atmosphere, Boundary Layer Meteorol., 17, 187-202.
- Mulholland, D. P., et al., 2013: Simulating the interannual variability of major dust storms on Mars using variable lifting thresholds, Icarus, 223, 344-358
- Nishizawa, S., et al., 2016: Martian dust devil statistics from high-resolution large-eddy simulations, Geophys. Res. Lett., 43, 4180-4188
- Odaka M., 2001: A numerical simulation of Martian atmospheric convection with a two-dimensional anelastic model: A case of dust-free Mars, Geophys. Res. Lett., 28, 895-898