

火星大気を想定した高解像度 LES で 得られた地表面応力分布

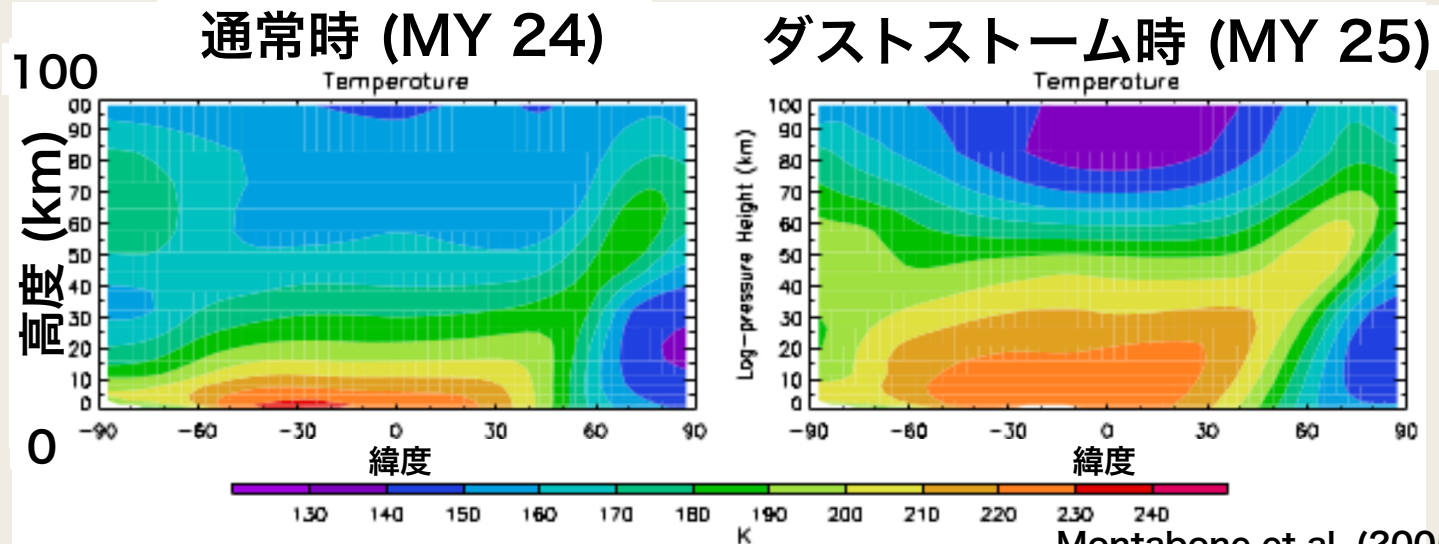
*村橋究理基¹, 西澤誠也², 石渡正樹¹, 小高正嗣¹, 須藤康平¹
中島健介³, 竹広真一⁴, 杉山耕一郎⁵, 高橋芳幸⁶, 林祥介⁶

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

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
(Montabone et al., 2005)

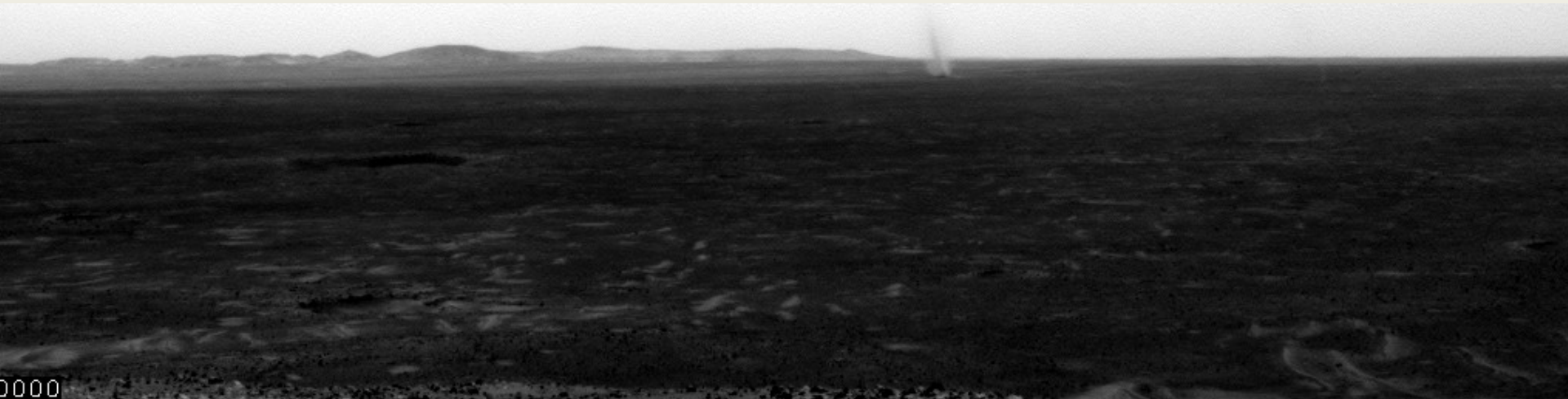
温度の
子午面分布
(観測結果)



Montabone et al. (2005)

はじめに

- **ダスト巻き上げ量を決定するのは境界層内の流れ**
 - 特に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>

- **境界層内の流れに注目した, 高解像度 LES 実験が行われている**
(Fenton and Michaels, 2010; Nishizawa et al., 2016)

もっとも高解像度な火星境界層の LES 計算

■ Nishizawa et al. (2016)

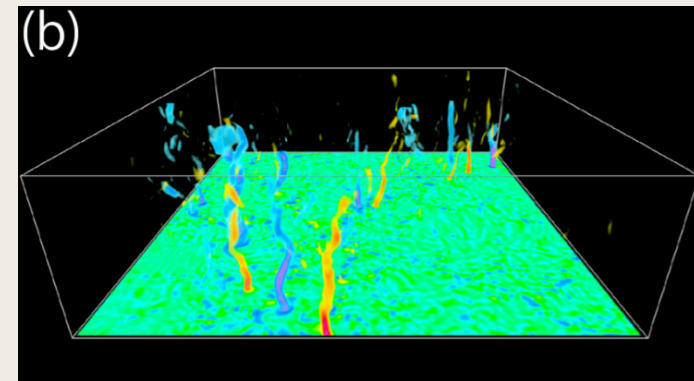
- 計算領域 水平 19.2 km, 鉛直 21 km
- 空間解像度 5, 10, 25, 50, 100 m
- 日変化する熱強制を外部から与える
- LT = 0:00 から計算開始 (LT : 現地時刻)

■ 渦に関する統計量を調べた

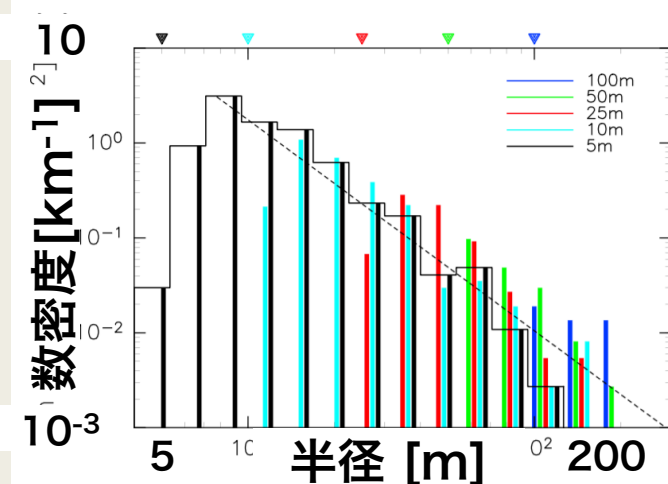
- LT = 14:30 の高度 62.5 m 付近における渦のサイズ分布など

■ 地表付近における流れ場の様子については未調査

- 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



渦度空間分布 (一部)



渦半径の頻度分布

Nishizawa et al. (2016)

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, 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) での1次元計算から求め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

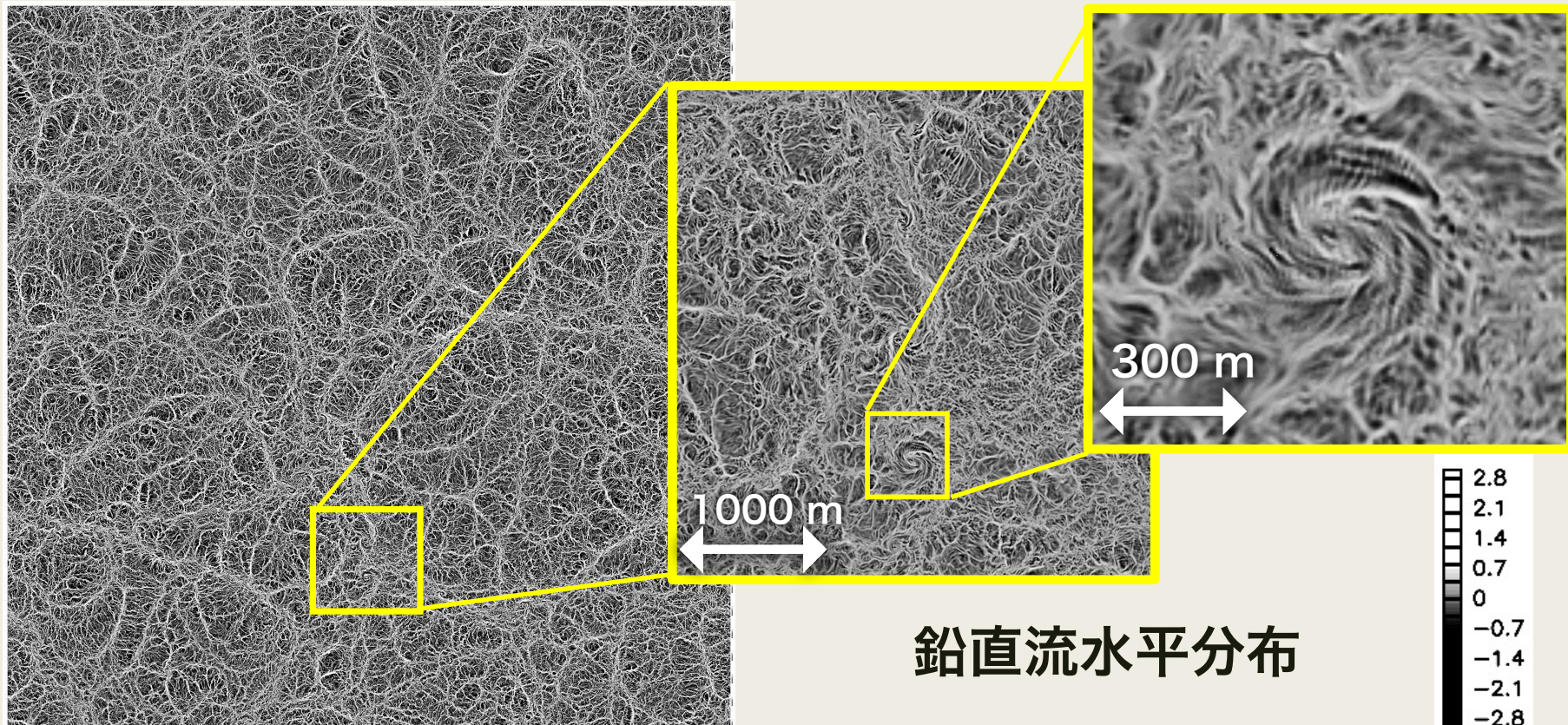
- $LT = 0$ の安定成層した静止大気に微細な温度擾乱を加えたもの

■ 今回の解析では $LT = 14 : 30$ のデータを用いる

- Nishizawa et al. (2016) で解析されている時刻

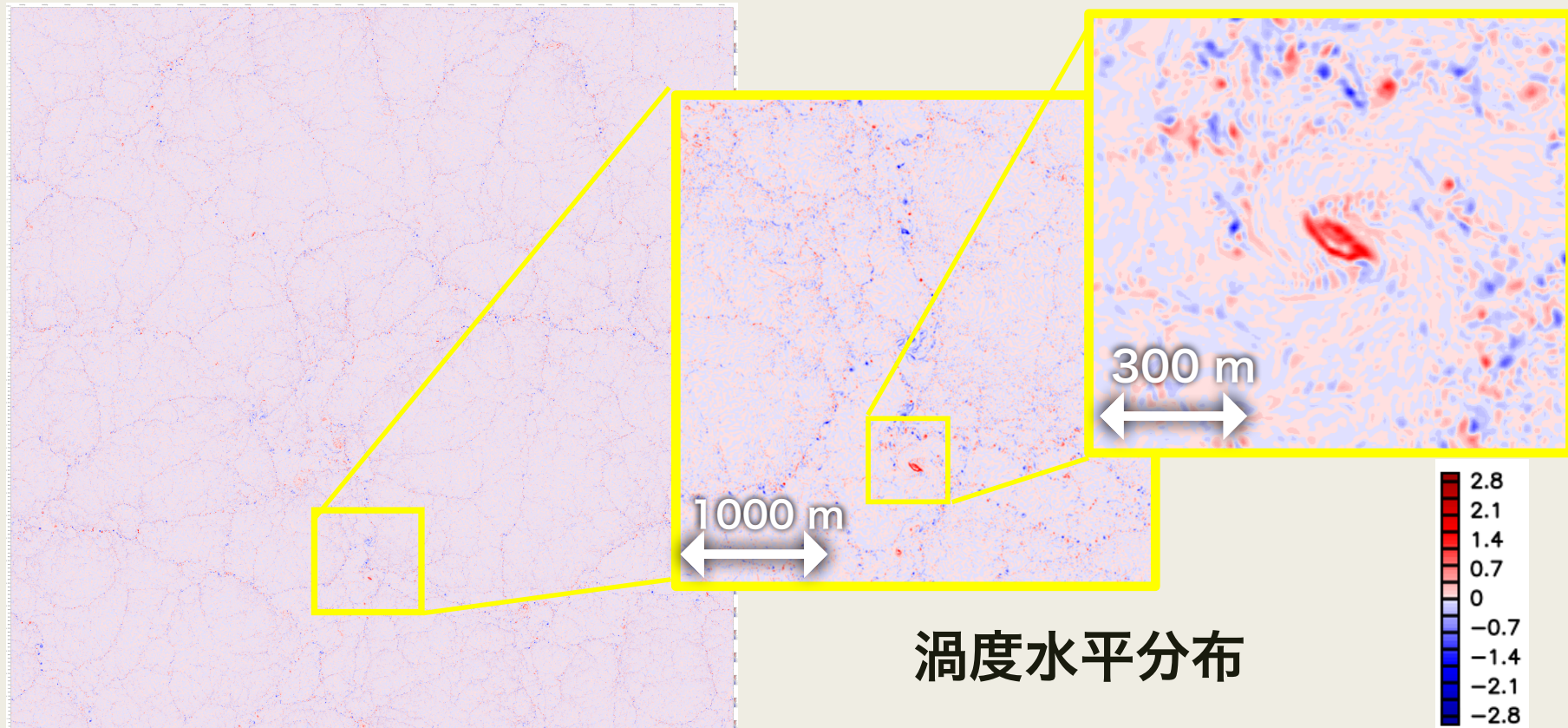
前回の発表

- ダスト巻き上げに関わる地表面付近の流れ場について鉛直流及び渦度の様子を見た
(村橋 他, 気象学会 2016 年度秋季大会)
 - ネットワーク状に広がった上昇流領域
 - 上昇流領域に沿って渦度の強い場所が存在



前回の発表

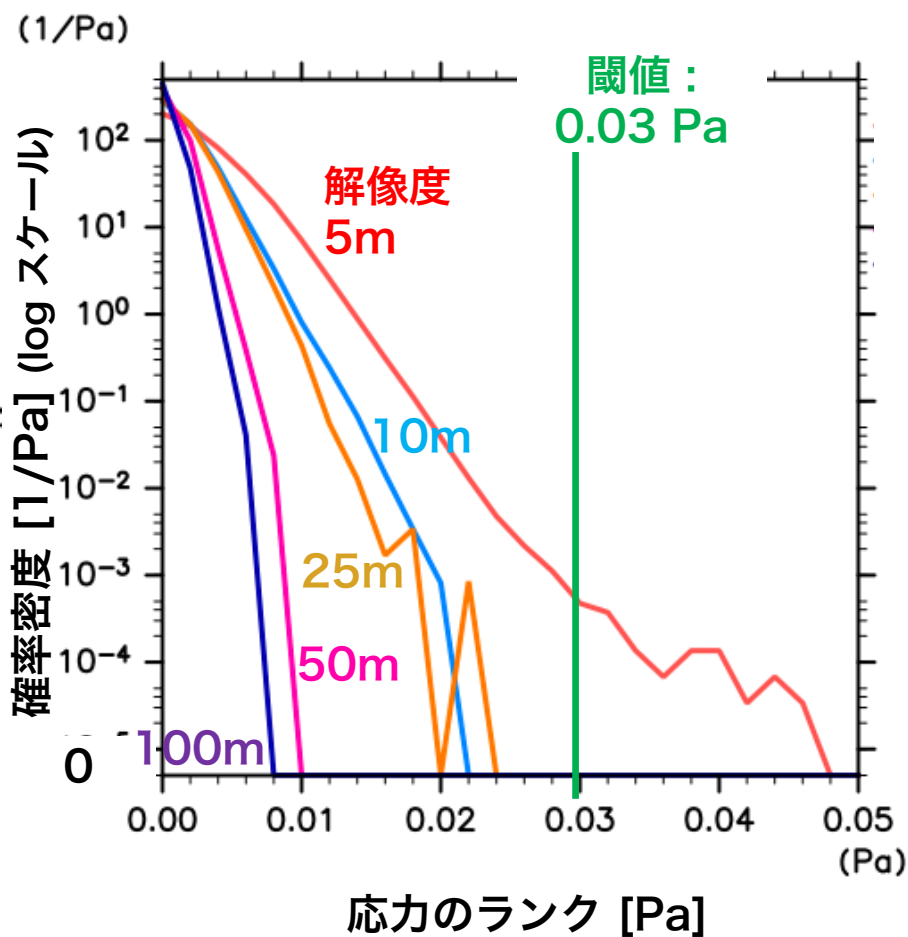
- ダスト巻き上げに関わる地表面付近の流れ場について鉛直流及び渦度の様子を見た
(村橋 他, 気象学会 2016 年度秋季大会)
 - ネットワーク状に広がった上昇流領域
 - **上昇流領域に沿って渦度の強い場所が存在**



今回の目的

- **ダスト巻き上げ量の決定に重要である地表面応力を調べる**
 - 頻度分布
 - 解像度依存性
 - 空間分布
- **どのような流れ場の構造が高い応力をもたらすのかを明らかにすることを目指す**

解析結果：地表面応力頻度分布



応力確率密度分布

■ 閾値を超える箇所は解像度 5 m の場合にのみ現れる

- ダスト巻き上げの閾値 0.03 Pa (Greeley and Iversen, 1985)

■ 解像度 5 m と 10 m では大きく概形が異なる

■ 確率密度関数

$$\frac{n}{N dr}$$

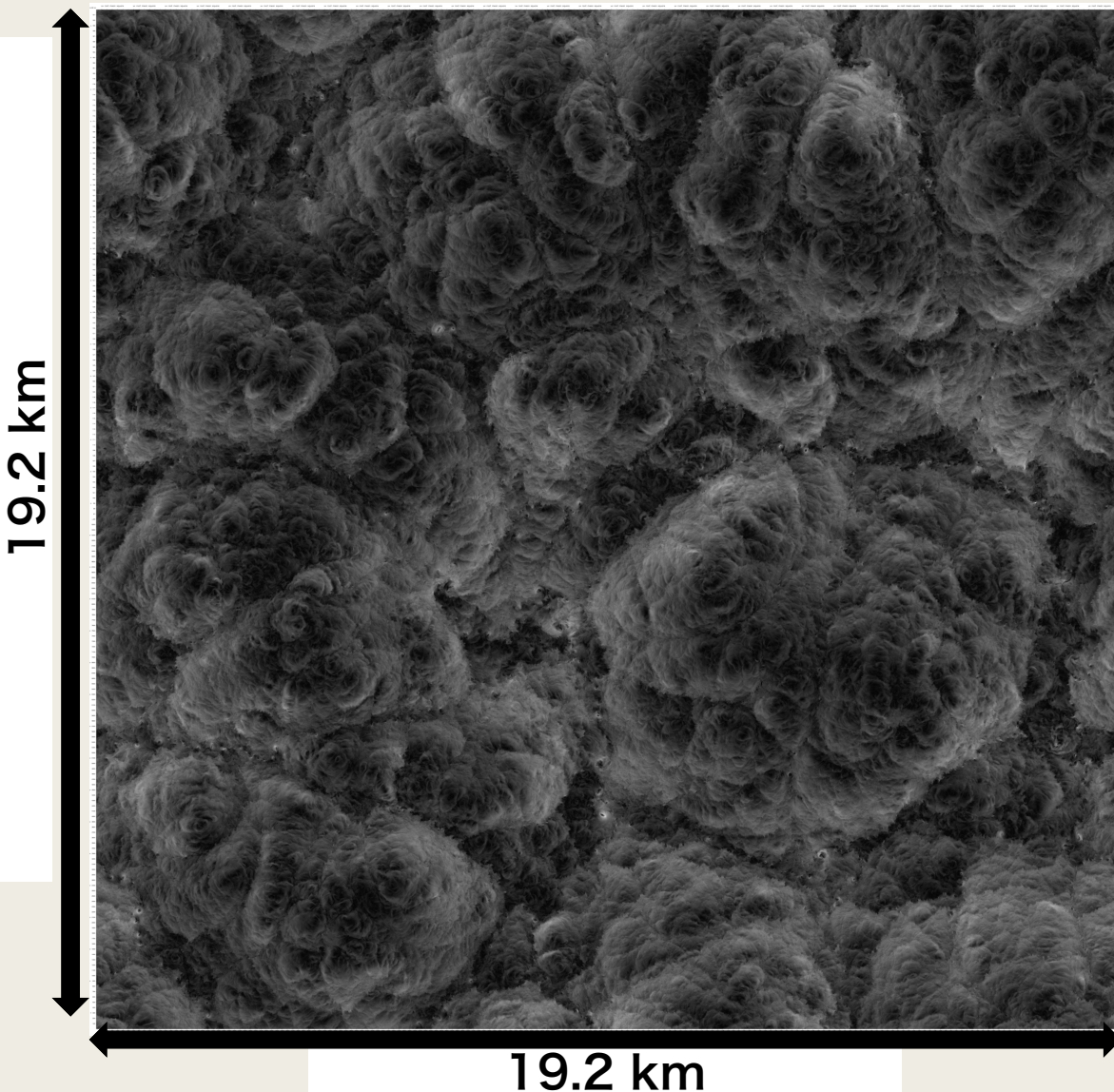
n : ビンに含まれる格子点数

N : 全格子点数

dr : ビンの幅 (0.002 Pa)

地表面応力が強い場所

水平風絶対値 [m/s] 空間分布 ($z = 2.5$ m)



■ 水平風の収束域
付近に対応

- ネットワーク状
の上昇流領域

■ 応力が 0.03 Pa
を超える場所は
3箇所
(矢印部分)

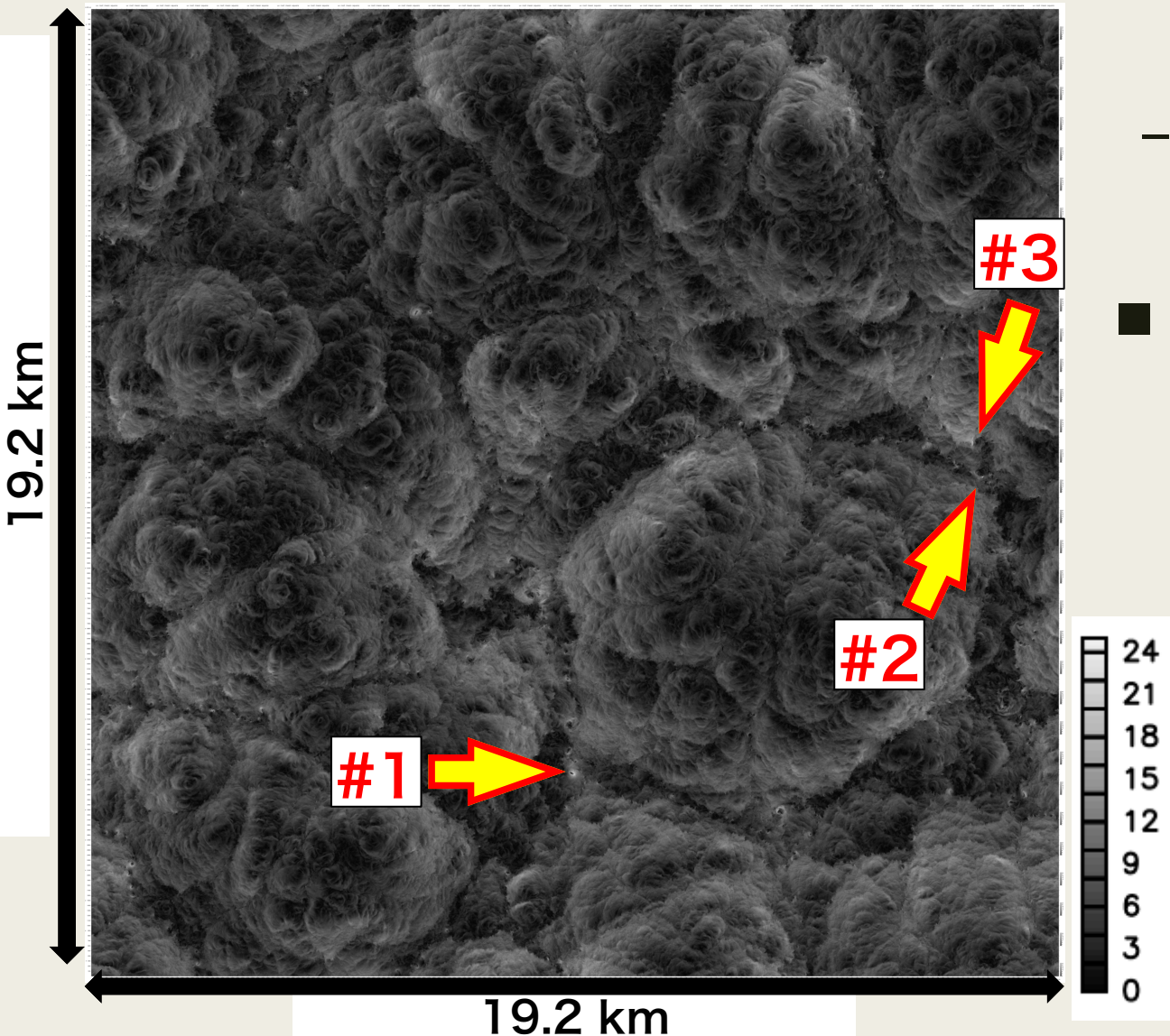
#1 : 34 格子点

#2 : 6 格子点

#3 : 3 格子点

地表面応力が強い場所

水平風絶対値 [m/s] 空間分布 (z = 2.5 m)



■ 水平風の収束域
付近に対応

- ネットワーク状
の上昇流領域

■ 応力が 0.03 Pa
を超える場所は
3箇所
(矢印部分)

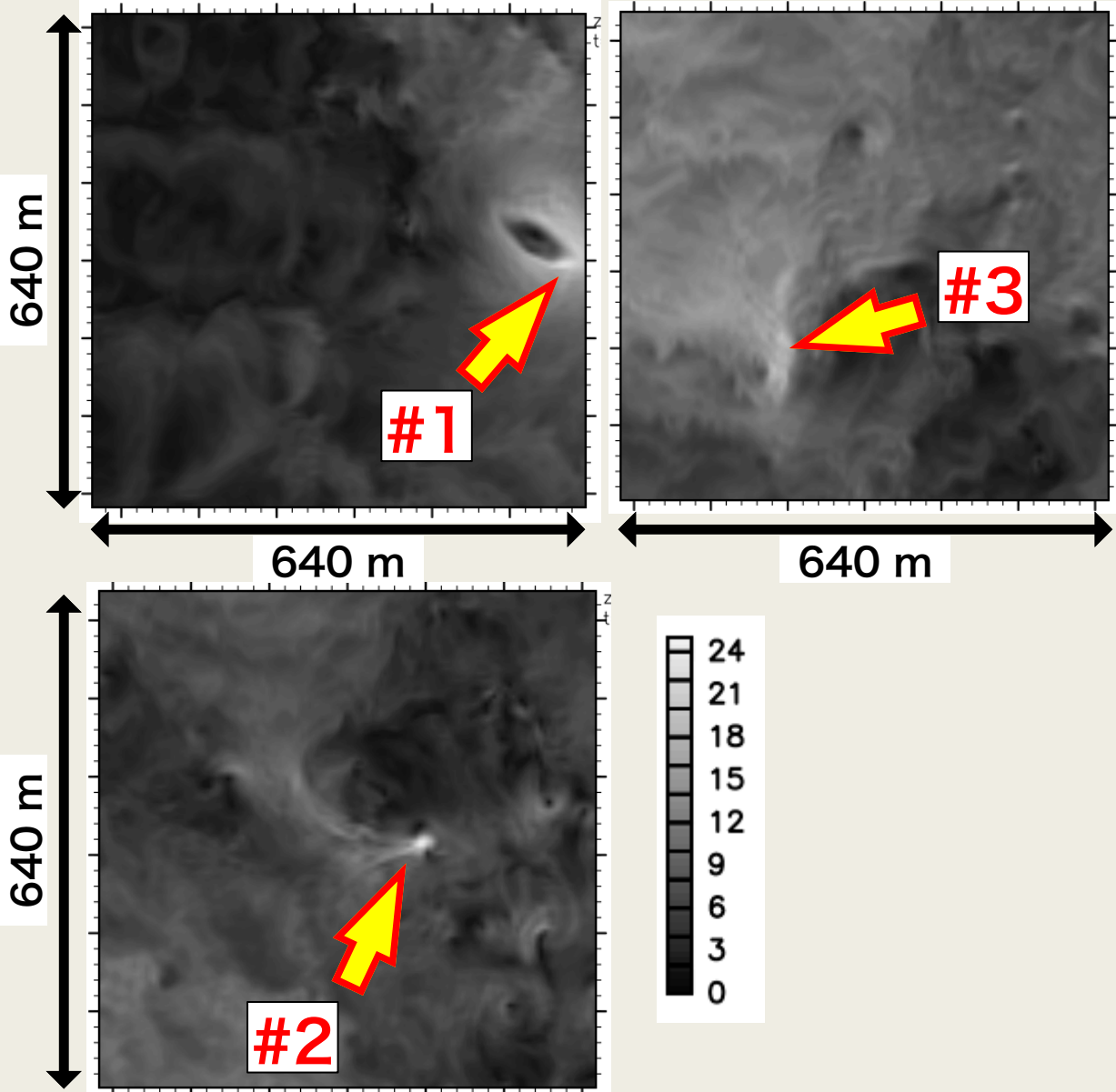
#1 : 34 格子点

#2 : 6 格子点

#3 : 3 格子点

地表面応力が強い場所：拡大図

水平風絶対値 [m/s] 空間分布 ($z = 2.5$ m)



■ 水平風の収束域
付近に対応

- ネットワーク状
の上昇流領域

■ 応力が 0.03 Pa
を超える場所は
3箇所
(矢印部分)

- #1 : 34 格子点

- #2 : 6 格子点

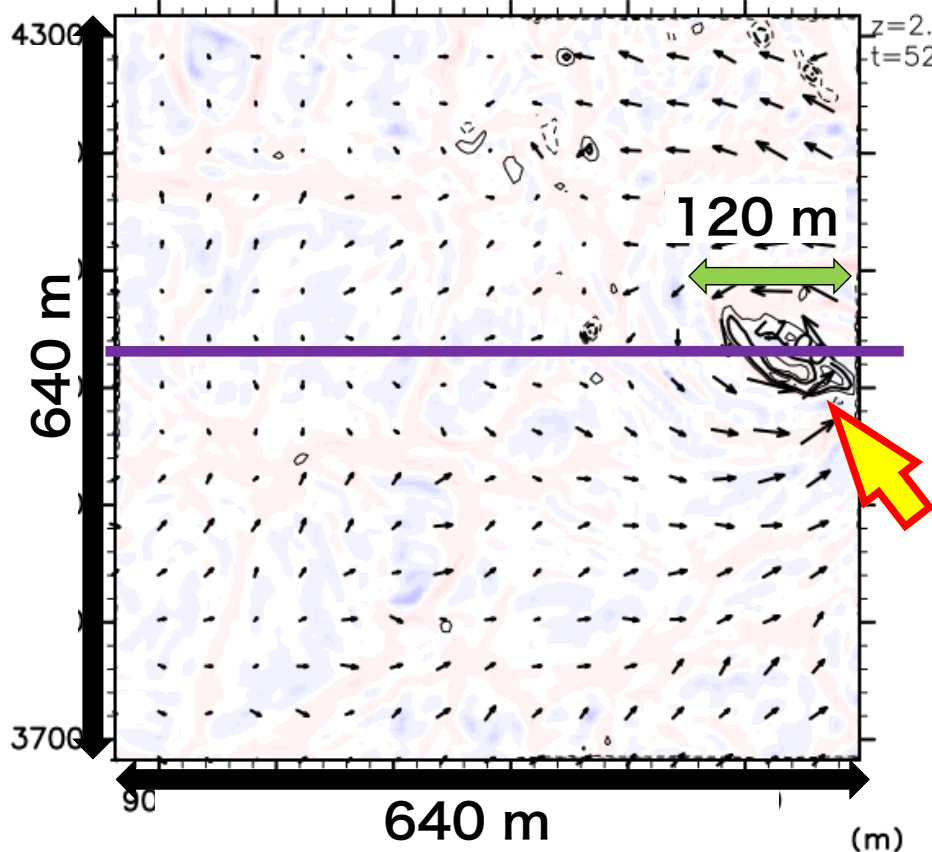
- #3 : 3 格子点

#1 渦がみえる場所

■ 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

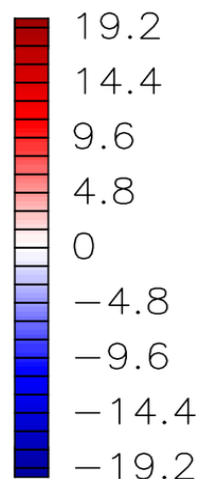
鉛直風, 水平風, 渦度 水平断面 ($z = 2.5$ m)



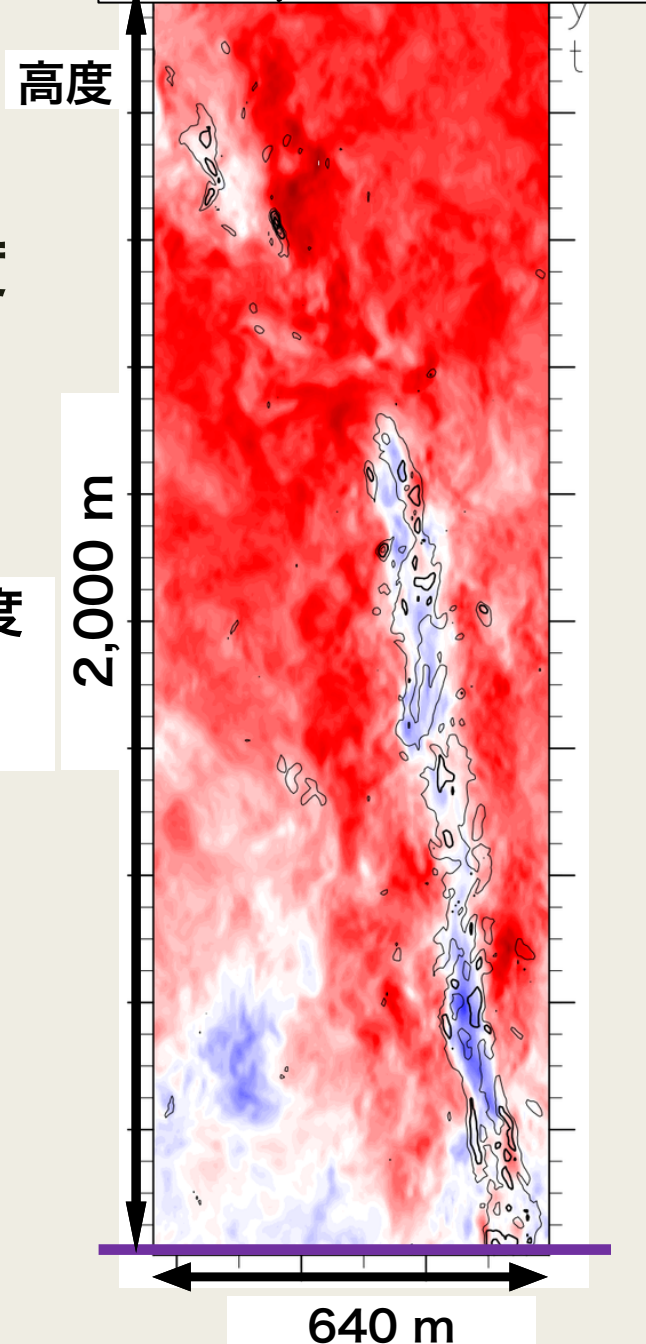
等値線 : 渦度

赤 : 上昇流

青 : 下降流



鉛直風, 渦度 鉛直断面

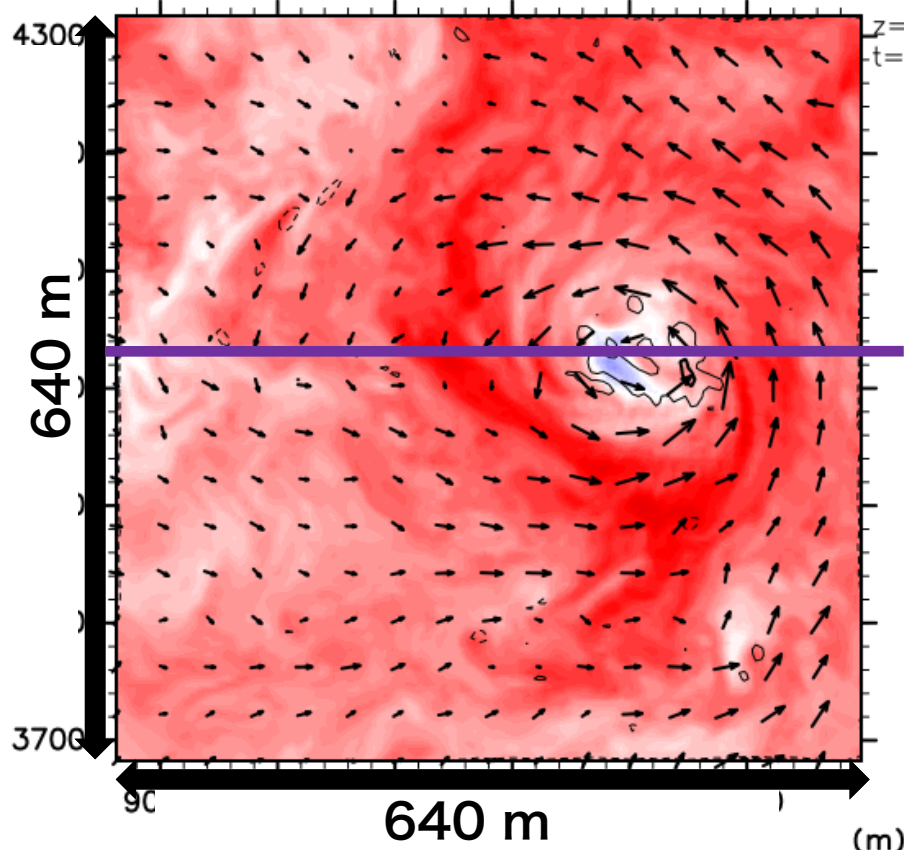


#1 渦がみえる場所

■ 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

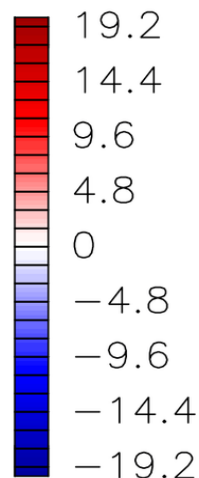
鉛直風, 水平風, 渦度 水平断面 ($z = 802.5 \text{ m}$)



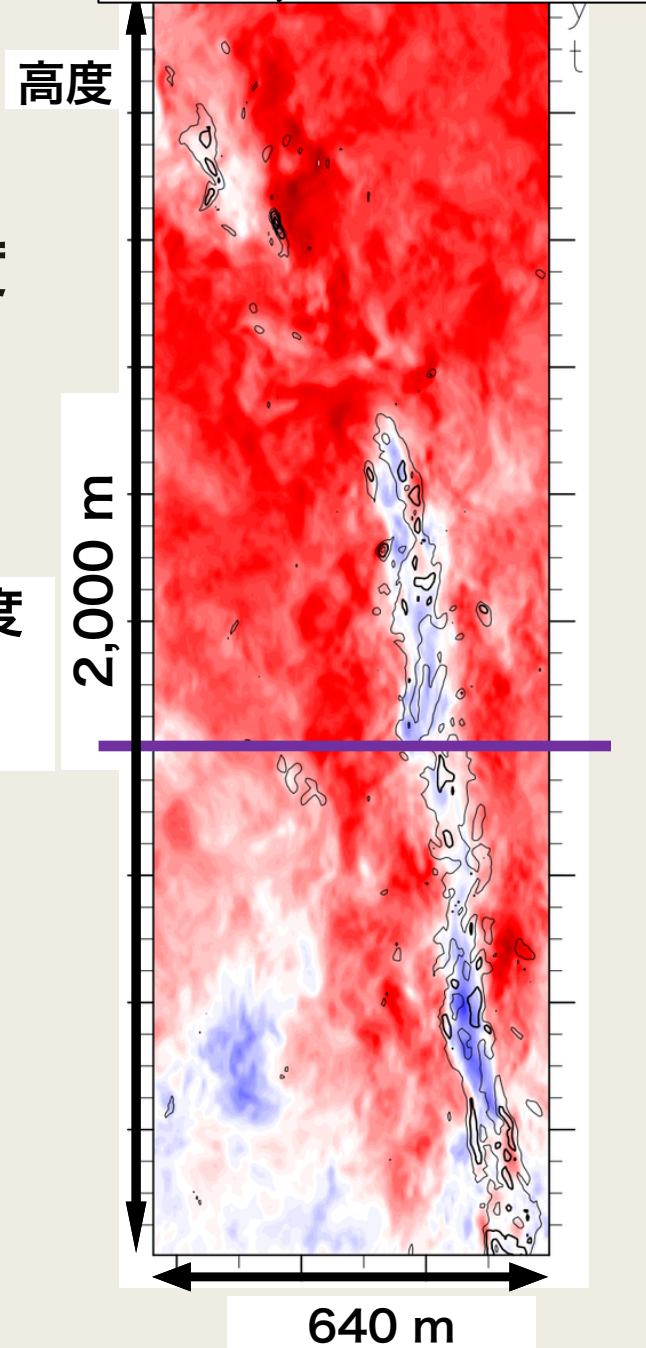
等値線 : 渦度

赤 : 上昇流

青 : 下降流



鉛直風, 渦度 鉛直断面

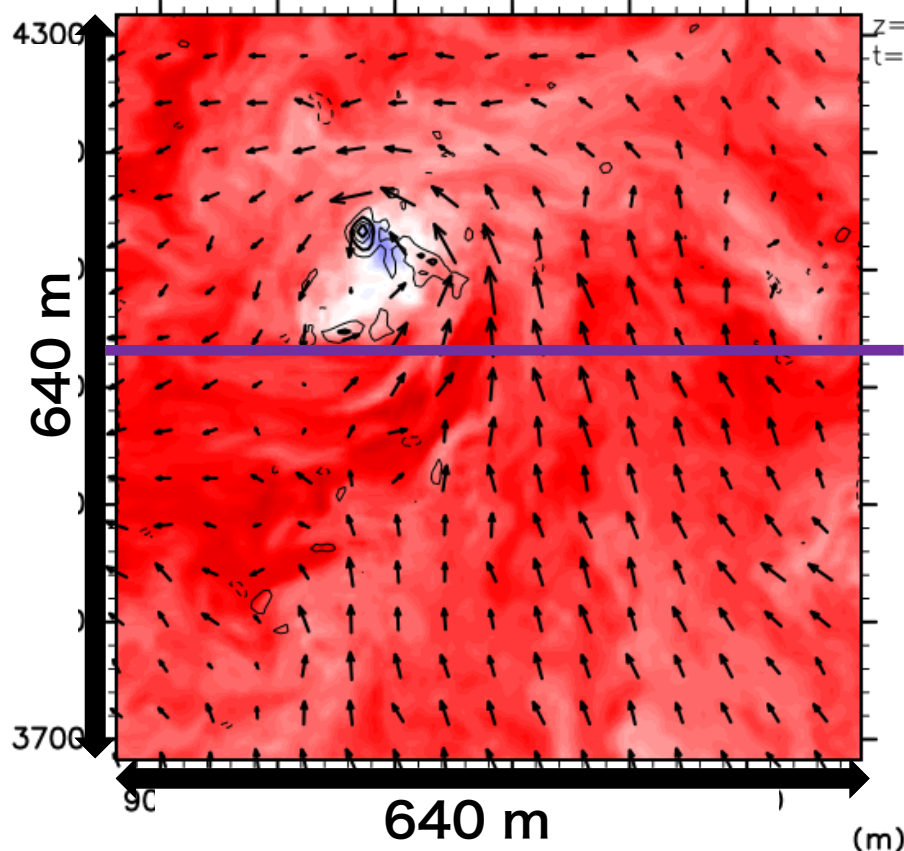


#1 渦がみえる場所

■ 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

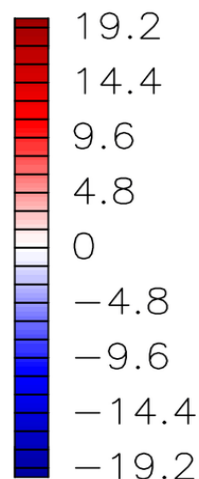
鉛直風, 水平風, 渦度 水平断面 ($z = 1502.5$ m)



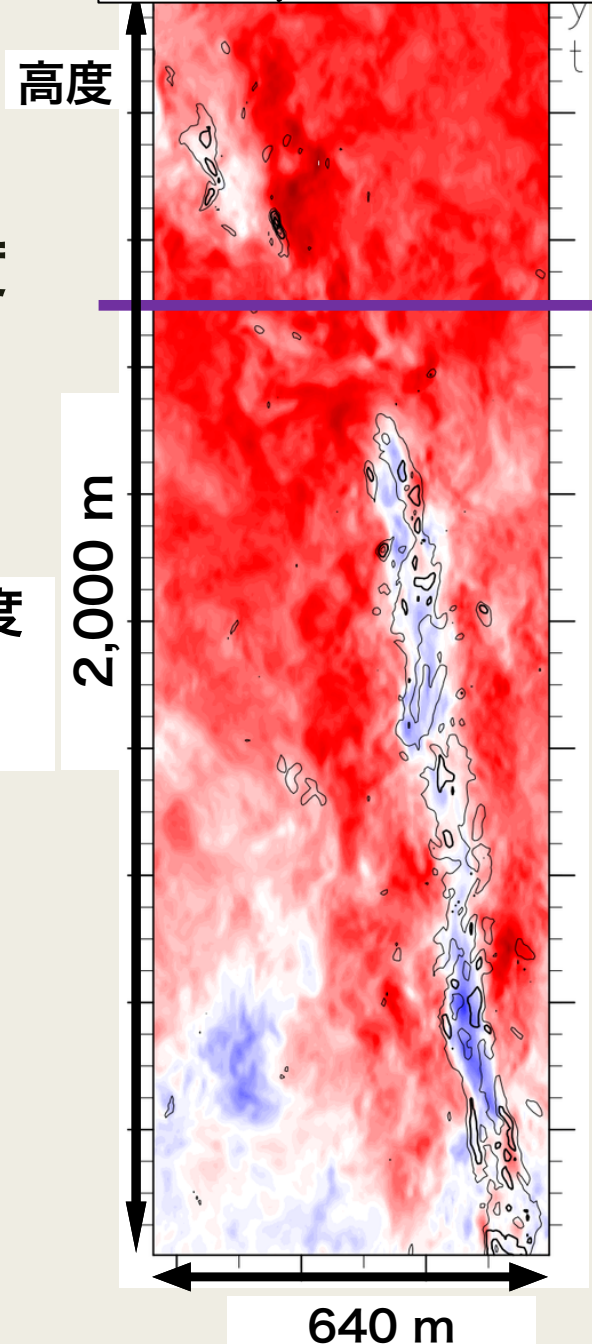
等値線 : 渦度

赤 : 上昇流

青 : 下降流



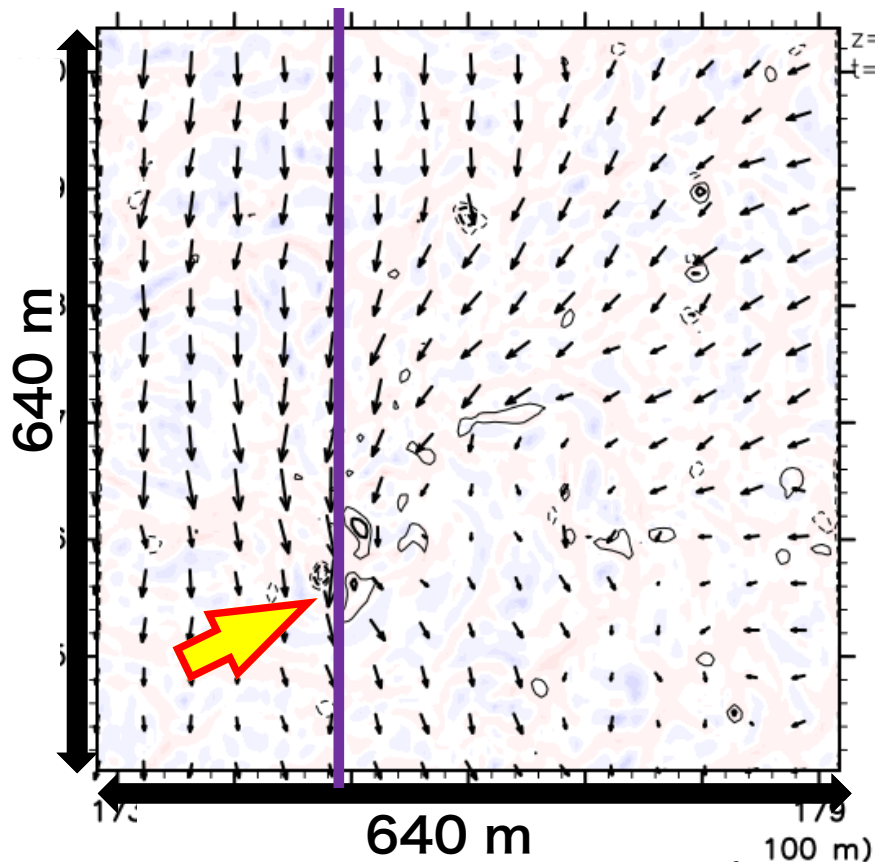
鉛直風, 渦度 鉛直断面



地表面応力が強い箇所 #3

- 明確な渦構造はみられない

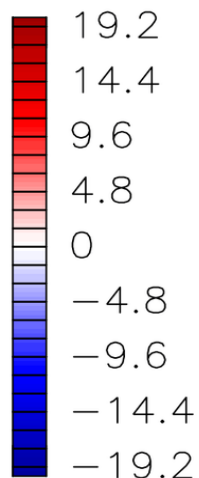
鉛直風, 水平風, 渦度 水平断面 ($z = 2.5 \text{ m}$)



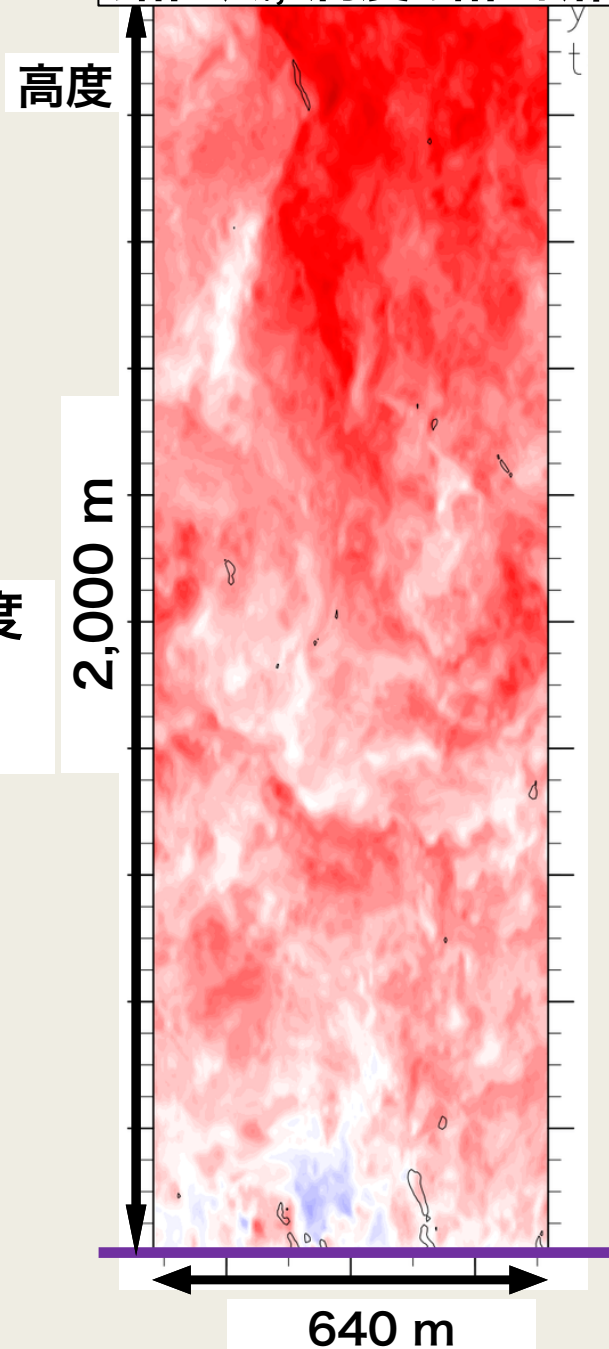
等値線：渦度

赤：上昇流

青：下降流



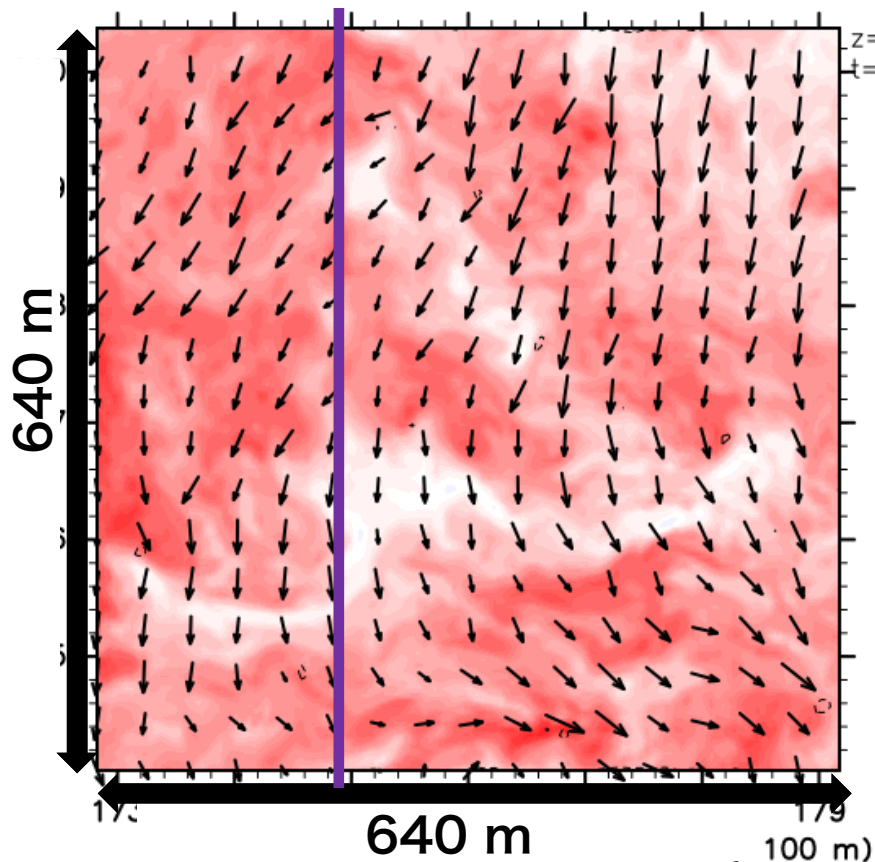
鉛直風, 渦度 鉛直断面



地表面応力が強い箇所 #3

- 明確な渦構造はみられない

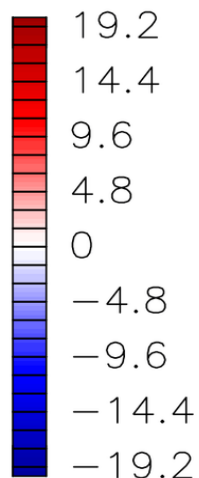
鉛直風, 水平風, 渦度 水平断面 ($z = 802.5 \text{ m}$)



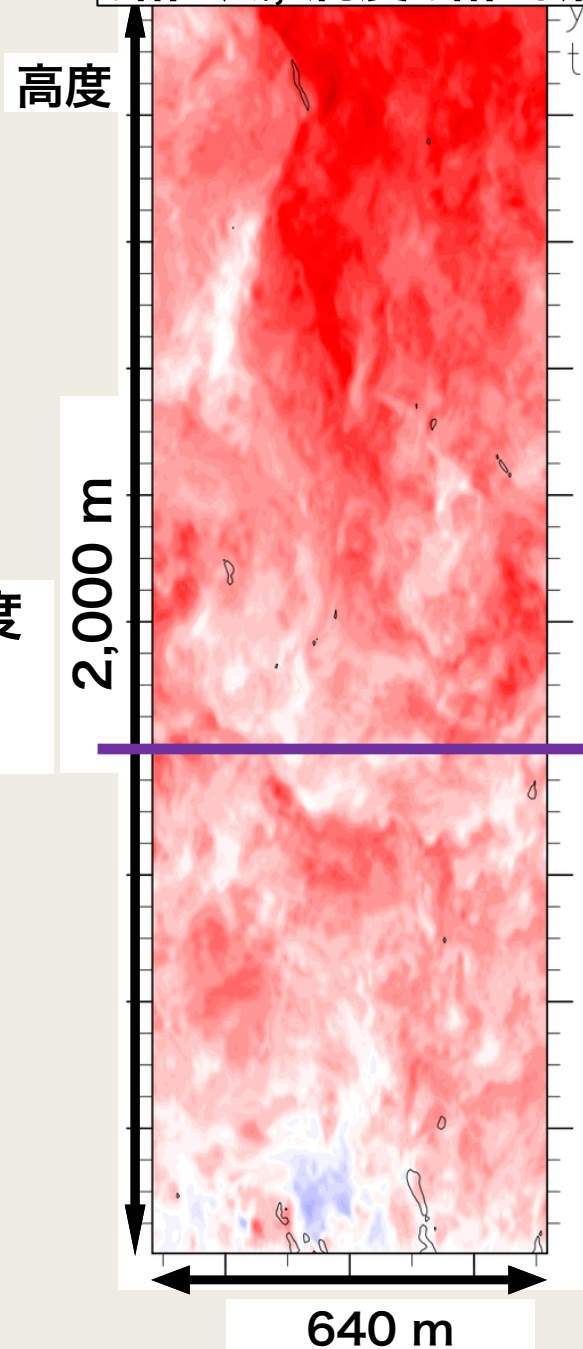
等値線：渦度

赤：上昇流

青：下降流



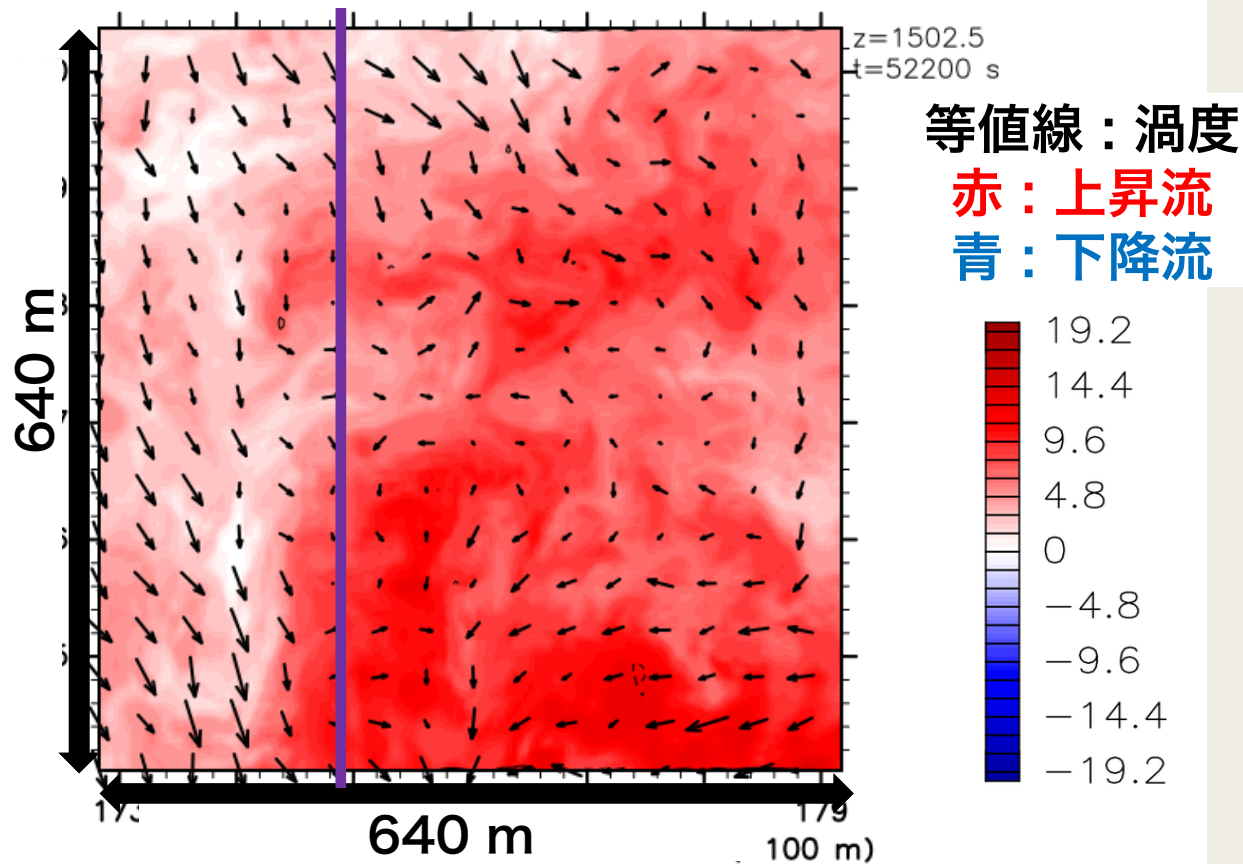
鉛直風, 渦度 鉛直断面



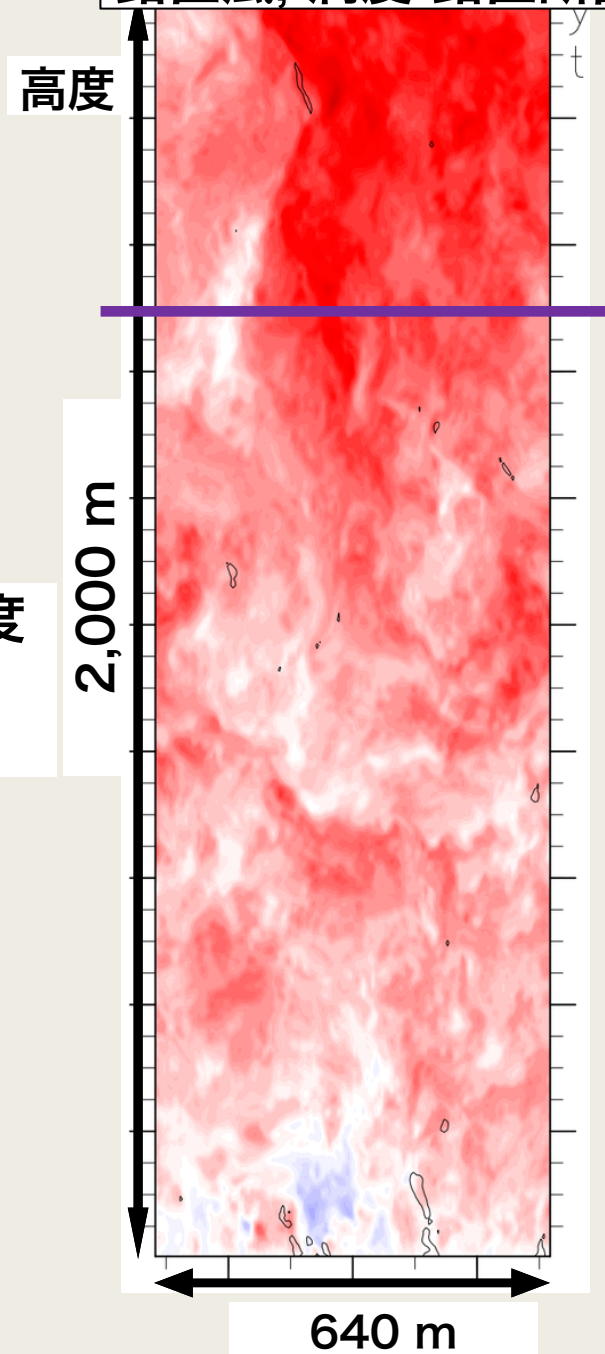
地表面応力が強い箇所 #3

- 明確な渦構造はみられない

鉛直風, 水平風, 渦度 水平断面 ($z = 1502.5$ m)



鉛直風, 渦度 鉛直断面



まとめ

- 火星境界層高解像度 LES 実験で得られたデータを用いて地表面応力を調べた
 - 応力がダストの巻き上げの閾値と考えられている値を超える場所は 5 m 解像度の計算のみに現れた
 - 閾値を超える場所は 3 箇所あった
- 地表面応力が閾値を超える場所における流れ場の構造を調べた
 - 水平風の収束域・ネットワーク状の上昇流領域付近と対応
 - 一番強い応力を持つ場所は孤立渦があるようにみえる
 - 明確な孤立渦を伴わない場所でも閾値を超えることがある
 - 時間変化を調べないとはっきりしたことはいえない