

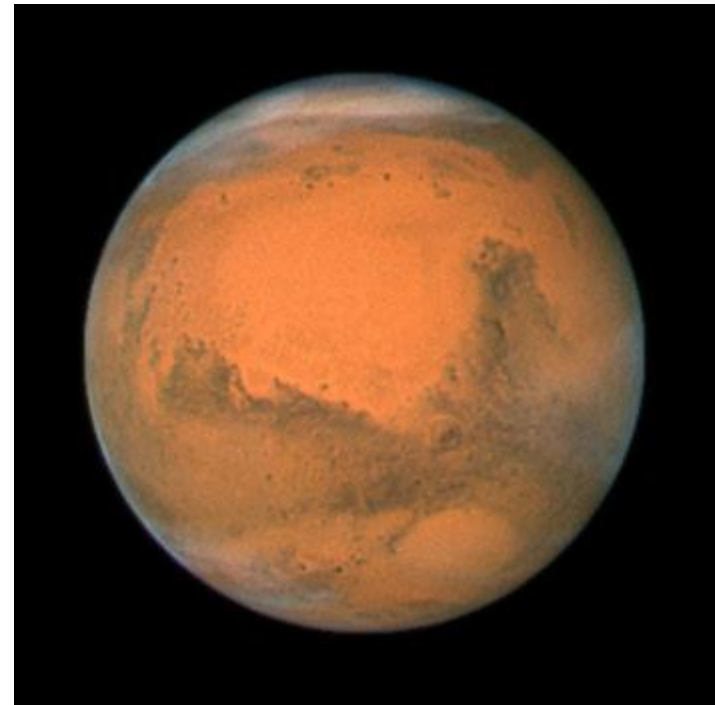
火星大気境界層LESによる ダストデビルの統計解析

Nishizawa, S., M. Odaka, Y. O. Takahashi,
K. Sugiyama, K. Nakajima, M. Ishiwatari,
S. Takehiro, H. Yashiro, Y. Sato, H. Tomita,
and Y.-Y. Hayashi

はじめに 1

• 火星とは

- 軌道長半径: 約 1.5AU
- 公転周期 : 約 1.88地球年
- 自転周期 : 約 1.026地球日
- 赤道半径 : 約 3396km
- 大気組成 : 二酸化炭素 約95%
- 地表大気圧: 約 7hPa
- 地表温度 : 130-300K

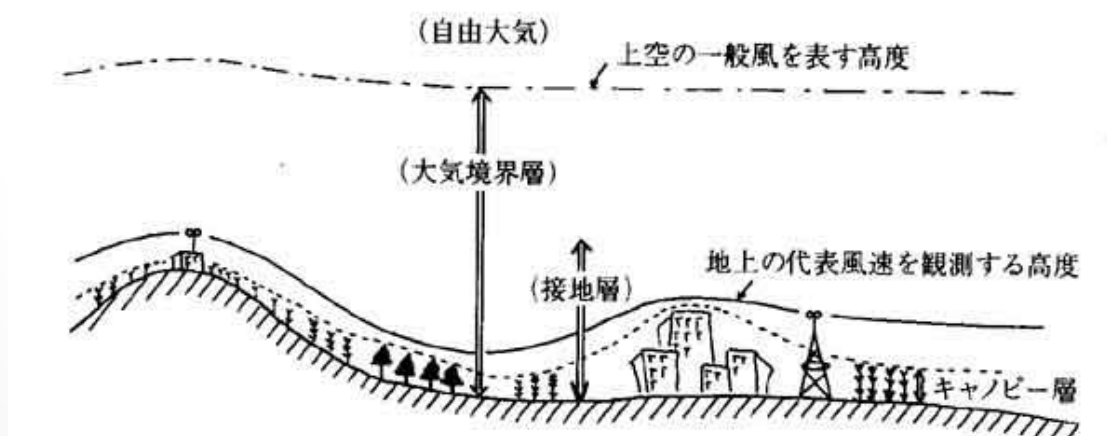


© NASA, ESA, the Hubble Heritage Team



はじめに 2

- 惑星境界層 (Planetary boundary layer)
 - 地表面付近の良く混合した大気層 (太陽光による地表面加熱が原因)
 - 強い対流・乱流が存在
 - 地表面-大気間のエネルギー・物質交換を決定 (大循環に影響)



近藤 (1987)

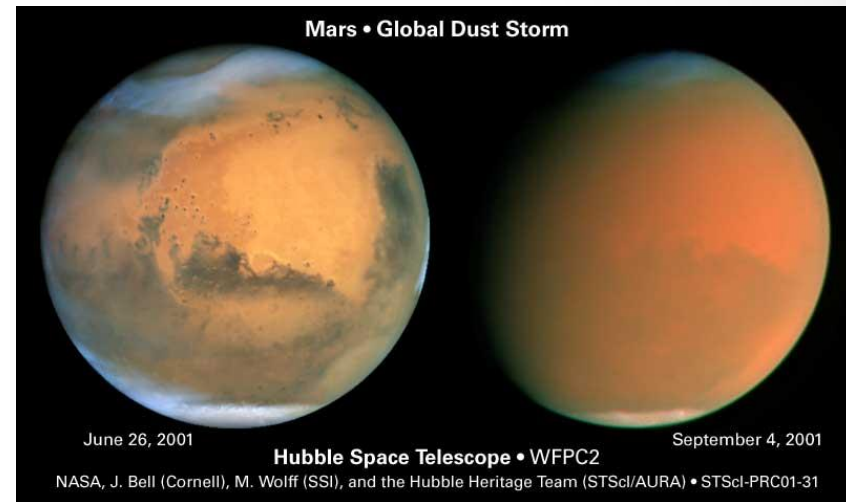
はじめに 3

• 対流渦、ダストデビル

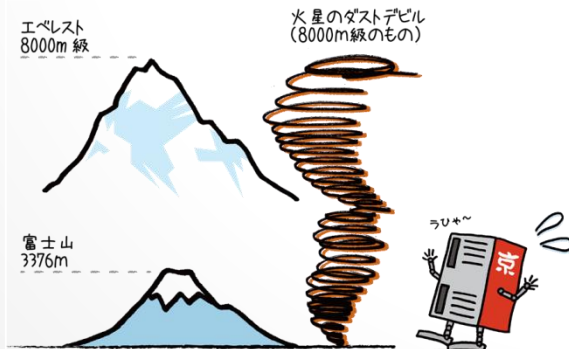
- 渦等によりダスト(砂)を巻き上げ、ダストストームを引き起こす
 - 全球を覆うようなダストストームに発展することもある



<http://marsrovers.jpl.nasa.gov/gallery/press/spirit/20050527a.html>



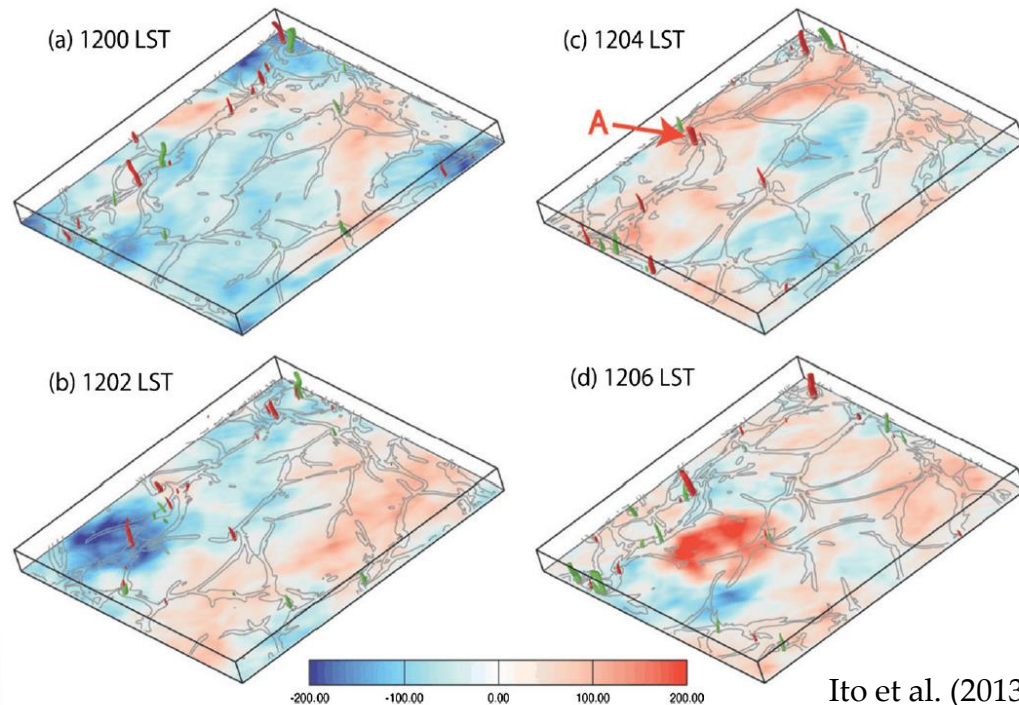
http://science1.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2001/ast11oct_2/



<http://www.aics.riken.jp/jp/science/research-highlights/mars.html>

はじめに 4

- 火星の対流渦(ダストデビル)のシミュレーションには広領域・高解像度実験が必要
 - 広領域
 - ダストデビルは境界層内の対流活動と密接に関係している
 - よく発達した境界層の水平スケールは10 km 程度
 - 地球では1 km程度

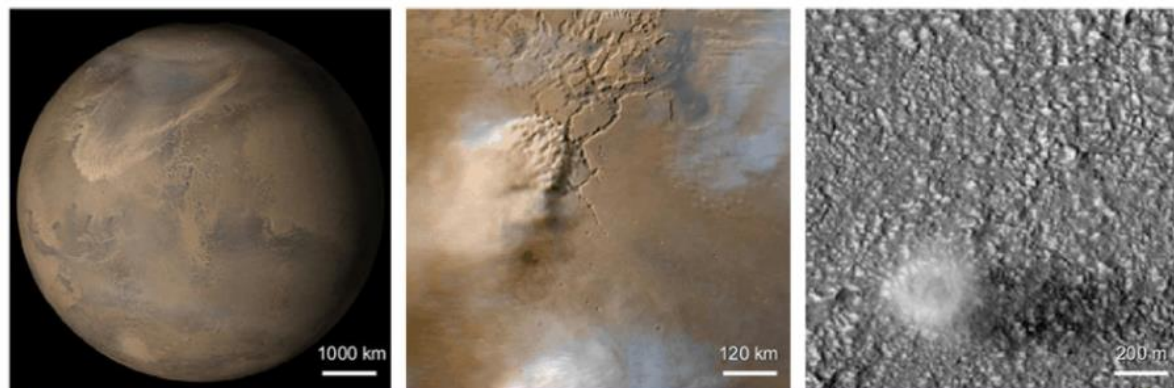


Ito et al. (2013)

はじめに 4

○ 高解像度

- 境界層内の対流渦や乱流は、さまざまな時空間スケールのも
ものが存在し、数 m スケールのもものも珍しくない



... Dust fronts ... Regional dust storms ... Local gusts ... Dust devils ...

10000 km 1000 km 100 km 10 km 1 km 100 m 10m 1m

Global Circulation Models

Mesoscale Models

Large-Eddy Simulations

Spiga and Lewis (2010)

過去研究

○ 地球

- Kanak et al. (2000) : $dx = 35 \text{ m}$, $Lx = 3.01 \text{ km}$
- Kanak (2005) : $dx = 2 \text{ m}$, $Lx = 0.74 \text{ km}$
- Ohno and Takemi (2010a): $dx = 3 \text{ m}$, $Lx = 0.999 \text{ km}$
- Ohno and Takemi (2010b): $dx = 10 \text{ m}$, $Lx = 2 \text{ km}$
- Ito et al. (2010) : $dx = 50 \text{ m}$, $Lx = 4.5 \text{ km}$
- Raasch and Franke (2011): $dx = 2 \text{ m}$, $Lx = 4 \text{ km}$
- Ito et al. (2013) : $dx = 5 \text{ m}$, $Lx = 1.8 \text{ km}$

○ 火星

- Rafkin et al. (2001) : $dx = 100 \text{ m}$, $Lx = 18 \text{ km}$
- Taigo et al. (2003) : $dx = 10 \text{ m}$, $Lx = 2 \text{ km}$
- Taigo and Richardson (2003): $dx = 100 \text{ m}$, $Lx = 10 \text{ km}$

Nishizawa et al. (2015): $dx = 5 \text{ m}$, $Lx = 19.2 \text{ km}$

- Michaels (2006) : $dx = 25 \text{ m}$, $Lx = 2.55 \text{ km}$
- Spiga and Forget (2009) : $dx = 100 \text{ m}$, $Lx = 15 \text{ km}$
- Spiga and Lewis (2010) : $dx = 50 \text{ m}$, $Lx = 7.25 \text{ km}$
- Gheynami and Taylor (2011): $dx = 25 \text{ m}$, $Lx = 5 \text{ km}$

Spiga et al. (2016) より



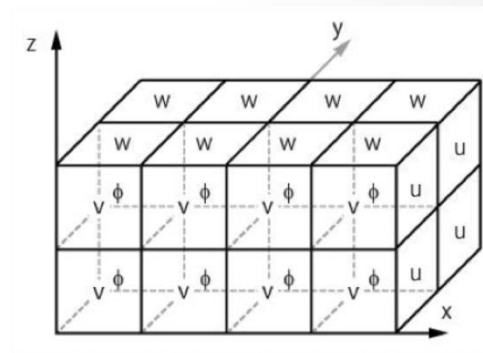
Model

- SCALE-LES ver. 3

- RIKEN AICS で開発したのLarge-Eddy Simulation (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 (<http://scale.aics.riken.jp/>)

- 構成

- 非静力完全圧縮方程式系
- 完全陽解法 (HEVE) / 鉛直陰解法 (HEVI)
- 有限体積法 (Arakawa-C 格子)
- 移流スキーム: 4次中央差分 + FCT
- 時間積分スキーム: 陽的3段ルンゲ・クッタ



実験設定



- 物理過程

- SGS乱流モデル: Smagorinsky-Lilly type, Brown et al. (1994)
- 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)

- 実験設定

- 計算領域: 19.2km x 19.2km x 21km
- 下端境界: 平坦地形, 粗度一定
- 大気: 乾燥条件

- 実験パラメータ

- 解像度 (Δxyz): 100m, 50m, 25m, 10m, 5m (等方格子)

- 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
- ただし、5m 実験に関しては 10m 実験の 14:00 のデータ



計算概要

• 計算諸情報

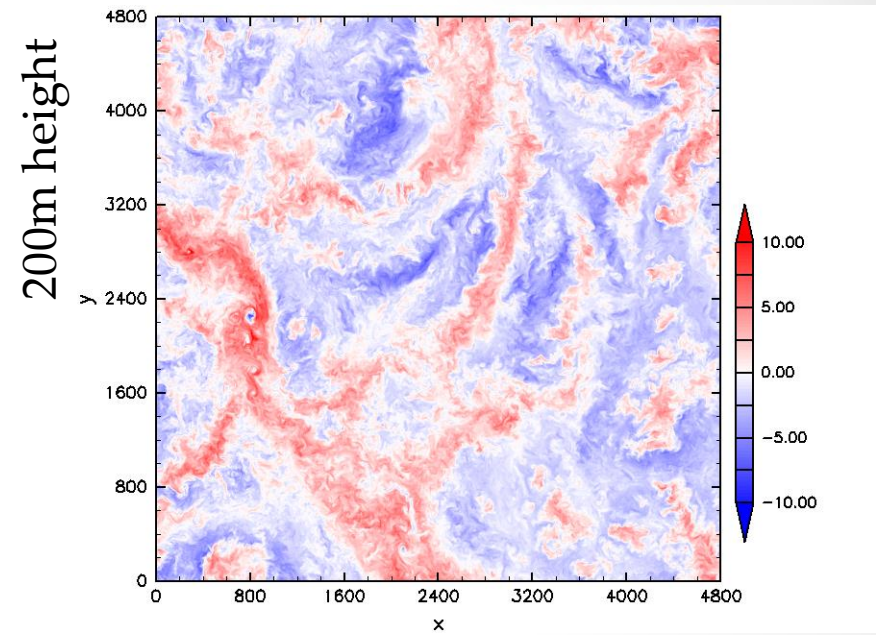
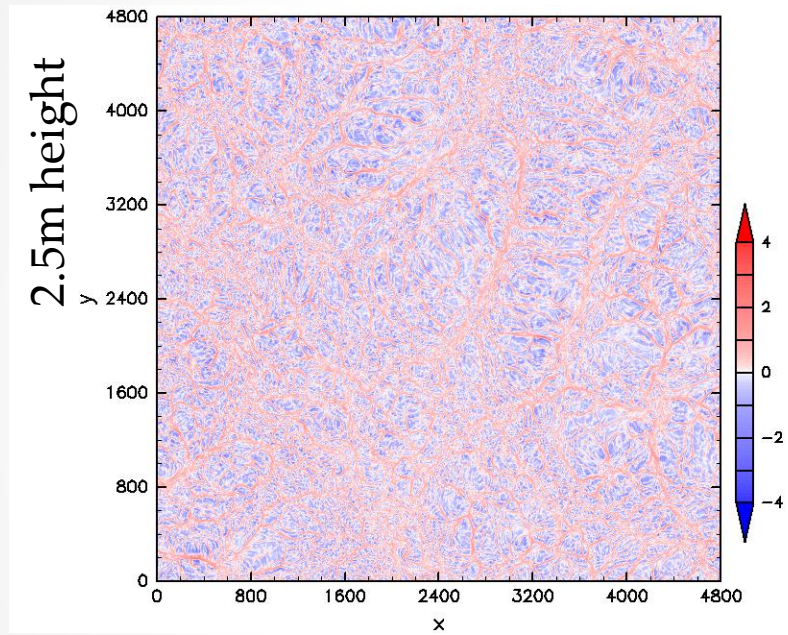
- 使用計算機: 京
- 演算実効効率: 7.9% (5m解像度計算時)

	100m実験	50m実験	25m実験	10m実験	5m実験
積分時間	24時間 x 3	24時間 x 3	24時間 x 3	19時間	1時間
Δt	0.12 s	0.06 s	0.03 s	0.012 s	0.006 s
時間ステップ数	720K x 3	1.4M x 3	2.9M x 3	5.7 M	600K
格子数	6.8M	52M	410M	6.3G	49G
使用コア数	96	1,152	18,432	115,200	57,600
Elapse time	100 h	100 h	100 h	200 h	200 h

Vertical velocity distribution

...

Dependency on height (5m run)



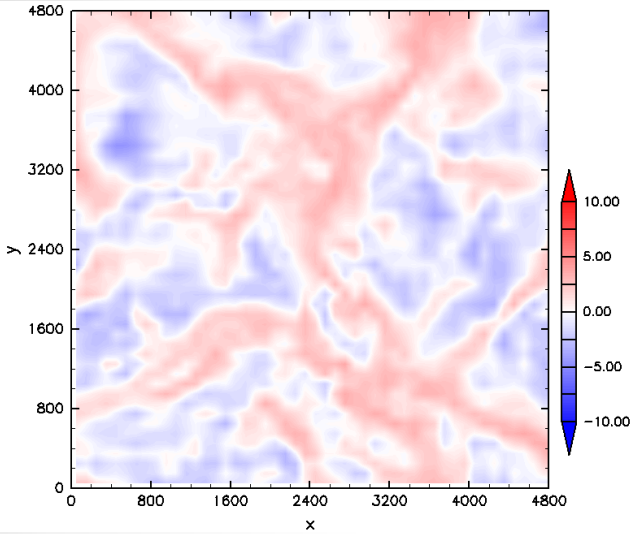
red: upflow, blue: downflow

1/16 domain
14:30LT

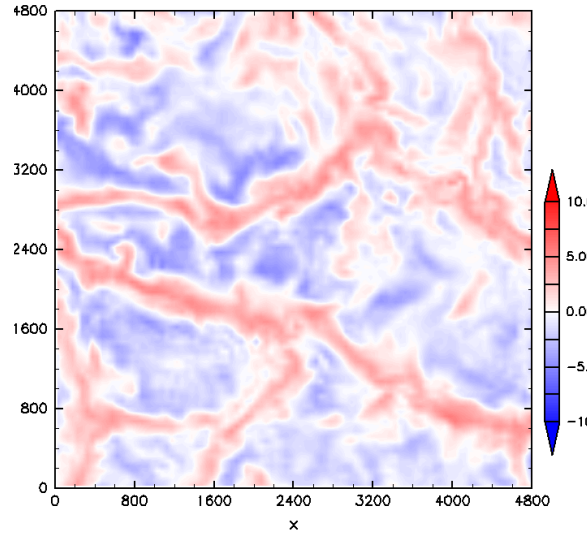
- Narrow and strong upward flow
- Finer structure at lower level

Dependency on resolution (z=200m)

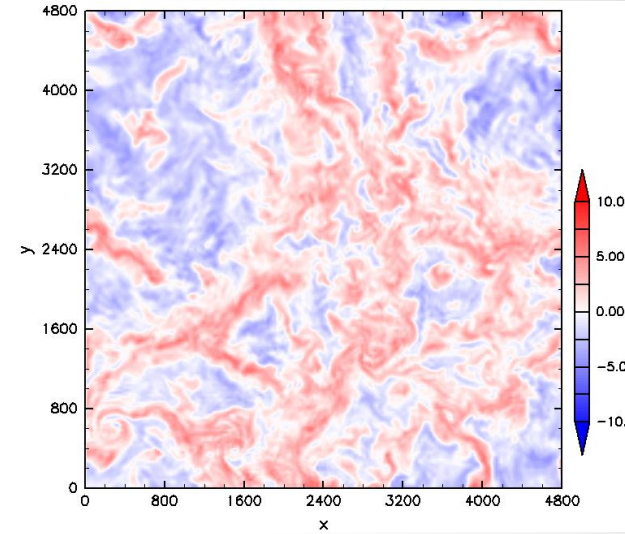
100m run



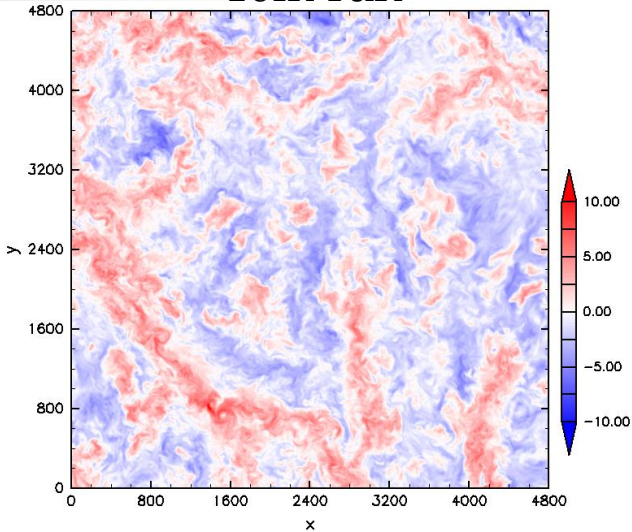
50m run



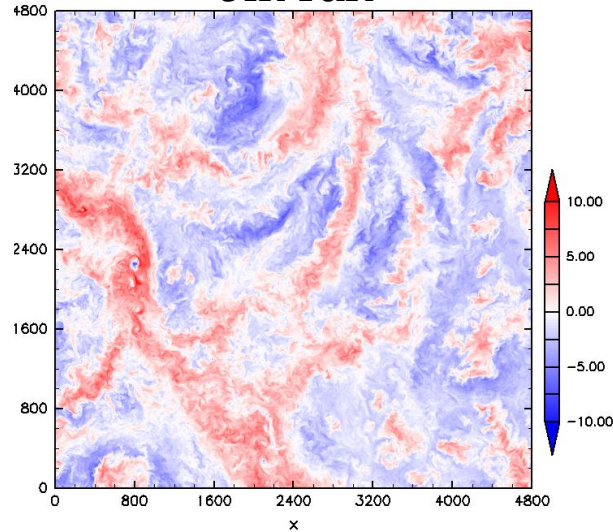
25m run



10m run



5m run

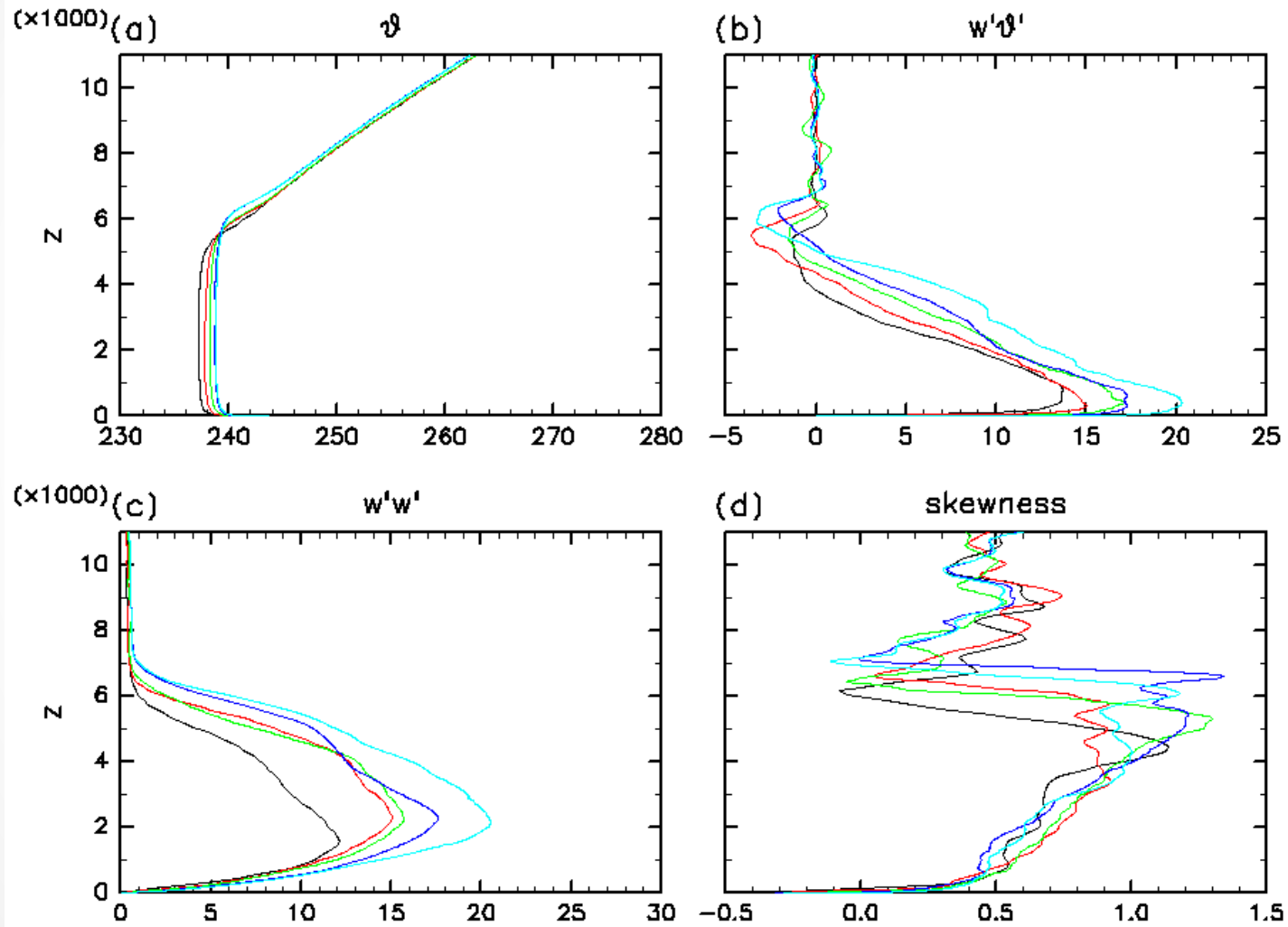


1/16 domain
14:30LT

Turbulent statistics

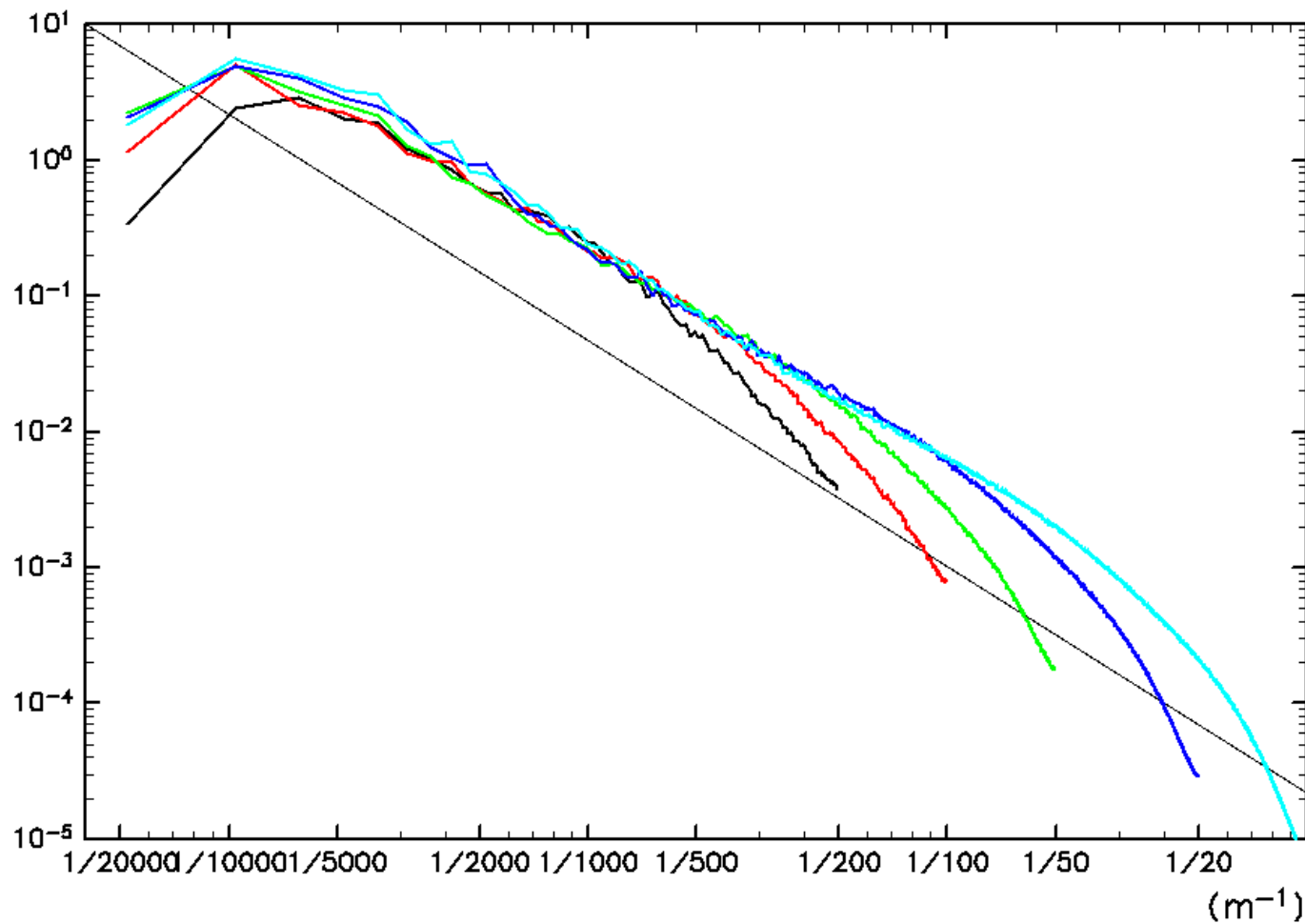
...

Vertical profiles



$\Delta xyz = 100\text{m}, 50\text{m}, 25\text{m}, 10\text{m}, 5\text{m}$

Energy spectrum

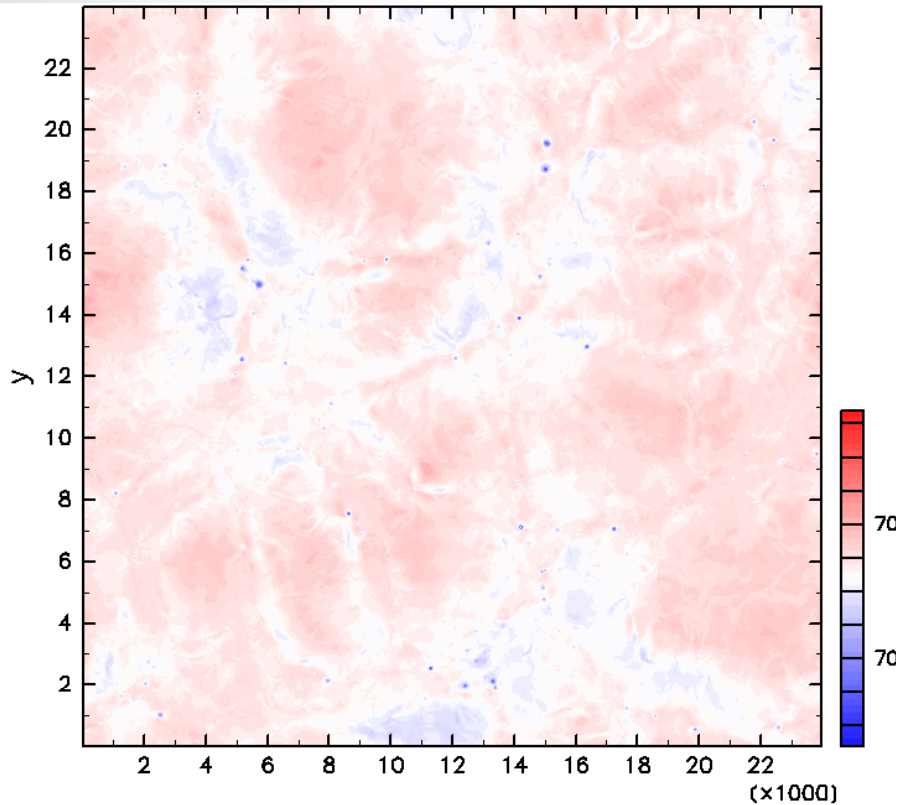


$z=2\text{km}, \Delta xyz=100\text{m}, 50\text{m}, 25\text{m}, 10\text{m}, 5\text{m}$

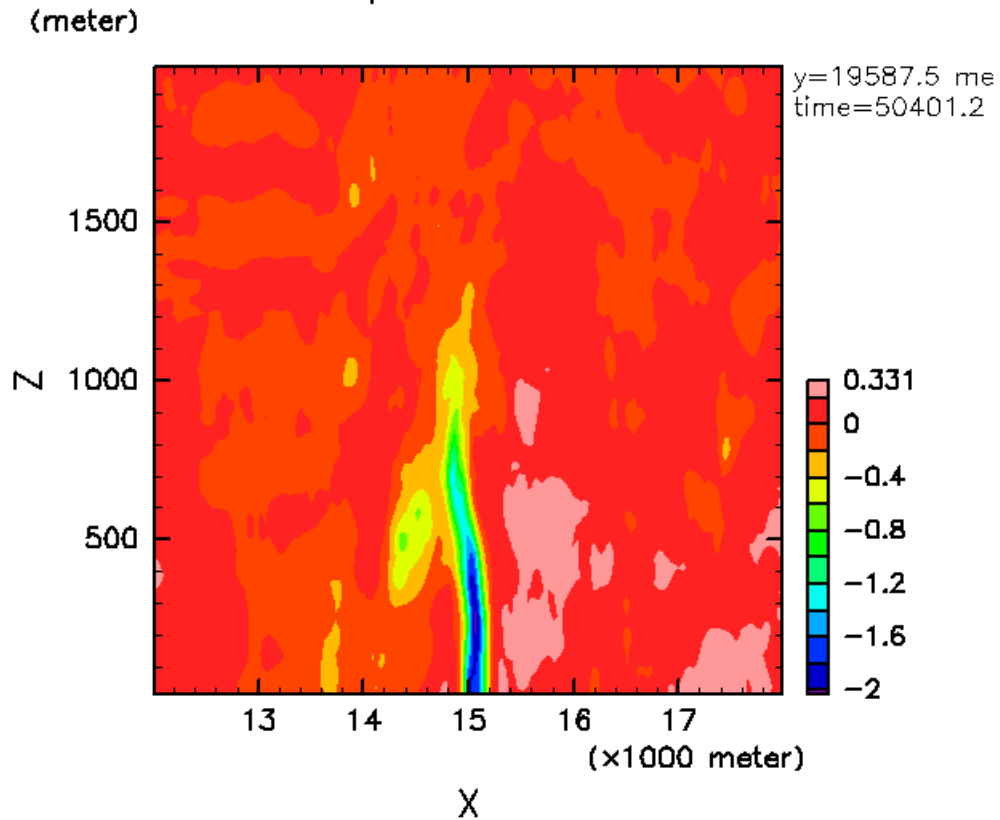
Convective vortices

...

Pressure distribution

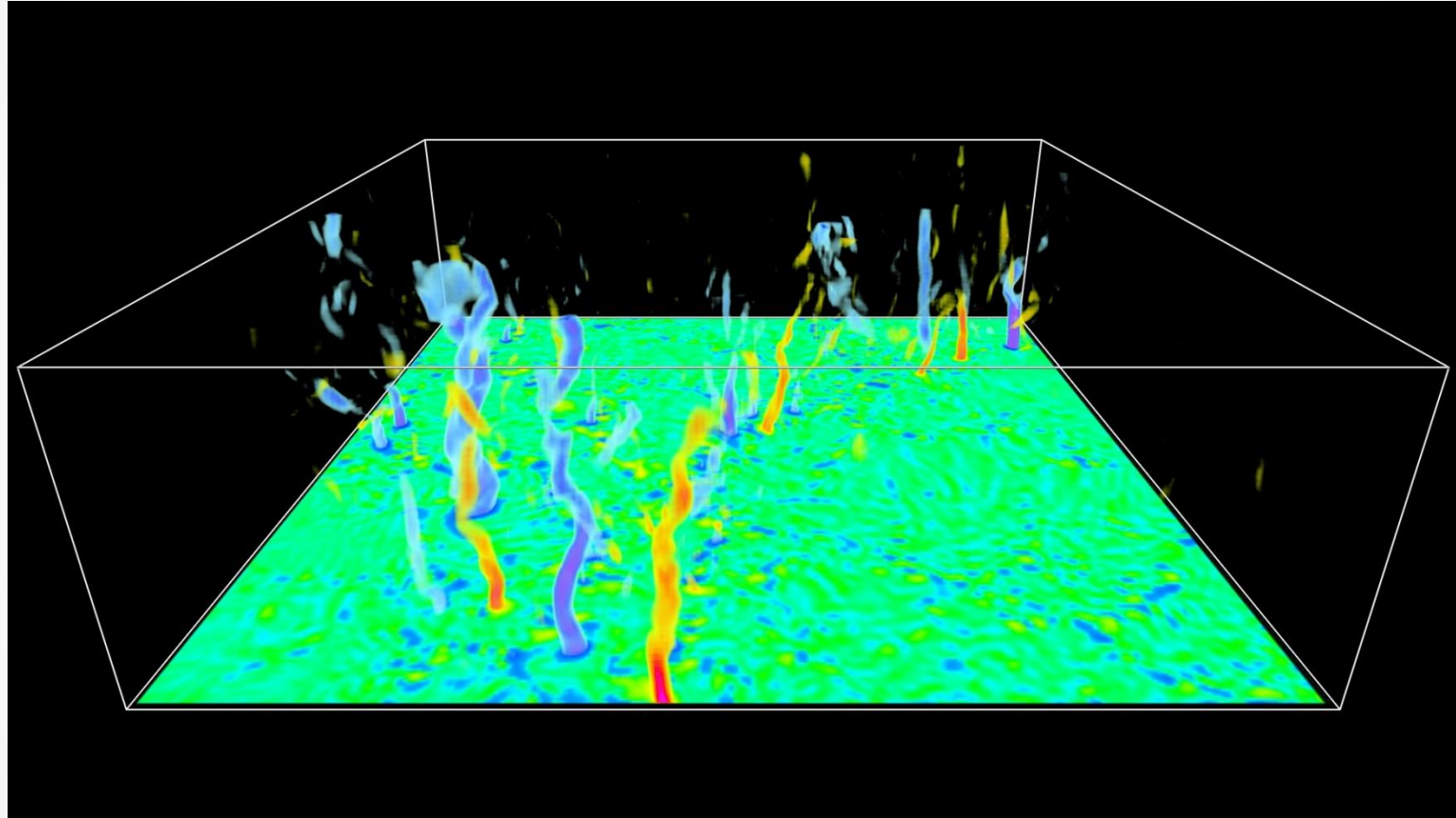


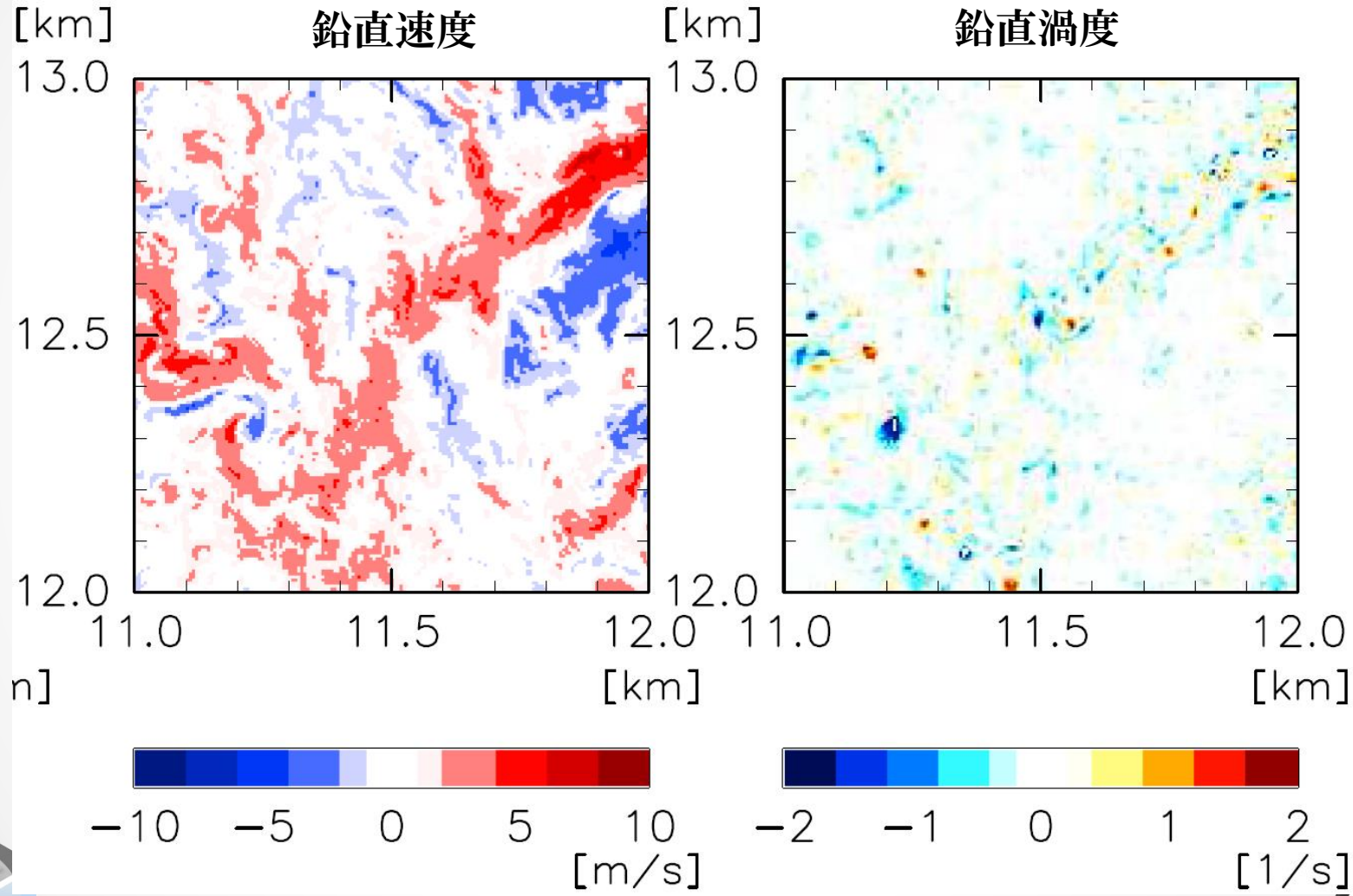
$\Delta xyz=25m, z=12.5m, t=14:00$



$\Delta xyz=25m, y=20km, t=14:00$

Vertical vorticity (5-m run)

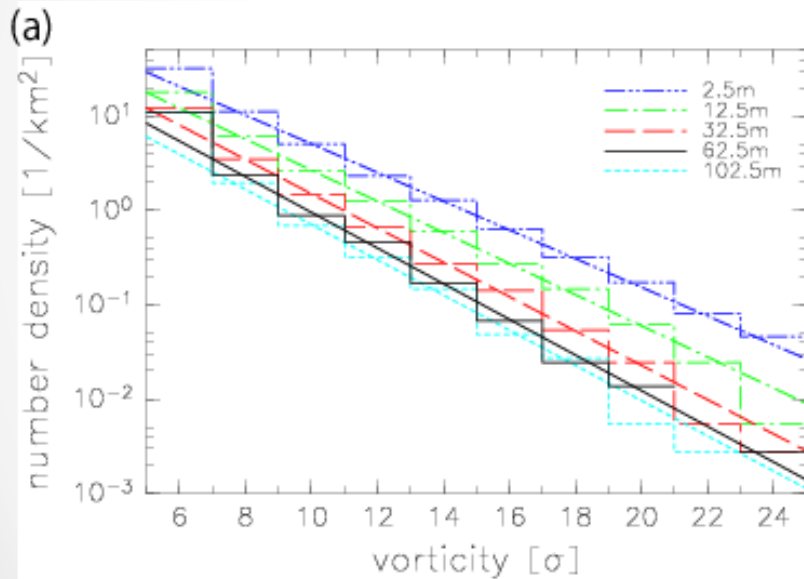




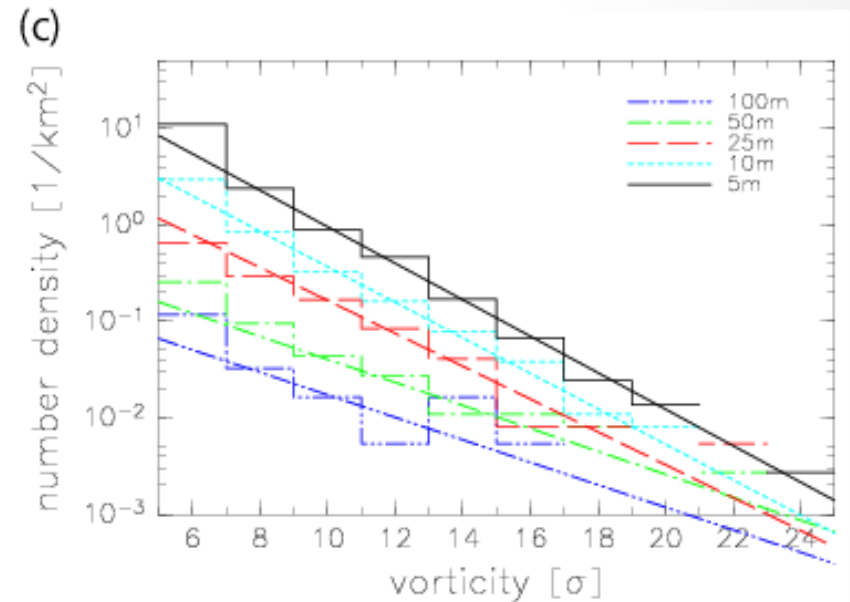
Frequency distribution

Number frequency distribution of isolated vortices

height dependency ($dx=5m$)



resolution dependency ($z=62.5$)



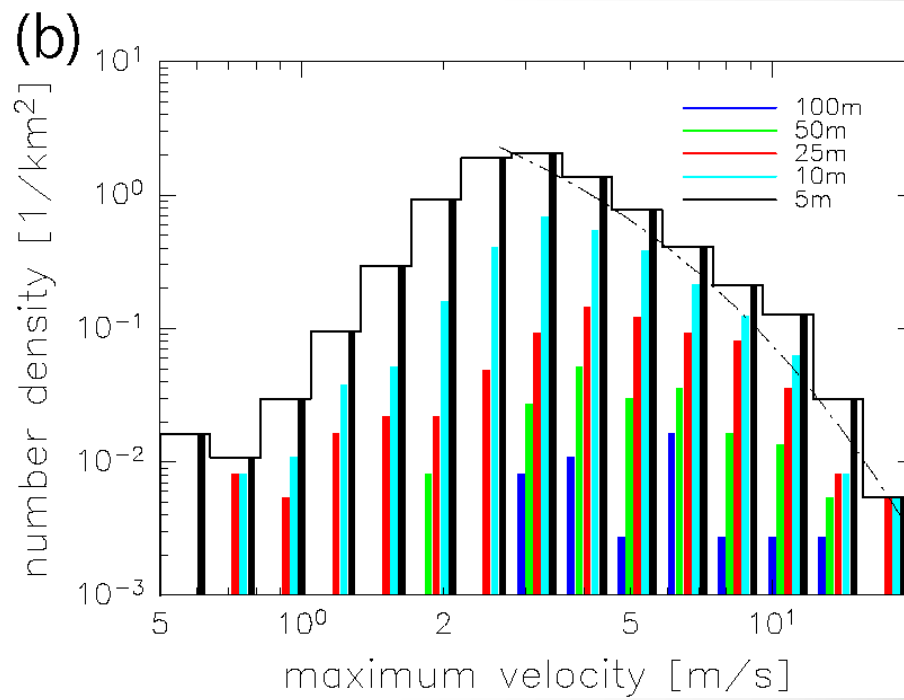
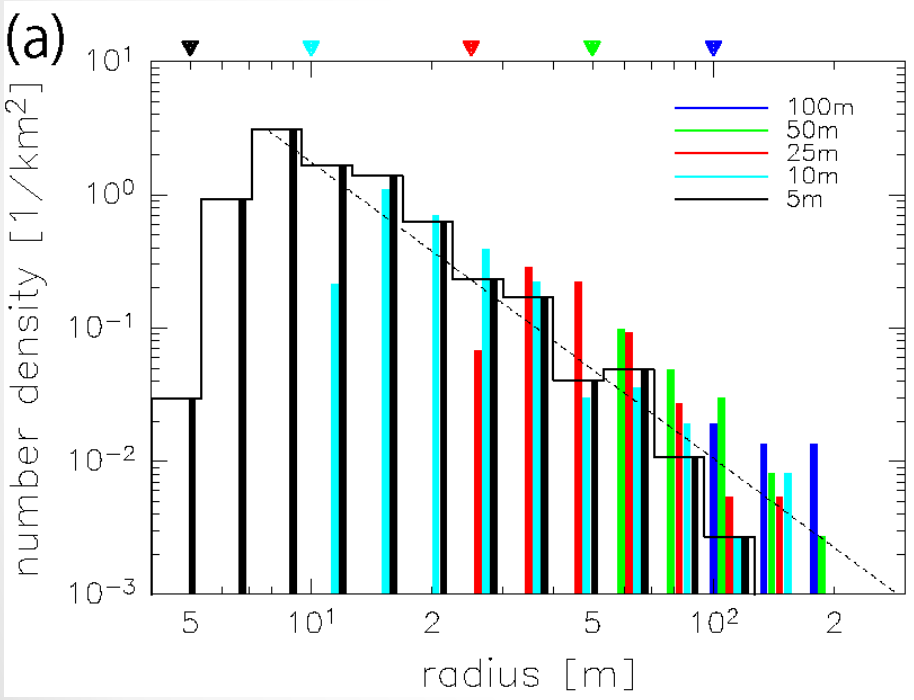
A logarithmic law can be seen (exponential distribution)



Assuming the Rankine's vortex
(5m run, 62.5m height)

Radius

Maximum wind speed



Summary

- 20x20km² domain PBL experiment with 5-m resolutions
 - Fine structure at lower level is represented with such high resolution simulation
 - It affects on surface flux
 - Frequency distributions of convective vortices are obtained
 - A exponential distribution: intensity of vorticity
 - A power law distribution: radius, circulation
 - A Weibull distribution: maximum speed, pressure drop

Nishizawa et al. (2016) GRL doi:10.1002/2016GL068896

