

Assessment of Mars surface environment for landing exploration mission by using numerical meteorological models

(数値気象モデルを用いた着陸探査のための火星表層環境評価)

Masatsugu Odaka¹, Ko-ichiro Sugiyama², Yoshiyuki O. Takahashi³,
Seiya Nishizawa⁴, Yoshi-Yuki Hayashi³, George Hashimoto⁵,
Mars surface environment assessment team

¹Department of CosmoSciences, Hokkaido University

²Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency

³Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Kobe University

⁴RIKEN Advanced Institute for Computational Science

⁵Department of Earth Sciences, Okayama University

ABSTRACT

To evaluate plausible range of meteorological conditions at proposed landing site of Mars surface exploration mission, we try to assess the Mars surface environment from planetary to atmospheric boundary layer scale by using simulation results obtained by General Circulation Model (GCM), Regional Meteorological model, and Large Eddy Simulation (LES) model (LES). For mesoscale assessment, CReSS which is developed by HyArc Nagoya University will be used. For boundary layer scale, SCALE-LES which is developed by RIKEN AICS will be used as LES model (Sugiyama et al. 2013; Nishizawa et al. 2013). For planetary scale assessment, we use a planetary atmospheric general circulation model DCPAM which is developed by GFD Dennou Club (Takahashi et al. 2012).

In this work, we compare simulation results of DCPAM to observation results of Viking and Mars Path Finder (MPF) and show that these observation data well reproduced by using DCPAM data with systematic calibrations. Based on these results, assessment of surface environment at Juventae Chasma is performed. CReSS and SCALE-LES are now tuned to Mars and preliminary experiments are performed successfully.

数値気象モデルを用いた 着陸探査のための 火星表層環境評価

小高正嗣(北大・理)、杉山耕一郎(ISAS/JAXA)、
高橋芳幸(神戸大・理)、西澤誠也(理研・AICS)、
林祥介(神戸大・理)、はしもとじょーじ(岡山大・自然)、
火星表層環境評価チーム

2014/08/04 月惑星シンポジウム

火星着陸探査のために

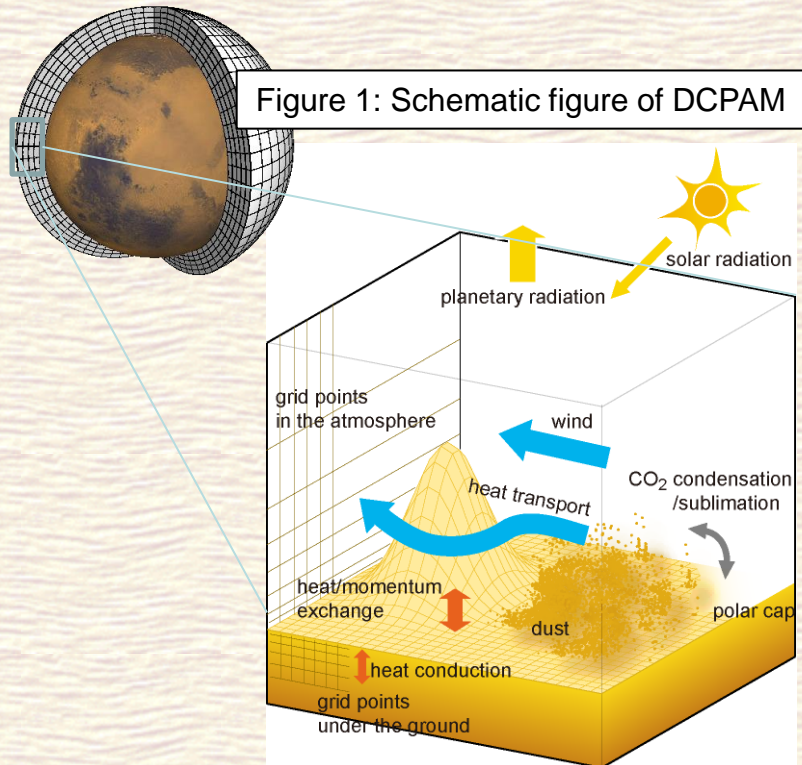
- **着陸地点の環境情報を事前に把握しておく必要がある**
 - 着陸機と搭載測器の設計のため
 - 探査の安全な実施のため
- **火星表層環境評価を国産の数値気象モデルで実施することを目指す**
 - 我が国の気象学・惑星科学分野における初めての試み
 - 欧米と同等の探査を推進するのに不可欠な技術

表層環境評価のためのモデル

- 対象とする現象の時空間スケールによって複数のモデルを使い分ける
- 大気大循環モデル(GCM)
 - $O(L) = 10,000 \sim 1,000 \text{ km}$
- 雲解像モデル(CRM)
 - $O(L) = 100 \sim 1 \text{ km}$
- ラージエディシミュレーション(LES)モデル
 - $O(L) = 10 \sim 0.1 \text{ km}$

大気大循環モデル(GCM)

- 惑星規模の風速, 温度, 気圧分布を計算
 - ハドレー循環, 偏西風, 傾圧擾乱, etc.



■ モデル構成

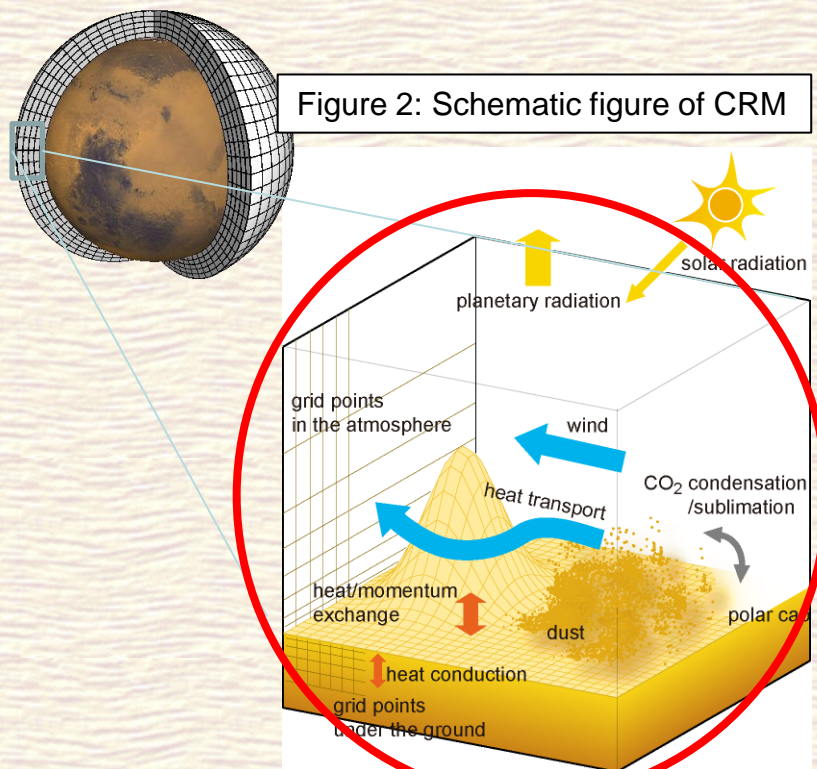
- 移流過程
 - ◆ プリミティブ方程式系
(対流は陽に表現されない)
- 乱流混合過程
- 地表面過程
- 放射過程
- 凝結過程

■ 解像度

- Δx : 200 km ~ 100 km
- Δz : 数 km ~ 1 km

雲解像モデル(CRM)

- 特定領域の風速, 温度, 気圧分布を計算
 - (雲)対流にともなう流れ, 地形に沿った循環, etc.
 - GCM のデータを境界値(目的によっては周期境界)



■ モデル構成

- 移流過程
 - ◆ 準圧縮/圧縮系方程式 (対流を陽に表現)
- 乱流混合過程
- 地表面過程
- 放射過程
- 凝結過程

■ 解像度

- Δx : 数 km ~ 数100 m
- Δz : 数100 m ~ 数 m

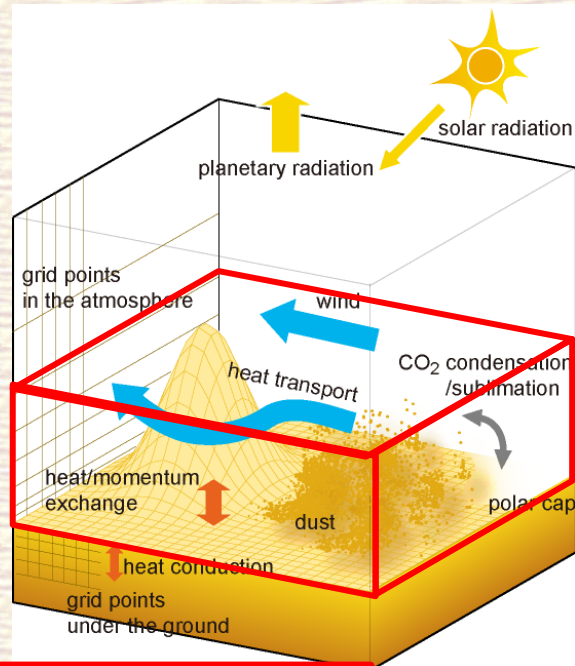
特定の領域を切り出す

LES モデル

■ 地面付近の境界層内の風速, 温度, 気圧を計算

- 乱流渦にともなう流れを対象 ($H = 1 \sim 10 \text{ km}$)
- 放射等の物理過程は目的に応じ簡略化

Figure 3: Schematic figure of LES



■ モデル構成

- 移流過程
 - ◆ 圧縮系方程式
(対流を陽に表現)
- 乱流混合過程
- 地表面過程
- (放射過程)
- (凝結過程)

■ 解像度

- $\Delta x = \Delta z : 1 \text{ km} \sim \text{数}10 \text{ m}$

地面付近の境界層に着目

使用するモデルと計算状況

■ GCM:惑星大気大循環モデル DCPAM

- 地球流体電脳倶楽部(高橋, 他 2012)
- ダスト量を与えた通年のシミュレーションを実行

■ CRM: CReSS-Mars

- 地球大気用雲解像モデル CReSS を火星に(杉山 他, 2013)
- DCPAM データを境界値とした計算が可能

■ LES: SCALE-LES

- RIKEN/AICS で開発の LES モデル(西澤 他, 2013)
- 境界層内の乱流統計量を評価

惑星大気大循環モデル DCPAM による 火星表層環境評価

DCPAM による環境評価

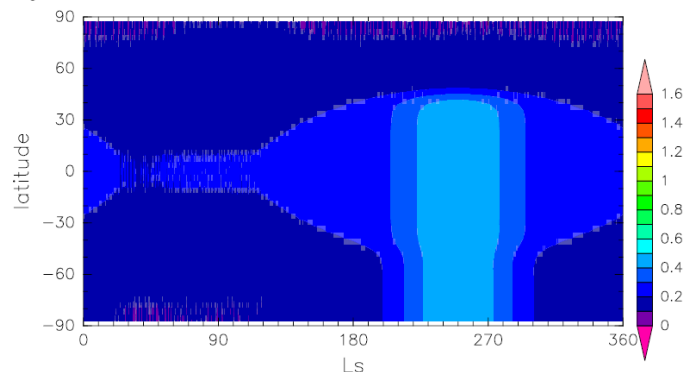
- 全球の風速・気温・気圧等の時空間分布を得る
- 計算設定
 - ダストの緯度分布・季節変化を与える
 - ◆ Mars Global Surveyor 観測による「気候値」
 - 解像度: $3.75^{\circ} \times 3.75^{\circ}$ (緯度-経度), 鉛直 36 層
 - ◆ 赤道で 200 km 格子, 最下層高度 ~ 3 m
 - 積分期間: 7年

観測結果との比較: MGS

モデルのダスト分布

春 夏 秋 冬 春

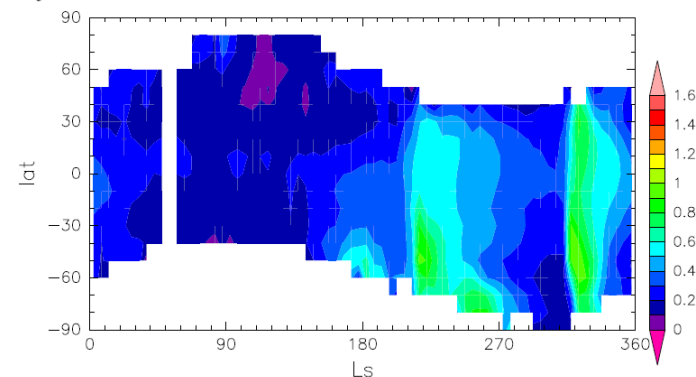
dust optical depth at 0.67 micron meter at the surface
(degree_north)



MGS 観測結果

春 夏 秋 冬 春

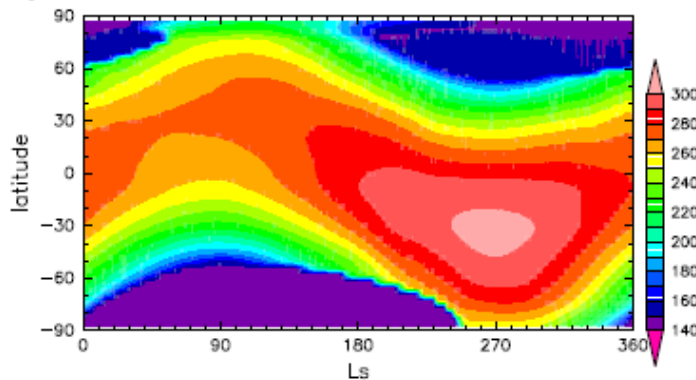
dust_optical_depth_at_14_LST
(degrees_north)



モデルの地表面温度

surface temperature

(degree_north)



MGS 観測結果

surface_temperature_at_14_LST

(degrees_north)

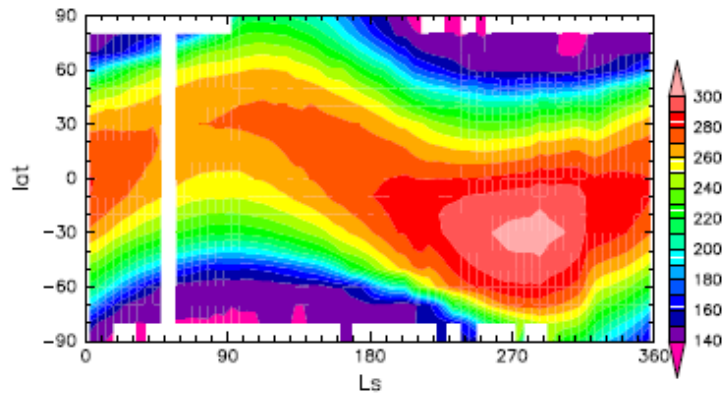


Figure 4: Seasonal variation of zonal mean total dust optical depth at 0.67 μm radiation (upper panel) and surface temperature (lower panel); (upper left) prescribed to DCPAM, (left right) observed by MGS, (lower left) simulated by GCM, (lower right) observed by MGS.

観測結果との比較: MPF / VL1

■ 地表気温の日変化 (MPF)

- 高度補正を適切に行うことで観測をよく再現

■ 地表気圧の年変化 (VL1)

- 高度補正+大気量補正でおおむね再現

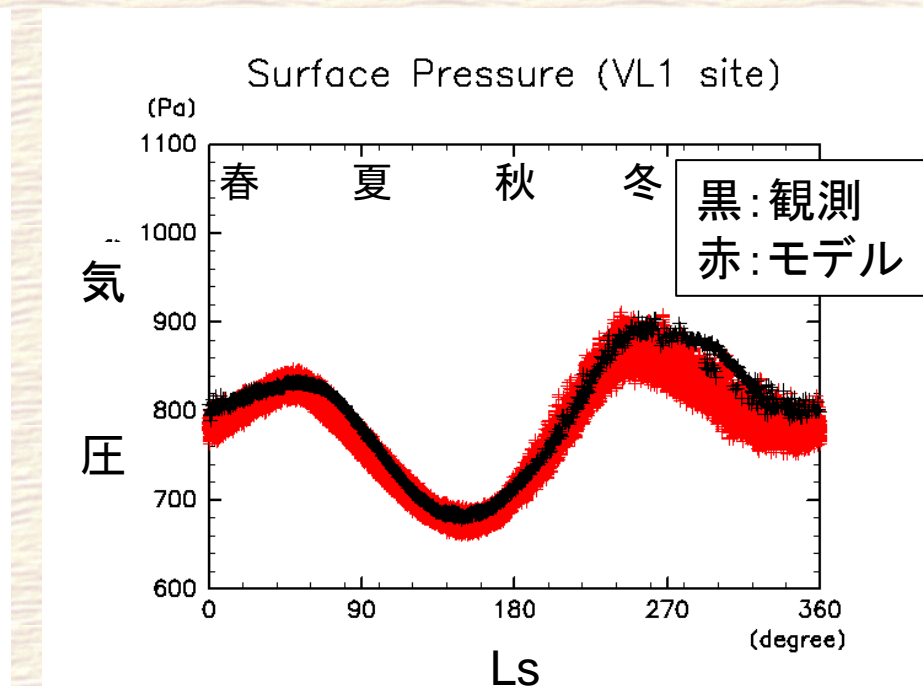
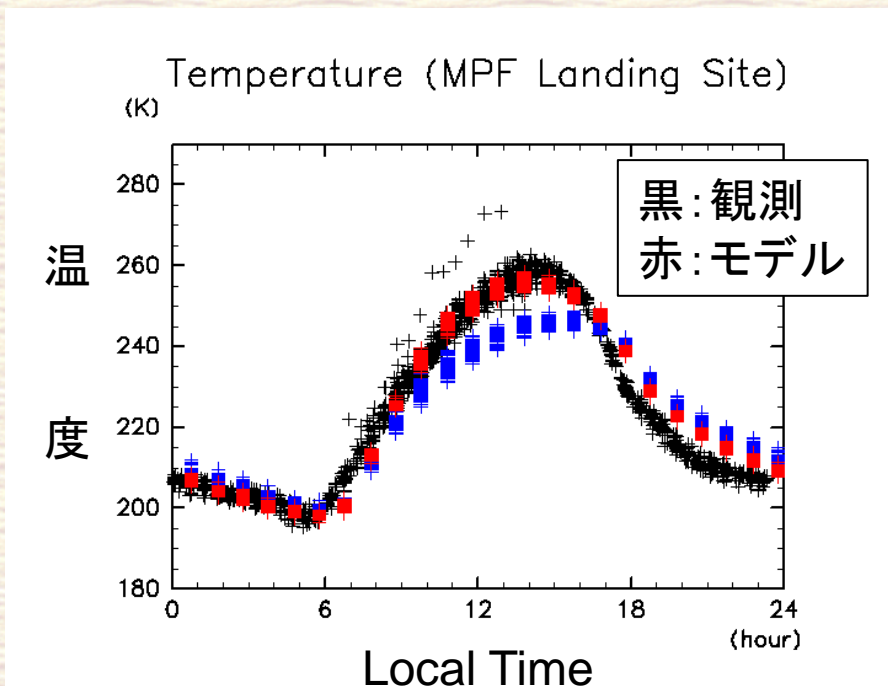


Figure 5: (Left panel) Diurnal variation of ground and atmospheric temperatures: black mark indicates MPF observation at 1.5 m height, blue mark indicates 2nd level level (about 12.5 m height) model temperature and red mark indicates estimated atmospheric temperature at 1.5 m height. (Right panel) Seasonal variation of surface pressure at Viking Lander 1 site: black mark indicates VL1 results and red mark indicates model surface pressure after calibration.

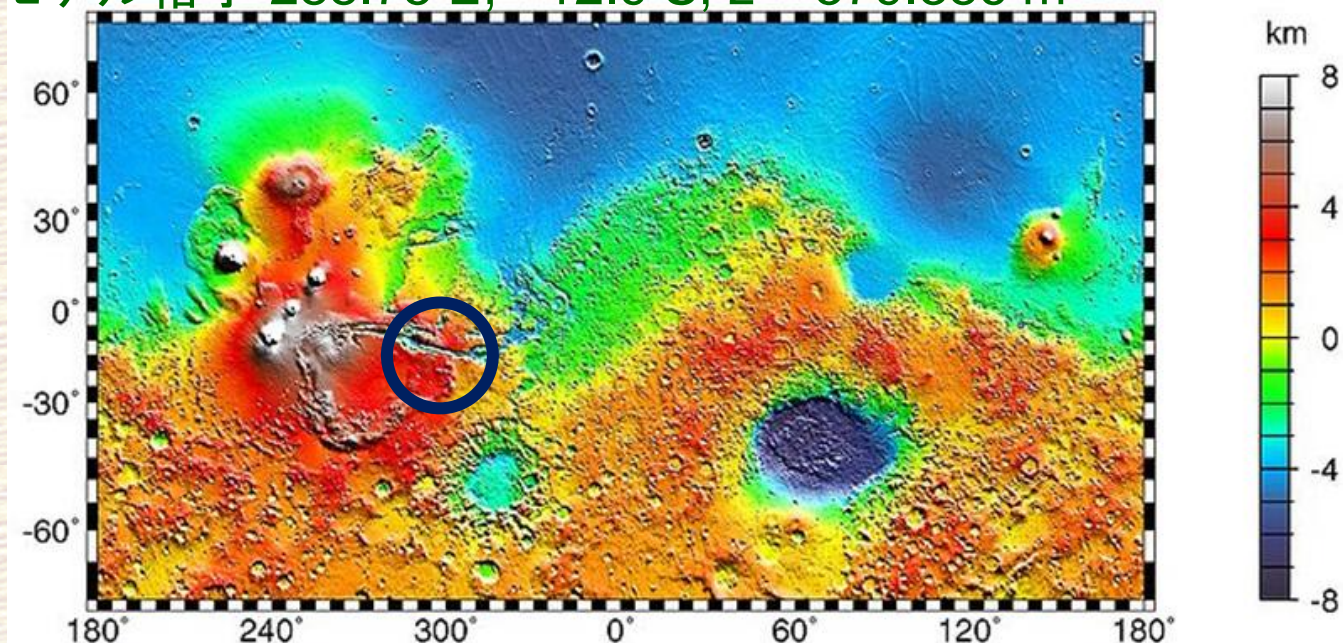
着陸候補地点の環境評価

■ Juventae Chasma

- 298.2 E, 4.8 S, $z = -3783$ m
 - ◆ モデル格子 300.0 E, 5.5 S $z = 134.504$ m

■ Melas Chasma

- 290.3 E, 11.6 S, $z = -5018$ m
 - ◆ モデル格子 288.75 E, -12.9 S, $z = 579.386$ m

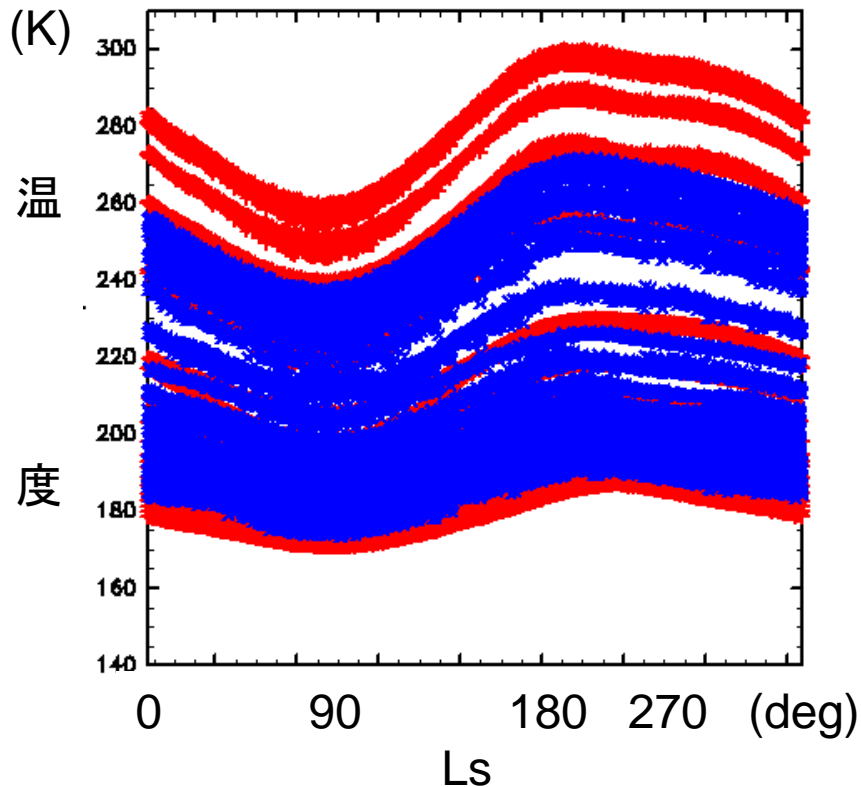


Juventae Chasma の環境評価

■ 気温:

- 日変化の振幅は約 70 K

地表面温度(赤)と地表気温(青, z=1m)



■ 風速

- 平均で数 m/sec

地表風速(z=1m)

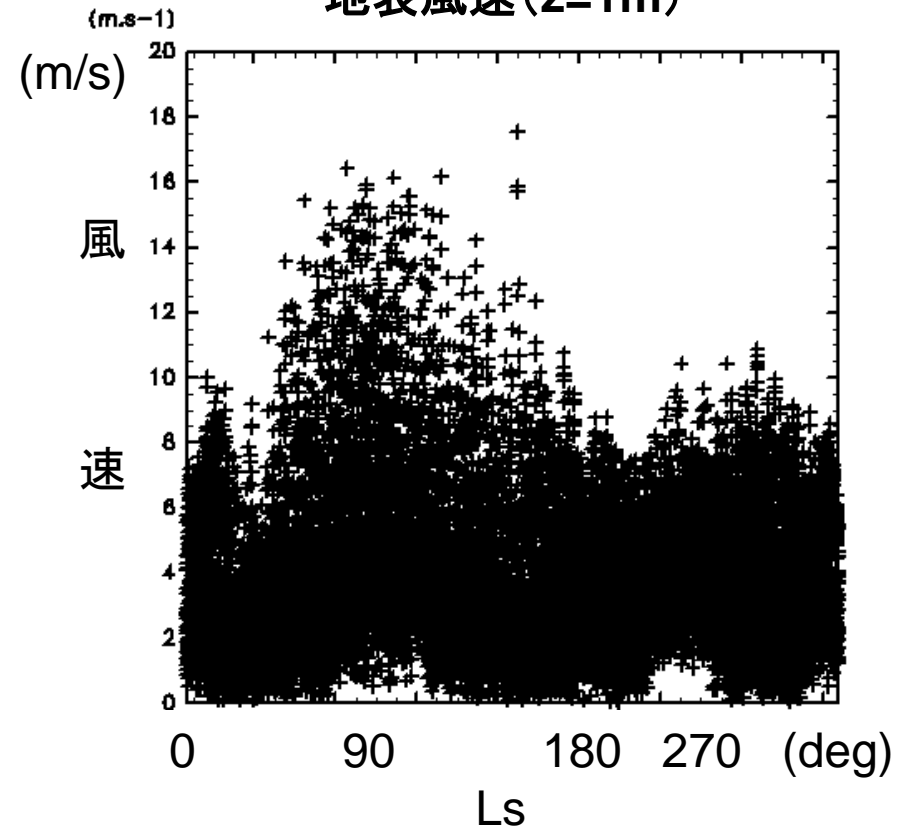


Figure 7: Seasonal variation of ground (red mark) and 1 m height (blue mark) atmospheric temperatures (left panel), and surface wind velocity (right panel) at Juventae Chasma simulated by DCPAM.

ダスト量依存性

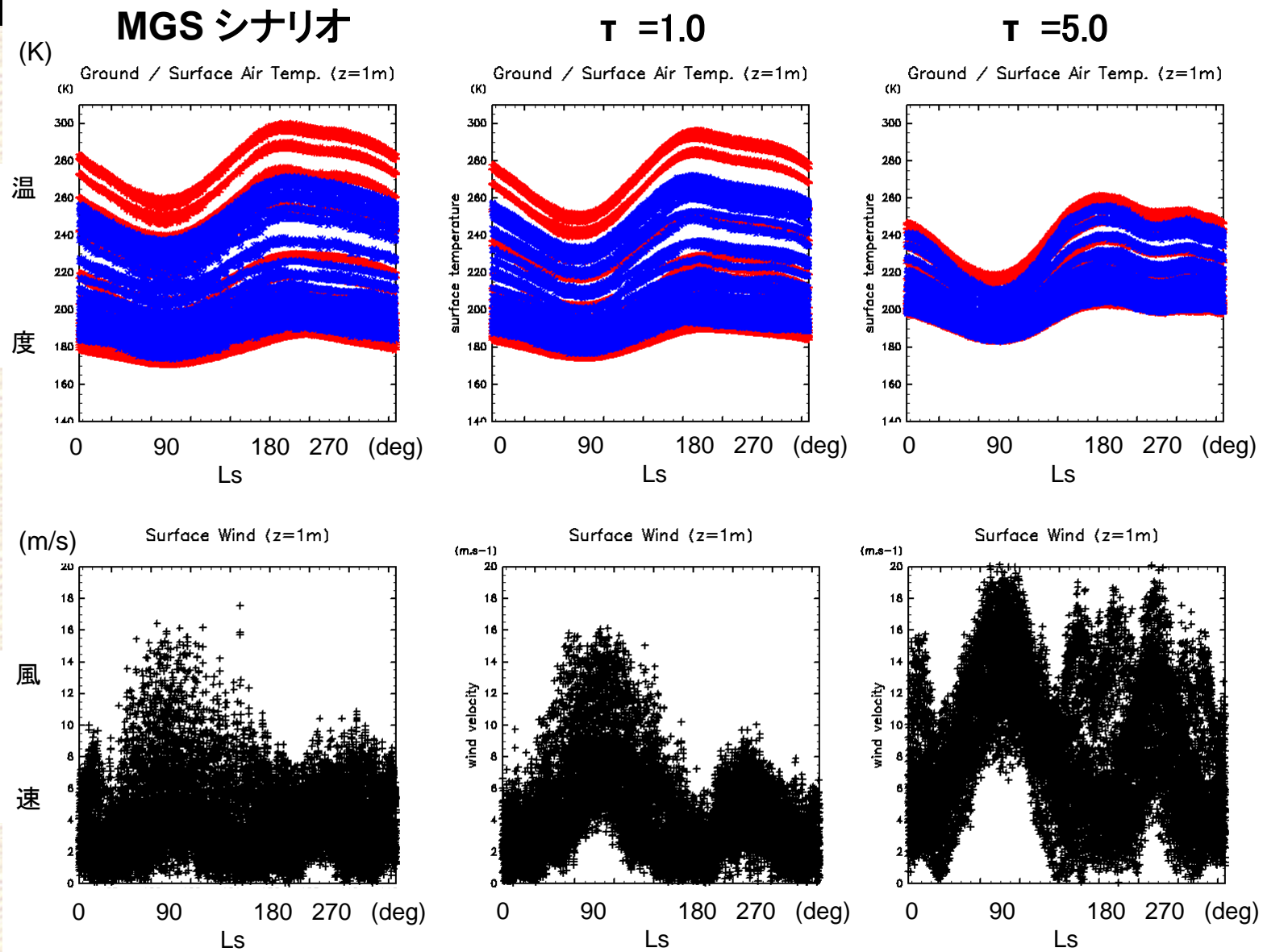


Figure 8: Sensitivity of seasonal variation of ground and 1 m height atmospheric temperatures (upper panel), and surface wind velocity (lower panel) to dust optical depth: (left) MGS dust scenario, (middle) $\tau = 1.0$ case, (right) $\tau = 5.0$ case.

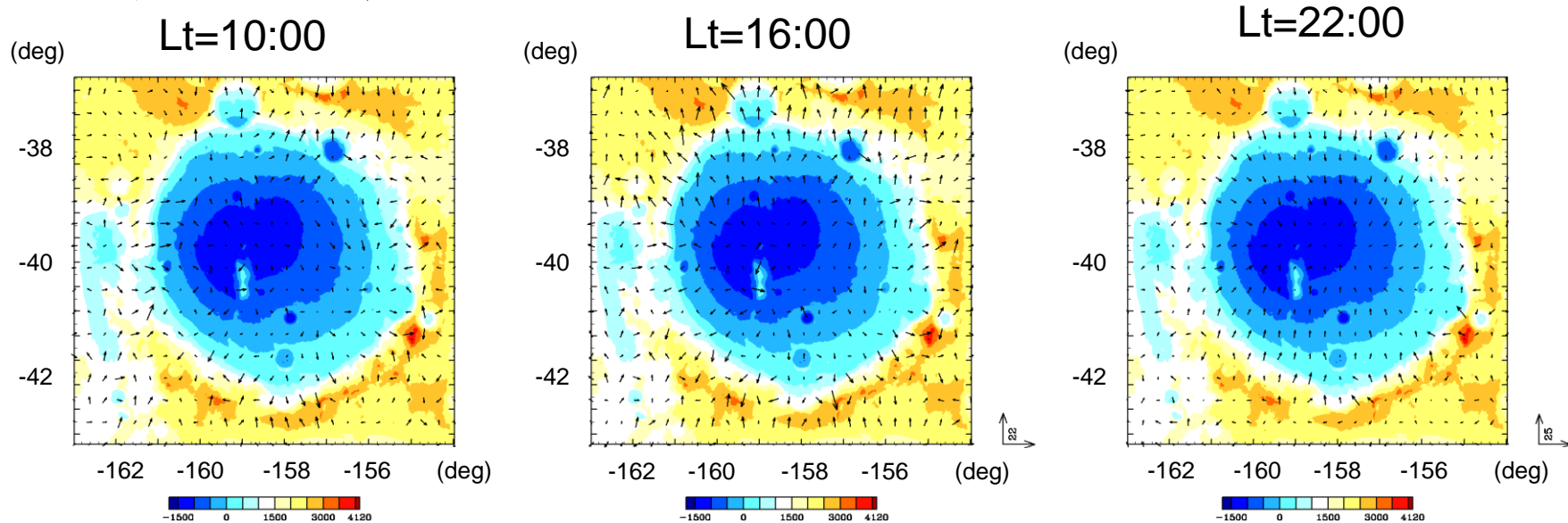
雲解像モデル CReSS-Mars による 火星表層環境評価

CReSS-Mars による環境評価

- **現在モデルのチューニング作業中**
 - 火星用物理過程、地表面データの導入
 - 初期値・境界値として DCPAM データの取り込み
- **急峻な地形条件での動作試験を兼ねた環境評価実験を実行**
 - Newton Crater (202.3 E, 41.7 S)
 - ダストなし条件
 - 解像度: 水平 0.012° (約 500 m), 鉛直 250m
 - 格子点数: 750 x 500 x 64 (9° x 6° 領域)
 - $L_s=0$ (春分) 00UT より 2 日計算

Newton Crater の環境評価

水平風ベクトル(z=5m)



風速の頻度分布

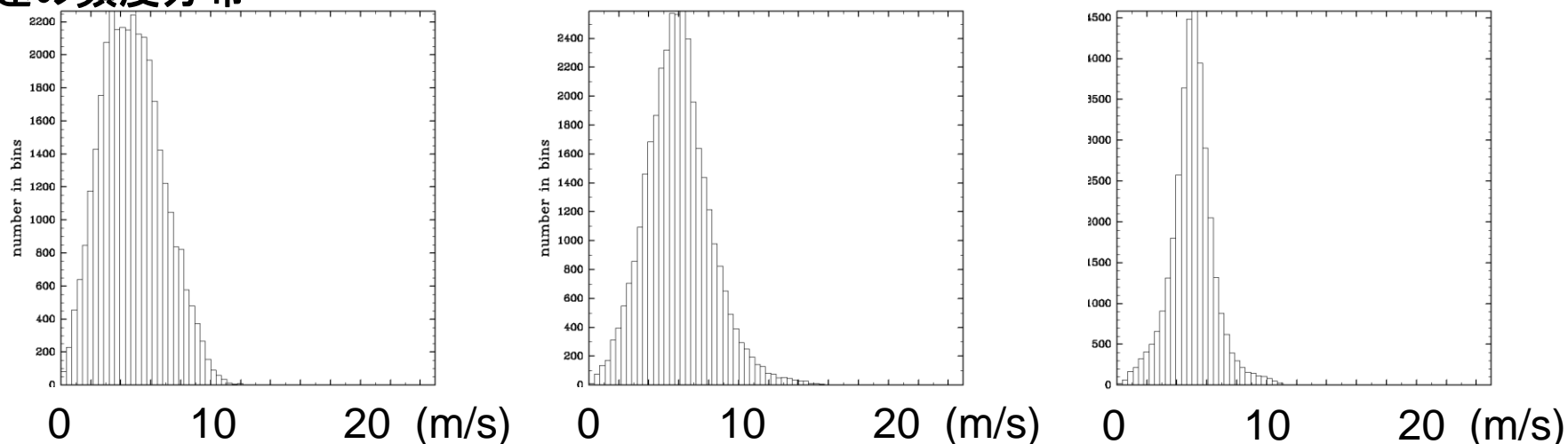


Figure 9: Diurnal change of horizontal wind vector (upper panel) and histogram of wind velocity of 5 m height at Newton crater simulated by CReSS.

LESモデル SCALE による 火星表層環境評価

SCALE による環境評価

- 理想的な境界条件の下で乱流統計量を評価
 - 地表面温度, 放射加熱率の日変化は1次元放射対流平衡モデルの結果を与える
 - ◆ VL1 着陸点における日射量で計算
- 計算設定
 - 地形なし・周期境界
 - ダスト量: $\tau = 0.0, 0.2, 1.0$ (放射加熱分布に考慮)
 - 領域: $24\text{km} \times 24\text{km} \times 20\text{km}$
 - 解像度: $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 100, 50, 25, 10, 5 \text{ m}$
 - 計算時間: $L_s = 0^\circ$ の LT=00:00 から 24 時間

日中の鉛直風分布 ($\tau = 0.2$)

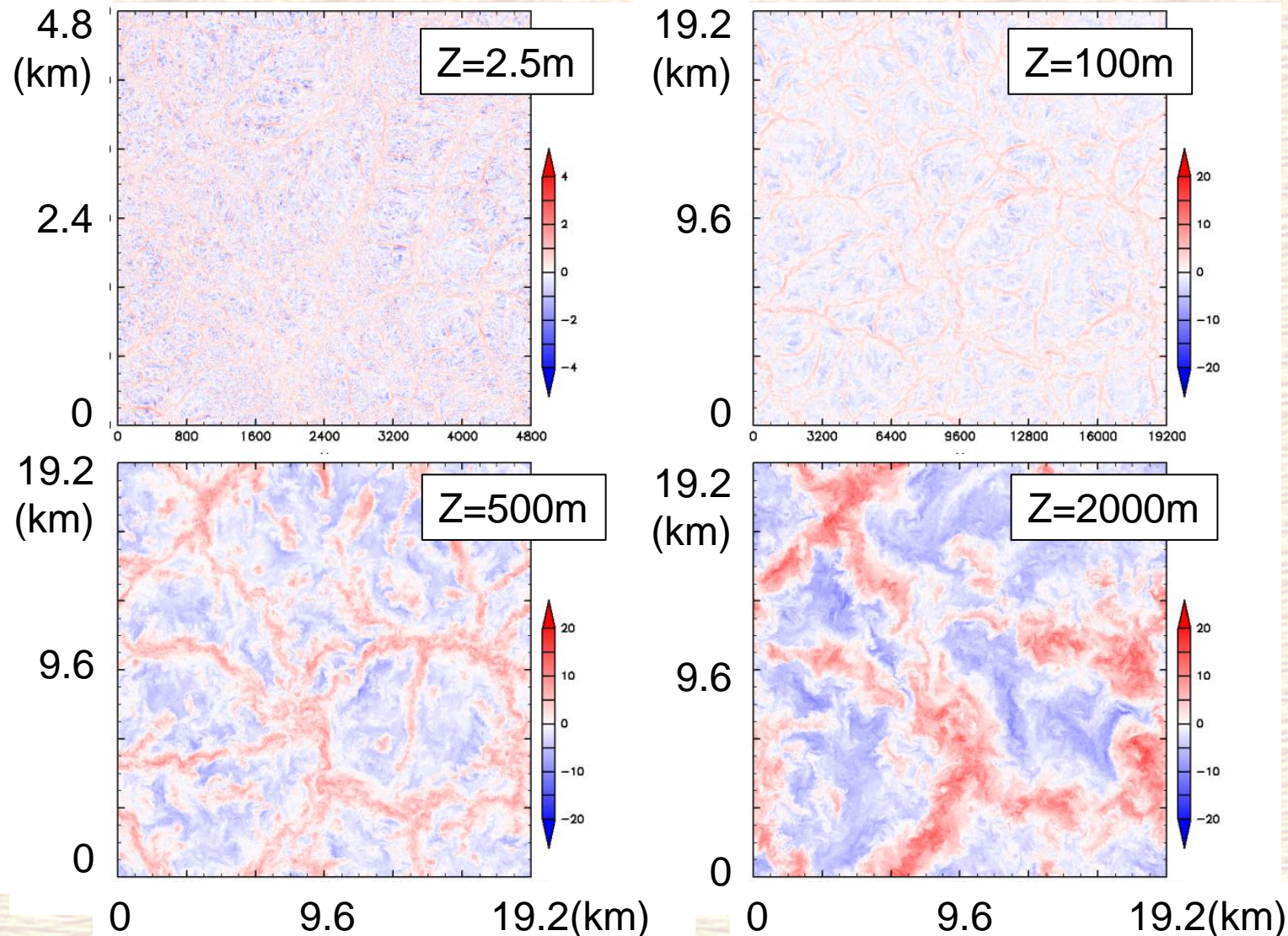


Figure 10: Horizontal distribution of vertical wind at 2.5, 100, 500, and 2000 m height at LT=14:00 in the case of $\tau = 0.2$ simulated by SCALE-LES.

乱流統計量のダスト量依存性

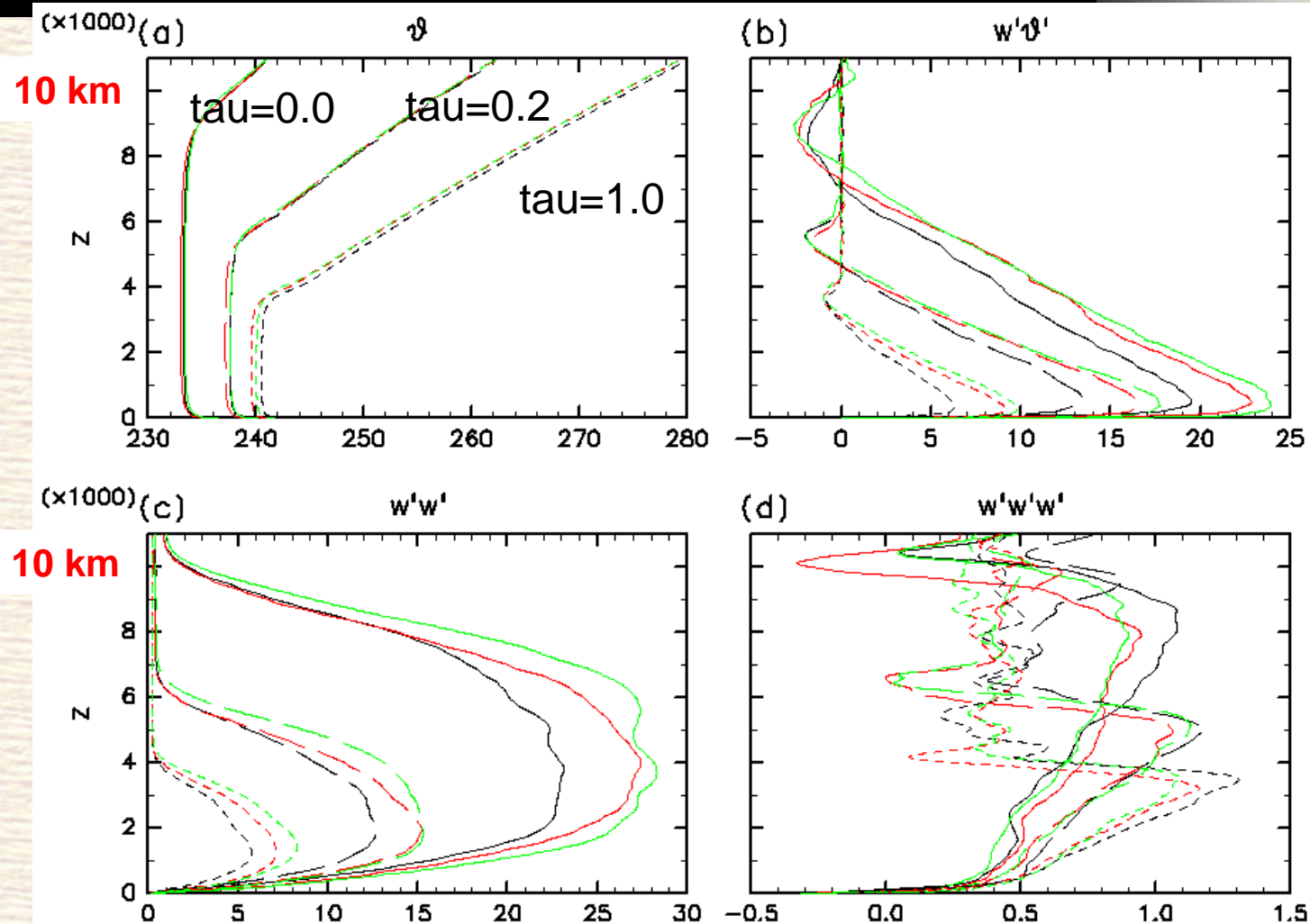


Figure 11: Sensitivity of horizontal mean potential temperature (upper left), vertical heat flux (upper right), square of vertical wind (lower left), and skewness of vertical wind (lower right) on dust optical depth and model resolution.

まとめ

- 時空間スケールの異なる複数の数値モデルを用いて火星表層の環境評価を実施
 - DCPAM による評価は一段落
- 課題
 - CReSS-Mars による観測との比較実験
 - DCPAM, CReSS-Mars, SCALE で計算条件を揃えた環境評価の実施
 - ◆ 着陸候補地点の緯度・経度, 季節条件等
 - SCALE によるダストデビル計算

謝辞

- **CReSS-Mars の開発にあたっては, CReSS 開発チームの協力を頂きました. また, 名古屋大学地球水循環研究センターの共同研究として支援を受けました.**
- **SCALE の開発と計算実行にあたっては, RIKEN/AICS のチーム SCALE の協力を頂きました.**