

火星探査機MRO搭載MCSにより観測された火星大気ダストと水氷雲の子午面分布  
の複数年解析  
Interannual analyses of the meridional distributions of Martian dust and clouds obtained  
by MRO-MCS

野口 克行<sup>1\*</sup>; 今江 香織<sup>1</sup>; 川西 麻衣<sup>1</sup>  
NOGUCHI, Katsuyuki<sup>1\*</sup>; IMAE, Kaori<sup>1</sup>; KAWANISHI, Mai<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 奈良女子大学  
<sup>1</sup>Nara Women's University

We investigated the interannual variability of the meridional distributions of dust and clouds in the Martian atmosphere by using Mars Reconnaissance Orbiter Mars Climate Sounder (MRO-MCS) measurements. As the previous analyses did not consider measurement errors to depict the zonal averages, we took a criterion of 10% for the measurement error. Results show that Mars Year (MY) 29, which is regarded as a standard year in the previous analyses, had an enhancement of dust in the high altitudes (above 10 Pa) in the tropical region, and such an enhancement was not found in other MYs (28, 30 and 31). On the other hand, the distribution of ice clouds in MY 29 roughly agreed with other MYs' distribution.

キーワード: 火星, MRO, MCS, ダスト, 水氷雲

## 火星におけるダスト巻き上げスキームの DCPAM への実装とそれを用いた地表面ダストフラックス診断実験 Implementing Martian dust lifting scheme into DCPAM, and a diagnosis experiment of surface dust flux

荻原 弘堯<sup>1\*</sup>; 高橋 芳幸<sup>2</sup>; 石渡 正樹<sup>1</sup>; 小高 正嗣<sup>1</sup>; 林 祥介<sup>3</sup>

OGIHARA, Hiroataka<sup>1\*</sup>; TAKAHASHI, Yoshiyuki O.<sup>2</sup>; ISHIWATARI, Masaki<sup>1</sup>; ODAKA, Masatsugu<sup>1</sup>; HAYASHI, Yoshiyuki<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学大学院理学院宇宙理学専攻, <sup>2</sup> 神戸大学大学院理学研究科, <sup>3</sup> 神戸大学・大学院理学研究科地球惑星科学専攻  
<sup>1</sup>Department of CosmoSciences, Graduate school of Science, Hokkaido University, <sup>2</sup>Graduate School of Science, Kobe University, <sup>3</sup>Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Kobe University

火星ではダスト循環が大気熱構造に影響しており, 大気構造を決める重要な要素となっている (Gierasch and Goody, 1968). ダスト循環過程には, 地表面からのダスト巻き上げ, 乱流拡散, 移流, 重力沈降がある. その中でもダスト巻き上げ過程ではモデルで解像された風による巻き上げとモデルで解像できない塵旋風 (ダストデビル) による巻き上げを考慮する必要がある. 各国の研究グループでは, これらの過程に関するパラメタリゼーションスキームを組み込んだ大気大循環モデルによる計算が行われている. 例えば Kahre et al.(2006) の数値実験では, 完全にではないが, 北半球の秋から冬にかけて大気ダスト量が増加する季節変化の特徴を捉えることができている. これに対して, 我々が開発を進めてきた大気大循環モデル DCPAM (高橋他, 2012) では, 上記のダスト過程を組み込んでいない状況であった. 本研究では, DCPAM にダスト過程スキームを実装し, ダスト循環に関して考察するための数値実験を行うことを目的とする. 将来的には, 未だどのモデルでも再現できていない火星のダスト分布の年々変動に関する考察に進むことを予定している. ここでは, 上記のダスト過程の一つであるモデルで解像された風によるダスト巻き上げスキームを DCPAM へ実装する. 更に, ダスト巻き上げスキームの振る舞いを調べるために放射的に不活性なダストをトレーサーとしたトレーサー巻き上げ実験を行い, その結果と Kahre et al.(2006) の結果を比較する.

ここで用いるモデルは地球流体電脳倶楽部にて開発されている大気大循環モデル DCPAM である. DCPAM では 3 次元球面プリミティブ方程式を用いている. 放射過程では CO<sub>2</sub> と大気ダストを考慮し, Takahashi et al.(2003, 2006) のスキームを用いる. 放射スキームに与えるダスト分布は固定したものをを用いる. 乱流過程は Mellor and Yamada (1974) の方法に従って決めた鉛直拡散係数を用いて評価する. 地表面過程は Louis et al.(1982) の方法に従って評価する. 各パラメータには火星における一般的なパラメータを用いる. 地表面の熱慣性, アルベド, 地形高度にはマーズグローバルサーベイヤーの観測結果を用いる. 水平離散化にはスペクトル法を用い全波数 21 で打ち切りを行う, 鉛直方向には差分法を用い, 鉛直層数は 32 とする. 積分時間は 3 火星年であり, 最後の 1 火星年分を解析に用いた.

今回, ダスト巻き上げスキームとして KMH スキーム (Kahre et al., 2006) と呼ばれるものを DCPAM へ実装した. これを用いて地表面ダストフラックス計算を行った. その結果, Kahre et al.(2006) のモデル計算の結果と季節, 位置ともに類似した. 具体的には北半球の秋から冬にかけての北緯 50 度付近と南緯 30 度付近でダストが強く巻き上がっているという結果となった. 北緯 50 度付近では東西波数 1, 周期 6 火星日の東進する波の影響で多く巻き上がっていると想像される. この波は傾圧不安定波に関係すると想像される (Briggs et al., 1979). また, 南緯 30 度付近では東西波数 1, 周期 1 火星日の西進する波の影響で多く巻き上がっていると想像される. この波は一日周期熱潮汐波だと想像され (Joshi et al., 1997), 地方時で 16 時にダストが巻き上がりやすい. この結果では定性的には先行研究と一致しているが, 定量的には完全に一致していない. 例えば, 本モデルのダストフラックスは Kahre et al.(2006) よりも北極の極冠で一桁大きくなっている. この結果は鉛直層の厚さと乱流混合の評価の仕方に関係すると思われる. ここではモデルで解像された風によるダスト巻き上げスキームが実装できたので, 現在ダストデビルによるダスト巻き上げスキームの実装を進めている. 順次, 移流過程, 重力沈降過程も含んだ実装実験を行っていく予定である.

キーワード: ダスト, 火星, 大気大循環モデル

Keywords: Dust, Mars, General Circulation Model

## 惑星大気大循環モデル DCPAM を用いた MELOS1 探査機のための火星表層環境評価 Assessment of Mars surface environment for MELOS1 lander using Planetary General circulation model DCPAM

小高 正嗣<sup>1\*</sup>; 杉山 耕一朗<sup>2</sup>; 高橋 芳幸<sup>3</sup>; 西澤 誠也<sup>4</sup>; 林 祥介<sup>5</sup>; はしもと じょーじ<sup>6</sup>  
ODAKA, Masatsugu<sup>1\*</sup>; SUGIYAMA, Ko-ichiro<sup>2</sup>; TAKAHASHI, Yoshiyuki O.<sup>3</sup>; NISHIZAWA, Seiya<sup>4</sup>; HAYASHI, Yoshiyuki<sup>5</sup>; HASHIMOTO, George<sup>6</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学大学院理学学院宇宙理学専攻, <sup>2</sup> 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所, <sup>3</sup> 惑星科学研究センター, <sup>4</sup> 理化学研究所 計算科学研究推進機構, <sup>5</sup> 神戸大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻, <sup>6</sup> 岡山大学大学院自然科学研究科  
<sup>1</sup>Department of CosmoSciences, Hokkaido University, <sup>2</sup>Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency, <sup>3</sup>Center for Planetary Science, <sup>4</sup>RIKEN Advanced Institute for Computational Science, <sup>5</sup>Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Kobe University, <sup>6</sup>Department of Earth Sciences, Okayama University

### 1. はじめに

現在, わが国の宇宙工学および理学コミュニティにおいて着陸船による生命・表層環境探査を主体とした火星探査計画 (MELOS1) の検討が進められている. 計画では, 地表に探査機を降下させ, バイキングが実施した実験よりも 3 桁以上精度を上げた生命探査と, 気温・気圧・風速および大気中のダストを観測対象とした火星表層環境のモニタリングを行うことを目指している. 探査機および搭載する観測機器の設計, および探査機の安全な着地と運用のためには, 着陸予定地点の環境を事前にある程度把握しておく必要がある.

この問題に対し, 我々は大気大循環モデル, 領域気象モデル, ラージエディシミュレーションモデルの計算結果を基に, 惑星規模から大気境界層スケールにいたる火星表層環境に関する情報を提供することを目指している. メソスケールから大気境界層スケールの環境評価は, 名古屋大学水循環研究センターで開発された CReSS および理化学研究所で開発された SCALE-LES を用いて行うとし, 現在両モデルの火星大気へのチューニング作業と予備的な数値実験を行っている (杉山他 2013; 西澤 他 2013). 惑星規模スケールの環境評価は地球流体電脳倶楽部にて開発されてきた惑星大気大循環モデル DCPAM (高橋他 2012) を用いる. 本研究では, DCPAM の計算結果とバイキングおよびマーズパスファインダーの観測結果とを比較し, それに基づいて大気大循環モデルのデータを用いた適切な環境評価方法の検討を行う. 次にその方法を用いた探査機の着陸候補地点における環境評価の結果について示す.

### 2. 使用するデータ

DCPAM はスペクトル法を用いた大気大循環モデルであり, 大気放射等の物理過程は火星に対応したものを組み込んでいる. 地表面のアルベドおよび熱慣性の値はマーズグローバルサーベイヤーの観測結果に基づいている. 水平切断波数は 31 で対応する水平格子間隔は約 200 km である. 鉛直層数は 36 層で, 最下層の高度は約 3 m である. モデルにはマーズグローバルサーベイヤーで観測された平均的なダストの時空間分布を与え, 等温静止状態初期条件とし 7 火星年計算を行う. 解析にはその最後の 2 年分の結果をもちいた.

解析する物理量は 3 つの着陸候補地点 (ニュートンクレータ, ニリ溪谷, インディス平原) における地表面温度と地表気圧, 高度 1 m の気温と水平風速, 地表における太陽放射直達成分, 太陽放射散光成分, 空温度 (下向き赤外放射量に対応する黒体温度) である. これらのデータが探査機の設計に必要とされている. 解析期間は現在想定している 4 つの到着時期 (Ls = 331, 324, 14, 135) から 90 火星日で, 到着後から 15 火星日毎の各物理量の日変化を調べる.

### 3. 解析方法の検討と結果

モデルの結果をバイキングおよびマーズパスファインダーとの観測結果と比較する際の問題は, モデルの最下層の高度が観測高度と異なること, モデルの格子スケールで平均した標高は実際の標高とは異なることである. そこで, 気温と風速は地表付近で中立成層を仮定した相似則が成り立つと仮定して観測高度における値を評価し, 地表気圧についてはモデルで計算された気温に対応するスケールハイトを用いて実際の標高における気圧を評価する. 比較の結果, 気温についてはモデル第 2 層 (高度約 12.5 m) の計算結果を用いて高度補正を行うと, 観測された気温の日変化をよく再現することがわかった. 気圧についてはモデル第 10 層 (高度約 1.35 km) の気温で与えられるスケールハイトを用いて高度補正を行い, さらに全体として 60 Pa 差し引くと観測される気圧の年変化をおおむね再現することが確かめられた.

以上の結果に基づき, 3 つの着陸候補地点の 4 つの探査期間におけるデータの解析を行った. 第 1 候補地点であるニュー

PPS02-P03

会場:3 階ポスター会場

時間:4 月 28 日 18:15-19:30

トンクレータ (202.5E, 42.7S) の  $L_s = 331$  からの期間については、探査機の熱設計に必要な物理量に着目すると、日平均気温は 190 - 220 K で日変化の振幅は約 50 - 70 K、空温度は期間中ほぼ一定の値を示し、その値は約 140 K であった。太陽放射の直達成分と散乱成分の最大値はそれぞれ  $480 \text{ Wm}^{-2}$  と  $40 \text{ Wm}^{-2}$  となることがわかった。今後はダストの時空間分布を変えた計算結果を解析し、着陸候補地点における気温や気圧などの物理量がどの程度変動しうるかを評価する予定である。

キーワード: 火星探査, 大気大循環モデル, 火星表層環境

Keywords: Exploration of Mars, General Circulation Model, Surface environment of Mars

## 火星の大気主成分凝結を考慮した MGS 電波掩蔽観測データの再導出とその応用 Estimation of Martian atmospheric composition change caused by CO<sub>2</sub> condensation and its application to radio occultation

池田 さやか<sup>1\*</sup>; 野口 克行<sup>1</sup>; 黒田 剛史<sup>2</sup>; ペッツォルド マーチン<sup>3</sup>  
IKEDA, Sayaka<sup>1\*</sup>; NOGUCHI, Katsuyuki<sup>1</sup>; KURODA, Takeshi<sup>2</sup>; PAETZOLD, Martin<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 奈良女子大学, <sup>2</sup> 東北大学, <sup>3</sup> ケルン大学  
<sup>1</sup>Nara Women's University, <sup>2</sup>Tohoku University, <sup>3</sup>University of Cologne

We estimated the Martian atmospheric composition change caused by CO<sub>2</sub> condensation using the Ar measurements obtained by Gamma Ray Spectrometer (GRS) onboard the 2001 Mars Odyssey. We applied this estimation of the composition change to the rederivation of the radio occultation (RO) measurements of Mars Global Surveyor (MGS) obtained at polar latitudes of the winter hemisphere, because the MGS RO standard product which is available to the public did not consider the atmospheric composition change by CO<sub>2</sub> condensation. Using the rederived MGS RO measurements, we investigated the occurrence of CO<sub>2</sub> supersaturation in the Martian polar winter atmosphere and found that there were more supersaturation in the rederived data than in the original data.

キーワード: 火星, CO<sub>2</sub>, 過飽和, 凝結, 電波掩蔽  
Keywords: Mars, CO<sub>2</sub>, supersaturation, condensation, radio occultation

## (Fe,Ni)<sub>3</sub>S相の状態方程式と火星内部構造への適用 Equation of state of (Fe,Ni)<sub>3</sub>S phase - Implications for Mars internal structure

赤木 俊介<sup>1</sup>; 境 毅<sup>1\*</sup>; 平尾 直久<sup>2</sup>  
AKAGI, Shunsuke<sup>1</sup>; SAKAI, Takeshi<sup>1\*</sup>; HIRAO, Naohisa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>地球深部ダイナミクス研究センター、愛媛大学, <sup>2</sup>高輝度光科学研究センター  
<sup>1</sup>Geodynamics Research Center, Ehime University, <sup>2</sup>Japan Synchrotron Radiation Research Institute

火星内部は、地球同様に地殻、マントル、核の層構造を持つ。特にマントルは上部マントル・マントル遷移層・下部マントルに分かれるが、下部マントルが存在するかどうかは核マントル境界の深さによって決定される。火星の核マントル境界の深さは、マントルと核の密度分布と火星の総質量から決定される。火星の核には鉄の他に硫黄が含まれていると考えられ、密度についてはこれまでFeとFeSの混合物として算出されていた(e.g., Urakawa et al., 2004)。しかし、火星の核に相当する圧力ではFe<sub>3</sub>Sという中間化合物が現れることが分かっており(Fei et al., 2000)、この相について考慮する必要がある。またSNC隕石に基づく化学モデルではニッケルの存在も示唆されていることから、ニッケルの密度に与える影響も考慮する必要がある。

我々はダイヤモンドアンビルセルを用いた高圧実験を行い、ニッケルを固溶する(Fe<sub>0.89</sub>Ni<sub>0.11</sub>)<sub>3</sub>S相について火星核に相当する圧力での状態方程式を決定した。γ-Fe (Tsujino et al., 2013), γ-FeNi (Tsujino, 2012), Fe<sub>3</sub>S (Seagle et al., 2006), および(Fe<sub>0.89</sub>Ni<sub>0.11</sub>)<sub>3</sub>Sの状態方程式を使って算出された密度に対して線形回帰分析を行い、ニッケルと硫黄が密度に与える効果について明らかにした。SNC隕石に基づく化学モデルによると火星の核は16 wt.%Sと7 wt.%Niとなっている(Sanloup et al., 1999)。さらに核が高温で全体的に融解しているとした場合(Fei and Bertka, 2005)、2%程度の融解による体積膨張(Anderson and Isaal, 2000; Laio et al., 2000)も考慮する必要がある。この場合に核マントル境界深さを算出すると、火星の下部マントルは存在できない可能性があることが分かった。

キーワード: 火星核, 状態方程式, 火星下部マントル  
Keywords: Mars core, equation of state, Mars lower mantle