

Mars Express/OMEGA を用いた、火星表面圧力の MY27-29 年における全球解析

#風間 暁¹⁾, 青木 翔平²⁾, Spiga Aymeric³⁾, Vincendon Mathieu⁴⁾, 笠羽 康正¹⁾, 中川 広務¹⁾, 村田 功¹⁾, 今村 剛²⁾

(¹⁾ 東北大学, (²⁾ 東京大学, (³) LMD/IPSL, (⁴) Institut d'Astrophysique Spatiale, Université Paris-Saclay

Global Analysis of Martian Surface Pressure in MY27-29 using Mars Express/OMEGA

#Akira Kazama¹⁾, Shohei AOKI²⁾, Aymeric Spiga³⁾, Mathieu Vincendon⁴⁾, Yasumasa KASABA¹⁾, Hiromu NAKAGAWA¹⁾, Isao MURATA¹⁾, Takeshi IMAMURA²⁾

(¹) Tohoku University, (²) The University of Tokyo, (³) LMD/IPSL, (⁴) Institut d'Astrophysique Spatiale, Université Paris-Saclay

Understanding the dynamics of the Martian atmosphere requires continuous observations of surface pressure. Previous observations obtained by landers such as Viking, InSight, and Perseverance have significantly contributed to characterizing seasonal and diurnal variations at specific locations (e.g., Sánchez-Lavega et al., 2022; Banfield et al., 2020; Zurek et al., 1992). However, these datasets are inherently limited to point observations, making them insufficient for capturing the spatial extent and propagation of planetary-scale phenomena such as dust storms and thermal tides. To address this limitation, global and spatially distributed pressure data are essential.

In this study, we attempt to retrieve Martian surface pressure variations using orbiter data. Specifically, we employed data from the OMEGA near-infrared imaging spectrometer onboard the Mars Express. Previous studies retrieving surface pressure from remote sensing data were limited to the early Martian Year (MY) 27 (Forget et al., 2007; Spiga et al., 2007). The objective of this work is to develop a new retrieval tool capable of retrieving surface pressure rapidly and accurately, apply it to OMEGA observations since MY27, and thereby advance our understanding of the mechanisms of planetary-scale atmospheric phenomena such as thermal tides and gravity waves.

Our method combines a lookup table approach with equivalent width analysis of 2 μ m CO₂ absorption bands to balance computational efficiency with accuracy. In addition, instead of relying solely on models, we estimated dust opacity directly from the 2.77 μ m CO₂ absorption within the OMEGA observations (Kazama et al., under review), which was then incorporated into the retrieval process. Based on comparisons of repeated observations of the same region under similar conditions within three days, the relative error of our method is estimated to be $\pm 2.5\%$. This level of accuracy is sufficient for analyzing meteorological phenomena such as thermal tides, whose typical amplitude is on the order of $\sim 5\%$ (Banfield et al., 2020).

We applied this method to ~ 4000 orbits of OMEGA data with high-quality spectra (ORB0006 – 5320; late MY26 to mid-MY29) and derived the global seasonal variability of surface pressure. The retrieved pressures consistently showed global increases during northern spring and autumn and decreases during summer and winter. This behavior reflects seasonal condensation and sublimation of atmospheric CO₂ at the polar caps and is consistent with observations from multiple landers (e.g., Tillman et al., 1993).

Ongoing efforts focus on two directions: (1) the observational verification of the spatial structures of thermal tides, and (2) development of an automated detection algorithm for signatures of atmospheric gravity waves. The former will enable the first observational confirmation of spatial dependencies of thermal tides that have been predicted by GCM but remain insufficiently validated (Guzewich et al., 2015). The latter builds upon the fact that previously reported gravity wave signatures (Spiga et al., 2007) are reproducible in our pressure retrievals, suggesting that quantitative detection and statistical characterization are feasible.

In this presentation, we will discuss the details of the developed methodology and its limitations, present results on global seasonal variability, and report current progress and perspectives on the analysis of thermal tides and atmospheric gravity waves.

火星大気の力学を理解するためには、地表面圧力の観測が不可欠である。これまで Viking や InSight, Perseverance といった着陸探査機による観測は、特定の地点における季節変動や日周変動の解明に貢献してきたが、得られるのはあくまで「点」のデータに限られ、惑星規模の大気現象を把握するには不十分であった (e.g., Sánchez-Lavega et al., 2022; Banfield et al., 2020; Zurek et al., 1992)。特に、砂嵐や熱潮汐のような全球的な大気現象の空間的な広がりや伝播を理解するためには、面的かつ広域にわたる圧力データが求められる。

本研究は、この課題を克服するために、周回探査機が持つ面の観測データを活用して、火星表面圧力変動の解析を試みる。具体的には、火星周回探査機 Mars Express (MEx) に搭載された近赤外分光撮像装置 OMEGA のデータを利用した。これまでリモートセンシングから表面圧力を導出した研究は、MY27 初期を対象とする例に限られており、その適用範囲は極めて限られていた (Forget et al., 2007; Spiga et al., 2007)。本研究の目的は、高速かつ高精度に表面圧力を導出する新しいツールを開発し、それを OMEGA の MY27 以降の観測に適用して、熱潮汐波や大気重力波といった惑星規模の大気現象のメカニズムを解明することである。

地表面圧力の導出には、高速・高精度を両立させるため、ルックアップテーブルと 2 μ m の CO₂ 吸収帯の等価幅を組

み合わせた手法を用いた。また、従来はモデルに依存していたダストの影響を、OMEGA 観測内の $2.77\ \mu\text{m}$ の CO_2 吸収帯から推定 (Kazama et al., under review) し、導出プロセスに組み込むことで、より高精度な圧力導出を可能にした。短期間 (3 日以内) で取得された同一地域・同一条件の観測データの比較により、本手法の相対誤差は $\pm 2.5\%$ と推定された。この精度は、熱潮汐波の振幅 (約 5%) といった火星の気象現象の解析する上で十分である (Banfield et al., 2020)。

本手法をスペクトルが良好な OMEGA 観測期間 (ORB0006 – 5320 ; MY26 後半~MY29 中期) の約 4000 軌道に適用し、表面圧力の全球季節変動を導出した。導出された地表面圧力が、各火星年で北半球の春・秋頃に圧力が上昇し、夏・冬頃に減少することが全球にわたって確認された。これは、季節に応じた CO_2 大気極冠への凝結・昇華を反映しており、複数の着陸機による観測事実とも整合的である (Tillman et al., 1993)。

さらに現在、(1) 熱潮汐の空間構造の観測的検証、(2) 大気重力波の痕跡の自動検出アルゴリズムの開発を進めている。前者では、これまで GCM で予測されながら観測的に十分検証されてこなかった熱潮汐の空間依存性を明らかにすることが可能となる (Guzewich et al., 2015)。後者では、本研究で得られた圧力データに Spiga et al., 2007 で報告された痕跡が再現可能であることから、これを数値化することで自動検出アルゴリズムを開発できる可能性がある。

本講演では、本研究の手法の詳細とその課題について議論し、季節変動の解析結果、および熱潮汐と大気重力波の解析進捗と今後の展望について報告する。