

R009-28

B会場：9/27 PM1 (13:45-15:30)

14:00~14:15

OMEGA/Mars Express によって観測された MY27-29 における火星表面圧力分布の季節変動

#風間 暁^{1,2}, 笠羽 康正¹, 青木 翔平², 中川 広務¹, 小郷原 一智³, 今村 剛², 佐藤 隆雄⁴, 黒田 剛史¹

⁽¹⁾ 東北大学, ⁽²⁾ 東京大学, ⁽³⁾ 京都産業大学, ⁽⁴⁾ 北海道情報大, ⁽⁵⁾ 情報大, ⁽⁶⁾ 東北大・理

Seasonal variation of surface pressure distribution on Mars in MY27-29 observed by OMEGA/Mars Express

#Akira Kazama^{1,2}, Yasumasa Kasaba¹, Shohei Aoki², Hiromu Nakagawa¹, Kazunori Ogohara³, Takeshi Imamura², Takao M Sato⁴, Takeshi Kuroda¹

⁽¹⁾Tohoku University, ⁽²⁾University of Tokyo, ⁽³⁾Kyoto Sangyo University, ⁽⁴⁾Hokkaido Information University, ⁽⁵⁾Hokkaido Information University, ⁽⁶⁾Department of Geophysics, Tohoku University

On Mars, dust heats the atmosphere, driving various meteorological phenomena such as thermal tides and global dust storms, but the mechanisms of these phenomena are not understood. Surface pressure is an important physical parameter to understand these meteorological phenomena, however, our current understanding of the global distribution of surface pressure on Mars is limited to specific locations sampled by landers and a few remote sensing observations from orbiters. Unlike single-point lander observations, remote sensing observations can retrieve the spatial distribution of surface pressure and its variability over a wide area. Forget et al. (2007) and Spiga et al. (2007) retrieved surface pressure distribution from the initial observations of the Mars Express (MEX) onboard near-infrared imaging spectrometer OMEGA, conducted from January 2004 to November 2005, and detected fluctuations that were thought to originate from atmospheric gravity waves. Since then, retrievals of surface pressure distribution by remote sensing observations have not been reported, and OMEGA has over three years of analyzable data. Therefore, we aim to retrieve surface pressure from long-term remote sensing observations over the planet and to investigate the generation of thermal tidal waves, atmospheric gravity waves, and global dust storms from surface pressure fluctuations. For that, we first developed a fast and accurate surface pressure retrieval tool from orbiter. We then used the retrieval tool to analyze orbiter data from multiple Martian years to investigate the seasonal variation of surface pressure. In this presentation, we summarize the evaluation of the retrieval tool and report on the seasonal variation of surface pressure distribution during Mars years 27-29.

We used data observed by OMEGA/MEX from January 2004 to March 2010; short wave infrared (SWIR) channel has a wavelength range of 0.93-2.65 μ m and a wavelength resolution of 13 nm, covering three Mars years 27-29 (March 2004 to October 2009).

There are more than tens of thousands of observation points in one orbit, and retrieval of surface pressure requires both high speed and high accuracy. This study uses a fast retrieval method by using a look up table (LUT) (Forget et al., 2007). Two methods were attempted for retrieval: a new method that compares the equivalent width of the CO₂ absorption band between the observed and LUT spectra (equivalent width method), and a fitting method that uses all 25 observed spectra within 1.8-2.2 μ m, including the CO₂ absorption band (fitting method).

Absolute and relative values of the retrieved surface pressure were evaluated from these two methods. Absolute values were evaluated by comparing them with the surface pressure retrieval results of a previous study (Forget et al., 2007) at three specific sites (Hellas Basin, Cruse Plain, and Terra Meridiani). Absolute differences ranged from -1.2% to +2.7% for the equivalent width method and from -2.3% to -0.1% for the fitting method, both within the error range (\sim 5%) and in agreement with observations from previous studies. Relative values were evaluated by comparing surface pressures in the same area obtained at close intervals (3 days). The relative accuracy (3σ) between locations was $\sim \pm 20$ Pa ($\pm 2.5\%$) for the equivalent width method and $\sim \pm 15$ Pa ($\pm 2.0\%$) for the fitting method, both of which were sufficient for the analysis of meteorological phenomena (e.g., fluctuation of thermal tidal wave is expected to be \sim 5% at surface pressure), which was the objective of this study.

Therefore, we applied the faster equivalent width method (more than 400 times faster than the fitting method) to about 4300 OMEGA orbits data during Mars years 27-29 and retrieved the seasonal variation of the surface pressure. It was confirmed that in each year, surface pressure increased in the northern hemisphere spring and fall and decreased in the northern hemisphere summer and winter. This is caused by seasonal condensation and sublimation of CO₂ into the polar cap and is consistent with observations from multiple landers (Zurek et al., 1992).

Using these data, we are attempting to detect thermal tidal waves by referring to the Mars climate database version 6.1 (Forget et al., 1999; Millour et al., 2018) and separating seasonal and local time variability.

MMX (Martian Moons eXploration), scheduled for launch in FY2024, will be equipped with a near-infrared spectroscopic imager MIRS (Barucci et al., 2021), which has the same wavelength range and resolution as OMEGA and can observe a wide area at once (\sim 20x40 deg, more than 80 times the field of view of OMEGA) with time resolution of less than 1 hour. By

applying our retrieval tools to MIRS, we expect to be the first in the world to visualize global surface pressure distribution and variation (Ogohara et al., 2022) .

火星では、ダストによる大気加熱によって、顕著な熱潮汐波や全球を覆う砂嵐などの様々な気象現象が引き起こされているが、それらの発生・発達メカニズムは十分に理解されていない。気象現象を理解する上で地表面圧力は重要なパラメーターであるが、これまでの研究は、着陸機による特定地点と非常に限られた周回探査機からのリモートセンシング観測のみである。リモートセンシング観測は、着陸機の一点観測と異なり、地表面圧力の空間分布やその変動を広域にわたり導出できる。Forget et al. (2007) および Spiga et al. (2007) は、Mars Express (ME_x) に搭載されている近赤外分光撮像装置 OMEGA の初期観測データ (2004 年 1 月から 2005 年 11 月) のうち 29 軌道で地表面圧力分布を導出し、大気重力波起源と考えられる変動を検出した。しかしこれ以降は、周回探査機を利用した地表面圧力分布の導出は報告されておらず、OMEGA だけでも 3 火星年 (MY) 分以上の解析可能データが蓄積されている。

本研究の目的は、長期間のリモートセンシング観測データから地表面圧力を導出し、その変動から熱潮汐波や大気重力波、そして全球を覆う砂嵐のメカニズムを理解することである。これに向けて、周回探査機の観測データから高速かつ高精度な地表面圧力リトリバルツールの開発を行った。さらに、開発したリトリバルツールを用いて複数の火星年における周回探査機のデータを解析し、地表面圧力の季節変動を調べた。本発表では、リトリバルツールの性能を評価するとともに、MY27-29 の地表面圧力分布の季節変動について報告する。

本研究は、OMEGA/ME_x の近赤外チャンネル (SWIR: 波長範囲 0.93-2.65 μm 、波長分解能 13 nm) によって観測された MY27-29 (2004 年 3 月から 2009 年 10 月に約 8100 軌道の観測) を網羅する 2004 年 1 月から 2010 年 3 月までの観測データを使用した。

1 軌道あたりの観測スペクトルは数万点以上あり、地表面圧力の導出には高速かつ高精度を両立する必要がある。本研究は、Look up table(LUT) を使用 (Forget et al., 2007) することで高速にリトリバルする手法を用いた。リトリバルには、CO₂ 吸収帯の等価幅を比較する新しい手法 (等価幅法) と、CO₂ 吸収帯を含む 1.8-2.2 μm 内の 25 点のスペクトルを比較する従来の手法 (フィッティング法) を用いた。

この 2 手法から導出された地表面圧力について、絶対値と相対値の評価を行った。絶対値の評価は、特定 3 地点 (ヘラス盆地、クリュセ平原、Terra Meridiani) における先行研究 (Forget et al., 2007) の地表面圧力リトリバル結果と比較することで行った。絶対値の差が、等価幅法では -1.2% から +2.7%、フィッティング法では -2.3% から -0.1% となり、両者とも誤差範囲内 (~5%) で先行研究の観測結果と一致した。相対値の評価は、短期間 (3 日) で取得された同一地域の地表面圧力の比較で行った。地点間での相対精度 (3 σ) は、等価幅法では $\pm 20 \text{ Pa} (\pm 2.5\%)$ 、フィッティング法では $\pm 15 \text{ Pa} (\pm 2.0\%)$ となり、両者とも火星気象現象の解析 (例: 熱潮汐波の振幅で、地表面圧力は ~5% 程度) に十分な結果となった。

そこで、より高速な等価幅法 (フィッティング法の 400 倍以上) を、MY27-29 における OMEGA の約 4300 軌道の観測データに適用し、地表面圧力の季節変動を導出した。この結果、地表面圧力は各年で北半球春・秋頃に地表面圧力が上昇し、北半球夏・冬頃に地表面圧力が減少することが全球にわたって確認された。これは季節に応じて CO₂ 大気が極冠に凝結し、また大気中に昇華することで解釈でき、複数の着陸機による観測事実とも概ね整合的である (Zurek et al., 1992)。これらのデータを用いて、Mars Climate Database ver. 6.1 (Forget et al., 1999; Millour et al., 2018) を参照し、地表面圧力の季節変動と地方時変動の切り分けによって、熱潮汐波の検出を試みている。

本手法は、2024 年度に打ち上げ予定の MMX (Martian Moons eXploration) に搭載される近赤外分光撮像装置 MIRS (Barucci et al., 2021) への適用を目指している。MIRS は OMEGA と同等の波長範囲と波長分解能で、1 時間以内の時間分解能で一度に広域 (~20 \times 40°、OMEGA の視野の 80 倍以上) な観測が可能である。我々のリトリバルツールを MIRS へ適用し、世界初の広域表面圧力分布・変動の可視化を実現する (Ogohara et al., 2022)。