

R009-33

Zoom meeting D : 11/2 AM2 (10:45-12:30)

12:00~12:15

リム観測による火星大気鉛直構造の解明を目指す新大気リトリーバル技術の検証

#小暮 季成¹, 青木 翔平², Mahieux Arnaud³, 中川 広務¹, 黒田 剛史¹, 笠羽 康正¹, 吉田 奈央¹, 岩淵 弘信¹, 出村 裕英⁴

(¹ 東北大・理, (² JAXA/ISAS, (³ BIRA-IASB, (⁴ 会津大学

Validation of a new atmospheric retrieval technique for the vertical profiles of Martian atmosphere by limb observations

#Risei Kogure¹, Shohei Aoki², Arnaud Mahieux³, Hiromu Nakagawa¹, Takeshi Kuroda¹, Yasumasa Kasaba¹, Nao Yoshida¹, Hironobu Iwabuchi¹, Hirohide Demura⁴

(¹ Tohoku Univ., (² JAXA/ISAS, (³ BIRA-IASB, (⁴ University of Aizu

In the Martian atmosphere, the vertical distribution of trace gases and aerosols can be observed by orbiters using various geometries, amongst them solar occultation and limb observations. Their spatial-time variability is one of the basic information for Martian atmospheric studies. For example, recent studies have suggested that water vapor is transported from the lower atmosphere to the upper atmosphere, and then can be lost to space through UV photodissociation. Its vertical structure and spatial-temporal variations may be critical for understanding the dynamics and evolution of Martian atmosphere. Aerosols are also important because they can affect the trace gas distribution and their vertical transportation through radiative transfer processes, accumulation, dissipation, and catalytic functions.

The vertical structure has been mainly investigated by solar occultation using the NOMAD instrument on board EMTGO (e.g., Vandaele et al., 2019; Aoki et al., 2019). NOMAD has an excellent S/N and a fine altitude resolution. However, it is not suitable for the investigation of Local Time (LT) variation and horizontal distribution, because the observational geometry is limited on the line-of-sight of the Sun at dusk and dawn. Limb observations, which observe solar scattered light by aerosols, can provide a wide coverage of LT and horizontal distribution. For the retrievals of vertical structures from limb data, comprehensive, accurate, and fast calculations of scattering and absorption features are needed. Because these algorithms imply huge computation cost, few studies by limb observations are found in the literature (e.g., Smith et al., 2013; Clancy et al., 2019).

We use the JACOSPAR package, a fast multiple-scattering retrieval tool originally developed for Earth observations (Iwabuchi et al., 2006), to retrieve Martian limb observations observed by OMEGA on board Mars Express. JACOSPAR is a fast calculation algorithm that (1) computes the multiple scattering components using the backward-propagating Monte Carlo method and (2) uses the dependent sampling approach to simultaneously simulate a radiance spectrum along wavenumbers. JACOSPAR considers a spherical-shell atmosphere to compute the atmospheric refraction, while the code can simultaneously derive the vertical profile of dust and atmospheric components without any specific assumption.

In this work, we compare the results with the conventional retrieval code DISORT, which accounts for multiple scattering and reflection from the lower boundary.

The JACOSPAR calculated radiances are in good agreement with the DISORT results within typically a ~3% range. We are now evaluating the gas absorptions. As an application, thanks to a non-sun-synchronous orbit of MEx, we will obtain the LT variations of the aerosols and the trace gases in order to investigate the vertical transport mechanisms. In this presentation, we will report on this analysis as well.

This study aims to contribute to the Martian atmospheric limb observations planned by JAXA Martian Moons eXploration (MMX) mission in the mid 2020s. MMX will acquire a unique set of atmospheric spectroscopic data at Mars mid-low latitude regions from nadir and limb geometries with wide field coverages from an equatorial orbit near the Phobos orbit. Our high accuracy and fast retrieval tool will contribute to the MMX atmospheric observation, for the retrieval of the horizontal and vertical profiles of dust and water vapor over a wide range at hourly time scale.

火星大気のリケイトや水氷等からなるエアロゾルや水蒸気を含む微量成分の高度分布は、周回探査機による太陽掩蔽観測およびリム観測によって観測される。これらの地表面近傍から高高度に至る鉛直構造の時空間双方での変動追跡は、火星における地表から上層大気をつなぐ物質の鉛直輸送の解明に欠かせない。特に水は、表層から供給され火星大気全域を循環するだけでなく、上層大気まで輸送された場合には紫外線による光解離を経て宇宙空間へと流出することが示唆されてきた。このため、その鉛直構造とその時空間変動は、火星とその大気の現在の変動だけでなく、過去の進化の解明にも重要な情報を提供する可能性がある。またエアロゾルは、ダストストームなどの火星大気の変動要因となるだけでなく、微量大気成分の蓄積・放出や触媒機能を介してこれらの鉛直輸送の質・量にも影響を与えうるため、その鉛直構造とその時空間変動は火星大気の基本情報として重要である。

現在、ExoMars Trace Gas Orbiter による太陽掩蔽観測によって、火星大気鉛直構造探査が重点的に行われつつある。太陽掩蔽観測は、強い太陽直達光の吸収を用いるため S/N および高度分解能に優れる。しかし、観測ジオメトリが朝・夕に限られ、また太陽の line-of-sight すなわち「1次元」の観測に限られるため地方時の変化や、現象の水平規模を理解することが難しい。これらの追跡には、太陽散乱光を用いるリム観測の活用が期待される。この手法は

エアロゾルによる太陽散乱光を利用した大気を水平によぎる長基線観測であり、広い LT の観測が可能で、また観測装置の視野が許す限り水平方向の情報も取得できる。しかし、太陽からの入射光と地表からの反射光のエアロゾルによる散乱光を観測することになる。リム観測は、約 100 km に及ぶ長光路透過光を観測し、多重散乱を含め広い高度範囲に跨る影響を含む。エアロゾルによる散乱と大気吸収を包括的に高精度・迅速に解くことが、そこから鉛直構造の情報を引き出す要件となる。この制約から、多数の欧米火星探査機群の Limb 観測データはこれまでさほど有効に活用されていない。

我々は、この課題を解決すべく、日欧共同作業で地球静止軌道からの Nadir 観測用に開発された高速リトリーバルツール「JACSPAR」を Limb 観測用に改造し、欧米火星探査機群の Limb 観測データ群から火星のエアロゾルおよび大気組成の鉛直構造を導出すべく、研究を進めてきた。本ツールは逆モンテカルロ法の適用等による高速性に特長があり、高散乱大気分光情報からエアロゾル・微量物質を一括して導出するものである。本コードは、特定の仮定に基づくことなく、ダストと微量大気成分の鉛直成分を同時に導出できる機能を有する。低高度の情報や、高度数十 km までダストが覆う全球ストーム中での観測では多重散乱光からの情報抽出を要するため、まさにこの能力が生きることになる。

2021 年夏の段階では、特定ガス、特定エアロゾルのどれか 1 つを、フォワード計算および多重散乱を含まずにリトリーバルし、エアロゾルの低～高高度循環とその LT 依存性の様相が見える段階に到達しつつある。現在、残るバグを解消・確定しつつあるところで、複数ガス種およびダスト・エアロゾルを一括し、多重散乱を含めた高度方向分離も含めて一気に解く、という JACSPAR の本来機能を現実のものとするべく作業中である。散乱のきつい表面近傍を含む手が届きにくかった幅広い高度領域を幅広いローカルタイム・水平方向で導出できることを期待している。

このコードの検証は、欧 Mars Express (MEX) の搭載観測機器 OMEGA による Limb 観測データを活用している。精度はある程度保証されているがより低速な従来方式のリトリーバルツール (DISORT 等) で導出された結果との比較を進めている。この確立後、MEX OMEGA の観測が存在する 2004-2010 の可視・近赤外データを活用した大気下層の鉛直輸送の解明に着手する。MEX は非太陽同期軌道で、多様な LT の観測がなされている。ダスト・水氷などエアロゾルの量・粒径および H₂O・CO など微小成分の広範囲の鉛直・水平分布を一括して精度良く得ることで、これらの鉛直輸送メカニズム等の解明につなげていく。本講演では、この状況を併せて報告の予定である。

本開発は、日本の火星圏探査における大きなステップとなる JAXA Martian Moons eXploration (MMX) 計画による「火星大気リム観測」につなげていく予定である。このデータパイプラインに本開発ツールを仕込み、大気鉛直構造情報を導出するための基盤インフラとしての発展を目指している。MMX は、リムを含む火星中低緯度域の大気分光スナップショットデータを面として取得することができる。このため、リム域を含む大気水平・鉛直分布を同時データとして一括導出するポテンシャルがある。我々が開発中の高精度・高速リトリーバルツールは、この実現の鍵を握るものとなる。