

CO₂ 2 μm 吸収帯による火星地表面圧力導出ツールの開発 ～ MIRS/MMX を目指した OMEGA/ME_x の観測 ～

風間 暁¹, 笠羽 康正¹, 青木 翔平², 中川 広務¹, 佐藤 隆雄³, 佐藤 晋之祐¹, 吉田 奈央¹

1: 東北大学、2: 東京大学、3: 北海道情報大学

気象学では、大気運動を特徴づける地表面圧力の観測は極めて重要である。火星における気象現象は、惑星規模で発生するもの(全球規模の砂嵐、熱潮汐波、傾圧不安定波など)、地域的に発生するもの(地域性の砂嵐、大気重力波、斜面風など)、局所的に発生するもの(局所的な砂嵐、ダストデビル、乱気流など)が確認されている。これらに伴う圧力変動は、惑星規模で約 10%、地域規模で約 5%、局所的な規模では約 1%であると知られている。圧力導出精度が 5%以下であれば、惑星規模や地域規模の気象現象を観測することが可能となる。現在の火星における地表面圧力の観測情報は限定的で、着陸機による特定地点と、限られた周回探査機からのリモートセンシング観測によるもののみである。

リモートセンシング観測から地表面圧力の水平分布導出に取り組んだ唯一の事例として、Forget et al. (2007) および Spiga et al. (2007) によるものがある。この事例では、Mars Express (ME_x) に搭載された近赤外分光撮像装置 OMEGA の初期観測 (2004-2005) で得られた 2 μm 帯の CO₂ 吸収量から、火星表面圧力の導出を行った。ダストが少ない ($\tau < 0.4$) など理想的な状態のデータのみを対象としたため、気圧導出は全データの 0.7%程度(約 4000 回の nadir 観測中 29 回)に留まるが、これによりユートピア平原における 95×150 km (経度幅 2.5°、緯度幅 4°) の地表面圧力水平分布を求めることに成功し、前線性の嵐の南下に伴う圧力勾配 (150 km の範囲で 25 Pa) などが観測可能であることを示している。

火星の気象現象を包括的に理解するためには、惑星・地域規模で変動する地表面圧力を知る必要がある。火星の惑星・地域規模の気象現象を知ることが目的に、OMEGA/ME_x による火星の地表面圧力のリトリバルツールを開発した。このツールは、2 つの方法へと適用が可能である。1 つは、2005 年以降の OMEGA/ME_x の観測データへの適用と追加解析である。もう 1 つは、2024 年に打ち上げ予定の MMX に搭載される近赤外線分光器 MIRS に適用し、より広い地表面圧力分布を作成することである。火星気象学へ制約を与えるために、地表面圧力分布のデータセットを拡大することを試みている。

本研究では、OMEGA/ME_x によって観測された 2 μm の CO₂ 吸収帯を含む 1.8 - 2.2 μm の 25 点の OMEGA 観測波長から火星地表面圧力をリトリバルするツールの開発を行った。Forget et al. (2007) に倣い、地表面圧力を Look Up Table (LUT) を使用することで高速リトリバルする手法を用いている。観測されたスペクトルと LUT スペクトルを比較することで、地表面圧力をリトリバルする。このリトリバルには、(1) CO₂ 吸収帯の透過幅を観測スペクトルと計算スペクトルで比較する新しい手法、(2) CO₂ 吸収帯の観測スペクトルを計算スペクトルでフィッティングする手法、の 2 つを試行した。前者は CO₂ 吸収量をスカラー量として比較可能なため、計算速度に優れている。後者は 1.8 - 2.2 μm の 25 点を用いて観測スペクトルと比較する。さらに、表面アルベドもフリーパラメーターとして、同時にリトリバルがされる。そのため、計算時間は長くなるが、導出精度に優れている。

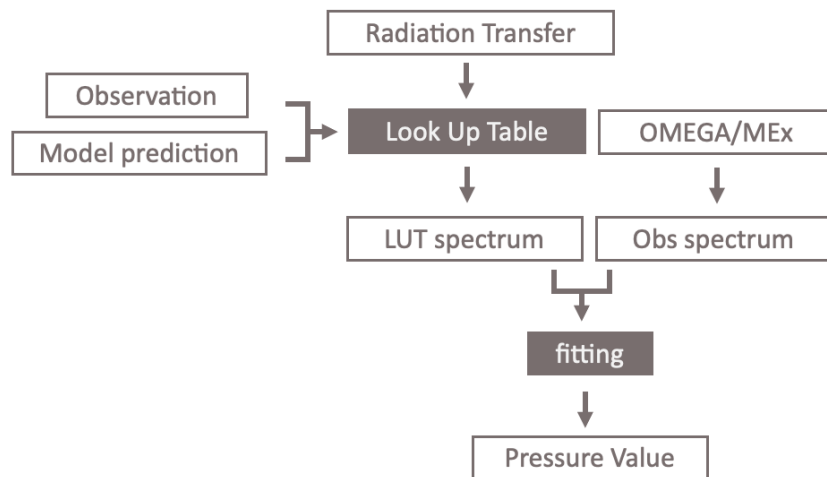


図 1. 地表面圧力のリトリバルフロー

相対精度の検証は、先行研究に倣い 3 日離れた 2 軌道間の導出圧力の比較によって行った。等価幅法では、導出した圧力リトリバルの相対精度は $3\sigma \sim \pm 30 \text{ Pa}$ ($\pm 4\%$)、フィッティング法では、 $3\sigma \sim \pm 15 \text{ Pa}$ ($\pm 2.0\%$) となった。等価幅法は、導出精度は低いですが、非常に高速に地表面圧力を導出することが可能である。フィッティング法よりも 40 倍の速さの導出速度を利用した、イベントサーベイやクイックルック解析に適用する。フィッティング法では、相対精度 $< 5\%$ であり、惑星規模・地域規模の火星の大気波動変化の解析に十分な導出精度であるため、詳細解析に適用する。

このリトリバルツールを使用した火星年 28 (2006 年 1 月-2007 年 12 月) の表面圧力分布について初期解析結果が図 2 である。MY28 の $L_s 300^\circ\text{-}330^\circ$ で全球ダストストーム (GDS) が発生している。GDS の発生メカニズムを知るために、まずは $L_s 270^\circ\text{-}300^\circ$ の解析を試みた。Mars Climate Database version 5.3 (MCD v5.3) と一致しない領域は、MCD で予測されないような重力波、傾圧不安定波、ダストストーム前の嵐などの気象現象が観測できる可能性がある。そのため、まずは MCD v5.3 と一致しない地域規模の気象現象を特定し、詳細解析を行うことを考えている。このリトリバルされた地表面圧力分布は、ダストと分離ができていない。

火星にはダストが多く存在し、大気運動を決定する重要な役割を担っている。そのため、我々のリトリバルツールにとってもダストはキーポイントになる。現在は、MCD v5.3 から予測されるダストの光学的厚さを使用しているが、ダストの光学的厚さも同時にフリーパラメーターとしてリトリバルする必要がある。この手法の開発は、ネクストステップである。

幸運にも、近赤外分光撮像装置 MIRS を搭載した MMX が 2024 年に打ち上げが予定されている。MIRS は、OMEGA/MEx と同様の波長範囲と分解能で、より広いスペクトルを短時間で撮影できる。しかし、1 枚の画像内の処理するスペクトル数は 30 倍以上となり、高速なリトリバルツールが切実に求められている。そのため、我々の高速リトリバルツールを MIRS に適用し、MMX を使って火星の表面圧力の水平分布をより詳しく調べることで、火星気象学への理解を深めることを目指している。火星の広域圧力分布とその変動リトリバルを可能にすることで、MMX による火星気象学への主要な貢献の一つとなる。

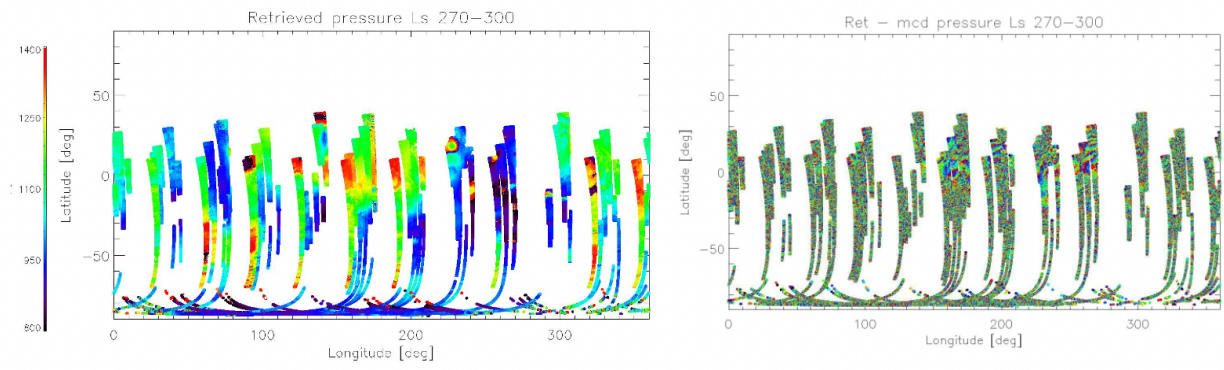


図2. (左) OMEGA の観測によって得られた MY28 Ls 270°-300°のリトリバルされた地表面圧力分布、(右) リトリバルされた地表面圧力と MCD v5.3 で予測された地表面圧力の 1%変動差