

氏 名 福原 哲哉

学位（専攻分野） 博士（理学）

学位記番号 総研大甲第 935 号

学位授与の日付 平成 18 年 3 月 24 日

学位授与の要件 物理科学研究科 宇宙科学専攻  
学位規則第 6 条第 1 項該当

学位論文題目 Study of the atmospheric dynamics in the summer polar  
region of Mars

論文審査委員	主 査	助教授	阿部 琢美
		教授	前澤 洵
		助教授	今村 剛
		教授	松田 佳久(東京学芸大学)
		助教授	岩上 直幹(東京大学)

## 論文内容の要旨

本研究では、米国の火星探査機 Mars Global Surveyor に搭載されている赤外分光器 Thermal Emission Spectrometer の観測データを用いて、これまで全く知られていなかった夏期極域の大気波動を発見し、その励起・伝播の力学と極域大気構造への影響を論じた。1960年代後半以降、火星には数多くの探査機が投入され、大気の詳細観測やリモートセンシングによって多くの観測データが得られてきたが、大気力学研究の多くは全球規模や中緯度帯を対象としており、極域はほとんど調べられてこなかった。

解析では、南極域 ( $60^{\circ}\text{S}-90^{\circ}\text{S}$ ) については MY (火星年) 24-26 の夏期 ( $L_s = 240^{\circ}-300^{\circ}$ )、北極域 ( $60^{\circ}\text{N}-90^{\circ}\text{N}$ ) については MY 25-26 の夏期 ( $L_s = 60^{\circ}-120^{\circ}$ ) を選び、これらの時期における地表付近 ( $6.1\text{ hPa}$ ) から高度約  $40\text{ km}$  ( $0.1\text{ hPa}$ ) までの 17 高度におけるリトリーバル温度データを用いた。MGS は太陽同期極軌道の衛星であり、データは主に地方時 14:00 と 02:00 で取得されている。

まず、極域の温度擾乱の立体構造を解析した。その結果、南半球では、 $L_s = 250^{\circ}-280^{\circ}$  という夏の特定期間に 3 火星年連続して、極域に孤立した東西波数 1 の擾乱が存在することが示された。この擾乱は地表付近に固定された強い擾乱源を持ち、高度と共に西に傾いた位相構造を持っていた。北極域についても同様の解析を行った結果、一部に高度と共に西に傾いた位相構造を見ることはできたが、極に孤立したものではなく、低緯度側から広がる振幅が小さな擾乱であった。また、地表付近に大きな温度擾乱を確認することもできなかった。

南極域に見られる、位相が高度と共に西に傾き、地面に対して固定されているという特徴は、観測された擾乱が強制プラネタリー波であることを示唆している。この時期の極域における風速場を温度風の関係式を用いて求めると、弱い西風が吹いていることが示された。観測された風速はプラネタリー波の分散関係式を満たし、この波動が強制プラネタリー波であることを支持する。また、風速場から負 (西向き) の角運動量フラックスを意味する Eliassen-palm flux (EP flux) を計算した結果、地表に東西波数 1 の温度擾乱が発生する時期に対応して、極域に上向きの EP flux が生じ、負の角運動量が上方に輸送されていることが示唆された。この結果もまた、この波動が強制プラネタリー波であることを支持する。北極域でも同様の解析を行ったが、南極域に見られるような強制プラネタリー波の存在を支持する結果は得られなかった。

南極域に見られる地表付近に固定された東西波数 1 の擾乱の成因は、夏期に昇華して縮小する過程で南極点を中心に非対称な形状となる  $\text{CO}_2$  極冠であることが示された。すなわち、縮小する極冠の縁付近の緯度帯では経度方向に冷たい  $\text{CO}_2$  霜面と温かい地表面 (レゴリス面) が存在し、大気に東西波数 1 の温度擾乱を作り出していたのである。また、極冠に伴う南北方向の温度勾配が極冠上空に西風の間を作り出していることも示唆された。南極冠は毎年このような非対称な後退を繰り返すことが過去の観測から示されており、今回 3 火星年連続で同様の現象が観測された結果と照らし合わせて、南極域に孤立した波動構造は毎夏繰り返し現れていると推測される。一方、北極域の  $\text{CO}_2$  極冠は、北極点を中心にほぼ対称に縮小して完全に消滅するために、南極域に見られるような地表付近の強い温度擾乱を作り出さないと考えられる。以上の解析結果から、夏期の極域に見られる波動構造は南北で特徴が異なり、その原因は  $\text{CO}_2$  極冠の振る舞いが南北で異なるためであることが示唆された。

南極域に存在することが示唆された強制プラネタリー波は、負の角運動量の上方輸送により子午面循環を駆動するはずである。残差平均子午面循環を概算すると、80°S付近では極向きの流れがあり、その低緯度側にはそれを補償する鉛直上向きの流れが存在し、70°S-90°Sにおいて極循環が発生していることが示唆された。北極域でも同様の解析を行ったが、極循環が発生していると思われる結果は得られなかった。南極域の極循環による温度変化を見積もった結果、極域上空で最大~10 Kの温度上昇が起こっている可能性が示唆された。また、この極循環は、南極域の夏期に頻繁に発生するダストストームによって巻き上げられたダストのうち比較的小さなもの（粒径~0.4 μm）を更に上昇させ、また極冠上空に輸送している可能性がある。極冠の非対称な縮小が波動を介して極域の大気構造に影響を及ぼしているという指摘はこれまでにないものである。

夏期の南極域における波動構造の日変化についても調べた結果、南極域の  $L_s = 250^\circ - 280^\circ$  の期間では、昼側（14:00）においては高度と共に位相が西に傾いているのに対して、夜側（02:00）では垂直に近いことが示された。一方、背景東西風は、昼側では夏期においても低高度で弱い西風が持続するのに対して、夜側では西風がほとんど消滅するという傾向が見られた。これは過去の数値モデルによって示された一日潮に伴う風の変動と整合している。波動構造の日変化は、このような一日潮に伴う風の影響を受けた結果であると思われる。すなわち、朝側では上空の波動構造が西に流され、夕方側では東に流されるために、観測されるような位相の傾きの昼夜間の違いが生じたと考えられる。このような波動構造の日変化は地球上では観測されないものである。これは火星の一日潮汐が地球に比べて非常に大きいためであると考えられる。

## 論文の審査結果の要旨

本論文は、火星の夏の極域に存在する波長数千 km の大気波動を、米国の探査機 Mars Global Surveyor による大気温度データの解析によって世界で初めて発見し、その成因・力学的特長・大気大循環への影響を論じたものである。火星の極域は極冠の消長やダストストームの発生など興味深い現象が生起する領域であるが、それにも関わらず従来の火星の大気力学研究の多くは全球規模や中緯度帯を対象としており、極域はほとんど調べられてこなかった。本論文の着眼点はユニークかつ重要なものと評価できる。

解析の結果、南半球の夏の特定期間に極域に孤立した東西波数 1 の擾乱が存在することが示された。この擾乱は地表付近に固定された擾乱源を持ち、高度と共に西に傾いた位相構造を持っていた。このように位相が高度と共に西に傾いていること、地面に対して固定されていること、観測された波長と背景東西風が分散関係を満たすことから、観測された擾乱は地表近くで励起されて上方伝播する強制プラネタリー波と結論されている。また、擾乱に伴う角運動量フラックスである Eliassen-palm flux を計算してり上向きの EP flux が生じていることを示し、強制プラネタリー波であることの傍証としている。これらの部分では大気力学の基礎に基づいた解析と考察がなされている。

地表付近に固定された東西波数 1 の擾乱の成因としては、夏期に昇華して縮小する過程で南極点を中心に非対称な形状となるドライアイスの極冠が挙げられている。大胆な仮説であるが、同様の現象が北極域には見られないことを良く説明する。論文ではさらに、この波動が子午面循環に与える影響や、火星特有の強い熱潮汐が波動の構造に与える影響などを論じている。これらの議論からは、本研究がもたらすであろう波及効果や、火星の大気科学全体に対する出願者の広い視野がうかがわれる。

本論文の成果の一部は既に国際的学術誌 Geophysical Research Letters に公表されている。これらのことから、本論文は博士論文として十分な水準に達していると判断される。