



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	高解像度火星大気LESから得られた流れ場と地表面応力分布 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	村橋, 究理基
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	甲第15599号
Issue Date	2023-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/90742
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Kuriki_Murahashi_review.pdf, 審査の要旨



学 位 論 文 審 査 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士 (理 学) 氏 名 村 橋 究 理 基

審査担当者 主査 教 授 石 渡 正 樹
副査 教 授 倉 本 圭
副査 准教授 中 島 健 介 (九州大学大学院理学研究院)
副査 研究員 西 澤 誠 也 (理化学研究所 AICS)

学 位 論 文 題 名

高解像度火星大気 LES から得られた流れ場と地表面応力分布
(The relationship between the flow fields and surface stress distributions
obtained from a high-resolution Martian LES)

博士学位論文審査等の結果について (報告)

火星の循環場と温度場は大気中のダスト (半径数 μ の砂) の量によって大きく変動することが知られている。火星の大気構造および気候状態を理解するためには火星大気中のダスト量の決定機構を解明することは必須である。地表面からのダストの巻き上げは、ダストデビル (塵旋風、数 m から数百 m の水平スケールを持つ渦構造) などの小スケールの流れによって生成される強い地表面応力によってもたらされる。しかしながら、火星の大気境界層 (地表面からの加熱によって生じる鉛直対流が卓越する領域、火星の場合数 km の高さを持つ) における小スケールの流れの微細な構造は、火星探査機あるいは着陸機では観測が困難なものとなっており、ダスト巻き上げを規定する地表面応力分布および地表付近の流れ場はどのようなものであるかということは解明されていなかった。ダストデビルはダストの巻き上げに貢献しているだろうと推測されてはきたが、それを示す研究結果は存在していなかった。

本論文は、このような現況にある火星の地表面応力および大気境界層中の流れに関して、高解像度火星 Large Eddy Simulation (LES) 計算の結果を解析し、地表面応力と流れ場の構造との関係について調べた。用いたデータは Nishizawa et al. (2016) で得られた LES 計算結果である。このデータは計算領域が水平 19.2 km、鉛直 21 km、空間解像度が 5, 10, 25, 50, 100 m となっている。これは火星の自然な流れ場を表現できるような広範囲で、かつダストデビルのような数 m の水平スケールの流れ場構造を解像することを目指した計算である。解像度 5m はこれまでに実施された火星の大気境界層計算においては最高解像度となっている。

本研究では、まず解像度 5m の計算結果を用いて、流れ場の全体構造を把握することをおこなった。その結果、水平スケールが最も大きな構造として現れるものは高度 6 km に及ぶ対流セルであることが確認された。対流セル下層の高度 0.1km 以下の地表面付近では、幅が数 10m の上昇流領域が網目状に広がる多角形パターンが現れる。対流セルの中上層の高度 0.1km から 6km の領域では上昇流のブルーム構造が現れる。更に、流れ場においてダストデビルのような渦構造がどのように分布しているかを調べるため、Nishizawa et al. (2016) の手法を用いて渦構造の抽出をおこなった。抽出された渦構造は対流セル下層の多角形パターン上昇流領域の中に分布していることがわかった。これらの構造と同様なものが地球設定を用いた過去の LES 計算でも得られている。したがって、本研究の解析は地球においても火星においても同様の対流セル構造が発達するというを示したものとなっている。

次に、ダスト巻き上げ量を決定づける地表面応力の調査をおこなった。その結果、風洞実験 (Greeley and Iversen, 1985) で得られたダスト巻き上げの応力閾値である 0.03 Pa を超える強さの地表面応力が生じていることがわかった。抽出した渦構造と地表面応力の空間分布を調べ

たところ、強い地表面応力をもたらす構造のほとんどが渦構造によるものであることが明らかとなった。また、渦構造が存在していなくても上昇流に吹き込む収束風によっても強い地表面応力が生じる場合もあることもわかった。これらの結果は地表面応力分布と流れ場構造の対応を詳細に調査することによって世界で初めて得られたものである。

最後に、以上の結果が計算解像度によってどのように変わってくるかを調査した。その結果、10m よりも粗い解像度においても強い地表面応力が渦構造によってもたらされている傾向が存在することが確認された。しかし、25 m よりも粗い 50, 100 m 解像度の結果においては強い地表面応力が渦によってもたらされる割合は半数を超えず、渦による応力が弱まることがわかった。この結果は強い地表面応力をもたらす渦構造を考慮してダスト巻き上げ量を見積もるには少なくとも 25 m よりも高解像度で検討することが望ましいということを示すものである。

以上の成果は、これまで明らかにされていなかった火星表面の強い応力をもたらす流れ場構造を明らかにしたものであり、火星大気におけるダスト量決定メカニズムに関する理解を大幅に深めるものとなっている。将来的にこの成果は火星気候シミュレーションに活用されるものと期待される。

よって著者は、北海道大学博士（理学）の学位を授与される資格があるものと認める。