

論文審査の結果の要旨

氏名 小高正嗣

火星大気の熱および循環構造は大気中に存在するダストに伴なう放射加熱の影響を大きく受けることが知られている。大気大循環モデル (General Circulation Model = GCM) によるシミュレーションでは、大気中にダストがある場合の大規模循環の強度は、ダストのない場合にくらべて有意に大きくなることが示されている。

しかしながら、これまでの GCM によるシミュレーションでは、大気中にダストがない場合、もしくは少ない場合には、大規模場の風による地表摩擦では地表からダスト巻き上げることができないという結果が得られている。そのため、ダストの巻き上げを引き起こすには、GCM では表現できていない局所的な風のゆらぎを考慮する必要があると考えられている。

そのような風のゆらぎの1つとして局所的な対流にともなう風が考えられる。実際に過去の探査衛星による観測データから、対流にともなう風の存在は指摘されているが、これまで火星大気の対流に注目した研究はあまり行われてこなかったため、火星大気の対流にともなう風速の大きさと対流の循環構造はよくわかっていなかった。

本論文では、特に、ダストのない場合の対流にともなう風の大きさと地表摩擦に注目し、対流を陽に表現することのできる空間2次元の数値モデルを用いて火星大気対流の様子を調べている。空間2次元モデルを用いる理由は、高い空間分解能とある程度広い計算領域を同時に確保できることと、特徴的な対流構造が存在する場合にその抽出が3次元モデルに較べ容易であることが期待できるからである。さらに、ダストが存在する場合には、ダストの放射加熱は対流場に有意な影響を及ぼすと予想されるので、対流の風によってダストが巻き上げられたと仮定して、ダストの対流場への影響についても調べている。

申請者は、火星大気のシミュレーションを行うために、地球大気の積雲対流シミュレーション用数値モデルを基盤としながらも、大気の赤外放射吸収と太陽放射の近赤外吸収、ダストの重力沈降を考慮した移流拡散、地中の熱伝導等々、非常に複雑な過程に関して徹底的に文献を調べて最も妥当と考えられる手法を取り込んで数値モデルを新たに構築している。

数値実験の結果、まずダストのない場合については、対流層の厚さが高度 10km 前後となること、対流による風速値は鉛直風で 20~30m/s、水平風で 15~20m/s となること、モデル最下層の高度 1.5m においても 10m/s 以上の風が存在すること、対流セルの縦横比は 2:1 で、上昇域と下降域の幅はほぼ同じであること、等が明らかになった。

この対流にともなう風によって生成される地表摩擦は、ダストを巻き上げるのに必要な値の下限値に達している。ダストのない GCM の計算結果から推測される大規模場の風を、対流にともなう風に重ね合わせると、地表摩擦はダストを巻き上げるのに必要な臨界値を越える。この結果は、GCM において対流に伴なう風の効

果を考慮すれば、ダストのない条件においてもダストを地表面から巻き上げることが可能であることを示すものである。

ダストのある場合については、対流によって巻き上げられたダストが2時間程度で対流層内全域に広がること、対流層上端付近に巻き上げられたダストはそれ自体の放射加熱が生み出す上昇流によってさらに上昇すること、ダストが巻き上げられた後、日中の対流層の厚さはダストのない場合に比べ小さくなること、等が明らかになった。

また、対流にともなう風速の大きさはダストのない場合よりも小さくなり、鉛直風は10~15m/s、水平風は10m/s前後の値となること、モデルの最下層である高度1.5mの風は10m/s弱となること、対流セルの縦横比、上昇域と下降域の幅の比はダストのない場合と変わらないこと、も示された。風速値が小さくなるのは主に対流層の厚さが小さくなるためである。

以上、ダストのある場合およびダストのない場合について、対流の上昇域の幅と下降域の幅はほぼ等しく、上昇流と下降流の大きさはあまり変わらないことが示された。これは乾燥大気である火星大気対流の特徴であると考えられる。なぜなら、乾燥対流には上昇域と下降域の熱的非対称は存在せず、上昇域と下降域の幅に制約を与える条件はないためである。これは、地球大気における湿潤対流では、凝結をともなう上昇域と乾燥した下降域との間に断熱温度構造の非対称が存在するため、上昇域の幅は下降域に比べ狭くなりやすい傾向があるのとは非常に異なる性質である。

このように火星大気におけるkmサイズの対流の性質およびそれに伴う風のゆらぎをきちんと評価することは、既存の標準的なパラメタリゼーションである乱流パラメタリゼーションと対流調節を用いて評価することは非常に困難であったダストの巻き上げを適切に扱うために必要となる新たなパラメタリゼーションを新たに考察するために重要な足掛かりになるものである。

以上、本論文では、高解像度の水平-鉛直2次元数値モデルを用いることによって、これまでのGCM実験からは得られなかった火星大気中の対流運動が詳細に調べられ、対流による局所的な風によるダストの巻き上げの可能性に裏付けが与えられている。また、ダストが巻き上げられた後、それ自体の熱吸収によって誘起される対流運動についても新たな知見を与えるものである。

よって、論文提出者小高正嗣は、博士(数理科学)の学位を受けるにふさわしい十分な資格があると認める。