

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	スーパーアースにおける鉱物雲形成過程の理論的研究
Title(English)	Theoretical modeling of mineral cloud formation on super-Earths
著者(和文)	大野和正
Author(English)	Kazumasa Ohno
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11381号, 授与年月日:2020年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:奥住 聡,上野 雄一郎,玄田 英典,佐藤 文衛,関根 康人
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11381号, Conferred date:2020/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	大野 和正	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	奥住 聡	准教授	関根 康人	教授
	審査員	上野 雄一郎	教授		
		玄田 英典	准教授		
		佐藤 文衛	准教授		

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は “Theoretical modeling of mineral cloud formation on super-Earths (スーパーアースにおける鉱物雲形成過程の理論的研究)” という題目であり、全7章から成る。

第1章 “General Introduction” では、太陽系外惑星、特にスーパーアースと呼ばれる種類の惑星の観測と形成理論をレビューし、これらをふまえて本研究の目的を述べている。スーパーアースは地球と海王星の中間的な大きさをもつ惑星であり、現在知られる太陽系外惑星の中では最も一般的なものである。スーパーアースの性質、特に組成を明らかにすることは、太陽系外惑星の形成過程を解明する上で重要な課題である。これまでに、大気透過分光観測によってスーパーアースの大気組成を探ることが試みられてきたが、多くのスーパーアースの透過光スペクトルは厚い雲もしくは霧(もや)の影響を強く受けていると考えられており、その解釈には大きな不定性がある。本論文では、短周期スーパーアースの大気で形成されると考えられる鉱物粒子の雲に注目し、鉱物粒子雲の形成を記述する微物理モデルの構築を通じてスーパーアースの組成に対してより良い制約を与えることを目標として掲げている。

第2章 “Microphysical Modeling of Mineral Clouds on Super-Earths” では、本研究で提示する鉱物粒子雲の微物理モデルの詳細と解の基本的な性質を述べている。モデルは鉱物粒子雲の個数密度および質量密度の高度分布を求めるものであり、鉱物粒子の凝縮、衝突合体、重力沈降、および大気循環による実効的な鉛直拡散を考慮している。解析的な議論により、鉱物粒子雲の定常分布が粒子の成長および輸送の特徴的な時間スケールの比較によって体系的に理解できることを示している。

第3章 “Clouds of Fluffy Aggregates: How They Form in Exoplanetary Atmospheres” では、鉱物雲粒子の合体成長に伴う空隙率進化に焦点を当て、空隙率進化の微物理を取り入れた雲モデルを提示している。固体微粒子の合体成長物(アグリゲイト)が高い空隙率を持ちうることは、宇宙ダストや地球の大気エアロゾルの研究分野ではよく知られている。本章ではまず、近年の惑星形成の理論研究を通じて構築されたアグリゲイトの空隙率進化モデルを、系外惑星大気雲モデルに適用するための方法論を示している。さらに、空隙率進化を考慮した雲モデルをスーパーアース GJ1214b の塩化カリウム雲に適用し、鉱物粒子アグリゲイトの成長、空隙率進化、鉛直輸送の傾向を議論している。

第4章 “Transmission Spectra of Cloudy Atmospheres on Super-Earths” では、第3章で提示した鉱物粒子アグリゲイトの空隙率進化を考慮した雲モデルを用いて、5つの代表的な短周期スーパーアースの透過光スペクトルの再現と予言を試みている。まず初めに、ハッブル宇宙望遠鏡などによる従来の近赤外透過光スペクトルの再現計算から、5つのスーパーアースの大気重元素量の推定値を導いている。鉱物粒子アグリゲイトの空隙率進化が透過光スペクトルから判別可能かどうかについては、現状の限定された波長帯での観測では困難であるが、将来のジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡を用いたより広い波長帯での高精度観測であれば可能になると結論づけている。

第5章 “Inferring Interior Structure and Formation Process of Super-Earths” では、第4章で大気重元素量が推定された5つのスーパーアースに対して、惑星の大気と固体部分の両方を含めた構造計算を行い、それぞれの惑星の質量・半径の観測値を再現するような惑星内部構造(特に大気の質量占有率および固体組成)を導いている。さらに、得られた結果と惑星形成モデル・惑星大気獲得モデルとの比較を通じて、それぞれの惑星の形成シナリオを提示している。

第6章 “Summary of This Thesis” では本論文のまとめを示し、第7章 “Future Prospect” では将来の近赤外・中間赤外帯でのスーパーアース大気観測の見通しと今後のモデル改良の展望を議論している。

以上の通り、本論文は鉱物粒子の成長の微物理に基づいた太陽系外惑星の鉱物粒子雲の形成モデルを構築し、短周期スーパーアースにおける鉱物粒子雲の形成過程の体系的な理解を得ることに成功した。さらに、雲モデルを用いた大気透過光スペクトルの再現と惑星内部構造計算を組み合わせることで、スーパーアースの大気組成と内部組成の双方を推定するという一連の方法論を確立した。本研究で提示された理論的手法や知見は、将来の太陽系外惑星の観測や理論研究に対して新しい指針を与えるものである。よって、博士(理学)の学位を与えるにふさわしいものと認める。

注意: 「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。