

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	観測から系外固体惑星の組成を解明する新しい方法論の開拓
Title(English)	New Approaches toward Understanding the Bulk Composition of Solid Exoplanets from Observations
著者(和文)	奥谷彩香
Author(English)	Ayaka Okuya
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11702号, 授与年月日:2022年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:井田 茂,HERNLUND JOHN WILLIA,中本 泰史,佐藤 文衛,奥住 聡
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11702号, Conferred date:2022/3/26, 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		奥谷 彩香	
論文審査 審査員		氏 名	職 名		氏 名	職 名
	主査	井田 茂	教授	審査員	John Hernlund	教授
	審査員	中本 泰史	教授			
		奥住 聡	准教授			
		佐藤 文衛	教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「New Approaches toward Understanding the Bulk Composition of Solid Exoplanets from Observations」というタイトルであり、全5章から成っている。

第1章「General Introduction」では、太陽系外の惑星、特に固体を主成分とした惑星（以降、固体惑星）について、そのバルク組成を推定する従来の方法と直接的な組成制約の鍵となる観測事象をレビューし、これらをふまえて本研究の目的を述べている。系外に遍在する固体惑星のバルク組成を明らかにすることは、その性質および形成・進化過程を解明するうえで極めて重要な課題である。惑星の平均密度から岩石・氷・ガス比の推定が盛んに行われてきたが、その方法では固体組成を一意に決定するのは不可能という根本的な問題がある。本研究では、直接的な組成測定の可能性を持つ「解体惑星」と「白色矮星大気の高重元素および周囲のダスト円盤」に注目している。前者は超短周期の固体コアが蒸発しつつある惑星であり、その蒸気の再凝縮によってできたダストが彗星状の尾を形成していると考えられる。後者は、かつて星周りに存在した固体惑星を起源とし、潮汐破壊された天体が形成する星周円盤が降着を担っているとされる。それぞれの観測から系外固体惑星の組成を引き出す新たな方法論を開拓することを本論文の目標として掲げている。

第2章「Constraining the Bulk Composition of Disintegrating Exoplanets Using Combined Transmission Spectra from JWST and SPICA」では、次世代宇宙望遠 JWST と SPICA を組み合わせた赤外分光観測が、解体惑星の多様なダスト・ケイ酸塩組成を制約することを示している。まず、簡便なケイ酸塩モデルを用いて解体惑星の赤外透過光スペクトルを理論予測している。SPICA の波長帯を加えることで、異なる惑星組成に特徴的だと予想される鉱物、特に多様なシリケート種の吸収ピークが識別可能となることを明らかにした。また、各望遠鏡に搭載予定の分光装置のノイズに基づき、解体惑星系までの距離および可視光での減光率の関数として、スペクトル中の各鉱物の吸収ピークの検出可能性を定量化した。

第3章「Modeling of Accretion Disk Evolution with Silicate Sublimation/Condensation around White Dwarfs」では、岩石天体を起源とする周白色矮星円盤について、円盤中での蒸気の凝縮を初めて取り入れてシリケートダスト・蒸気の共進化を整合的に解くモデルを構築している。ダストの運動には Poynting-Robertson (PR) 効果と蒸気からのガス抵抗を考慮し、PR 効果では説明できない高い重元素降着率の観測値の再現を試みている。シリケート昇華ライン外側での蒸気密度は飽和蒸気圧で決まる低い値をとることから、先行研究で提案されたガス抵抗による暴走的降着率上昇は起きないことを明らかにした。また、昇華ライン近傍で蒸気は局所的に円盤外側へと拡散し、昇華ラインすぐ外側で再凝縮しダストとして蓄積していくため、シリケート1成分の円盤からの降着率は、PR 効果による降着率の上限値よりもさらに1桁程度減少することを示した。以上より、シリケート1成分円盤では高い降着率は実現されないと結論づけている。

第4章「Modeling of the Coupled Evolution of the Volatile Vapor and Silicate Vapor/Solid Disks around White Dwarfs」では、氷天体の降着を想定し、第3章で構築した円盤モデルに揮発性成分の蒸気（例えば水蒸気）の進化も組み込んで、シリケートと水蒸気の降着率を調べている。シリケートダストとの角運動量交換を通じた水蒸気の円盤外側への移動と氷の昇華ラインにおける凝縮も考慮し、観測された揮発性成分に欠乏する光球面組成の同時再現も試みている。水蒸気からのガス抵抗によって、シリケートの高い観測降着率が再現できることを示した。降着率は水蒸気密度に依存して決まる。一方、外向き移動・凝縮による水蒸気降着率の低下はファクター程度にとどまり、シリケートの高い降着率には常にそれと同程度の水蒸気降着率が伴う。両者の降着質量比は、初期の岩石質量・水蒸気質量などのパラメータにほとんど依存しない。以上より、高いシリケート降着率および揮発性成分に枯渇した光球面組成を同時に再現することは極めて困難であることを明らかにした。

第5章「Summary and Future Prospect」では本研究の内容をまとめ、上記で考案した組成制約の枠組みを惑星組成さらにはその形成過程を制約する実際の手法として確立するために、今後取り組むべき課題について述べている。特に白色矮星では観測を再現する解が存在しなかったことから、既存の円盤モデルに抜けている物理プロセスを議論し、それらが円盤進化・降着率へ与える影響のオーダー評価を行っている。また、本研究で考案した組成制約の方法を実現する将来分光観測の見通しについても述べている。

以上の通り、本論文は将来の赤外分光観測が解体惑星の組成識別に有効な観測手法になりうることを示した。また、白色矮星への重元素降着を担う円盤について、岩石天体および氷天体がつくる複数成分円盤の共進化を追跡する理論モデルを初めて構築し、観測された降着率および光球面組成の再現可能性を明らかにした。本研究で提示された理論的手法や知見は、固体惑星の組成解明に向けた新手法確立の第一歩となり、今後の系外惑星の観測や理論研究の新たな方向性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、東工大リサーチリポジトリ(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。