

論文審査の結果の要旨

氏名 瀧川 晶

本論文は五章からなる。本論文の主意は、従来の天文観測からは推定が不可能だった晩期型星近傍のダスト形成場を、ダスト鉱物の異方的成長過程に着目することによって中間赤外分光観測結果から実証的に推定した点と、太陽系形成以前に形成した固体粒子（プレソーラー粒子）の鉱物学的解析と星周ダストの天文観測データを組み合わせることで、太陽系形成過程を他の星周円盤との直接比較を可能にした点にある。このような精密な鉱物学的解析を天文観測データの解析に直接応用して新しい知見を得た研究例は従来なく、非常に新しい試みである。

第一章は、イントロダクションであり、宇宙鉱物学、太陽系形成の観点から星周ダスト形成条件を理解することの重要性を述べている。本研究の背景となる宇宙鉱物学やプレソーラー粒子研究の現状が簡潔にレビューされ、天文学的手法で直接観測できない中心星近傍のダスト形成環境や星周ダストの形成と進化の過程が、鉱物の異方的性質に着目することによって実証的に議論できる可能性が示されている。さらに、さまざまある鉱物の中でもアルミナ(Al_2O_3)は、加熱に対しても宇宙線照射に対しても特に変成しにくいいため、過去の記録を最も長時間に渡って保持している可能性が高いなどの特長を持つことを指摘している。

第二章では、低圧($\sim 10^{-10}$ bar)における単結晶コランダム($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$)の蒸発および凝縮実験および得られたコランダムの三結晶軸方向への蒸発・凝縮速度の計測について述べている。従来研究では、星周環境に存在する低圧条件の下でのダスト成長速度と異方性が得られていないため、中間赤外分光観測結果の解釈が正確にできないという問題があった。本研究では、晩期星近傍の温度範囲において、蒸発速度比および成長速度比が正確に求めることに成功し、星周凝縮コランダム粒子がc軸にやや扁平な形状となり、大規模な蒸発(>80vol%)をしない限り軸比は大きく変化しないことを見出した。さらに、基板上の凝縮条件として過飽和比 ~ 4 が求められ、得られた凝縮速度が星周ダスト形成環境に適用可能であることも示している。

第三章では、本研究で行った多様な軸比をもつ楕円体・直方体・円柱体のコランダム微粒子の赤外吸収スペクトルの系統的な理論計算の結果、および、粒子形状のばらつき、コラ

ランダム以外のダスト、粒子サイズの効果、非晶質物質の凝縮の影響が議論されている。さらに、赤外分光観測により晩期型星から一般に観測される波長 $13\mu\text{m}$ のフィーチャーがコランダムによるものであることと、観測される星周コランダムダストの形状を示している。

第四章では、始源的隕石中のアルミナ 200 粒子に対して行った形態・表面構造・結晶構造・酸素同位体組成分析について紹介している。従来のプレソーラー粒子研究では、主に化学分析の手法によって同位体・化学組成の分析が行われてきたため、鉱物学的、結晶学的な研究が極めて不足している。そのため形態学や結晶構造を取り込んだ本研究は非常に貴重である。解析結果からは、プレソーラーアルミナが $10\text{-}100\text{nm}$ 程度の大きさの不規則な表面構造をもち、太陽系アルミナに比べ結晶性が低いことが見出された。さらに、合成実験により作成した多形アルミナ・非晶質アルミナ試料の酸溶解実験から、プレソーラーアルミナに特徴的な粒子表面構造の成因が宇宙起源であることを示している。

第五章では全体の結果を統合して星周環境に適用し、星周アルミナダストの形成と進化を論じている。第二、三章の結果から、星周凝縮コランダム(c 軸にやや扁平; 軸比 $r_c/r_a\sim 0.8$) が観測される赤外線スペクトルをよく再現すること、さらに、第四章で発見したプレソーラーアルミナの粒子サイズ($\sim 1\mu\text{m}$)と、第二章で得られた凝縮速度を用いることで、赤外線観測される星周コランダムが、恒星ごく近傍の恒星風が極めて遅い($\sim 10^{-3}\text{ km/s}$)領域で成長したことが示されている。また、プレソーラーアルミナに特徴的な表面構造は、太陽系アルミナ粒子の $1/3$ にも観察されたが、これを説明するためには、1) 初期太陽系における酸素同位体交換過程、あるいは 2) 原始太陽系円盤での非常に限定的な物質混合、のどちらかが必要であることが提示されている。これらは初期太陽系での物質進化を理解する上で極めて重要かつ検証可能な制約である。

なお、本論文の第一章、第二章、第三章、第四章の一部は、橘省吾、永原裕子、小澤一仁、横山聖典、永島一秀、巻出健太郎、Gary R. Huss, Alexander N. Krot との共同研究であるが、論文提出者が主体となって分析および検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。したがって、博士(理学)の学位を授与できると認める。