



Title	Experimental Study of Circumstellar Silicate Dust Evolution by Crystallization Processes Using Laboratory Infrared Spectroscopy
Author(s)	今井, 悠太
Citation	大阪大学, 2012, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/59440
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名	い ま い ゆ う た 今 井 悠 太
博士の専攻分野の名称	博 士 (理学)
学 位 記 番 号	第 2 5 2 2 2 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 24 年 3 月 22 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条第1項該当 理学研究科学宇宙地球科学専攻
学 位 論 文 名	Experimental Study of Circumstellar Silicate Dust Evolution by Crystallization Processes Using Laboratory Infrared Spectroscopy (赤外分光を用いた結晶化に伴う星周塵ケイ酸塩の進化の解明)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 土 山 明 (副査) 教 授 芝 井 広 教 授 近 藤 忠 准教授 大 高 理 准教授 佐 伯 和人

論 文 内 容 の 要 旨

周領域や星間領域に存在する微粒子（ダスト）の性質は、赤外分光天文観測と室内分光実験の比較により推定され、晩期星や若い星の星周領域において非晶質シリケートだけでなく、オリビンやパイロキシンをはじめとする結晶質ケイ酸塩の存在が確認されてきた。その一方で、星間空間のダストはほぼ完全に非晶質であるとされている。このような、星周に特徴的に存在する結晶質ケイ酸塩の物質進化を明らかにすることにより、星周の物理・化学的環境に迫ることができる。本研究ではこの結晶質ケイ酸塩ダストの星周での形態とその結晶化過程に着目した。

一般に、物質科学的には赤外線吸収スペクトルは、物質の化学組成や温度に依存して変化する。しかし、ダストのような微粒子での赤外吸収はそれだけでなく、粒子の粒径・形状・結晶性・凝集などの影響を受けることが知られている。赤外吸収における組成や温度の依存性についてはこれまでに調べられているが、形状や凝集による効果は、あまり詳しく解明されていない。ダストの性質、しいては星周環境の推定のためには、これらの要因がスペクトルに及ぼす効果の精密な理解が不可欠である。そこで本研究の第一のテーマとして、赤外吸収における形状・凝集・結晶性の影響について実験的に調べた。種々の粉碎方法や作成方法を用いて、形状や凝集状態を制御したケイ酸塩微粒子を作成し、その赤外吸収特性を系統的に調べ、実験結果を赤外天文観測と比較した。その結果、ケイ酸塩の球形微粒子が晩期星星周に存在していることを示唆できた。これは、晩期星星周で高温ガスからまず非晶質のダストが凝縮し、それが加熱を受けて結晶化するという過程が起こっていることを示すものである。

また、星周の結晶質ケイ酸塩の形成過程のひとつとして、非晶質ケイ酸塩の加熱結晶化が考えられており、前述の結果からもこの過程が星周で起こっていることが強く示唆されている。つまり、室内実験によって非晶質ケイ酸塩の結晶化過程を詳細に調べることで、星周の結晶質ケイ酸塩ダストが形成およびその物理化学的環境について推定することができると考えた。そこで、本研究の二つ目のテーマとして、非晶質ケイ酸塩の結晶化過程を赤外吸収特性の変化から定量的に評価した。熱ブラズマ法を用いてエンスタタイト(En)組成(Mg/Si=1/1)及びフォルステライト(Fo)組成(Mg/Si= 2/1)の

非晶質ケイ酸塩を作製し、加熱結晶化実験を行った。En, Foそれぞれの組成について各温度・加熱時間における結晶化の進行の程度（結晶化度）を赤外吸収スペクトルの変化から推定した。得られた結晶化度から各温度での結晶化のタイムスケールを評価し、アレニウスプロットを用いることで結晶化の活性化エネルギーを求めた。その結果、En と Fo の活性化エネルギーはそれぞれ 8.6×10^4 (K)、 2.8×10^4 (K) となり、Fo のほうが En に比べて活性化エネルギーが低いことが分かった。これにより、若い星の周りでは、中心星から近い温度の高い領域にのみパイロキシンが結晶化し、温度の低い外側にはオリビンのみが結晶化できることが示唆された。これは、赤外天文観測の結果ともよく一致していた。

論文審査の結果の要旨

若い星や晩期星の星周領域には、珪酸塩からなるダスト（星周塵）が存在することが、赤外天文観測によって知られている。その赤外スペクトルからは、非晶質珪酸塩だけでなくカンラン石や輝石といった結晶質珪酸塩鉱物が存在することが近年になって明らかとなった。このような星周塵鉱物の赤外吸収スペクトルを実験室で取得し、観測結果と比較することにより、鉱物を同定しその形成・進化過程を明らかにしようとする分野（宇宙鉱物学）が開拓された。従来の研究により、鉱物の温度や化学組成についてはよくわかってきたが、その粒子形状や凝集状態また結晶性（欠陥など）が赤外スペクトルにどのような影響を及ぼすかについては、まだよくわかっていなかった。

今井氏は、主要な鉱物であるカンラン石および輝石について、粒子形状・凝集状態・結晶性をコントロールしてこれら鉱物の合成実験をおこない、これらが赤外スペクトルにどのような影響を及ぼすかについて明らかにした。とくに、高周波誘導熱プラズマ法を用いることにより 100 nm サイズの球状の非晶質珪酸粒子およびその加熱生成物としての鉱物球状粒子の合成に始めて成功した。これらの赤外スペクトルの観測結果との比較により、星周塵の赤外スペクトルにおいてこれまで未同定であったフィーチャーが、カンラン石や輝石の球状粒子として同定できることを明らかにした。これにより、晩期星星周では放出されたガスから非晶質珪酸塩が球状粒子として凝縮しやがて加熱されて結晶化がおこるというダストの形成・進化プロセスを指摘した。さらに、このプロセスをもとに、非晶質珪酸塩の加熱結晶化実験をおこない、その結晶化カイネティクスを定量的に明らかにし、原始惑星系円盤や晩期星星周での結晶化プロセスを議論した。これにより、若い星の星周で観測されているカンラン石と輝石の動径分布が非晶質珪酸塩の加熱結晶化で説明できることを示すとともに、晩期星におけるダスト生成では輝石の結晶化がおこりえるような化学組成（Mg/Si 比が 1 に近い）をもつ非晶質珪酸塩の凝縮と結晶化が重要であることを示した。

また、一部の星周塵には結晶欠陥を多く含む鉱物が存在することも示すとともに、球状粒子集合体を実験室で作成しシミュレーション結果との比較をおこない、その 3 次元構造の違いについても明らかにするなど、宇宙鉱物学の分野に新しい知見をもたらした。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値のあるものと認める。