HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	準安定相を経る酸化物ダストの均質核生成実験［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	石塚, 紳之介
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	甲第12687号
Issue Date	2017-03-23
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/65448
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Shinnosuke_Ishizuka_abstract.pdf, 論文内容の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称　博士（理　学）　氏　名　　石 塚　紳 之 介

学 位 論 文 題 名

準安定相を経る酸化物ダストの均質核生成実験

気相からの均質核生成は，宇宙での物質進化を左右する素過程である．低中質量星は進化末期に，質量の大部分を気相として星間空間へ放出する．エンベロープ内縁部に固体は存在せず，均質核生成を経てはじめの鉱物微粒子，ダストが生成する．ダストは不均質反応サイトとして物質進化の出発点となることに加え，中心星からの輻射を受けて星風を生み，質量放出を支配する．近年，電波干渉計によって空間分解能が向上したことで新たな知見が得られ，ダスト形成モデルの再考が求められている．モデル構築に不可欠な，ダストの化学組成，結晶構造，形などの情報は赤外スペクトルから得るしかない．そのため，赤外スペクトルの同定と，核生成過程の理解が星周環境での新たなダスト形成モデル構築の鍵となる．

核生成は，物質が相変化する際の初期過程である．核生成頻度の予測と実測には未だ数桁以上の差があり，普遍的な描像は得られていない．近年，溶液中での実験を中心に，核生成は多様な中間相を経る，多段階プロセスで進むことが明らかになった．個々の系における核生成の在りようが見え始めている．しかし，気相からの均質核生成について，中間相に言及した研究は限定的である．均質核生成の理解は，一般的な核生成の描像を得るうえで不可欠である．星周環境は地上では行えない空間，時間スケールで，核生成が起こる巨大な実験場でもある．

本研究では，ダストのアナログ物質である酸化物ナノ粒子が，気相からの均質核生成を経て生成する過程を，赤外スペクトルその場測定した．生成過程での赤外スペクトルの変化から，核生成の経路を議論した．また，自由浮遊しているナノ粒子の赤外スペクトルを，天体観測と直接比較した．

第一章では，ダストとその核生成の重要性をより詳しく述べる．第二章では，モデル物質としてマグネシアの核生成実験を行い，新たに開発した赤外スペクトルその場測定法の有用性を示す．第三章から第五章でシリケイト，チタニア，アルミナの核生成実験について報告する．核生成過程における赤外スペクトル形状の変化から，気相からの均質核生成は準安定相を経る二段階過程であることを

一貫して示した. 第一段階では準安定相として液体状粒子が気相から核生成する. 第二段階では, 液体状粒子中で結晶が核生成する. 本研究で扱った酸化物の多くは, 結晶相と非結晶相の表面自由エネルギーの差が大きいために, 数ナノメートル以下での安定相が非結晶相となる. 数十分子以下のサイズで起こる核生成時に非結晶相をとることは熱力学的にも妥当である. 従来のダスト形成モデルでは, 気相から固相が直接生成する過程しか考えられていない. 古典的核生成論に則れば, 核生成時の過飽和度が大きいほど, 結晶が直接核生成し易くなる. 本研究の核生成時の過飽和度は, 星周環境に比べ十分大きいにも関わらず, 気相から液体状粒子の核生成が起こった. このことは星周環境でもダストが液体状粒子を経て核生成することを強く示唆する. 第六章では, 微小重力実験によって, 液体状粒子のサイズ変化と, 温度履歴によって, 液体状粒子中で核生成する多形が異なる可能性を示した.

第三章のシリケイトの核生成実験において, 液体状粒子に起因する赤外スペクトルが AGB 星周に観測される典型的な 9.7 μm バンドを非常によく再現した. これまで 9.7 μm バンドは観測結果に合う仮想物質 “アストロノミカルシリケイト” によってフィッティングされていた. 本研究では, Mg シリケイトのみで 9.7 μm バンドを再現した. 星間物質の多くを占め, 氷の存在しない領域では支配的となるシリケイトダストの描像が大きく変わることが期待される.

第六章では, 低質量放出率の晩期型星周に観測される 13 μm 未同定バンドを説明し得る赤外スペクトルを, 微小重力下でのアルミナ核生成実験で示した. 過去に, 13 μm バンドは実験室で再現できていない. また, 13 μm バンドは高温ガス中で最初に生成するダストと関連があると期待されている. 従って, 星周環境ではアルミナの均質核生成が物質進化の出発点となっていることを強く支持する.

核生成過程に現れる赤外スペクトルが, 天体の観測とよい一致を示した. このことは天体における核生成過程が, ダストの化学組成や結晶構造と密接に関わっていることを示唆している. 同時に, 難揮発性酸化物の核生成過程が, 従来天文学で受け入れられてきたものとは異なること示した. シリケイトやチタニアは気相中の分子と, 最終的な固相の化学組成が異なり, 核生成に酸化反応が寄与する. また, 実際の天体での核生成には H_2O との化学反応が寄与する可能性もある. 本研究では, 酸化と核生成の関係を解明するには至っていない. 化学反応を伴う核生成は未知のプロセスであり, 今後の発展が期待される.