

【特別推進研究】

理工系（数物系科学）



研究課題名 星間塵表面における分子進化の解明：素過程からのアプローチ

北海道大学・低温科学研究所・教授

わたなべ なおき
渡部 直樹

研究課題番号： 17H06087 研究者番号：50271531

研究分野： 数物系科学、地球惑星科学

キーワード： 地球外物質科学、星間化学物理、星間塵表面反応、表面化学

【研究の背景・目的】

太陽系に存在する多種多様な分子は、大量のガスと固体微粒子（星間塵）からなる、分子雲と呼ばれる極低温領域を起源に持つ。そこには原子や簡単な分子から生成・進化（分子進化）した、複雑有機分子を含む多種多様な分子が存在する。宇宙の真空・極低温環境で、分子がいかに進化を遂げたかを知ることが本研究の大きな目標である。

分子進化に重要な役割を果たす始原的な星間分子（ H_2 , H_2O , CO_2 等）や多くの有機分子の生成には、極低温の星間塵上での表面反応が不可欠である。表面反応は表面の化学組成や構造に大きく依存し、それが分子雲の化学的多様性にも繋がると考えられるが、その詳細は分かっていない。本研究では、星間塵表面物質である、ケイ酸塩鉱物、炭素質物質、氷表面それぞれにおける化学物理素過程を実験で明らかにし、分子雲における分子進化の解明を目指す。

【研究の方法】

本研究では、有機分子を含む多くの分子生成に関与し、極低温表面で化学反応を可能にする量子効果が顕著に現れる、水素が関わる以下の素過程の情報を実験により獲得する。

- (1) 分子生成プロセス
- (2) 重水素濃集プロセス
- (3) 分子の原子核スピン転換機構

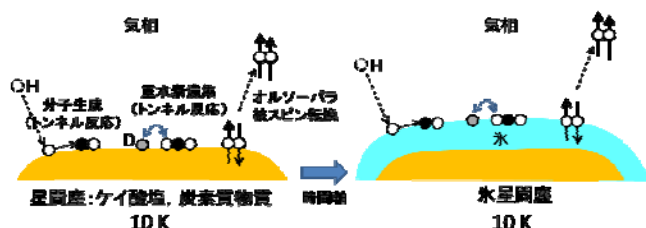


図 1：分子進化を理解する鍵となる星間塵表面過程（分子生成、重水素濃集、核スピン転換）。分子雲では、ケイ酸塩・炭素質物質微粒子上に時間とともに水分子などが生成・蓄積して氷星間塵となるため、それぞれの表面物質における素過程を定量的に調べる必要がある。

実験では、超高真空槽中の極低温基板上に各種試料表面を作製し、擬似的な星間塵表面を再現する。試料表面は電子顕微鏡や原子間力顕微鏡を用いて評価する。(1)、(2)に関しては、赤外吸収分光法、共鳴多光子イオン化 (REMPI) 法、高感度質量分析

器を用いて行い、(3)については、和周波発生分光法、REMPI法を用いる。実験で求めるものは、極低温表面における原子・ラジカルの表面拡散係数、表面反応速度、核スピン転換のメカニズムとその速度、およびそれらの温度依存性である。



図 2：本研究で用いる実験装置の一部

【期待される成果と意義】

星間塵表面での化学物理プロセスは分子雲における初期分子生成・重水素濃集の鍵を握っているが、その理解には推測による部分が多く残されている。本研究で、さまざまな表面物質や表面構造、温度で系統的な実験を行うことにより、その理解を格段に深めることができる。これまでブラックボックスであった分子雲における初期分子進化の全容解明に、初めて迫ることができる。

【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- ・ T. Hama, N. Watanabe, “Surface Processes on Interstellar Amorphous Solid Water: Adsorption, Diffusion, Tunneling Reactions, and Nuclear Spin Conversion”, Chem. Rev. 113, 8783 (2013)
- ・ H. Ueta, N. Watanabe, T. Hama, A. Kouchi, “Surface Temperature Dependence of Hydrogen Ortho-Para Conversion on Amorphous Solid Water”, Phys. Rev. Lett. 116, 253201 (2016)

【研究期間と研究経費】

平成 29 年度－33 年度 433,900 千円

【ホームページ等】

<http://www.lowtem.hokudai.ac.jp/astro/>