

# 低温分子衝突過程の解明に向けた超伝導検出器による中性分子質量測定

## Mass spectrometric identification of neutral molecules with cryogenic detectors for low temperature chemistry

理化学研究所 久間 晋

星間空間には、低温低密度という化学反応の常識では非常に不利な環境にも関わらず、180種を超える多様な分子が存在することが知られている。これらには気相中の二体衝突反応により生成されたと考えられる化学種が多く含まれているが、それらの反応断面積は、単純な分子反応でさえ未だ粗い仮定に留まっている現状がある。近年我々は極低温静電型イオン蓄積リングという強力な手段により、星間空間という低温孤立系での化学反応を再現することを目的に研究を進めている。静電型蓄積リングは静電場のみを用いてイオンビームの軌道を制御することで、長時間に渡り分子イオンをリング軌道に周回させることが可能な装置である。我々の極低温リングを用いれば分子イオンの振動回転温度を4 Kまで冷却できるため、星間分子が生成される低温環境を再現することができ、また中性分子とのリング内合流実験による衝突反応の精密観測が可能となる。極低温リングは2014年に完成し、現在は分子イオンの冷却過程を数百秒に渡って時間追跡する輻射冷却ダイナミクスの研究が進行中である。

本研究は、この極低温リング内に再現した衝突反応において、中性生成物を直接検出することを目的としている。生成分子は質量に比例する運動エネルギーを持って検出部に到達するため、粒子運動エネルギーの精密測定により生成物の同定ができる。本手法では通常の質量分析法で要求されるイオン化が不要であり、その際の最大の問題点となるフラグメンテーションに起因する生成物比の不確定さを回避できる特徴がある。

今回我々が新たに開発した中性分子検出器は、近年X線天文学分野で注目を集めている極低温動作の超伝導転移端 (Transition Edge Sensor, TES) マイクロカロリメータである。これはX線検出器として驚異的なエネルギー分解能 ( $\Delta E/E \sim 10^{-3}$ ) を有する。本研究では、通常「光子」を検出するために用いられる TES を、初めて分子という「粒子」に展開することを目的とした。TES は低エネルギー領域にも感度を保つため、蓄積リング実験だけではなく、様々な低速中性原子・分子検出においても新しい観測手法を提供する可能性を秘めている。

TES を分子観測に応用する上で最大の障壁は環境由来の熱輻射である。TES は100 mK という極低温で初めて動作するため、X線検出時にはX線のみを透過する熱遮蔽用薄膜フィルターが検出素子直前に設置されている。本研究では、分子検出時には障害となるこの薄膜フィルターを取り除き、新たに極低温シールド及び赤外線用メッシュフィルターを設計した。複数のセットアップを試行した末、最終的にはメッシュフィルターでTESが安定動作し、 $\Delta E/E \leq 0.2\%$  のエネルギー分解能を発揮できることを確認した。加えてテストビームを用いた粒子検出実験を実施し、極低温リング周回イオンと同程度の並進エネルギーを持つ希ガスビーム  $\text{Ne}^+$  を用いた検出テストではイオン信号を捉えることに成功している。ここまでの進展で、極低温リングにTESを配置して星間空間再現実験を進めるための条件が整った。