

高感度表面分析による極低温氷表面ラジカル反応の実験研究



石橋 篤季[†]

北海道大学低温科学研究所
atsukiishibashi@g.ccc.u-tokyo.ac.jp



渡部 直樹

北海道大学低温科学研究所
watanabe@lowtem.hokudai.ac.jp

銀河内の恒星と恒星の間に広がる空間を星間空間と呼ぶ。星間空間では、2024年現在でCOMsを含む300種類以上の化学種が天文観測により見つかっており、さまざまな進化段階の天体に分布していることがわかっている。これらの化学種は、原子や単純な分子からさまざまな物理化学過程を経て形成(分子進化)されたことが知られている。

では、分子進化はどのような過程で生じるのか？ 星間空間のような低温真空環境で鍵を握るのは、**氷星間塵**の表面における**ラジカル**の化学である。これを明らかにするためには、天文観測や理論計算だけでは不十分であり、室内実験から得られる**物理化学素過程の情報**が重要となる。それゆえ、世界中でさまざまな室内実験研究が進められている。とくに、近年の電波天文観測技術の発展に伴って、COMsの化学的組成や分布の多様さが明らかになってきた。つまり、観測された分子の情報から、それらが生成されたであろう物理・化学環境にまで踏み込んだ議論ができるようになってきた。

COMsの多様性の起源を明らかにするには、それぞれの天体の年齢や物理・化学環境に依存する化学進化過程を知る必要がある。それゆえ、室内実験から得られる物理化学素過程の情報が、以前にも増して重要になっている。一方で、それらの情報が決定的に不足しているという現状があり、この要因は主に従来の実験手法の技術的な制約によるものである。そのような背景もあり、近年、従来手法に代わる新たな手法を用いた実験が世界中で試みられている。

著者らの研究グループでは、COMs形成

を理解する上で本質的に重要なラジカルそのものの振る舞いについて着目した。氷表面に微量にしか存在しないラジカルの検出には、高感度かつリアルタイム測定が可能な手法が必要であり、技術的に特に困難であることから、これまでほとんど行われてこなかった。それゆえ、氷表面の微量ラジカルの挙動を追跡可能な、超高感度表面分析装置の開発という挑戦的な試みを開始した。装置は**Cs⁺ピックアップ法**を基としており、星間化学実験に適応させるためにさまざまな改良を施した末、リアルタイム表面分析法において世界的にも有数の高感度を獲得することに成功した(表面被覆率0.01%以下の吸着種の検出が可能)。

新規開発の超高感度表面分析装置を用いることで、氷表面におけるOHラジカルが起点となる反応の情報を明らかにすることが可能になった。まず、星間空間に広く分布するギ酸メチルというCOMsの形成には、氷から光解離したOHラジカルが必要であることを突き止め、効率的な形成経路を明らかにした。そして、ギ酸メチルなどのCOMs形成の鍵となるCH₃OHとOHの反応について、生成物の反応分岐比を決定することに成功した。また、原始的な星間分子であるCO₂に関して、従来主要な形成過程と考えられていた氷表面におけるCOとOHの反応が効率的ではないことを実験的に初めて明らかにした。

著者らが新たに開発した装置は、これまで未解明であった、氷表面におけるさまざまなラジカル反応を調べることができ、星間化学実験におけるブレイクスルーを与えることが期待される。

用語解説

COMs :

6原子以上で構成される複雑有機分子(Complex Organic Molecules)のこと。CH₃OHを含む場合もあるが、ここでは含まないものとする。

氷星間塵 :

星間空間を漂う、非結晶のH₂O氷に覆われた鉱物微粒子。この表面での化学反応が星間空間における分子進化の舞台となる。

ラジカル :

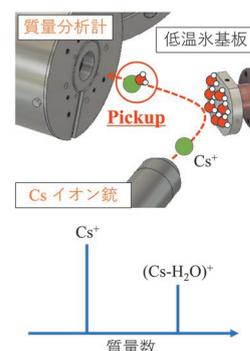
反応性の高い物質のこと。ここでは、不対電子を持つ分子や原子のことを指すこととする。COMsの形成には星間塵表面でのラジカル反応が鍵となる。

物理化学素過程の情報 :

ここでは、分子進化に関する化学反応の速度・分岐比、吸着種の拡散、そしてそれらの温度依存性などを指す。

Cs⁺ピックアップ法 :

基板最表面の中性分子を破壊することなく検出できる方法。下図に示すように、低エネルギーCs⁺にピックアップされた中性分子は、質量分析計にてCs⁺-分子複合体として検出される。



[†] 現所属：東京大学大学院総合文化研究科附属先進科学研究機構