



Title	極低温氷表面におけるラジカル反応の高感度非破壊分析装置の開発：氷星間塵上での複雑有機分子形成過程の解明 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	石橋, 篤季
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	甲第15274号
Issue Date	2023-03-23
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/89419">https://hdl.handle.net/2115/89419</a>
Rights(URL)	<a href="https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/</a>
Type	doctoral thesis
File Information	Atsuki_Ishibashi_review.pdf, 審査の要旨



# 学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士(理学) 氏名 石橋 篤 季

審査担当者	主査	教授	渡部	直樹
	副査	助教	日高	宏
	副査	准教授	大場	康弘
	副査	教授	佐崎	元

## 学位論文題名

極低温氷表面におけるラジカル反応の高感度非破壊分析装置の開発：氷星間塵上での複雑有機分子形成過程の解明

### 博士学位論文審査等の結果について（報告）

近年の天文観測の進展により、特に星が形成しつつある星間空間で7原子以上からなる複雑な有機分子 (Complex Organic Molecules: COMs) が数多く見つかってきた。こうしたCOMsは隕石や彗星、小惑星に見られる有機物の原材料物質であると考えられ、現在、その起源に関する研究が世界的な潮流となっている。COMsは星間分子雲に浮遊する低温の氷星間塵に吸着したラジカル (OH, CH<sub>3</sub>O, NH等の化学活性種) が、星間塵表面を拡散・衝突することで形成すると理論的に漠然と予想されている。しかし、技術的な困難さから実験による検証は未だされておらず、肝心のCOMs生成の反応経路や反応速度など、分子進化のモデル化に不可欠な化学物理素過程に関する詳細な情報は得られていない。つまり、COMs生成はブラックボックスとして扱われ、宇宙における分子進化研究の障壁となってきた。

石橋氏は氷星間塵を模した低温氷表面上でのCOMs生成過程を詳細に調べることができる実験装置を、世界に先駆けて開発した。Cs<sup>+</sup>イオンピックアップ法と呼ばれるその装置は、低温氷表面の吸着物を非破壊・非加熱でその場分析が可能で、赤外分光など従来の手法よりも1000倍以上の感度を有する。これにより、反応性が高く表面数密度を稼げない微量の表面ラジカルと、その反応生成物をモニターすることが可能になった。石橋氏は当該装置を用い、星間空間で存在度が高いCOMsの一つであるギ酸メチル (MF: HCOOCH<sub>3</sub>) が氷星間塵表面で生成する最も確からしい反応経路を明らかにした。MFは分子雲など星間空間に広く分布する原始的なCOMsにもかかわらず、その生成過程が長年の未解決問題であった。氷微粒子表面に豊富に存在するCH<sub>3</sub>OHが主な材料と推測されているため、CH<sub>3</sub>OH固体の光反応実験が行われてきたが、MFの有効な生成は説明できなかった。石橋氏は、これまで無視されてきたH<sub>2</sub>O氷表面の効果に着目し、より実際の宇宙環境に近いと思われる材料 (氷表面上のCH<sub>3</sub>OH) での光反応実験を行った。その結果、MFの効率的な生成が確認でき、その生成量は天文観測と調和的であることが分かった。さらに、紫外光照射中のラジカルの様子をリアルタイムで追跡することで、確度の高いMFの生成過程を初めて明らかにし、氷表面から光解離で生成したOHとCH<sub>3</sub>OHの反応が重要な役割を担うことを示した。

また、上記MFの生成過程で重要になる、氷表面におけるCH<sub>3</sub>OH + OHの反応生成物の分岐比を初めて決定した。この反応ではCH<sub>3</sub>OまたはCH<sub>2</sub>OHのラジカルが生成される。これらの詳細な分岐比は、分子雲で形成するCOMsの種類を制約する上で重要な情報である。石橋氏は新たに考案した測定方法で実験を行い、気相研究で報告された値とは異なる、氷表面反応特有の分岐比の値を導き出した。一連の研究成果は、すでに査読付き国際誌 (Astrophysical Journal Letters) に発表されており、当該分野で高い評価を得ている。また、在学中に国際会議1件、国内学会1件の招

待講演を行っている。

こうした業績により、石橋氏は北海道大学博士（理学）の学位を授与される資格あるものと認める。