



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	光刺激脱離一共振多光子イオン化法を用いた低温H ₂ O氷表面におけるOHラジカルの挙動に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	宮崎, 彩音
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	甲第14786号
Issue Date	2022-03-24
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/85886
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Ayane_Miyazaki_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 宮崎 彩音

審査担当者	主査	教 授	渡部直樹
	副査	教 授	佐崎 元
	副査	教 授	香内 晃
	副査	准教授	大場康弘
	副査	准教授	木村勇氣

学 位 論 文 題 名

光刺激脱離-共鳴多光子イオン化法を用いた
低温 H₂O 氷表面における OH ラジカルの挙動に関する研究

博士学位論文審査等の結果について（報告）

星間空間には、ガスと星間塵から形成された星間分子雲と呼ばれる領域が存在している。星がまだ存在しない分子雲は、熱源が無く外部からの光も届かないため 10 K 程度の低温環境になる。低温環境にもかかわらず、分子雲には同定されたものだけでも 150 種類以上の星間分子が存在している。こうした分子は元々原子や簡単な分子だったものが、化学反応により複雑化（化学進化）したものである。また、最近の天文観測技術の向上により、分子雲内で星が形成されつつある領域（～100 K 程度）の様子も見えてきた。そこには、複雑な有機分子も数多く存在しており、星形成に伴う温度上昇により、化学進化がより一層進んでいることが明らかになってきた。近年の研究から、化学進化の鍵を握るのは星間塵表面における化学反応であることが分かっている。10 K の環境では、星間塵表面には CO₂、CH₃OH 等の簡単な分子の他に OH、CH₃ 等の多くのラジカルが生成・蓄積する。星形成領域で観測されている複雑有機分子は、そうした星間塵表面のラジカルが温度上昇とともに動き出し、他の吸着種と反応することで生成すると考えられている。これまでの研究で、10 K 環境における星間塵表面過程は理解が進んできたが、比較的温度が高い環境で活性化し、ラジカルが関与する化学物理過程の研究は始まったばかりで、大雑把な理論モデルのみが報告されている。ラジカルは反応性が高く、星間塵表面物質との相互作用も複雑で、その振る舞いを理論的に予測することは困難である。つまり、従来の理論モデルで用いられているラジカルの化学物理素過程に関するパラメータの推定値の信頼性は高くなく、実験的なアプローチが喫緊の課題になっている。

宮崎氏の研究は、星形成領域で見られる複雑有機分子の生成に不可欠である、星間塵表面に存在するラジカルの化学物理過程を実験的に明らかにすることを目指している。特に、星間塵を覆うアモルファス氷表面に卓越した存在度を持つと考えられる OH ラジカルに着目し、その吸着状態や表面拡散に関する知見を得ることを研究の目的とした。OH ラジカルは反応性が高く、氷表面で数密度を稼ぐことが難しいため、従来の実験手法である赤外分光法や昇温脱離法で検出することは極めて難しい。宮崎氏は、氷表面に存在するラジカルを非加熱・非破壊的に表面から気相へと脱離させることができる光刺激脱離法（PSD 法）と、気相に存在する分子種を選択的にイオン化して高感度に検出できる共鳴多光子イオン化法（REMPI 法）を組み合わせた PSD-REMPI 法を用い、氷表面に存在する OH ラジカルを非加熱・非破壊的に検出することに初めて成功した。また、PSD により脱離してくる OH ラジカルの運動エネルギー分布を測定することにより、OH

の氷への吸着サイトに関する情報を得た。これにより、PSD-REMPI 法で検出される OH ラジカルは、表面 H_2O 分子との間に 3 つの水素結合を持ち氷表面に最も強く吸着しているものであることを明らかにした。

星間塵表面物質であるアモルファス氷表面の吸着ポテンシャルの形状や深さは、一様ではなくある分布を持っている。したがって、OH ラジカルがその表面を拡散するとき、拡散速度は最も深いポテンシャルを移動するときに律速される。宮崎氏は PSD-REMPI 法で最も深い吸着サイトに存在する OH ラジカルの表面数密度の変化を様々な温度で測定することで、氷表面における拡散の活性化エネルギーを世界に先駆けて実験的に決定した。その値は 0.13 eV であった。この値から、星形成領域で OH ラジカルが星間塵表面を拡散し反応に寄与できる温度はおおよそ 32 K であることを示した。

上記で述べた氷表面ラジカルの検出や表面拡散の活性化エネルギーの導出は、いずれも世界初の成果であり、現在、天文学の大きな研究テーマの一つである複雑有機分子生成過程の詳細を解き明かす第一歩となる。また、用いた手法は当該分野の実験研究でスタンダードとなり得るもので、その価値は高い。本博士論文は宮崎氏が行った研究のほぼすべてが網羅されている。成果の一部は、すでに物理学の国際誌 (Physical Review A) に発表されており、一連の研究を締めくくる研究者としての作法も習得したと言える。その上、宮崎氏は本研究を新しい装置を 2 台立ち上げることから始めており、実験研究者としての資質も十分に高いことが認められる。以上のことから、宮崎氏は、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。