

## 「宇宙で起きている化学反応」を実験で探る

低温科学研究所・大学院理学院

助教 <sup>はま</sup>羽馬 <sup>てつや</sup>哲也

出身高校:大阪府立北野高校

最終学歴:京都大学大学院工学研究科

専門分野:物理化学, 化学反応動力学

研究のキーワード:天文学, 恒星, 惑星, 原子・分子, 化学進化

HP アドレス: <http://www.lowtem.hokudai.ac.jp/astro/index.html>

## 何を目指しているのですか？

「宇宙ではどんな化学反応が起きているのか？」ということについて実験研究をしています。20世紀になり電波・赤外線などによる宇宙観測が可能になると、星間空間にもさまざまな物質が存在することが明らかになりました。

星間空間には、**恒星**からの放出を起源とした**原子**(H、He、C、N、O など) のガスや鉱物微粒子(星間塵)が希薄に存在しています。ガスや星間塵は重力により次第に集まり、Hは星間塵上で別のHと出会い、水素分子(H<sub>2</sub>)へと進化します。星間空間においてH<sub>2</sub>が高密度(10<sup>3-5</sup>個 cm<sup>-3</sup>、およそ1兆分の1気圧)になった領域を分子雲と呼びます(図1)。太陽をはじめとする恒星や**惑星**はこの分子雲から進化したと考えられています。

分子雲は非常に低温であることが知られています(-263℃)。一般に、化学反応は低温低圧になるほど起こりにくくなりますが、分子雲はH<sub>2</sub>のほかにも一酸化炭素(CO)、水(H<sub>2</sub>O)、二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)、アンモニア(NH<sub>3</sub>)、アルコール類など150種以上の**分子**が微量に存在している(化学進化している)ことが確認されています。「分子雲にはなぜこれほど多くの分子が存在しているのか？」というのは物理・化学的な観点から見ても非常に興味深く、分子雲内の化学反応過程を明らかにすることは宇宙での物質進化や星形成を解明する手がかりとなります。

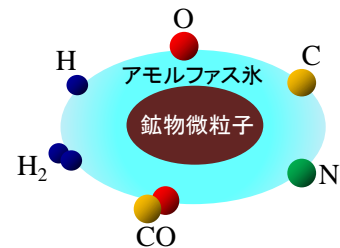


図1 分子雲のひとつ、オリオン座の馬頭星雲雲[Credit & Copyright: Nigel Sharp (NOAO), KPNO, AURA, NSF]. 分子雲には0.1 μm程の鉱物微粒子(星間塵)が漂っている。この星間塵がまわりの星からの光を吸収し遮ってしまうため、分子雲は温度が非常に低く、その姿は真っ黒に見える。分子雲では星間塵はその表面がアモルファス(非晶質)氷でおおわれており、重要な化学反応場となる。

## どんな装置を使って、どんな実験をしているのですか？

現在は、分子雲に豊富に存在する星間塵の触媒作用に注目し、その表面でおきる物理・化学プロセスを調べています。分子雲は極低温・超高真空状態にあるため、このような環境を再現するために図2のような超高真空実験装置を用います。この実験装置の中には-263℃まで冷却できる金属基板が設置されており、ここに星間塵の主成分である**アモルファス**(非晶質)氷を作製します(図3)。作製したアモルファス氷にHやH<sub>2</sub>、OH、CO、O<sub>2</sub>などを照射し、氷表面で生じている物理・化学現象を明らかにしていきます。低温のア

モルファス氷表面では、原子・分子は粒子だけでなく波としての性質も顕著になりはじめます。わたしたちの研究グループは、この原子・分子の波動性による量子トンネル反応が分子雲におけるH<sub>2</sub>Oや有機分子の生成・進化・同位体分別に極めて重要な役割を果たしていることを明らかにしました。分子雲で起きている化学反応を室内実験で調べるといふ研究は少なく、これらの結果は世界でも高く評価されています。

## 次に何をを目指しますか？

**天文学**の研究手法のひとつとして「天体を構成する分子の状態からその天体の環境を探る」という方法があります。どのような分子がどれほど存在するか、それらはどのようなエネルギー状態(電子・振動・回転・原子核スピンの量子状態)にあるかを観測することで、その天体がどのような物理環境にあり、どのように形成され進化していくのかを予測することが可能となります。このような研究を進めていくためには宇宙でおきる化学反応について熟知している必要がありますが、実験研究が非常に不足しています。たとえば-263℃の氷表面で、ある分子がある化学反応で生成したとき、分子のエネルギー状態は氷表面と熱平衡状態(-263℃)にあるのか？それとももっと高エネルギー状態にあるのか？このような問題は実はほとんどわかっていません。しかし、天体(とくに分子雲や彗星など)の観測研究から正しい意味を引き出すためにはこのような知識が必要不可欠です。こういう未知の領域にどんどん踏み込んでいきたいです。

## 学生のみなさんへ

研究をされていてよく思うのですが、研究はスポーツや絵画、工作と似ていて、自分でやってみないとその面白さはわかりません。ある疑問にたいして自分なりの回答を考える、そのために実験を工夫して、えられた結果の意味を正しく解釈するために勉強する。この面白さは残念ながら文章では伝えることができません。学生のみなさんはこの冊子を読むだけでは満足せずに、興味がわいたらぜひ研究室へ足を運んでみてください。わたしたちのグループはメンバーの専門分野が大きく異なっており(地学・物理・化学)、学際的であることをひとつの特徴としています。学生の見学は専門を問わず歓迎いたします。

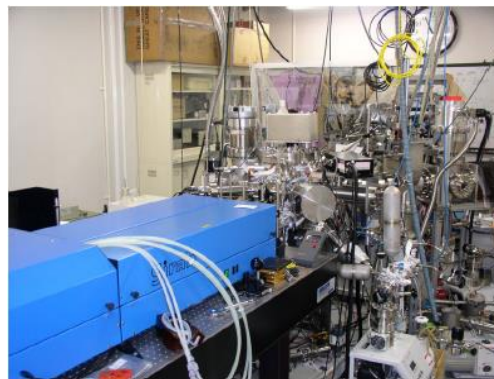
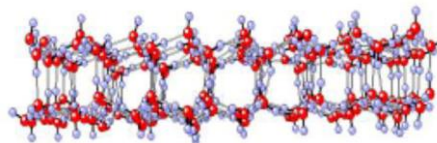


図2 実験に用いる装置。奥にあるのが超高真空槽。なかにアモルファス氷を作製するための金属基板が設置されている。手前にあるのは波長可変色素レーザー。アモルファス氷表面の化学反応で生成した分子のエネルギー状態を調べるのに用いる。

氷結晶



アモルファス氷

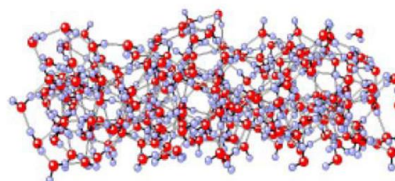


図3 分子動力学計算による氷結晶とアモルファス氷のモデル。アモルファス氷とは地球で見られる雪結晶のような結晶構造をもたない無秩序な構造をもつ氷のことである(Suter et al. Chem. Phys. 326, 281 (2006)より図を改変)。