



＜ 杉本 G の研究テーマ ＞

水素分子(等核分子)の核スピン(オルト-パラ)転換
Ortho-para conversion of molecular hydrogen

2018/06/11

[日本語版 / Japanese version]

宇宙は星とその間の星間物質(ガス・塵)で構成され、ガス濃度が高くH₂が主成分である領域は星間分子雲と呼ばれます。極低温の星間分子雲には数 μm サイズの固体微粒子(星間塵)が存在し、その表面は氷で覆われています。氷星間塵の表面で起きる反応により、HやCOのような始原的な原子・分子から生命の起源ともなる複雑な有機分子が生成することが知られています。星間分子雲は星形成活動のダイナミックな場であり、“惑星系に至る物質進化”の初期過程はこうした星間塵表面反応に支配されていると考えられています。

分子雲において最も存在量が多いH₂には、核スピン1/2を持つ陽子2個の合成核スピン I の状態に応じて、オルトH₂ ($I=1$)とパラオルトH₂ ($I=0$)という二種類のスピン異性体が存在します。2000年前後から精力的に行われてきたH₂分子の赤外天文観測において、星間分子雲におけるH₂分子のオルト/パラ存在比が通常では考えられない異常な値をとることが多数報告されています。これまでの物理学・物理化学の枠組みでは、氷のように磁性を持たない固体表面では水素分子の核スピン転換(オルト-パラ転換)は起こらないと考えられてきました。ですので、極低温の星間分子雲において「どうしてH₂分子のオルト/パラ存在比が異常な値をとるのか？」すなわち「どのようなメカニズムでH₂分子のオルト/パラ存在比が変化(オルト-パラ転換)するのか？」ということが全く分かっていませんでした。



この天文物理化学における長年の謎を解明するべく、**極低温超高真空装置とレーザー分子分光計測を駆使したラボ実験**に挑戦しました。星間分子雲の環境を模した極低温・超高真空の状態を実験室で再現し、氷星間塵の主成分と考えられているアモルファス氷(非晶質の水)を作製してH₂分子を吸着させると、なんとオルト-パラ転換が誘起されることが判明しました。この予想外の実験結果を量子力学的に考察してみると、**原子・分子レベルで氷表面に存在する強電場**によって吸着水素分子の内部に磁気相互作用が創発され、その分子内の磁気相互作用によりオルト-パラ転換が誘起されることが明らかになりました[Nature Physics 7, 307 (2011)].

さらに近年、当グループが共同研究を行っている渡部直樹教授(北大低温研)らの研究グループにより、「星間塵表面におけるH₂分子のオルト-パラ転換が分子雲における分子進化の反

応速度と反応選択性に大きな影響を及ぼす」こと等が解明されてきました。つまり、**H₂ 分子のオルト-パラ転換、及びオルト/パラ状態比に関する理解が星間分子進化の全容解明に必要不可欠**であることが明らかになってきました。

H₂分子が関与する重要な星間分子進化を解明するためには、**温度や構造が異なる様々な星間塵物質（氷だけでなく鉱物や炭素物質）の表面**においてどのようなメカニズム・時間スケールでオルト-パラ転換が誘起されるのかを系統的かつ定量的に理解する必要があります。そこで、当グループでは和周波発生振動分光などの非線形分光法を新基軸とし、星間塵を模した種々のモデル鉱物表面における**水素分子のオルト-パラ転換過程をその場観測**することに挑戦しています。分子雲におけるH₂分子のオルト/パラ状態比決定機構とその後の分子進化への影響をラボ実験で解明することを目指します。

(前頁で紹介した研究動向のより詳細な内容を知りたい方は、例えば日本物理学会誌に掲載された解説記事などをご参照下さい[J.Phys.Soc.Jpn.71,668-678(2016)])

[English version]

Under construction...