



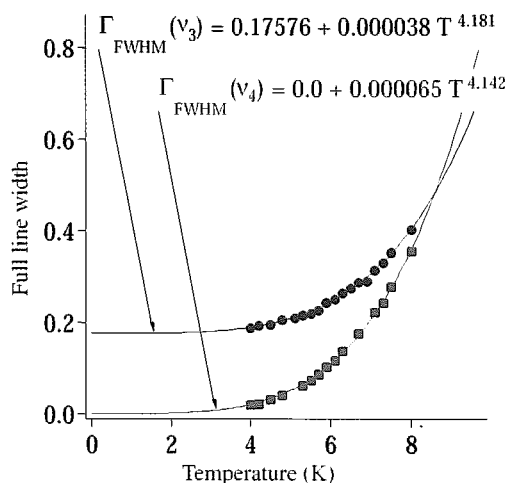
百瀬 孝昌  
京都大学大学院理学研究科

プロフィール：1987年京都大学大学院理学研究科博士後期課程退学、同年京都大学理学部助手、1991年シカゴ大学化学科博士研究員、1993年京都大学理学部講師、1995年京都大学大学院理学研究科助教授。1997年10月より科学技術振興事業団「さきがけ研究21」研究員を兼職。専門は分子分光学、低温科学。趣味は山歩き。

## 超低温・超高压下の固体水素の分光学的研究

### 要旨

水素分子 ( $H_2$ ) は安定に存在する分子の中でもっとも小さく、軽い分子である。水素分子は分子間の相互作用が非常に小さいため、室温では無色・透明の気体として存在するが、液体ヘリウム温度付近まで冷却したりあるいは圧力をかけると固体になる。この固体水素は、もっとも基本的で単純な分子から構成される分子性結晶であるにもかかわらず、温度や圧力を変えることによって、様々な相転移を示すことが知られている。そのため、固体水素は分子性結晶あるいは分子間多体相互作用の研究の理想的なモデル系としてこれまで多くの研究者によって研究が行われてきた。我々はごく最近、固体水素では凝縮相としては非常に希な赤外～可視領域の高分解能分光が可能であることを見いだした。分光学的手法を用いると、凝縮相を構成する個々の分子のエネルギー状態を直接観測できることから、マクロな物性からは得られない微視的な情報が得られる利点がある。一般の凝縮相では、粒子間相互作用が強く、また凝縮相内の様々な異なる環境のために、光学遷移の線幅が大きくなり、重要な情報が消失してしまう。しかし固体水素では、水素間の分子間相互作用が非常に弱く、また格子欠陥が少ないなどの理由によって、光学遷移の線幅が鋭くなるのである。そこで、本研究ではこの高分解能特性を利用し、固体水素内の分子の振動・回転・電子状態の温度・圧力依存性を分光学的に調べることによって、分子集団系固有の相互作用の解明および相転移などの動的過程の微視的側面からの研究を行った。特に相転移現象の研究のためにはできる限り低温・高压の固体をつくりだすことが望まれることから、50mKという極低温においたサンプルの赤外分光測定ができる光学クライオスタットの製作と、圧力をかけるためのガス加圧型光学セルや低温分光用ダイヤモンドアンビルセルの開発など、超低温・超高压下における分光手法の開発を行いながら研究を進めた。その結果、固体水素中にドーピングした不純物の振動回転遷移の高分解能分光をプローブとすることによって、相転移現象等における固体の構造変化を回転線の分裂の変化としてスペクトル上で明瞭に分離して観測できることを実際に示した。また、量子固体内の振動励起状態のエネルギー緩和過程に関して、位相緩和が量子固体固有の温度依存性を示すことを明らかにした。図は、固体水素中に捕捉したメタンの振動回転線の線幅の温度依存性を示す。高温における急激な線幅の広がりは $T_2$ 位相緩和によるが、この温度依存性は通常の結晶（古典固体）における振る舞いとは大きく異なる。その詳細な理解のためには量子固体についての今後の理論解析が必要不可欠である。さらに、光励起などに伴って誘起される結晶構造の瞬間的な変化をスペクトルの解析から明らかにできることなども示した。一方で、結晶中の2つ以上の分子が1光子で同時に励起される多体同時励起遷移の観測にも成功し、その解析から凝縮相の本質ともいえる多体相互作用に関する詳細な情報が得られることを明らかにした。今後さらに低い温度、高い圧力などの様々な条件下で、これらの振動回転線あるいは多体同時励起遷移を観測することにより、動的側面から見た量子固体の本質の解明、極低温において出現するスピングラス様といわれる回転量子化軸配向相の解明、あるいは水素の金属化の兆候などをとらえることができるものと期待される。



## 研究成果

### 論文

1. Simon Tam, Mario E. Fajardo, Hiroyuki Katsuki, Hiromichi Hoshina, Tomonari Wakabayashi, and Takamasa Momose, "High Resolution Infrared Absorption Spectra of Methane Molecules Isolated in Solid Parahydrogen Matrices", *J. Chem. Phys.* 111 (9), 4191-4198 (1999).
2. Norihito Sogoshi, Toshiyasu Kato, Tomonari Wakabayashi, Takamasa Momose, Simon Tam, Michelle E. DeRose, and Mario E. Fajardo, "High Resolution Infrared Absorption Spectroscopy of  $C_{60}$  Molecules and Clusters in Parahydrogen Solids", *J. Phys. Chem. A* 104 (16), 3733-3742 (2000).
3. Hiroyuki Katsuki and Takamasa Momose, "Observation of Rovibrational Dephasing of Molecules in Parahydrogen Crystals", *Phys. Rev. Lett.* 84 (15), 3286-3289 (2000).
4. Takamasa Momose, Yu Zhang, and Takeshi Oka, "High Resolution Spectroscopy of Ions in  $\gamma$ -ray Irradiated Solid Parahydrogen", *Physica B*, 284-288, 387-388 (2000).
5. Masaaki Miki and Takamasa Momose, "Rovibrational Transitions and Nuclear Spin Conversion of Methane in Parahydrogen Crystals", *Low Temp. Phys.* 26 (9/10), 661-668 (2000). [*Fiz. Nizk. Temp.* 26 (9/10), 899-908 (2000).]
6. Takamasa Momose, C. Michael Lindsay, Yu Zhang, and Takeshi Oka, "Sharp Spectral Lines Observed in  $\gamma$ -ray Ionized Parahydrogen Crystals", *Phys. Rev. Lett.* 86 (21), 4795-4798 (2001).