

cw-OPO 赤外分光器を用いた水素クラスターの研究

(岡大理) ○唐 健、平尾強司、上杉直雅、瀬戸山敬子

【序】中赤外領域における高分解能分光法の光源として、従来は差周波レーザー、カラーセンターレーザー、鉛塩系ダイオードレーザーなどがよく使われていた。しかし最近、周期的な分極反転構造をしたLiNbO₃結晶 (PPLN) が高効率波長変換素子として広く使われており、特にMgOをドープしたPPLNは赤外領域で連続発振できる光パラメトリック発振 (cw-OPO) として注目されている。1つのMgO:PPLN非線形結晶で中、近赤外領域を連続的にカバーする赤外cw-OPOは全固体レーザーのポンプで商品化されている。cw-OPOは高出力および高分解能であり、気相不安定分子の研究において重要な役割を果たせる。本研究は超音速ジェット分子ビームで水素クラスターを生成し、cw-OPO赤外分光器と非点収差多重反射吸収セルを組み合わせて水素クラスターの赤外分光を行った。

【実験装置】全固体赤外cw-OPOレーザー OS4500 (LINOS Photonics社製) は、出力 1.2 WのNd-YAGレーザー (ダイオードレーザーでポンプ) の 1064nm線がMgO:PPLN結晶を貫通し、準位相マッチングの非線形効果によって、レーザー光を 1.38-2.00 μm のシグナル光 (2つ) と 2.28-4.67 μm のアイドラ光 (2つ) に変換する。赤外レーザー光の出力はシグナル光で最大 20mW、アイドラ光で最大 40mWと高い上、線幅も 50kHz以下と安定性・単色性に優れる。波長の選択はPPLN結晶の周期 (18 個) と温度 (50~170 $^{\circ}\text{C}$) で選ばれる。チューニングはNd-YAG結晶の温度変化およびPPLN結晶の温度変化によって行い、モードホップなしのスキャン範囲は 3 GHz前後である。OPOレーザーのアイドラ光の周波数は、ポンプ光とシグナル光の波長を波長計からそれぞれ読みとり、 $\omega_{idler} = \omega_{pump} - \omega_{signal}$ の関係から導いた。

水素クラスターは超音速ジェット分子ビームを用いて生成する。ジェットノズル (General Valve Series 99) は液体窒素温度まで冷却でき、バッファガスは 50 大気圧までかけられる。これらの実験条件によって 13 個の水素分子を含む水素クラスターの赤外スペクトルの観測はすでに報告されている¹。

非点収差多重反射セル (Aerodyne Research 社製) を用いて 238 回の多重反射吸収を簡単に得られる。多重反射セルは長さ 32 センチで、反射率 99.2% (3-10 μm) のミラーを用いて、透過率が 15%程度である。

分光器の制御 (OPO レーザーのチューニング、出力モニタ、波長計の読み、検出器信号の集録、および超音速ジェットの制御) には、LabVIEW グラフィカルプログラミング (LabVIEW 8) および National Instrument 社のデータ収録デバイス (NI PCIe-6351、AT-GPIB/TNT) を用いた。

【研究内容】最近、気相ヘリウムクラスターの研究によって、ヘリウムクラスターの量子溶媒化の過程が明らかにされた²。ナノヘリウム液滴の分光手法の研究と合わせて、分子レベルでの超流動現象について新たな見識が得られた。気相水素クラスターの研究も進んでおり、 $(\text{H}_2)_N\text{-OCS}$ クラスターが $N=7$ まで³、 $(\text{H}_2)_N\text{-N}_2\text{O}$ クラスターが $N=13$ まで¹ 気相の赤外分光法によって観測されている。パラ水素の量子溶媒化は期待されているが、今までまだ観測されていない（下図）。我々はより多くの分子種の水素クラスターを赤外分光法により観測することを目指し、分子クラスターレベルでの水素の超流動を探っている。今回は、現在までの研究の進行状況について報告する予定である。

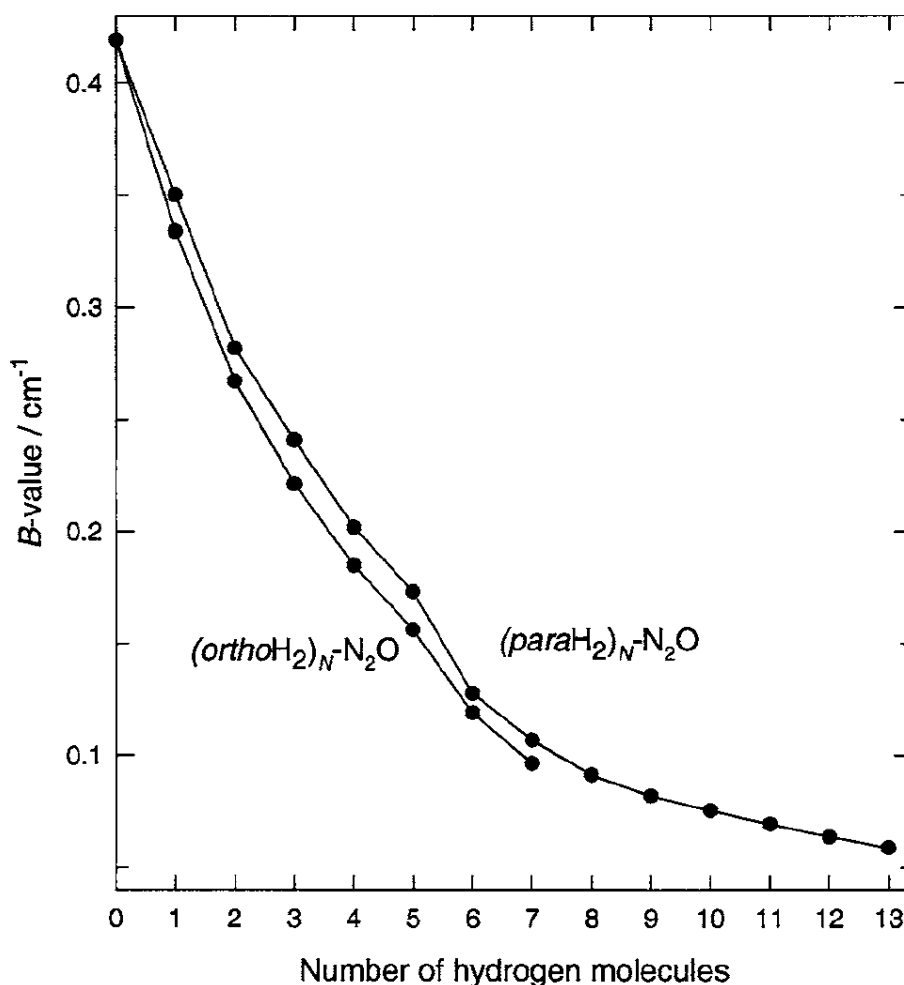


図 1 $(\text{H}_2)_N\text{-N}_2\text{O}$ の回転定数のクラスターサイズ (N) に対する依存性¹。ヘリウムの場合²と異なり、パラおよびオルソ水素クラスターのいずれの場合もサイズが増えるにつれ回転定数が減少している。これは、パラおよびオルソ水素クラスターで量子溶媒化が観測されていないことを示している。

【参考文献】

1. J. Tang and A. R. W. McKellar, *J. Chem. Phys.* **123**, 114314 (2005).
2. J. Tang et al., *Phys. Rev. Lett.* **92**, 145503 (2004).
3. J. Tang and A. R. W. McKellar, *J. Chem. Phys.* **121**, 3087 (2004).