

パルス超音速自由噴流中での Step-Scan フーリエ変換吸収分光

Step-scan fourier transform infrared absorption spectroscopy in supersonic free jets

平林 慎一[1], 平原 靖大[2]

Shinichi Hirabayashi[1], Yasuhiro Hirahara[2]

[1] 名大・環境・地球環境, [2] 名大・理・地球惑星

[1] Earth and Environmental Sci., Nagoya Univ, [2] Earth and Planetary Sci., Nagoya Univ

Diffuse Interstellar Bands (DIB)、や Unidentified Infrared (UIR) Bands など過去に報告された炭素質起源の星間有機分子の分子構造や励起・発光メカニズムの特定に向けて、パルスノズルと Step-Scan フーリエ変換型赤外分光器 (FT-IR) を組み合わせた分光装置の開発を行った。検出感度を向上させるために、真空チャンバー内にマルチパス光学系を導入した。その結果、約 3 倍に S/N の向上した C0 及び C2H2 の赤外吸収スペクトルが取得された。また C0 の回転温度は 5K と求められ、星間物質の候補となる各種不安定分子の吸収スペクトル測定が可能となった。

星間物質の分光学的研究は、宇宙における様々な物質の進化の解明において重要な手段である。これまで観測によって発見された星間分子は 100 種類を超えており、電波望遠鏡によりその多くが短寿命分子や不飽和炭素鎖分子であることが明らかになっている。また、最近の実験室における電子遷移の測定により、直鎖の負イオン C7⁻ が Diffuse Interstellar Bands (DIBs) の起源物質として同定されたように (Tulej et al., 1998) 不安定な炭素鎖分子の研究は重要である。一方で、赤外域には Unidentified Infrared (UIR) Bands と呼ばれる未同定な赤外蛍光バンドがある。観測・計算からこれらの発光バンドは分子サイズの多環芳香族炭化水素 (PAH) によるものと推定されているが、従来の実験室研究は常温・常圧あるいは不活性ガスマトリックス中でのスペクトル測定が主であり、星間空間での物理状態 (低温、低圧) とは大きく異なる。

本研究では、DIBs 及び UIR の起源物質と考えられている有機分子の構造や励起・緩和のメカニズムの特定に向けて、パルスノズルとフーリエ変換型赤外分光器 (FT-IR) を組み合わせた分光装置の開発を行った。FT-IR は Step-Scan モードで非連続的に動作させた上で、パルスノズルと同期させることにより、星間空間に近い条件での広い波長範囲 (2 ~ 14 μm) における高分解能スペクトルの取得が可能である。

アセチレン C2H2 を用いた初期実験では、波数分解能 0.25cm^{-1} で吸収スペクトルの測定を行い、理論計算により超音速自由噴流中の C2H2 の回転温度は 25-40K と求められた。また、取得されたデータはノズルからの距離と回転温度の関係から理論的な等エントロピー膨張の曲線をよく再現していた。しかし、取得されたスペクトルのノイズレベルは吸光度で 0.001 (rms)、S/N は 6-8 程度であった。また、断熱冷却により回転準位への分布がさらに制限されたスペクトルを得るためには、回転温度を 10K 以下にする必要がある。

そこで今回、検出感度を向上させるために、光学系の微調整、実験方法の改善、及び分光装置の改良を行った。まず、ノイズレベルを下げるために積算回数を 1 回から 8 回に増やし、100% C2H2 スペクトルの測定を行った。その結果、ノイズレベル=0.0003 (rms)、S/N=20 のスペクトルが得られ、S/N は約 3 倍となった。また、回転温度をさらに下げるために行った Ar ガスに希釈した 5% C0 を用いた測定では、回転量子数 J = 2 の 5 本の吸収線のみが現れ、超音速自由噴流中の C0 の回転温度は約 5K と見積られた。さらに、シグナル強度を強くするために、真空チャンバー内にマルチパス光学系の構築を行った。わずかに傾いた 2 枚の平面鏡を用いて赤外光を 7 回往復させた。このマルチパス光学系の導入により、約 3 倍に S/N の向上した C2H2 及び C0 スペクトルが取得された。また、C2H2 の吸収分光実験から、この装置の現時点での検出限界は吸光度で 0.0003、数密度で 9×10^{13} 個/cm³ と見積られた。また、パルス放電ノズル法への発展のために、ノズルの先端に 2 つの電極と 2 つの絶縁体を取り付け、電極に高電圧 (-1000V) パルスをノズルからのガスに同期・delay させて加え、電極間での放電を確認した。

本研究の結果、このパルスノズル+Step-Scan FTIR 分光装置は放電やレーザーを組み合わせることで、高分解能かつ高感度の気相での PAH の赤外蛍光スペクトル測定に対して相当の性能を発揮することが期待できる。