37. 気体分子に於ける非平衡分布の形成

田 中 義 人

断熱（自由）膨張過程によって並進温度が急激に極低温になる超音速分子線に於いては、分子の並進速度がそろい、衝突頻度が減少する為、自由度間での十分なエネルギー交換が実現されない。その為、分子の振動・回転温度が並進温度よりも高くなるという非平衡分布が生じる。さらに、この様なエネルギー交換が起こりにくい系では、一つの自由度内、例えば回転の自由度内に於いても、各準位の分子数分布が熱平衡状態から大きく外れている可能性がある。そこで、本研究では、 N_2O 、 CO_2 レーザー、 $10\mu m$ 帯の半導体レーザー及び、シュタルク変調を用いた高感度のレーザー分光法により、これまであまり測定例のない、ノズルから比較的離れた位置 ($x/D=350\sim 2000$; x :ノズル径、 D :ノズルからの距離)での NH_3 超音速分子線に於ける各回転準位の分子数分布を測定した。その結果、回転の自由度内に於いても、非平衡分布が形成されており、特に、 $(2,1,a)-(2,2,a)$ 間、 $(2,1,s)-(2,2,s)$ 間 ($()$ 内の数字は、左から、回転の量子数 J,K 、 a,s は、対称性を表す)で、反転分布が生じていることがわかった。そして、①双極子遷移の選択則に従い、準位に依存する緩和と、②個別つりあいの原理 (detailed balance)、および、③準位に依存しない緩和の3点を考慮したレート方程式モデルを立て、数値計算を行った結果、実験結果を再現、説明することができた。

超音速分子線の様に自由度間のエネルギー緩和の速さが小さくなる系に対して、自由度間を流れるエネルギーが大きくな系でも、自由度間で温度差が生じる可能性がある。その様な系として、高励起な系である導波路型 CO_2 レーザー媒質を取り上げ、その $(0,0,1)-(0,2^0,0)$ バンドの振動-回転遷移の小信号利得を測定し、回転の自由度内で熱平衡分布が達成され、温度が定義できるか、そして、定義できれば、回転-並進間で温度が異なるかどうかを調べた。その結果、回転温度は十分に定義されていることがわかった。これは、励起の速さに比べて、回転の自由度内での緩和が十分に速いことを意味している。また、回転と並進の自由度間では熱平衡になっておらず、回転温度の方が、並進温度よりも僅かに高くなっていることがわかった。これは、回転温度と並進温度が等しい通常のレーザーに比べて、導波路型 CO_2 レーザーが、高い励起によって大きなエネルギーが、振動、回転、並進の自由度間を流れるような系であることにより生ずる現象であると言える。