

角度分解コインシデンス電子エネルギー損失分光法による 2 電子励起メタンの研究

(東工大院化学) ○中里 智治、小田切 丈、福澤 宏宣、宮城 晴英、北島 昌史、河内 宣之

【序】分子多電子励起状態は、Born-Oppenheimer 近似と 1 電子平均場近似の両方の破綻が期待される系として興味深い。しかし、励起状態研究の有力な手法である電子エネルギー損失分光法では、圧倒的な直接イオン化の寄与に阻まれ、分子多電子励起状態を観測するのは非常に困難であった。そこで、我々のグループでは、中性解離フラグメントが放出する真空紫外光子で電子エネルギー損失スペクトルを標識する方法、名付けて『コインシデンス電子エネルギー損失分光法』を開発・実用化した^[1]。この手法は、イオン化の寄与を排除できるため、分子多電子励起状態の姿をスペクトル中に浮き彫りに出来るという利点を持っている。これまでに、様々な画期的な成果を挙げ、分子多電子励起状態研究の切り札としての地位を築きつつある^{[2]-[8]}。

さらに、我々のグループでは、位置敏感型電子検出器と 2 次元同時計数システムを組み合わせた第 2 世代コインシデンス電子エネルギー損失分光法を開発した。この第 2 世代システムの開発により、真空紫外光子標識付電子エネルギー損失スペクトルの測定時間を短縮することに成功した。例えば、 H_2 を対象に行った測定では、測定時間を約半分にまで短縮することに成功している。その結果、現実的な測定時間内で、様々な電子散乱角における、真空紫外光子標識付電子エネルギー損失スペクトルを測定できるようになった。このことは、分子多電子励起状態生成のメカニズムを研究する上で重要なことである。

そこで、今回この手法をメタンに適用し、入射電子エネルギー 80 eV、電子散乱角 12° 、 24° における Lyman- α 光子標識付電子エネルギー損失スペクトルを測定した。我々のグループでは、入射電子エネルギー 80 eV、電子散乱角 10° においてメタンの Lyman- α 光子標識付電子エネルギー損失スペクトルを測定し、光励起と電子衝突励起を比較すると、電子衝突励起が「2 電子励起/1 電子励起」比を増大させるという特異性を見出している^[8]。今回の測定は、この特異性のメカニズムを知る上で重要である。

【実験】図 1 に第 2 世代コインシデンス電子エネルギー損失分光システムの概略を示す。システムは、半球型電子モノクロメータ、位置敏感型電子検出器(Position Sensitive Detector, PSD)を組み込んだ半球型電子エネルギー分析器、マイクロチャンネルプレート(Microchannel Plate, MCP)と光学窓を組み合わせた真空紫外光子検出器および計数系で構成される。エネルギー分析器でエネルギー分析された散乱電子は、PSD で検出されると Position Analyzer(PA) で位置演算処理され、エネルギーに対応する 1 次元デジタルデータが出力される。一方、PA からのエネルギー非分散電子信号を start、MCP からの光子信号を stop として、Time-to-Amplitude Converter(TAC)に入力して、時間差に対応する 1 次元デジタルデータを得る。この 2 つのデジタルデータにはタイミング信号が付加され、2 次元同時計数システム(Coincidence-AT)で 2 つのデジタルデータの同時性を判断し、同時計数を測定する。これにより、エネルギー分散電子と Lyman- α 光子との同時計数の結果が、電子エネルギーと時間差の 2 つの軸を持つ 2 次元画像として取得される。この画像の解析から Lyman- α 光子標識付電子エネルギー損失スペクトルを得る。その縦軸は、電子のエネルギー損失、電子の散乱方向、および光子の放出方向についての 3 重微分断面積であり、横軸は電子のエネルギー損失である。

【結果・考察】 図 2 に入射電子エネルギー80 eV、電子散乱角 12°、24° におけるメタンの Lyman- α 光子標識付電子エネルギー損失スペクトルを示す。この 2 つのスペクトルは、Energy loss 21 eV 付近のピークにおいて規格化した。21 eV 付近にはメタン($\tilde{X}^1A_1(1a_1)^2(2a_1)^2(1t_2)^6$) の 1 電子励起状態($(2a_1)^{-1}(npt_2)^1$)に由来するピーク、それより高 Energy loss 側に 2 電子励起状態に由来するピーク群が出現している。電子散乱角が大きくなると、1 電子励起状態にくらべ 2 電子励起状態のピークがより顕著になるという興味深い結果が得られた。

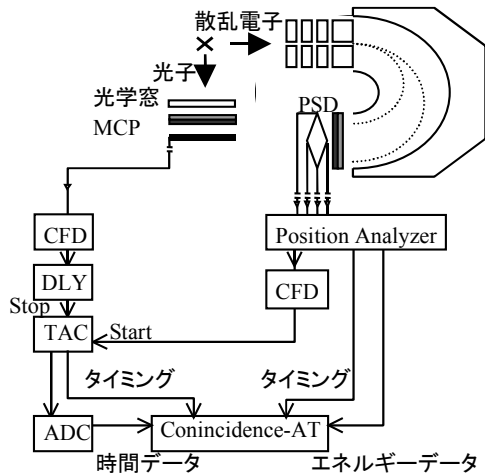


図 1 第 2 世代コインシデンス電子エネルギー損失分光システムの概略図(電子モノクメータは省略)

MCP : Microchannel Plate, PSD : Position Sensitive Detector, CFD : Constant Fraction Discriminator, DLY : Delay, TAC : Time-to-Amplitude Converter, ADC : Analogue-to-Digital Converter, Coincidence-AT : 2 次元同時計数装置

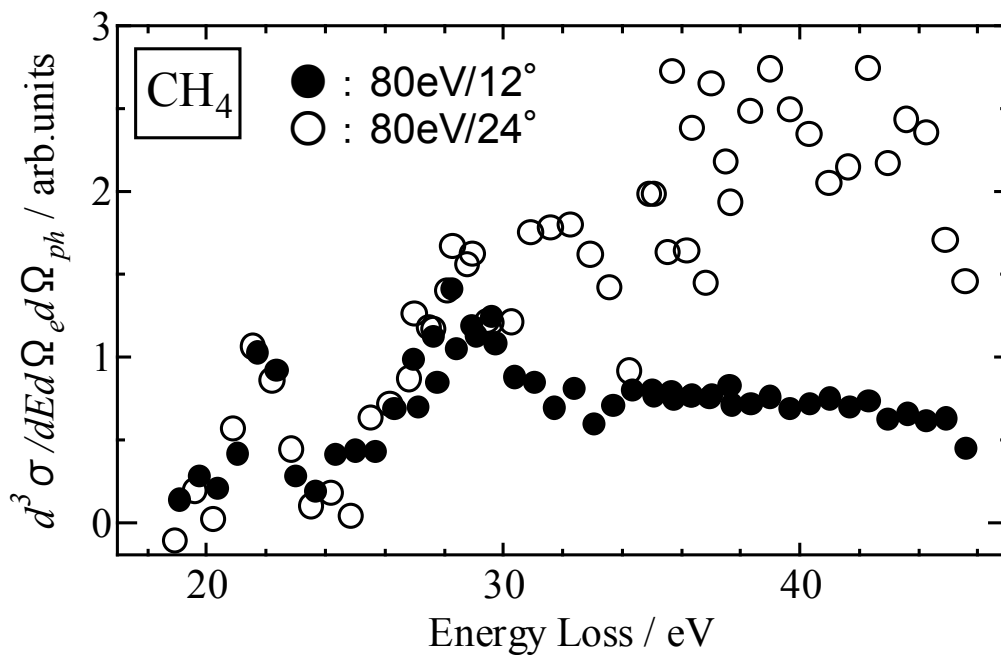


図 2 メタンの Lyman- α 光子標識付電子エネルギー損失スペクトル。入射電子エネルギーは 80 eV、電子散乱角は 12° (●)、24° (○)である。2 つのスペクトルは 21 eV 付近において規格化した。

- [1] T. Odagiri et al., J. Phys. B **28**, L465 (1995), [2] T. Odagiri et al., J. Phys. B **29**, 1829 (1996)
 [3] N. Uemura et al., J. Phys. B **31**, 5183 (1998), [4] T. Odagiri et al., J. Phys. B **32**, 1335 (1999)
 [5] T. Odagiri et al., J. Phys. B **34**, 4889 (2001), [6] T. Odagiri et al., Nukleonika **48**, 95 (2003)
 [7] T. Odagiri and N. Kouchi, Physica Scripta **T110**, 183 (2004)
 [8] H. Fukuzawa et al., J. Phys. B **38**, 565 (2005)