

# レーザーアシステッド電子散乱による分子イメージング

歸家令果, 森本裕也, 石田角太, 山内 薫  
東京大学 大学院理学系研究科 化学専攻

レーザー場中での電子 - 原子散乱過程では, 散乱過程を通じて  $n\hbar\omega$  だけ電子のエネルギーが変化する, laser-assisted elastic electron scattering (LAES) と呼ばれる現象が存在する ( $n$ : 整数,  $\hbar\omega$ : 光子エネルギー). この現象は, 原子と電子と光子との間の三体衝突過程であり, “原子と電子”, “電子とレーザー場”, および, “原子とレーザー場” との相互作用によって誘起される. しかし, CO<sub>2</sub> レーザー ( $I < 10^9$  W/cm<sup>2</sup>,  $\lambda = 10.6$   $\mu$ m,  $\Delta t > 2$   $\mu$ s) が用いられた従来の LAES 観測実験では, 原子とレーザー場との相互作用の効果は無視できる程に小さかった. そのため, 得られた観測結果は, 通常原子の電子散乱実験で得られる情報と, レーザー場中での自由電子の厳密解のみで説明することが可能で, LAES 実験から新たに得られる情報は無かった. また, レーザーのパルス幅が長いため, 標的原子の動的過程の時間分解測定という観点に基づいた研究も行われていなかった.

我々は, 高感度の LAES 観測装置を開発し[1], 近赤外域の高強度フェムト秒レーザー場 ( $I = 1.8 \times 10^{12}$  W/cm<sup>2</sup>,  $\lambda = 795$  nm,  $\Delta t = 200$  fs) における LAES 過程の観測に初めて成功した[2]. このような高強度レーザー場中では, 原子とレーザー場との相互作用が無視できず, 原子内の電子雲が擾乱を受けて変形し, その結果として, LAES 信号の小角散乱成分に特徴的なピーク構造が現れることが理論研究[3]によって予測されていた. この理論予測から 30 年以上を経て, 最近我々はこのピーク構造を実際に観測することに初めて成功した[4]. この現象は, 強光子場中の原子・分子内の電子雲の時空間発展が, LAES 信号のエネルギー分布と角度分布にフーリエ変換の形で織り込まれていることに起因しており, 高強度レーザー場中での原子・分子内の電荷分布の時空間発展を LAES 実験によって観測することも可能になると考えられる.

また我々は, 超短パルスレーザーによる LAES 過程の応用として新たな超高速電子回折法を考案し[1], 実際に四塩化炭素分子の電子回折像をフェムト秒の時間分解能で観測した[5]. この手法では, 時間分解能がレーザーのパルス幅のみで決定されるため 10 fs を切る時間分解能を達成することも可能となる. また, 従来の電子回折法と同程度の精度 ( $\sim 10^{-2}$  Å) で分子の幾何学的構造を決定できるため, 化学反応過程において時々刻々変化する分子の構造をこま送りで撮影することが可能になる.

[1] R. Kanya, Y. Morimoto, and K. Yamanouchi, *Rev. Sci. Instrum.* **82**, 123105 (2011).

[2] R. Kanya, Y. Morimoto, and K. Yamanouchi, *Phys. Rev. Lett.* **105**, 123202 (2010).

[3] F. W. Byron Jr. and C. J. Joachain, *J. Phys B* **17**, L295 (1984).

[4] Y. Morimoto, R. Kanya, and K. Yamanouchi, *Phys. Rev. Lett.* **115**, 123201 (2015).

[5] Y. Morimoto, R. Kanya, and K. Yamanouchi, *J. Chem. Phys.* **140**, 064201 (2014).