

## 大 森 賢 治 (教授)\*)

A-1) 専門領域：原子分子光科学、量子光学

A-2) 研究課題：

- a) アト秒精度のコヒーレント制御法の開発
- b) 量子論の検証実験
- c) コヒーレント分子メモリーの開発
- d) 分子ベースの量子情報科学
- e) 強光子場非線形過程の制御
- f) 高精度の化学反応制御

A-3) 研究活動の概略と主な成果

- a) コヒーレント制御は、物質の波動関数の量子位相を操作する技術である。その応用は、量子コンピューティングや結合選択的な化学反応制御といった新たなテクノロジーの開発に密接に結び付いている。量子位相を操作するための有望な戦略の一つとして、物質の波動関数に波としての光の位相を転写する方法が考えられる。例えば、二原子分子に核の振動周期よりも短い光パルスを照射すると、「波束」と呼ばれる局在波が結合軸上を行ったり来たりするような状態を造り出す事ができる。この波束は複数の振動固有状態の重ね合わせであり、結合の伸び縮みに対応した古典的な運動をする。波束の発生に際して、数フェムト秒からアト秒のサイクルで振動する光電場の位相は波束の量子位相として分子内に保存されるので、光学サイクルを凌駕する精度で光の位相を操作すれば波束の量子位相を操作することができる。我々は最近この考えに基づき、独自に開発したアト秒位相変調器 (APM) を用いて二つのフェムト秒レーザーパルス間の相対位相をサブ10アト秒の精度で操作するとともに、このパルス対によって分子内に発生した二つの波束の相対位相を同様の精度で操作する事に成功した。
- b) APMを用いて、分子内の2個の波束の量子干渉を100%のコントラストで完全制御し、重粒子の純粋な波動性を抽出する事に成功した。また、この高精度量子干渉を量子論的な重ね合わせ状態の検証に応用した。
- c) 光子場の位相情報を分子波束の量子位相として転写する分子メモリーの開発を行なった。ここでは、フェムト秒光パルス対によって分子内に生成した2個の波束間の量子位相差をサブ10アト秒の精度で操作し、これらの干渉の結果生成した第3の波束を構成する各振動固有状態のポピュレーションを観測することによって、それぞれの光パルスの位相情報が高精度で分子内に転写されていることを証明することができた。また、フェムト秒光パルス対の時間間隔をアト秒精度で変化させることによって波束内の固有状態のポピュレーションの比率を任意に操作できることを実証した。
- d) 分子メモリーを量子コンピューターに発展させるにあたって、c)のデコヒーレンス後のポピュレーション測定をコヒーレンスの直接測定に発展させる事が望ましい。そこで最近我々は波束干渉の実時間観測を開始した。APMによってヨウ素分子内に誘起される波束の発生から建設的あるいは破壊的干渉に至る一連の事象を、別のフェムト秒パルスを用いて実時間観測することに成功した。これによって、干渉後にも分子内にコヒーレンスが持続しており、ポピュレーション情報だけでなく、位相情報を操作して保存することが可能であることを実証した。振動固有状態の組を量子ビットとして用いる一分子量子コンピューターの可能性が示された。

- e) 強光子場中の原子分子の高次非線形過程を利用した高性能アト秒光パルス源を開発することを目的に、高強度位相変調パルス発生装置の製作とこれを光源とする希ガスビームの光電子分光測定装置の開発を行なった。
- f) サブ10アト秒の量子位相精度を達成したことによって電子励起状態を介した反応制御が可能になった。このような反応制御の第一段階として、 $\beta$ 原子分子での高精度波束干渉実験の準備を進めている。多原子分子は複数の振動モードをもっているので、 $\rho$ で開発した位相変調パルス発生装置とAPMを組み合わせたシンプルな波束干渉を用いて解離の分岐比を制御できる可能性がある。

#### B-1) 学術論文

**K. OHMORI, Y. SATO, E. E. NIKITIN and S. A. RICE**, "High Precision Molecular Wave-Packet Interferometry with Hg-Ar Dimers," *Phys. Rev. Lett.* **91**, 243003 (2003).

**E. I. DASHEVSKAYA, E. E. NIKITIN, K. OHMORI, M. OKUNISHI, I. OREF and Y. SATO**, "Energy Dependence of the Intramultiplet Mixing Cross Section in Hg-N<sub>2</sub> Collisions: Conical Intersection Mechanism, Indication at Tunneling and Interference," *Phys. Chem. Chem. Phys.* **5**, 1198-1204 (2003).

#### B-4) 招待講演

**K. OHMORI**, "Sub-10 Attosecond Manipulation of Quantum Phases," XX International Symposium on Molecular Beams, Lisbon (Portugal), June 2003.

**K. OHMORI**, "Sub-10 Attosecond Manipulation of Quantum Phases," XVIII International Conference on Molecular Energy Transfer, San Lorenzo de El Escorial (Spain), June 2003.

**K. OHMORI**, "Single Molecule Quantum Register," International Symposium on Ultrafast Intense Laser Science 2: propagation and interaction, Quebec (Canada), September 2003.

**K. OHMORI**, "Molecular wave-packet interferometry with sub-10 attoseconds quantum phase manipulation," Japan-Korea Joint Seminar on Frontiers of Advanced Molecular Science: Spectroscopy of Ultra-Resolution in Time, Space and Energy, Wako (Japan), November 2003.

**K. OHMORI**, "Sub-10 Attosecond Manipulation of Quantum Phases," The 5th Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics: CLEO/Pacific Rim 2003, Taipei (Taiwan), December 2003.

大森賢治, 「単一分子量子レジスター」, 特定領域研究「強レーザー光子場における分子制御」研究会『光子場デザインと分子制御』, 柏, 2003年1月.

大森賢治, 「光・電子波束制御エンジニアリング」, 東北大学多元物質科学研究所シンポジウム「特殊条件下の分子分光とダイナミクス 反応制御を目指して」, 仙台, 2003年10月.

大森賢治, 「サブ10アト秒精度の波束干渉計を用いた一分子メモリー」, 物性研短期研究会「短波長光などのコヒーレンスの生成・消滅に関する新しい知見と構想」, 柏, 2003年11月.

#### B-6) 受賞、表彰

大森賢治, 東北大学教育研究総合奨励金 (1995).

大森賢治, 光科学技術研究振興財団研究表彰 (1998).

## B-7) 学会および社会的活動

学協会役員、委員

分子科学研究会委員 (2002- )

学会の組織委員

International Conference on Spectral Line Shapes 国際プログラム委員 (1998- )

21<sup>st</sup> International Conference on the Physics of Electronic and Atomic Collisions 準備委員, 組織委員 (1999)

The 5th East Asian Workshop on Chemical Reactions 組織委員長 (2001)

分子構造総合討論会実行委員 (1995)

第19回化学反応討論会実行委員 (2003)

## C) 研究活動の課題と展望

今後我々の研究グループでは APMを高感度のデコヒーレンス検出器として量子論の基礎的な検証に用いると共に、より自由度の高い量子位相操作技術への発展を試みる。そしてそれらを希薄な分子集団や凝縮相、固体、表面に適用することによって、「アト秒量子エンジニアリング」と呼ばれる新しい領域の開拓を目指している。当面は以下の4テーマの実現に向けて研究を行なっていきたい。

デコヒーレンスの検証と抑制: デコヒーレンスは、物質の波としての性質が失われて行く過程である。量子論における観測問題と密接なつながりをもつ重要なテーマであるとともに、テクノロジーの観点からは、反応制御や量子情報処理のエラーを引き起こす主要な要因である。その本質に迫り、制御法を探索する。

高精度の化学反応制御: サブ10アト秒の量子位相精度は紫外光を用いたコヒーレント制御を可能にする。これによって分子の電子励起状態を利用した高精度の反応制御が可能になるであろう。

アト秒軟X線パルス源の開発と応用: 強光子場中の高次非線形過程をコヒーレント制御し、効率の良いアト秒軟X線パルス源の開発を目指す。これをアト秒時間分解分光に用いる。

分子ベースの量子情報科学の開拓: 高精度の量子位相操作によって分子内の複数の自由度を用いる任意のユニタリ変換とそれに基づく高度な量子情報処理の実現を目指す。

これらの研究の途上で量子論を深く理解するための何らかのヒントが得られるかもしれない。その理解はテクノロジーの改革を促すだろう。我々が考えている「アト秒量子エンジニアリング」とは、量子論の検証とそのテクノロジー応用の両方を含む概念である。

\* 2003年9月1日着任