

研究課題別中間評価結果

1. 研究課題名：真空紫外・深紫外ファイラメンテーション超短パルス光源による超高速光電子分光

2. 研究代表者：鈴木俊法（国立大学法人 京都大学大学院理学研究科 教授）

3. 研究概要

生命科学やナノテクノロジーなど現代科学や技術の広い分野で、分子の動的な挙動に関する深い理解が求められている。分子は電子と原子核から構成され、その中で圧倒的に軽く高速に運動する電子が化学反応を支配している。この高速な電子状態のダイナミクスをリアルタイムに追跡し、化学反応機構を解明するためには、反応しつつある分子の価電子を極短光パルスによって放出させ、その運動状態を解析する超高速光電子分光が最も有力である。ただし、光電子分光に適した深紫外・真空紫外領域の極短パルス発生技術は、レーザー開発で最も遅れている分野の一つである。本研究では、希ガスを非線形媒質としたファイラメンテーション四光波混合によって、深紫外・真空紫外(<200nm)領域の極短パルスを発生する新手法を開発し、光電子の速度角度分布を可視化する光電子イメージングを行う。さらに、分子の電子ダイナミクスが溶液中で如何に影響されるかを解明する新手法として、液体ビームの超高速光電子分光を新たに開拓する。本研究の成果は、リソグラフィや質量分析光源としての真空紫外光発生、気相・液相の反応ダイナミクスの解明による化学・物理・生命科学素過程の理解の両面で大きな波及効果が期待される。

これまでに、深紫外ファイラメンテーション光源を用いた超高速光電子分光を独自に開発し、従来不可能であった超高速光電子イメージング実験を実現し、過去 20 年以上理論研究者が議論してきた現象を実験的に検証した。また、液体の超高速光電子分光を初めて実現し、かつ、放射線化学・医学に重要な水和電子の電子束縛エネルギーを世界で初めて測定することに成功した。液体の時間分解光電子分光は、新しい溶液化学の研究手法となるだけでなく、ソフトマター・生命科学に関連する電子ダイナミクスの解明の突破口となる。

今後は、160nm 以下の短波長光を用いた深紫外 pump-真空紫外 probe による超高速光電子イメージングを開始する。その後は、同一の分子のダイナミクスを気相と液相で比較する研究を行う。この利点を十分に生かして、溶媒和電子の問題を含む溶液化学や生命科学の本質を突く研究に発展させる。

4. 中間評価結果

4-1. 研究の進捗状況及び研究成果の現状

深紫外・真空紫外領域の極短パルス(160nm (VUV 領域)で 20fs, 1mJ)を発生する新手法を希ガスファイラメンテーション四波混合で完成させ、その超短パルスレーザーを光源として、光電子の速度角度分布を可視化する光電子イメージング法を用いて化学反応解析を行った。その分子ダイナミクスの研究成果は、投稿した雑誌により同年の **Breakthrough of the year** に選ばれた。また、液体試料に対する磁気ボトル型TOFを用いた高感度の超高速光電子分光の実現は他に類をみない成果として、論文は高いダウンロードを示している。同じ分子を気相と溶液相で測定できることも大変魅力的である。これらは共に、研究成果が専門分野を同じくする研究者達から高い評価を得ていることを示しており、研究は順調に進展していると判断される。サブグループの研究者の移動により、光電子分光グループと光源開発グループを統合して、研究代表者のもとで研究を推進しているが、光源開発手法の変更があったために、深紫外・真空紫外超高速光電子イメージング測定にはやや遅れが見られるので、今後の加速を期待したい。

4-2. 今後の研究に向けて

開発した深紫外・真空紫外光源を用いた気相・液相の超高速電子イメージング測定が可能となるので、早めにもその効用を実証してほしい。特に、これまでの検証実験で使用した比較的簡単な分子に留まらず、触媒反応や生命現象に直接かかわるインパクトのある研究を期待する。先端的な装置開発の知財出願についても積極的に取り組むことが期待される。

また、液体の超高速光電子分光という極めて難度の高い、かつ世界に類のない魅力的な課題に挑戦する道筋を切り拓き、水和電子の光電子スペクトルの測定に成功しており、専用装置の整備を含めて、今後、溶液内の化学反応機構や放射線化学・医学などの基礎過程の理解に大きく貢献することが期待される。超高速の光電子分光を気相と液相の両方で実施できるメリットを活かして、分子ダイナミクスの分野に限らず、生命科学分野へも

貢献が期待できる。

4-3. 総合的評価

紫外・真空紫外領域の極短パルスを発生する新手法を開発し、光電子の速度角度分布を可視化する光電子イメージングを実現するとともに、液体ビームの超高速光電子分光技術を開発しており、一部に方針変更が見られるものの、全体としては順調に進捗している。新たな光源で、さらにエネルギー範囲を拡大した超高速電子イメージングを目指し、理論との連携も深めて欲しい。液体の超高速光電子分光については、当初計画にも組み込まれていたが、想定以上に研究が進展しており、その成果は高く評価できると同時に、インパクトは大きい。超高速光電子分光を気相と液相の両方で実施できるメリットを活かして、分子ダイナミクス分野に加えて、生命科学分野への大きな貢献を期待したい。