

研究課題別事後評価結果

1. 研究課題名： 原子分解能・低速電子ホログラフィーの開発

2. 個人研究者名

柳澤 啓史（東京大学物性研究所 研究員）

3. 事後評価結果

電子顕微鏡の観測には高エネルギーの電子を用いるため、生体分子の破壊が避けられず、特定の1分子の3次元原子構造を観測できるに至っていない。低速電子は生体分子へのダメージを極端に低減できるが、現状では原子分解能に到達するのは困難であり、本研究ではその低速電子線を用いて、全く新しい原子分解能・電子顕微の開発を目指した。

[どのような量子性をどのように扱ったのか]

- ・物質から光により放出されるコヒーレント電子ビーム（いわゆる量子ビーム）
- ・その物質や入射光を変えることでビームの物理パラメータを調節し、超高速で分子の波動関数や原子を観測

[達成状況とインパクト]

柳澤研究者はフェムト秒パルスレーザーにより1分子から光電子を誘起することに成功し、1分子における光誘起・超高速電子ダイナミクスを観測できる手法を開発した。本研究では主に2つのテーマを中心に進めた。①原子分解能・電界電子放出顕微鏡（FEM）装置の開発では、従来技術の空間分解能が1~2nm程度で原子分解能には及ばない課題に対し、カーボンナノチューブ（CNT）に軟X線を当て、その際に励起される光電子を用いたFEMで原子分解能を獲得する方法の検討を行った。具体的には、1分子電子源にフェムト秒パルスレーザーを照射することで、超高速光電子パルスを1分子から放出させ、1分子内の超高速電子ダイナミクスを観測できる手法の開発に取り組んだ。また軟X線をCNTに集光する超高真空装置も考案し、CNT作製の検討や1分子実験のための分子蒸着を可能にするための工夫をしつつ、さまざまな試料や蒸着分子を真空内で簡単に交換・試験できるようなシステムを構築した。試料の位置はすべてコンピュータで制御できるようにもなっている。柳澤研究者は本研究領域に採択後、コロナ禍の中で欧州から帰国しており、このように着実に大型装置の立ち上げを進めたことは高く評価される。一方で、当初の研究計画において重要な目標であった、CNTを用いた研究の進展が分かりにくかったことが残念である。今後、CNT先端から放出される電子によるイメージングについての原理実証が望まれる。②針上の安定分子構造の計算と1分子電子源からの電子放出パターンの物理の解明では、これまでの70年間解明されなかった針上に蒸着した分子からの電子放出パターンのモデル化にも取り組んだ。構造最適化計算と実験データとの比較から、針上に蒸着された分子集団に強DC電場が印加された際に、1分子電子放出源が形成されることを見出し、1分子電子源の電子放出パターンを再現できる計算モデルの開発に至った。特に1分子の強電場下での電子状態の計算では、本研究領域内の鬼頭研究者（1期生）との連携を進め、1分子からの電子放出パターンの解明につながった点は高く評価できる。Anti11研究者（3期生）や小西研究者（2期生）との新たな連携にも期待したい。

本技術がどのような生命活動・分子挙動への計測に応用できるかの方向性について、柳澤研究者は、光合成における光のエネルギーの取り込み過程など、フェムト秒という短い時間で起こる光励起電子の超高速ダイナミクスの微視的な挙動の解明を挙げている。実際に200 eVくらいまで下げた低速電子線を利用することで生体分子の破壊を抑えることができるとして、どのような生体分子を選択するかを明確にしつつ、本研究の成果が革新的技術に展開していくことを期待したい。