

## 【特別推進研究】

### 理工系



## 研究課題名 分子および分子集合体の動的挙動研究のための 分子電子顕微鏡技術の開発

東京大学・大学院理学系研究科・特任教授

なかむら えいいち  
中村 栄一

研究課題番号： 19H05459 研究者番号：00134809

キーワード： 構造解析、電子顕微鏡、微量分析、有機化学

#### 【研究の背景・目的】

研究代表者は2007年に、高分解能電子顕微鏡（電顕）による有機分子1分子1分子の動的挙動のビデオ撮影を世界に先駆けて報告した。それまで主として生物や材料方面での静的な固体の構造解析を対象としてきた電顕の世界を、動的な分子の構造研究と結びつけた初めての研究である。この背景の元、本研究では、超高速カメラを備えた最新鋭の原子分解能電顕を最大限に活用して「単分子原子分解能実時間電顕法（SMART-EM\*）によりミリ秒レベルでの高速2次元動画を撮影し、さらにはナノレベルの3次元情報を取得する。この結果に基づき、分子および分子集合体の動的挙動研究のための「分子電顕技術（molecular electron microscopy）」という新しい分子科学の手法を確立し、さらにこの手法を触媒、有機エレクトロニクス、医薬、生物科学分野に展開することを目的とする。（\*Single-molecule atomic-resolution real-time electron microscopy）

分子電顕技術 (Molecular electron microscopy) で拓く  
分子科学の新領域

電顕に馴染みの少ない  
化学の世界

生物・材料応用が主体だった  
電顕の世界

単分子原子分解能実時間電顕法 (SMART-EM法)  
「ミリ秒の分子動画」「単一分子の動的挙動研究」

触媒、有機エレクトロニクス、医薬、  
生物科学に関する基礎科学の革新

図1 全体構想図

#### 【研究の方法】

単一分子の動的挙動を直接観察出来る点において SMART-EM法は「クライオEM」や「マイクロ電子回折 (ED)」とは質的に異なる研究手法である。すなわち、多数の単一分子の振る舞いを実時間観察して、その統計的解釈からマクロの化学的、物理的性質や反応性の理解に結びつけることを可能とする新しい手法である。本手法により反応溶液中の1分子1分子の単離と構造決定、一つ一つの化学反応事象の時間変化の「その場」観察等という、実現不可能と考えられてきた実験手法が拓ける。

時々刻々と形を変え、また化学反応する分子を、原子分解能の動画として捉えることは化学者の夢であ

り、また顕微鏡科学の究極目標の1つである。2007年時点では1秒間に1枚しか撮影できなかった電顕像が、最新鋭機によって1秒間に1600枚もの画像が撮影できる。さらにノイズ除去や動画の自動解析などのソフトウェア開発を通じて、分子の動きや反応の高速ビデオ撮影を実現し、複雑な有機分子の構造変化や、個々の分子の行う化学反応の時間分解追跡など分子科学における重要な基礎化学的知見を取得する。

#### 【期待される成果と意義】

本特別推進研究は、SMART-EM法を中心とした各種電顕技術の開発と、それを活用した触媒、有機エレクトロニクス、生命科学での問題解決を車の両輪として推進する。極微量反応中間体の捕捉・構造同定や非晶質有機物集合体の構造解析など従前の手法では解明できない分子種の動的挙動を解明する。また、一分子構造解析とその統計解析による複雑混合物の究極微量分析、個別反応事象の「その場」反応観察、逐次反応の各段階の個別観察を実現できれば、バルク溶液や固体の研究からは知ることのできない化学反応研究の新局面が開拓できると期待される。

本研究によって、分子の時々刻々の動きや反応を目の当たりに見てみたいという、ドルトンの原子説以来の化学者の夢が叶うことになる。さらに、このような体験を若者と分かち合うことにより、分子や原子の科学が人々により身近なものとなるだろう。

#### 【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- M. Koshino, T. Tanaka, N. Solin, K. Suenaga, H. Isobe, E. Nakamura, Imaging of Single Organic Molecules in Motion, *Science*, **316**, 853, (2007).
- E. Nakamura, K. Harano, Chemical Kinetics Study through Observation of Individual Reaction Events with Atomic-Resolution Electron Microscopy, *Proc. Jpn. Acad., Ser. B*, **94**, 428-440, (2018)

#### 【研究期間と研究経費】

令和元年度一令和5年度 475,200千円

#### 【ホームページ等】

<http://www.chem.s.u-tokyo.ac.jp/~common/NakamuraLab.html>

[nakamura@chem.s.u-tokyo.ac.jp](mailto:nakamura@chem.s.u-tokyo.ac.jp)