

1. 研究領域名：非平衡ソフトマター物理学の創成：メソスコピック系の構造とダイナミクス

2. 研究期間：平成18年度～平成22年度

3. 領域代表者：太田 隆夫（京都大学・大学院理学研究科・教授）

4. 領域代表者からの報告

(1) 研究領域の目的及び意義

ソフトマターとは高分子、液晶、両親媒性分子、コロイド、エマルジョン、生体物質、ガラス、粉流体などの物質群に対する総称である。ソフトマターの構成分子は比較的大きく、分子が自己集合したときメソスコピックな内部構造が出現する点に最大の特徴がある。ソフトマターのもう一つの特徴は、力学的に「ソフト」な応答を示し、同時に非常にゆっくりとしたダイナミクスを発現することである。言い換えると、ソフトマターは小さな外場で大きな構造変化を示す非線形性と、熱平衡への緩和での著しく遅いダイナミクスを兼ね備えている。ソフトマターにおける構造形成のメカニズムを解明しそのダイナミクスを理解することは、21世紀の基礎科学の重要な研究課題であり、産業への多大な波及効果が期待できる。

そのため、本研究領域ではソフトマター物理学と非平衡物理学の融合的研究により、流動場、電場、磁場、力学場、光などの一般的外場に対する柔らかい分子集団の構造形成と、外場によってもたらされる非平衡状態を解明することを目的とする。我々はソフトマターにおけるメソスコピック構造の制御を目指し、実験・理論・計算機シミュレーションによる構造とダイナミクスの基礎的研究を推進する。そのために、ソフトマター物理、非平衡物理、レオロジー、物理化学、高分子化学など様々な分野の研究者が結集し、それぞれの新しい方法論、技術手法の開拓を図りながら集中的な研究を推進する。最終的には非平衡ソフトマター物理学という新しい学問分野が創成されると同時に、マイクロとマクロの中間の長さをもつメソスコピック構造を効率的かつ能動的に制御できるようになり、21世紀の様々な産業に資することが期待される。

(2) 研究の進展状況及び成果の概要

本研究領域は16の計画研究および29の公募研究で構成されている。発足後の原著論文の発表数は350件を越えており、多数の顕著な成果が得られている。さらに、研究項目間の連携による共同研究の成果も着実に蓄積されつつある。具体的な学術的成果としては、3成分ブロック共重合体を高度な技術を用いて精密合成し、これまでに得られていない新規階層のマイクロ相分離構造を見出した(A01)。共焦点レーザー顕微鏡とレオメーターが合体したシステムを新たに構築し、外場（せん断応力、電場）下における種々の非相溶ブレンドにおける構造とレオロジー的性質の関係を解明した(A02)。熱流と物質量の結合や熱流と液晶秩序度の結合により、コロイド粒子や生体分子の運動制御が可能であることを発見し、応用と非平衡基礎物理の両面からの研究が進展した(A03)。臨界溶液に塩を添加すると、溶媒和効果により新規なマイクロ相分離構造が出現することを理論的に予測し、小角中性子散乱によって実験的に検証した(A04)。また、研究項目間の連携による著しい成果としては、多成分ベシクルにおける相分離や形態転移の外場による制御が挙げられる。これらを含む学術的成果は、原著論文はもとより、国際シンポジウムの開催などを通じて世界に向けて発信している。結果として、15名のメンバーが受賞に至っている（国際的なものも含む）。以上のように本研究領域は順調に進展しており、テーマごとのワークショップや若手勉強会なども積極的に開催し、次世代の研究者の育成にも努めている。日本で非平衡ソフトマター物理学という新しい学問領域が推進されていることは、海外からも注目を集めて高く評価されており、本研究領域を中核としたソフトマターの国際的ネットワークが構築されつつある。

5. 審査部会における所見

A (現行のまま推進すればよい)

「ソフトマター」と「非平衡」を旗印として多様な研究が進められており、興味深い成果も得られ始めている。これらの旗印の下に、研究に関する議論を行う拡大総括班会議などにより有機的連携を図りつつ、若手を中心とした研究者が主体的問題意識に基づいて研究を進める雰囲気作りに努められている。また、多成分ベシクルの相転移や形態転移などで共同研究の芽が出つつあることは評価する。今後は、普遍的な原理や法則を解明する理論的な研究や、ソフトマターと非平衡系物理の融合をさらに進め、特定領域として統一感のある成果が得られることを期待する。国際的活動の強化や若手の育成についても一層の推進を期待する。