

	研究代表者	東京大学・大学院理学系研究科・准教授 竹内 一将（たけうち かずまさ）	研究者番号：50622304
	研究課題情報	課題番号：26A202 キーワード：非平衡物理学、ソフトマター、固体物理学、量子物理学、流体力学	研究期間：2026年度～2030年度

なぜこの研究を行おうと思ったのか（研究の背景・目的）

●研究の全体像

粒子が集まり相互作用することで、集団スケールで不思議な現象が生じる例は枚挙に暇がなく、創発現象と呼ばれている。従来、創発現象は、熱的な釣り合いが保たれた状況、すなわち平衡状態で調べられてきたが、その釣り合いが大きく破れた非平衡状態で初めて生じる驚異的な創発現象が多々あることが明らかになってきた（図1）。こうした非平衡創発現象の研究は、固体材料や量子物理学の潮流（固体量子系）とソフトマター等の古典系や統計物理学の潮流（ソフト古典系）で発展させられてきたが、本領域「動的物質科学」は、この二潮流を統合することで、物質に潜む未踏の動的創発現象を切り拓く。双方の理論的手法、実験技術や材料を結集することで、非平衡創発に関わる新しい現象群を開拓するとともに、動的物質科学を基礎づける普遍的な方法論の創出を目指す。我々が目標とする方法論は、物質が舞台の動的創発現象を司る本質要素を抽出した体系であり、動的創発現象の理解だけでなく設計や制御も視野に入れている。これにより、動的創発現象を活かした革新的な技術開拓・材料開発へ展望を拓くこともできる。

「動くこと」= 非平衡性 — 驚異的な創発現象の源泉

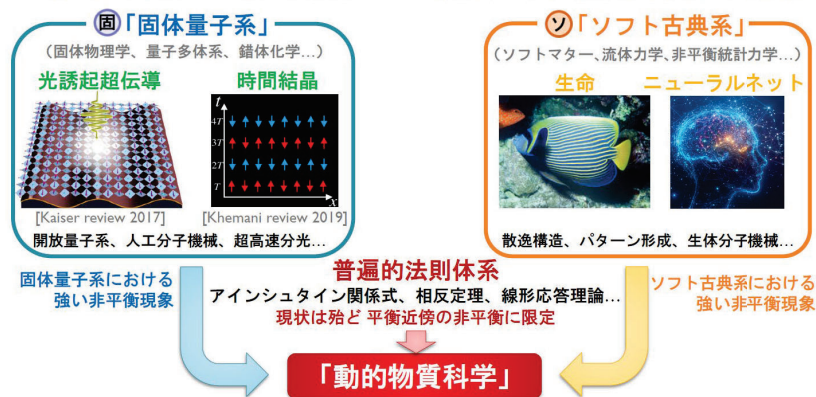


図1 動的物質科学のイメージ図

●研究の背景と動的物質科学の三本柱

非平衡創発現象はこれまで、固体量子系・ソフト古典系の各潮流で熱心に関拓されてきたが、双方を横断する知見は限定的だった。しかし近年、この二潮流を横断する学理が存在するのではないかと期待させる画期的な成果が、特に我が国の研究者から相次いで発表され始めた。我々はこれに着目し、それらを動的物質科学の種と捉えて芽吹かせることで、新たな学問体系を創成する道筋を見出した。それら萌芽的研究は、時空間秩序・粒子駆動・非線形流動という特徴で整理でき、ソフト古典系で築かれてきたパターン形成・アクティブマター・流体力学の学理と呼応している。そこで我々は、これらキーワードを足掛かりにソフト古典系と固体量子系の統合を進めていく「パターン物質科学、アクティブ物質科学、準粒子流体物質科学」を動的物質科学の三本柱と定め、これらが結びついて相乗効果をもたらす形で動的物質科学を構築していく。

●計画研究の構成

本領域の計画研究は、以下一覧と図2に示す通りである。全ての計画研究で固体量子系とソフト古典系が融合し、理論家と実験家が連携しているため、共同研究が多数生み出されていく。また、本領域は、動的物質科学という挑戦に燃える野心的な若手が原動力の中心であり、研究代表者に30代の若手が3人入る一方で、経験豊富な熟練研究者もバランスよく配置し、目標が最大限に達成可能な布陣となっている。

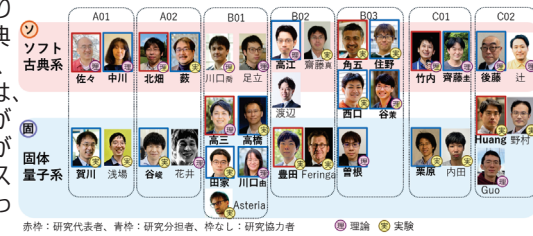


図2 計画研究のメンバー構成

A：パターン物質科学

A01「強相関物質で創発する非平衡パターン」（代表：佐々 真一）

A02「光誘起非相反相互作用の人工制御による動的パターン形成」（代表：北畑 裕之）

B：アクティブ物質科学

B01「量子多体系におけるアクティブマター物理の開拓」（代表：高江 翔）

B02「人工分子モーターによるアクティブ固体創成」（代表：豊田 良順）

B03「量子inspiredアクティブマターと機能デザイン」（代表：角五 彰）

C：準粒子流体物質科学

C01「非平衡スピンゆらぎの流体普遍法則の究明」（代表：竹内 一将）

C02「フォノン流体力学の非線形効果解明」（代表：HUANG Xin）

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

●パターン物質科学の例（A01）

A01浅場らは、固体蒸着薄膜に数原子幅の細線が形成される現象を発見した（図3左）。これは平衡状態の理論では説明できず、むしろ熱帯魚の体表模様などの例が知られるTuring機構と類似するが、既存理論は原子スケールに適用できない。そこで我々は、このような強相関物質の非平衡パターンを、細線現象に留まらずに取り扱う体系構築を目指す。我々が構築する学理は、将来的に、革新的な構造形成技術などに自然と繋がる可能性を秘めている。

●アクティブ物質科学の例（B03）

数学の概念であるトポロジーが物質に新たな状態をもたらす、特有の輸送現象を示すことは固体量子系で熱心に研究されている。我々はこうしたトポロジカル科学をソフト古典系で展開し、非平衡・非エルミート系の非線形領域を含めた新たなトポロジカル現象を開拓する。特に、微生物や生体分子、自ら動く液滴などのアクティブマターの系（図3中央）で展開し、機能デザインに繋げる。

●準粒子流体物質科学の例（C02）

C02 Huangと野村らは、グラファイト中の熱輸送で、格子振動を伝える固体量子であるフォノンが水のように流れることを示す熱輸送現象を発見し（図3右）、流体に着想を得たデバイスで熱整流を起こせることを実証した。これはフォノン流体の非線形性の証左である。我々は、フォノン工学と古典流体力学の融合によってフォノンの非線形流体力学を構築し、熱整流に留まらない多彩なフォノン流体現象の開拓を目指す。

図転載

左: Asaba et al., Sci Adv 2023. 中央: Sone & Ashida Phys Rev Lett 2019; Nishiguchi et al., Nat Comm 2018, Akter et al., Sci Robot 2022. 右: Huang et al., Nat Comm 2023.

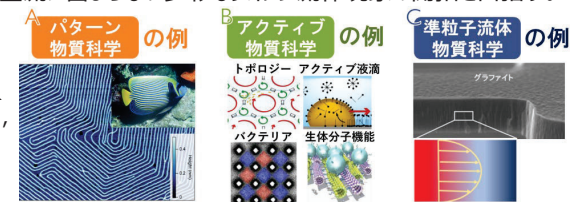


図3 パターン物質科学、アクティブ物質科学、準粒子流体物質科学の例

