

2022年 第83回応用物理学会秋季学術講演会

シンポジウム (T23) 「トポロジカルフォノンクス/メカニクスとその周辺科学の展開」

主催：合同セッション N 「フォノンエンジニアリング」

日時：9月21日（水）13:30～17:15

会場：東北大学川内北キャンパス A307

世話人：鶴田健二（岡大）、畑中大樹（NTT）

1980年の量子ホール効果の観測以来、物性物理からスピントロニクス、フォトンクスと様々な分野において波及してきたトポロジカル数理科学の枠組みが、ここ数年、フォノンクスやメカニクス分野においても導入されつつある。これには、フォノンニック結晶や音響メタマテリアルを用いたフォノンエンジニアリング技術の進展は勿論のこと、トポロジカル絶縁体の物理やスピン系、フォトン系への応用に関する方法論が確立されたことが要因として大きい。バルクエッジ対応により構造の擾乱や欠陥に対してロバストな伝導が保証され、音波や弾性波の高効率かつ非相反な輸送が可能となり、超音波エコーやソナー、表面弾性波フィルタなど既存の音響・弾性システムの感度や効率の向上、新機能創出につながるという期待が、昨今の研究の急速な発展を推し進める原動力となっている。本シンポジウムでは、トポロジカルフォノンクス/メカニクス研究の基盤技術を提供するフォノンエンジニアリング分野と、その成り立ちやこれまで、そしてこれからの進展に、多大な影響を与えるトポロジカル物性とスピントロニクス、フォトンクスといった周辺科学分野において活躍する研究者を招き（6件の招待講演、1件の一般公演）、各分野の研究動向や最新の研究成果について意見交換、そして、これら異分野との技術融合を通じたトポロジカルフォノンクス、メカニクス研究の将来性について議論した。

はじめに、初貝安弘先生（筑波大）より「バルクエッジ対応の科学：古典力学系への期待」という題目のもと、量子ホール効果やラフリンの議論といったトポロジカル絶縁体研究の黎明期から今日に至るまでの歴史について振り返りがあった。そして、トポロジカル相の代表的性質であるバルクエッジ対応の具体的な使い方として、バルクのチャーン数によるエッジ状態の有無の確認方法についての説明や、当該現象の普遍性を示す例として、フォトンクスやフォノンクス構造、更には、気象現象や細胞の運動といった自然現象との類似性について議論がなされた。

次に、フォノンクス分野から2件の講演があった。友田基信先生（北大）からは「1次元力学系メタマテリアルによるバンドギャップ形成とトポロジカルな境界モードの演示」という題目のもと、物理教育に用いられるウェーブマシンを使ったバンドギャップ効果やトポロジカル局在状態を可視化する実験について紹介があった。さらに、その設計自由度の高さを活用した時空間回折効果や振動の制御に関する最新の研究成果について具体的な装置の動作を明示しながら議論がなされた。続いて、山口浩司氏（NTT）からは、「電気機械共

振器アレイによるトポロジカルソリトン」という題目で、マイクロ電気機械振動子 (MEMS) における非線形パラメトリック振動の双安定性を利用したトポロジカルソリトンに関する理論提案がなされた。講演では、 0 と π の振動間に現れる位相界面がソリトンのように MEMS アレイを伝搬していく様子や、構造の損失が伝搬に与える影響、そして、衝突による対消滅に関する計算結果の解析と一般的なソリトンと相違性について議論がなされた。更に、それを二次元に拡張した磁気スキルミオンについての考察も行われ、Dzyaloshinskii-Moriya 相互作用を模した結合パラメータを MEMS 間に導入することで、磁気スキルミオンやスキルミオン格子のような二次元的に安定した振動位相のテクスチャ構造が形成されることが示された。

フォトニクス分野からは岩本敏先生 (東大) が「フォトニクスの視点で眺めるトポロジカルフォノニクス」という題目のもと、物性物理からフォトニクスへ、さらには、フォトニクスからフォノニクスへという異なる二つの観点からトポロジカル科学の研究についてご講演があった。光や音波、弾性波などの古典波動系におけるトポロジカル構造の作り方や、フォトニック結晶における境界エッジモードの励起に関する最近の研究成果について説明があった。最後に、電子や、フォトン、フォノンの類似点や相違点、トポロジカルフォノニクスへの期待することなどについて提言があった。

スピントロニクス分野からは、林将光先生 (東大) と能崎幸雄先生 (慶応大) の両先生からそれぞれ「スピントロニクスとフォノニクス」、「非一様系の局所角運動量に由来する磁気回転効果を用いたスピントロニクス」という題目のもと、マグノメカニクスに関するご講演があった。林先生のご講演では、表面弾性波 (SAW) と強磁性体や反強磁性体の複合構造において現われる、磁気弾性効果 (磁気ひずみ) を介した音響スピンホール現象や、SAW 共振効果が結合効率に与える影響についてなど、最近の研究成果とともに議論がなされた。能崎先生からは、フォノン角運動量のベリー曲率を介した新しいマグノン・フォノン相互作用であるスピン回転結合の物理、それを用いたスピン流生成や SAW の非相反伝送に関するこれまでの一連の研究成果に関して紹介がなされた。

最後に、一般講演で畑中大樹氏 (NTT) から「極超音波バレートポロジカルフォノニック結晶」という題目で、GHz フォノニック結晶素子を用いたバレー型のトポロジカル弾性構造に関する具体的な研究の取り組みに関して報告があった。

本シンポジウムを通して、トポロジカルフォノニクス/メカニクスの今後の発展には、トポロジカル材料科学や物性物理、フォトニクス、スピントロニクスなどの周辺科学からの支援が必要不可欠であることが再認識された。特に、フォノンの中でも将来は弾性波や高周波振動がより重要になってくると思われ、その制御にはこれら異分野技術の導入や融合が益々必要性を帯びてくる。本シンポジウムをきっかけに、フォノニクス、物性物理、スピントロニクス、フォトニクスの分野横断的な交流が促進され、国内においてトポロジカルフォノニクスの研究がより大きな潮流となることを期待する。