

1次元フォノン系におけるトポロジカルな境界モードの演示

Demonstration of topological boundary modes in a one-dimensional phononic system

北大工 ○友田 基信, 田島 滉也, 武田 颯, 松田 理, Oliver B. Wright

Hokkaido Univ., °Motonobu Tomoda, Koya Tajima, Hayato Takeda, Osamu Matsuda,
Oliver B. Wright

E-mail: mtomoda@eng.hokudai.ac.jp

トポロジカル絶縁体表面における電子の方向性伝播は、バルクのトポロジカル不変量によって解釈が可能である。このバルクエッジ対応は物性物理分野だけでなく、光学のフォトリック結晶、音響学や古典力学系のフォトリック結晶においても成り立つ普遍的な現象であると近年認識されるようになってきた[1]。これらの空間周期性を持つ系におけるトポロジカル相は幾何学的位相である Berry 位相を使って説明されるが、その概念を理解するのは容易とは言えない。

我々は、特定の周波数の波に対して指向性を持つ伝搬を実現する力学的メタマテリアルの基礎として、高等学校の物理での演示実験で用いられるウェーブマシンに着目し開発を行っている。ウェーブマシンは、図1のように伝搬するねじれ波を縦波に、棒の慣性モーメントを質点の質量に、ねじれ係数をバネ定数に対応させると、周期的な質量とバネからなる1次元フォノン模型と同じ形式になる。周期的に棒の先端に追加の重りをつける、もしくは棒の間隔を周期的に変えると、フォノンという音響分枝の他に、光学分枝やバンドギャップを生成することができる。この系のトポロジカル相は、1次元の幾何学的位相である Zak 位相によって特徴づけられ、その値は量子化され 2π を法として 0 か π のどちらかを取る[2]。どちらの値を持つかは単位格子の選び方によって変わり得る。途中で質量もしくはバネ定数の周期がずれた部分があると、そこが2つの異なったバルク相の界面となり、トポロジカルな境界モードが立つ。本研究ではこのトポロジカルな境界モードを可視化する。

1次元の古典力学系におけるトポロジカルな境界モードを観測した実験は存在するが、振動をリアルタイムで可視化する方法ではない[2]。量子力学系よりは古典力学系が、2次元3次元よりは1次元が、連続系よりは離散系がより簡単であることを考えると、本研究はトポロジー物理の入門部分を目に見える形で最も簡単に示す実験と言える。

[1] G. Ma, M. Xiao and C. T. Chen, Nat. Rev. Phys. 1, 281 (2019)

[2] R. Chaunsali *et al.*, Phys. Rev. Lett. 119, 024301 (2017)

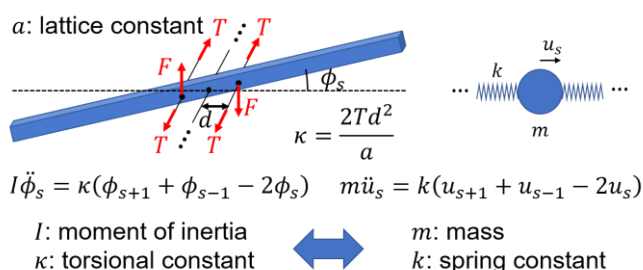


Fig. 1 The correspondence between a wave machine and a mass spring model.



Fig. 2 View of the basic wave machine. About 100 unit cells are constructed with square rods and threaded wires.