

## 転位線に沿って現れる永久電流

### [1] 要旨：

磁場の無い単連結構造のワイル半金属において、永久電流（平衡状態における電荷流）に関する新しい知見が得られた。螺旋転位をもつ結晶構造では転位線に沿って一次元的なカイラル状態が現れ、それによって永久電流が引き起こされることを理論的に示した。また試料内において永久電流がたどる道筋を示すループ構造が明らかにされた。

### [2] 本文

ワイル半金属とは低エネルギー領域におけるエネルギー分散がワイル方程式に従う物質をさす。その電子状態はカイラリティの異なる円錐状の線形分散バンドの対から構成され、各バンドの伝導帯と価電子帯が接触する点はワイル点と呼ばれる [図 1(a)]。ワイル半金属の特徴の一つは、対をなすワイル点間にフェルミ・アークと呼ばれるカイラルな表面状態が現れることである。簡単のため、一对のワイル点が波数空間の  $k_z$  軸上に位置し、系は上面と下面が  $xy$  面に平行な角柱状であると仮定する [図 1(b)]。この場合、カイラル表面状態は系の側面に現れ、カイラリティによって決められた方向に周回する。このようなワイル半金属に  $z$  軸方向の螺旋転位を導入すると、ワイル点間に一次元的なカイラル状態が現れる。この状態は転位線近傍に局在し（カイラル表面状態と同様に）特定の方向にのみ伝播するため、永久電流を引き起こすと期待される。これまで永久電流は金属や半導体において実験的に観測されているが、それらはリング状の二重連結構造に磁場を加えて誘起したものであった。磁場の無い単連結構造での発現機構は知られておらず、カイラル状態が永久電流に及ぼす影響はこれまで解析されていなかった。

最近、広島大学大学院先端物質科学研究科の研究グループは螺旋転位を内包するワイル半金属において、一次元的なカイラル状態に起因する永久電流が転位線の周りに現れることを見だし、その電流の大きさはワイル点近傍の有効的な伝導電子数に比例し、向きはカイラリティによって決まることを理論的に明らかにした。この成果は、日本物理学会が発行する英文誌 *Journal of the Physical Society of Japan* (JPSJ) の 2019 年 5 月号に掲載された。

永久電流は平衡状態における電荷流であり、試料内において閉じた経路をたどる。したがって転位線近傍に一方向の流れが現れるなら、どこかに逆方向の流れが生み出されるはずである。この逆方向の流れは主としてカイラル表面状態が担うと考えられるが、転位線に沿った順方向の流れとの繋がり方はどうなっているか興味のあるところである。本論文では、螺旋転位をあらわに取り込んだ格子模型を用いて数値計算を行い、転位線に連なって上面と下面に現れる原子ステップ構造が重要な役割を果たし、転位線近傍に生じた永久電流はこの原子ステップを介して側面の表面電流と接続されることを明らかにしている。[図 1(b)]。この結果は、結晶転位や原子ステップを組み合わせることで一方通行な回路が構成できる可能性を示唆し、今後の研究の展開が期待される。

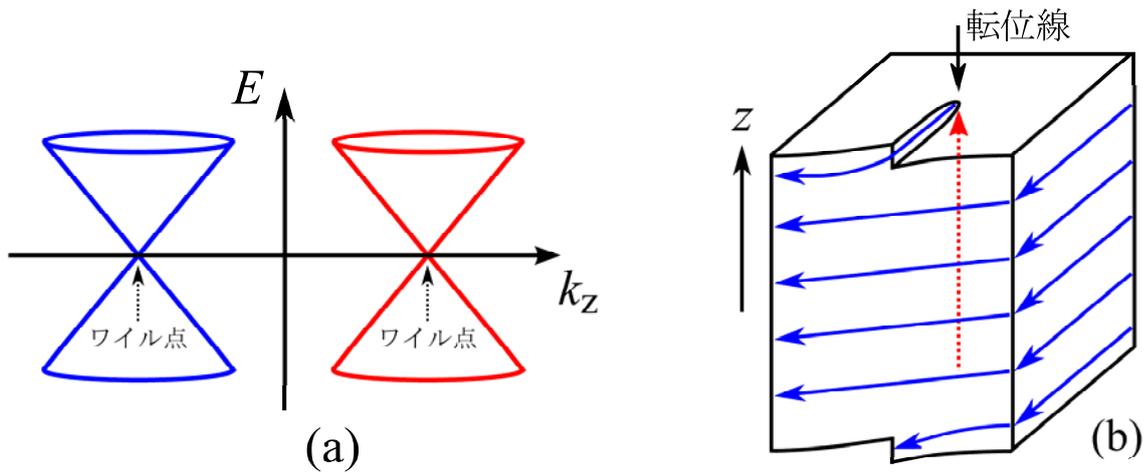


図1 (a) ワイル半金属のエネルギーバンド (概念図). 円錐状の線形分散バンドの対によって構成される. (b) 螺旋転位を内包するワイル半金属. 転位線に沿って現れる電流 (点線) は原子ステップを介して表面電流 (実線) と繋がる.

原論文(4月24日公開済)

[Persistent Current due to a Screw Dislocation in Weyl Semimetals: Role of One-Dimensional Chiral States](#)

Kentaro Kodama and Yositake Takane, *J. Phys. Soc. Jpn.* **88**, 054715 (2019).

<情報提供：高根美武（広島大学大学院先端物質科学研究科）>

<News and Comments>

[How Does Chiral Magnetic Effect Occur in Crystals?: Decisive Answer](#)

S. Fujimoto, *JPSJ News Comments*, **16**, 07 (2019).