

# トポロジカル絶縁体における磁氣的応答

中村研究室 土田浩平

トポロジカル絶縁体とは、スピン軌道相互作用のために物質内部 (バルク) は絶縁体であるが物質界面はスピン流が存在するという物質である。物質のトポロジカル状態を識別するには、2次元系では直接電気伝導率を測定する方法、3次元系では角度分解光電子分光が用いられる。

本研究では物質のトポロジカル状態を識別するのに有効であると考えられる物理量として軌道磁化率を挙げる。具体的には、HgTe/CdTe 接合系など半導体界面に現れる状態においてトポロジカル絶縁体を実現されるための模型である Bernevig-Hughes-Zhang(BHZ) 模型において、軌道磁化率が物質のトポロジカル状態を識別する有効な指標になり得るかを検討する。

反磁性軌道磁化率の表式は

$$\chi = \frac{2\mu_B^2}{V\beta m^2} \sum_n \sum_{\mathbf{k}} \text{tr} [\mathcal{G}\gamma_x \mathcal{G}\gamma_y \mathcal{G}\gamma_x \mathcal{G}\gamma_y] \quad (1)$$

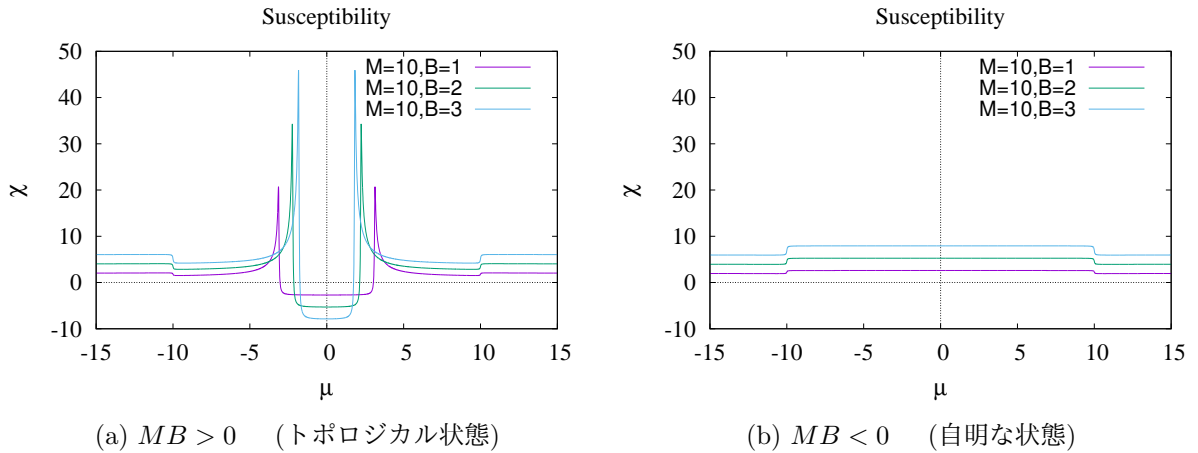
で与えられる [1]。ただし、温度 Green 関数を  $\mathcal{G}(\mathbf{k}, i\omega_n) = -[i\tilde{\omega}_n - H/\hbar]^{-1}$ 、 $\gamma_\mu \equiv \frac{\partial \mathcal{G}^{-1}}{\partial k_\mu} = \frac{1}{\hbar} \frac{\partial H}{\partial k_\mu}$ 、Fermi 粒子における松原振動数を  $\omega_n \equiv (2n+1)\pi/\beta\hbar$ 、 $i\tilde{\omega}_n \equiv i\omega_n + [\mu + \text{isgn}(\omega_n)\Gamma]/\hbar$ 、Bohr 磁子を  $\mu_B \equiv \frac{e}{2mc}$  とする。

BHZ 模型における有効ハミルトニアンは以下のように与えられる。

$$\mathcal{H}_{\text{eff}}(k_x, k_y) = \begin{bmatrix} H(\mathbf{k}) & 0 \\ 0 & H^*(-\mathbf{k}) \end{bmatrix} \quad (2)$$

$H(\mathbf{k}) = Ak_x\sigma_x + Ak_y\sigma_y + (M - Bk^2)\sigma_z$  はアップスピン、 $H^*(-\mathbf{k}) = -Ak_x\sigma_x + Ak_y\sigma_y + (M - Bk^2)\sigma_z$  はダウンスピンに対応する。これより、スピン Hall 伝導率  $\sigma_{xy}^s = \frac{\hbar/2}{e}(\sigma_{xy}^\uparrow - \sigma_{xy}^\downarrow) = -\frac{e}{2\pi} \text{sgn}(M)\theta(MB)$  が得られ、 $MB > 0$  のときトポロジカル状態を示すことが分かる。

BHZ 模型において軌道磁化率  $\chi$  を計算した。結果は以下のグラフ (a)  $MB > 0$ , (b)  $MB < 0$  である。 $MB$  の符号によってグラフの振る舞いが異なることから、BHZ 模型において軌道磁化率は物質のトポロジカル状態を識別する有効な指標になり得ることが分かった。(a)  $MB > 0$  において軌道磁化率はゼロ Fermi エネルギー近傍に反磁性ピークが得られた。これについて講演では、Streda の式をスピン流へ拡張することで理論的考察を深める。



[1] H. Fukuyama, Prog. Theor. Phys. **45**, 704 (1971).