

魔法の磁石を探せ！ 磁気散乱による異常ホール効果 増強メカニズムの解明

大形 悟（おおがた さとる）

北海道大学 大学院 理学院

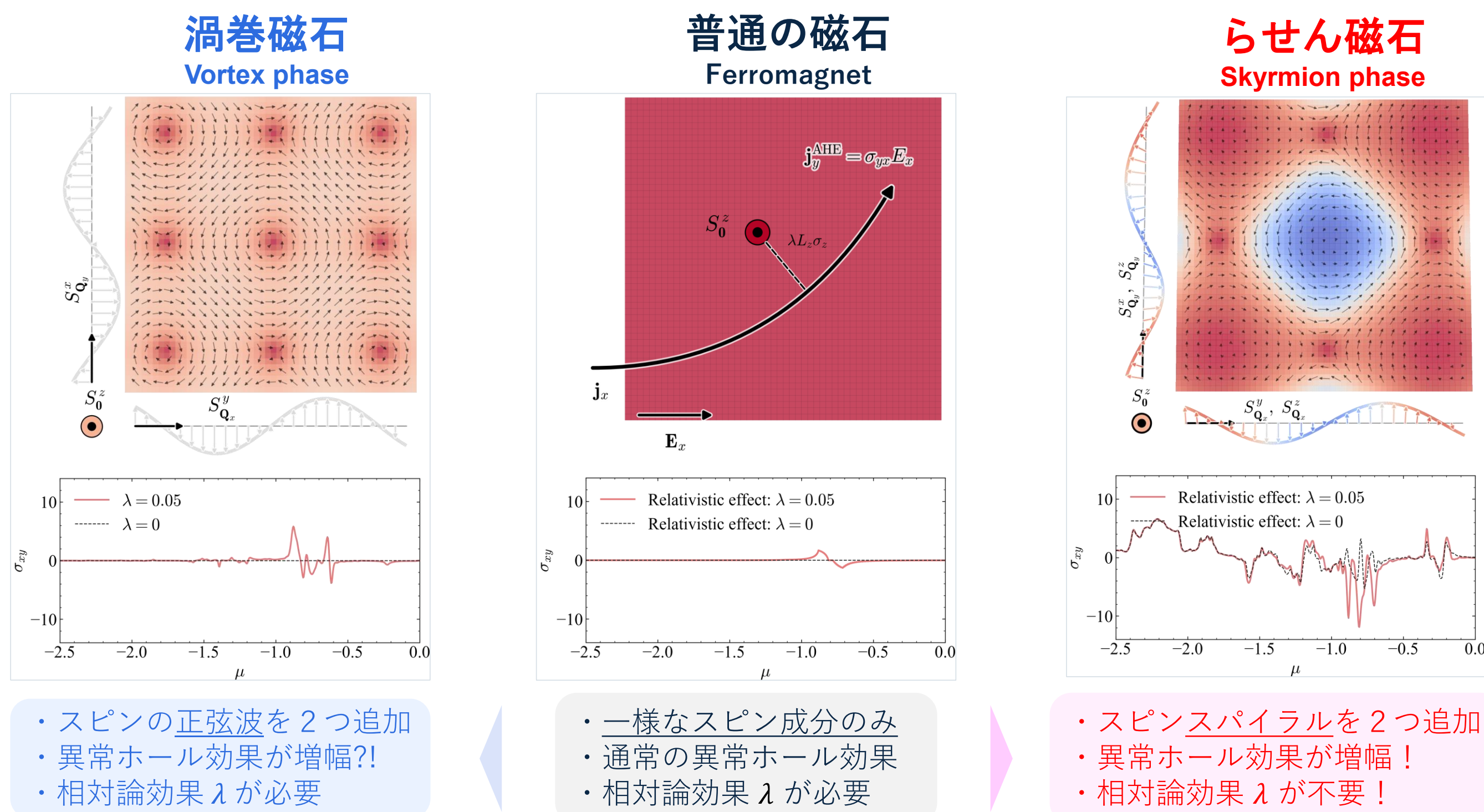
統計物理学研究室



未来社会のあるべきかたち

- ◆ AIやクラウドの需要で、データセンタの電力消費が問題に…
- ◆ 磁石を使った記憶デバイスは、高速・省エネと期待される！
- ◆ 性能を上げるために、色んな磁石が研究されている。
- ◆ 磁石の力と相対性理論の力で電流が曲がる「異常ホール効果」が性能の指標になる。
- ◆ この研究では、“スピン(≒磁石)の波”によって異常ホール効果が強まるメカニズムを解明した！

1 スピンの波による異常ホール効果の増幅機構の解明したい！



スピンの波が2つあると異常ホール効果が増大?!らせんが2つだと相対論効果もいらなくなる?!

2 従来の物理的な考察だけでは、この問題は解けない。。

$$\Pi_{xy}^{(n,m)} \sim J^n \lambda^m \sum_{\substack{\mathbf{Q}_1, \dots, \mathbf{Q}_n \\ \sum_{r=1}^n \mathbf{Q}_r = 0}} \sum_{\alpha_1, \dots, \alpha_n} \left(\prod_{r=1}^n S_{\mathbf{Q}_r}^{\alpha_r} \right) \times \sum_{\pi \in \mathfrak{S}_{n+m}} C_{xy, \pi}^{(n,m)} \text{Tr}_s \left[\sigma_{i_{\pi(1)}} \cdots \sigma_{i_{\pi(n+m)}} \right]$$

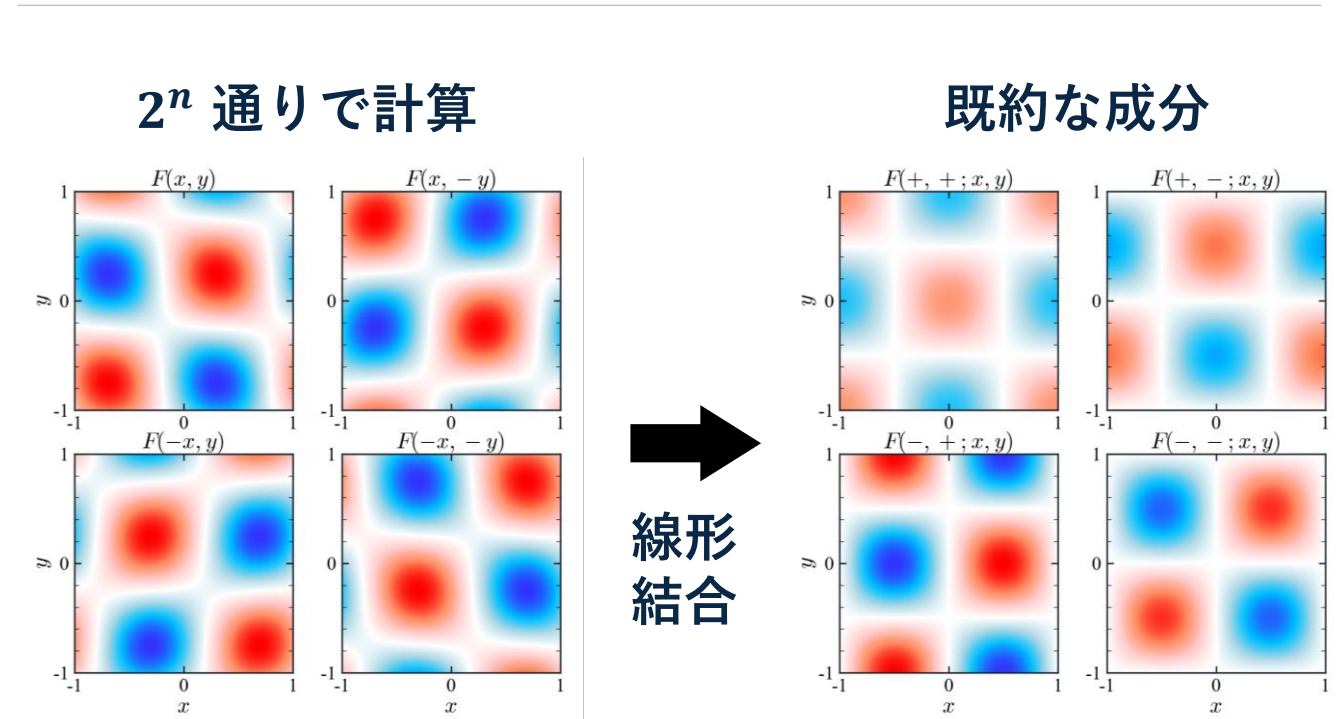
多重Qの磁性体では、考慮すべきスピン波成分の組合せが多いため計算が困難。

仮に多数の摂動項を計算できたとしても、その結果を集約し、法則性を見いだすことは難しい。

3 磁気散乱の問題を、多変数関数の偶奇分解の問題に読み替えてみた！

- 具体的にはHadamard変換という手法を使った。
- 具体的な適用方法は以下の通り。

$$\begin{pmatrix} F_{++} \\ F_{+-} \\ F_{-+} \\ F_{--} \end{pmatrix} = \frac{1}{2^2} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} F(x, y) \\ F(x, -y) \\ F(-x, y) \\ F(-x, -y) \end{pmatrix}$$



- ・多変数関数を偶奇性で分解する手法
- ・いかなる関数にも適用可能
- ・摂動論では難しい高次の寄与まで分類できる！

磁気構造と相対論効果を64パターン用意
($\pm S_{Q_y}^x, \pm S_{Q_x}^z | \pm S_{Q_x}^y, \pm S_{Q_y}^z | \pm S_0^z, \pm \lambda_z$)

1. 磁気構造を生成
2. Hamiltonianを対角化
3. Berry曲率を計算
4. 波数空間積分

関数とみなす

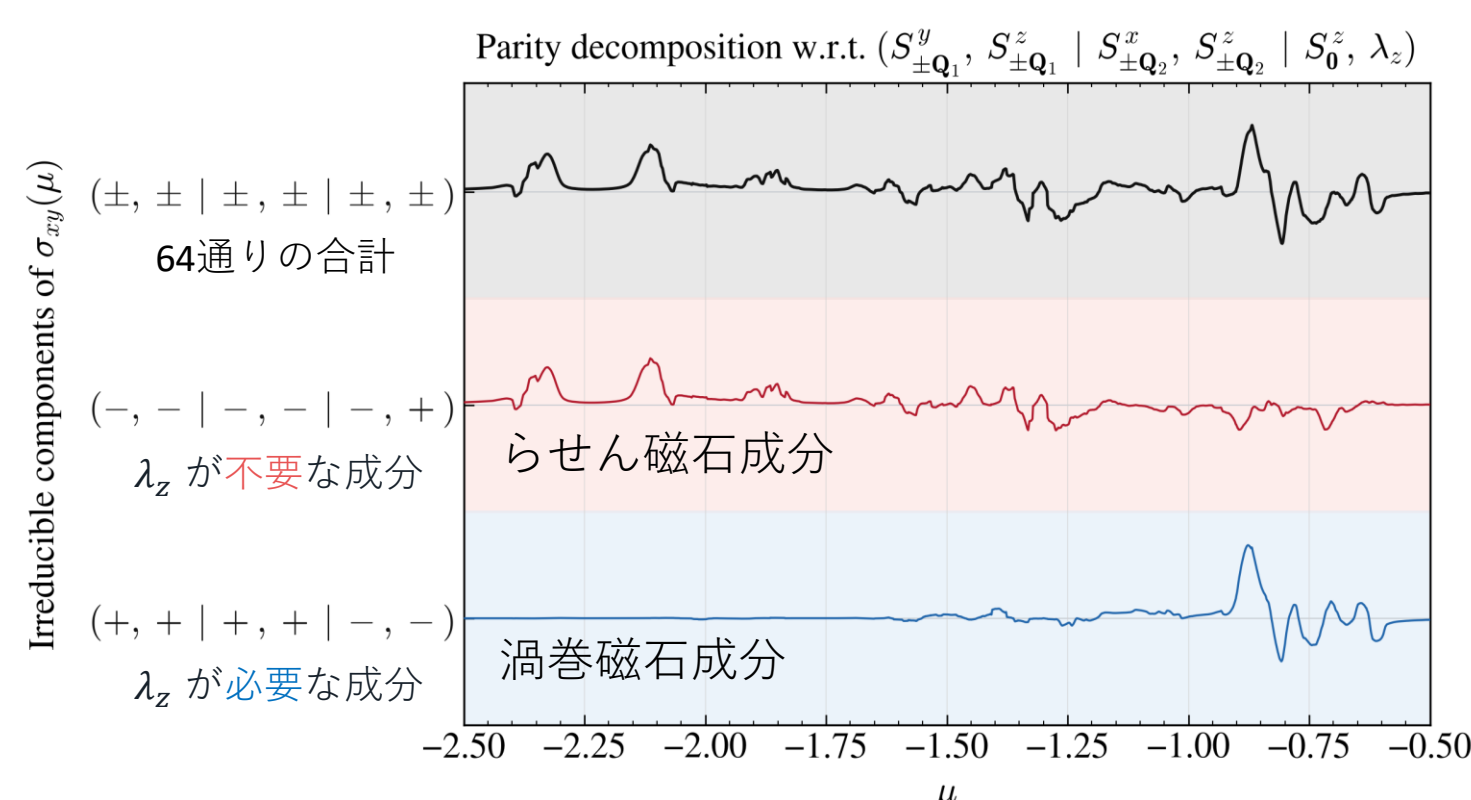
$$\sigma_{xy}(\pm S_{Q_y}^x, \pm S_{Q_x}^y, \pm S_{Q_y}^z, \pm S_{Q_x}^z, \pm S_0^z, \pm \lambda_z)$$

2^N patterns

Hadamard変換

$$\bigotimes_{n=1}^N \left(\begin{matrix} \text{偶} \\ \oplus \\ \text{奇} \end{matrix} \right)$$

4 綺麗に分解できた！



■ たった2種類の寄与に分かれた！

- ✓ 2Qのスパイラルでは、相対論効果 λ_z が必要/不要な2つの寄与が表れる。
- ✓ λ_z が**不要**な成分は、スピン波の**奇関数**
- ✓ λ_z が**必要**な成分は、スピン波の**偶関数**

■ 摂動公式と組み合わせると解がわかった！

$$\sigma_{xy}^{\text{Spiral}} \sim \left[S_{Q_y}^z S_{-Q_y}^x \right] \left[S_{Q_x}^y S_{-Q_x}^z \right] S_0^z$$

$$\sigma_{xy}^{\text{Vortex}} \sim \left[S_{Q_y}^x S_{-Q_y}^x \right] \left[S_{Q_x}^y S_{-Q_x}^y \right] S_0^z \lambda_z$$

New!!