

# 射影演算子法を用いたカゴメ格子拡張ハバード模型の厳密基底状態の解析

中村研究室 中辻直斗

カゴメ格子など、頂点共有型の構造を持つ格子において、ブラケット状態を厳密基底状態として持つ拡張 Hubbard 模型が、射影演算子  $Q_{\alpha\sigma}^{\mu}$  を用いて

$$\mathcal{H} = \sum_{\alpha} \sum_{\mu, \nu} \lambda_{\mu\nu} Q_{\alpha\uparrow}^{\mu} Q_{\alpha\downarrow}^{\nu}, \quad \lambda_{\mu\nu} \geq 0 \quad (1)$$

のように構成できることが知られている [1-4]。  $\alpha$  はブラケットを指定する指標で  $\mu, \nu$  は射影演算子の種類を表す。この方法をカゴメ格子、チェッカーボード格子、パイロクロア格子に対して適用し、厳密なブラケット・ネール状態の領域を求めた。

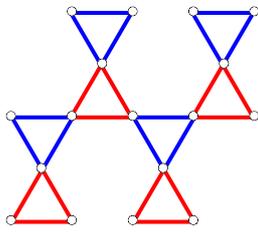


図1 カゴメ格子

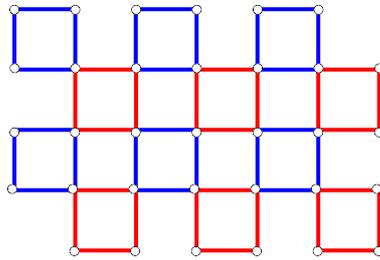


図2 チェッカーボード格子

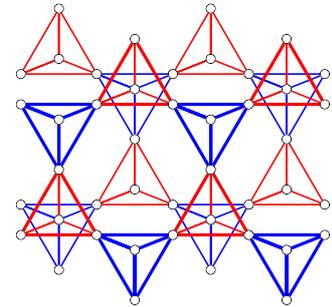


図3 パイロクロア格子

下の図はその結果の一部である。  $t$  はハミルトニアン最近接ホッピング項で、  $U, W$  はそれぞれオンサイト、最近接クーロン相互作用項である。PN はブラケット・ネール状態を表す。

また、近年、新たなトポロジカル状態として、4重極モーメントや8重極モーメントを持つコーナー状態が議論されており [5]、2次元の場合のコーナー状態が

$$Q_{xy} = \frac{L_x L_y}{2\pi} \text{Im} \log \langle \hat{U} \rangle, \quad \hat{U} = e^{i \frac{2\pi}{L_x L_y} \sum_r xy \hat{n}(r)} \quad (2)$$

によって特徴づけられることが知られている [6-7]。  $L_x, L_y$  はそれぞれ格子の  $x, y$  方向のサイト数を表し、  $\hat{n}(r)$  はサイト  $r$  での数演算子である。チェッカーボード格子について上のブラケット状態の議論を用いることで、コーナー状態を構成し、その状態での  $\langle \hat{U} \rangle$  を計算した。さらに、カゴメ格子、パイロクロア格子などの  $d$ 次元の格子に対して  $d$ 次元パラメーター  $\Theta$  を導入することで、系が多量体を構成するような転移を特徴づけるベリー位相が定義できることが知られており [8]、射影演算子法で構成されたブラケット状態に対してこの量を計算する。エンタングルメントエントロピーについても議論する。

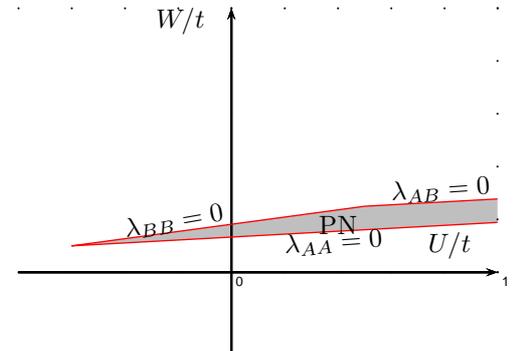


図4：パイロクロア格子の相図 (1/4-filling)

- [1] K. Itoh, M. Nakamura, and N. Muramoto, J. Phys. Soc. Jpn. **70**, 1202 (2001)
- [2] M. Nakamura and K. Itoh, JPSJ **74** Suppl. 234 (2005)
- [3] M. Nakamura, T. Okano and K. Itoh, Phys. Rev. B **72**, 115121 (2005)
- [4] M. Nakamura and S. Nishimoto, Euro. Phys. J. B **91**, 203 (2018)
- [5] W. A. Benalcazar, B. A. Bernevig, T. L. Hughes, Science **357**, 61-66 (2017)
- [6] W. A. Wheeler, L. K. Wagner, T. L. Hughes, arXiv:1812.06990
- [7] B. Kang, K. Shiozaki, G. Y. Cho, arXiv:1812.06999
- [8] Y. Hatsugai and I. Maruyama, Euro. Phys. Lett. **95**, (2011)