

フラストレーションとバルクエッジ対応

初貝 安弘

筑波大学大学院数理物質科学研究科物理学専攻

磁性体及び電子系におけるフラストレーションの最も重要な効果の一つとして古典的な描像下での「局所的な残留エントロピー」の存在、すなわち「(準) 安定な古典的局所構造が複数存在すること」を考える時、この擬似縮退は、縮退摂動論の例を引くまでもなく量子効果により解消し得ることとなる (図 (a),(b))。この観点からは、あまりにもよく知られた局所的な反強磁性スピン対に関する 2 重縮退 $\{|\uparrow\downarrow\rangle, |\downarrow\uparrow\rangle\}$ が局所シングレット形成により安定化する現象も同じ物理的起源を持つと見なせる。このような量子効果による局所エントロピーの開放のメカニズムは、スピン梯子系をはじめとして、直交ダイマー系におけるダイマー相、プラケット相等において普遍的に存在するものであり、逆に、フラストレーションが、新しい量子構造形成のための局所的な自由度を与えているとも見なすこともできる。広く一般に、フラストレーション起源のギャップを持つスピン液体相は、多くの場合この機構が大局的に働くことにより形成されると考えてもよからう。

この ギャップを持つ スピン液体相においては、その定義上、連続対称性の自発的破れに伴う Nambu-Goldstone boson としての低エネルギー励起は存在できず、よって対称性以外の方法で系を特徴づけるのが自然であり、ここでの議論に従えば、スピン対に対するシングレット形成を一般化した局所的な量子構造形成それ自身が系を特徴付けると考えられる。

系が Heisenberg 模型などフラストレーションを伴っても時間反転対称に対して不変であるとき、局所的なスピントイストを周期パラメータとして全系の波動関数を用いて定義されるベリー位相は 0 か π の 2 通りの値のみを取る (Z_2 ベリー位相)。この量子化されたベリー位相はスピン $1/2$ の系に関しては上述の局所的な量子構造を記述する良いトポロジカルな秩序変数となる [1]。

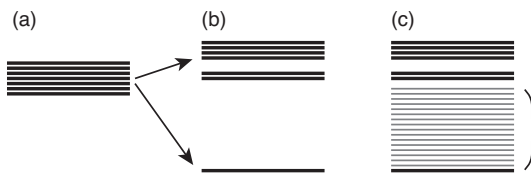


図: 局所エントロピーの開放と局在状態:
(a) フラストレーション起源の擬似縮退,
(b) 量子効果によるギャップ形成と安定化,
(c) 局在したインギャップ状態としてのエッジ状態形成

一方バルクにはトポロジカルに非自明なギャップを持つ量子系が境界を持つ系において実現したり、系が不純物を含む時、バルクの量子状態を反映した特徴的な局在状態 (エッジ状態) が現れることは、量子 (スピン) ホール系、整数スピン鎖における Haldane 相、グラフェン、半導体におけるダングリングボンド等、広く観測される。この普遍的事実を「バルク-エッジ対応」と呼んだとき [2]、量子

効果により解消されたフラストレーション起源のギャップをもつスピン液体相においても非磁性不純物および、ドメイン境界等の導入により、インギャップ状態形成にともなう低エネルギー状態の形成が期待され、このエッジ状態がまたスピン液体相を特徴付けることとなる。(図 (c))

本公募研究においては、上述の観点に立ち、ギャップのあるスピン液体相に関するトポロジカルな理論を展開するとともに具体的な物質相の分類にいたることを目標とする。研究は、研究分担者 丸山勲氏、浜本雄治氏、連携研究者 有川晃弘氏との共同研究にて遂行する計画である。 [1] Y. Hatsugai, J. Phys. Soc. Jpn. **75**, 123601 (2006). [2] Y. Hatsugai, Phys. Rev. Lett. **71**, 3697 (1993).