

低次元スピン系の量子相転移

大阪大学大学 大学院工学研究科 川上則雄, 古賀昌久
ETH Manfred Sigrist

強いフラストレーションを持つ低次元量子スピン系では、エキゾチックなスピン液体相およびそれに付随する量子相転移が実現される可能性がある。1次元系では Haldane ギャップに代表される VBS 状態が実現することが知られているが、2次元系でこのようなエキゾチックな相が安定化されるかどうかは自明ではない。ここでは、フラストレーションの強い直交ダイマー系を例にとって、その量子相転移について考察する。2次元系においてもスピン $S = 1$ の場合、VBS 的なスピン液体相が実現することを示す。

直交ダイマーモデルの構造は図1に与えられている [1, 2]。この格子上での反強磁性ハイゼンベルクモデルを考える。このモデルで $J'' = J'$ の2次元モデルは Shastry-Sutherland モデルと呼ばれ、特に詳細な研究がなされてきた。スピン $S = 1/2$ に対応する物質としては $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$ が発見されている [3]。この物質の基底状態はダイマー相にある。この Shastry-Sutherland モデルで競合する反強磁性相互作用 J'/J 変化させると RVB 的なスピングャップ相が現れることが示された [4]。しかし、新たに提案されたこの相は基本的にはプラケットー重項相に属するものである。

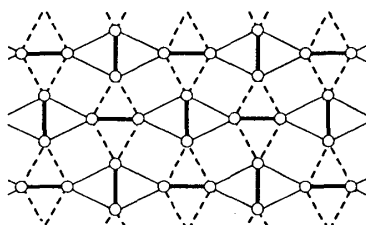


図1: 直交ダイマーモデル。太線、細線、破線はそれぞれ反強磁性相互作用 J , J' , J'' を表している。太線のダイマーが直交しているため、直交ダイマー系と呼ばれている。

一方、スピンが大きくなると非自明な相が現れる。1次元系に対しては任意のスピンに関して詳細な解析がなされている [5]。2次元 $S = 1$ の相図を第2図に示した。 $J'' = 0$ の1次元系では、ダイマー相、VBS 相 (これは Haldane 相と基本的に同じもの)、プラケット相が実現している。これに2次元的な相互作用 J'' を導入すると、ダイマー相はそのまま2次元系でも実現する。一方、プラケット相は不安定になり磁気秩序相に転移する。ここで注意したいことは VBS 相が2次元モデルにおいても安定化されていることである。これは通常の Haldane ギャップ相が鎖間相互作用に関して不安定になり磁性相へ転移するのと対照的である。それぞれの相に対する VBS 描像を第3図に示した。

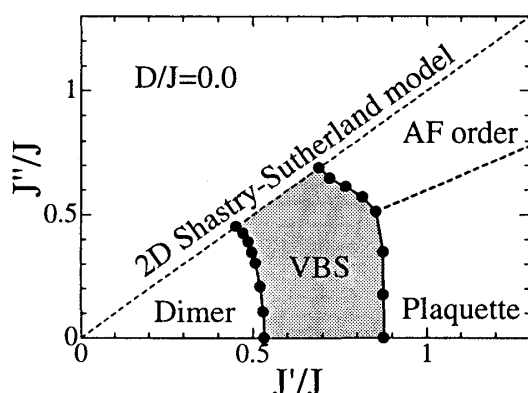


図 2: $S = 1$ 模型の相図。 $J'' = 0$ の 1 次元鎖から $J'' = J'$ の 2 次元系までパラメータを変化させている。4 つの相のうち、Neel 相を除いてすべてスピン一重項相であるが、中でも VBS 相では Haldane ギャップ相に類似のエキゾチックな状態が実現している。

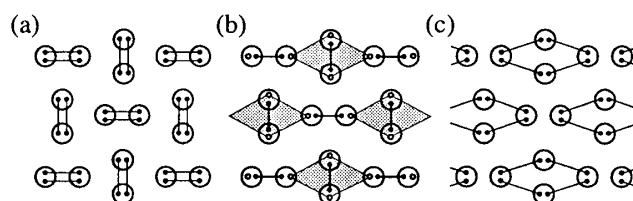


図 3: (a) ダイマー相、(b) VBS 相、(c) プラケット相に対する VBS 図。

最近、スピンの大きな直交ダイマー物質 $\text{Nd}_2\text{BaZnO}_5$ ($J = 9/2$ の物質) が合成された。この物質は反強磁性転移を示すことが分かっている。スピン $S = 1, 3/2$ などの物質が合成されれば、上記の非自明なスピン液体相が観測される可能性もある。

参考文献

- [1] S. Miyahara and K. Ueda, Phys. Rev. Lett. **82** (1999) 3701.
- [2] B. S. Shastry and B. Sutherland, Physica **108B** (1981) 1069.
- [3] H. Kageyama et al., Phys. Rev. Lett. **82**, 3168 (1999)
- [4] A. Koga and N. Kawakami, Phys. Rev. Lett. **84** (2000) 4461.
- [5] A. Koga and N. Kawakami, Phys. Rev. **B65** (2002) 214415 1-5
- [6] A. Koga, N. Kawakami and M. Sigrist, J. Phys. Soc. Jpn. **72** (2003) in press.