

33. 量子スピン系と高温超伝導

埼玉大教養 今田正俊

高温超伝導の発現メカニズムとして電子間の強いクーロン相互作用に主要な原因を求める立場からの試みについて紹介し、量子スピン系の基底状態についての研究との関連について考察した。

この問題についてアンダーソンが強い電子相関の重要性について最初に指摘し、RVB (resonating valence bond) 状態が、常伝導状態と超伝導状態の両方の本質を捉えうる変分状態であると主張し、二次元正方格子ハバード模型での超伝導の可能性を議論した。RVB状態はもともと一次元や二次元三角格子上の量子スピン系にたいして提唱され、それらの量子液体的な基底状態の直観的な描像を与えるものとして注目されてきた。しかしながら、RVBにもとづく具体的、定量的な物理量の予測の欠如が、その描像の妥当性の検証を困難なものにしてきた。例えば、これらの低次元量子スピン系の持つ低温での特徴として比熱が温度に比例し、帯磁率が有限な定数になるらしいという、フェルミ液体に似た特徴があるが、RVBによる定量的な予測は残念ながらまだ確立されていない。さらに、超伝導のメカニズムという問題になるとRVBの描像はいっそう不鮮明となってくる。特にクーパ対がなんであるかについて、説得力のある議論は存在しない。ハバード模型で超伝導の可能性を論じるときにRVB的な描像とは違った立場からの考察、例えば反強磁性的な揺らぎをより重視する見方も存在している。

RVBの描像では超伝導のメカニズムをとらえきれないとする立場の中に、出発点とすべきモデルをハバード模型ではなくて、もう少し拡張したものを使うべきだという主張がある。もともと、酸化物超伝導体で、二次元正方格子ハバード模型が注目されているのは、銅と酸素とからなる二次元格子が超伝導を担っているらしいという、いくつかの実験的な状況証拠が根拠となっている。銅と酸素による二次元格子が、単純な単バンドハバード模型に帰着されるのは、伝導電子を構成する銅と酸素の電子軌道のエネルギーレベルの差が充分大きいときに限られるが、現実の酸化物超伝導体ではこのことが成り立たないのではないかという指摘である。こうして銅と酸素の軌道の自由度をあからさまに考慮し、ハバード模型を拡張した模型(以後d-p模型とよぶ)も議論されるようになったが、依然として超伝導のメカニズムは明快な理解を与えられてはいない。この模型にもとづく超伝導のメカニズムとしては反強磁性的な短距離秩序がペアリングを生み出すという見方と、隣りあう銅と酸素のサイト間での電子のエキシトニックな振動がペアリングに重要であるという考え方があ