

高温超伝導や重い電子系等の電子相関が重要となる系の超伝導相近傍には、一般に磁石の性質を持つ電子スピンの整列した磁性相(秩序相)が隣接しています。この磁性相の反対側には、フェルミ液体と呼ばれる電子同士が強く干渉し合い秩序化しない金属相(無秩序相)が現れる事が知られています。(図 1a) 最も低い温度(絶対零度)で現れるこれら相と相との間の境界点は量子臨界点と呼ばれています。実験的に圧力や磁場、更に化学置換等の外部制御パラメータを変化させる事で金属相から磁性相へ連続的な変化が可能で、この臨界点付近の様子を詳細に調べる事ができます。さらに興味深いことに、磁性相と金属相の間の相境界は非常に不安定で、より安定な状態になろうと超伝導が現れます。高温超伝導体や重い電子系超伝導体もこのような量子臨界点近傍で超伝導が現れます。このように、絶対零度近くの量子臨界点近傍は新奇な超伝導相が現れる事が知られています。この臨界点近傍で新奇な金属現象や超伝導状態の発生メカニズムの解明は、強相関電子系分野の中で重要なテーマですが、まだ完全解明には至っていません。

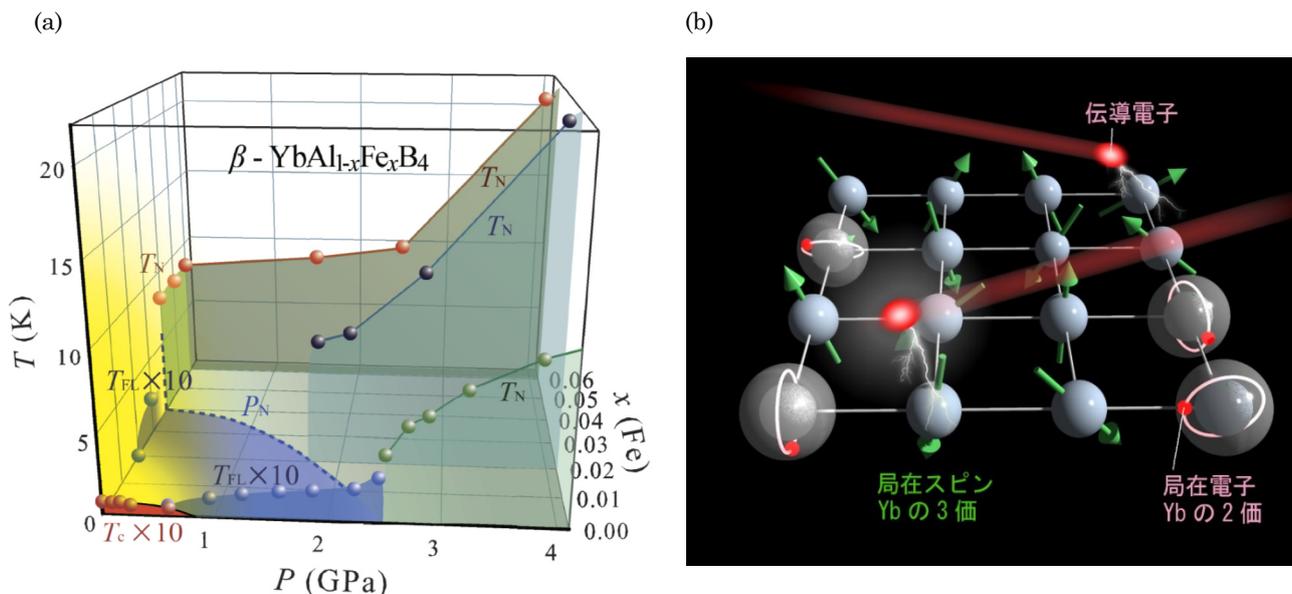


図 2. (a) 温度と外部圧力と化学組成による実際の磁気相図：黄色の部分異常金属相である。外部圧力制御 P と化学圧力制御 x により同等な相図が確認できる。(b) Yb 原子の価数ゆらぎとスピンゆらぎが織りなす異常金属相の概念図：Yb 原子のスピン(緑の矢印)と電子(赤)による格子上的原子サイズの様子。Yb の価数が 3 価の時は磁性スピンを持ち、2 価の時は非磁性となり原子半径が増大する。図中では Yb の価数は 2.75 を仮定。

我々は非常に高純度な希土類金属間化合物 β -YbAlB₄ を合成し、重い電子系超伝導状態並びに異常金属状態を絶対零度近傍で調査しました。絶対零度近傍の量子ゆらぎは不純物の影響を強く受けますが、本物質では残留抵抗比=300と Yb 化合物の中でも超高純度物質であり低温で乱れに敏感な量子臨界現象の本質を解明するのに最適な系です。本物質で特に興味深いのは常圧・絶対零度で量子臨界点 [2] に位置しており 80 mK で Yb 系として初めての重い電子系の超伝導状態を示している事、また異常金属状態を示す物質では珍しい価数ゆらぎの性質を持っている事です。[4,5] このような量子臨界点が常圧・ゼロ磁場で現れているのは偶然でしょうか？通常の重い電子系化合物では常圧に量子臨界点が滅多に現れないため、化学組成や外部圧力を用いないと、量子臨界点には到達できません。本物質はすでに常圧で量子臨界点にある為、更なる外部圧力制御により超伝導が消失し Yb の磁性原子のスピンが規則的に配列する磁性相に移り変わる事が期待されていました。(図 1a) しかし実際の測定では、1 万気圧の圧力下では超伝導が消失するにもかかわらず従来の量子相転移は観測されませんでした。それどころか量子臨界点でのみ現れるはずの異常金属状態が、幅広い圧力範囲で観測されました。このような異常な金属状態は、絶対零度近傍で相と相との境界点では非常に不安定な量子臨界「点」として現れるべきですが、ここでは従来の常識を破って、量子臨界「相」と思われる新しい相が実現している可能性があります。(図 1b) この発見は 1000 G 程の磁場で超伝導状態を壊し、隠れた異常金属状態をあらわにすることで初めて確認できました。(図 1c) これは超伝導転移温度が 80 mK ととても低いために実現可能でした。本研究では 1 万気圧で超伝導が消失した後、更に 2.5 万気圧ほどの高い圧力制御を行う事で磁性相が現れる事も確認しました。この磁性相は通常期待されてい

