

磁気相関の次元性の制御による量子臨界点へのアプローチ

電気伝導を担う電子の有効質量が自由電子に比べ数百倍も重くなる「重い電子系」は、有効質量の増大に伴いエネルギースケールが非常に小さくなるため、絶対零度近傍の量子臨界領域の研究に適した系である。重い電子系では理論的に磁気相関の大きさが変化することによって系の基底状態が磁気秩序状態から常磁性状態に連続的に変化する「Doniach の相図」(図 a)という特徴的な相図が知られている。この時、絶対零度での二次相転移点は量子臨界点と呼ばれ、エネルギースケールの小さい重い電子系では、圧力や、磁場、元素置換といった制御パラメーターによって量子臨界点が現れることが知られている。加えて反強磁性量子臨界点近傍では、極低温まで磁気相関が発達し続けることにより通常の金属状態とは異なる振る舞いや、量子ゆらぎを媒介とした非従来型の超伝導の出現など、興味深い現象が観測されており、多くの研究者によって精力的な研究が続いている。

一方、強磁性量子臨界現象の報告例は少ないが、反強磁性の場合と異なる相図が理論研究から提案されている(図 b)。主な特徴は次の2つである：(1)制御パラメーターを変化させ強磁性転移温度を減少させると転移の次数が二次から一次に代わり、量子臨界点は存在しない。(2)強磁性が消えた常磁性相において一次の磁場誘起強磁性転移(メタ磁性転移)が現れる。このような相図は UGe₂ や ZrZn₂ などのいくつかの強磁性物質で実験的にも確認されており、強磁性量子臨界点近傍の固有の相図と考えられていた。

最近になり、京都大学と慶応大学のメンバーからなる研究グループは層状構造を持つ重い電子系強磁性体 CeRuPO に着目し、Ru サイトを Fe で置換することにより強磁性転移を抑制させ強磁性量子臨界点の存在を明らかにするとともに Ce(Ru_{1-x}Fe_x)PO の相図を作成した。得られた相図(図 c)は従来の強磁性量子臨界相図と大きく異なる特徴をもっており、この強磁性量子臨界点の起源にも興味が集まっていた。

同研究グループは、Ce(Ru_{1-x}Fe_x)PO をより詳細に実験・解析し、磁気励起の磁場方向・Fe 置換量依存性を調べた。その結果、スピン空間における磁気ゆらぎの次元性や波数空間における磁気相関の次元性が Fe 置換により秩序相側の三次元から二次元に変化することにより強磁性転移が抑制され、強磁性量子臨界点が現れることを明らかにした(図 c 参照)。この成果は、日本物理学会が発行する英文誌 Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ)の 2013 年 3 月号に掲載された。

本論文では、磁気相関の次元性という従来の「Doniach の相図」にはなかった制御パラメーターを変化させることで、従来の強磁性量子臨界相図と大きく異なる相図が得られることを示した。これは、制御パラメーターの豊富さや量子臨界相図の多様性を示唆しており、今後の量子臨界現象の研究に新たな指針を与えると期待される。

原論文(2月14日公開済)

[Ferromagnetic Quantum Critical Point Induced by Tuning the Magnetic Dimensionality of the Heavy-Fermion Iron Oxypnictide Ce\(Ru_{1-x}Fe_x\)PO](#)

[S. Kitagawa, K. Ishida, T. Nakamura, M. Matoba, and Y. Kamihara: J. Phys. Soc. Jpn. **82** \(2013\) 033704](#)

問合せ先：北川俊作(京都大学大学院理学研究科)

石田憲二(京都大学大学院理学研究科)

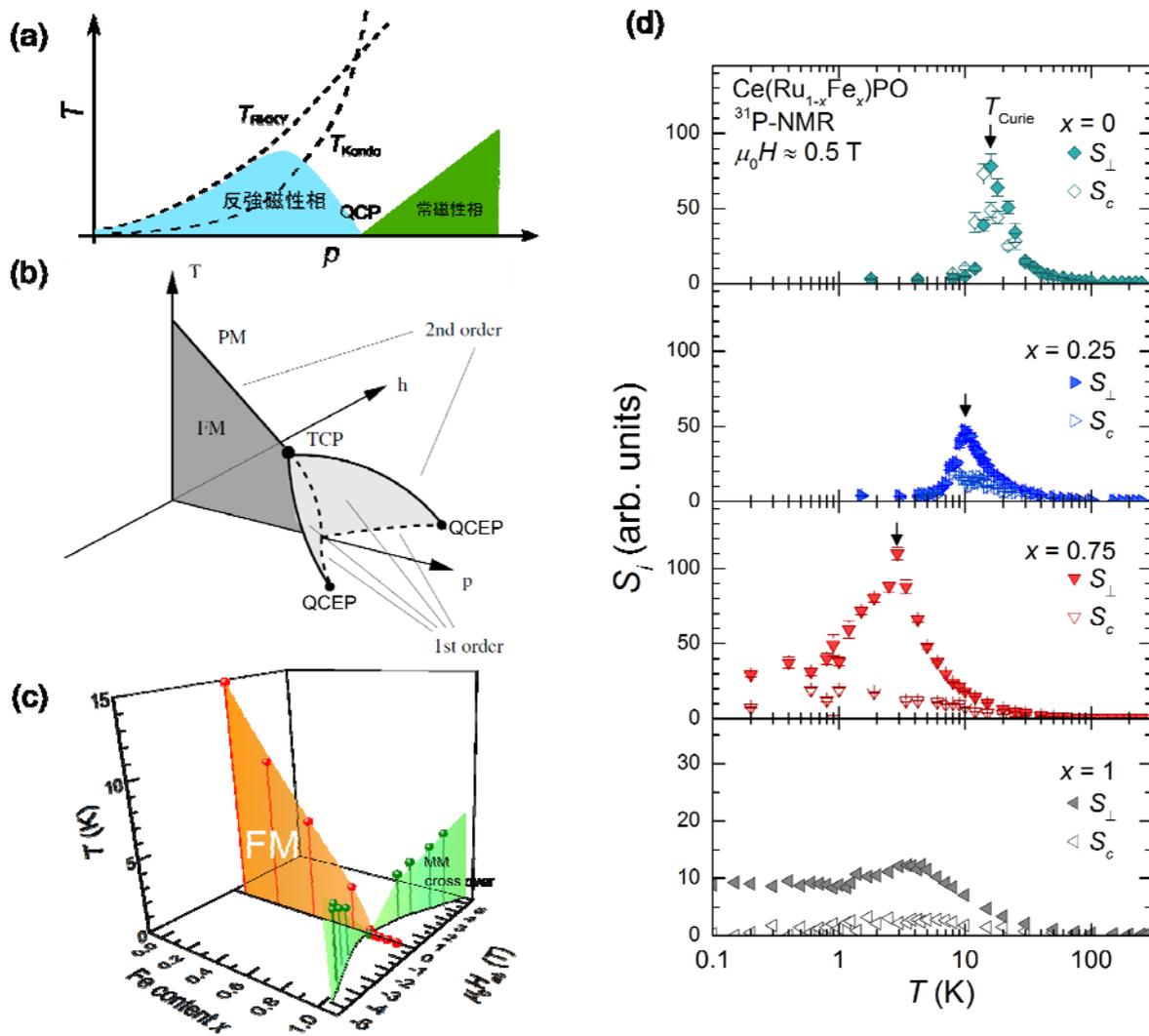


図 (a) 「Doniach の相図」。縦軸は温度 T 、横軸は制御パラメーター p 。磁気秩序状態を安定化させる T_{RKKY} と常磁性状態を安定化させる T_{Kondo} の大小で基底状態が決まる。多くの反強磁性物質の場合、制御パラメーターを変化させると反強磁性転移が2次相転移のまま抑制され、量子臨界点 (QCP) が現れる。(b) 理論的に提案されている強磁性量子臨界近傍の三次元温度 T -磁場 h -制御パラメーター p 相図。三重臨界点 (TCP) を境に常磁性 (PM)- 強磁性 (FM) 転移の次数が二次から一次に変わり、有限磁場中の量子臨界終点 (QCEP) につながる。(c) $\text{Ce}(\text{Ru}_{1-x}\text{Fe}_x)\text{PO}$ の三次元温度 T -面内磁場 H_{ab} -Fe 置換量 x 相図。Fe 置換により強磁性相 (FM) が抑制され量子臨界点が見える。また、量子臨界点より x が大きい領域ではメタ磁性 (MM) クロスオーバーが起こる。(d) 核スピン-格子緩和率 $1/T_1$ から見積もった ab 面、 c 軸方向の磁気ゆらぎ (それぞれ S_{\perp}, S_{\parallel}) の Fe 置換量依存性。 CeRuPO ($x = 0$) で等方的だった磁気ゆらぎの異方性 (S_{\perp}/S_{\parallel}) が Fe 置換に伴い急激に大きくなり、二次元的になっている。