

その相線は臨界点をもって終端することがわかりました(図 2)。また熱力学的な関係式の解析によって、メタ磁性の起源としてイッテルビウムの価数転移が生じている可能性を見出しました。この結果は、イッテルビウムの価数の揺らぎ、すなわち f 電子の電荷移動の揺らぎが発散する臨界点で、スピンの一様な揺らぎを表す磁化率も同時に発散するという、臨界価数揺らぎの理論が予言した新現象を直接観測したものと考えられます。これらの実験事実は、価数クロスオーバー領域において磁場を加えると価数の 1 次相転移が誘起されるという理論予測とも一致しており、磁気転移点近傍に潜む価数の不安定性の存在を示す重要な結果であると考えられます。

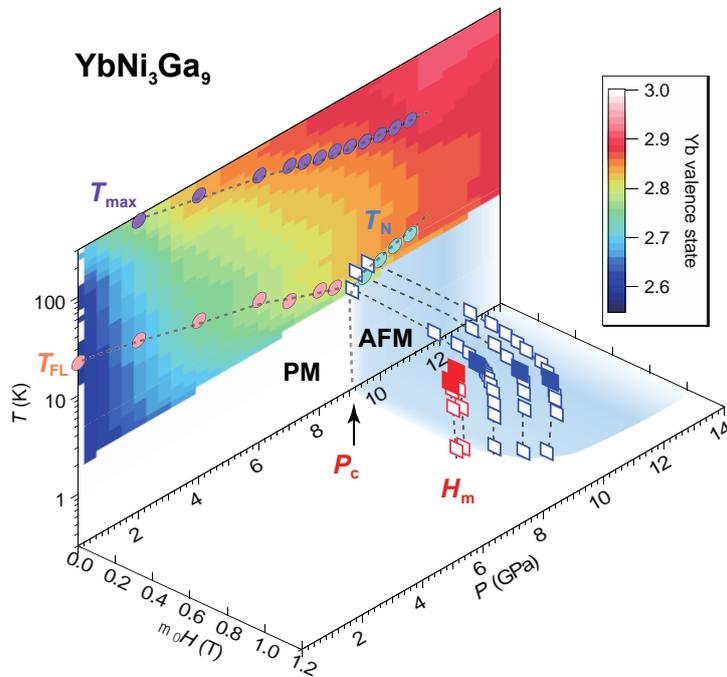


図 2. 温度、圧力、磁場を複合的に制御した多重極限環境下での実験から明らかとなった YbNi_3Ga_9 の相図。磁気秩序は P_c (~9 万気圧) 以上の高圧、 T_N (~数ケルビン) 以下低温領域において出現する。また、 P_c よりもわずかに低圧側の非磁性相では H_m (~0.7 テスラ) において磁化の急激な増大(メタ磁性)が発現することを発見した。1 次相転移線(赤の中白の四角のデータを結んだ線)が昇温につれて臨界点(赤塗りの四角)で終端している。

今後の展開

本研究で見出された価数クロスオーバーおよび価数の不安定性に起因する 1 次のメタ磁性転移の発見は、非従来型の量子臨界現象を理解する上で、臨界価数揺らぎの効果が重要な鍵となっていることを強く示唆しています。また、1 次相転移の臨界点が絶対零度近傍に抑制された際に、顕著な量子効果とあいまってどのような臨界現象を示すかはそれぞれの物質系の詳細によらない普遍的な問題であるため、さらなる研究の発展が期待されます。さらに、価数転移の量子臨界点近傍では超伝導相関が発達するという理論的予言もあり、非従来型の量子臨界現象の全貌の解明にむけて今後の活発な研究の展開が予想されます。

謝辞

研究成果は、物性研究所上床研究室に所属していた平山貴士氏、名古屋工業大学の山下哲朗博士、大原繁男教授、高輝度光科学研究センターの河村直己副主幹研究員、水牧仁一朗副主幹研究員、広島大学の石松直樹助教、九州工業大学の渡辺真仁准教授、高知大学の北川健太郎講師との共同研究によるものです。本研究の一部は、JSPS 科研費(課題番号 24740220, 24540389)の助成を受けたものです。また、SPRING-8 長期利用課題「X線分光法による臨界価数ゆらぎによる新しい量子臨界現象の実験的検証」(実験責任者: 渡辺真仁 九州工業大学 准教授、課題番号: 2012B0046, 2013A0046)の一環として行われました。

参考文献

- [1] P. Gegenwart *et al.*, Phys. Rev. Lett. **89**, 056402 (2002).
- [2] Y. Matsumoto *et al.*, Science **331**, 316 (2011).
- [3] K. Deguchi *et al.*, Nat. Mater. **11**, 1013 (2012).
- [4] Q. Si *et al.*, Nature (London) **413**, 804 (2001).
- [5] P. Coleman *et al.*, J. Phys. Condens. Matter **13**, R723 (2001).
- [6] T. Misawa *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **78**, 084707 (2009).
- [7] S. Watanabe *et al.*, Phys. Rev. Lett. **105**, 186403 (2010).
- [8] Y. Saiga *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **77** 053710 (2008).
- [9] K. Matsubayashi *et al.*, Phys. Rev. Lett. **114**, 086401 (2015).