

## 強磁性臨界ゆらぎによって強められる超伝導

従来の超伝導体では、量子力学的な格子の振動によって超伝導が引き起こされることが確立しているが、銅酸化物超伝導体や鉄系超伝導体などでは従来の発現機構では説明がつかず、これらの非従来型超伝導の発現機構の解明は、物性物理学における大きな課題の一つとなっている。これは新たな発現機構によって、より高い超伝導転移温度も期待できるからである。今までの研究により、非従来型超伝導の多くが、自発磁化を持たない反強磁性を圧力や元素置換により抑えられたところで見られることから、非従来型超伝導は磁気を示す温度が絶対零度に近づくときに発達する量子力学的な“磁気ゆらぎ”によって引き起こされると考えられている。このように反強磁性ゆらぎと超伝導の関係性については理論・実験の両面から精力的な研究がなされてきた。

一方で、性質の大きく異なる非従来型超伝導が 2000 年にイギリス・フランスのグループによって発見された。ウラン化合物  $\text{UGe}_2$  において強磁性下で超伝導が発現したのである。通常、マイスナー効果により磁束を排除する超伝導は、自発磁化を生み出す強磁性とは相反すると考えられてきた。しかし、反強磁性の場合と同様に、強磁性になろうとする強磁性ゆらぎそのものは超伝導の引

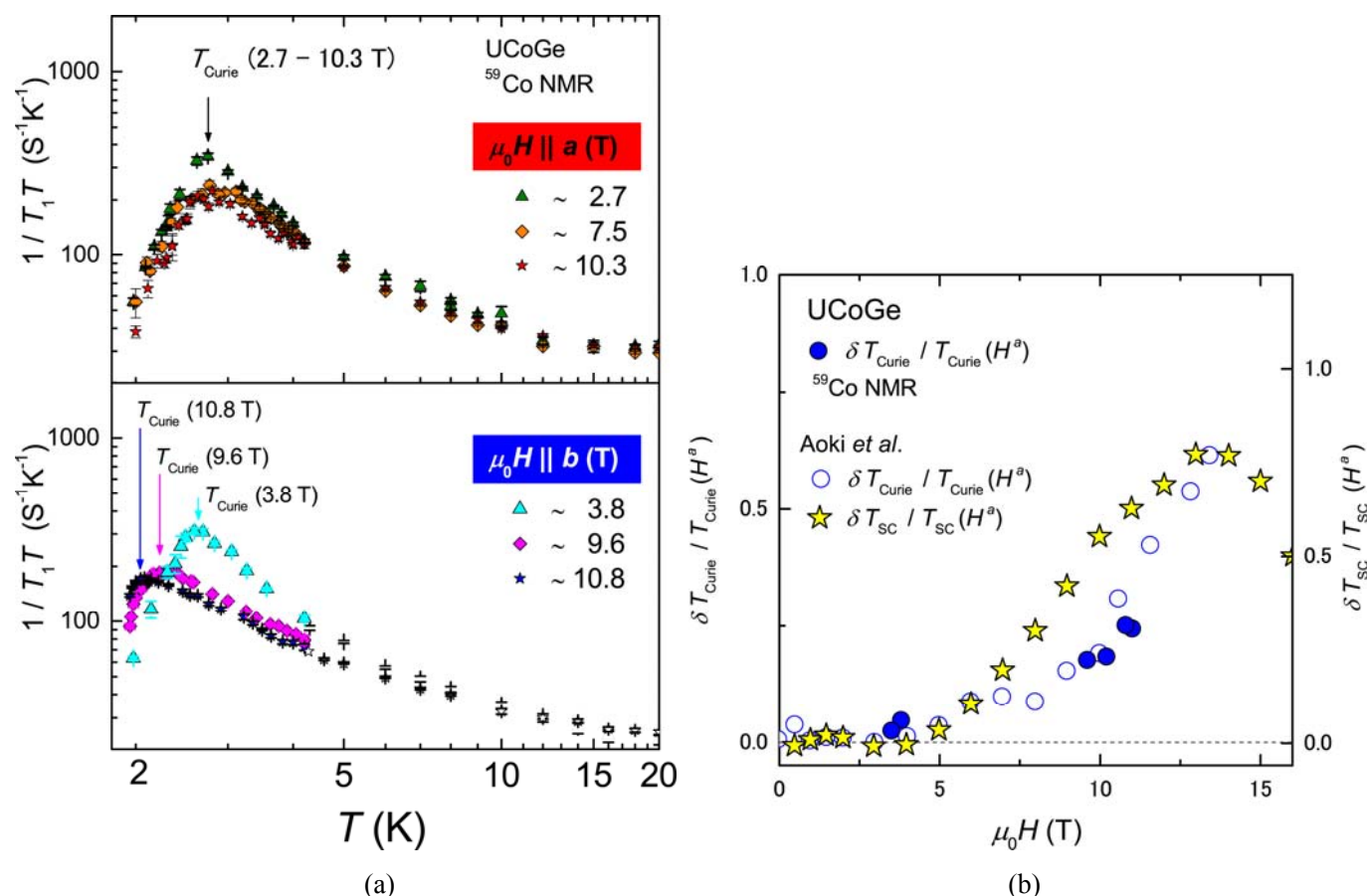


図 1. (a) 外部磁場下における  $^{59}\text{Co}$  NMR  $1/T_1T$  の温度依存性。  $1/T_1T$  は磁気ゆらぎに比例し、  $1/T_1T$  が発散する温度が磁場下における強磁性転移温度を示す。  $b$  軸に磁場をかけた時のみ強磁性転移温度が磁場により抑制され、測定最低温度 ( $T = 2$  K) において磁気ゆらぎが増大していることが分かる。(b) 磁場による強磁性の抑制 ( $\delta T_{\text{Curie}} = T_{\text{Curie}}(H^a) - T_{\text{Curie}}(H^b)$ ) と超伝導の増大 ( $\delta T_{\text{sc}} = T_{\text{sc}}(H^b) - T_{\text{sc}}(H^a)$ ) の磁場依存性。青木ら (D. Aoki et al. J. Phys. Soc. Jpn. **78**, 113709 (2009)) の結果と今回の結果をプロットしている。

力となり得ることが理論研究から指摘されていた。そのため、強磁性ゆらぎにより引き起こされる超伝導の可能性としてウラン化合物で実現している強磁性超伝導体は大いに注目を集めていた。

これらの中でも、2007年にオランダのグループによって発見された UCoGe は強磁性の転移温度が 2.5 K 程度と今まで発見された強磁性超伝導体の中で最も低く、超伝導に転移する温度は 0.7 K と最も高い。これは強磁性ゆらぎの発達が最も大きいため転移温度も高いと見る事が出来る。加えて磁気状態も特徴的で *c* 軸方向にのみ強い強磁性ゆらぎを持つことや、フランス原子力庁のグループの青木らにより *b* 軸方向に磁場を印加した場合のみ特異な超伝導の増強が見られることが見出され、強磁性ゆらぎと超伝導の関連性について注目が集まっていた。

今回、京都大学、名古屋大学、東北大学のメンバーからなる研究グループは、この UCoGe において外部磁場を *a*、*b* 軸に印加したときの強磁性の磁場応答を核磁気共鳴実験より調べ、磁気ゆらぎと超伝導との関係性を調べた。図 1(a)に示すように磁場を *a* 軸方向に印加した場合は強磁性転移温度や強磁性ゆらぎが変化しないのに対し、超伝導の増強の報告のある *b* 軸方向のみ強磁性転移温度が抑制され低温で強磁性ゆらぎが発達していることを示した。これらの結果は *b* 軸方向の磁場によって増強された強磁性ゆらぎによって UCoGe の超伝導が強められ、報告のあった特異な超伝導の増強が見られたことを指摘した(図 1(b)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 2014 年 7 月号に掲載された。

同研究グループは、外部磁場を *c* 軸方向に印加したときの強磁性ゆらぎと超伝導の関連性を調べ、強磁性ゆらぎが磁場により抑えられると同時に超伝導も抑制されることを示した。今回の結果は磁場を *b* 軸方向に印加し強磁性ゆらぎを増大させるという制御のもと、強磁性ゆらぎと超伝導との間に正の相関があることを示したものである。UCoGe におけるこれらの研究成果は、本系で見られていた超伝導臨界磁場の外部磁場に対する応答を統一的に理解することを可能にし、強磁性ゆらぎが超伝導にとって重要であることを強く示すものである。

ウラン系強磁性超伝導体は強磁性ゆらぎと超伝導の関係性を検証する殆ど唯一の例であり、強磁性ゆらぎと超伝導の間における正の相関を実験的に明示した例は他に類を見ない。本成果は、強磁性と共存する特異な超伝導状態を理解する上で重要なだけでなく、一般に磁気ゆらぎを媒介とする超伝導発現機構の検証にも重要な成果と考えられる。

## 原論文

Relationship between Ferromagnetic Criticality and the Enhancement of Superconductivity Induced by Transverse Magnetic Fields in UCoGe

[Taisuke Hattori, Kosuke Karube, Kenji Ishida, Kazuhiko Deguchi, Noriaki K. Sato, Tomoo Yamamura: J. Phys. Soc. Jpn. \*\*83\*\* \(2014\) 073708.](#)

問合せ先：石田 憲二（京都大学大学院理学研究科）  
服部泰佑（京都大学大学院理学研究科）  
佐藤 憲昭（名古屋大学大学院理学研究科）