

## 遍歴強磁性体の温度・圧力・磁場相図と量子臨界終点

物質の状態が外的条件により異なる相に移り変わることを相転移という。相転移は相の間を不連続に移り変わる1次相転移と連続的に移り変わる2次相転移に分類される。例えば、水と氷の間の相転移は中間の状態を持たない不連続な1次相転移であるが、それに対して、常磁性から秩序磁性（強磁性や反強磁性）への相転移は2次相転移と1次相転移のどちらの場合もあり得る。

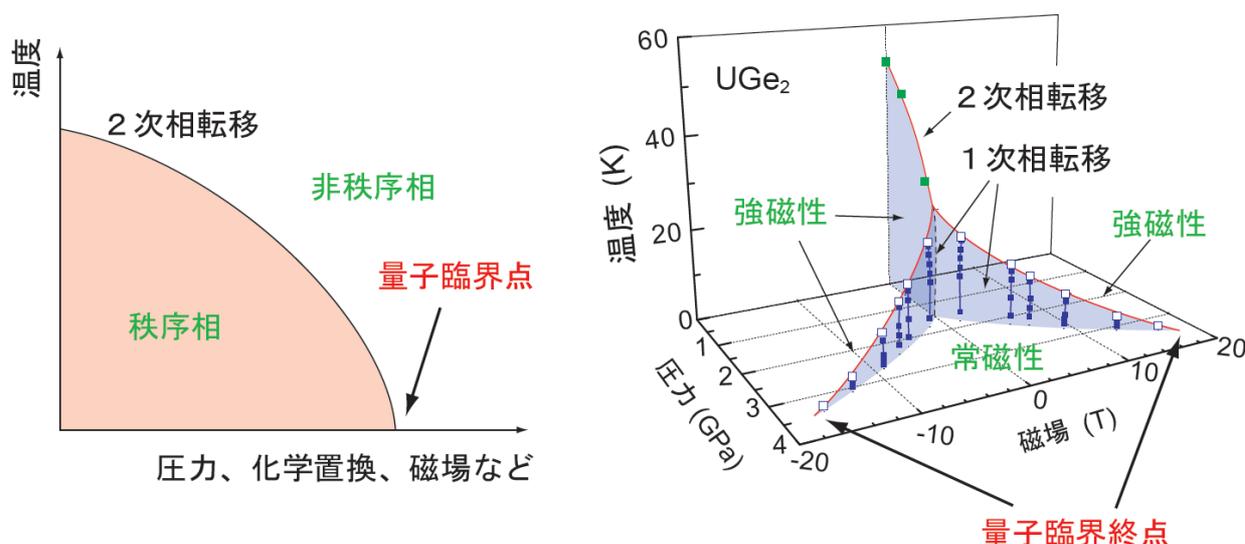


図 1. 左図：一般的な量子臨界点を持つ相図。右図：実験的に得られた  $\text{UGe}_2$  の温度・圧力・磁場相図。相図上に1次相転移の面とそれが終結する量子臨界終点が見られる。

左の図は有限の温度の2次相転移点を圧力、化学置換、磁場などの外部パラメータによって絶対零度まで変化させた相図である。2次相転移点が絶対零度まで到達した場合、2つの相の間の揺らぎが絶対零度でも存在する。この絶対零度の2次相転移点は一般に量子臨界点と呼ばれ、この付近では超伝導の出現や、通常の金属で成り立つフェルミ液体からの逸脱などの興味深い現象がしばしば報告される。仮にこれが不連続性の強い1次相転移であれば、揺らぎは存在せず同様の現象は期待できない。この相図は多くの反強磁性体に対しては実現していると考えられているが、多くの強磁性体では2次相転移であった転移温度が絶対零度に近付くと1次相転移に変化するため、量子臨界点を持たないと考えられている。

最近、神戸大学と CEA-Grenoble（フランス原子力庁）のメンバーからなる研究グループはそのような強磁性体の典型例である遍歴強磁性体  $\text{UGe}_2$  に着目し、圧力に加えて磁場を外部パラメータとすることで量子臨界終点と呼ばれる新たな量子臨界点の存在を明らかにした。

（ $\text{UGe}_2$  は強磁性と超伝導が共存する初めての物質として、とりわけ注目を浴びている物質である。）右の図はホール効果測定から得られた  $\text{UGe}_2$  の温度・圧力・磁場の三次元相図である。 $\text{UGe}_2$  は 52 K に2次相転移のキュリー温度を持つ強磁性体であるが、圧力印加と共にキュリー温度が減少し、およそ 24 K となったところで2次相転移から1次相転移に切り替わる。さ

らなる圧力印加でゼロ磁場での強磁性相は消失するが、強磁性が消えた常磁性相で磁場を容易軸方向に印加すると、再び強磁性相が1次相転移で出現する(メタ磁性転移とよぶ)。低温では1次相転移だが、高温では転移はクロスオーバーと呼ばれるブロードな変化となり、もはや相転移ではなくなる。その1次相転移とクロスオーバーの境界は臨界終点と呼ばれ、図中では□で表わされる。圧力印加と共にこの臨界終点は高磁場・低温に移動するため図のように相図上に1次相転移の面が描かれ、最終的に絶対零度で量子臨界終点に到達する。今回の研究から  $\text{UGe}_2$  の量子臨界終点は約 3.5 GPa、18 T と見積もられた。量子臨界終点はいくつかの物質でその存在は知られていたが、今回のようにゼロ磁場の強磁性相から続く相図として実験的に得られたのは初めてのケースである。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 2011 年 8 月号に掲載された。

本論文では量子臨界終点近傍において磁気揺らぎの増大と見られる異常が観測されている。その一方、ホール効果測定からは常磁性-強磁性の転移に伴うフェルミ面の劇的な変化が量子臨界終点に近づいても抑制されないことが報告されており、従来の量子臨界点の描像との相違を明らかにすることが今後の課題になるであろう。様々な測定手法による系統的な研究の展開が期待される。加えて、今回の研究が他の遍歴強磁性体における量子臨界終点、及びその近傍での特異な現象の探索に指針を与えると期待される。

論文掲載誌 *J. Phys. Soc. Jpn.* **80** (2011) No.8, p.083703

電子版 <http://jpsj.ipap.jp/link?JPSJ/80/083703> (8月10日公開済)

<情報提供：小手川 恒 (神戸大学大学院理学研究科)、青木 大 (CEA-Grenoble)

Jacques Flouquet (CEA-Grenoble) >