

# メタ磁性体の三重臨界点近傍における 新奇電子輸送現象の探索

浦田 隆 広\*

## Search for Novel Electron Transport Phenomena Near the Tricritical Point in Metamagnets

Takahiro URATA\*

The point on the phase diagram where multiple transition lines meet at is called the multicritical point. The peculiar behavior that occurs near this point has been actively studied since the 1970s. However, most of the systems that have been studied from this viewpoint are insulators, and conduction phenomena in the vicinity of multiple critical points have not yet been explored. In this study, we focus on an antiferromagnet  $\text{PrMnSb}_2$ , which has two magnetic elements, Pr and Mn. This compound exhibits a complex magnetic phase diagram with several multicritical points. We performed magnetotransport measurements at around the tricritical point. By applying a current pulse, we observed a switching behavior of resistivity in a magnetic field. The switching ratio became larger with increasing the magnetic field beyond the tricritical field. The observed switching can be attributed to two effects: the rapid heating induced by the current pulse and the relaxation to a metastable state.

### 1. 研究背景

相図上で複数の転移線が交差する点は多重臨界点と呼ばれる。この近傍で生じる特異的な振る舞いは70年代から調べられて来たが、実現する物質例が少ない点や、複数のパラメタを同時に制御する必要があることから、理論と比較し実験的な研究は進んでいない。特に、この観点でこれまでに研究されてきた多くの物質系は絶縁体であり、多重臨界点近傍の伝導現象は未開拓である。

近年申請者らは、反強磁性体  $\text{PrMnSb}_2$  の単結晶を用い、磁気相図を構築した[1]。この物質はPr及びMnという二つの磁性元素を含むが、これらが共に磁場誘起のメタ磁性転移を示し、三重臨界点を含む複数の多重臨界点を形成することが明らかになった。さらに、より最近では、様々な角度から磁場を印加して測定した電気抵抗から、三重臨界点が温度ゼロで現れる“量子”三重臨界点も発現することを明らかにした[2]。本研究の目的は、この系を用い、三重臨界点の近傍で引き起こされることが期待される、新奇輸送現象を開拓することにある。具体的には、三重臨界点近傍でのウィング構造と呼ばれる相境界が、電流印加によって生じる可能性を検証した。また、以下では紙面の都合上割愛するが、新たな多重臨界点を持つ系の実現に向けて、 $\text{PrMnSb}_2$  の類縁物質、 $\text{CeMnSb}_2$ 、 $\text{SmMnSb}_2$ 、 $\text{PrNiSb}_2$  の単結晶育成と磁気相図構築を行った。

### 2. 実験手法

近年、特殊な磁気構造を持つ反強磁性体ではドメイン構造が電流によって制御されることが報告され[3]、注目を集めている。本研究では、これを応用し、電流が反強磁性秩序と共役な場として見なせることを期待し、三重臨界点近傍の相図を磁場-温度-電流の3つのパラメタ空間で描くことを試みた。

反強磁性体の磁化の制御には、高い電流密度を印加する必要があるため、集束イオンビーム (FIB) を用い、単結晶試料を加工した。まず、微小な単結晶試料を  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  基板に固定し、銀ペーストで端子を形成した。その後、FIBによって電流経路を細く加工した。得られたデバイスの走査型電子顕微鏡 (SEM) 写真を図1に示す。図中に示した端子 (T1-T4) 間に電流を印加し、その他の端子を用いて電圧を測定した。

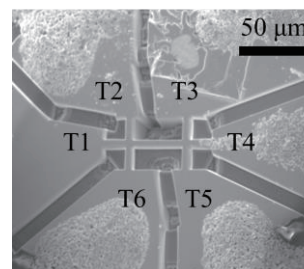


図1 FIBによる加工を行った  $\text{PrMnSb}_2$  単結晶のSEM写真。

### 3. 実験結果及び考察

図2に、4.2 Kにおいて、様々な磁場下で測定した電気抵抗測定の結果を示す。ここで、グラフの縦軸は電流パルスを印加する前の抵抗値からの変化率、横軸は測定番号に対応する。破線は電流パルスの印加タイミングを表す。用いたパルス幅は1 msで、大きさは10から100 mAまで10 mA間隔で増加させた。パルス電流印加後に、低電流で電気抵抗を10点測定した。

ゼロ磁場では変化は殆ど見られなかったが、2.0 T及び2.5 T印加時には、抵抗の変化が観測された。これら二つの磁場で、変化が生じたパルス電流値は10 mA ( $\sim 10^4$  A/cm<sup>2</sup>)及び20 mA ( $\sim 2 \times 10^4$  A/cm<sup>2</sup>)であった。この値はCuMnAs[3]で観測されたものより2桁小さい。さらに、変化率を比較すると、2.5 Tでは1%を超えており、1桁大きい。ここから、抵抗変化は反強磁性ドメインの整列以外の要因で生じたものと考えられる。

考察の結果、抵抗変化の原因としては、発熱の影響である可能性が高いことが分かった。ただし、恒常的な温度変化ではなく、パルス電流間(破線の間)は抵抗変化が見られないため、パルス電流印加時に瞬間的な温度上昇が生じたものと考えられる。図3(a)に、PrMnSb<sub>2</sub>の低温での磁気相図を示すが、パルス電流によって状態は赤色の矢印で示すように相境界を往復していると考えられる。この時に、高温のAFM I状態が準安定状態として保たれ、抵抗が下がったと解釈できる。ただし、ゼロ磁場(黒丸)や1.5 T

(赤丸)は、三重臨界点(TCP)が生じる磁場以下であり、2次相転移の境界を横断するため抵抗変化は生じなかったと推測される。準安定状態への転移を裏付ける結果は磁気抵抗効果(図3(b))にも現れている。ここでは、2.5 Tでパルス電流印加後に、磁場を減衰させている。抵抗にピークが観測され、磁場を減少させることで準安定状態が安定状態に推移したことを反映していると考えられる。

### 4. まとめと展望

本研究では、FIB加工を施したPrMnSb<sub>2</sub>の磁場中輸送特性を測定した。パルス電流印加によって生じた抵抗変化は、発熱と冷却が生じたことに起因する準安定状態への転移であることが示唆された。この結果は、当初予想していた反強磁性ドメインの制御によるものではなかったが、抵抗変化は1次相転移を横切る際にだけ生じたことを考えると、三重臨界点を決定する手法として用いることが出来ると期待される。今後は、接触抵抗の低減や、パルス幅を更に短くすることにより発熱の影響を低減し、反強磁性ドメインの制御による三重臨界点近傍のウィング構造の解明に取り組んでいきたい。

### REFERENCES

- 1) Y. Takahashi, T. Urata and H. Ikuta, *Phys. Rev. B*, **104** (2021) 054408.
- 2) T. Urata, *et al.*, *Phys. Rev. B*, **106** (2022) 184401.
- 3) P. Wadley, *et al.*, *Science*, **331** (2016) 587.

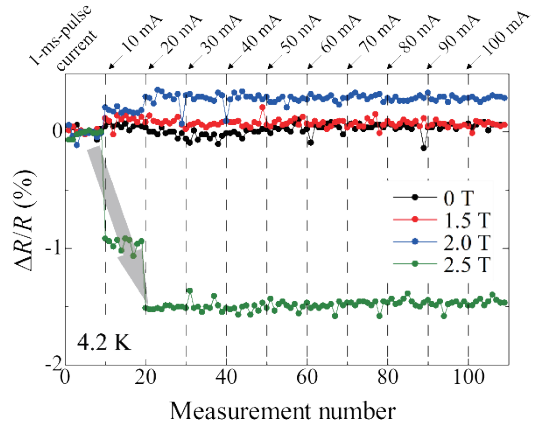


図2 PrMnSb<sub>2</sub>におけるパルス電流印加測定の結果。

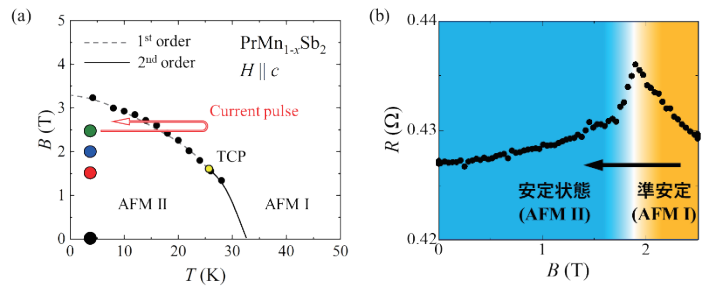


図3 (a) PrMnSb<sub>2</sub>の磁気相図[2]及び(b)パルス電流印加後の、電気抵抗の磁場依存性。磁場は減少する向きに掃引した。