

# 渦状磁気構造を持つ金属磁性体における 電流が駆動する格子ひずみの検証

日 高 宏 之\*

## Verification of Electric-current-driven Lattice Distortion in a Magnetic Metal with a Vortex-like Magnetic Texture

Hiroyuki HIDAKA\*

A uranium-based metallic compound  $\text{UNi}_4\text{B}$  has attracted much attention because of a possible ferroic ordering of magnetic toroidal dipoles (MTD) below an antiferromagnetic phase transition temperature of  $T_N = 20.4$  K. Under such a MTD ordering state, it is expected to emerge various cross-correlation phenomena, such as a magnetoelectric effect. In this study, we focus on a magneto-piezo-electric effect, that is electric current-induced lattice strain, among the expected cross-correlation phenomena in  $\text{UNi}_4\text{B}$ . We have succeeded in measuring thermal expansion of  $\text{UNi}_4\text{B}$  under magnetic field without the electric current thus far. The obtained results at zero field are in good agreement with those reported previously. Verification of the current-induced strain is currently in progress.

### 1. 研究背景

固体結晶における電子状態を記述するにあたって“対称性”は重要な概念であり、例えば電子間の相互作用によって自発的に系の時間反転対称性が破れることにより磁気秩序が発現する。近年では特に、空間反転対称性が破れた結晶における電子物性に大きな注目が集まっており、特異な結晶構造に起因した新しいタイプの超伝導や磁気秩序などが報告されている[1]。そのような空間反転対称性が破れた系では、一見通常の磁氣的・電氣的な秩序でも「空間反転操作に対して奇の対称性（パリティ）を持つ多極子の秩序」と解釈できることがある[2]。ここで多極子とは、電子の持つ磁気・電気空間分布の異方性を表す物理量である。興味深いことに、このような奇パリティ多極子の秩序下では、物性応答における入出力の時間・空間反転の偶奇性が異なる非対角応答である交差相関応答（電流が磁化を誘起する電流磁気効果など）の発現が期待される。奇パリティ多極子秩序を直接観測することは一般的には困難であるが、どのような交差相関応答が現れるかは多極子の持つ対称性により決定されるため、交差相関応答の性質を明らかにすることで逆に秩序している多極子の対称性を議論することも原理的には可能である。しかし、個々の物質における奇パリティ多極子秩序の実験的検証は、交差相関応答の観測手法の開発などを含め、まだまだ発展途上の段階にある。

### 2. 目的

奇パリティ多極子秩序が報告された金属磁性体の代表例が、本研究で対象とした反強磁性金属  $\text{UNi}_4\text{B}$  である。結晶構造は斜方晶であり、U原子が  $bc$  面内にハニカム格子を形成しているのが特徴である。 $\text{UNi}_4\text{B}$  は低温  $T_N = 20.4$  K で反強磁性秩序を起し、そこではハニカム格子上に渦状磁気構造が形成される（図1）[3]。この磁気構造は奇パリティ多極子の一種である「磁気トロイダル双極子」が  $a$  軸方向に強的に秩序した状態とみなすことが出来る。この秩序下において交差相関応答の一種である

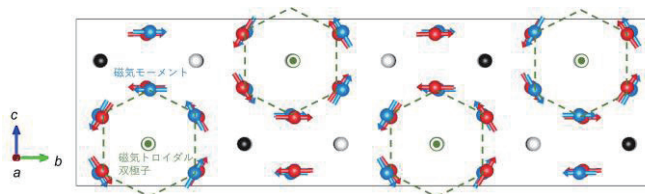


図1  $\text{UNi}_4\text{B}$ で期待される渦状磁気構造と磁気トロイダル双極子秩序。この状態に電流を流すことで格子の変形が期待される。

「電流誘起磁化」が実際に申請者らのグループにより実験的に観測されている[4]。しかし、観測された電流誘起磁化の結果は理論的に期待される結果とその発現方向などの点で合致していないなどの疑問点も残されている。

2023年3月2日 受理

\* 豊田理研スカラー

北海道大学大学院理学研究科物理学部門

本研究では、UNi<sub>4</sub>Bにおける磁気トロイダル双極子秩序の対称性の詳細について明らかにすることを目的とし、磁気圧電効果（＝電流誘起の格子ひずみ）の実験的観測を試みる。磁気圧電効果は以下の式で表すことができる。

$$\varepsilon_{ij} = d_{ijk} J_k$$

ここで $\varepsilon$ は格子歪み、 $d$ が応答テンソル、 $J$ が印加電流である。どの $d$ テンソル成分が有限になるか、ゼロになるかは秩序状態の対称性によって群論的に予測する事が可能である。そのため、様々な方向に電流を印加し、それに対して様々な方向の歪みを実験的に検証する必要がある。

### 3. 研究成果

本研究では UNi<sub>4</sub>B の反強磁性秩序状態における電流誘起格子歪みを検出するために、歪みゲージを用いた2ゲージアクティブダミー法による線熱膨張測定を採用した。この方法は簡便な熱膨張測定手法であると共に、電流下などの特殊環境下測定が可能である利点がある。しかし、別の測定手法を用いた過去の熱膨張測定からは、UNi<sub>4</sub>Bの $T_N$ での異常の大きさは、通常のU系のそれに比べて1/10程度しかないことが分かっている[5]。そこで電流下熱膨張測定に取り組む前に、まずは電流下ではない通常の実験を行って、我々のシステムで過去の研究結果を再現できるかどうか調べることから研究を開始した。

図2に本研究で得られたUNi<sub>4</sub>Bにおける線熱膨張 $\Delta L/L_0$ の温度依存性の測定結果を示す。測定試料はチョクラスキー法で作成された単結晶試料であり、線熱膨張の測定方向は斜方晶 $a$ 軸方向である。ゼロ磁場での結果を見ると、 $T_N = 20.4$  Kにおいて反強磁性転移による明瞭なキンク状の異常が観測されている。 $T_N$ 付近での熱膨張の変化量も含めて、過去の研究結果を定量的に良く再現した[5]。

さらに、我々はこれまで報告のなかった磁場中での熱膨張測定も合わせて行った。図2に磁場 $B = 10$  Tでの熱膨張の温度変化も合わせて示す。磁場は $bc$ 面内に平行に印加してある。 $B = 10$  Tのデータの13 Kと8 K付近に一次相転移的な異常 $H_1$ が観測されている。この異常が観測された磁場・温度点は、過去に報告されている超音波測定で得られた転移点とよく一致しており[6]、本系に強磁場相が存在することを示している。この強磁場相の詳細な磁気構造と結晶構造を明らかにすることは今後の課題であるが、その秩序状態の対称性によっては磁場中でも交差相関応答の観測が期待される。

### 4. 今後の展開

これまでの研究で、UNi<sub>4</sub>Bの試料性の確認も含め我々の実験が精度良く行われていることを確かめることが出来、今後の磁気圧電効果検証のための準備が整った。今後は、電流下熱膨張測定による様々な $d$ 応答テンソル成分に対するUNi<sub>4</sub>Bの磁気圧電効果の検証を強磁場中まで含めて推し進めていき、過去の電流磁気効果の結果とも合わせて、本系の特異な奇パリティ多極子秩序状態に関する理解を深めていく。

### REFERENCES

- 1) S. Khim, *et al.*, *Science*, **373** (2021) 1012.
- 2) S. Hayami, *et al.*, *Phys. Rev. B*, **98** (2018) 165110.
- 3) S. A. M. Mentink, *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, **73** (1994) 1031.
- 4) H. Saito, *et al.*, *J. Phys. Soc. Jpn.*, **87** (2018) 0033702.
- 5) S. A. M. Mentink, *et al.*, *Physica B*, **108** (1997) 230-232.
- 6) T. Yanagisawa, *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, **126** (2021) 1572021.

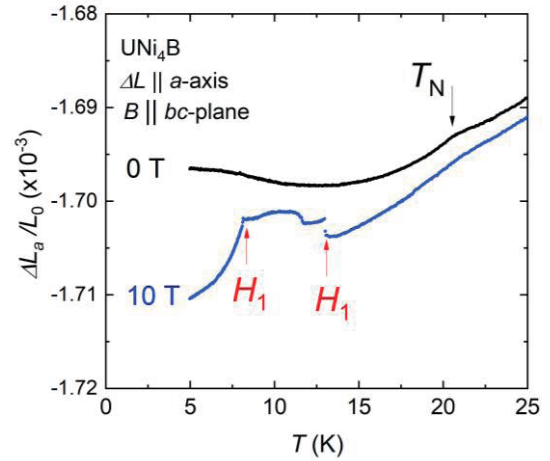


図2 UNi<sub>4</sub>Bの磁場中熱膨張の温度変化 ( $B = 0, 10$  T).  
線熱膨張の測定方向は斜方晶 $a$ 軸方向であり、磁場はそれに垂直な $bc$ 面内に印加している。