

## 拡張された多極子が導く新たな電気磁気効果

本論文は金属反強磁性体  $\text{UNi}_4\text{B}$  に対し電流下の磁化測定を行い、電流印加により反強磁性秩序相内で付加的に磁化が誘起される現象を観測した実験結果を報告している。本系の反強磁性は空間的に拡張された多極子の一つである磁気トロイダルモーメントの強制的秩序とみなせるため、金属化合物におけるこの新しい電気磁気効果の発見は、先行する理論が本質的に正しいことを実験的に示している。本成果により今後は多様な反強磁性体が電気磁気効果や拡張された多極子の研究の舞台となると期待される。

多極子は系の異方的な電荷・磁荷分布を記述する物理量で、電荷分布を表すスカラーポテンシャルと磁荷分布を表すベクトルポテンシャルの展開から導かれる。特に f 電子系をはじめとする強いスピン軌道相互作用を有する系においては、高次の多極子が秩序を支配することもあり、系の物性を記述するうえで不可欠な概念となっている。これまで、多極子の議論はそのほとんどが局在した磁性イオンと大局的な空間反転対称性を有する系に限られており、空間反転対称性が保たれた（空間反転対称性のパリティが偶の）多極子のみを扱っていたが、近年は、空間反転対称性を有しない奇パリティの多極子の理論研究が盛んに進められている。なかでも、複数のイオンサイトを一つのクラスターとして考えることにより、これまで平凡な反強制的秩序と思われていたものがクラスターの対称性に合った特定の多極子秩序とみなせる、とする理論は特に注目を集めている。これはとりもなおさず、多極子の定義を空間的に拡張することを意味する。この理論の特徴的な点の一つとして、常磁性状態で空間反転対称性を有する系においても、反強制的秩序に伴いパリティが破れ、奇パリティの多極子が秩序し得ることが挙げられる。例えば、ジグザグ鎖やハニカム、ダイヤモンド構造などはパリティが偶であるが、イオン位置では局所的に空間反転対称性が破れており、それに由来する奇数次の結晶電場が存在する。この電場は系のパリティを反映して交替的な配列をなし、総和としては 0 となっている。しかし、ジグザグ鎖上でイオン位置に反強磁性秩序が生じると、結晶電場と磁気モーメントの結合により秩序に伴い系全体のパリティが破れ、トロイダルモーメントや磁気四極子など奇パリティ多極子が有限となり得る。これらの奇パリティの多極子が強制的に秩序した場合、電流による磁化誘起現象などの非対角応答をはじめ、多様な新奇物性が生じることが理論提案されている。以上の研究は現状では理論が先行しており、実験的検証は始まったばかりである。

最近、北海道大学大学院理学院のメンバーを中心とする研究グループは、上記の理論を実験的に検証するため、磁気トロイダルモーメントの強制的秩序が発現していると理論予想されている金属反強磁性体  $\text{UNi}_4\text{B}$  において定電流下の磁化測定を行い、電流によって秩序相内で付加的に磁化が誘起される現象を初めて観測した。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 2018 年 3 月号に掲載された。

$\text{UNi}_4\text{B}$  は U が僅かに歪んだ三角格子を組む結晶構造をとる。U を囲む Ni と B の配置から U 位置には空間反転対称性がなく、本系は局所的に空間反転対称性が破れた系の一つである。本系の  $T_N = 20.4 \text{ K}$  以下の反強磁性相では、U のうちハニカムをつくる  $2/3$  が三角格子面内に寝た渦状の磁気モーメント配列をもつことが提案されている（図 1(a)）。この渦状の磁気構造は磁気トロイダルモーメント  $\mathbf{t}$  の定義と同じであることから、 $\mathbf{t}$  が三角格子面に垂直な方向([0001])を向いた強トロイダル秩序とみなせる。理論では強トロイダル秩序相内で面内に電流を印加することにより、電流と  $\mathbf{t}$  の

両者に垂直な方向に磁化が誘起することが予言されている。本論文では三角格子面内[2-1-10]方向の電流印加により、面内でそれに垂直な[01-10]方向への磁化が付加的に誘起されていることを明らかにしている (図 1(b))。著者らはこの印加電流による磁化誘起現象の異方性が理論と完全には整合しないことから、詳細な結晶・磁気構造に立ち戻った検証が必要としているが、局所的に空間反転対称性が破れた系において、磁気秩序に伴う電流による磁化誘起が観測されたという点において、本論文は理論の本質的な正しさを支持している。それはつまり、これまで平凡な反強磁性体とされていた化合物群においても、奇パリティ多極子秩序を内包しているものがあり、電気磁気効果をはじめとする多様な物性研究の舞台となり得ることを強く示唆している。

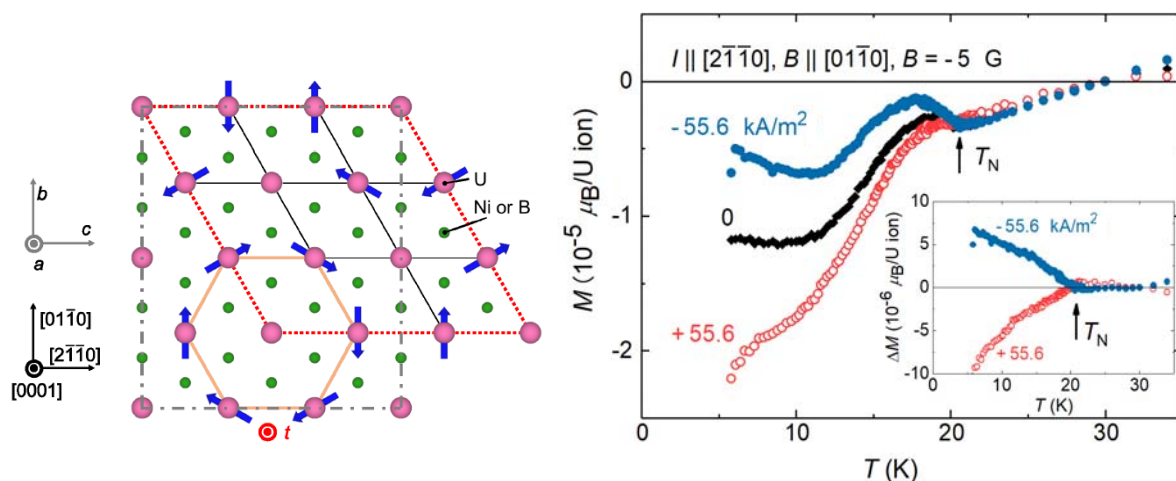


図 1 (a) [0001]方向から見た  $\text{UNi}_4\text{B}$  の U を含む層の結晶・磁気構造。結晶構造は実際には斜方晶だが、六方晶からの歪みが微小であるため六方晶の軸表記を用いている。ハニカムをなす橙の実線は磁気トロイダルモーメント (面に垂直な赤矢印) を構成する磁気モーメント (青矢印) を繋いでいる。(b) 電流 0 及び電流下での磁化  $M$  の 30 K からの相対変化。内挿図は電流による変化分  $\Delta M$ 。

また、電気磁気効果が金属化合物において発見されたということは、応用上の観点から意義がある。これまで電気磁気効果の舞台は主に絶縁体であり、過去に金属中での電気磁気効果の観測例は数えるほどしかない。更に、磁性金属化合物の多極子秩序によって電気磁気効果の有無がスイッチされる特異な現象を捉えたのは本研究が初となる。金属では電流により電子の移動が許されるため、本現象を用いたこれまでにない新たなスイッチング素子などへの研究の発展も期待できるだろう。

## 原論文

[Evidence of a New Current-Induced Magnetoelectric Effect in a Toroidal Magnetic Ordered State of  \$\text{UNi}\_4\text{B}\$](#)

[Hiraku Saito, Kenta Uenishi, Naoyuki Miura, Chihiro Tabata, Hiroyuki Hidaka, Tatsuya Yanagisawa, and Hiroshi Amitsuka: J. Phys. Soc. Jpn. 87, 033702 \(2018\)](#)

問合せ先：齋藤 開 (北海道大学大学院理学院)  
網塚 浩 (北海道大学大学院理学研究院)