

## 多々良物性物理研究室

主任研究員 多々良 源 (D.Sci.)



### (0) 研究分野

分科会: 物理、工学

キーワード: スピントロニクス、メタマテリアル、カイラル流体

### (1) 研究背景と研究目標

物性研究の目的は物質の最高性能を引き出すことです。当研究室ではその中でも特に電子のもつ微小磁石、スピン、に関わる新現象を理論的に開拓しています。現在の技術であるエレクトロニクスでは電子の電荷と電流のみを利用しているが、スピンの制御が可能となればスピンのもつ情報も加えたスピントロニクスが実現され、今よりもはるかに多量の情報を高速で、また低いエネルギー消費で処理することが可能となります。特に現在重要視されている効果としては物質中のスピンにはたらく強い量子相対論効果があり、これをうまく用いると非常に強い磁石や、スピンのもつ情報を電気信号に高効率で変換したりすることが実現されます。解析には主に場の理論という手法を用いています。

### (2) 2020 年度成果と今後の研究計画(中長期計画 2025 年度まで)

2020 年の主な成果:

#### [1] 磁壁によるスピン波放出の理論

磁性体中のソリトンの構造である磁壁は幾何学的に守られた構造で安定した伝搬特性をもつが、運動に際してはゆらぎをスピン波として放出することによる減衰が生じる。磁壁の運動によるスピン波放出を強磁性と反強磁性の場合に理論的に解析した。

強磁性磁壁の場合は厚さの振動が強いスピン波放出を起こすことがわかった。この効果は強いオーミック型の散逸を引き起こし、これが磁壁の運動による散逸の主要因と思われる。

反強磁性体の場合は低エネルギー極限では系がローレンツ不変性を持つため磁壁は相対論的に振る舞うことが知られている。スピン波にとっての「光速」に近い速度では強い相対論的效果による現象が期待される。その1つとして、相対論的速度で運動する磁壁は非常に強いスピン波ペア生成を起こしそれを前方に放出することを理論的に見出した。これは高速で動くためにスピン波が強いローレンツブーストを受け、応答関数が不安定化するためである。この現象は非常に強い電場のもとで真空が荷電粒子ペア生成を起こし不安定化するシュビンガー不安定性と同等の興味深い現象である。反強磁性体は光速に近い領域での相対論効果を実験室で簡単にデモしてみせるには恰好な題材である。

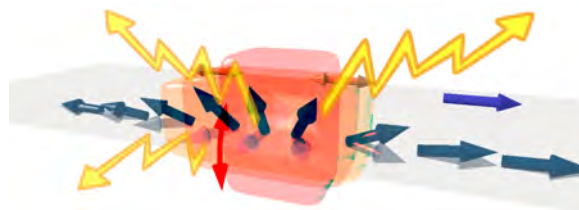
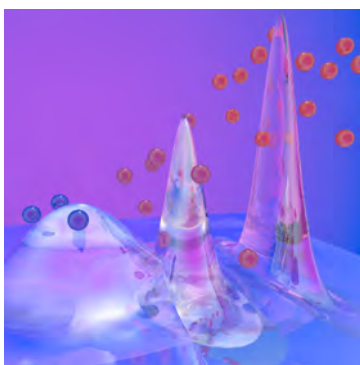


図1 左: 「光速」に近い速さで運動する反強磁性磁壁からのスピン波放出の概念図。スピン

波放出を磁壁の静止系で見ると真空の不安定性がスピン波対生成を起こすためである。右：強磁性磁壁からのスピン波放出の概念図。磁壁の運動に伴う内部自由度の変化、厚さの変化などによりゆらぎであるスピン波は放出される。磁壁はソリトンであり安定性を持つためスピン波放出は単純な並進運動ではおきず、厚さの変化が最も強い放出につながることを明らかにした。

## [2]金属中の電子のカイラル流体における角運動量生成理論

カイラルな構造を持った分子からなるカイラル流体は、直線的な流れから回転運動が生じるという特異な性質から物性物理、生物物理の分野など様々な場で注目されている。電子においては Weyl 型スピン軌道結合を持つ系はカイラル流体となることが期待される点に着目し、カイラル電子流体の流体方程式を導出し解析を行った。得られた流体方程式に基づき、外部電場によって角運動が生じることを見出し、その大きさを求めた。角運動量は電場の大きさと、電子の平均自由行程に比例することが分かった。

この結果はカイラル電子物質が、電流印加による回転誘起（ナノモーター）や、力学的回転からの発電（ナノ発電機）としてはたらくことを示している。

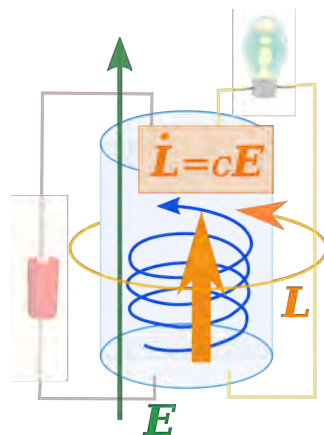


図2 : カイラル電子系は電場  $E$ （あるいは電流）をかけることで角運動量  $L$  の生成がおき、系の回転が生じる。この逆効果は力学的回転による発電にも用いることができる。

### 中長期計画

スピントロニクスは応用への志向が強く現象の原理的な理解はこれまで進んでいなかったが、我々のここ数年の仕事により線形応答理論という信頼できる理論枠組みに基づき現象を記述することが可能となってきた。今後はこうした基盤に基づき、スピントロニクスの新現象を理論的に追求し提案する方向へ研究を発展させる。具体的には光やスピン波を用いた制御とその逆過程、さらには表面効果や表面局在プラズモンを利用した新効果の開拓を想定している。

### (3) 研究室メンバー

(2020 年度)

(主任研究員)

多々良源

(アシスタント)

黒羽久丹子（途中退職）、穂山和恵（新規採用）

### (4) 発表論文等

1. Tataru, G. & Otxoa de Zuazola, R. M., Collective coordinate study of spin-wave

- emission from a dynamic domain wall, *Phys. Rev. B*, 101, 224425(9) (2020).
2. Tataru, G.; Akosa, C. A. & Otxoa de Zuazola, R. M., Magnon pair emission from a relativistic domain wall in antiferromagnets, *Phys. Rev. Research*, 2, 043226(17) (2020).
  3. Funaki, H. & Tataru, G. Hydrodynamic theory of chiral angular momentum generation in metals *Phys. Rev. Research*, 3, 023160(9) (2021).
  4. Göbel, B.; Akosa, C. A.; Tataru, G. & Mertig, I. , Topological Hall signatures of magnetic hopfions, *Phys. Rev. Research*, 2, 013315(6) (2020).
  5. Karashtin, E. & Tataru, G., Optical response of ferromagnetic materials induced by a spin gauge field at the second order, *Phys. Rev. B*, 101, 174439(8) (2020).
  6. Obadero, S. A.; Yamane, Y.; Akosa, C. A. & Tataru, G. Current-driven nucleation and propagation of antiferromagnetic skyrmionium, *Phys. Rev. B*, 102, 014458(8) (2020).
  7. Rana, B.; Akosa, C. A.; Miura, K.; Takahashi, H.; Tataru, G. & Otani, Y., Nonlinear Control of Damping Constant by Electric Field in Ultrathin Ferromagnetic Films, *Phys. Rev. Applied*, 14, 014037(14) (2020).
  8. Sousa, F.; Tataru, G. & Ferreira, A. Skew-scattering-induced giant antidamping spin-orbit torques: Collinear and out-of-plane Edelstein effects at two-dimensional material/ferromagnet interfaces, *Phys. Rev. Research*, 2, 043401(10) (2020).

#### Laboratory Homepage

[https://www.riken.jp/research/labs/chief/condens\\_matter\\_phys/index.html](https://www.riken.jp/research/labs/chief/condens_matter_phys/index.html)

<http://spinphys.riken.jp/sptrt/index.html>