

「磁性体における 2 次元融解現象」

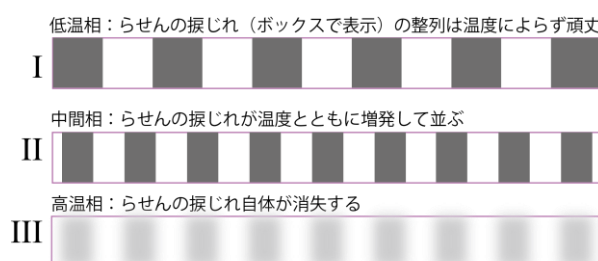
世界で初めて実証に成功！

米物理学会「Physical Review Letters」に論文掲載

大阪府立大学(学長：辻 洋[つじ ひろし])と放送大学(学長：來生 新[きすぎ しん])は、戸川 欣彦(とがわ よしひこ)教授(大阪府立大学)と岸根 順一郎(きしね じゅんいちろう)教授(放送大学)らの研究チームが、2次元特有の3段階融解現象が左右対称性の破れた(解説1)「キラル磁性体(解説2)」の薄膜で起きると予想し、磁性体として世界で初めて実証に成功しました。過去40年にわたって積み残された「磁性体における2次元融解現象」を始めて実証したものであり、基礎学術的に重要な研究成果です。アメリカ物理学会発刊「Physical Review Letters」誌に論文として掲載されました。

■本研究のポイント■

- ・2次元特有の3段階融解現象が左右対称性の破れた「キラル磁性体」の薄膜で起きると予想し、磁性体として世界で初めて実証に成功しました。
- ・キラル磁性体中で実現するらせん磁気秩序の周期構造を観察し、磁気秩序が「解ける」様子を捉えました。
- ・理論物理学の「場の理論と繰り込み」と呼ばれる手法を駆使し、実験結果が整合的に表されることを示しました。
- ・過去40年にわたって積み残された「磁性体における2次元融解現象」を世界で初めて実証した研究成果です。



図：磁性体における2次元融解現象(3段階融解現象)の模式図

1. 研究の背景

氷が溶けて水になるような固体から液体への変化は、物理学の世界で「相転移(解説3)」と呼ばれています。環境や物質によってその在り方は多様です。その多様性の中にある普遍性を解明することが、現代物理学の主要課題のひとつとなっています。中でも、薄い膜のような2次元環境に閉じ込められた環境では、構成要素間の結合ネットワークが緩くなり結晶の形成ができなくなるため、相転移の概念を本質的に修正する必要が生じています。

特に磁性体中の磁気モーメントのようなベクトル量を構成要素とする環境の場合、ベクトルの配向分布がつくる「渦」が結合したり乖離したりすることで転移が記述されます。この現象を最初に予言したコストリッツとサウレス(解説4)には2017年のノーベル物理学賞が授けられました。さらに、ベクトルの位置条件によっては、位置の秩序と配向の秩序が現れ融解が3段階で起きることが予言され、それはKTHNY理論(解説5)と呼ばれています。しかし、その実証例はコロイド懸濁液、層状液晶、固体表面の気体吸着などに限られており、磁性体での例は見出されないままでした。

【本研究に関するお問い合わせ】

大阪府立大学 大学院工学研究科 電子数物系 教授 戸川 欣彦

TEL 072-254-8216 Email y-togawa [at] pe.osakafu-u.ac.jp [at] の部分を@と差し替えてください。

放送大学学園 教養学部 自然と環境コース 教授 岸根 順一郎

TEL 043-298-4186 Email kishine [at] ouj.ac.jp [at] の部分を@と差し替えてください。

2. 研究成果について

2次元特有の3段階融解現象が左右対称性の破れた「キラル磁性体」の薄膜で起きると予想し、磁性体として世界で初めて実証に成功しました。実験において、キラル磁性体中で実現するらせん磁気秩序の周期構造を観察し、磁気秩序が「解ける」様子を捉えました。そして、この現象を理論物理学の「場の理論と繰り込み」と呼ばれる手法を駆使することで統合的に記述しました。この成果は過去40年にわたって積み残された「磁性体における2次元融解現象」を始めて実証したものであり、基礎学術的に重要な研究成果です。

3. 研究体制について

今回の研究は、大阪府立大学の戸川欣彦教授が実験的検証を、放送大学の岸根順一郎教授、ウラル連邦大学(ロシア)のAlexander Ovchinnikov教授が理論的枠組みの構築を担当しました。また、キラル磁性体の創製は、岡山大学の高阪勇輔特任助教が担当しました。

4. 研究助成資金等

本研究はJSPS科研費基盤研究(B)(JP17H02767, JP17H02923)の助成を受けて行いました。

5. 用語解説

解説1:対称性の破れた

例えば、磁性体が磁気を帯びた状態では、磁気を担う電子のスピン(極微の棒磁石とみなせる)が整列している。この整列は物質中で長距離にわたる秩序(長距離秩序)が形成された「対称性が低い状態」である。一方、高温になると磁性体中のスピンの整列状態はランダムになり「対称性が高い状態」となる。つまり、相転移はスピンのランダムに揺らいだ高い対称性の相から低い対称性の相への自発的な変化とみなせる。このように、相転移を「対称性とその破れ」という視点で理解することができる。

解説2:キラル磁性体

左右対称性の破れた磁性体(キラル磁性体)が示す磁性。スピン配列が片巻き方向にねじれたらせん構造を示すことが知られている。

解説3:相転移

水は温度とともに氷→水→水蒸気へ相を変える。これが相転移である。鉄は強い磁気を帯びた強磁性体(磁石)であるが、770℃以上の温度では磁気が消失する。これも典型的な相転移である。

解説4:コステリッツとサウレス

一般に、平面状(2次元)の物質では長距離秩序を伴う相転移が起きないことが知られている。しかしながら、長距離秩序はなくとも渦が生じてこれが結合したり乖離したりするタイプの転移が起き得ることが1973年にコステリッツとサウレスによって理論的に提案された。この提案は「渦」とい

【本研究に関するお問い合わせ】

大阪府立大学 大学院工学研究科 電子数物系 教授 戸川 欣彦

TEL 072-254-8216 Email y-togawa [at] pe.osakafu-u.ac.jp [at] の部分を@と差し替えてください。

放送大学学園 教養学部 自然と環境コース 教授 岸根 順一郎

TEL 043-298-4186 Email kishine [at] ouj.ac.jp [at] の部分を@と差し替えてください。

う自由度に光を当てただけでなく。物質科学に「トポロジー」の考えが導入されるきっかけとなった。この功績に対し、2016 年のノーベル物理学賞が授けられている。

解説 5:KTHNY 理論

位置と配向の自由度をあわせ持つ 2 次元系では、コストリッツ・サウレス転移の様相がさらに豊かになり、転移が 3 段階で起きる。第 1 段 (低温相) では位置、配向ともに緩やかに整列する。第 2 段 (中間相) は液晶相あるいはヘキサティックと呼ばれ、位置はランダムだが配向が整列する。第 3 段 (高温相) では位置、配向ともにランダムとなる。

研究論文名	: 「Anomalous Temperature Behavior of the Chiral Spin Helix in CrNb ₃ S ₆ Thin Lamellae」
著者	: Y. Togawa, J. Kishine, P. A. Nosov, T. Koyama, G. W. Paterson, S. McVitie, Y. Kousaka, J. Akimitsu, M. Ogata, and A. S. Ovchinnikov
公表雑誌	: 米物理学会誌「Physical Review Letters」
公表日時	: 2019 年 1 月 9 日 (水) 23:00 (日本時間)
URL	: https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.122.017204
DOI	: 10.1103/PhysRevLett.122.017204

【本研究に関するお問い合わせ】

大阪府立大学 大学院工学研究科 電子数物系 教授 戸川 欣彦

TEL 072-254-8216 Email y-togawa [at] pe.osakafu-u.ac.jp [at] の部分を@と差し替えてください。

放送大学学園 教養学部 自然と環境コース 教授 岸根 順一郎

TEL 043-298-4186 Email kishine [at] ouj.ac.jp [at] の部分を@と差し替えてください。