

## トポロジカル機械学習を用いた保磁力支配因子の可視化

## Feature extraction of coercivity using topological machine learning

東京理科大学<sup>1</sup>, 東北大学 AIMR<sup>2</sup>, MI<sup>2</sup>I-NIMS<sup>3</sup>, 理研 AIP センター<sup>4</sup>○小嗣真人<sup>1,3</sup>, 山田拓洋<sup>1,3</sup>, 鈴木真悟<sup>1</sup>, 鈴木雄太<sup>1</sup>, 大林一平<sup>2</sup>, 平岡裕章<sup>2,3,4</sup>Tokyo Univ. of Science<sup>1</sup>, AIMR Tohoku Univ.<sup>2</sup>, MI<sup>2</sup>I-NIMS<sup>3</sup>, AIP center RIKEN<sup>4</sup>◦Masato Kotsugi<sup>1,3</sup>, Takumi Yamada<sup>1,3</sup>, Shingo Suzuki<sup>1</sup>, Yuta Suzuki<sup>1</sup>, Ippei Obayashi<sup>2</sup>, Yasuaki Hiraoka<sup>2,3,4</sup>

E-mail: kotsugi@rs.tus.ac.jp

近年、マテリアルズインフォマティクスの発展を背景に、情報科学を機能解析に取り入れる試みが活発化している。磁性材料の保磁力はダイナモの発電効率を特徴付ける重要な機能であるが、0次元のマクロ機能を磁区構造と磁場で構成された多次元情報と関連付けることが困難なため、保磁力解析の方法論は未だ確立されていない。そこで本研究では「パーシステントホモロジー<sup>[1,2]</sup>」を磁区構造に適用するとともに、主成分分析(PCA)による機械学習手法を併用することで、保磁力に寄与する因子の可視化を試みた。パーシステントホモロジーは構造データの位相幾何学情報を記述できるだけでなく、機能から構造データへの逆問題解析が行えるのが大きな特徴である。ピニング磁区では、磁区幅や磁壁形状に不均一性が見られることから、保磁力解析に有効と考えた。

実験では Kerr 顕微鏡を用いて YIG ガーネット単結晶薄膜を測定し、明瞭な迷路状磁区構造を得た(Fig.1a)。次にパーシステントホモロジーを適用し、パーシステント図(PD)を作成した(Fig.1b)。PDの横軸と縦軸は画像における空壁の発生と消滅をそれぞれ表しており、縦方向のデータ点の広がりや磁区幅の不均一性を反映した位相幾何学情報である。

PDの妥当性を検証するため、輝度が同一で微視的構造の異なる複数枚の磁区構造を解析した。出力されたPDは統計的に共通の振る舞いを示したことから、磁区構造の記述子として有用であることがわかった。次に、磁区構造およびPDの外部磁場依存性を調査した。その結果、磁区構造の連続変化に伴ってPDも連続変化する振る舞いが確認された。特に磁区のピニングに対応してPDもピニングすることが明らかとなり、保磁力の記述子として有用なことがわかった。

さらにPCAとパーシステントホモロジーを組み合わせることで、保磁力の支配因子の逆解析を試みた。複数のPDにPCAを適用し保磁力に寄与するPDを抽出し、その後birth/death positionによって磁区構造上に点群をマッピングした(Fig. 1c)。得られた点群はいずれも磁区構造の終端点や分岐点に一致しており、ピニングに寄与する点をデータ構造のみから逆解析したことになる。点群の近傍では、静磁エネルギーと磁壁エネルギーの両方が増大していると示唆されるため、保磁力の支配因子をデータ駆動的に可視化できたと考えられる。

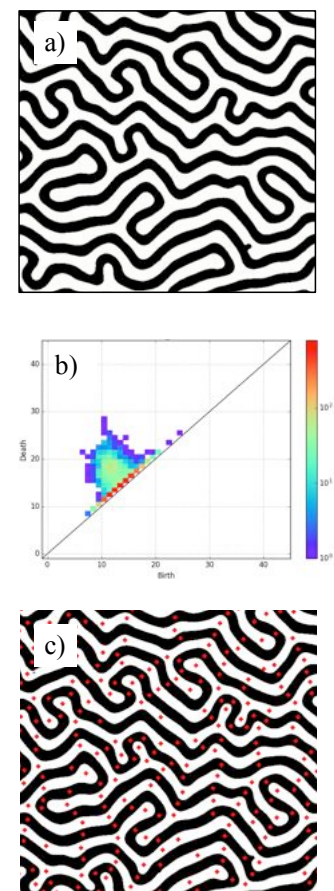
[1] Edelsbrunner, *et. al.*, Discrete and Comput. Geom., **28**, 511–533, (2002).[2] Obayashi *et al.* arXiv:1706.10082

Fig.1: a) Kerr 顕微鏡で得られた磁区構造. b) 磁区構造から作成された PD 図. c) PD 図と PCA から元の磁区構造に逆解析した結果