

## A02 量子凝縮系およびソフトマターにおける自己組織化現象に対する流れの影響の解明

お茶の水女子大学大学院人間文化創成科学研究科 工藤和恵  
東京大学大学院工学系研究科 川口由紀

量子凝縮系であるボース・アインシュタイン凝縮体にはスピン自由度を持つもの（スピノル BEC）がある。そのうちの強磁性相にあるもの（強磁性 BEC）では、スピンによる自己組織化現象として、従来の強磁性体に見られるのと同様な磁区パターンが観察されることがある。強磁性 BEC が従来の強磁性体と決定的に違う点は、超流動的な流れの存在である。この流れの存在が、磁区パターンのダイナミクスに影響を与える。たとえば、強磁性 BEC におけるドメインサイズの成長則は、イジング模型的な異方性の場合には、古典的な保存系での成長則と一致する。しかし、単純にイジング模型のドメイン成長則と一致するのではない。BEC には超流動的な流れが存在するために、古典 2 成分流体の非常に粘性の小さい場合の成長則と一致する [1]。超流動的な流れが存在しない場合は、2 成分合金などと同じドメイン成長則を示し、流れが存在する場合よりも成長が遅い。一方で、異方性が XY 模型的な場合についてはまだ普遍的なドメイン成長則が知られていない。この場合はスピン渦の対消滅がドメイン成長を支配するが、BEC では渦の構造と超流動的な流れが密接に関係しており、しかもそれらが時間変化するため、強磁性体の場合よりもはるかに複雑である。異方性が XY 模型的な場合もイジング模型的な場合のように普遍的なドメイン成長則が見いだせるかどうか、普遍法則があるとすればどのような条件下でそれが成り立つのかを明らかにするために研究を進めてきた。

強磁性 BEC では、スピン自由度と質量流（超流動的な流れ）の相互作用から、渦がいくつかの種類に分類される。スピン渦の巻数と質量流の循環の組み合わせによって分類できる。例えば、循環が 0 で巻数が  $\pm 1$  の場合、渦芯で磁化が消える。このような渦をポーラーコア渦（PCV）と呼ぶ。循環も巻数も  $\pm 1$  の場合は渦芯でも磁化が残る。このような渦を Mermin-Ho 渦（MHV）と呼ぶ。今年度は渦の種類が MHV のみの場合に限定して研究を進めてきた。MHV はスピン渦の構造だけ見れば従来の強磁性体と同様であるが、質量流の循環も考慮すると、(循環, 巻数) = (+, +), (-, -), (+, -), (-, +) の 4 種類の渦があり、循環も巻数も互いに異なる渦同士が対消滅できる。つまり、対消滅できる渦のグループが 2 つ存在する。BEC の基礎方程式である Gross-Pitaevskii (GP) 方程式、および GP 方程式からいくつ

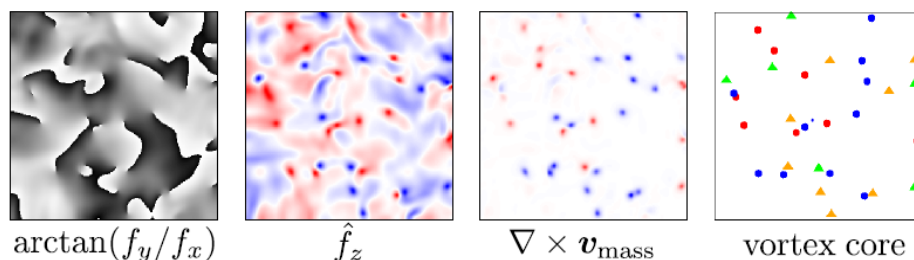


図 1. 横磁化, 縦磁化, 質量流の渦度, 渦芯の位置. ●印の渦同士, ▲印の渦同士が対消滅する。

かの近似を使って導出した流体方程式で数値シミュレーションを行うと、古典 XY 模型のドメイン成長則から少し外れた成長をすることが分かった。流体方程式を使うと質量流を取り除いた場合の数値シミュレーションができるが [1,2]、その場合は古典 XY 模型の場合と同じドメイン成長則に従うことが確認できた[3]。ただし、質量流が存在しない場合の成長は、存在する場合の成長に比べて非常に遅い。ここで、質量流がドメイン成長に与える影響として2つのことが考えられる。ひとつは、純粋に質量流の存在によってスピンのダイナミクスが変化して、ドメイン成長が速くなることである。これは、イジング模型的な異方性の場合と（詳細なメカニズムは異なるが）同様である。もう一つは、渦の種類が増えて対消滅できる渦のグループが2つになることである。渦の種類数がドメイン成長則に影響を与えるかどうかを調べるためには、たとえば(+,+), (-,-)の種類のみが存在する状態でドメイン成長を調べればよい。この場合、質量流は存在するが、対消滅に関しては古典 XY 模型と同様な状況となる。実際にこの条件で数値シミュレーションを行うと、古典 XY 模型と同じドメイン成長則に従う。ただし成長の速さ自体は、質量流の存在しない場合と比較して非常に速い。以上のことから、強磁性 BEC では超流動的な流れがドメイン成長を促進するが、その流れの存在によって渦の種類が増えることが、ドメイン成長が従来の成長則に従わない原因であることが分かる [3]。

自己組織化現象の中で流れが重要な役割を果たす例は、ソフトマターの系にも多く見られる。本研究では、高分子溶液である塗料を乾燥させた場合の不均質な塗膜の形成に注目している。溶液の流れが重要であるとすれば、塗料の粘性や蒸発率だけでなく、基板表面の性質やその形状が、塗料の乾燥パターンに影響してくるはずである。塗料を均質に塗るための条件、および均質でない乾燥パターンの出現するメカニズムとそれに対する流れの影響を解明するために研究を進めてきた。

まず簡単な実験によって乾燥パターンの観察を行った。具体的には身近な塗料としてマニキュア用い、プラスチック基板およびガラス基板上の液滴の乾燥パターンを観察した。ガラス基板では塗布直後から表面の形状には変化がほとんど見られなかったの。それに対してプラスチック基板では、乾燥後に表面にシワができていたのが観察された。この観察結果から、基板からの蒸発率に着目した簡単な模型を考案し、数値シミュレーションを行った。その結果、蒸発率の高いときにシワの発生を再現できた。より詳細な議論や、模型の妥当性と改良点について現在検討中である。

#### 参考文献:

- (1) K. Kudo and Y. Kawaguchi, *Phys. Rev. A* **88**, 013630 (2013).
- (2) K. Kudo and Y. Kawaguchi, *Phys. Rev. A* **84**, 043607 (2011).
- (3) K. Kudo and Y. Kawaguchi, to appear in *Phys. Rev. A*.