

# 超伝導と渦糸の物理

青木瑠也

大阪府立大学 工学域 電気電子系学類 3年

2015年12月20日

## 1 はじめに

微視的な物理現象を記述する量子力学は、我々の持つ日常的な感覚とは乖離した結果をもたらす。物理量の量子化がその一例である。古典力学では連続量として捉えられていた物理量が、量子力学の世界では離散的な値として観測されるのは非常に特徴的である。ただ、原子や電子の大きさを超越する我々がこの量子効果を日常生活で意識することはまず有り得ないだろう。"Certa amittimus dum incerta petimus."(我々は不確実なものを求める間、確実なものを失う) 古代ローマの先賢 Plautus が残した格言であるが、果たしてこのような微視的なスケールで起こる量子効果は我々の眼で直接確認することはできないのだろうか。また、もし仮に巨視的なスケールで量子効果が発現するとすれば、それは一体どのような現象なのだろうか。実を言えば、極低温下において量子効果が巨視的に起こることが 20 世紀初頭に発見されている。その一つが超伝導と呼ばれるものであり、特定の物質の電気抵抗がゼロになるという目覚ましい現象である。勿論、この現象の有用性は言を俟たない。とどのつまり、超伝導は興味の尽きない現象なのである。

### 1.1 超伝導と渦糸

超伝導体に磁場を印加すると、興味深い応答を示す。それは Meissner 効果と呼ばれ、超伝導体内部の磁場が外部へと排除されるというものである。しかしながら、この効果は不純物や格子欠陥のある物質に対しては不完全であり、磁束が量子化された形で部分的に侵入することが知られている。この量子化された磁束を渦糸と呼ぶ。

渦糸の挙動を知ることは決定的に重要である。比較的高い温度で超伝導状態に転移する高温超伝導体は一般に化合物であり、その結晶構造から渦糸の挙動は多様かつ複雑になる。よって、その挙動の理解は未だメカニズムが不明な高温超伝導体の特性を知る指針となるだろう。また、応用上の観点からも渦糸は枢要である。超伝導体は電気抵抗がゼロなので大量の電流を流すことが可能であり、それにより高磁場を発生することができる。これを利用したのが、核融合におけるプラズマの閉じ込めやリニアモーターカーである。ただ、超伝導体に流すことのできる電流は無制限ではなく、その上限を決めるものが渦糸の運動なのである。

したがって、渦糸の挙動は超伝導をより深く理解する上でも、応用する上でも重要な役割を果たす。畢竟するに、超伝導をより深く知ろうとすると渦糸が織り成す物理へと吸い込まれていくのである。

## 2 講演内容

まず、超伝導の基本的な性質を概説する。その後、超伝導を現象論的に記述する Ginzburg-Landau 理論について考察する。この理論から超伝導体には2種類存在することを示し、その一方である第II種超伝導体について磁場の排除が不完全であること(混合状態という)を見る。そして、その状態における超伝導体内部の磁束が渦糸状態であり、その振る舞いがどうなっているのかを考えていく。特に、渦糸同士の相互作用から渦糸の挙動について見ていく。最後に、高温超伝導体における渦糸の挙動を紹介する。

## 参考文献

- [1] A.A.Abrikosov, 『金属物理学の基礎(下)』(松原武生, 東辻千枝子訳), 吉岡書店(1995).
- [2] U.Essmann, H.Trauble, *The direct observation of individual flux lines in type II superconductors*, Phys.Lett, Vol.24A(1967).
- [3] P.L.Gammel, D.J.Bishop, G.J.Dolan, J.R.Kwo, C.A.Murray, L.F.Schneemeyer, and J.V.Waszcak, *Observation of Hexagonally Correlated Flux Quanta In  $YBa_2Cu_3O_7$* , Phys.Rev.Lett.**59**.2592(1987).
- [4] H.F.Hess, R.B.Robinson, R.C.Dynes, J.M.Valles, Jr., and J.V.Waszcak, *Scanning-Tunneling-Microscope Observation of the Abrikosov Flux Lattice and the Density of States near and inside a Fluxoid*, Phys.Rev.Lett.**62**.214(1989).
- [5] R.H.Koch, V.Foglietti, W.J.Gallagher, G.Koren, A.Gupta, and M.P.A.Fisher, *Experimental Evidence for Vortex-Glass Superconductivity in Y-Ba-Cu-O*, Phys.Rev.Lett.**63**.14(1989).
- [6] M.Tinkham, *Introduction to Superconductivity Second Edition*, Dover Publication(2004).
- [7] L.Ya.Vinnikov, J.Karpinski, S.M.Kazakov, J.Jun, J.Anderegg, S.L.Bud'ko, and P.C.Canfield, *Vortex structure in  $MgB_2$  single crystals observed by the Bitter decoration technique*, Phys.Rev.B**67**.092512(2003).
- [8] 家泰弘, 『超伝導』, 朝倉書店(2005).
- [9] 猪木慶治, 川合光, 『量子力学 I, II』, 講談社サイエンティフィク(2013).
- [10] 内野倉国光, 前田京剛, 寺崎一郎, 『高温超伝導体の物性』, 培風館(1998).
- [11] 巽友正, 『流体力学』, 培風館(1979).
- [12] 恒藤敏彦, 『超伝導・超流動』, 岩波書店(1993).
- [13] 中嶋貞雄, 『超伝導(岩波新書)』, 岩波書店(1980).
- [14] 丹羽雅昭, 『超伝導の基礎』, 第3版, 東京電機大学出版局(2012).