



Title	Anomalous Hall effect on a vortex of supercurrent in type-II superconductors [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	大内, まり絵
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	甲第14354号
Issue Date	2021-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/81899
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Marie_Ohuchi_review.pdf, 審査の要旨



学 位 論 文 審 査 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士 (理 学) 氏 名 大 内 ま り 絵

審査担当者	主査	教 授	北 孝 文
	副査	教 授	小 田 研
	副査	客員教授	内 橋 隆
	副査	准 教 授	近 藤 憲 治

学 位 論 文 題 名

Anomalous Hall effect on a vortex of supercurrent in type-II superconductors
(第二種超伝導体の超伝導渦電流に対する異常 Hall 効果)

博士学位論文審査等の結果について (報告)

電流が電気抵抗なしで流れる超伝導状態は、自発的対称性の破れた系の典型例であり、興味深い現象の宝庫である。この超伝導を示す物質群は、磁場中での熱力学的性質により、「第一種超伝導体」と「第二種超伝導体」に分類される。第一種超伝導体では、表面を流れる反磁性電流により、磁場が超伝導体内部から排斥される。一方、第二種超伝導体では、量子化された磁束が超伝導体内部に入り込むことが可能で、それらは一般に、「アブリコソフ格子」と呼ばれる二次元的な格子を組んで安定化する。磁束の量子化は、超伝導波動関数の一価性により引き起こされる。そして、各磁束周りには、超伝導電流が渦巻き状に流れ、周期的に空間変化する磁場を作り出す。その磁場構造は、STM などにより鮮明に観測され、磁束格子が実在することが確立されている。

大内氏は、量子化された磁束の周期構造が、また、電荷の周期構造を伴うことを示し、その定量的な大きさを磁場・温度の関数として計算した。そして、その帯電が、よく知られたローレンツ力だけによるのではなく、「ペアポテンシャル」と呼ばれる超伝導波動関数の空間変化によっても生じることを明らかにした。これらの成果は、独自性が高く、大いに評価できる内容である。

超伝導電流に働くローレンツ力や超伝導体の帯電効果に関しては、国際的にもこれまであまり研究されてこなかった。それらの効果は、アンペールの法則に従う巨大な反磁性効果の背後に隠れ、見落とされてきたのである。実際、不均一な超伝導状態を理論的に記述するための標準的な枠組みである「ギンツブルグ-ランダウ方程式」(転移点近傍)や「準古典アイレンバーガー方程式」(全温度領域)には、ローレンツ力や帯電項が欠落しており、「超伝導電流にローレンツ力は作用しない・超伝導体では帯電は生じない」という非物理的な結論に導くのである。これらの方程式は、ゴルコフ方程式から変数消去により微視的に導出できることが知られている。しかしローレンツ力や帯電項は、導出過程で方程式のゲージ不変性を適切に取り扱い、微小量である準古典パラメータ δ に関する展開を一つ高次まで行って初めて顔を出す。さらに、準古典パラメータ δ に関する一次項の中には、磁気ローレンツ力に加えて、超伝導状態固有の帯電機構が存在することが指摘されている。一つは、「ペアポテンシャルの振幅が空間変化するることによる力 (PPG 力)」、もう一つは、現象論的に議論されてきた「状態密度のエネルギー依存性から生じる力 (SDOS 力)」である。近年の研究により、これら三つの力を統一的に取り込んで、超伝導状態の帯電を微視的・定量的に議論することが可能になった。

この「拡張された準古典方程式」を解いて、「第二種 s 波超伝導体の量子渦格子状態の帯電効果」を理論的に研究したのが本論文である。考察した s 波超伝導体においては、SDOS 力は働かないことを示せる。著者は、ローレンツ力と PPG 力を取り込んだ拡張された準古典方程式を、アブリコソフ格子状態に対して数値的に解くという高いハードルに挑んだ。そして、渦中心に電荷が蓄積

し、その大きさは、磁場の関数としてピーク構造を持つことを明らかにした。これらは、実験家にとっての非常に有益な知見であり、新たな実験を刺激することが予想される。さらに筆者は、ローレンツ力と PPG 力の相対的な大きさを定量的に明らかにし、PPG 力の方が大きな帯電効果を持つことを示した。また、帯電の温度変化の詳細も明白になった。

以上のように、著者は、超伝導アブリコソフ格子における帯電効果を詳細に研究し、その大きさや温度・磁場依存性を定量的に明らかにすることに成功した。

よって著者は、北海道大学博士（理学）の学位を授与される資格あるものと認める。