

## 論文審査の結果の要旨

氏名 佐々木貴彦

本論文では、超伝導近接効果を示す小さな同心円形の超伝導・常伝導接合系における **AB** 位相の効果を解明し、常伝導体内部の超伝導振幅、電流分布、磁化、熱力学ポテンシャルの興味深い磁場依存性を明らかにし、メゾスコピック近接効果系の特徴に関する重要な知見を得た。本論文は5章よりなり、1章はメゾスコピック超伝導近接効果の導入、2章では理論研究の現状とモタの実験、3章では本研究の理論モデルと計算結果、4章では計算結果の物理的考察、5章は全体のまとめを述べた。

常伝導金属と超伝導体の界面から超伝導状態が染み出し、常伝導金属の一部が超伝導の性質を示す超伝導近接効果は、すでによく知られた現象である。しかし、コヒーレンス長が系のサイズと同程度になると、どのような効果が現れるかについては未だ完全な理解に至っていない。実際、モタの実験結果は、従来の近接効果の理論では理解できない現象である。すなわち、超伝導体の円柱を常伝導金属で同心円状に覆った試料に磁場を印可し転移温度以下に冷やすと、反磁性帯磁率に常磁性帯磁率の成分が加わりマイスナー効果を打ち消すことさえある。これは超伝導メゾスコピック系に特有な現象と考えられるが、その機構は解明されていない。

学位申請者はモタの実験に触発されて、メゾスコピック系に特有な超伝導近接効果の理論的解明をめざした。すなわち、常伝導金属で同心円状に超伝導体円盤を覆った取り扱いやすい2次元系で、放物線型のポテンシャルに閉じ込められた清浄極限の電子ガスについて解析した。このモデルはモタの実験そのものの説明には不十分であるが、超伝導メゾスコピック系に特有な未知の現象を見出すためには有効であると思われる。

円対称な系を取り扱うために極座標をもちいると、一様磁場が加わった場合でも、常伝導状態ではすべての波動関数が解析的に求められる。超伝導体があるとき、そこに一様なギャップエネルギー（ペアポテンシャル）を仮定し、上述の解析的な基底関数による永年方程式を解く。こうして正確に求められる系の状態を用いて、摂動論的な近似を用いずに種々の物理量を数値計算した。

得られた重要な結果を以下に述べる。温度が平均レベル間隔のオーダーより低い場合には、全系にわたって電子のコヒーレンスが保たれるので、磁化の磁場依存性に **AB** 効果（アハラノフ・ボーム効果）に起因する不連続な変化が現れる。このメカニズムは、準位構造の磁場変化から理解できる。すなわち軌道の囲む面積を貫く磁束に比例して円周方向の波数ベクトルが変化するが、その

正負により準位エネルギーが上昇、または下降する。フェルミ準位での交差で電子がそれらの準位間を乗り移る時に、磁化の急峻な跳びが現れる。この現象は常伝導メゾスコピック系における AB 効果として知られていたが、磁場ゼロの時の準位構造に超伝導ミニギャップがある超伝導近接効果系でも、同様に起こることが確認された。一方、理論計算によって常伝導領域での磁化が、磁場の関数として大きく振動することが見出された。すなわち、超伝導ギャップエネルギーが有限な場合には、磁場が弱い領域で必ず磁化は反磁性的になるが、ある程度、磁場が強くなると磁化は極小をとった後、常磁性的振舞に転ずる。しかし、さらに磁場が強くなると、磁化は減少し再び反磁性的となり、以後このような変化をくり返す。この振動振幅は温度上昇とともに減少し、周期は超伝導体内部のギャップエネルギーが増加、あるいは常伝導部分の内側半径が減少する程、長くなることが示された。これは超伝導ミニギャップが大きい程、ゼロ磁場での準位分布スペクトルにおけるピーク間隔が大きくなることによる。ミニギャップ構造は超伝導領域の存在に起因し、磁化の振動は超伝導近接系で顕著な現象といえる。実際、中心部が超伝導になっていない系でも磁化の振動が観察されたが、中心部が超伝導の系での振動はこれより遥かに大きく、また磁場が弱い時に反磁性的であることがその特徴である。

さらに、本研究では常伝導体内に染み込んだ超伝導振幅の分布や、印可磁場に誘導された電流分布についても新しい知見を得た。前者については、低温では常伝導体内の超伝導振幅が干渉による振動現象を示し、温度の上昇と共に振動が消失することが示された。後者については、超伝導体領域では常に反磁性電流が流れ磁場と共に強くなるが、常伝導体領域では電流分布に振動構造が現れ、磁場によっては常磁性成分が支配的になる。また、電流の強度は磁場の強さに比例しない。温度を上げるとこの振動構造は消失し、超伝導・常伝導界面で常磁性電流、外側表面で弱い反磁性電流が流れるのみとなる。

このように、本論文はメゾスコピック超伝導近接効果系の興味深い性質を、簡明なモデルを用いて厳密に理論的に示したもので、その学術的な価値は高い。また、本論文は福山秀敏氏との共同研究であるが、論文提出者の寄与が十分であると判断する。よって、博士（理学）の学位を授与できると、審査員全員で認めた。