

## 論文審査の要旨および学識確認結果

報告番号	①/乙第 号	氏 名	松本 杜青
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	博士（理学） 大橋 洋士
	副査	慶應義塾大学教授	博士（理学）・医学博士 藤谷 洋平
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 神原 陽一
		慶應義塾大学専任講師	博士（理学） 関口 康爾
(論文審査の要旨)			
<p>学士（理学）、修士（理学）松本杜青君の学位請求論文は、「可変な引力相互作用を有する2次元極低温フェルミ原子気体における対形成揺らぎの効果」と題し、全4章より構成されている。</p> <p>冷却フェルミ原子気体の研究分野では、2004年に<math>^6\text{Li}</math>や<math>^{40}\text{K}</math>の3次元気体で超流動状態が実現して以降、Berezinskii-Kosterlitz-Thouless (BKT) 転移と呼ばれる2次元超流動の実現が、次なる大きな目標の1つとなっている。これは、長距離秩序を有する3次元超流動とは異なり、準長距離秩序で特徴付けられる超流動状態であり、冷却フェルミ原子気体で実現できれば、この系の特長の1つである可変な引力相互作用を利用することで、2次元超流動の強結合物性を、幅広い相互作用強度にわたり系統的に研究することが可能になると期待されている。</p> <p>近年、2次元<math>^6\text{Li}</math>フェルミ原子気体でBKT転移を観測したとする実験が報告され、注目を集めている。これに対し、本研究は、この実験がその根拠としている現象がBKT転移特有のものではないことを理論的に指摘するという、重要な成果を挙げている。また、2次元フェルミ原子気体に対する現在のBKT理論は、超流動秩序パラメータの振幅揺らぎと位相揺らぎで特徴付けられる対形成揺らぎのうち後者のみを考慮しているが、本研究は、BKT転移温度近傍ではそれだけでは不十分であり振幅揺らぎも重要となることを擬ギャップの分析から明らかにする、という成果も挙げている。</p> <p>第1章は序論である。2次元冷却フェルミ原子気体の研究の現状と、BKT転移や擬ギャップ現象についての説明の後、本研究の目的が述べられている。</p> <p>第2章では、2次元<math>^6\text{Li}</math>フェルミ原子気体でBKT転移を観測したとする実験がその根拠としている2つの現象を理論的に研究している。対形成揺らぎを<math>T</math>行列近似(TMA)の枠組みで取り入れた強結合理論を用い重心運動量ゼロのクーパー対の数を計算し、1つ目の実験的根拠であるこの物理量の低温での急増が、BKT転移を仮定しなくても定量的に説明できることを示している。もう一つの根拠であるクーパー対の相関関数の冪振る舞いについても、BKT転移を仮定することなく観測された冪指数の値をTMAの枠組みで得ることに成功している。以上から、2次元フェルミ原子気体でBKT転移を観測したとする実験が根拠としている2つの現象は、いずれもBKT転移特有のものではなく、BKT転移であることを立証するには、更なる実験的裏付けが必要であることを指摘している。</p> <p>第3章では、対形成揺らぎに起因する擬ギャップ現象を研究している。この問題に対し、第2章で用いたTMAではなく自己無撞着<math>T</math>行列近似(SCTMA)を用いる理由が説明された後、SCTMAの枠組みで1粒子状態密度を計算、位相揺らぎのみを考慮した従来のBKT理論が予言するBKT転移温度近傍では、状態密度中に現れる擬ギャップは弱結合領域において完全なギャップ構造ではなく、窪み構造となることを見出している。BKT転移温度近傍において、もし、超流動秩序パラメータの振幅揺らぎがなければ1粒子状態密度には完全なギャップ構造が生じることから、本研究のこの結果は、振幅揺らぎの重要性を示すものとして重要である。また、擬ギャップが現れる領域(擬ギャップ領域)を2次元フェルミ原子気体の温度-相互作用相図中で特定することにも成功している。加えて、近年、この系の弱結合領域で観測された熱力学量をSCTMAの枠組みで計算、実験結果を定量的に説明できることを示すことで、この領域におけるSCTMAの妥当性を確認している。</p> <p>第4章では、結論として本研究の成果がまとめられている。</p> <p>本研究は、2次元フェルミ原子気体におけるBKT転移という、当該研究分野の重要課題に取り組んだものである。近年報告された実験結果がBKT転移を観測したものと断定できないことを明らかにした本研究の成果は、2次元フェルミ原子気体の超流動実現に向けた今後の実験研究にとって非常に重要であり、高く評価できる。また、本研究で指摘された弱結合領域におけるBKT転移温度近傍での超流動秩序パラメータの振幅揺らぎの重要性は、今後、この系のBKT理論を構築する際の指針となるだけでなく、広く2次元超流動の理論研究の発展に貢献するものである。よって、本論文の著者は博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			
学識確認結果	<p>学位請求論文を中心にして関連学術について上記審査会委員で試問を行い、当該学術に関し広く深い学識を有することを確認した。</p> <p>また、語学(英語)についても十分な学力を有することを確認した。</p>		