

## 論文審査の結果の要旨

論文提出者氏名 國見昌哉

1938年のヘリウム4における超流動性の発見以来、超流動現象に関する理論的、実験的研究は長らく行われてきたが、1995年の冷却原子系におけるボース・アインシュタイン凝縮体の実現によって、超流動現象の研究は再び盛んになり現在に至っている。また2004年のKim-Chanの実験以来、超流動性を持つ固体相——超流動固体——についても注目され、最近では冷却原子系における超流動固体相の実現可能性が活発に議論されている。本論文は、ボース・アインシュタイン凝縮体を念頭に置き、流れがある状況下での超流動固体相の安定性と、障害物下での超流動流体の安定性に関する数値的、理論的成果についてまとめたものである。

本論文は6章からなる。第1章は導入部であり、本研究を行う動機、背景が述べられている。第2章は本研究に関する基本事項である超流動やボース・アインシュタイン凝縮体の性質のうち、系の詳細に依らない部分についてのレビューである。第3章は本研究で用いられている近似理論であるグロス・ピタエフスキー方程式（平均場理論）とボゴリューボフ方程式（定常解まわりの線形ゆらぎの理論）に関するレビューである。第4章では、流れのある状況下での超流動固体相に関する研究成果について述べられている。第5章では、2次元ボース系超流動体の中を一定速度でポテンシャルが動いている場合の臨界速度近傍での励起構造、ゆらぎの構造、渦生成とその前駆現象についての研究成果について述べられている。第6章では、本論文全体に対するまとめと今後の展望について述べられている。

本研究成果の第一の意義は、流れのある状況下で超流動固体が準安定に存在する領域を、連続空間で定義されるモデルで初めて決定した点にある（第4章の成果）。ランダウ不安定性はしばしば超流動の安定条件としてみなされるが、実際には、ランダウ不安定性は超流動性を示す液体相の不安定性を意味するのであって、ランダウ臨界速度を超える速度場の中で超流動性を有する別の相が実現する可能性は排除できない。本論文の成果は、ソフトコア相互作用を有する2次元グロス・ピタエフスキー方程式においてはランダウ臨界速度を超えた状況で超流動性を有する固体相、あるいはストライプ相（流れに平行な方向にのみ周期的構造を有する相）が実現しうることを示している。

本研究成果の第二の意義は、障害物の存在下での2次元超流動の臨界速度付近の励起状態の特徴的な振る舞いを数値的に初めて捉えた点にある。これまでに1次元超流動については臨界速度付近の特異なゆらぎ、励起構造についての研究は存在するが、障害物下での2次元超流動系における励起状態に関する研究はなかった。第5章では、有限系の励起エネルギーのスケールリング則や、密度ゆらぎ、位相ゆらぎの特徴を捉えている。

とくに臨界速度近傍での密度ゆらぎの増大は、一次元系に対する先行研究でも見出されており、臨界速度近傍での超流動体が次元によらず示す特徴的振る舞いであることが示唆される。第 5 章の成果は、超流動臨界速度付近での不安定化の前駆現象の定式化、渦生成と、励起構造の関係などのより深い理解につながると期待される。

第 4 章、第 5 章で述べられた成果についてはそれぞれ *Physical Review B* 誌、*Journal of the Low Temperature Physics* 誌に國見氏を第一著者とした原著論文として既に報告されており、5 章についてはさらに本論文として詳細な報告を投稿準備中である。

なお、本論文で述べられている 4 章、5 章の成果は指導教員との共同研究の成果である。しかし論文提出者が主体となって課題設定、定式化、計算の実行、結果の分析および検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、本審査委員会は博士（学術）の学位を授与できると認める。