HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Theoretical Study of Quasiparticle Excitations in Bose-Einstein condensates [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	筒井, 和政
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	甲第12365号
Issue Date	2016-06-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/62456
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Kazumasa_Tsutsui_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

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　筒　井　　和　政

審査担当者	主　査	准教授	北　　孝　文
	副　査	教　授	小　田　　研
	副　査	教　授	根　本　幸　児
	副　査	准教授	近　藤　憲　治

学 位 論 文 題 名

Theoretical Study of Quasiparticle Excitations in Bose-Einstein condensates

（ボーズ・アインシュタイン凝縮相における準粒子励起の研究）

博士学位論文審査等の結果について（報告）

ボーズ粒子系は統計力学の基本的な研究テーマである。この系では、ある有限な温度T_c以下で､系を占める巨視的な数の粒子が最低1粒子エネルギー状態に落ち込んでゆく。この現象はボーズ・アインシュタイン凝縮(BEC)と呼ばれ､「自発的対称性の破れ」の典型例のひとつである。BEC により巨視的波動関数が出現し、系は超流動性を獲得する。

しかし、凝縮場の出現のために、この系の理論的な記述は大変に難しくなる。実際、相関効果に関する定量的な計算は、相互作用が弱い場合についてもほとんどないのが現状である。特に、「グリーン関数を用いた場の量子論の方法」が、この系の具体的計算にはほとんど無力である。凝縮ボーズ粒子系は、理論の不毛地帯とも言えるのである。

そのような中で､この系の素励起に関し､次の二つの主張が広く受け入れられてきた。(i) 1 粒子励起は超波長で音波の分散と無限の寿命を持つ（ボゴリュボフ理論､1947 年)。(ii) 凝縮相では 1 粒子（個別）励起と 2 粒子（集団）励起は同じである（ガボレ・ノジエール理論、1964 年)。(i)は、弱相関・絶対零度近傍で得られた結果である。(ii)は、摂動展開の構造を系統的に調べることで見出された。しかし、ボゴリュボフ理論には、有限温度に拡張すると自発的対象性の破れに関する「ゴールドストーンの定理」と矛盾が生じるなど、問題点があることも知られてきた。また、(ii)の証明には、1 粒子グリーン関数の定義に関する曖昧さがあることも指摘された。

一方、近年新たに、「ゴールドストーンの定理」と「動的保存則」を同時に満たす凝縮ボーズ粒子系の新たな摂動展開理論である｢保存ギャップレス理論｣が構成された（キタ、2009 年～2011 年)。この理論からは、上の (ii)を否定する結果、つまり、「BEC 相の 1 粒子励起と 2 粒子は別物である」との結果が得られている。

そこで、筒井氏は、まず、「保存ギャップレス理論」に基づいて、弱相関領域の 1 粒子の性質を詳しく調べた。その結果、この系の 1 粒子励起は、超波長領域でも、相互作用定数に逆比例する有限の寿命を持つことを見出した。この結果は、(i)のボゴリュボフ理論の結論と相反する。つまり、「保存ギャップレス理論」からは、「ボゴリュボフ−ガボレ−ノジエール理論」の主張が否定されるのである。

この事実に直面し、筒井氏は、二つの主張のいずれが正しいかを、数値的方法により検証することを試みた。具体的には、拡散モンテカルロ法で有限系の基底状態波動関数を数値的に求め､それを用いて 1 粒子励起スペクトルと 2 粒子励起スペクトルのピーク幅を各々計算し、両者が一致するか否かを調べた。その結果、1 粒子励起スペクトルには超波長でも大きな幅があるのに対し、1 粒子励起スペクトルの幅は超波長で消えてゆくことを明らかにした。この結果は、「保存ギャップレス理論」の主張を支持する。

このように、本論文は、「凝縮ボーズ粒子相の素励起は何か？」という基本的な問題に対し、明快で新たな知見を得たものであり、統計力学に対して貢献するところ大である。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。