

平成 22 年 4 月 9 日現在

研究種目： 若手研究 (B)  
研究期間： 2006 ~ 2008  
課題番号： 18740229  
研究課題名 (和文) トポロジカル・オーダーを用いた量子コンピューティング  
研究課題名 (英文) Quantum Computing by Topological Order  
研究代表者  
猪野和住 (INO KAZUSUMI)  
東京大学・大学院総合文化研究科・助教  
研究者番号： 30334303

## 研究成果の概要：

量子コンピューティングを実現する最も有力な候補であるトポロジカル・オーダーを持つ状態を研究した。特に最近飛躍的に発展している 2 次元トラップされた極低温ボーズ原子系に注目し、そのトポロジカル・オーダーを持つ状態と、それと競合する状態として、ストライプ状態、バブル状態という密度波状態が存在し、それらの間に量子相転移が存在することがわかった。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成 18 年度	1,300,000	0	1,300,000
平成 19 年度	600,000	0	600,000
平成 20 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	2,500,000	180,000	2,680,000

## 研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・数理物理・物性基礎

キーワード：トポロジー、量子計算、電子系

## 1. 研究開始当初の背景

2005年に米国のDaSarmaらによってトポロジカル・オーダーという性質を持つ状態を用いた量子コンピューティングが、従来提案されていた他の実現方法に比べて飛躍的に高い安定性を持つことが明らかにされていた。彼らの提案に用いられる状態は強磁場中の2次元電子系であったことから実際上の応用は難しいと考えられる。安定した量子コンピューティングに必要なのはトポロジカル・オーダーであるから、他の系でトポロジカル・オーダーを持つ系を探索する必要があった。

## 2. 研究の目的

フラストレートしたスピン系やレーザー冷却された極低温原子気体でトポロジカル・オーダーを探索し、その安定性や励起状態の性質、他の状態との競合を調べる。

## 3. 研究の方法

理論的な方法で導出された結果を数値的な方法、特に厳密対角化の手法で検証する。また数値的な方法で安定性と崩壊を調べる。実現される状態の性質を相関関数を使って調べる。

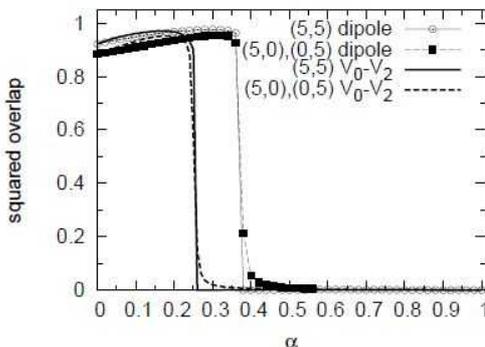
#### 4. 研究成果

2次元トランプされた極低温の回転ボーズ原子気体を調べるための汎用的なプログラムを開発した。特に興味深い場合として回転速度と原子密度の比を表す  $\alpha$  が1の場合を調べてトポロジカル・オーダーと密度波の競合について新たな知見を得ることができた。

トポロジカル・オーダーがあるパフフィアン状態は、三体のモデル・ハミルトニアン基底状態と理解できる。現実のボーズ気体はファン・デル・ワールス力で相互作用しているが、それは短距離にしか及ばないため、関数で表される二体相互作用によって十分に近似できる。その次に有力な相互作用として双極子相互作用がある。そこで短距離相互作用と双極子相互作用によって実現される多粒子状態を系統的に調べた。

図1に粒子数12の場合のパフフィアン状態と、短距離相互作用と双極子相互作用がある系の基底状態の波動関数の重なり度を双極子相互作用の強さを  $\alpha$  の関数として示す。重なり度は  $\alpha$  が0.35付近まで1近く安定し、その後急激に減衰することがわかる。これはこの付近で量子相転移が存在していることを意味している。

図1



量子相転移前後にどのような状態が現れているのかを相関関数を用いて調べた。

図2に2体相関関数を示す。(a)はパフフィアン状態、(b)は  $\alpha$  が0.3のときの原子系の基底状態である。中心部から広く平坦な領域が広がっていることがわかるが、これは系が液体状態であることを示している。

崩壊後の状態についてはスペクトル関数(2体相関関数に重みをかけてフーリエ変換したもの)と2体相関関数を用いて調べた。

図3に(b)は  $\alpha$  が0.3のときの原子系の基底状態スペクトル関数と2体相関関数を示す。スペクトル関数に直線状に配置されたピークが現れており、また2体相関関数にも線状のパターンが見出される。これは崩壊後の状

態において、並進対称性が一次元分破れていることを意味している。このような並進対称性がやぶれた状態を密度波と言い、特に1次元分破れている場合はストライプ状態と呼ばれる状態である。

図2

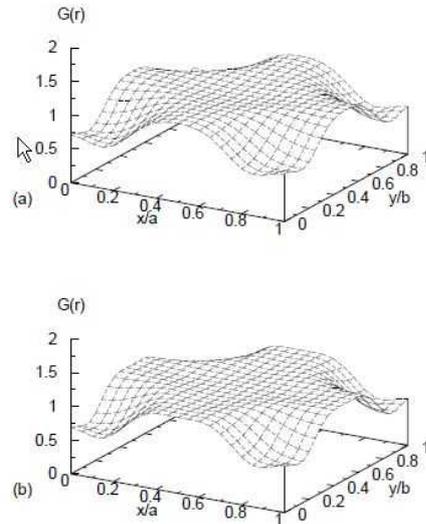
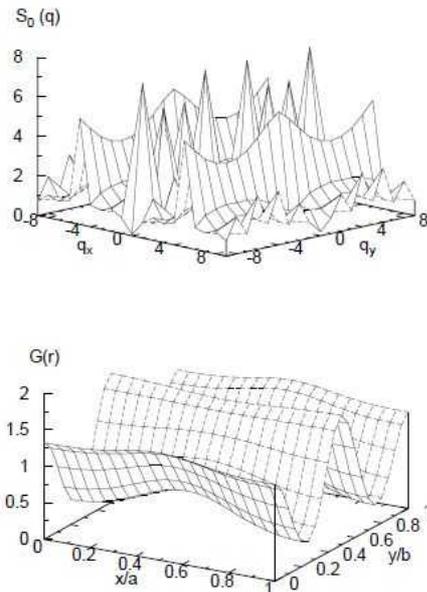


図3



同じ手法で双極子相互作用が強くなった場合に並進対称性が2次元分破れるバブル状態と呼ばれる状態が出現することがわかった。

また系の幾何学的な形態を変えた場合に、トポロジカル・オーダーを持つ状態は安定しているが、密度波は様々な別の密度波に量子相転移してゆくことがわかった。

新しいアルゴリズムの開発により以前先行していた他国の研究チームより粒子数において優位に立つことができた。例えば他の研究チームが12個の粒子までしか扱えない場合で16個まで扱えるようになった。これを用いた成果については今後公表予定である。

量子コンピューティングへの応用については、実際こうした系を使えば他の系よりも安定した量子コンピューティングを行うことができるが、現在知られている系では、計算を行ううえで必要な操作のひとつが見つからないのが問題であり、この点で創意が必要である。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計1件)

H.Seki and K.Ino, Incompressible Liquid, Stripes and Bubbles in rapidly rotating Bose gas at  $\nu=1$  Physical Review A77(2008) 063602

〔学会発表〕(計0件)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等  
なし

#### 6. 研究組織

(1)研究代表者

猪野和住 (INO KAZUSUMI)

東京大学・大学院総合文化研究科・助教

研究者番号：30334303

(2)研究分担者

( )

研究者番号：

(3)連携研究者

( )

研究者番号：