

目 次

○ 巻頭言	領域代表者：福山 寛	-----	i
○ 評価委員より	評価委員：水崎 隆雄	-----	ii

● トピックス

・ 半導体 2 次元電子系における Landau 準位交差と擬スピン状態	岡本 徹 (東大)	-----	1
・ 光格子フェルミ多粒子系における Supersolid 状態	川上 則雄 (京大)	-----	3
・ 計算機で探るヘリウムの物性	高木 丈夫 (福井大)	-----	5
・ 三角格子量子スピン系の新秩序相とスピン相関	田村 雅史 (理研)	-----	7
・ 超伝導 T 字接合のコンダクタンス分光	浅野 泰寛 (北大)	-----	9

● 研究会報告

・ ワークショップ報告			
International Workshop on Supersolids and Related Topics			
	白浜 圭也 (慶大)	-----	11
・ A03, A04 班合同研究会報告			
	石川 修六 (阪市大)	-----	13
・ 長良川国際シンポジウム(PSM2007)報告			
	和田 信雄 (名大)	-----	14

● 研究紹介

・ A01 班： $S=1$ ハイゼンベルグ三角格反強磁性体 NiGa_2S_4 における 二次元短距離秩序状態と異常な凍結現象	中辻 知 (東大)、南部 雄亮 (東大・京大)、 石田 憲二 (京大)、前野 悦輝 (京大)	-----	15
・ A02 班：超流動ヘリウムの量子乱流遷移			

矢野 英雄 (阪市大)	-----	17
・ A04 班 : 超伝導接合系に現れる奇周波数クーパー対状態		
田仲由喜夫(名大)	-----	19
・ A04 班 : p -波超流動ヘリウム 3 への不純物効果、1 本の量子渦の運動		
石川 修六 (阪市大)	-----	21
<hr/>		
● 研究会・ワークショップの紹介	-----	23
○ 編集後記		

ニュースレター第 3-4 合併号に寄せて

領域代表者 福山 寛
東京大学理学系研究科

今回のニュースレターは、前号からかなり間が空き（主な原因は私自身にあるのですが）、3号・4号の合併号としてお届けするため、盛り沢山な内容となっています。まず、多くの成果を生み出した前半（平成 18-19 年度）の公募研究が本年 3 月に終了し、その中から代表して 5 つの研究成果を岡本、川上、高木、田村、浅野の各氏に紹介いただきました。いずれも - 多様な量子系の背後にある新しい一般性ある概念を追求する - という本領域ならではの切り口の研究です。4 月からは、若干の入れ替えを伴って、後半（平成 20-21 年度）の公募研究（22 テーマ）がスタートしています。一方、計画研究からは、中辻（A01 班）、矢野（A02 班）、田仲（A04 班）、石川（A04 班）の各氏に担当班における活発な取り組みを紹介いただきました。

昨年春以来、本領域では二つの国際シンポジウムを開催しました。一つは A02 班が中心となって慶應義塾大学で開いた Supersolid に関する国際シンポジウム（平成 19 年 3-4 月）で、運営責任者の白浜氏による臨場感ある報告が掲載されています。もう一つは、領域研究の前半を総括するために全体規模で開いた長良川国際シンポジウムです。海外から著名な研究者 9 名を招待講演者として迎え議論を深めることで、私達のユニークな取り組みを国際的に宣伝するよい機会になったと思います。会議運営の重責を担っていただいた和田氏にこの場を借りて感謝いたします。

本号には、毎年恒例となった A03&04 班合同研究会の報告もいただきました。「異方的超伝導」と「異方的超流動」。文字面は似ていても、高度に専門性が分化した今日、これまで両者の研究交流がそれほど活発だったとは申せません。

- | | |
|------------------------|-------------|
| 1. 超流動ヘリウム 3 から異方的超伝導へ | 上田和夫（東大物性研） |
| 2. 異方的 BCS 状態での境界効果 | 永井克彦（広大総科） |
| 3. 超流動ヘリウム 3 の界面とサイズ効果 | 児玉隆夫（大阪市大理） |
| 4. 強磁場中の超流動ヘリウム 3 | 石本英彦（東大物性研） |
| 5. 非 S 波超流体における渦糸状態 | 大見哲巨（京大理） |
| 6. 重い電子系超伝導の最近の話題 | 北岡良雄（阪大基礎工） |
| 7. 重い電子系超伝導体の低温磁化測定 | 榊原俊郎（北大理） |

これは、平成 7 年 9 月に大阪府立大学で開かれた日本物理学会の低温シンポジウム「異方的超流体の最近の話題」のプログラムです。世話人として私がこの合同シンポジウムを企画してから 10 年、その後の両分野の進展を踏まえて「異方的超流体」を一つの核とし、冷却原子気体というニューフェイスも加わることで本特定領域研究が発足しました。現在、A03 班と A04 班では活発な共同研究や議論が展開されていますが、合同研究会が果たしている役割は大きいと思います（お酒の力は偉大？）。

領域メンバー全員の活躍が認められ、幸い昨年 9 月の中間評価では高い評価結果を頂戴しました。今年度も、後半 2 年間の研究をより深化させるための班別戦略会議、(自称) 若手だけで企画・運営する夏の学校、奈良での全体成果報告会、ハワイ大学での A01&05 班合同国際シンポジウム、等々色々な仕掛けがあります。「スーパークリーン特定」3 年目の挑戦も、どうぞご注目下さい。

特定領域研究「スーパークリーン」と国際会議

評価委員 水崎 隆雄
豊田理化学研究所

5年計画で始まった特定領域「スーパークリーン」も、丁度中間地点にさしかかり、そのタイミングに合わせて International Symposium on Physics of New Quantum Phases in Spereclean Materials (PSM2007)が岐阜城をいただく金華山の山麓、長良川の畔の風光明媚な長良川国際会議場で開催された。私も参加させてもらいましたが、大変楽しく、活発な討議と刺激の多い会議であった。昨年度も同様の会議が淡路夢舞台国際会議場で開催され、前号の News Letter に河野評価委員が書いておられる。前回は国内の会議であったが、今回は約10名の外国人招待講演者を含めて200名参加の国際会議である。本特定研究は大体、冷却原子気体（光学格子にトラップされた原子を含む）、液体・固体ヘリウムと異方的超流動の3つの異なる広い領域の研究グループからなるが、夫々の領域の活況を反映した多くの発表があり、また分野間の活発な討議と議論がなされて、印象的な会議であった。本特定領域の特色は、幅広い研究領域の実験、理論家が結集し、交流して、新しい局面を開拓するという目標は着実に進展しているという印象を受けた。外国研究者達からも、3つの領域が旧知のグループのように和気あいあいとした活発な交流があり、特に会議出席者に大学院生と若い研究者が多いとの話を聞いたが、特定研究の活性度と将来の発展につながるものと思われる。

量子凝縮系(Quantum Fluids, Solids and Gases)の物理の国際会議として QFS があり、アメリカとヨーロッパを中心にして開催されてきたが、昨年度8月に本特定研究に共催してもらって QFS-2006 を初めて京都で開催した。250名の参加者があり、近年になく多くの研究成果が発表された。また QFS-2007 がロシアの Kazan で開催されたが、参加者200名中、日本から50名の参加があり、他のどの国よりも圧倒的に日本からの参加者と発表件数が多かった。QFS の会議の日本の寄与の大きさは、明らかに特定研究の影響とその成果を示すものである。今年の4月に本特定の代表者の白浜氏の企画で、最近話題の Supersolid の国際会議が慶応大学であり、注目を集めた。来年度は Kamerlingh Onnes がヘリウム液化100周年の記念の低温物理国際会議 (LT-25) がオランダの Amsterdam で開催される。LT は本特定研究の3つの分野が直接関係した大きな国際会議であるが、確か Sussex の会議の頃からと思うが、日本はアメリカをぬいて参加者が一番多い国になり、最近はその差が更に大きくなっている。今や日本の低温物理は世界の低温物理をリードしており、来年の LT-25 においても本特定研究の成果の発表とそれを通じての世界との交流がいつそう進むことを期待する。

半導体2次元電子系における Landau 準位交差と擬スピン状態

岡本 徹

東京大学大学院理学系研究科物理学専攻

半導体ヘテロ界面に作られた2次元電子系は、代表的なスーパークリーン物質の一つである。ごく平均的な試料でも低温での平均自由行程は $1\ \mu\text{m}$ を超える。本特定領域研究において、我々はシリコン2次元電子系にターゲットを絞った。この系では、実験結果の解釈を煩雑にする可能性があるスピン・軌道相互作用および電子スピン・核スピン間の超微細相互作用が非常に小さい。世界トップクラスの移動度を誇るシリコンヘテロ構造試料を武蔵工業大学の白木先生のグループからご提供いただいているが、二つの意味でスーパークリーンと言える測定対象である。最近、強磁場下で試料の角度を精密に制御した研究において、いくつかの興味深い現象を観測したので今後の展望とともに報告する。

低温で2次元面に垂直に強い磁場を加えると、サイクロトロン運動が量子化されて電子のエネルギースペクトルはランダウ準位に束ねられる。ほとんどの2次元系において、垂直磁場中ではゼーマンエネルギーはサイクロトロンエネルギーよりも大きい。しかし、サイクロトロンエネルギーが垂直成分に比例するのに対してゼーマンエネルギーはトータル磁場に比例するため、磁場の角度を垂直から傾けることにより両者の比を変えて軌道量子数 n とスピンの向きが異なる2つのランダウ準位を交差させることができる(図1)。フェルミエネルギーが交差するランダウ準位にあるとき、準位交差の前後で状態はどのように移り変わるであろうか? 交差点では一電子エネルギーが縮退しているため相関効果が重要となる。それぞれのランダウ準位に擬スピンのアップとダウンを割り当てることにより磁性の問題として取り扱うことができ、準位交差点が擬スピンのゼロ磁場になる。ランダウ量子化により運動の自由度は凍結しており強相関極限となっている。実スピンの場合とは異なり、電子間クーロン相互作用が軌道量子数に依存するために擬スピン間の相互作用は異方的(イジング的またはXY的)である。

まず、電子が丁度半分詰まった場合、すなわち交差点以外ではフェルミエネルギーがギャップの中にある場合について考えよう。この場合、通常の単層2次元電子系では擬スピン間の相互作用はイジング的な異方性をもった強磁性相互作用になると計算されている。イジング強磁性の場合、2次元でも長距離秩序を持つ。したがって、磁場の角度を変えてランダウ準位交差を引き起こさせると、擬スピンの磁化が不連続に変わる量子ホール状態間の1次相転移が観測されるはずである。実際、高移動度 Si/SiGe ヘテロ構造中の2次元電子系に対して ($n = 0, \uparrow$) と ($n = 1, \downarrow$) の準位交差を行ったところ、非常に大きな抵抗ピークが観測された[1]。準位交差に伴う抵抗スパイクはこれまで AlAs や InSb の2次元電子系に対する実験などでも報告されていたが、今回の抵抗ピークは桁違いの大きさをもつ。また、抵抗ピークの大きさは面内磁場の

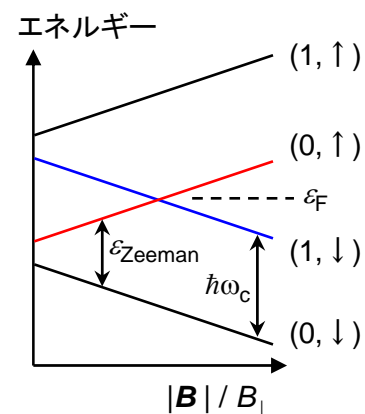


図1：ランダウ準位交差の例

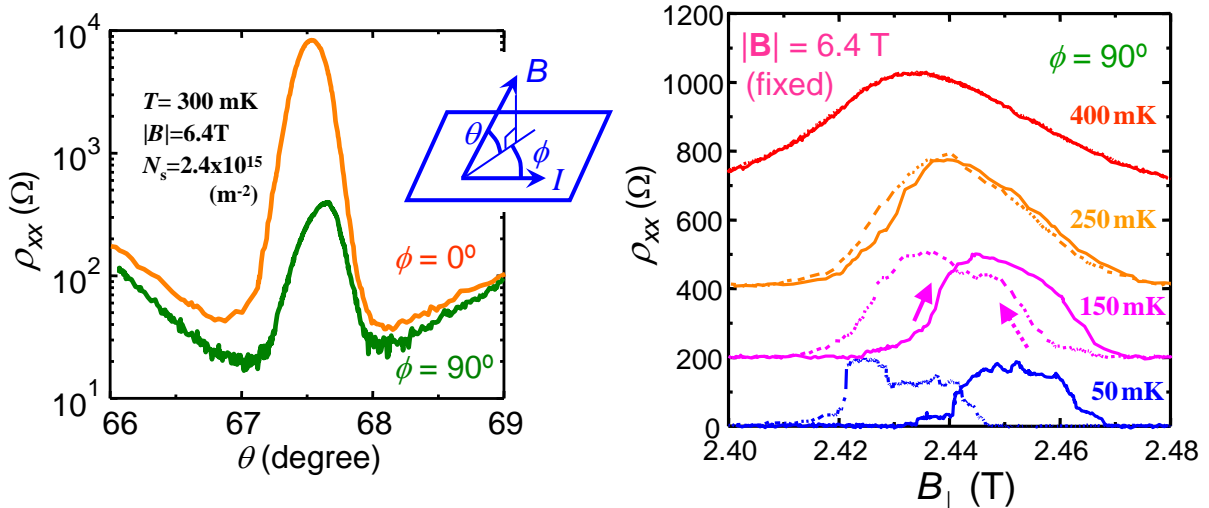


図2：ランダウ準位交差時の抵抗ピークの異方性（左）とヒステリシス（右）

向きに強く依存し、極低温では強いヒステリシスを示す（図2）。これらの実験結果から、我々は、準位交差の過程で擬スピンの強磁性ドメイン構造が形成されたと考えている。異方性の起源については明らかではないが、実験結果は面内磁場に直交する方向に伸びたストライプ状のドメイン構造の形成を示唆している。

ランダウ準位充填率が $\nu \neq$ 整数のとき、すなわち量子ホール状態間の遷移領域において、準位交差点（擬スピンのゼロ磁場）での基底状態はどのようなものであろうか？実スピンの場合では、スカーミオンの生成、スピン非偏極分数量子ホール状態などが知られているように、 $\nu \neq$ 整数では強磁性状態は必ずしも安定ではない。擬スピンの場合には、非偏極状態は軌道量子数 n が異なる電子の混ぜ合わせを意味しており、新しいタイプの基底状態が期待できる。例えば、明楽らは、大きな半径をもつ $n > 0$ の電子軌道の中に、 $n = 0$ の電子が入り込んでできるペアリング状態の形成を提唱している[2]。図3は、様々なトータル磁場に対して、準位交差の実験を行った結果である。交差点での垂直磁場（ \propto ランダウ準位充填率 -1 ）が異なっている。量子ホール領域（ $\sim 2.0\text{T}$ ）のピーク構造が、遷移領域（ $\sim 2.3\text{T}$ ）でディップ構造に変わっていく様子が観測されている。同時に測定したホール抵抗の急激な変化とあわせるとディップの位置で電子局在が起こったと解釈される。イジング強磁性によるドメイン形成では実験結果を説明することはできず、交差点で新奇な電子状態が形成されたものと期待される。今後、正体を明らかにしていきたい。

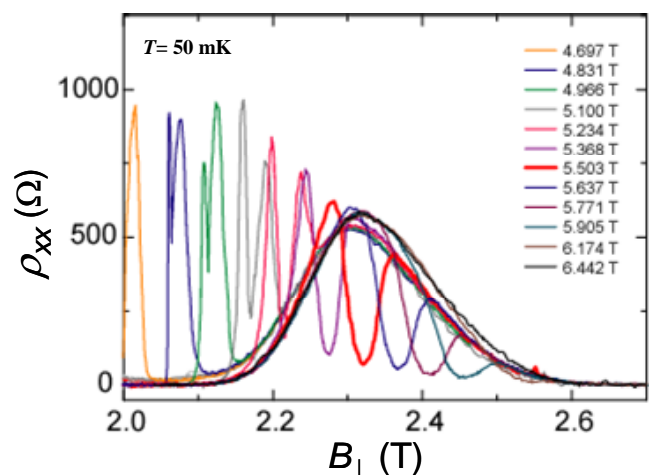


図3：遷移領域で見られるディップ構造

[1] K. Toyama *et al.*, Phys. Rev. Lett. **101**, 016805 (2008); arXiv: 0802.3756.

[2] H. Aker, A. H. MacDonald, D. Yoshioka, Physica B **201**, 255 (1994).

光格子フェルミ多粒子系における Supersolid 状態

川上 則雄
京都大学大学院理学研究科

レーザー冷却・トラップ技術によりアルカリ原子ガスで BEC が実現されてから、冷却原子系の研究が大きな広がりを見せている。そのような中で、光格子の研究が急速に進展しておりボース系では既にモット絶縁体—超流動転移が観測されている。また、最近では光格子フェルミ原子系の研究も急速な勢いで進展している。光格子フェルミ系では固体中の電子系で実現できないような興味深い量子多体现象が観測される可能性がある。ここでは我々のグループの最近の研究成果として「光格子フェルミ系の Supersolid 状態」について報告する[1]。光格子フェルミ系で Supersolid が実現しうること、その際「閉じ込めポテンシャル」が本質的な役割を果たすことを示す。

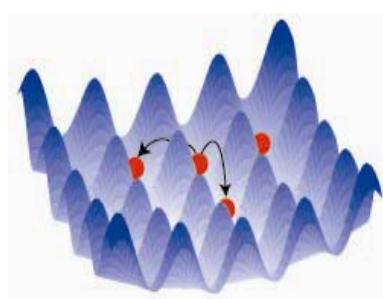


図1 閉じ込めポテンシャルのある光格子系

量子固体が超流動と共存するという Supersolid 状態は、古くから ^4He に関して理論的に研究されてきたが[2]、2004 年の Kim-Chan の実験によって大きな注目を集めた[3]。 ^4He で実際に Supersolid が実現しているかどうかについては未だ議論が収束していないようである。一方、関連分野での理論研究が大きく進展しており、その一例が光格子中の冷却原子系である。ボースガスに関しては、フラストレートした格子中のハードコアボゾンで Supersolid が実現可能であることが理論的に示されている。これは、よく知られているフラストレーションのある量子スピン系とのアナロジーからも容易に理解される。一方、引力フェルミ粒子系でも Supersolid の可能性が議論されてきた。しかしながら Supersolid 相をどのようにすれば安定化できるかについては明らかでなかった。

まず、閉じ込めのない一様系のハバード模型から始める。正方格子や立方格子などの単純な構造をもつ一様な格子系では（フラストレーションのない系）、引力ハバード模型に関して次のことが知られている。原子密度が half-filling となる場合、超流動と原子密度波の基底状態が縮退する。したがって half-filling では超流動と密度波を混ぜ合わせた Supersolid の状態も縮退していることになる。この縮退した状態は外部からの摂動によって解かれ、いずれかの基底状態が選択される。例えば、原子密度が half-filling から減少すると直ちに超流動状態が安定化する。では、Supersolid が基底状態として安定化されるのはどのような状況であろうか？実は、オンサイトの局所的な引力のみを持つハバード模型で、Supersolid を実現するのは難しい。以下に見るように、「閉じ込めポテンシャル」は Supersolid の基底状態を自然に選びだし安定化させる。

さて、光格子のモデルとして調和ポテンシャル中の 2 元正方格子中のフェルミ粒子系を考えよう。2 種類の異なるフェルミ原子に Feshbach 共鳴による引力が働くものとする。この系を扱うため、引力ハバード模型に動的平均場近似を用いて物理量の計算を行った。図 2 に示したのは、低温での原子密度と超流動秩序変数の空間分布である。上からグラフを順に見てみよう。まず引

力がある程度強くなると、s 波超流動が一様に出現し始める(d)。その時、原子密度の空間分布には何か構造らしきものが見え始めている(c)。次の段を見てみると、この構造がチェッカーボードの密度波状態であることがわかる(e)。このとき、空間の同じ領域に超流動秩序も存在している(f)。すなわち、Supersolid が実現している。さらに引力を強くしていくと中央付近は、原子のペアがぎっしりと詰まり絶縁状態となる(g)。その周りのリング状の領域に Supersolid が実現する(h)。さらに引力が強くなると、Supersolid 状態は消え、中央の絶縁体の周りに超流動が接した形になる(i,j)。

以上の結果をまとめると図3のようになる。縦軸に中央からの距離、横軸に引力の強さをとり、超流動秩序変数の大きさをカラープロットしたものである。引力が弱い時以外は、常に s 波超流動が安定化している。重要なことは、引力が中間的な大きさのとき、超流動に加えて密度波が立ち、Supersolid を形成していることである。ここで見出された「共存状態」は閉じ込め系でよく知られているモット状態と金属状態が空間的に分かれて実現するという「共存状態」とは本質的に異なり、空間的に同じ場所で両秩序が存在している。特に、この Supersolid 状態を実現するためには、閉じ込めポテンシャルによる非一様性の導入が本質的であることを強調したい。閉じ込めポテンシャルによる摂動が half-filling 付近で縮退している基底状態の中から Supersolid 状態を選び出すわけである。光格子で生じる現象の多くはバルクの性質から予想できるが、ここで得られた Supersolid は、閉じ込めポテンシャルが本質的な役割を演じる非自明な例であると考えている。光格子フェルミ系での超流動やモット絶縁相が実現できるようになっているので、ここで提案した Supersolid が実験的に観測される可能性があるかと期待している。

共同研究者である古賀、菅、東山、稲葉の各氏に感謝します。また、日頃から有益な議論をして頂いている京大物理の高橋教授ならびに研究室の方々にもこの場を借りて感謝したいと思います。

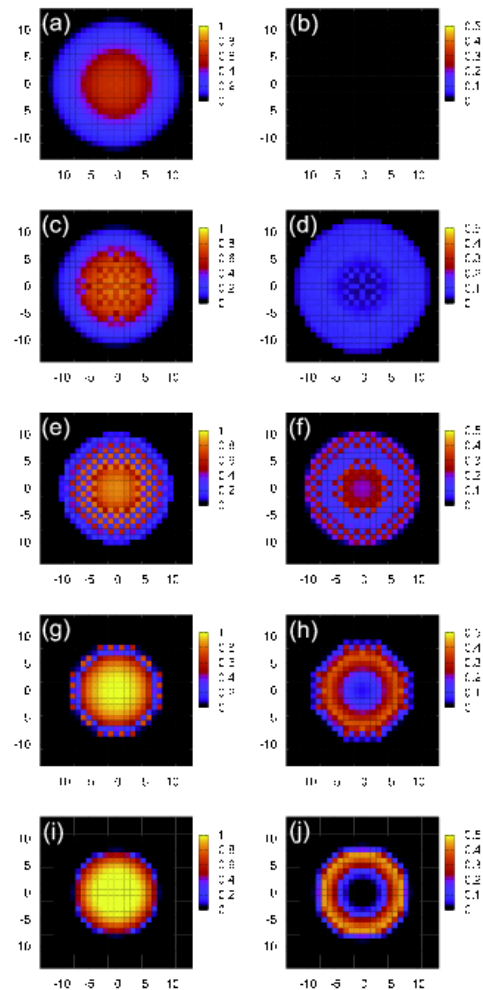


図2 (左) 原子密度と (右) 超流動秩序変数のカラープロット。上の段から順に引力の強さが $U/t=1, 3, 5, 7, 9$ 。温度は $T/t=0.05$ 。

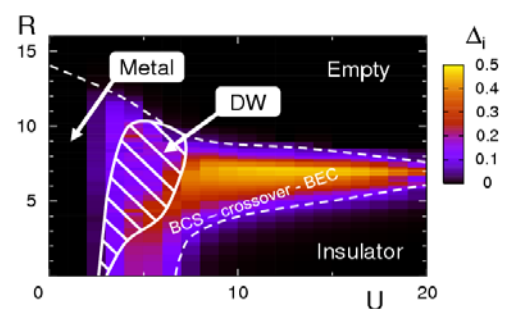


図3 相図: 縦軸は中心からの距離、横軸は引力の強さ。DW が密度波を表わし、この領域が Supersolid 状態となる。

- [1] A. Koga, T. Higashiyama, K. Inaba, S. Suga and N. Kawakami, arXiv: 0804.1547
- [2] A. F. Andreev and I. M. Lifshitz, JETP **29** (1969) 1107; A. J. Leggett, PRL **25** (1970) 1543
- [3] E. Kim and M. H. W. Chan, Nature **427** (2004) 225

計算機で探るヘリウムの物性

高木 丈夫
福井大学工学研究科

単原子分子であるヘリウム粒子は、その構造の単純さにもかかわらず、豊富な物理現象を見せることから、実験・理論両面からの研究が行われてきた。数値計算においても計算機的能力拡大に伴い、モデル化した理論を用いず、基本的な相互作用のみを用いて第一原理からの計算が試みられるようになった。その際に、ヘリウム粒子は量子統計性を考慮しなければ、単純な2体相互作用のみで全系を記述できるために、数値計算技法の開発においても格好の材料となっている。今回は、現在取り組んでいるヘリウムを題材とした系の数値計算からのアプローチを紹介する。

○グラファイト上に吸着したヘリウムの4/7相

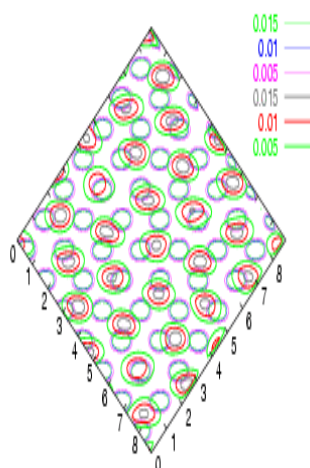


図1. 4/7相の安定構造

グラファイト上の吸着第1層に ^4He を最大密度まで吸着させると 12.0nm^{-2} の面密度になる。この状態に、第2層目粒子として ^3He を第1層に対し4:7の割合で吸着させ、4/7相を作る。この4/7相前後の密度で、系の示す熱力学的状態や磁気状態が、特異な性質を示すことが東大院理の福山グループで報告され、この相に対する関心が深まっている。そこで、この4/7相の構造とその安定性を経路積分モンテカルロ法により調べた。系の構造の特徴的な温度スケール(融点)は1K程度である。一方でスピン構造が関与する磁気的な温度スケールは1mK程度であるため、計算にフェルミ統計を導入する必要はなく、可弁別粒子系として扱うことができる。

その結果、第1層と第2層間の粒子の混合を調べたところ、層間の粒子移動は認められず、層間の粒子混合に対して系は安定であることが理解された。これは、両層の粒子密度が大きく異なるため、ゼロ点振動の大きい ^3He が低密度である2層目に入るためである。さらに4/7相に対してBinderパラメータを計算し、そのサイズ依存性を調べた結果、融点は0.9Kと求められ、今までに得られている実験結果とよく一致した。また、1,2層間の安定な相対位置を調べたところ、今まで考えられていた構造とは異なり、すべての2層目粒子がポテンシャルの不安定点ではなく、安定点もしくは鞍点に存在することが判った。現在、Binderパラメータの詳細を計算しているが、一段落付いたら次には3層目の発現と粒子密度の関係を調べる予定である。

○Y-ゼオライト中での ^4He 粒子

Y-ゼオライトは 12\AA の直径を持つ球状のケージが3次的につながった構造を持つ。このケージ中に ^4He 粒子を閉じ込めた実験が名大院理の和田グループにより進められている。彼らの実験に刺激され、系の熱力学特性を数値計算から解析した。用いた手法は、ボーズ統計性を取り入

れた経路積分モンテカルロ法である。摂動計算による相互作用の強いボーズ系へのアプローチは、ボーズ多体系の場合においては、基底状態の性質が多数粒子の凝縮に伴い大幅に変更を受けるため不適當となる。現時点において、相互作用を取り入れたボーズ多体系を定量的に取り扱えるのは、この手法のみとって過言ではない。しかしながら、実際の系に完全に第一原理からの計算を行うことは粒子数の問題からしても現実的ではない。そのため、ケージに吸着された第1層目は 100K 程度吸着エネルギーにより固化しているため、その熱力学的寄与を無視して単純にケージの有効内径を減少させる役割のみを担うとして、モデルを設定した。また同時にケージが3次元的に接続していることを無視して単純なケージとして扱い、壁面も剛体壁と見なして吸着ポテンシャルを無視した。このような幾何形状においては運動エネルギーの寄与が大きいことを考慮してケージをモデル化したものである。

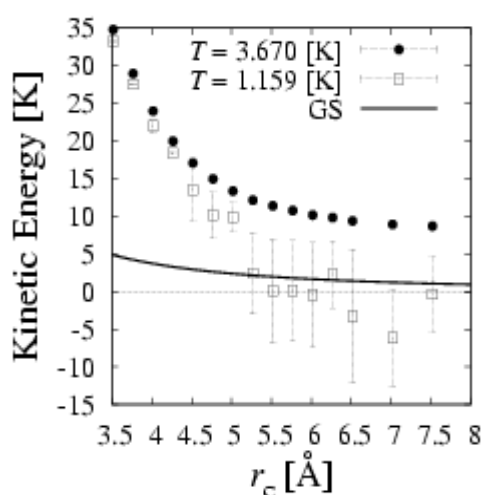


図2. 有効半径と1個当たりの運動エネルギー。GSは理想粒子1個の運動エネルギーを示す。

このケージの半径を実際の Y-ゼオライトの有効半径 3.5 Å と設定し、 ^4He 粒子を充填していったところ、粒子数が4個のときに粒子が正四面体構造の頂点に位置する形状となった。このときのエネルギーの温度依存性は、粒子統計性を可弁別粒子とした場合とボーズ粒子とした場合で大きな変化が見られなかった。このことは、幾何学的制限により粒子交換が行われず粒子統計性が発現しない、つまり系が固化していることを意味する。この現象は、実験において特定の粒子数密度で系の比熱が減少する（状態数が減る）ことに対応している。また、ケージ内に含まれる粒子数を4個として、ケージの有効半径をいろいろ変えてみたところ、半径が5 Åの点に臨界半径があり、これ以下の半径で系は幾何学的制限から固化することが理解された。図2. に、経路積分で得られたケージの有効半径とエネルギーの関係を示す。[1] 今回の計算によりケージ内での幾何学的フラストレーション効果は再現できたが、

比熱の絶対値に関しては実験とはまだ乖離がある。これは実際には、壁面に吸着した粒子にも位置依存性を持つ相互作用ポテンシャルが存在して、その自由度にもエネルギー分配が行われたためと考えられる。

今後の方針としては、ケージの連結を考慮して超流動の発現さらには超流動密度の計算を行うつもりである。

[1] Y. Nakamura, and T. Takagi, J. Phys. Soc. Jpn. **77**, 034608 (2008).

三角格子量子スピン系の新秩序相とスピン相関

田村 雅史
理研

有機導体の多くは、構成分子の複雑な形状の巧妙な組合せで結晶構造が定まる。つまり異物に対して排他的で、クリーンな電子系を与える（異種分子を混ぜてキャリアドーピングを試みても大抵うまくいかない）。こうした特徴をもつ有機導体の大きなグループとして、分子が二量化して各二量体が1個ずつ不対電子をもつものがある。二量体を1単位と見ればMott絶縁体になる要件を満たし、実際にバンド幅 W が狭ければ絶縁化して spin-1/2 局在スピン系になり、多くは低温で反強磁性秩序を示す。加圧などの方法で W を広げると金属伝導を示すようになり、このMott臨界点近傍で超伝導がしばしば見られるなど、強相関電子系に特徴的な物性が観測される。この種の物質で2000年頃から、二量体が三角格子状に配列して磁氣的にフラストレートした系の研究が盛んになった。Mott臨界点近傍であり、フラストレーションのために反強磁性秩序が崩壊する量子臨界点にも近いので、この型の物質群には豊富な量子相の物理が期待される。本特定領域メンバーである東大の鹿野田グループが取り上げた κ -(ET)₂Cu₂(CN)₃ という物質 (κ -ET) [1]では、極低温でも常磁性のまま磁気秩序が生じないという gapless スピン液体 (SL) 相が注目を集めた。

我々は[Pd(dmit)₂]という分子のつくる一連の塩に着目し、その磁性を研究してきた。そしてこれらが系統的に構造変化している三角格子量子スピン系であることを実証し[2], SL相の他、格子自由度が協力して新しい型のスピングャップ (SG) 相を与えることを示した。(本特定領域での研究では、小さな磁化信号を圧力下で測定する手法を適用し、SG相や下記の超伝導の磁気特性を調べた他、Mott臨界点で磁化率変化が非常に小さいことも示した[3]。) [Pd(dmit)₂]塩で見つかる SL相(EtMe₃Sb塩)[4]では κ -ETと同じく不均一内部磁場が観測され、その起源は未解明だが SL 実現機構 (ring exchange など) の手がかりになろう。SG相については解説[5]を最近書いたので詳細はそちらに譲って要点を記す。二次元スピン系が低温でエントロピーを下げて基底状態に至る際、通常磁気秩序はフラストレーションのためエネルギー的に不利になっている。そこで格子の並進対称性を自発的に破ることにより、singlet 対 (VB) を局在・整列させて SG 状態 (VB 秩序) になる。並進対称性の破れ方には、スピン Peierls 系と同様に二量体間の関係に強弱交替ができる場合(単斜晶 EtMe₃P 塩)と、二量体自体が非等価になる場合 (Et₂Me₂Sb 塩) の2通りがあり、VB はそれぞれ二量体間と二量体内に局在する。前者の VB 秩序相への二次転移 (25 K) は加圧によって抑えられ、約 0.2 GPa 以上で金属伝導が現れるが、低温では SG 相に接して超伝導 ($T_C = 6$ K) が観測され、VB 秩序と超伝導対形成の密接な関係を示唆する[6]。Et₂Me₂Sb 塩では、有機導体としては珍しく軌道自由度も関与した一次転移 (価数転移) で非磁性相になる。こうして、現実のフラストレートした二次元量子スピン系では、格子自由度が関与してスピン液体以外にも種々の新量子相 (VB 秩序) が現れることが一連の[Pd(dmit)₂]塩の磁性研究から明らかになった。

これまで事例がなかったことから窺えるように VB 秩序の出現は自明なことではない (特に隣接する Fermi 液体相や超伝導相との関係)。逆にこのことから、非秩序高温相でも VB が物理的に重要な役割を果たして、それがフラストレートした量子スピン系の特徴だと考えられる。

三角格子[Pd(dmit)₂]塩の磁化率 χ は高温ではどれも類似していて、室温から温度低下で緩慢に増加し、幅広の極大（交換相互作用 J よりずっと低温）を示す。SL 相や SG 相になるもの以外は、極大の少し低温側で速やかに χ が減少し、Néel 温度 T_N で反強磁性秩序に至る。これらの物質では、三角格子の1辺方向の J' が、他の2つの J （正方格子を成す）よりやや小さく、この空間異方性（正三角格子からのずれ）が大きいほど、 χ の減少し始める温度も T_N も高い。 χ の減少は、高温のフラストレートした常磁性状態と、反強磁性相関の発達した低温状態とのクロスオーバーを意味し、 $T=0$ で磁気秩序が壊れる量子臨界点につながるものと考えられる。このクロスオーバー自体、まだ十分な理論的説明がない興味ある現象であるばかりか、これを利用すれば一般的な χ の測定から J を簡便に評価できるという実際上の利点もある。しかしフラストレートした量子スピンの系（特に空間異方性のあるもの）の有限温度磁性について、解析手法は確立されていない。

このようなクロスオーバーを示す系のスピン励起（マグノン）スペクトルは、反強磁性相関に対応する長波長スピン波（gapless）と、フラストレーションまたは VB flip を表す短波長部分（空間異方性があれば gapped）から成る二重構造をもち、プロトタイプ量子液体である超流動 ⁴He のフォノン-ロトン励起に類似する。スピン波の分散（速度）も短波長励起のギャップも、 J 自体でなく J の差（空間異方性）で決まっていると考えられる。クロスオーバー温度以上で短波長励起の寄与が指数関数的に増え、高温では空間異方性にかかわらず似たような常磁性的 χ を示す。フラストレーションが強いと短波長励起のギャップが減少し、低温でも長距離秩序が消えてスピン液体的になる。この考察による式は χ の測定結果をよく説明する。低エネルギーの短波長励起は、有限系数値計算でも得られ、直観的には強い J から弱い J' への VB flip として理解できる。高温フラストレート常磁性相は、VB が三角格子上を自由に flip する RVB 状態で、1 個の三角形上でスピンと VB とが巡回する chiral 自由度が、古典系 spiral 磁性に対応する。この描像で、三角プラケット上の vortex を、duality 裏格子（honeycomb 格子）上を動く fermion と見なす理論[7]が提案された。この fermionized vortex liquid 理論は長波長スピン波励起を与えず、元のスピン系との対応が見えにくい。一方、実験を手掛かりに低温側で対称性の破れた Néel 状態になることを前提にすると、マグノン（boson）の Bogoliubov 変換で（超流動 ⁴He と同様に）上記のスペクトルを定性的に説明できる。我々の実験で得た χ の有限温度クロスオーバーは、このような量子液体類似の物理が現れたものであることが明らかになってきた。広い温度範囲で定量的に磁化率を解析する理論的手法の確立が望まれる。

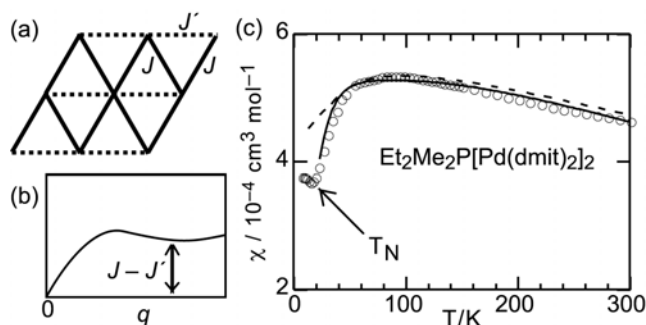


図1 (a) 異方的三角格子モデル, (b) スピン励起スペクトルの模式図。(c) 短波長励起ギャップを考慮すると(実線), 正三角格子モデル(破線)よりも χ の測定値をよく説明できる。

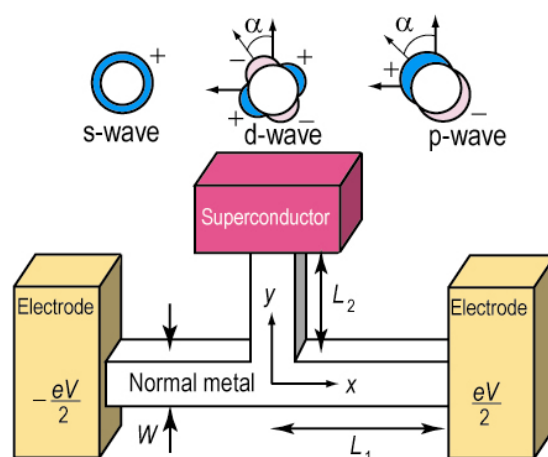
- [1] Y. Shimizu, K. Miyagawa, K. Kanoda, M. Maesato, G. Saito: Phys. Rev. Lett. **91** (2003) 107001.
 [2] M. Tamura, R. Kato: J. Phys.: Condens. Matter, **14** (2002) L729.
 [3] M. Tamura, Y. Ishii, R. Kato: J. Phys.: Condens. Matter **19** (2007) 145239.
 [4] T. Itou et al.: J. Phys.: Condens. Matter **19** (2007) 145247.
 [5] 田村雅史, 加藤礼三: 固体物理 **42** (2007) 133.
 [6] Y. Ishii, M. Tamura, R. Kato: J. Phys. Soc. Jpn. **76** (2007) 033704.
 [7] J. Alicea, O. I. Motrunich, M. P. A. Fisher: Phys. Rev. B **73** (2006) 174430.

超伝導 T 字接合のコンダクタンス分光

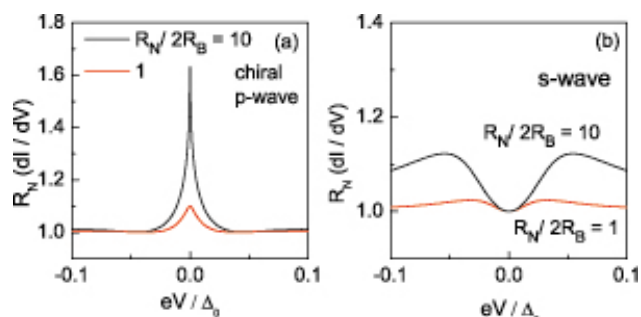
浅野 泰寛
北海道大学工学研究科

超伝導を担うクーパー対は2電子から成る複合粒子である。電子はフェルミ統計に従うために、クーパー対の状態を記述する対関数は2電子の交換に対して反対称でなければならない。その結果、超伝導体はスピン1重項偶パリティのものとスピン3重項奇パリティのものに大別される。新超伝導体が発見されたとき、未知の超伝導が一体どちらの対称性に属するかを特定する実験が直ちに行われるが、対称性の明確な実験的峻別は今もって大変難しい。我々はスピン3重項超伝導体の異常近接効果を応用し、新たな実験方法を提案している。

我々は右図のような T 字型の接合において、黄色で示した2電極間の微分コンダクタンスを理論的に計算した。T字の部分は金、銀などの通常金属で、第3の端子は超伝導体によって終端されている。超伝導体と常伝導体の接合には電流が流れないのがこの測定の特徴である。微分コンダクタンスはこの分野で伝統的に用いられている準古典グリーン関数の従うウサデル方程式を解くことによって得られる。理論計算の結果をグラフに示す。縦軸は微分コンダクタンスを金属細線のノーマル抵抗 (R_N) を乗じて規格化したものであり、横軸は2電極間の印加電圧である。 R_B は超伝導体と金属の接合部のノーマル抵抗である。二つの抵抗の比 ($R_N/2R_B$) はパラメータであり、この比が大きいと近接効果がより顕著になる。左の図は Sr_2RuO_4 で有望視されているスピン3重項カイラル p 波超伝導を仮定した結果であり、右の図は通常金属で発現するスピン1重項 s 波超伝導を考慮した結果である。スピン3重項超伝導体の接合ではゼロバイアス近傍でコンダクタンスがピークを持つことがその特徴で、一方スピン1重項超伝導体の接合ではゼロバイアス近傍でコンダクタンスはディップ構造を持つ。これらピーク幅やディップ幅などスペクトルの構造は、干渉効果に特有のエネルギースケールであるサウレスエネルギーによって記述される。ここではスピン3重項超伝導体としてカイラル p 波対称性の場合の、スピン1重項超伝導体として s 波対称性の場合の結果を示したが、常伝導金属中で近接効果がある限り、軌道部の対称性を変えてもスペクトルの形は定性的に変更を受けないことを我々は確かめている。このように、接合した超伝導体がスピン3重項かスピン1重項かに依存して、コンダクタンススペクトルが定性的な違



一方スピン1重項超伝導体の接合ではゼロバイアス近傍でコンダクタンスはディップ構造を持つ。これらピーク幅やディップ幅などスペクトルの構造は、干渉効果に特有のエネルギースケールであるサウレスエネルギーによって記述される。ここではスピン3重項超伝導体としてカイラル p 波対称性の場合の、スピン1重項超伝導体として s 波



対称性の場合の結果を示したが、常伝導金属中で近接効果がある限り、軌道部の対称性を変えてもスペクトルの形は定性的に変更を受けないことを我々は確かめている。このように、接合した超伝導体がスピン3重項かスピン1重項かに依存して、コンダクタンススペクトルが定性的な違

いを示すことにより、超伝導体の対称性の区別ができるだろうというのが我々の主張である[1].

ではどうしてこのようなスペクトルの違いが表れるのだろうか？答えを一言で言うと、金属中に染み出したクーパ対の周波数対称性が劇的に違うのである。電子は空間座標、スピン、時間の3個の自由度を持っている。これに対応してクーパ対の内部構造は、2電子の空間相対座標をフーリエ変換して偶パリティの s, d, g 波、奇パリティの p, f 波に分類され、スピン自由度はスピン1重項と3重項に分類される。さらに、これが本稿で重要なことだが、2電子の相対時間をフーリエ変換して偶周波数ペアと奇周波数ペアに分類される。3つの自由度がそれぞれ2つの選択肢を持つので全部で $2^3 = 8$ 通りの分類が可能に見えるが、対関数が2電子の入れ替えに関して反対称であることがフェルミ統計から要請されるので、ペアの対称性は表に示した4種類になる。上の2つが冒頭で述べた超伝導対称性の分類に相当する。

周波数部	軌道部	スピン部
偶	偶パリティ	1重項
偶	奇パリティ	3重項
奇	偶パリティ	3重項
奇	奇パリティ	1重項

これまで奇周波数超伝導は理論的に示唆されてきたが実験的な裏付けがはっきりせず、超伝導は偶周波数のものと暗黙のうちに了解してきた。奇周波数超伝導の実現が難しい理由の1つとして、ギャップがつぶれて凝縮エネルギーがうまく稼げないことが挙げられる。しかし近接効果によって金属中に染み出すペアの場合、そういったエネルギーの損得勘定の必要がなくなるのである。(偶周波数)スピン1重項 s 波超伝導体の接合の場合、ペアの染み出し先の金属中でもこの対称性が保存される。感覚的な言い方ではあるが、ペアの存在は状態密度のエネルギーギャップを連想させる。コンダクタンスの右の図に現れたディップ構造は、ペアが染み出してできたギャップを反映している。その一方(偶周波数)スピン3重項奇パリティ p 波超伝導体の接合では、染み出し先の金属中でペアの軌道部の対称性が偶パリティ s 波に変更を受ける。これは金属中に存在する不純部によって準粒子が散乱されるために、軌道部の対称性は空間的に等方的な s 波しか許されないことに起因する。フェルミ統計という量子力学の根本原理の帰結とペアを組むという事象を両立させるには、軌道部分が偶パリティに変わった事を補償するようクーパ対は金属中で奇周波数対称性を獲得するのである。奇周波数ペアの存在は、サウレスエネルギーよりも低いエネルギー領域の準粒子状態密度を増やすことが明らかになりつつある。フェルミエネルギー直上に状態密度のピークが現れることは超伝導の異方的対称性に起因するトポロジカルな理由があるのだがここでは省略する。グラフ左図のスペクトルのゼロバイアスピークは奇周波数ペアが染み出してできた状態密度のピークを反映している。

このようにスピン1重項か3重項かを区別する問題は、近接効果を用いフェルミ統計性を利用すると、偶周波数か奇周波数かの問題に置き換えることができる。周波数対称性の違いは近接した金属中の準粒子状態密度に直接現れ、それを精度の良い測定が可能な微分コンダクタンスで調べることができるのである。現在以上の理論的な筋書きを確かめるべく実験が行われつつあり、近く報告できれば幸いだと考えている。

本稿は田仲由喜夫(名古屋大学), A.A.Golubov(トゥエンテ大学), 柏谷聡(産業総合技術研究所)各氏との共同研究に基づいている。

[1]Y. Asano, Y. Tanaka, A. A. Golubov, and S. Kashiwaya, Phys. Rev. Lett. **99**, 067005 (2007).

ワークショップ報告 International Workshop on Supersolids and Related Topics

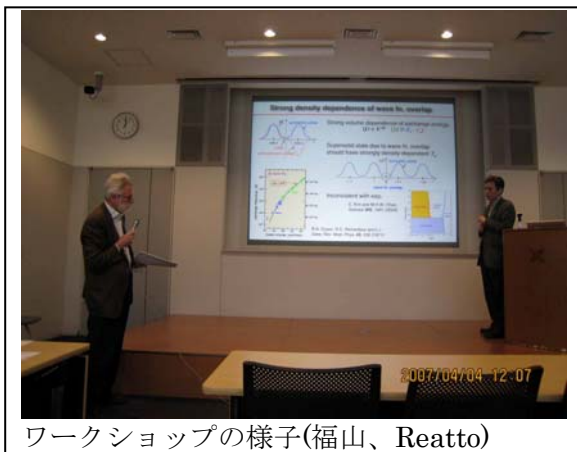
白浜 圭也
慶應義塾大学工学部

A02 班のアクティビティの一環として、表題の国際ワークショップを 2007 年 4 月 2—4 日に慶應義塾大学日吉キャンパス(来往舎)で開催した。Chairman の一人としてここに報告させていただく。プログラムを含めた会議概要はウェブサイト[1]に掲載されている。

本ワークショップは、「固体の超流動」(Supersolid)を中心的話題とする日本で初めての会議である。2004 年の Kim と Chan による固体ヘリウム 4 の「超流動現象」の発見以来、Supersolid は低温物理の重要な問題として多大な関心を集めている。その研究の最前線を紹介することがワークショップ開催の目的であるが、Supersolid 状態はスピン系や気体原子系などで実現する可能性があり、凝縮系物理学の基本的問題である。そこで Supersolid に関連する話題を広く議論できるよう、本特定領域とその周辺の関連分野の研究者に講演をお願いした。海外から発見者の Moses Chan, Eunseong Kim 両氏をはじめ第一線で活躍する 8 名、日本からも 10 名の招待講演者が参加して下さった。全体を通じて参加者は約 80 名で、コンパクトだが内容をフォーカスして議論することができた。

2 日半にわたるセッションでは、固体 4He の超流動に関する最先端の実験結果がほぼ全て紹介され、更に固体 He の可視化実験、量子スピン系や気体原子での Supersolid 状態実現の可能性などの大変興味深い講演があった。本特定領域の主催する研究会は物性物理の様々な分野の第一線研究者に参加していただくため、大変レベルの高い講演・議論が行われる。このワークショップも例外ではなく、多くの参加者に有益であったと確信している。

固体超流動研究の現状についてはニュースレター第一号でも少し紹介させていただいたので、ここでもその後の進展について触れておく。Kim と Chan が発見したねじれ振り子実験での超流動的挙動は、その起源が今もって謎のままである。特にここ 1 年の間にいくつかのグループが行った新しい実験によって、謎が更に深まった感がある。最も不思議なのは、様々なねじれ振り子



ワークショップの様子(福山、Reatto)

で得られる「超流動成分」の値が固体の形状、試料作成条件などにより大きく異なり、固体全質量の 50%から 0.03%までと、実に千倍もの違いがあることである(にもかかわらず、「転移温度」にはほとんど違いがない)。またごく最近(2007 年 7 月)になって、招待講演者の一人の Beamish が固体 4He の Shear Modulus が 0.2K 以下で上昇する(即ち固体が低温で硬くなる)振る舞いを発見し、その温度変化がねじれ振り子の周波数変化と全

く同じように見えることが注目されている[2]。これらの性質は、「超流動」が完全結晶の持つ性質ではなく、結晶に導入された乱れや欠陥、特に「転位」を起源とすることを強く示唆する。本ワークショップでも、転位や結晶粒界が超流動的挙動を示す可能性について盛んに議論が行われた。

しかしそのような解釈とは別に、P. W. Anderson が提案する”Vortex Liquid”状態にも興味を持たれている[3]。これはおよそ 50-200mK の温度域では渦の液体状態(KT 転移や高温超伝導の擬ギャップ状態と同様の局所超流動状態)が実現されるとする考えで、最近報告されている超流動密度の履歴依存性が説明できるとされている。大変魅力的なアイデアであるが、熱平衡で零点空格子点(の BEC)がないと渦液体のような状態は生じ得ないので、試料による超流動密度の大きな違いを説明できるのか気になるところである。また、ねじれ振子で観測される振る舞いは BEC を起源とする超流動ではなく、固体ヘリウムの「ガラス」的性質で理解できるとする理論が Balatsky や Andreev により提案されていることも付記しておく。

最後に、開催時期について触れておきたい。今回は、日本人が多忙の合間をぬって参加でき、かつ海外からの参加者には桜を楽しんでもらえるよう、大学が始まる直前の 4 月初めという意表を突いた

時期に開催を試みた。大学業務のため参加できなかった領域メンバーもいたが、この試みはおおむね成功であった。4 月 3 日が慶應義塾大学の入学式と重なり会場前は学生で大変な混雑となったが、逆に海外からの参加者には珍しく感じられたようである。ただ、海外招待者のほとんどが 3 月 31 日以前に来日することになったため、経費の面で事務方の手を多少煩わすことになった。科研費による会議の開催は一昔前に比べ格段に容易になったとはいえ、実際の効率的利用には工夫の余地があると感じた次第である。

招待講演者・参加者の皆さん、ワークショップの開催にご尽力いただいた平岩利恵さん、会場運営を担当いただいた柴山義行さんはじめ学生の皆さんに感謝いたします。



会場前での集合写真

[1] <http://www.superclean-materials.org/supersolid/index.htm>

[2] J. Day and J. Beamish, Nature **450**, 853 (2007).

[3] P. W. Anderson, Nature Physics **3**, 160 (2007).

A03, A04 班合同研究会報告

石川 修六
大阪市立大学大学院理学研究科

本領域のA03 班とA04 班合同によるワークショップが、2007 年 7 月 14 日～16 日の 3 日間にわたり、高野町（和歌山県）の高野山大学で開催されました。二つの班の計画班メンバーと公募班メンバーに加え、本領域の別の班からの参加者、大学院生を含む多くの若手研究者が参加し、合計 67 名による情報交換および活発な討論が行なわれました。

今回のワークショップは、計画班と公募研究の方の進捗状況の報告となるだけでなく、話題提供となる講演と、今秋の物理学会でのシンポジウムで取り上げられるテーマに沿った講演から構成しました。継続する講演数は少なくし、合間のコーヒブレークの回数を多くするプログラムとして、各講演の印象が消えないうちに自由に議論ができるようにしました。共通概念の理解とともに新しい展開が期待される研究会でした。

本ワークショップでのキーワードは「量子渦、量子乱流」、「内部自由度をもつ超伝導・超流動」、「不純物下の超伝導・超流動」です。若手の研究者、院生、学生が、これらの言葉と現象との関係を理解し、そして興味を持ち、さらなる研究へ進むことを期待します。

研究会会場は高野山大学の講義室を借りました。宿泊は隣接地にある宿坊です。朝晩の精進料理は若い人には物足りないかと心配しましたが、皆、満足していました。早朝のお勤めへの参加を促したところ、多くの参加者がありました。毎晩遅くまで議論が白熱していましたが、しっかり気持ちを切り替えて翌朝に望む姿勢は、本研究会での活発な議論に通じるものです。

残念ながら梅雨前線の停滞と大型台風の直撃のために外は暴風雨という状況でした。予定していたエクスカージョンはキャンセルせざるを得ませんでした。台風一過の最終日は晴れとなり、ワークショップ終了後に、各自散策を楽しむことができたのは大変幸運でした。

右図：霧中に佇む宿坊の庭
下図：会議参加者集合写真
(外は暴風雨)



長良川国際シンポジウム(PSM2007)報告

和田 信雄
名古屋大学大学院理学研究科

平成 16 年度から 21 年度にいたる本特定領域研究の丁度中間の年度にあたり、国際シンポジウムを平成 19 年 10 月 29 から 11 月 1 日に岐阜市・長良川国際会議場において開催した。参加者は、国内 192 名、国外 11 名であった。会議のプログラム等は下記の URL にあるが、招待者の講演と本特定研究の主だった研究者の講演とポスター発表からなっている。そこでは、低次元 ^3He 量子流体や核磁性、有機導体、酸化物の磁性、超伝導、 ^4He 液体や固体の超流動性や量子渦、冷却原子量子ガスの実験や理論などについて、最新の成果報告や講演が行われた。これらは、広範な研究分野からなる本特定研究の特徴を反映している。最後に行われた D.D. Osheroff 氏(1996 年度ノーベル物理学賞受賞者)の総括でも、各研究の進展について高い評価がなされた。

国際会議場は長良川の川岸にあり、対岸には金華山と山上の岐阜城が見える。多くの参加者は隣接するホテルに滞在し、会場以外のさまざまな機会に議論や交流を楽しんでいた。また 2 日目の free time では、多くの参加者が金華山登山で汗を流し、ふもとの公園ではちょうど見頃の菊をめでていた。会議運営では、ほとんどの講演は予定時間内に終わるように協力していただき、順調にプログラムを進行することができた。また食事や宿泊も好評であった。



•<http://ult.phys.nagoya-u.ac.jp/psm2007/>

A01 班: $S = 1$ ハイゼンベルグ三角格反強磁性体 NiGa_2S_4 における 二次元短距離秩序状態と異常な凍結現象

中辻 知^A、南部 雄亮^{A, B}、石田 憲二^B、前野 悦輝^B

^A東京大学 物性研究所、^B京都大学大学院 理学研究科

我々はスピン 1 の二次元三角格子としては初めての磁性体として NiGa_2S_4 の研究を進めている。この物質は、筆者らが 2005 年に京都大学大学院理学研究科において開発したものである[1]。この系は、初期の段階から磁化率、比熱の実験の結果、80 K のエネルギースケールの反強磁性相互作用を持つこと、また相転移とは定義できないが何らかの異常が 10K に見られることを報告した。そのため、我々は二次元三角格子において期待される磁気フラストレーションの効果の格好の研究対象として注目をしてきた。図 1 (a) に示すのは、この系の結晶構造である。赤色の部分が磁性層である NiS_2 層、緑色の部分は非磁性の GaS 層である。格子定数で与えられるこの系の磁性イオン Ni 間の距離をみると、 NiS_2 面内の $a = 3.67 \text{ \AA}$ に比べて NiS_2 面間の $c = 11.99 \text{ \AA}$ は約 3 倍以上あり、強い 2 次元性が期待される。実際、中性子回折実験の結果から、低温 1.5 K においても通常の磁気秩序状態にみられる長距離相関を持たず、面内の格子定数の約 7 倍の短距離相関しか発達していない。また、面間の相関は相関長が定義できないほどに弱いことが明らかになった。この面内の相関は、図 2 (b) に示すように、三角格子系で期待される 120 度構造とは異なり、2 倍の格子間隔 ($2a$ のユニット) での 120 度構造に大変近い格子非整合構造をとる(図 1(b) 参照)。このことは、あとで述べるようにこの系の電子構造の特殊性による。

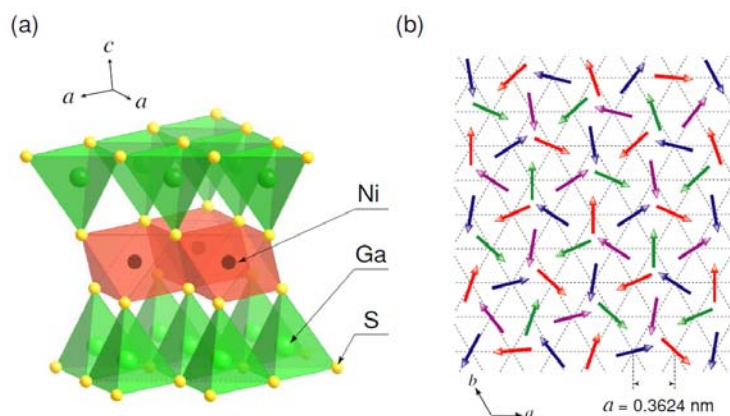
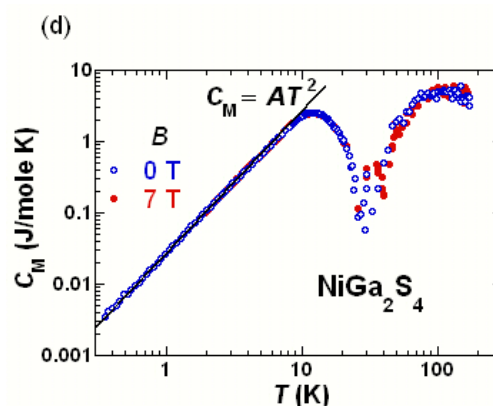
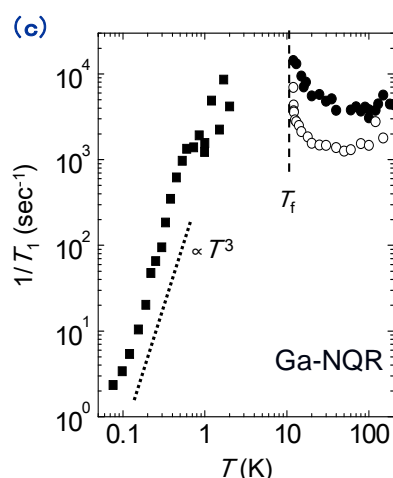


図 1 $S=1$ 擬二次元三角格子反強磁性体 NiGa_2S_4

(a) 2 次元性の強い結晶構造。(b) 中性子回折から明らかになった短距離スピン相関。異なる色で示された 120 度構造 (に近い格子非整合構造) を持つ 4 つの副格子は $2a$ の周期を持つ。(c) 多結晶試料の核四重極共鳴による核格子緩和率 $1/T_1$ の温度依存性[2]。(d) 多結晶試料のゼロ磁場、磁場 (7 T) 中での磁気比熱 C_M の温度依存性[1]。



さらに興味深いスピンのダイナミクスについての情報が、核四重極共鳴(NQR)による実験から得られている[2]。その結果をまとめると、1) 図 1 (c) に示すように核格子緩和率 $1/T_1$ は、ワイス温度 80 K からスピン凍結温度 $T_f = 10 \text{ K}$ に向う幅広い温度領域で臨界ゆらぎの存在を示す。この

広い温度に渡る臨界現象は NaCrO_2 や LiCrO_2 にも見られ二次元三角格子物質に共通に見られる現象と考えられる[2]。2) T_f 以下においても 10 K から 2 K までの温度領域において臨界状態が続き、2K 以下で内部磁場の影響を受けた幅広い信号が観測され、面内の短距離秩序は核四重極共鳴の時間スケールから見て静的になる。3) さらにこの 2 K 以下の状態では、 $1/T_f$ は T^3 に近いべき乗則が観測され、線形分散を持つモードが現れることを示唆している。この結果は図 1 (d) に示す磁気比熱が 4 K 以下で $C_M \sim T^2$ 則と関係していると考えられ、二次元の線形分散を持つモードの存在を強く示唆する。NQR の結果は、内場の存在を示すことから、このモードはマグノンによる可能性が高いと考えられる。さらに、比熱の T^2 則は磁場に対して強靱で、 T_f のエネルギースケールに対応する磁場 7 T をかけてもほとんど変化が見られないことや、非磁性不純物効果の実験から T_f はワイス温度にスケールして決まっていることから[3]、スピンの短距離相関はワイス温度 (80 K) 等の高い温度スケールで支配されている可能性がある。 $T_f=10$ K で現れるスピン凍結現象は、フラストレーションのためにワイス温度より十分低温で現れていると考えられる。以上をまとめると、 NiGa_2S_4 は、80 K のワイス温度以下で短距離の相関を発達させ、10 K で何らかの二次元短距離秩序状態に入ったと考えられる。ここで興味深いことに、 $T_f=10$ K 以下での NQR 緩和率と比熱の温度のべき乗則は、通常のスピングラスの振る舞いとは明らかに異なり、十分低温の数 100 mK まで低エネルギーの励起の存在を示唆している。

さらに、この系の基底状態を考えるうえで重要なファクターは、スピンのハイゼンベルグ性である。単結晶を用いて磁気異方性を検討した結果、この系の単イオン異方性のエネルギースケールはたかだか、1 K 程度であることが分っている[4]。さらに、最近の田久保・溝川らによる光電子分光とそれに基づくモデル計算の結果、この系は負の電荷移動ギャップを持ち、Ni サイトから S サイトにホールが移動していることがわかってきた[5]。そのため、 Ni^{2+} の $S=1/2$ と八面体を構成する S_6 上の $S=1/2$ がスピン三重項をつくることで $S=1$ が形成されているとみなすことができる。このことを反映して、磁気相関として最近接相互作用でなく、第三近接が最も大きいという特殊な状態が現れており、それが中性子で確認された格子間隔二つ分の周期を持つ $1 \times 2 \times 0$ 度構造(図 1 (b))の起源と考えられる。一方で、このスーパークリーンという特定領域の代名詞に当てはめてこの系を考えてみると、完全に理想系とは言いにくい側面も分ってきている。X 線及び中性子回折の結果から分っている結晶構造によると一つしかないはずの Ga サイトであるが、NQR の信号に 2 サイトの信号が現れている[2]。これは、この系が層状化合物であり、高い二次元性を有する化合物の特徴として層状欠陥が存在しやすいことが原因と考えられる。しかし、それ以外の点においては、 NiS_2 層はバルクとしてクリーンで正確な三角格子を有しており、低スピンの二次元ハイゼンベルグ三角格子の基底状態の本質を探る意味で、格好の舞台を提供してくれている。

現在、この系に特徴的な 10 K での新しい二次元短距離秩序状態の起源を明らかにするために、圧力下等での振舞いや、不純物効果等の研究が進行中である。これまでのところ、いくつかの興味深い理論的な可能性が、本特定領域研究に属する理論家の先生方も含めてご提案をいただいている。[6,7] 今後、この特定領域の研究の場を通じて、 NiGa_2S_4 の基底状態の研究から、二次元スピン系における幾何学的フラストレーションの効果について、さらに理解を深めたいと考えている。最後に、これらは京都大学の小沼圭介、竹谷英朗、北川健太郎、東京大学の溝川貴司、田久保耕、米国の Collin Broholm、Julia Chan (敬称略) らとの共同研究である。

- [1] S. Nakatsuji, Y. Nambu, H. Tonomura, O. Sakai, S. Jonas, C. Broholm, H. Tsunetsugu, Y. Qiu and Y. Maeno: *Science* **309** 1697 (2005).
- [2] K. Ishida, H. Takeya, K. Kitagawa et al. Preprint; D.E. Maclaughlin, R.H. Heffner, S. Nakatsuji, Y. Nambu, K. Onuma, Y. Maeno, K. Ishida, O.O. Bernal and L. Shu, *J. Mag. Mag. Mat.* **310**, 1300-1302 (2007).
- [3] Y. Nambu, S. Nakatsuji and Y. Maeno: *J. Phys. Soc. Jpn.* **75** 043711 (2006).
- [4] K. Onuma, Y. Nambu, S. Nakatsuji, O. Sakai, and Y. Maeno, Preprint.
- [5] K. Takubo, T. Mizokawa, J.-Y. Son, Y. Nambu, S. Nakatsuji, and Y. Maeno, *Phys. Rev. Lett.* **99**, 037203 (2007).
- [6] H. Tsunetsugu and M. Arikawa: *J. Phys. Soc. Jpn.* **75** 083701 (2006).
- [7] H. Kawamura and Yamaoto, *J. Phys. Soc. Jpn.* **76** 073704 (2007).

A02 班: 超流動ヘリウムの量子乱流遷移

矢野 英雄

大阪市立大学大学院理学研究科

超流動の乱流（量子乱流）は、流体が作る乱流の中でもっともシンプルな構造を持つ。古典流体の流れに円柱を置くと、遅い流れの時は層流であるが、流れを速くしていくにつれて渦が発生し、乱流へと遷移していく。一方超流動の場合は、粘性のない流体の流れ（ポテンシャル流）からいきなり乱流へと遷移する（図1）[1]。量子乱流の発見 [Feynman 1955、Vinen 1957] から半世紀がたつが、これまでこの乱流の発生メカニズムは謎であった。超流動は粘性がないために通常の流れでは渦が発生せず、超流動相が壊れるランダウ速度付近（数十 m/s）で初めて渦が発生する。しかし物体を超流動中に置いて振動させると、渦発生速度より2桁遅い速度でも乱流に遷移する。このため、乱流の種となる渦（残留渦）が最初から存在し、遅い流れでも乱流を発生させていると考えられてきた。我々は、乱流研究の妨げになっている残留渦を除去することで、残留渦のない“スーパークリーン”な超流動を作ることに成功し、半世紀にわたる課題であった量子乱流遷移のメカニズムを初めて解明するにいたった [2, 3]。

量子乱流を生成・検知する手段として、振動ワイヤを用いた（図2）。直径 $3\mu\text{m}$ の極微細超伝導線を直径 2 mm 程度の半円状に張り、静磁場中で交流電流を流し、ローレンツ力により共鳴振動させる。これを超流動ヘリウム 4 中に置くと、ワイヤは超流動からの抵抗を受けることなく振動し、ワイヤ内部の摩擦によるエネルギー損失のみが応答に現れる。しかし、駆動力を増すと突然乱流が発生し、エネルギー損失が増大する（図1）。すなわち残留渦がこのワイヤに付着し、遅い流速でも乱流を発生させている。残留渦は、ヘリウムが超流動へ相転移する過程で位相欠陥（量子渦）が発生し、壁に付着し残留すると考えられる。そこで我々は、液体ヘリウムをセルに注入する際に発生する渦をワイヤに付着させないために、振動ワイヤを小部屋に閉じこめ、100mK 以下に冷却した超流動をピンホールから小部屋へ直接注ぎ入れた。このようにして得られた超流動中の振動ワイヤは乱流を生成しない（図3）[2]。我々はこの方法によって残留渦のない超流動を作ることに成功し、量子乱流の発生メカニズムを探る実験研究の基礎を得た。

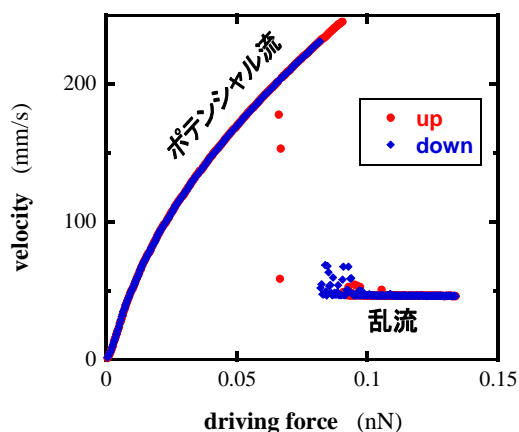


図1. 超流動ヘリウム 4 (30mK) 中の振動ワイヤの応答。駆動力を増すと、乱流へと遷移する。

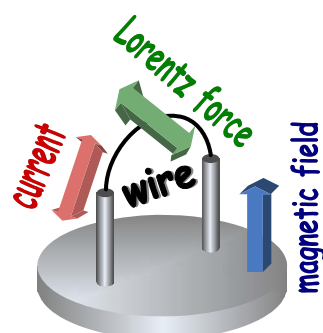


図2. 振動ワイヤの模式図。直径 $3\mu\text{m}$ の超伝導線を直径 2 mm 程度の半円状に張り、静磁場中に置く。

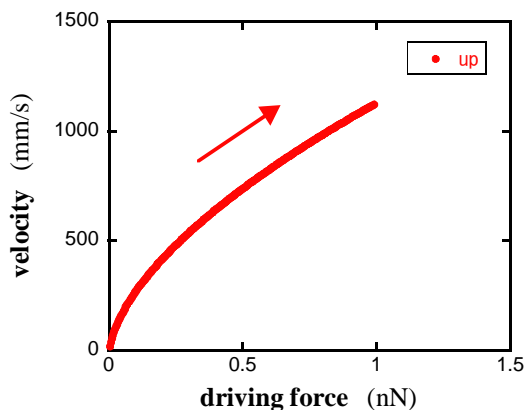


図3. 渦の付着を防いだ振動ワイヤの応答。ワイヤは乱流を生成しない。

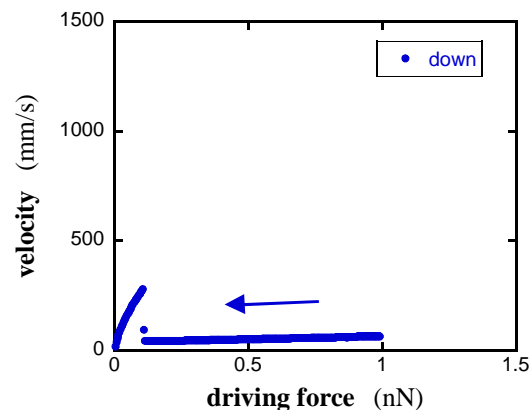


図4. 渦輪により乱流へ遷移した状態。駆動力を下げると、乱流からポテンシャル流へと遷移する。

残留渦のない超流動ヘリウムを相転移温度以上に上げ、再び冷却すると、ワイヤは振動によって乱流を生成するようになる。すなわち超流動転移に伴って渦が発生し、ワイヤに付着したと考えられる。乱流を生成する場合としない場合との比較を行い、乱流を生成するワイヤは、ワイヤとそのまわりの壁との間に橋渡しする渦が付着していることを明らかにした [2]。この橋渡しする渦がワイヤの振動で揺れ、ある振幅を超えると乱流を引き起こす。橋渡しする渦に誘起されるケルビン波の不安定性が、量子乱流遷移の引き金になっていることを示している。

振動している渦なしのワイヤに小さな渦をあてると、はたして乱流へ遷移するか？我々は、1 nNの駆動力でワイヤを振動させ (図3)、数 μm サイズの渦リングをワイヤにあてたところ、乱流へ遷移することを発見した (図4) [3]。渦リングの供給を止めても、振動ワイヤは乱流を保ち、駆動力を減らしていくとポテンシャル流へ遷移した。この結果は、小さな渦であっても乱流の種となり、振動流下では乱流へ遷移することを示している。坪田・藤山の協力のもと振動子と渦リングの運動状態の数値シミュレーションを行い、渦リングによって乱流へ遷移することを確かめた [共著論文3]。しかし、一旦ポテンシャル流に戻ると、再びワイヤを振動させても乱流へ遷移しない。乱流状態では多数の渦が生成されワイヤに付着したはずだが、ポテンシャル流に戻ると、これらの渦は乱流の種にならないことを示している。つまりワイヤとまわりの壁とを橋渡しする渦か、振動流下に投入された渦リングのみが、乱流を発生させることができる。このように残留渦のない超流動を実現することで、量子乱流の制御を可能にした。

図4では、駆動力を弱めていくと乱流からポテンシャル流へ遷移することを示している。この乱流・ポテンシャル流遷移は興味深い性質を持つ。乱流状態には寿命があり、遷移のイベント数は寿命に対し指数分布する。つまりこの遷移は確率現象であることを意味する。指数分布から得られる乱流の平均寿命は、乱流に投入しているエネルギーに依存し、投入エネルギーを減少させると平均寿命は指数的に短くなっていく。乱流中で生成される渦密度は投入エネルギーに依存するので、平均寿命は渦密度に関係すると考えられる。今後、量子乱流のエネルギー散逸構造と量子乱流遷移の関わりを明らかにしたいと考えている。

本研究は、実験においては橋本直人・後藤累・永合祐輔・小原顕・石川修六・畑徹各氏と、理論では大阪市立大学の坪田誠・小林未知数・藤山将士各氏との共同研究である。

1. H. Yano, N. Hashimoto, *et al.*, Phys. Rev. B **75**, 012502 (2007).
2. N. Hashimoto, H. Yano, *et al.*, Phys. Rev. B **76**, 020504(R) (2007).
3. R. Goto, H. Yano, S. Fujiyama, M. Tsubota, *et al.*, Phys. Rev. Lett. **100**, 045301 (2008).

A04 班: 超伝導接合系に現れる奇周波数クーパー対状態

田仲由喜夫

名古屋大学大学院工学研究科

超伝導のクーパーペアの波動関数は、パウリの原理に基づき 2 電子の交換に関して反対称でなくてはならない。電子スピンの交換に関して反対称のものをシングレット、対称のものをトリプレット、座標の交換に関して対称のものを偶パリティ (s 波 d 波など) 反対称のものを奇パリティ (p 波など) と呼ぶ。我々になじみのあるクーパーペアは、時間の交換 (松原周波数) に関しては偶関数の、偶周波数スピン 1 重項偶パリティ (ESE) ペアと偶周波数スピン 3 重項奇パリティ (ETO) ペアであるが、さらに奇周波数スピン 3 重項偶パリティ (OTE) ペアと奇周波数スピン 1 重項奇パリティ (OSO) ペアが存在することも原理的には許される (表 1 参照)。

表 1 超伝導の対称性

+ symmetric, - anti-symmetric

	Matsubara Frequency	Spin	Orbital	Total
ESE	+	-	+	-
ETO	+	+	-	-
OTE	-	+	+	-
OSO	-	-	-	-

30 年ほど前に、Berezinskii は OTE 状態がヘリウム 3 で実現されないかという提案を行った。しかし、実験とは相容れず、ヘリウム 3 の超伝導の対称性は、ETO 状態 (スピン 3 重項 p 波) であることが確立している[1]。その後、バルク超伝導体での奇周波数超伝導秩序に関する理論的提案はいくつかあったが、現在までに実験的に奇

周波数超伝導状態は確立していない[2]。一方ペアリング相互作用を持たない近接効果系 (強磁性体/超伝導体接合) においては、超伝導体が ESE 状態である従来型の s 波超伝導体の場合であっても、強磁性体の中に OTE 状態 (奇周波数スピン 3 重項 s 波) の電子対が誘起されることを Bergeret らは指摘しており、奇周波数ペアの存在に興味を持たれている[3]。

最近我々は、より一般的に奇周波数電子対は超伝導不均一系において遍く存在することを理論的に解明した[4]。特に常伝導・超伝導接合における近接効果について、準古典 Green 関数の方法を用いて、超伝導体に隣接した常伝導体が弾道伝導領域にある場合と拡散伝導領域にある場合に関して、奇周波数ペアが透過率に依存してどのように誘起されるかを系統的に明らかにした[4,5]。得られた結果の要約として、超伝導体として偶周波数の ESE あるいは ETO 状態を仮定し、これらの超伝導体と常伝導体金属の接合において、界面に形成されるペアと近接効果により誘起されたペアの対称性の対応を表 2 にまとめた。界面での透過率が低い極限でも残るものを太字で、また透過率が有限になると現れる対称性を括弧内に記した。超伝導体が p_x 波や d_{xy} 波の場合には、界面で準粒子が反射 (通常の反射) されるときにペアポテンシャルの符号変化の効果が現れるが、これも表に明記した。

まず界面状態に関しては符号変化と奇周波数の間に密接な相関があり、この符号変化が存在する(2)および(3)の場合には、特に界面の透過率が低い極限では奇周波数状態しか存在しないことがわかる。すでに過去の研究から符号変化がある場合には界面にアンドレーエフ共鳴状態と呼ばれる異方的超伝導固有の共鳴状態が形成されることが知られており、今回の解析はアンドレーエフ共鳴状態が奇周波数のクーパーペアの状態であることに対応する。つまり過去の銅酸化物超伝

導体の実験においてゼロバイアスピークが観察されていたことは、直接奇周波数ペアの存在を検出したと解釈しなおすことができる[4]。一方ゼロエネルギーピークが現れない(1)や(4)の状態であっても、透過率が大きい界面においては奇周波数の成分が現れることが明らかとなったが、この奇周波数ペア振幅は透過率の低下とともに消失し、孤立した超伝導体の界面では現れない[4]。

次に近接効果に関しては、超伝導体に隣接する常伝導体が、拡散伝導領域(DN)にある場合を考えた[5]。常伝導体中に存在できるペアは不純物散乱のために偶パリティの s 波のみである。(1)の場合には ESE 状態の s 波、(3)の場合は OTE 状態の s 波が DN 領域に誘起される。(1)の場合には DN 領域の準粒子状態密度はエネルギーギャップを持ち、通常によく知られた近接効果状態に対応するが、(3)の場合はアンドレーエフ共鳴状態が常伝導体に浸入するために、誘起された近接効果状態は本質的にギャップレスで、その結果得られる状態密度はゼロエネルギーピークを持ち[6]、偶周波数状態の超伝導体が奇周波数ペアを DN 領域に誘起するという新奇な近接効果である[5]。一方(2)と(4)の場合は、 s 波の成分が存在しないために DN 領域への近接効果は現れない。特に(2)のスピンの 1 重項の d_{xy} 波においては、アンドレーエフ共鳴状態が現れるが、界面で形成される奇周波数ペアは奇パリティのために、DN 領域には侵入できない。したがって、この奇周波数ペアによる新奇な近接効果は d 波の銅酸化物超伝導体接合には存在しないものである[5,6]。

Sr_2RuO_4 の超伝導状態は、これまでの研究でカイラル p 波 ($p_x + i p_y$ 波) であると考えられている。この場合、近接効果により拡散伝導領域に誘起されるペアの対称性は、 p_x 波と同様に OTE 状態になる [7]。よってカイラル p 波と常伝導体の接合系を作成すれば、常伝導体側の準粒子状態密度は、誘起された OTE 状態のためにゼロエネルギーピークを持つことが期待され、これが超伝導体のペア対称性の同定手法としても有効であることがわかる[8]。以上の成果は、奇周波数クーパ対による近接効果という新奇な現象を明らかにしたという点、およびスピン 3 重項 p 波超伝導における新奇な量子効果を明らかにしたという点において深い意義があり、今後 Sr_2RuO_4 を用いた実験によって検証されることが期待される。

表2 近接効果と対称性

	Bulk state	Sign change	Interface-induced state (subdominant)	Proximity into DN
(1)	ESE (s -wave)	No	ESE + (OSO)	ESE
(2)	ESE (d_{xy} -wave)	Yes	OSO + (ESE)	No
(3)	ETO (p_x -wave)	Yes	OTE + (ETO)	OTE
(4)	ETO (p_y -wave)	No	ETO + (OTE)	No

[1]V. L. Berezinskii, JETP Lett. **20**, 287 (1974).

[2]Y. Fuseya, H. Kohno and K. Miyake, J. Phys. Soc. Jpn. **72**, 2914 (2003).

[3]F. S. Bergeret, A. F. Volkov, and K. B. Efetov, Rev. Mod. Phys. **77**, 1321 (2005).

[4]Y. Tanaka, A. Golubov, S. Kashiwaya, and M. Ueda, Phys. Rev. Lett. **99**, 037005 (2007).

[5]Y. Tanaka and A. Golubov, Phys. Rev. Lett. **98**, 037003 (2007).

[6]Y. Tanaka and S. Kashiwaya, Phys. Rev. B **70**, 012507 (2004).

[7] Y. Sawa, T. Yokoyama, Y. Tanaka and A. A. Golubov, Phys. Rev. B **75**, 134508, 2007.

[8]Y. Asano, Y. Tanaka, A. A. Golubov and S. Kashiwaya, Phys. Rev. Lett. **99**, 067005 (2007).

A04 班 : p-波超流動ヘリウム3への不純物効果、1本の量子渦の運動

石川 修六

大阪市立大学大学院理学研究科

計画研究 A04 班「異方的超伝導・超流動」は2つの班で構成されている。「異方的超伝導に特有の新量子現象」(代表; 前野悦輝) と「超流動ヘリウム3の異方的秩序変数とその制御」(代表; 石川修六) である。この研究紹介は後者についてである。

超低温という環境では液体ヘリウム3は非常に純粋な系である。適切な純化処置を行うことによって同位元素のヘリウム4を数 ppm 以下としたヘリウム3のガスを試料として用いる。このヘリウム4もヘリウム3よりわずかに重いために優先的に物質表面に吸着し、バルク液体としては限りなく純粋な液体ヘリウム3での研究が可能である。最近、この純粋な系に不純物として振る舞う他の物質(エアロジェル)を入れることができるようになり、p-波超流体に対する不純物効果を調べる対象として注目されている。また、超流動ヘリウム4やs-波超流体(超伝導)は特異性をもつ“位相渦”が興味の対象であるが、p-波超流動ヘリウム3の軸異方性をもつA相には特異性を持たない“連続渦”も存在する。この連続渦の運動にも着目している。

エアロジェルはシリカ(SiO_2)の極細の紐(直径数 nm の鎖状高分子)が複雑なネットワークを構成する物質である。我々の実験では空孔率が97.5%のエアロジェルを用いている。s-波超伝導体での磁性不純物による効果は転移温度の抑制であった。超流動ヘリウム3ではエアロジェルによって、同様な転移温度の抑制と超流動密度の抑制が観測された。また、エアロジェル中超流動ヘリウム3では2つの相が観測されている。A-like相、B-like相と呼ぶ。不純物p-波超流体がバルク液体と同じ相(秩序変数)である必然性はなく、新しい相が出現する可能性もある。また、この系では、強い不純物散乱のために、ギャップレス超流動が実現していると考えられている。実際、低温での熱伝導度や比熱の温度依存性にその兆候が観測されている。不純物の存在が引き起こすギャップレス超流動はこれまでに無い研究対象である。

図1にはパルス核磁気共鳴法(NMR法)によるA-like相の周波数のチップ角依存性を示した[1]。バルク液体とは異なる振る舞いであり、不純物効果を取り入れたモデルから計算された結果と良い一致を示している。ただし、異なる2つのモデルから同じ計算結果が得られるので、これだけでは秩序変数を断定できない。A-like相は転移温度直下の極狭小の温度範囲にだけ存在することがわかってきた。バルクA相を安定化していたスピン揺らぎの効果は非常に小さくなっていることを示しており、2つの結果は新しい相の可能性を示唆すると考えられる。一方、B-like相はバルクB相と同じ秩序変数であることが明らかになってき

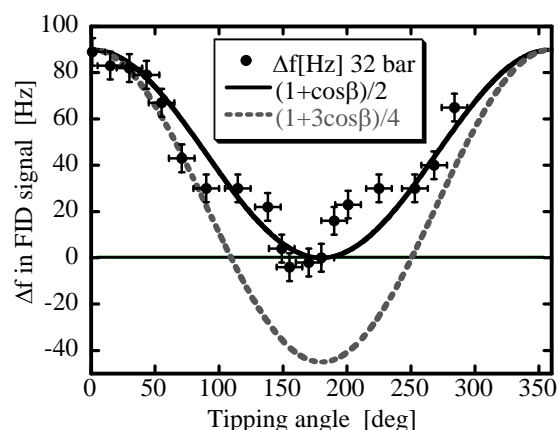


図1: パルス核磁気共鳴法でのFID(自由減衰歳差運動)中の周波数がチップ角に依存する様子。実線はエアロジェル中での計算結果。破線はバルク液体中での計算結果

た。ゼロ磁場中の第4音波法による超流動密度とエネルギー損失の測定でも、A-like相とB-like相での損失に大きな差が現れることがわかってきた。ギャップ構造（凝縮対構造）に相違があるためと考えられる。（大阪市大の小原頭との研究成果）

液体ヘリウム3-エアロジェル系を伝わる音波の理論的研究から、エアロジェル中液体ヘリウム3のダイナミクスは、液体の粘性とエアロジェル-液体間の摩擦に支配されていることが明らかになってきた。実際に、ノースウェスタン大学で行われた超音波減衰実験の結果は、粘性と摩擦を取り入れた2流体モデルでよく説明できる[2]。ギャップレス超流動の特徴としては、絶対零度でも粘性が残り、超音波減衰が絶対零度で有限となることが挙げられる[2]。図2は、最近フロリダ大学で行われた超音波減衰の実験結果と詳細な数値計算の比較である。低温極限で明らかに超音波減衰が有限に残っていることと、有限温度でのこぶをよく説明する[3]。（広島大学の東谷誠二、永井克彦の研究成果）

超流動ヘリウム3のA相では織目構造（秩序変数が実空間で示す構造）によって特異点のない量子渦が形成される。織目構造の特徴的長さは10 μm 程度であるので、半径100 μm 程度の円筒容器を使った実験は、A相の織目構造と量子渦の運動の研究に有効である。この直径で長さが10mmの一本の円筒容器では液体の量が0.3マイクロリットル程度と非常に少なく、NMR用の外部磁場も30mT以下に制約されるため、NMR法で研究するには大きな困難が予想された。しかし、NMR装置の最適化により、一本量子渦の信号の観測に成功した。図3は実験装置の回転によって円筒容器内に量子渦が侵入し、円筒容器中を成長していく様子、また、その逆の過程を示している。図3より量子渦の臨界角速度に有限な幅が存在することが分かる。これは臨界角速度が系の回転速度によって変化するという仮定すると説明される。このような一風変わった効果は、狭い空間のA相の織目構造が、量子渦の物理に大きく影響していることを示している。（東大物性研究所の久保田実との共同研究、および大阪市大の石黒亮輔との研究成果）

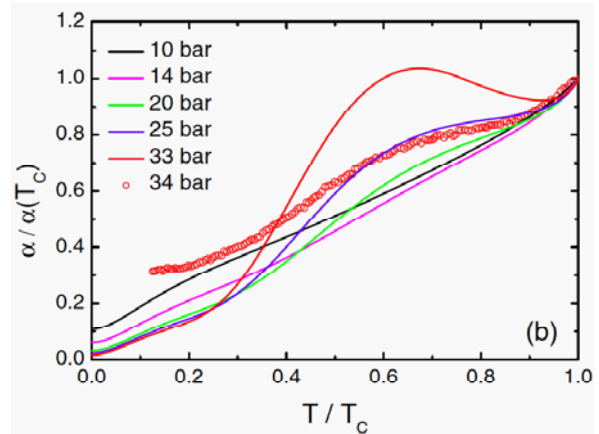


図2：超音波減衰の率の計算と実験結果。高圧力で顕著となる減衰係数のこぶ（○）を計算結果は良く再現する。

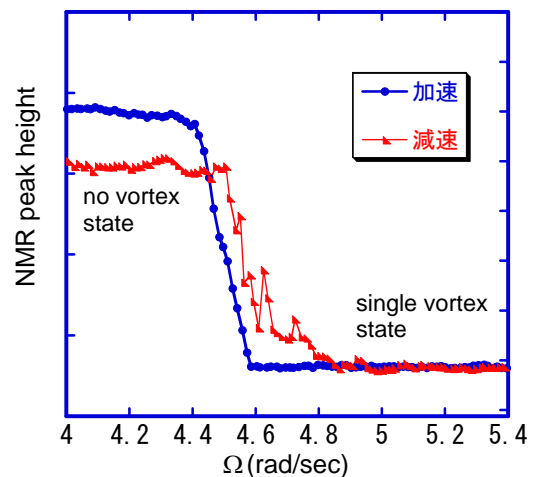


図3：回転角速度によって変化するNMR信号強度。量子渦が検出部に侵入すると信号は小さくなる。角加速度=1.0 mm/sec²。

- [1] O. Ishikawa, R. Kado, H. Nakagawa, K. Obara, H. Yano, T. Hata, H. Yokogawa, and M. Yokoyama, AIP conference proceedings **850**, 235-236(2006)
- [2] S. Higashitani, M. Miura, M. Yamamoto, K. Nagai, Phys. Rev. B **71**, 134508 (2005).
- [3] H.C. Choi, N. Masuhara, B.H. Moon, P. Bhupathi, M.W. Meisel, Y. Lee, N. Mulders, S. Higashitani, M. Miura, K. Nagai, Phys. Rev. Lett. **98**, 225301 (2007).

研究会・ワークショップの紹介

1. 国際シンポジウム（兼研究成果報告会）（終了）

日 時： 2007 年 10 月 29 日～11 月 1 日

会 場： 長良川国際会議場 （岐阜県岐阜市）

参加者： 研究会 203 名，ポスター発表 121 件

<http://ult.phys.nagoya-u.ac.jp/psm2007/>

2. 4 特定領域合同研究会（終了）

日 時： 2007 年 12 月 7 日～9 日

会 場： 首都大学東京 （東京都八王子市）

参加者： 100 名，口頭講演 21 件，ポスター発表 65 件

<http://kelvin.phys.s.u-tokyo.ac.jp/4-tokutei/>

3. A01&A05 班合同研究会（終了）

日 時： 2008 年 5 月 9 日～10 日

会 場： 東京大学小柴ホール （東京都文京区）

参加者： 49 名

4. A03 班研究会（終了）

日 時： 2008 年 5 月 14 日

会 場： 大阪市立大学 （大阪府）

参加者： 29 名

5. A04 班戦略会議（終了）

日 時： 2008 年 5 月 23 日～24 日

会 場： コープイン京都 （京都府）

参加者： 37 名

6. A02 班研究会（終了）

日 時： 2008 年 6 月 7 日

会 場： 電気通信大学 （東京都調布市）

参加者： 34 名

7. 若手夏の学校 (終了)

日 時： 2008 年 8 月 31 日～9 月 2 日

会 場： 熱川ハイツ (静岡県賀茂郡伊豆町)

参加者： 87 名，講演 1 件，口頭講演 44 件，ポスター発表 115 件

<http://cat.phys.s.u-tokyo.ac.jp/SCMsummer/>

8. “Superfluidity and microscopic properties of quantum atomic assembly”

日 時： 2008 年 10 月 10 日

会 場： 名古屋大学サイエンスホール (愛知県名古屋市)

A02 班の国際ワークショップです。詳細については以下をご参照下さい。

http://www.superclean-materials.org/download/H200ct_A02_WS.pdf

9. 物性科学領域横断研究会—スピンが拓く物性科学の最前線— (6特定領域合同研究会)

日 時： 2008 年 11 月 29 日～12 月 1 日

会 場： 東京大学武田ホール：浅野キャンパス (東京都文京区)

「スピン」というキーワードをもとに，これらの最新成果を俯瞰するために科研費 6 特定領域が一堂に会し，合同研究会を開催します。詳細については以下をご参照下さい。

<http://www.6tokutei.net/>

10. 平成 20 年度研究成果報告会

日 時： 2008 年 12 月 19 日～12 月 21 日

会 場： 奈良県新公会堂 (奈良県奈良市)

本特定領域のメンバーが一堂に会してシンポジウムが開催されます。

詳細については以下をご参照下さい。

<http://www.sci.osaka-cu.ac.jp/phys/ult/SCM2008/>

11. A01 班/A05 班合同国際ワークショップ (PSM2009WS)

日 時： 2008 年 1 月 10 日～1 月 13 日

会 場： Hawaii Imin International Conference Center (Hawaii, Honolulu)

詳細については以下をご参照下さい。

<http://www.sakura.cc.tsukuba.ac.jp/~morishit/psm2009ws/>

編集後記

すっかり遅くなってしまいましたが、ようやくニュースレター第3号が、続く第4号と併せて発刊となりました。当特定領域の前半の研究活動のいくつかを、研究者の方々に解説していただきました。いずれも、読み応えのある内容となっております。ご一読いただけましたら幸いです。

当特定領域研究に参加して感じる第一の利点は、なんとといっても、(異分野の) 普段は会うことは少ないが実は非常に近い研究を行っている研究者の方々と、密に交流を図ることができる点でしょう。毎年、国際会議、研究会、勉強会が開催され、私自身、関係者の方々から多くの刺激を受け、日々、楽しんでおります。

早いものでもう3年がたち、すでに後半に入っております。今後もこの領域において、さらにどのような展開がなされるのかと(まるで人ごとのようではありますが、) 私自身も大いに楽しみにしています。引き続き皆様のご支援とご協力をよろしくお願い申し上げます。

(桃井 勉)

暫くぶりの本特定領域研究ニュースレターになりました。今回は、都合により3号と4号の合併号です。そのため報告を含め、様々な話題が並んでおります。お忙しい中ご執筆いただいた皆様には厚く御礼申し上げます。本特定領域研究も2005年度の発足からすでに前半の3年を経過し、中間のヒアリングも終わりました。皆様の御努力により、まずまずの評価を得たことはご同慶の至りです。2008年度からは公募研究に新たなメンバーが加わり、残りの2年間に向け新たなスタートを切ったところで、年度初めには各研究項目において公募研究の新メンバーを含めて今後の戦略を練る作業が行われました。更なる進展を期待したいと思います。さて本年は、低温物理学の分野ではヘリウムの液化後100年という記念すべき年です。8月にはゆかりのオランダにおいて第25回低温物理学国際会議が行われ、1500人近い参加者が祝ったところです。この100年間の進歩を考えると感慨深いものがあります。

(石本 英彦)

News Letter Superclean Vol. 3-4

文部科学省科学研究費補助金特定領域研究
「スーパークリーン物質で実現する新しい量子相の物理」

Physics of New Quantum Phases in Superclean Materials

発行：2008年10月20日

発行者：福山 寛（研究代表：東京大学大学院理学系研究科）
〒113-0033 文京区本郷7-3-1

編集者：白浜 圭也（事務局：慶應義塾大学工学部）
〒223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉3-14-1

©2008 禁無断転載

