

1. 研究領域名：スーパークリーン物質で実現する新しい量子相の物理

2. 研究期間：平成 17 年度～平成 21 年度

3. 領域代表者：福山 寛（東京大学・大学院理学系研究科・教授）

#### 4. 領域代表者からの報告

##### (1) 研究領域の目的及び意義

液体・固体ヘリウム、アルカリ原子気体、ルテニウム酸化物などに代表される超純粋(スーパークリーン)試料が得られる物質系において、近年本領域メンバーによって低温極限で見出された数々の新奇な量子相や量子多体現象の解明を通じて、それらの背後にある共通の物理の新概念を創出し、21 世紀の物理学や物質科学の発展に資することを目的とする。絶対零度付近では、熱ゆらぎより量子ゆらぎが支配的となって新奇な量子相転移が生じるが、問題となるエネルギースケールが小さいため、わずかな乱れや不純物によって系本来の量子状態は容易に破壊されてしまう。これに対してスーパークリーン物質では、温度、磁場、圧力などの外部環境だけでなく、さまざまな媒質あるいは外部ポテンシャルに閉じ込めることで、系の空間次元、幾何学構造、粒子相関を精密制御して量子現象の本質に鋭く切り込むことができる。従来これらの物質系は異なる学問分野で研究されてきたが、量子スピン液体、モット転移、量子臨界現象、フラストレーション、位相欠陥と超流動乱流、スピン三重項超伝導・超流動など共通の新概念は多い。低温物理学だけでなく多彩な分野で世界を舞台に活躍する気鋭の実験及び理論研究者を結集し、一致協力してスーパークリーン系の領域研究を推進することで、日本が不得意と言われる異分野融合による独創的な研究を生み出し、基礎学問における国際的イニシアティブを維持発展させたい。

##### (2) 研究の進展状況及び成果の概要

顕著な個別成果が多数得られただけでなく、研究項目(班)間の連携による融合型研究成果も上がっている。例えば、従来の電子系物質を対象に発展した理論手法を 2 次元ヘリウム 3( $^3\text{He}$ )を始めとする種々のスーパークリーン物質に適用することで、強相関フェルミ粒子系の新しい概念や理論手法を提唱した(A01 班)。“固体の超流動状態”に関する初めての追実験に成功し、国際会議を主催して世界に発信した。また、 $^4\text{He}$  をナノ多孔体に閉じ込めたときの次元性と幾何学構造が超流動性に及ぼす影響も理解が進んだ(A02 班)。超流動  $^4\text{He}$  の量子乱流遷移に関する新現象の実験的発見や、希薄原子気体ボース凝縮相も含めて位相欠陥やそのダイナミクスの理論研究が格段に進んだ(A03 班)。単一量子渦の核磁気共鳴観測やスピン秩序変数の異方性エネルギーの実測など、 $\text{Sr}_2\text{RuO}_4$  超伝導と  $^3\text{He}$  超流動研究を一体的に進めることでスピン三重項 BCS 状態に関する新現象が実験理論とも多数見つかった(A04 班)。理論グループが予言した 2 次元  $^3\text{He}$  の磁化プラトーを実験グループが検出に成功した。A01 班とも連携しつつ、リング交換など強相関効果とフラストレーションが生むギャップレススピン液体など新磁性の概念構築が進んだ(A05 班)。以上のように領域研究は順調に進展しており、分野融合型や若手が主体的に企画運営する研究会なども主催し、次世代の研究者も育てている。

#### 5. 審査部会における所見

##### A (現行のまま推進すればよい)

不純物や乱れが極限的に少ない系として特徴づけられる「スーパークリーン物質」での低温量子相に関して、実験家と理論家が協力し合い総合的に研究が行われており、領域の研究活動は現在まで順調に進められてきている。スピン 3 重項超流体でのマイノリティスピン対凝縮の発見などいくつかの新しい量子現象を見出しているとともに、概念的に新しい重要な知見がいくつか得られている。成果発表も積極的に行なわれており、研究会において若手研究者育成に配慮したプログラム編成や企画が行なわれている。今後は、低温極限での新しい量子相の研究を通して、普遍的な新しい物理概念の創出に結びつく知見の獲得に向けた研究の進展を期待する。