

## 二国間交流事業 共同研究報告書

平成 24年 4月 5日

独立行政法人日本学術振興会理事長 殿

共同研究代表者所属・部局 理化学研究所・河野低温物理研究室

職・氏名 <sup>(ふりがな)</sup> 主任研究員・河野 <sup>こうの</sup> <sup>きみとし</sup> 公俊

1. 事業名 相手国 (フランス) との共同研究 振興会対応機関 (CNRS)

2. 研究課題名 超低温最前線における量子現象の研究

3. 全採用期間

平成 22 年 4 月 1 日 ~ 平成 24 年 3 月 31 日 (2 年        ヶ月)

4. 経費総額

(1) 本事業により執行した研究経費総額 4,740,000 円

初年度経費 2,340,000 円、 2年度経費 2,400,000 円、 3年度経費        円

(2) 本事業経費以外の国内における研究経費総額 24,600,000 円

5. 研究組織

(1) 日本側参加者（代表者は除く）

氏名 <small>(ふりがな)</small>	所属・職名	研究協力テーマ
池上弘樹 渡邊正満 松原 明	理化学研究所・専任研究員 理化学研究所・専任研究員 京都大学・准教授	超流動ヘリウム3表面のイオン伝導 超流動ヘリウム中 Ba イオンの分光 超流動ヘリウム3の核磁気共鳴

(2) 相手国側研究代表者

所属・職名・氏名

CNRS Neel Institute・Director of Research・Bunkov, Yuriy

(3) 相手国参加者（代表者は除く）

氏名	所属・職名（国名）	研究協力テーマ
Godfrin, Henri	CNRS Neel Institute・Group Director (France)	超流動ヘリウム3の熱力学測定
Collin, Eddy	CNRS Neel Institute・Researcher (France)	超低温における機械的振動子の研究
Moukharski, Iouri	Research Insitite of Condensed Matter, CEA・Research Engineer (France)	ヘリウム表面上単一電子操作
Hunger, Pierre	CNRS Neel Institute・PhD. student (France)	超流動ヘリウム3中のマグノン BEC の研究

6. 研究実績概要（全期間を通じた研究の目的・研究計画の実施状況・成果等の概要を簡潔に記載してください。）

我々は超流動ヘリウム3の自由表面によるヘリウム3準粒子の散乱過程を、ヘリウム液面上に形成されるウィグナー結晶という2次元電子格子の移動度を用いて調べる、ユニークな実験を行ってきた。この方法によって、ヘリウム3超流動凝縮体内部に発生する内部自由度の空間構造に関する情報が鮮明に観測されることを明らかにした。本研究計画ではこの経験を活かして、超流動ヘリウム3自由表面に発生が期待される表面束縛状態の検出を目指す。自由表面は、表面に沿った方向に関して、高い対称性を有しており、自由表面による準粒子の反射に際して、表面と平行な方向の運動量が保存される。このような条件が満たされる場合には、表面束縛状態がMajorana粒子となることが最近理論的に示された。Majorana粒子はまだ発見されていない、未知の素粒子であり、超流動ヘリウム3で確認することには、非常に大きな意義がある。

上記の目的を達成するために、ヘリウム液面電子や表面下に蓄積した負イオン（電子バブル）プールの伝導現象、あるいはBa<sup>+</sup>イオンの電子スピン緩和の測定を行う。ヘリウム液面直下に束縛した電子バブルの易動度測定から、超流動ヘリウム3準粒子の自由表面近傍での散乱に関する情報を得ることができる。特に、B相におけるMajorana状態は密度揺らぎを伴わず、イオンとの散乱が消失するものと考えられている。このことを確かめる測定を行い、超流動転移温度の930 $\mu$ Kから240 $\mu$ Kの低温領域まで、表面状態からの余剰の散乱効果が確認できないことを確かめた。ただし、この温度はまだ十分に低温ではなく、上記の結果をMajorana状態によらずに説明する可能性を排除しきれていない。さらに低温での測定が必要である。この測定に関連して、超流動ヘリウム3-A相でのイオンの輸送現象の実験を行い、伝導率テンソルの非対角成分が大きいことを確認した。このことはバルク準粒子の散乱においてパリティ対称性が破れていることを示している。理論的な計算はすでに行われているが、その条件を満たす実験が難しく、これまでに観測されていない。今回初めて観測された、重要な効果である。この現象は、A相の準粒子がWeylフェルミオンであることと関連していると考えられ、初期宇宙における真空の相転移を理解するうえでも重要な発見である。

超流動ヘリウム3表面下にBa<sup>+</sup>イオンを蓄積し、光ポンピングの方法でスピン偏極させる手法の開発という、実験的な挑戦をスタートさせ、超流動ヘリウム3に適用するための準備研究を行った。このために必要な光学クライオスタットを準備し、Baイオン生成に必要なレーザーアブレーションのテストなどが行われた。この実験に関してはまだ具体的な成果に結びつくところまで到達していないが、実現すれば、多くの応用が期待され、新しい分野の創出につながることで期待されるので、鋭意取り組んでいるところである。

この超流動ヘリウム3表面を標的とした研究と関連して、ヘリウム液面上の2次元電子に関する実験や超固体ヘリウムに関する実験も進めた。これらの過程で、共同研究相手国の研究者らとの討論を通じて、有用な情報を共有するとともに、有益なアドバイスをえることができ、それが直接に研究の質を向上させることに非常に有益であった。フランスは低温物理研究、特にヘリウムの研究で強い伝統を持ち、研究者の質も非常に高い。今回の共同研究者からも、ワークショップや滞在中の会話の中から示唆に富んだ研究のアイデアを得ることができ、ヘリウム液面上の単電子操作や、ナノスケール振動子の超低温特性の研究に関して多くの情報交換が行われ、非常に有益な共同研究であった。