

平成29年12月31日

若手研究者海外挑戦プログラム報告書

独立行政法人 日本学術振興会 理事長 殿

受付番号 201780245

氏名 山崎 年次

(氏名は必ず自署すること)

若手研究者海外挑戦プログラムによる派遣を終了しましたので、下記のとおり報告いたします。
なお、下記記載の内容については相違ありません。

記

- 派遣先: 都市名 インスブルック (国名 オーストリア)
- 研究課題名 (和文) : 量子通信ネットワークを用いた多体量子もつれの操作論的解析
- 派遣期間: 平成29年9月1日 ~ 平成29年11月30日 (91日間)
- 受入機関名・部局名: インスブルック大学
- 派遣先で従事した研究内容と研究状況 (1/2 ページ程度を目安に記入すること)

◆**研究内容**◆ 量子力学特有の相関である**量子もつれ**は強力な量子暗号や精密な量子測定に有用であり、量子もつれを持つ状態 (量子もつれ状態) を準備する効率の原理的限界の解明は量子情報理論分野での中心的関心の1つである。量子もつれ状態を準備するにあたり、自由度の大きい量子系の精密な操作は技術的に困難なため、なるべく小さい量子系の操作を組み合わせることが重要となる。本研究では、操作できる**量子系の大きさを制限**したもとの、与えられた多体量子もつれ状態を作り出すというタスク (**メモリ制限型状態準備タスク**) を定式化し解析した。本研究の意義は、量子もつれ状態の準備に要する**量子系の大きさ**という側面に着目することで、先行研究の「**量子通信量による量子もつれの特徴づけ**」とは**異なる側面**から、量子もつれの性質を調べるための理論的枠組みを構築できることが期待される点にある。

◆**現在までの研究状況**◆ 派遣先では、メモリ制限型状態準備タスクを行う際に、**申請者の研究**してきた「量子通信に基づいた状態準備方法」と、**派遣先の Barbara Kraus 教授による先行研究**である「グラフ状態を用いた状態準備方法」に差が表れる条件を求めた。申請者の「量子通信に基づいた」方法では、**2体量子もつれ**状態を複数組み合わせた量子状態を測定することで状態準備を行う。一方、Kraus 教授の「グラフ状態を用いた」方法では、グラフ状態という**多体量子もつれ**状態を測定することで状態準備を行う。どちらの方法も、量子系の大きさに制限がなければ任意の状態を、適切な量子状態の測定により準備できることが知られていた。一方、本研究では量子系の大きさが制限されている際、「量子通信に基づいた状態準備方法」では準備できないが「グラフ状態を用いた状態準備」では準備できる状態の集合が存在することを発見した。この結果は状態準備において **2体量子もつれ**を用いる場合・**多体量子もつれ**を用いる場合に**差が表れることを意味する**。この差は、**多体量子もつれ特有**の性質を解析するための理論的枠組みの構築に利用できることが期待される。

6. 研究成果発表等の見通し及び今後の研究計画の方向性 (1/2 ページ程度を目安に記入すること)

◆今後の研究計画◆

今後の研究では、派遣先での研究結果を一般化し、量子もつれ状態の準備に要する**量子系の大きさ**という側面から多体量子もつれを解析するための理論的枠組みの具体的な構築を目標として研究を進める。そのためには、以下の2つの点を明らかにすることが求められる。

- ・本研究で発見した「多体量子もつれ・2体量子もつれの差が表れるような状態の集合」が有用であるような量子情報処理のタスクの具体化
- ・上記の量子情報処理のタスクを行う際に必要となる量子系の大きさの最小値の評価、および多体量子もつれを用いてその最小値を達成する方法の構築

以上の点について、現在の研究指導者である村尾美緒教授と議論しながら研究を継続している。また月1回程度、Kraus教授およびAlexander Pirker氏(インスブルック大学のHans J. Briegel教授の学生で、申請者が派遣先で週1回程度議論を行っていた相手)も交え、Skypeを通じて議論を行っている。本研究の現在までの成果については結果をまとめ執筆を行っており、今後は上記の点について研究を深めた上で成果発表につなげていく見通しとなる。

7. 本プログラムに採用されたことで得られたこと (1/2 ページ程度を目安に記入すること)

◆多体量子もつれに関する今後の研究発展の方向性◆

申請者は派遣先において、量子系の大きさという側面に着目して多体量子もつれの解析を行うという**本研究の着想**を得て研究を行った。この着想は、Kraus教授の最新の研究結果を習得し、議論を重ねることにより得られた。2017年11月に発表されたKraus教授の論文では、「局所操作・古典通信」と呼ばれる枠組みのもとで、与えられた多体量子もつれ状態を操作し、**同じ大きさ**の別の量子状態に変換することは、ほとんどの場合**不可能**であることが示された。したがって一般に与えられた多体量子状態の集合に含まれる全ての状態を作り出すには、**より大きな量子系**を用いる必要がある。このような**大きさの異なる**量子状態間の変換は、多体量子もつれに関する今後の研究発展を方向づける有力な着眼点であり、本研究はその点に着眼した先駆的研究の1つと位置付けられる。

◆量子情報に関連した理論・実験にまたがる幅広い知見◆

申請者は派遣先で以下のように、セミナー・講演および学会への参加や、他の研究者との積極的な交流を通じ、今後の実り多い研究成果と将来の国際的な研究活動の下地となる幅広い知見を得た。

セミナー・講演：申請者は週2-3回のセミナーへの参加を通じ、研究内容の近いPirker氏の研究に興味を持ち、Pirker氏と継続的に週1回程度議論することで本研究の成果の一部を得た。また申請者自身も、申請者の過去の研究についての大学院生向けのセミナーを、9月に3回行った。さらにインスブルック大学の強みである量子情報・量子物性分野に関連する講演への参加を通じて幅広い知識を習得した。特に、準結晶という物質構造の発見に貢献しノーベル賞を受賞したDan Shechtman教授の講演や、インスブルックで研究が盛んな冷却原子の実験手法に関する講演が印象的だった。

学会：申請者は10月12日・13日にウィーンで開かれた学会であるSFB FOQUS meetingに参加し研究成果を学んだ。この学会は、オーストリアのインスブルック大学・ウィーン大学を中心とした量子情報分野の理論・実験の研究者が集まる学会である。特にウィーン大学のMarcus Huber教授らによる高次元量子もつれに関する成果が興味深く、またBriegel教授の学生のAlexey A. Melnikov氏と、強化学習の手法による効率的な状態準備方法の探索について議論できたことが有意義だった。

交流：11月にドイツのマックスプランク研究所からKraus教授を訪れた多体量子系の研究者Norbert Schuch教授との議論により、申請者は本研究の位置付けを明確化できた。また日本に興味を持つ研究者に日本の研究環境を紹介することで、オーストリアとの研究制度の違いについて理解を深めた。