

論文審査の結果の要旨

氏名 尾 張 正 樹

本論文では、量子情報処理の観点から量子力学的状態の非局所性を議論しています。量子情報処理においては「局所量子操作および古典的通信」(Local Operations and Classical Communications あるいは LOCC) という概念が重要になります。量子操作を局所的なものに限定し、通信を古典的なものに限定した範囲で、どのような量子情報処理が可能になるかが問題とされています。そのような範囲で何らかの量子情報処理を実行するためには、どうしても非局所的な量子相関が必要になります。

そのような状況を背景として、ある量子力学的状態がどの程度、非局所的であるかを定量化する研究が盛んに行われています。そのような定量化の中で広く知られているのはエンタングルメントというものですが、本論文ではそれでは測れない非局所性を具体的に議論している点が重要な寄与です。実行する量子情報処理の種類によって、必要となる非局所性の種類が異なると考えられるようになっています。量子力学的状態を変換するという量子情報処理に対応する非局所性がエンタングルメントであるのに対して、本論文では状態識別や状態複製という量子情報処理に対応する非局所性を議論しています。

本論文は5章からなっており、第1章は導入部、第5章は結論を述べています。第2章では、LOCC の範囲での状態識別を研究しています。具体的には、LOCC の範囲で識別できる量子力学的状態の数 N に対する必要条件となる不等式を証明しました。証明された不等式は、状態数 N に対する4つの上限を与えており、そのうちの2つはエンタングルメントで表されています。LOCC 状態識別とエンタングルメントとの関係を定量的に示した研究はこれまでになく、大きな成果として高く評価できます。

次に第3章では、LOCC の種類によって状態識別の効率がどのように変化するかを研究しています。具体的には、まず古典的通信が一方向しか許されていない状況での状態識別の効率をエンタングルメントを使って与えました。続いて、古典的通信が双方向に許されている場合の状態識別の具体的な手続きを与え、

それによって効率の下限を与えました。これによって、一方向と双方向では識別可能な状態数に大きな違いがあることがわかりました。一般的には、この二つの場合を数学的に定式化するのは非常に困難で、これまでそのような研究はほとんどありませんでした。本論文は両者を具体的に定式化し、その差を初めて示した研究として評価できます。

最後に第4章では、LOCCの制限のもとでの状態複製について研究しています。まず状態複製の具体的な手続きを与え、状態複製可能であることの必要十分条件を与えています。また、LOCCの制限の下で複製できる最大エンタングル状態は、古典的通信が一方向しか許されていない場合にも必ず識別できることを示しました。つまり状態複製は状態識別よりも困難であるということがわかりました。このような観点から、エンタングルメントだけでは区別できない非局所性があることを示唆しています。状態複製可能の必要十分条件は、これまで最大エンタングル状態が2つだけの場合に研究がありました。本論文では、一般の個数の最大エンタングル状態に対して必要条件を求めており、著しい成果と考えられます。

以上のように、本論文ではこれまでの量子情報処理の研究を超える結果を多く与えています。なお本論文は、村尾美緒氏、林正人氏、Damian Markham氏、Shashank Virmani氏との共同研究を含んでいますが、いずれも論文提出者が主導した研究であると判断します。以上より、論文提出者に博士（理学）の学位を授与できると認めます。