

報告番号	※	第	号
------	---	---	---

主論文の要旨

論文題目

The Diversity of Entanglement Structures with Self-Duality and Non-Orthogonal State Discrimination in General Probabilistic Theories
(一般確率論における自己双対性と非直交状態識別を持つエンタングルメント構造の多様性)

氏名

荒井 駿

論文内容の要旨

量子論の数理モデルの導出は数理物理学にとって重要な問題である。現代的なアプローチの1つとして、状態と測定の情報論的操作的側面に注目する、一般確率論が盛んに研究されている。一般確率論の研究は、数学的には物理的に意味のある条件による正則凸錐の特徴付けであり、完全な解決はなされていない。

一般確率論における1つの本質的な問題に、エンタングルメント構造からの標準エンタングルメント構造の特徴付けがある。エンタングルメント構造とは一般確率論で可能な量子合成系のモデルである。標準的な量子論において、量子合成系のモデルは標準エンタングルメント構造に一意的に決まると強く信じられている。しかしながら、一般確率論においては量子合成系のモデルは一意に定まらない。さらに、エンタングルメント構造の定義は物理的に自然な原理から導かれるため、標準エンタングルメント構造以外の他のエンタングルメント構造が物理系のモデルになることを否定されない。言い換えれば、標準エンタングルメント構造の代わりに他のエンタングルメント構造に従う物理系が存在する理論的な可能性がある。したがって、様々なエンタングルメント構造から標準の構造を決定する追加の自然な原理を見つけることが重要な問題である。この問題のためには、エンタングルメント構造の多様性を解析し、物理的に自然な原理による特徴付けを行う必要がある。

エンタングルメント構造の多様性を解析するために、本論文は基礎的な情報タスクである状態識別を考える。状態識別はその成功確率がモデル内の測定の能力に依存するタスクであり、標準的な量子論では、その成否が状態の直交性と一致する。一方で、我々の先行研究では、いくつかのエンタングルメント構造では異常な状態識別性能を持つこと、すなわち、非直交な状態の識別が可能であることを明らかにした。その先行研究は、標準的な量子論を超える特定の形の測定に完全に依存していた。そこで、本論文では一般的な測定について調べ、与えられた測定が標準的な量子論よりも優れた性能を持つ必要十分条件を与える。さらに、その必要十分条件は、2つの重要な応用を与える。1つは、追加の条件を課した際の状態識別性能の限界による標準エンタングルメント構造の導出である。もう1つは量子超越測定の再現不可能性である。これら2つの応用は、量子超越測定を持つモデルが状態識別によって標準エンタングルメント構造から区別されることを意味する。

次に、本論文は自己双対性に注目する。一般確率論において、自己双対性は同質性と呼ばれるある種の群の対称性と組み合わせることで、Euclidean Jordan Algebraに対応する数理モデルを特徴付けることが知られている。しかしながら、エンタングルメント構造に限っても、自己双対性と同質性の一方のみでどの程度モデルが制限されるかは未解決な問題である。したがって、まずエンタングルメント構造における群の対称性に関する条件を調べる。結果として、同質性よりも弱い群の対称性に関する条件が標準エンタングルメント構造を一意的に導出することを明らかにする。

一方で、標準エンタングルメント構造以外の自己双対エンタングルメント構造は知られていないほど、自己双対エンタングルメント構造はより困難な問題である。加えて、一般のモデルを考えても、自己双対かつ同質でないモデルはほとんど知られていない。そこで、自己双対モデルの多様性を明らかにするために、本論文は自己双対性に関する一般論を展開する。その一般論を適用することで、我々は標準エンタングルメント構造ではない自己双対エンタングルメント構造の存在を示した。さらに、その一般論は疑似標準エンタングルメント構造と呼ばれる重要な自己双対エンタングルメント構造のクラスを与える。疑似標準エンタングルメント構造は小さな誤差を含む物理的実験によって標準エンタングルメント構造から区別できない自己双対エンタングルメント構造であり、我々は無限個の疑似標準エンタングルメント構造の存在を示した。その上、いくつかの疑似標準エンタングルメント構造では非直交な状態識別が可能であること、すなわち、エンタングルメント構造が自己双対かつ標準エンタングルメント構造と近いとしても、非直交な状態識別が可能であることを示した。