

一般確率論

量子論を超えて

Bell の不等式の破れに代表されるような量子論の性質は、素朴な局所实在論を否定しました。古典論との違いは一見受け入れ難いですが、一方で量子テレポーテーションや量子暗号に代表される応用を生み出しています。

古典論と異なる量子論特有の性質がこれらを可能にする、と学部講義や教科書において習うのが常ですが、本当にそうでしょうか。古典論と量子論しか知らないのに、量子論が不思議だと断言できるのでしょうか。

この解答が難しそうな問題に1つ方法論を与えてくれる、一般確率論というものがあります。これは、操作的もしくは物理的に自然な仮定から定義される理論であって、古典論や量子論を含む広汎なものです。この理論が教えてくれる事実を覗いてみましょう。

状態と事象の双対性

「状態」と「事象」の概念が、一般確率論における中心概念です。確率混合可能性などの自然な仮定のもと、状態の集合と事象の集合を互いに双対な線形空間の部分集合とみなせます。これは、始めから Hilbert 空間が要請される量子力学と対比的です。

さらに、物理的意味を持つ位相 (phase ではなく topology) を入れることで、より美しい双対関係を導出することもできます [1]。

量子エンタングルメントの存在性

量子エンタングルメントは量子論の性質の筆頭ですが、一般確率論の文脈でこれは量子論の特徴とは言えません。実際、有限次元非古典系の合成系では常に量子エンタングルメントが存在しうることを示されています [2]。

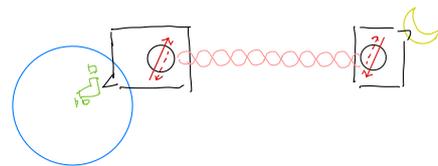


Figure 15. 量子エンタングルメントのイメージ

量子論の導出

上に述べたように、通常の量子論で言われるような「量子論の性質」は実際は「非古典系の性質」であることがあります。では真に量子論を特徴づけている性質は何なのでしょう。Masanes と Müller は、識別できる状態数で系が特徴づけられること、純粋状態がお互いに移り合えることなどを仮定することで、量子論を導出しました [3]。一方で仮定が完全に物理的意味を持つとは言い切れず、他にも様々な量子論の導出の議論があります [4]。

参考文献

- [1] Jacobs, B., & Mandemaker, J. (2011). The Expectation Monad in Quantum Foundations. arXiv preprint arXiv:1112.3805.
- [2] Aubrun, G., Lami, L., Palazuelos, C., & Plávala, M. (2021). Entangleability of cones. Geometric and Functional Analysis, 31(2), 181–205.
- [3] Masanes, L., & Müller, M. P. (2011). A derivation of quantum theory from physical requirements. New Journal of Physics, 13(6), 063001.
- [4] 木村元. (2013). 量子力学の原理探究. 科学基礎論研究, 40(2), 79–84.