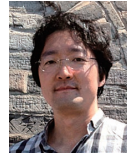


量子エネルギーテレポーテーション



堀田 昌寛

東北大学大学院理学研究科



遊佐 剛

東北大学大学院理学研究科

現在広範なテーマを巻き込みながら、量子情報と量子物理が深いレベルから融合する量子情報物理学という分野が生まれ成長しつつある。なぜ様々な量子物理学に量子情報理論が現れてくるのだろうか。それには量子状態が本質的に認識論の情報概念であるということが深く関わっていると思われる。ボアを源流とする認識論的な現代のコペンハーゲン解釈は量子情報分野を中心に定着してきた。この量子論解釈に基づいた量子情報物理学の視点からは存在や無という概念も認識論的であり、測定や観測者に対する強い依存性がある。本稿ではこの「存在と無」の問題にも新しい視点を与える量子エネルギーテレポーテーション (Quantum Energy Teleportation; QET) を解説しつつ、それが描き出す量子情報物理学的世界観を紹介していく。

QET とは、多体系の基底状態の量子纏れを資源としながら、操作論的な意味のエネルギー転送を局所的操作と古典通信 (Local Operations and Classical Communication; LOCC) だけで達成する量子プロトコルである。量子的に纏れた多体系の基底状態においてある部分系の零点振動を測定すると、一般に測定後状態の系は必ず励起エネルギーを持つ。これは基底状態の受動性 (passivity) という性質からの帰結である。このため情報を測定で得るアリスには、必ず測定エネルギーの消費という代償を伴う。またアリスの量子系は量子纏れを通じてボブの量子系の情報も持っている。従ってアリスは、ボブの系のエネルギー密度の量子

揺らぎの情報も同時に得る。これによって起こるボブの量子系の部分的な波動関数の収縮により、測定値に応じてアリスにとってはボブの量子系に抽出可能なエネルギーがまるで瞬間移動 (テレポート, teleport) したように出現する。一方、この時点ではまだボブはアリスの測定結果を知らない。またアリスの測定で系に注入された励起エネルギーもまだアリス周辺に留まっており、ボブの量子系には及んでいない。従って対照的にボブにとってはボブの量子系は取り出せるエネルギーが存在しない「無」の状態のままである。このように、現代のコペンハーゲン解釈で許される観測者依存性のおかげで、エネルギーがテレポートしたように見えても因果律は保たれている。非相対論的モデルを前提にして、系のエネルギー伝搬速度より速い光速でアリスが測定結果をボブに伝えたとしよう。アリスが測定で系に注入したエネルギーはボブにまだ届いていないにも関わらず、情報を得たボブにも波動関数の収縮が起こり、自分の量子系から取り出せるエネルギーの存在に気付く。そしてボブは測定値毎に異なる量子揺らぎのパターンに応じて適当な局所的操作を選び、エネルギー密度の量子揺らぎを抑えることが可能となる。その結果ボブは平均的に正のエネルギーを外部に取り出すことが可能となる。これが QET である。この QET は量子ホール系を用いて実験的に検証できる可能性が高い。一方、相対論的な QET モデルはブラックホールエントロピー問題にも重要な切り口を与える。

—Keywords—

古典通信 (Local Operations and Classical Communication; LOCC) :

空間的に離れた複数の実験者を考えた時、彼らが所有する量子系を局所的に操作できること、他者間で古典情報のやりとりすることを許す設定のこと。量子情報のやりとりは禁止される。量子エンタングルメントの概念の構成において基本的役割を担う。