東京大学新聞
平成27年6月23日（火）

最高水準の実験技術で

理論証明の現場

実際に実験が理論を証明するとはどういうことだろうか。量子力学の理論より導かれる「量子の非局所性」の存在を初めて実験で証明した古澤明教授（工学系研究科）に話を聞いた。これはアインシュタインが約100年前に量子力学が常識的な感覚からは逸脱していることを示すために提唱したものであり、物理学における約100年間の論争であったが、それに終止符が打たれた。

「粒と波の両方の性質を持つ光子に対して波としての測定を行うことで効率の良い観測を行うことが可能です」と古澤教授。光子は観測の仕方で波としても粒としても捉えられるが、一つ二つという1次元の個数の情報しか持たない粒としての観測に比べ、波としての観測は振幅と位相という2次元の情報を持ち、情報量は格段に多い。

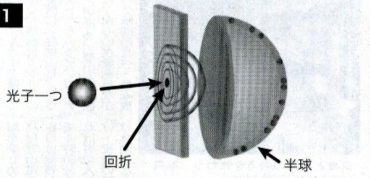
観測されるまでは粒子がどこに存在するか分からず、存在する状態と、存在しない状態の「重ね合わせ」の状態となっている。だが観測をしてある一点に存在することが分かると他の場所では観測されることはない。このように粒子の有無について離れた場所で相互作用しているように見える現象が「量子の非局所性」だ。「ピンホールで回折した光子は空間的に均質に広がるが、ある1点で光子が観測された瞬間、それ以外の場所では観測されなくなる」とアインシュタインが思考実験によって提唱した（図1）。今回の実験では光子が存在している状態と存在していない状態の重ね合わせを波として捉え、その相互作用を波の測定によって観測した。

実験では光子を部分反射ミラーによって2経路に分け、2カ所で光子の振幅を観測した（図2）。光子1粒分の光を2カ所で観測した時、片方の観測位相を変えるともう片方の観測結果に影響を与えることが分かった。これは1粒の光子の状態が観測によって2カ所で相互作用を起こしていることを示し、光子が非局所化している証拠となった。

「今回の実験では我々の光子を扱う技術の精度の高さを確認することに成功したと考えています」と古澤教授。もともと古澤教授の研究室では量子コンピューターを作るために、光子を一つ一つ丁寧に扱う技術を開発していたという。その技術が現在世界最高水準にあり、オーストラリアの物理学者ハワード・ワイズマン教授から、自らの提唱した量子の非局所性を証明する実験方法を実際に試すため、実験協力を持ち掛けられた。

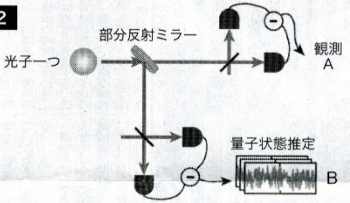
「今回の量子の非局所性の証明によって、これまで未証明のまま使っていた原理に証明が与えられて、気分の悪さがなくなりました」。量子コンピューターの研究は量子の非局所性は当然存在するものとして進められていた。これで心配することなく量子コンピューターの研究が進められるという。

図1



アインシュタインが「回折した単一光子は空間的に広がるが、異なる２点で同時に観測されない」と非局在性を予測

図2



Aの観測位相を変えると観測されるBの量子状態が変化する

理論は真に正しいのか

実験が生み出す未知

「物理学は数学とは違います」と古澤教授。物理学は数学を理論を表現するために言語として使うが、数式上の証明だけでは理論は完成しない。すなわち、その理論が現実の世界と合っているか実験をする必要がある。

一方で、理論よりも実験や現象が先にあることの方が多いと古澤教授は話す。実験で発生した不思議や人知を超えた発見が、既存の概念の発展や新たな理論の構築につながるという。例えば量子力学は、既存の理論では説明できない溶鉱炉の温度と鉄の色の関係を説明するために生まれた新しい理論だ。「実験→理論→実験→、というスパイラルで物理学の研究は進んでいきます」

「理論は現実世界の現象の抽象化であり、有限個の変数の関係を述べているに過ぎません」と古澤教授。物理学の理論を表す数式には変数が少ない。しかし、現実世界には変数は無限にあり、理論では考慮していなかった変数の影響も受けているかもしれないという。その意味では理論を完全に厳密な意味で証明することはできないといえる。

「量子力学の基本であるシュレディンガー方程式を疑う人はもうほとんどいませんが、本当に『正しい』かどうかは分かりません」。現実世界の一部を切り取って抽象化したのが理論だ。実験で一定の条件下では正しいという確証が得られても変数が増えたときにも成り立っているかは分からない。

「量子力学が誕生して100年がたち、やっと現在それをミクロなレベルで実験して実証できる段階まで技術が進歩しました」と古澤教授。物性物理学や素粒子物理学の分野でも量子力学が基本になる。量子が1粒の場合についてはもうほぼ完全に説明することができるが、量子が多数になったときの振る舞いは複雑でまだ分からないことも多いという。「世界中で毎日のように発見があり、新しい理論も生まれています」

古澤教授の目標は量子コンピューターの実現。今回の「量子の非局所性」の高精度な実験的証明は、不可能と考えられている量子コンピューター実現の可能性を目に見える形にした。

「量子一つ一つを丁寧に正確に扱う技術は『ここまで来ているのだ』と示すことができました」。この技術力で量子コンピューター実現に向けて研究に励む。

ふるさわ　あきら
古澤　明教授
（工学系研究科）

86年工学系研究科修士課程修了。博士（工学）。カリフォルニア工科大学客員研究員などを経て、07年より現職。

医学書買取レスキュー
www.igakusho.jp