

2022年のノーベル物理学賞業績と量子論的实在像

谷村省吾 (名古屋大学大学院情報学研究科)

概要

おそらくたいの人は「外界にあるものは、人が見ていないときも、見たときと同じ客観的性質を担った何ものかとして存在している」という信念を持っているだろう。「あるものに影響を及ぼさずに観察する手段があるなら、観察していないときも観察したときと同じように存在している」という考えを素朴实在論と呼ぼう。

もう一つの素朴な信念として「ある場所で起きた出来事は遠く離れたものに瞬時に影響を与えない、光速以下の速さで2箇所の間を伝わるものがなければ影響は及ばない」という考えがあり、これを局所性という。

物理的世界についての我々の理解は、素朴实在論と局所性の上に成り立っているように思える。ところがアインシュタイン・ポドルスキー・ローゼンの3人が1935年に、量子力学は局所实在論と整合しないことを指摘し、ゆえに量子力学は不完全な理論だと主張した。その議論の中でアインシュタインたちは量子もつれ状態 (entanglement) という、古典物理学にはない量子力学に特有の概念を用いていた。なお、アインシュタインは、電子や光子の实在性を疑っているのではなく、電子や光子が担っている運動量やスピンなどの物理量の値の实在性を問題にしている。

1964年にベルは、局所实在論の仮定から、ある物理量の平均値が満たすべき不等式を導いた。つまり、平均値の上限値と下限値を与えた。しかも、量子力学にもとづいてその物理量の平均値を計算すると、その不等式の範囲に収まらない値が出てくることをベルは示した。

クラウザーはベルの不等式を数学的に拡張して実験検証しやすい形にし、1972年に最初の実験を行った。ただ、初期の実験はいろいろと抜け穴があることが指摘された。アスペは実験方法を改良して、1982年にほぼ抜け穴のない実験を行い、ベルの不等式の破れ、すなわち局所实在論の破綻を実証した。ツァイリンガーは2015年にベルの不等式の破れに関しては決定的かつ最終的と言える実験を行った。なお、ツァイリンガーは量子もつれ状態を用いた量子テレポーテーションの実証実験でも有名。これらの功績によりクラウザー、アスペ、ツァイリンガーは2022年のノーベル物理学賞を受賞することになった。

私の講演では、ノーベル賞にいたった論争と実験の内容について解説し、量子論的に正しい实在像はいかなるものか議論したいと思う。

参考文献

- [1] 谷村省吾『揺らぐ境界—非实在が動かす实在』日経サイエンス 2013年7月号 (別冊日経サイエンス 199「量子の逆説」に再録)
https://www.nikkei-science.com/201307_036.html
- [2] 谷村省吾『アインシュタインの夢ついで—測っていない値は实在しない』日経サイエンス 2019年2月号
https://www.nikkei-science.com/201902_064.html

- [3] 谷村省吾 『量子力学 10 講』 名古屋大学出版会 (2021)
<https://www.unp.or.jp/ISBN/ISBN978-4-8158-1049-8.html>
- [4] Scientific Background: "For experiments with entangled photons, establishing the violation of Bell inequalities and pioneering quantum information science", Nobel Prize in Physics 2022
<https://www.nobelprize.org/uploads/2022/10/advanced-physicsprize2022.pdf>