

世界の実在性と物理量の非実在性

白井仁人 (Hisato Shirai)

一関工業高等専門学校 (INCT)

量子力学の非局所性について議論する際、二重スリット実験とベルの思考実験がしばしば引用される。どちらも非局所性を示す例として取り上げられるが、これら二つの問題の深刻さは違う。二重スリット実験だけならば、(光速を超えない) 非局所作用により解決してしまう。実際、そのように主張したのが科学哲学者ポパーである。ポパーは実験設定を重視し、確率は実験装置全体の設定のしかたに依存するとして、実験状況依存性という意味での「非局所性」を導入することによって量子力学の問題は解決できるとした。そして、ピンボールの例を用いて実験状況依存性の重要性を指摘した。ここでの「非局所性」とは波動関数が通過する範囲の条件によって系のふるまいが影響されるという意味での非局所性であり、波動関数の変化は光速を超えて伝わらない。

量子力学の問題がもっと深いところにあることを示したのはベルである。彼は対生成された電子・陽電子対のスピンの測定について考え、「測定された値は系が測定される前から持っていた値である」という尤もらしい考えから出発して、一つの不等式が導出されることを示した。そして、その不等式が量子力学によって破られることを示すことにより、上述の考えが成り立たないことを示した。つまり、電子は対生成の直後(測定前)から何らかのスピンの値を持っていたと考えることはできない。測定して初めて系は測定値を持ったことになる。これは、物質の性質が我々の観測とは独立に決まっているのではないと言っているようなものであり、量子力学による実在主義の否定と見ることができる。この問題は二重スリットの場合より深刻である。なぜなら電子陽電子対の測定を光円錐の外で行うことが可能だからである。そのような配置にある事象間の相関を説明するためには光速を超えた非局所的影響を考えなければならなくなる。このとき、因果律は崩壊する。

ここで、ベルの思考実験に対する解釈の立場を整理してみたい。まず、測定される前から電子がスピンの値を持っていたと考えるかどうかによって立場を分類できる。第一の立場は「測定する前から電子が値を持っている」というものである。この考えを α とする。第二の立場は「ある条件付きでならば、測定する前から電子はその値を持っていたと考えられる」というものである。例えば「ある値が確率1で得られる場合に限り、測定する前から電子はその値を持っていた」とする。これを β としよう。第三の立場は「測定する前に電子は何の値も持っていないが、測定すると(決まった確率で)値が得られる。」というものである。これを γ とする。これら三つの答えのうち α と β はアインシュタイン-ポドルスキー-ローゼン (EPR) が導入した実在性の基準を満たすが γ は満たさない。 γ は経験主義的な立場であるように見える。

立場 α : 「測定する前から電子は値を持っている」

立場 β : 「確率 1 で予測できる場合に限り、測定する前から電子はその値を持っている」

立場 γ : 「測定する前に値を持たないが、測定すると (決まった確率で) 値が得られる。」

この三つのうち立場 α は最も実在主義的で古典的な考え方であるように思われる。アインシュタインやポパーの統計解釈、ボームの解釈、確率過程解釈などは α に入る。この立場では「光速を超えた遠隔作用」が必要となり、必然的に局所性や因果律が崩壊する。次に、立場 β について考えよう。これは確率が 1 の時だけ実在的とし、そうでない時については実在的でないとする半実在主義的な立場である。この立場では、物体がここにあることとあそこにあることは必ずしも排反事象ではなくなる。

今回、最も議論したい立場は γ である。この考えでは、現実には値を持たないのにもかかわらず我々が測定することによって値が生まれてくる。したがって、これは経験主義的な解釈であるように見える。しかし、本当にそうだろうか。ここで指摘したい可能性は、立場 γ を取りながら実在主義を維持することである。立場 γ に立ちつつ実在主義的な解釈を取るためには、一部の物理量は常に値を持つとすることで実在主義を維持しつつ、他方で、スピンなどの物理量の値は持たないが、測定すると値が得られると考えなければならない。そして、値の存在しないところからいかにして測定値が生まれるのかを説明する必要がある。その説明がなければ γ は経験主義そのものと言える。現実には存在しない値があたかも存在するように測定されるメカニズムを考えることができれば、それは実在主義と量子力学の間の矛盾を解消するかもしれない。

量子力学から離れて通常の世界を見回した時、実際には値を持たないのに測定値が得られるようなものはあるだろうか。例えば、物体の色や温度について考えてみよう。赤い本があったとき、我々は本の色が赤だと考える。つまり、目で本を観測すると「赤」という値が得られる。しかし、この値は本が現実を持つ属性ではなく本によって反射された光の性質である。本に赤いという性質があるというのは我々の勘違いである。本が持っている性質は「赤」という値ではなく「赤色の光を吸収しない」という性質である。したがって、本をどんどん細かく切っていく、原子核やクォーク、電子のレベルまで行くと、もはや「赤」という概念は消えてなくなる。(赤い本の中に赤い電子など存在しない。) 温度についても同様で、本の温度を測定することはできるが、個々の分子に対して温度を考えることはできない。(冷たい本の中に冷たい分子など存在しない。) そういう対象を考えるレベルでは色や温度の概念が破れているからである。このように「現実には値を持たないが、測定すると値が測定できる」という例は存在する。どちらの例でも、ミクロでは集団の性質であったものがマクロでは系の性質として測定されるために、ミクロで「値を持たなかった」ものがマクロで「値を持つ」に変わったように見える。これと同様のメカニズムによって、「個々の電子はスピンの値を持たないが、測定するとスピンの値が得られる」ことはありえるのではないだろうか。もしそのメカニズムによってベルの不等式の破れが説明でき、実在主義の下で立場 γ を取ることができれば、光速を超えた遠隔作用は不要になり、統計的な因果性は崩壊しない。本発表ではこの可能性について議論する。