

# 時間対称化された量子力学の解釈

森田 邦久

早稲田大学高等研究所

量子力学の標準的な解釈に従うと、量子力学的系においては、測定前の物理量は明確な値をもたない、すなわち、物理量は測定前には実在しているとは言えない。ここで「標準的な解釈」というのは、

1. 測定前は重ね合わさっている複数の状態が、測定によって一つの状態へと収縮する（射影公理）。
2. 重なり合っている状態のうちどれが測定によって選択されるかは原理的に確率的にしか予測できない。すなわちある物理量 $Q$ の測定値は原理的に確率的にしか予測できない。そして、その確率は、「ボルンの規則」と呼ばれる規則によって計算される。ただし、系が $Q$ の固有状態にあるときは一意的に予測できる。
3. それゆえ、系が $Q$ の固有状態にないとき、測定前の $Q$ は明確な値をもたない（測定によってはじめて物理量 $Q$ は明確な値をもつ）。

というものである。

この標準的な解釈をとると、物理量の非実在性のほかに、非局所相関を認めなければならなくなる。たとえば、二つの電子（IとII）が時刻 $t_0$ において相互作用したのち、時刻 $t_1$  ( $t_0 < t_1$ ) には空間的に十分離れたとしよう。このとき、電子IとIIのスピンの合計は0であったとする。いま、電子Iの $z$ スピンを時刻 $t_1$ において測定する。標準的な解釈に従うと、 $t_0 < t < t_1$ なる任意の時刻 $t$ では、Iの $z$ スピンはまだ決定しておらず、 $t_1$ での測定によって初めて明確な値をもつのであった。もちろん、IIの $z$ スピンも時刻 $t_1$ では明確な値をもっていない。ところが、 $t_0 < t < t_1$ のあいだに、IおよびIIに対して外力が働いていなければ、角運動量保存則により、 $t_1$ におけるIとIIのスピンの合計は0に保存されているはずである。それゆえ、 $t_1$ でIの $z$ スピンの値が、たとえば+1と定まると、その瞬間にIIの $z$ スピンは-1に決定される。すなわち、IIのスピンの値が、IIと空間的に十分に離れているIのスピン測定によって決定されているのである。これが非局所相関である。以下では、以上で描いたような状況をEPR的状况と呼ぶことにする。これに類似した状況の思考実験をEinstein, Podolsky, Rosenの三人が提案したからである。

本発表では、まず、標準的な解釈以外の量子力学の解釈理論のなかでは支持者の多い多世界解釈について議論する。多世界解釈の標準的な解釈に対する優位な点は、射影公理のようなシュレーディンガー方程式の枠組みを超えるような前提を必要としない点が挙げられるが、支持者たちのなかには、その他にも、多世界解釈では量子力学的系における物理量の実在を守ることができ、かつ非局所相関

も避けることができる主張する者たちもいる。しかし、非局所相関は何とか避けることができても、物理量の非実在性は認めなければならないことを示す。

つぎに、Aharonovらによって提案された「二状態ベクトル形式」もしくは「時間対称化された量子力学」(Time-Symmetrized Quantum Mechanics: 以下TSQM)といわれる新しい量子力学の形式と多世界解釈を用いると、物理量の実在を認めることができることを示す。ここで、TSQMでは、現在の量子力学的状態を、その系の過去の状態だけではなく、未来の状態も用いて計算することが重要となる。

たとえば、TSQMでは時刻 $t$ で $Q$ がある値 $q$ をとる確率を、 $t_0$ と $t_1$ における状態からABL規則という規則を用いて計算する。さきのEPR的状况において、 $t_1$ で $I$ の $z$ スピンの測定値が $+1$ であったとき、 $t$ で $I$ の $z$ スピンの値が $+1$ であった確率は $1$ になる。それゆえ、測定前においても $z$ スピンは値をもっていたと言えるのである。さらに、測定前にスピンの値が明確な値をもっているため、非局所相関も避けることができることになる。