

量子力学への統計力学的アプローチ：新しい統計解釈の試み

白井仁人 (Hisato SHIRAI)

一関工業高等専門学校

量子力学の実在的な解釈の一つとして、ベルの不等式と矛盾しない新しい「量子力学の統計解釈」を研究している。この解釈では、量子力学と統計力学の詳細な比較に基づき、統計力学的な考え方を通して量子力学を再解釈する。したがって「量子力学への統計力学的アプローチ」とも呼べる解釈である。この解釈は「運動量の統計解釈」と「干渉する量子確率の統計解釈」という二つの柱からなっている。「運動量の統計解釈」では「個別の系が位置と運動量の両方を持つのではなく位置だけしか持たない」と考える。つまり、運動量やスピンは個別の系の性質ではなく系の統計集団の性質だと考えるのである。そう考える理由は三つある。第一に、「位置」以外の物理量（スピンや運動量等）の測定がその物理量の直接的な測定によって行われるのではなく、「位置」の測定から二次的に導出されるという事実である。第二に、運動量に対する考え方は古典力学から量子力学に移行する際に大幅に変更されており、その概念については再検討する必要があるということである。（古典力学では運動量は速度に比例する量 $m v$ で表されるが、量子力学では波数に比例する量 $h k$ で表され、後者は波動性を表す量だが個別系が波動性を持つかどうかは明らかでない。）そして第三に、こう考えることによって統計解釈において最大の難問であったベルの不等式などのNOGO定理の問題が回避されることである。これら三つの理由により「運動量の統計解釈」を提案している。

また、「干渉する量子確率の統計解釈」とは、確率の干渉性を全体論的な考え方によって説明しようという試みである。この解釈では、まず確率分布 $P(x, t)$ が（想定した範囲の全時空に渡って）全体的に決まっていると考える。つまり、確率過程論のように遷移確率 $f(x' \rightarrow x)$ によって $P(x, t) = \int P(x', t-dt) f(x' \rightarrow x) dx'$ という形で局所的に分布が決まるのではなく、想定した範囲の全体としてある統計的な量を最小にするように分布の全体 $P(x, t)$ が決まっていると考えるのである。そして、干渉性はそれらの間に無理やりに遷移確率 $f(x' \rightarrow x)$ を想像したときに、その仮想的な遷移確率の間に

$$f(x' \rightarrow a \rightarrow x) + f(x' \rightarrow b \rightarrow x) \neq f(x' \rightarrow x)$$

という形で現れるものであり、分布 $P(x, t)$ だけを考えていれば何も干渉性などは現れないと考える。つまり、確かに干渉性は実際に観測される現象だが、それを確率の非加法性と同一視するのは人間であり、人間が勝手に（不要な）遷移確率を想像するためにそこに確率の非加法性が見かけ上現れてしまうと考えるのである。こう考えることによって、統計解釈において問題となる確率の非加法性の問題が解決することになる。

さて、本講演で発表する内容はこの解釈に対する次の二つの疑問への説明である。その二つの疑問とは、

1. 相互作用は個別の系の間で起こり運動量やエネルギーを交換する。このような相互作用による個別の系の中の運動量交換と「個別の系が運動量を持たない」という考えをどのように矛盾なく説明するのか。
2. ベルの不等式やCHSH不等式は、個別の系がスピンの方向を持つとか持たないとかの議論とは別に、とにかくスピンの方向に対する確率分布というものさえあれば成り立つ不等式であった。したがって、スピンを統計集団の性質と考えたとしてもそこには確率分布があるのだからベルの不等式やCHSH不等式は成り立つことになり、量子力学と矛盾するのではないか。

これら二つはこの解釈の本質を突く疑問であり、それゆえにそれらに答えることによってこの解釈の本質がより鮮明に理解され、その無矛盾性が明らかになるのではないと思われる。そこで本講演ではこの二つの問題に的を絞りそれらについて議論する。上の質問に対する答えを簡単にまとめると以下のようなになる。

第一の疑問（個別系の相互作用に関する疑問）について答えると、相互作用は運動量の変化として理解できる量であるが、古典力学では運動量が速度と結びついた概念であったため相互作用（力）は速度の変化（加速度）と結びついていた。これに対し量子力学における運動量は直接速度と結びついておらず波数ベクトルと関係している。そして、新しい統計解釈では波数を温度のような統計集団の性質と見なしているわけだから、相互作用は異なる統計集団への遷移を表すことになる。問題は個別の系の間でのやりとりによって、そのような統計集団の性質の遷移を引き起こせるのかということだろう。それができると考えても問題は何も生じないだろう。なぜならここで言う統計集団は統計力学でいうギブス流の統計集団のことであり、複数の粒子という意味は全く持っていないからである。簡単に言うと、ギブス流の統計集団はたった1個の粒子に対しても考えることができるのであり、したがって個別の系の中の相互作用によって統計集団の性質を表す統計パラメーターが変わると考える事は矛盾した考えではないのである。

次に、第二の疑問（ベルの不等式に関する疑問）について考える。この疑問はスピンの確率分布を考えれば必ずベルの不等式が導出できるということに基づく疑問であった。確かにその通りなのだが、その導出過程では単に確率分布を持つということだけが前提とされているのではなく、対象としている系が少なくとも3つの方向に対してスピンの値を持つということも前提とされている。これが重大な問題である。新しい統計解釈では（運動量と同様に）スピンも統計集団の性質であると考え、それゆえスピンの値も実験装置の配置のしかた（の全体）に依存して決まることになる。したがって、3つの方向に対するスピンの値を同時に測定するような実験装置の配置のしかたは存在しないので、3つの方向に対してスピンの値を持つという前提が成り立たず、ベルの不等式の成立との矛盾が回避されることになる。