

# 量子力学の新しい統計解釈と NO-GO 定理

白井 仁人 (Hisato Shirai)

一関工業高等専門学校

量子力学の統計解釈における古典的統計集団の概念と量子力学の NOGO 定理がいかにして両立しうるかについて発表する。

量子力学の統計解釈とは、量子力学的な確率を古典的な統計集団（ギブス流の統計集団）の概念を用いて理解しようという試みである。この解釈は、「波動関数は個別系の記述ではなく、系の統計集団の記述である」とするアインシュタインの統計解釈に始まる。その後、ポパーによる不確定性関係の統計解釈やプロヒンツェフの解釈などを経て、現在に至る。この解釈を採用した場合、シュレーディンガーの猫のパラドクスを含む諸問題が自然な形で解決できるが、この解釈は多くの支持を得ているとはいえない。その理由は、古典的統計集団の概念では説明できない要素が量子力学の中にあることが知られているからである。つまり、今までの統計解釈では量子力学の全てを説明できない。

本発表では、まず、その内容（説明できない内容）が二つあることを述べる。それは量子力学的な確率の干渉性（非加法性）と二つの物理量の同時測定不可能性（両立不可能性）である。これら二つの内容はどちらも古典的な統計集団の概念と両立しない。なぜなら古典的な統計集団とは通常我々が用いる集合（ブール代数が成り立つ）の概念に基づいており、足し算や分割が普通にできるからである。今まで多くの研究ではこれら二つの内容を「非局所性」としてひとまとめに扱ってきた。しかし、それらは別々に議論すべき内容であることを初めに指摘する。

次に、新しい統計解釈でこれら二つの問題をいかにして克服するのかを説明する。特に重要なのは第二の問題（ ）で、これはベルの不等式やコッヘン-シュペッカーのパラドクスなどが提出されたことにより、その難しさが明白になった。歴史的に振り返ると、アインシュタインは、この問題（ 、 ）の重要性よりも波動関数を個別の系の性質とした場合の問題点に注目し、EPR のパラドクスを提出した。ポパーは、第一の問題（ ）についてピン・ボードの例を用いて傾向性という形で説明したが、第二の問題（ ）については説明していない。シュレーディンガーは第二の問題の重要性を理解し、波動関数は予測目録（一種の統計集団）としながらも、通常の統計集団を適用できないとした。フォン・ノイマンも同様に、波動関数を一種の統計集団に対応付けながらも、それが通常の統計集団ではありえないと考えた。そして、量子力学的な統計集団を「一様な集団」、通常の古典的な統計集団をその「混合」と呼んだ。

第二の問題の重要性を理解しつつも統計解釈を支持したのはプロヒンツェフである。彼は量子力学的な統計集団を、同じマクロな道具立て（セッティング）に見出される同一（アイデンティカル）のミクロな系のつくる無限の系列であるとし、こうしたマクロな環境条件がミクロな系の運動状態、あるいは単に「状態」（ミクロな系の統計性）

を決定すると考えた。彼は次のように述べた。「量子アンサンブル(量子集団)のより厳密な概念の定義に注意を向けよう。あるマクロな物体の集合を考える。以後、この集合をマクロな環境体Mと名付ける。このマクロな環境体は、何らかの方法でミクロな系 $\mu$ の運動状態を決定する。いま、このようなマクロな環境体Mがミクロな系と一緒にあって、ギブスのアンサンブルにおいて恒温槽とミクロな系がそうであったのと全く同様に、無限回再現されると仮定する。もしこのような系の集まりで、不確定性関係を満たすものがあれば、そのようなアンサンブルを、我々は『量子アンサンブル』と呼ぶ。」この定義により、量子アンサンブルにおいては(古典的なギブス集団とは対照的に)二つの物理量の結合確率分布の存在が排除される。

筆者が提案している「新しい統計解釈」はプロヒンツェフの統計解釈に最も近く、それをさらに具体的な形へと発展させたものである。新しい統計解釈では次の二つの解釈を採用する。(1)系の存在確率分布は、その系が通過可能な全経路上の条件により全体として決まっている。(2)位置は個別の系が持つ物理量であり、運動量は系の統計集団が持つ物理量である。これら二点については今までの発表で説明してきたので今回は省略する。今回議論したいのは、上記の二点とNO-GO定理との関係である。上の二つの解釈によって新しい統計解釈は以下のようにNO-GO定理を克服する。まず、(1)で全体性(非局所性)を導入することにより、確率の干渉性(非加法性)を見かけ上の現象として説明でき、非加法性の問題が解決する。また、(2)で運動量を統計集団の性質と考えることにより、運動量は個別の系が確定値を持つ物理量ではないことになり、二つの共役な物理量の非両立性の問題が解決する。つまり、ヒルベルト空間の連続性を否定することにより、NO-GO定理を克服しているのだと言える。

さらに、上の解釈がどの程度必然的か(必要なものか)について議論する。そのために次の問題について考察する。【Q1】NO-GO定理を先に考えた場合、新しい統計解釈を含む実在主義的な解釈にはどのような道が残されているのか。【Q2】今までの実在主義的な諸解釈(ボーム解釈や確率過程解釈など)はそのうちのどの道を進んでいるのか。【Q3】新しい統計解釈はそのうちのどの道を進んでいるのか。これらの疑問に対し、本稿では次のような答えを与える。【A1】NO-GO定理が正しい場合、我々に残される道は三つしかない。第一に、物理量の実在性(確定値性)を全て捨ててしまう道(ボーム)、第二に、物理量の実在性を全て残す道(様相解釈、量子論理)、第三に、物理量の実在性を半分だけ残す道(新しい統計解釈、ボーム解釈、確率過程解釈)のどれかである。【A2】今まで出された有力な実在主義的解釈(ボーム解釈、確率過程解釈など)は第3の道を進んでおり、しかも共通して時空変数(座標)ではなくエネルギー・運動量変数の方を捨てている。【A3】新しい統計解釈も同じ道を進んでおり、そういう意味では同じグループに属する。この結果は偶然ではないだろう。NO-GO定理が示す内容、即ち、二つの物理量の非両立性という制限から、古典的な集合論(ブール論理)を用いる限り、全ての物理量に実在性を与える第2の道は閉ざされる。また、物質が何らかの実在性(確定値)を持つと考える限り第1の道も閉ざされ、第3の道しか残されない。そして、時空変数のグループを取るか、運動量・エネルギー変数のグループを取るかとなれば、時空変数を取るのが自然だろう。このようにして、実在主義的な解釈は必然的に第3の道を進み、しかも系が位置を持つという解釈に行き着く。