

# EPR 状態とベルの不等式

北島雄一郎

日本大学生産工学部

Einstein, Podolsky and Rosen (EPR 1935)は、空間的に離れた二つの粒子に関する波動関数が存在して、その波動関数において一方の粒子（これを粒子 1 とよぶ）の位置  $Q_1$  を測定することによって、もう一方の粒子（これを粒子 2 とよぶ）の位置  $Q_2$  を確実に知ることができ、かつ、その波動関数において粒子 1 の運動量  $P_1$  を測定することによって、粒子 2 の運動量  $P_2$  を確実に知ることができるということを示した。

粒子 1 と粒子 2 は空間的に離れているから、粒子 1 の測定は粒子 2 に影響は与えないと考えられる。EPR は、「我々がある系をいかなる仕方でもかき乱すことなく、ある物理量の値を確実に（確率 1 で）予言することができるならば、その物理量に対応する物理的実在の要素が存在する」（EPR 1935, p.777）という基準に基づき、粒子 2 の位置  $Q_2$  と運動量  $P_2$  はともに物理的実在の要素であると考えた（EPR 1935, p.780）。しかし、 $Q_2$  と  $P_2$  は非可換な物理量なので、量子力学では、同時にそれらの値に対応させる理論的表現（量子状態）を持たない。これらの議論と「物理理論が完全であるならば、物理的実在すべての要素はその物理理論の中に対応する表現をもつ」（EPR 1935, p.777）という完全性に関する基準に基づいて、量子力学的記述は不完全であると EPR は結論した。

量子力学が不完全であるならば、隠れた変数を考えることによって量子力学は完全になるかもしれない。ベルは、局所性などいくつかの条件を満たす隠れた変数を仮定すると、不等式が導かれることを示した。これはベルの不等式と呼ばれる。しかし、量子力学ではベルの不等式を破るような状態が存在する。つまり、量子力学には、ベルの不等式を導く際に仮定した条件を満たす隠れた変数は存在しないことになる。

このように、EPR 状態とベルの不等式を破る状態は、いずれも量子力学の不完全性に関係する。本発表では、Kitajima (2013)に基づいて、両者の論理的関係について考えたい。

## 参考文献

- Einstein, A., Podolsky, B., and Rosen, N.: Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?. Phys. Rev. 47, 777-780 (1935)
- Kitajima, Y.: EPR states and Bell correlated states in algebraic quantum field theory, Found. Phys. 43, 1182-1192 (2013)