A Refinement of Quantum Mechanics by Algorithmic Randomness

只木孝太郎

中部大学 工学部 情報工学科

Supported by JSPS KAKENHI Grant Number 15K04981, by Chubu University Grant (A II), and by IMS, National University of Singapore

本発表で何をするか

量子力学では確率概念が本質的な役割を果たす。この確率概念は、波動関数の確率解釈（ボルン則）により量子力学に導入される。

しかしながら、量子力学を記述する今日の数学において、確率論とは測度論のことであり、確率概念の操作的特徴付けは見当たらない。即ち、“確率”とは物理的にはどのような概念なのか？ この点が不明確なまま、量子力学において確率概念が用いられているのである。

ゆえに、このような操作主義的に明確ではない“確率概念”に基づいて、系の振る舞いに対し予言を行う現在の形の量子力学は、本来操作主義的であるべき物理理論としては不完全であると考えられる。

本発表では、アルゴリズム的ランダムネスの概念装置に基づいて、通常の確率解釈（ボルン則）を操作主義的に明確化した代替規則を提示し、量子力学の完全化を目指す。

一般に、量子測定の公理が主張を行うべき対象

測定結果の系列：

上, 下, 上, 上, 下, 下, 下, 上, 上, 下, 上, 下, 下, 上, 下, 上, ...

実験者が相手に出来るのは、このような、測定を無限回繰り返して生成されて行く、測定結果の<u>特定</u>の無限列のみである。

従って、一般に、量子測定の公理は、測定を無限回繰り返して生成されて行く、測定結果の<u>特定</u>の無限列の性質について主張を行うべき。

ボルン則の精密化

公理 [アルゴリズム的ランダムネスによる量子測定の公理] Quantum measurement is described by an *observable*, M, a Hermitian operator on the state space of the system being measured. The observable has a spectral decomposition

$$M = \sum_m m E_m,$$

where E_m is the projector onto the eigenspace of M with eigenvalue m. The possible outcomes of the measurement is in the spectrum $\Omega = \{0, 1, 2, \dots, N-1\}$ of M. Suppose that the measurements are repeatedly performed over identical quantum systems whose states are $|\Psi\rangle$, and the infinite sequence $\alpha \in \Omega^\infty$ of measurement outcomes is being generated. Then α is Martin-Löf P-random, where $P = (\langle\Psi|E_0|\Psi\rangle, \dots, \langle\Psi|E_{N-1}|\Psi\rangle)$. For each of the measurements, the state of the system immediately after the measurement is

$$\frac{E_m|\Psi\rangle}{\sqrt{\langle\Psi|E_m|\Psi\rangle}},$$

where m is the corresponding measurement outcome. □