

ハーディーのパラドクスと共通原因の原理

東 克明 (Katsuaki Higashi)

東京海洋大学 (非常勤講師)

二つの事象の間に相関があるが、一方の事象が他方の事象の原因と考えられないとき、それら二つの事象に共通の原因が存在する、このような考え方を「共通原因の原理」という。そして、量子相関の共通原因は存在しない、というのが通説である。なぜなら、量子相関の共通原因が存在すると仮定するとき、ベルの不等式が導出され、その不等式が破れることは繰り返し実験によって確かめられてきたからである。

この通説に対し、ある研究者らは、ベルの不等式の導出では、複数の量子相関に**共通**の共通原因が存在することが暗黙裡に前提とされている、と指摘した。彼らの考えにしたがうと、それぞれの量子相関ごとに共通原因が存在すれば、それで十分ということだ。では、複数の量子相関それぞれに共通原因を要請し、そのうえ局所性に関する諸条件をみたす共通原因モデルは存在するのだろうか、この問いについて考察する。

グラスホフらは、この問いに対し、次の部分的解答(a)を与えた。

(a) 粒子対がマキシマリーエンタングルド (例えば一重項状態) 状態にあるとき、相関ごとの共通原因モデルさえ存在しない。

ただし、マキシマリーエンタングルド状態は特殊な状態である。もしかしたら、我々の未来の理論には、その状態の対応物など存在しないかもしれない。より広範な状態において、共通原因モデルの非存在を示すことができるのだろうか。実は、ハーディーのパラドクスにおけるハーディー関係式を利用すると、次の事実を示すことができる。

(b) マキシマリーエンタングルド状態を除く任意のエンタングルド状態において、相関ごとの共通原因モデルさえ存在しない。

すると、(a)と(b)をあわせて、任意のエンタングルド状態において、相関ごとの共通原因モデルさえ存在しない、という結論が得られる。

最後に、還元可能性問題を紹介し、ある事実を示す。この問題は、ホッファー・サバーがはじめに提示したものである。彼は、グラスホフらによる(a)の証明はマキシマリーエンタングルド状態におけるものだが、そのような状態においては、相関ごとの共通原因モデルの存在を仮定するとすべての相関に共通の共通原因モデルを構成できると指摘した。要するに、マキシマリーエンタングルド状態においては、相関ごとの共通原因モデルは共通の共通原因モデルに還元可能なのである。同様のことが、(b)の証明にも成立するのだろうか。(a)における還元可能性を示す際、決定的に重要な役割を果たすのが完全相関である。議論の対象となる相関が完全相関であることを利用して共通の共通原因モデルが構成可能となる。しかし、同様の構成法は(b)の証明においては通用しない。なぜなら、(b)の証明ではハーディー関係式を用いるが、その関係式は完全相関と両立不可能であることを示すことができるからである。

*講演用スライドは <https://researchmap.jp/kahigashi/misc/27046784> を参照して下さい。