

物理学における同一性と対称性の関係

藤田翔

名古屋大学大学院情報学研究科複雑系科学専攻所属

日本学術振興会特別研究員 (PD)

物理学理論に登場する存在者の中には哲学的な意味合いで区別がつかないものが多い。殊更に量子力学においてはその特徴は顕著であり、例えば電子は決まった電荷や静止質量といった共通の物理量を備えているがゆえに、各々の電子を性質において区別することはできない。実際にエンタングル状態にある同種の粒子に関しては、任意の入れ替え（置換）に対して波動関数の絶対値は不変であり、少なくともそれらの置換操作が観測的な違いを及ぼすことはない。これは置換に対する不変性(permutation invariance)で、量子的な同種の粒子は互いに見分けが付かずに同一であるというライプニッツ則を破る事例として議論されてきた(発端はLowe、French & Redhead 1988 辺り)。

ボソンやフェルミオンといった量子的な粒子の置換は、理論の要請する対称性や反対称性によって記述されているが、上記の同一性がこういった対称性という考え方に基づいていることは間違いないだろう。これらの粒子はエンタングル状態の測定という操作を経て、観測後に異なる量子状態（エネルギーや運動量、位置なども含めて）で区別されたとしても、どのラベルの粒子がどの状態を取るかどうかは理論的にわからない（あるいは論じること自体がナンセンス）点に不可識別の本質があると言えよう。

しかし、Saunders(2003, 2006)やDieks & Versteegh (2008)の議論においては、エンタングル状態に課された各粒子の状態が一様性を持つ場合に、各々の粒子を区別できるかどうかという点に照準が置かれている。すなわちエンタングル状態にある2つの電子を観測したところで、どちらの電子のスピンに上下の概念を与えるかという、観測的にも区別の難しい対称性を持つ系の事例を彼らは挙げている。この種の議論には、一様な宇宙空間の中に存在する、同一の素材でできた同一の半径を持つ2つの球体（球体以外は宇宙には何も存在しないとする）の区別という、Black(1952)の思考実験との関連性も引き合いに出されている。

これは系自体が対称性を持つ場合に、その中の対象を区別できるのかどうかという、別の構造的解釈の議論と繋がっている。すなわち、対象をそれが他の対象に対して持つ関係的性質によってのみ区別するべし(Ladyman 2007)という構造実在論の考え方が整合的であるかどうかという問いかけには通じるものの、上記のボソンやフェルミオンに関する置換対称性のラベルの不可識別を論じる上では、わざわざ系自体に対称性を課す必要はない。

結局粒子の区別問題に付随するこれらの対称性の違いは、粒子の同一性というトピックが、古典論や量子論を越えてある意味多義的に用いられてきた証拠であり、量子論や粒子における構造的解釈が極めて抽象的な意味合いで議論されてきた結果であると発表者は考えている。そこで本発表では、構造的解釈の他の事例である「時空点の同一性」という観点にも触れながら(Lam & Esfeld 2012)、物理学の哲学における対称性や同一性の議論の本質に言

及したい。