

# 合成系からみた関係性・因果性

岡村 和弥 (ドレスト光子研究起点)

E-mail: k.okamura.renormalizable@gmail.com

物理系は「系に備わっている物理量の集まり」をもって指定されるものである。これは、系にとって内在的足りうるもののうち、「系のあり方や振る舞い」を説明する上で「量概念」ほど基本的なものはないという経験的事実の言い換えに過ぎない。ところで、系の振る舞いは状況に依存して変わるものであり、例えば古典力学でも初期条件・境界条件などに系の振る舞いは大きく左右される。初期条件・境界条件は外因的なものであって内在的足り得ないが、結果としてそれら条件が指定される状況さえ実現されれば系の振る舞いの多くを記述可能になる。量子系の状態も同じく外因的なものを反映して指定されるものであり、量子系の確率的（統計的）性質を前提（出発点）とする限り何一つ不思議なものではない。

では状態のような外因的なものが物理系の記述に入り込むとして、それは一体いかなる経験的事実に基づくものであるのだろうか。その答えは明快で、状態は「実験設定と呼ぶべき、合成系の作り方の（統計的な意味での）同値類」と対応していて、物理学の大前提である「再現性」のもと「同一」の実験設定を作り出せるときに意味を持つ概念であるということである。この「同一性」は、測定を行うことにより得られるデータ（とその統計的処理）に対して、決して無限ではない有限の精度において保証されるものである。

これまでの議論に出てきた概念のなかで更に掘り下げなければならないものがある。それは「合成系（という見方）」であり、古典・量子の区別に関わらず、非明示的にも物理系の記述に入り込む。例えば熱力学における熱浴や量子系における測定装置などは、対象となる系と合成系をつくり、系の状態の指定に強く関与する。熱力学は異なる系の間接触を前提とした体系であり、対等な扱いを受ける系同士が合成系をつくることによって1つの平衡状態から別の平衡状態に落ち着く動的な変化とその可能性に対し強力な制約を与える。一方、量子系に対する測定装置は、ありとあらゆる系の状態において測定できるわけではなく、(現実的には)許容される範囲の状態において系の物理量の測定となる。量子・古典問わず所謂「孤立系」は非常に限定された状況での理想化にすぎず、合成系をつくる相手方の系（いわゆる環境）は状態の指定には寄与するけれども対象系のダイナミクス（動力学）には影響をそれほど及ぼさないという前提での近似的概念と考えるべきである。

熱力学第0法則は、2つの熱的な系を接触（結合）させても変化が生じないときに同じ平衡状態にあるといい、同じ平衡状態の関係は対称的 ( $A \sim B$  ならば  $B \sim A$ ) かつ推移的 ( $A \sim B$  かつ  $B \sim C$  ならば、 $A \sim C$ ) であることを主張する（加えて  $A \sim A$  を仮定すれば同値関係になる）。このように系の間関係は、熱力学第0法則のようにはっきりしたものは限らないが、合成系をつくることにより得られる。また、断熱過程のように系の間接触が仕事によるやり取りとなっているときには、変化の方向自体が順序関係となっている場合がある。一般には合成系をつくる2つの系の間関係は同値関係と順序関係のどちらかになるとは限らないが、圏論的に整理可能な二項関係（またはその族）にあるとき熱力学のような普遍的構造が隠れていると考えるのが自然であろう。熱力学は平衡状態に限定することで体系化されたように、合成系をつくるなかで普遍的な状態の族を探す試みを含んでいる。

関係概念のうち、因果関係は経験科学においてひととき重要である。よく強調される相対論で

の因果性は、時空構造との結びつきに言及している点で大きな意義があるが、特殊な場合に過ぎない。因果関係とは「原因」と「結果」の繋がりで、要は

原因 ⇒ 結果

ということであるが、⇒の意味に注意しなければならない。現在考えている合成系の観点からは、「原因」にあたる条件・命題を満たす状態であるときとそうでない状態を比較したとき、前者ならば「結果」にあたる条件・命題を満たす一方で後者ならば満たさないという意味である。すなわち、様々な状態を比較するなかで浮かび上がってくる関係が因果関係であり、論理学での⇒とは明確に異なっている。因果関係を確認するための「介入操作」も状態を変えるための操作のひとつだと位置づけるべきであり、量子系ならば測定がその役割を引き受けることもありうる。

ドレスト光子が発生するためのミクロな条件を通じて、光と物質が相互作用する領域の物理での因果関係を探っていくことは筆者自身魅力的だと思っており、数学的な新規性ともつながると考えている。物理学一般での「見えないもの」を想定する効能は歴史的にも非常に大きいものであり、様々な場面において現在進行形でその恩恵を受けている。ドレスト光子に限ったものではないが、新しい領域での研究には新しい因果関係の確立や予想が大きな原動力となる（歴史的にもそうであった）。ドレスト光子研究においても様々な人の参入により新しい価値観が生まれることを期待したい。

謝辞 この研究は（社）ドレスト光子研究起点の支援を受けています。