

# トポロジー的説明における数学的記述が持つ認識論的機能

佐藤 聡太 (Sota SATO)

北海道大学 理学院

「数学的事実が、現実の現象を説明することはできるか」というテーマは、今日の科学哲学において、改めて注目を集めている。本発表ではその中でも、2010年代から注目を集めるトポロジー的説明と呼ばれる説明戦略に着目して、その意義や、数学的記述に基づく説明であるがゆえの課題を克服するための方略について論じる。

Huneman (2010) が提唱し、Kostić (2019) などが詳細を論じているこの説明戦略は、数学におけるトポロジー論と、グラフ論に立脚したもので、現実の現象をトポロジー的空間において解釈し、そのシステムなどを説明するというものである。Hunemanによれば、あるシステム (S) の持つ特性や結果である X についての説明で、空間 E におけるグラフ、ネットワーク、あるいは多様体 (すべてまとめて  $S^*$  とする) のもつ特性 (Ti) を、X がもっているという事実によって説明がなされるとき、それはトポロジー的説明であるという。Kostić は、トポロジー的説明の大変興味深い点として、大胆な捨象を許容することがあげられるという。メカニズムの説明が、実体や活動についての言及を要求するのに対して、トポロジー的説明は、システムがもつ性質が、トポロジー的な対象に基づいて議論できることだけを条件にしており、システムの具体的な性質などは捨象できると主張している。また、具体的な対象への議論を必要としないトポロジー的説明では、メタ的な観点から説明を提供することができ、メカニズムの説明よりも包括的な説明が行えるという点も、トポロジー的説明の長所であると Huneman は主張している。

このように、様々な美德をもつトポロジー的説明であるが、数学的事実に依拠するタイプの科学的説明である以上、「数学的事実が、現実の現象を説明することは可能であるか」という課題に向き合うことになる。Huneman (2017) は、構造的説明という概念を導入して、この課題に取り組もうとしている。それによると、研究対象のシステムが何らかの数学的性質を示すとき、対象を支配するメカニズムが数学的性質による制約を受けるといふ。つまり科学的説明において数学的記述は、メカニズムを明らかにすることはないが、メカニズムがどのような制約のもとにあるかを明らかにする機能があるということである。Huneman は議論に基づいて反事実条件を構成することにも言及しており、「数学的命題が真でないならば、(現実の) システムは特定の性質 P を示さなかつただろう」といふ、反事実条件文を示している。

しかし、このような反事実条件文には存在論的な懸念がある。ここからは数学的事実による反事実条件的な説明戦略に対して、Kuorikoski が行った批判に基づいて検討する。それによれば、反事実条件において違いを生み出す対象 (原因変数) は、現象に存在する対象と同一のものであることが求められている。つまり、まったく異なる対象について論じた反事実条件文は、存在論的な従属関係を追跡することを困難にしてしまい、

科学的説明の説明力を損なうことになる」と主張している。ここで、「数学的命題が真でない」という状態について検討しよう。数学的な対象は「数学的性質の列挙」により構成されているので、性質の変更は対象の同一性を失わせてしまう。本来真であるはずの数学的命題が偽であるという反事実条件文は、対象か数学的な世界のどちらかが本来のものと異なっている場合についての文になるため、原因変数の同一性という条件を破綻させてしまい、科学的説明において用いるには不適当な反事実条件文になってしまう。

このように、Huneman の主張するトポロジー的説明は、科学的説明として存在論的に適当なものであるとは言えない。しかし、トポロジー的説明がもつ認識論的特性は、ネットワーク科学などの分野において、研究上のヒューリスティクスとして、非常に有用であることもわかっている (Darrason (2018))。本発表では、Kuorikoski が科学的説明における数学的記述の貢献を評価するために導入した形式的理解という概念を援用して、存在論的課題の回避を試みる。形式的理解とは推論システムや、表象システムについての理解として定義される。数学的記述が持つ、科学的説明における価値という点では、現実の現象についての説明で、数学的記述が現象と存在論的な関係性を持つとは言い難いが、説明という認識論的実践において、数学的記述は表象の改善や推論の向上といった役割を担っているという点が、形式的理解への貢献ということになる。

本発表は、Huneman のいう構造的説明を、形式的理解の概念に基づく認識論的貢献の定式化として再解釈する。つまり、現象について観察して得られたデータから、何らかの数学的性質が見いだされるとき、科学者が行う説明は数学的性質による制約を受ける。なぜならば、数学的性質に違反する説明は、実際の観察値に存在論的に従属できないからだ。このように考えれば、構造的説明が抱えていた Kuorikoski の言うような存在論的懸念を回避できる。構造的説明は、観測データが数学的性質を持っているという直観的な洞察を定式化する仕組みとして優れているため、これを認識論的貢献という形で擁護することには価値がある。特に、トポロジー的性質に注目するトポロジー的説明は、強力な包括性を持つ点など、様々な現象の性質を把握するうえで重要な機能を持つため、その認識論的貢献を肯定しつつ、存在論的課題を回避することは、有意義である。

#### 参考文献

- Darrason, M., 2018, "Mechanistic and Topological Explanations in Medicine: The Case of Medical Genetics and Network Medicine." *Synthese*, Vol. 195, No.1, 147–173.
- Huneman, P., 2010, "Topological Explanations and Robustness in Biological Sciences.", *Synthese* 177 (2), 213–45.
- Huneman, P., 2017, "Outlines of a Theory of Structural Explanations.", *Philosophical Studies*, no. 1984, 1–38.
- Kostić, D., 2019, "Minimal Structure Explanations, Scientific Understanding and Explanatory Depth", *Perspectives on Science*, Vol. 27, No.2, 48-67
- Kostić, D., 2022, "Topological Explanations An Opinionated Appraisal", *Scientific Understanding and Representation*, 261-279.
- Kuorikoski, J., 2022, "There Are No Mathematical Explanations", *Philosophy of Science*, 88, 189-212.