

物性物理学におけるモデルの階層的ネットワークと有効モデル

森田紘平 (Kohei Morita) ・ 高三和晃 (Kazuaki Takasan)

名古屋大学・東京大学

この世界の様々な事象を説明するために、現代物理学では有効モデル *effective model* と呼ばれる種類のモデルが広く用いられている。有効モデルの厳密な定義は一般に困難であるが、ここでは「基礎的なモデルの自由度を減らすなどの単純化・単純化などを通じて得られたモデル」を有効モデルと呼ぶことにする。例えば、物理学の代表的な分野の一つである物性物理では様々な物理的性質や現象を説明するために複数の有効モデルが用いられている。複数のモデルを用いて事象を説明するという自体は、物理学だけではなく生物学や気候科学など現代科学の営為の中に広く見出すことができる。科学哲学では、モデルとその対象系、あるいはモデルとその背景理論(古典力学・量子力学など)との関係は検討されてきたものの、モデル同士の関係については十分に検討されてこなかった。

物性物理におけるモデルの関係に着目すると、そのモデル群が有効モデルの単なる集合ではなく、階層的なネットワークを構成していることが明らかになる (Morita and Takasan. *in preparation*.)。このネットワークは以下のようなモデルの性質や関係によって特徴づけられる。物性物理には、第一原理モデルと呼ばれる最も基礎的で詳細なモデルが存在する。第一原理モデルは、固体の基礎的な構成要素である電子や原子核の物理的な性質を詳細に反映したモデルである。しかし、このモデルは詳細であるがゆえに多数の自由度を含むことから、物質が持つ多様な側面の説明や予測に実際に用いることは困難である。そのため、事象を実際に説明するために自由度の少ない様々な有効モデルが用いられる。これらの有効モデルは、第一原理モデルの自由度を減らすことで得られるモデルと考えることができる。有効モデルを得るような自由度を減らす操作を含む関係を「導出」として整理することで、第一原理モデルと有効モデルが階層的なネットワーク構造を持つことが明らかになる。

この階層的なネットワーク構造はモデルの科学哲学の以下のようなトピックに含意を与える。

1. ロバストネス・アナリシスの説明
2. 両立しない仮定がおかれたモデル間の情報の相互利用の存在
3. ネットワークの洗練としての物理学の理論的実践と発見的役割
4. モデルの表現的理想の多様性
5. 実在論におけるモデルの両立可能性

このようなテーマについての哲学的示唆は第一原理モデルと有効モデルの関係、有効モデル間の関係を考えることで明らかになる。

有効モデル間の関係を考えることで哲学的に重要な示唆が得られるにもかかわらず

ず、有効モデルは哲学的な分析の対象となってきたとは言い難い。もちろん、それぞれのモデルについての検討はなされてきた。例えば、物性物理における Ising モデルや Hubbard モデルはその分析の対象となってきた。しかし、有効モデルの他の事例や有効モデルの一般的な分析は十分になされていない。そこで本発表では、階層的ネットワークという観点から有効モデルについてより一般的な分析を行う。

物理学における「有効性」という概念について、物理学の哲学では場の量子論(QFT)における有効場理論(EFT)が検討されてきた。EFTは長距離のスケールだけを考慮し、短距離のスケールを粗視化することで現象を説明する理論である。EFTは低エネルギーの(つまり、長距離の)特定の自由度のみを考える理論であるという意味で、真なる理論ではなく、ある意味ではアドホックな理論であると捉えられ、哲学的な分析の主な対象とはなつてこなかった。特に实在論の観点から見れば、EFTは明らかに真なる理論ではなく、QFTの哲学の出発点たり得ないと指摘されてきた。このような議論に対して、むしろEFTをもとにQFTの哲学を展開するべきであるとする議論もある(Wallace 2011)。また、EFTに实在論的な意義があることも指摘され(Williams 2019)、その有効性の所在について検討されている(Franklin 2020)。これらの有効性についての研究動向も踏まえて、物性物理における有効モデルの有効性について議論する。

1. Franklin, A. 2020. 'Whence the Effectiveness of Effective Field Theories?'. *The British Journal for the Philosophy of Science*, **71**, 1235-1259.
2. Morita, K. and Takasan, K. in preparation. 'How the multiple models work in condensed matter physics: A hierarchical network of models', in preparation.
3. Reutlinger, A., Hangleiter, D., and Hartmann, S. 2018. 'Understanding (with) Toy Models', *The British Journal for the Philosophy of Science*. **69**, 1069-1099.
4. Wallace, D. 2011. 'Taking Particle Physics Seriously: A Critique of the Algebraic Approach to Quantum Field Theory', *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*. **42**. 116-125.
5. Williams, P. 2019. 'Scientific Realism Made Effective'. *The British Journal for the Philosophy of Science*. **70**. 209-237. 2019.