

書評

Dean Rickles

The Philosophy of Physics (Polity Press, 2016)

本書は科学哲学のうち、個別の科学の哲学的分析を行う領域の中でも、とりわけ物理学の哲学 (Philosophy of Physics) を網羅的に扱った入門書である。物理学の哲学は、以下で見るように、物理学における概念的・基礎的な領域に関する哲学的問題を扱う科学哲学の一分野である。著者の Dean Rickles は (2022 年時点で) シドニー大学教授・シドニー時間センター所長で、現代物理学の哲学および歴史、特に量子重力の哲学的・基礎的問題の研究者である (<https://www.centrefortime.org/about-us> 参照)。

以下、本書の章立てを記し、各章で扱われる内容を概観しながら、本書の特徴について簡単にコメントしよう。ただし、本書評は取り上げる著書の全体的な概要の提示およびそれに対する若干のコメントを提示することが目的であり、著書の各章で扱われる内容や議論に対する詳細な紹介・検討を行うものではないことに注意されたい。

目次

1. Interpreting Physical Theories
2. General Concepts of Physics
3. Symmetries in Physics
4. Getting Philosophy from Symmetry
5. Further Adventures in Space and Time
6. Linking Micro to Macro
7. Quantum Philosophy
8. On the Edge: A Snapshot of Advanced Topics

章立てからも窺われるとおり、本書では、まず第 1 章から第 3 章までを物理学の諸分野における哲学的議論に入る前の準備的・総論的な話題を中心に割き、第 4 章から第 7 章で、それぞれ相対性理論 (時空間)、熱・統計物理学、量子力学といった各分野の哲学的話題を集中的に扱う。そして最後の第 8 章では、現代物理学におけるより進んだ話題に関する哲学的議論が紹介される。以上を念頭においた上で、各章の内容を見よう。

第 1 章は、とりわけ、物理学の哲学という学問分野の基礎的な位置づけに関連する内容である。物理学の哲学なるものがどうして必要なのか (§ 1.1)、古代に物理学の

哲学はなかったのか (§ 1.2) などといった問題を扱いながら、著者の「解釈ゲーム」(interpretation game) としての物理学の哲学という基本的立場が説明される (§ 1.3). 著者によれば、物理学者の主な仕事の世界のモデルや理論の構築だとすれば、物理学の哲学者の主な仕事は、理論、モデル、シミュレーション、実験(いわゆる「思考実験」を含む) などといった物理学の産物を解釈することだ、という (p.8). 物理学における理論、モデル、思考実験と、それらの物理的実在との関係に焦点を当て、理論やモデルが現実世界に対して何をいっているのかを理解する営み、すなわち、「理論を世界に写像する」(mapping the theory to the world) ことが解釈である。理論・モデルと経験事実の双方の両方に適合する解釈には複数存在することもあれば、また、解釈された理論のフォーマリズムもまた、ときに解釈の対象となりうる。(たとえば量子力学の解釈には複数存在するが、そのうちの多世界解釈に関しても、本当に文字通り互いに分岐した別々の宇宙があると見るべきなのか、それとも文字通りの世界の分岐を伴わないものと見るべきなのか、といった具合に。) いずれにせよ、こうした「解釈ゲーム」を行うためには、その対象となる理論やモデルの意味を徹底して議論する必要がある。

第2章では、物理学の中心となる概念が、特定の理論の文脈から離れて俯瞰的・包括的に紹介される。まず、§ 2.1 で、相対性理論(時空間)、熱・統計物理学、量子力学が現代物理学を支える「3本の柱」としばしば言及されることについて、それらはむしろ互いにかかなりの部分が重なりあっていることに注意すべきであると導入として述べられる。§ 2.2 では、物理理論が、物体の可能な運動にかかわる運動学(kinematics)と、特定の法則下における実際の運動にかかわる動力学(dynamics)という二要素からなるという整理を与えながら、物理理論を構築する3つの中心的要素である、状態(ある瞬間における系の性質を完全に詳述したもの)、観測値(理論の中で、測定して物理的な解釈を与えることができる変数)、力学(力の作用下などで系の挙動を支配する規則)が、理論の解釈材料の基本となることが論じられる。本章ではこうした基本概念およびそれらの関係や、系の特徴に応じたその実現の様相の違いなどが議論される。また、§ 2.3 では基準系および不変性・共変性に関する議論が簡潔に扱われる。

第3章では、物理学における対称性に関する話題が扱われる。対称性は保存則などの物理法則と深く関連し、物理理論の基礎的側面の根幹をなす重要なテーマである。対称性の重要な特徴は、状況のある側面を「無視」して、ある操作の前後で保存される関連する構造に注目するという点である。操作の前後でどういった関係が保存されるのかに応じて、さまざまな対称性が存在しうることが、本章ではこれを念頭におきながら、不変性やガリレイ変換 (§ 3.1)、自然法則と世界のあり方 (§ 3.2) といった話題と絡めて議

論が展開される。また、対称性に関するいくつかの重要な区分(幾何学的/力学的, 連続的/離散的, 大域的/局所的, 能動的/受動的)が見通しよく導入される (§ 3.3)。

第4章, 第5章では, 第3章で導入された対称性に関する話題をベースとしながら, 時空の哲学が扱われる。まず, 第4章では時空間の存在論的問題が扱われる。ニュートンらが時空間を実在的なもの, つまり時空間は物体の相対的な関係にくわえて何らかの「器」からなる実体的構造だと考えたのに対し(実体説 *substantivism*), ライブニッツは時空間とはあくまでも対象間の相対的關係からなる理論的構成物だと考えた(関係説 *relationalism*)。関係主義者はしばしば自説の擁護のため(いくつかのバリエーションからなる)「シフト論法」(*shift argument*)に依拠する。すなわち, 世界の中の対象全体に対して適用されるある操作をほどこしたとき, 操作前後の世界同士になんの性質の違いもなければ(区別できなければ), 対称性により, それらは同等の世界であろう, というものである。これにより, たとえばあらゆる物体を空間的に一様に動かしても, その前後で世界の状態は全く区別ができないことから, 絶対空間の存在が拒否される。ただ, 関係説にも問題がないわけではない。関係説は掌性 (*handedness*) — 一对の左右の手のように, ある対象とその鏡像同士を重ねられない性質 — と折り合いがよくないためである。これはカントの「不一致対応者」(*incongruent counterparts*)の思考実験に端を発する問題である。物体の単なる相対的關係だけが記述されたリストにある情報だけに基づいて物体の時空間的な配置を構成することを考えると, 互いに鏡像関係にある対象(不一致対応者)からなる二つの世界が構成可能だが, それらは重ね合わせられないため, 同一とはいえない。もし時空間が単なる物体の相対的關係にすぎないのだとすれば, 内在的な性質としては違いをもたないはずの不一致対応者からなる異なる二つの世界が構成可能である理由が説明できない。それゆえ時空間とは物体の相対的關係以上のものであり, 関係説は妥当ではない, という議論であるが, 関係説はこうした問題に整合的に対処できるかについても論じられる (§ 4.2)。また, 本章ではこうした時空間の実在の問題をベースとしながら, 特殊相対性理論と双子のパラドクス (§ 4.3) や, 一般相対性理論における非決定性に関する穴の議論 (*hole argument*) の問題 (§ 4.4) などが, 類書でよくなされる解説の範囲を超えた近年の哲学的議論も参照しながら扱われている。ニュートン流の実体説は(特殊)相対性理論により葬り去られたと一般にいわれるが, 本書は不一致対称者の問題に踏み込んだあとで, 一般相対論の射程も含めて実体説・関係説についても検討するという議論の流れである。これは類書とはやや異なる構成だろう。

一方, 第5章では, 対称性の問題だけにとどまらないより広い枠組から時空の本質に

関する問題が扱われる。本章でまず議論されるのは、「世界の真なる幾何学」なるものが我々に発見できるかという問題(§ 5.1)や、空間と同様時間についても「真なる時間」というものを発見できるかという、ポアンカレの思考実験に端を発する問題(§ 5.2)、である。このように、第4章で扱われた時空の存在論的な議論に対し、本章は認識論的な色彩の強い内容となっている。また、物理学における決定論・非決定論についてもやや注意深い議論がなされる(§ 5.3)。

第6章では熱力学・統計物理学の哲学が扱われる。熱力学の研究は元来、与えられた燃料からいかにして最も効率のよい(できるだけ多くの仕事量が引き出せる)熱機関をつくることができるかといった工学的・技術的な問題に端を発している。だが、熱現象という系のマクロな性質のうちに統計力学によってミクロな分子運動の力学的ふるまいから解明されることで、熱力学はより深い理論的枠組との関連から把握されるようになった。こうした熱力学と統計力学の関係や理論的な性格自体が、創発と還元、あるいは因果関係と説明の問題といった科学哲学一般からしても興味深い問題となる。しかも、それだけではなく、熱の研究から生まれた熱力学と統計物理学は、物理学の中心にある時間非対称の法則という哲学的難問を提供する。このような背景から、本章では、まず、熱機関の研究を中心とした熱・統計力学の概要、とりわけ(物理理論における)確率の解釈やミクロとマクロのレベル間の関係といった話題から始まり(§ 6.1)、平衡状態と不可逆性(§ 6.2)、熱力学第一法則および第二法則(§ 6.3)、エントロピーの概念と粗視化など(§ 6.4)に関する説明がなされる。そして、時間およびエントロピーの非対称性の問題(§ 6.5, 6.7)や、マクスウェルの悪魔(§ 6.6)といった「定番」の話題に加えて、時間・エントロピーの非対称性を説明する際にしばしば導入される「初期宇宙ではエントロピーが低かった」(過去仮説: the past hypothesis)という仮説の根拠に対するひとつの回答となりうる「ボルツマン脳仮説」—現在想定される宇宙が偶然生成されるよりも、あたかも現在の宇宙の中で存在していると誤って思い込んでいる脳が自発的に真空から生成される可能性のほうが高い、とする説—や(§ 6.7)、我々はなぜ未来の出来事を知りえないのか(§ 6.8)などといった認識論的な問題も扱われる。

第7章では量子力学の哲学が扱われる。量子力学の哲学は、物理学の哲学の中でも中心的な研究テーマとなっているが、本章では有名な二重スリット実験における電子の奇妙なふるまいから話をはじめたのち(§ 7.1)、確率と不確定性の解釈(§ 7.2)、非局所性の問題(§ 7.3)、観測問題(§ 7.4)、粒子の同一性の問題(§ 7.5)が扱われる。量子力学が古典論とは異なる特徴をもつ理論であることに注意しながら、实在論(観測に先立って物理系の性質である値は確定している)と局所性(空間的に離れた物理系同士が、

測定によって互いに因果的な影響を与えることはない) という直観的な原理の成立に脅威を与える EPR 相関および NO-GO 定理について説明される。そして、これらの議論を背景としながら § 7.4 では、観測問題が扱われる。量子力学では重ね合わせをマクロなレベルまで拡張できるが、実際、我々はマクロなレベルで重ね合わせを経験しない。したがって、重ね合わせを経験できないマクロなレベルにも理論を埋め込む方法を見つけるか、量子論に反しない何らかの方法でマクロレベルでは重ね合わせが経験されない理由を説明するか、さもなくば量子論を拒否する必要がある。このうちどれを選択すべきかが大まかな観測問題の要諦であり (cf. pp. 151-152)、これは理論の解釈の選択に密接に関連することから、標準的解釈 (いわゆるコペンハーゲン解釈) とは異なる諸解釈 — エヴェレットの解釈 (いわゆる多世界解釈) やボームの理論、さらには GRW 理論など — とそれらの問題点が述べられる。さらに、§ 7.5 では、量子力学における同種粒子の識別可能性・同一性に関する問題が扱われる。同問題は観測・解釈問題などと比べると量子力学の哲学の中でもややマイナーで、これまでの入門書ではあまり取り上げられなかった領域だが、とりわけ近年では盛んに研究がされているホットな領域ということもあってか、本章で扱われていることは注目に値する。

第 8 章 (最終章) では、現代物理学における最先端の話題に関する哲学的な研究テーマが扱われる。ただし、ここでは詳細な説明よりも、今後読者がさらに研究をしていくための足がかりとしての話題紹介という側面が強い。本章のテーマとしては、タイムトラベルやタイムマシンの可能性、物理理論と計算可能性、ゲージ理論、場の量子論、量子重力における見かけ上の無時間性 (timelessness)、物理学の人間科学 (human sciences) への応用、人間原理・多元宇宙論の概念などと多岐にわたり、いずれもいまなお研究がなされている発展途上のテーマに関連している。

以上、駆け足でやや列举的となったが、本書の内容を確認した。本書は物理学の哲学の主要トピックをかなり網羅的に平明な語り口で論じており、数式が少しは登場するもののさほど難解なものではないこともあり、同分野の全貌を把握しながらきちんと学びたい人にとってはおすすめできる一冊である。なお、物理学の哲学を総論的に扱った書籍としてはほかにもたとえば Lawrence Sklar: *Philosophy of Physics* (1992, Oxford University Press), Marc Lange: *An Introduction to The Philosophy of Physics: Locality, Fields, Energy, and Mass* (2002, John Wiley & Sons), Nick Huggett: *Everywhere and Everywhen: Adventures in Physics and Philosophy* (2010, Oxford University Press), David Wallace: *Philosophy of Physics* (2021, Oxford University Press) などがあるが、類書と比較した本書の特徴はとりわけ以下の点にあると思われる。

1. 「解釈ゲーム」としての物理学の哲学というアプローチ：先にも述べたとおり、本書ではいかに物理理論を我々の世界に写像するか、といった「解釈ゲーム」という立場に基づいて議論が展開されている。著者によれば、物理理論の解釈は、精神分析におけるロールシャッハ・テストで使われる染みの模様は何に見えるかをコメントしたり、あるいは音楽作品の楽譜をもとに曲を演奏することになぞえられる (§ 1.3)。染み模様が何に見えるかをいったり、作品をどう演奏するかに関しては様々な方法があるが、それでもそれらは特定の染み模様や楽譜というデータ上の制約に基づく行為である。物理理論の解釈では、その制約は模様や楽譜ではなく、理論やモデルといった数学的な表現となる。このように理論と世界の対応がいかなる関係となっているのかは、物理学の哲学を研究するうえで常々意識しておくべきことである。
2. 現代の最先端の物理学における哲学的問題の紹介：本書は基礎物理学の各分野の大半に関連した哲学的問題を扱っており、全体的にかなりの網羅性の高さをもつのが特色だが、とりわけ最終章では多岐にわたる最先端の話題に関する哲学的問題まで紹介されている。ここでは各話題が概略的な説明となる代わりに、参考文献の提示にとどまらず、著者からの読者への問いかけ(問題)も併せて述べられており、読者の研究意欲をより促す章となっている。こうした現代的な話題をこれほど多岐にわたって紹介する例は類書でもあまり見られない。

ただし、評者にとって若干気になる点も見られる。まず、上記(1)にもある「解釈ゲーム」としての物理学の哲学という著者の基本的立場が(第1章などで堂々と宣言されている割には)本書全体であまり効果的に貫かれているように思われない点である。たしかに、物理学の哲学が何をめざす分野なのかということは、とりわけ物理学の哲学の初学者や、哲学ではなく物理科学に携わる者に対しては特に、明示的に述べておくべき重要な点である。その意味で、理論やモデルが現実世界に対して何をいっているのかを理解する営みであると最初に提示しておくこと自体は有意義である。しかし、「解釈ゲーム」という言葉を導入すると何やら大げさな著者独特の概念装置を導入しているようにも聞こえるが、実際の本書の方針はあくまでも物理学の哲学のオーソドックスなトピックをできるだけ満遍なく概説するというものであり、話題の選定内容は別とすれば、記述スタイルに関して類書と大きく異なるほどの独自性があるわけではない。また、こうした「解釈ゲーム」のアプローチからも派生しうる性格として、著者の物理学観がやや理論中心に寄りすぎの側面は否めない。実際、「物理学者の主な仕事の世界のモデ

ルや理論の構築だとすれば、物理学の哲学者の主な仕事は、理論、モデル、…(中略)… などといった物理学の産物を解釈することである」(p. 8)とあるが、「物理学者の主な仕事の世界のモデルや理論の構築だとす」る見解は、(数理的手法が物理学にとって必要不可欠ではあるとはいえ) 観測や実験に携わる物理学の実践からはやや離れているようにも思われる。(もっとも、こうした理論中心的な物理学観は著者のみならず、物理学の哲学者全体にしばしばある程度は見られる傾向かもしれない。)

ただし、上記の点は本書全体の価値を損なうものではない。本書は本文だけで 208 頁(一頁あたりおよそ 400~500 語程度として本文約 8 万~9 万語程度か)となかなかのボリュームがあり、物理学の哲学の初学者が最初に読むべき本としては強く推奨できるわけではないが、同分野の話題に興味をもった人がより体系的・本格的に学ぼうとする上で磐石な知識を身に付けるためにはよい一冊だと思われる。ただし、電磁気学の哲学的側面に関しては第 8 章の一部を除きあまり主題的には扱われていないので、この領域に関心があれば先に挙げた Lange(2002) の入門書が補完的となるだろう。なお、残念ながら物理学の哲学を総論的・概説的に扱った本で邦語で読めるものは 2022 年時点ではほとんどない。(例外的にはルドルフ・カルナップ『物理学の哲学的基礎』(原著 1966/ 邦訳 1968, 岩波書店) などがあるが、論理実証主義者による著作ということもあり現代的な個別科学の哲学としての物理学の哲学の本としてはややスタイルを異にする上、邦訳は絶版であり入手困難である。) そのため一例であるが、物理学の哲学を概観したい初学者はまず、先にも挙げたオックスフォード出版局の Very Short Introduction シリーズから近年刊行されている著書 Wallace(2021) を読み、同書の内容の延長線上でより体系的・網羅的に物理学の哲学の総論を学びたい人がその次などに本書を読むという学習方針・機会が本書により提供されるだろう。

(今井慶悟, 京都大学大学院文学研究科 修士課程: imai.keigo7@gmail.com)