The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	物理学の発展と科学的実在論
Author(s)	森田, 邦久
Citation	メタフュシカ. 2003, 34, p. 87-96
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/66681
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

物理学の発展と科学的実在論

森田邦久

一　序論

本論文の目的は、物理学研究の方法論と物理学の発展について議論することである。この際にわれわれは「モデル」という概念を導入する。たとえば、火星の運動を議論するときにわれわれが考慮する対象は火星と太陽のみである。そして、これらを二つの質点（質量のみがある大きさのない点）と考え、これらの重力相互作用とニュートンの運動の三法則を用いて火星の運動を記述するのだが、「モデル」とは、このようにある特定の現象を記述する際に必要な近似法（先の例だと火星と太陽を質点と考えるなど）・要素（先の例だと火星と太陽、そして重力）・法則（先の例だと重力法則や運動の三法則）の組のことである。この「モデル」という概念を用いて「物理学とはなにか」と答えるならば、

物理学の研究とは、ある現象を記述するのに適切なモデルを作ることである。

と言えよう。さて、既存のモデルがうまく現象を記述できないときにはモデルを修正するわけだが、修正の仕方には次の三つパターンがある。一つ目は近似法の修正、二つ目は要素の修正、最後に法則の修正である。ところで、上記の二つ目の修正において、われわれがいままで観測したことのないような要素をモデルに付け加えることがあるが、科学において「アド・ホック」とみなされるような理論修正の多く―たとえば「フロギストンは負の質量を持つ」など―は、このような新たにモデルに付け加えられた要素に関するものが多い。そこでわれわれには、現象を記述するために新たに付け加えられた要素の実在性を判定するための基準が必要だと考えら

れる。そのような基準として本論ではハッキングの「介入(intervening)」の概念を取りあげ議論する。

二　物理学の研究はどのようにして行われるか

論理実証主義以降、科学的研究の方法論に関する議論や科学とは発展するのか否かといった議論が活発になされてきた。しかし科学は、大雑把に言っても、物理学・化学・生物学・地学などの分野に分かれ、それぞれに異なる伝統があり、すべてをまとめて議論することは難しく、従来の試みはいずれもうまくいったとは言いがたい。そこで本節では、科学の中でも特に物理学を念頭におき、物理学研究はどのように行われるかを議論したい。

物理学における世界観（これが生物学をも含めた科学全体の世界観であるとは限らない）では、世界は数種類の構成要素から成り立っており、それらの相互作用とそれらがしたがう運動方程式によってさまざまな諸現象が生起すると考えられる。しかし、たとえば天体現象を記述するのに、それを構成する原子まで考慮するのは不経済であろう。さらに、原理的に正確に解くことができるのは二体問題までであり、現実に多くの物体同士が相互に作用しあっている世界を記述するためにはそれぞれの問題にあった近似法を用いなければならない。そこで、ある現象を記述するために用いられる要素や近似法、原理・法則の組をここでは「モデル」と呼ぼう。それぞれの問題にはそれに応じた適切なモデルを選択しなければならない。たとえば、ケプラーの三法則を導く際に適切なモデルはどのようなものか。要素としては、太陽と惑星の二つだけで十分である。そして、これらは質点として扱われる。「対象を質点として扱う」とは、その対象を、その対象の質量すべてがその重心に集まったとして大きさを考えず点として扱うということである。そしてこの二つの質点間に距離の逆自乗に比例する重力が働くとし、さらに運動の三法則を適用することによってケプラーの三法則は導出されるわけである。

さて、なるべく単純なモデルを用いて現象が記述できればよいのだが、現実の世界は複雑に各要素が作用し合っているので、すべての現象をある単純なモデルで記述しきることはできない。たとえば、上記のモデルは、ケプラーの三法則を導き出すのには有用であるが、現実の惑星の運動はケプラーの三法則からわずかにずれる。この「ずれ」を正すためには、上記のモデルを修正する必要があるわけである。具体的には、先のモデルでは二つの質点間の相互作用しか考慮しなかったが、摂動（perturbation）という近似法を用いて他の（既知の）惑星の影響を考慮することによってこのずれを正すこと

ができる。だが、それでも説明できないずれが存在することがある。このような場合はどのようにすればよいのか。ひとつの方法は、既知の惑星以外の惑星があると仮定したモデルを作ることである。そしてそれによって観測値と理論値が合い、なおかつ、その未知の惑星が観察されたなら、そのモデルは、（観測値と合わなかったモデルより）より現実に近い正確なモデルということになる。たとえば、海王星の発見や冥王星の発見などがこれに相当する。しかし、それでもなお観測値に合わない場合、もしくは当の新しい要素が発見されない場合はどうするのか。モデルの「法則」に手を加えざるを得ない。惑星の運動の例で言うと、水星の近日点移動の問題がそれである。「近日点移動」とは、ケプラーの法則では惑星は太陽を焦点とした楕円軌道を描くはずなのだが、実際にはその楕円が閉じていず、太陽に最も近づく位置（近日点）が少しずつ移動する現象である。この現象は、水星の場合、「ヴァルカン」という未知の惑星を導入して説明することも試みられたが、当のヴァルカンは観察できなかった。このようなとき、モデルを成り立たせている最後の部分である「原理・法則」を変更するのだ。実際、水星の近日点移動は一般相対性理論によって正確に記述された。ただし、アインシュタイン自身は水星の近日点移動を記述するために一般相対性理論を生み出したわけではないが。

さて、いままでの話を一度まとめておこう。モデルには三つのファクターがあった。「近似法」「要素」「原理・法則」の三つである。ある現象を記述するために、これら三つを適当に選択してモデルを作る。それで現象がうまく記述できなければ、近似法を修正する。それでもうまくいかなければ、要素を、そして最後に原理・法則が手を加えられる。ここで、「近似法」をほかの二つと分けたが、厳密には、モデルの修正とはそもそも近似の修正に他ならない。なぜなら、モデルというものは現実の世界を近似的に表現したものなのだから。先に挙げた例に即して述べると、第一段階として説明した「近似法の修正」とは、太陽と問題になっている惑星とのふたつの要素しか存在しないとされていたモデルに、既知の惑星からの相互作用を取り入れることであった。そして、第二段階の「要素の修正」は、既知の惑星に未知の惑星の相互作用を加えることであった。こうしてみると、第一段階の補正と第二段階の補正の違いは、単に新たに取り入れる相互作用が既知の惑星のものからか未知の惑星のものからかの違いしかないのである。しかし、その未知の惑星も発見される以前から現実世界に実在していたと考えるならば、われわれにとって未知であっただけであり、それをモデルに取り入れることは、既知の惑星をモデルに取り入れることとなんら変わりはない。さらに、第三段階において法則が変更されたが、こ

れも、一般相対性理論の立場から見ると、ニュートン力学において無視されていた効果を取り入れたという意味ではやはり「近似の修正」であり、「より現実に近い」モデルが作られたのである。

以上の見方の利点のひとつは、いわゆる「デュエム＝クワイン・テーゼ」のような相対的な議論に対して答えることができることである。デュエム＝クワイン・テーゼとは、クワインの言葉を引用すると、

> （［引用者注］理論と）対立する経験がひとつでも生じた場合、どの言明を再評価すべきかについては広い選択の幅がある。（Quine 1953:42）

というものである。だが、

> 物理学研究とは、現象を、世界を簡略化して表現した「モデル」によって記述する研究である。

と考えると、確かに、どのファクターを修正するかには選択の幅があるが、結局、それによってモデルがより現実に近くならばそれはより真なる理論へと近づいたということになろう。

三　物理学の発展とは何か

さらに、上記のような物理研究の方法論を採用すると、「発展」についても議論しやすくなる。まずもう一度、前節での議論をひとつひとつ振り返ってみよう。

（1）これまでのモデルが既知ではあるが簡略化のために省略した効果を取り入れた新しいモデルで再計算を行うことにより、既存のモデルでは説明できなかったような現象を記述する場合。おそらく、物理研究においてもっとも多いのはこれであろう。たとえば、固体物理学においては、物質の性質は基本的に電子同士の相互作用で決定されると考える（固体物理学におけるモデルのほとんどは原子内部の構造までには立ち入らない）。だが、固体内の電子は無数にあり、これらの相互作用をすべて考慮するのは現実的に困難なのでさまざまな近似法が用いられる。その中にバンド理論（band theory）と呼ばれるものがあり、これは電子をほとんど自由電子とみなして（すなわち電子間の相互作用をそれほど取り入れず）金属の性質を説明するのに大きな成功を収めた。ところが、この理論によると伝導体であるはずの物質が絶縁体であることが、一九三七年、ド・ボアとフェルベーによって発

見された（de Boer and Verwey 1937）。これに対してモットは、この事例はバンド理論が電子間相互作用の重要性を無視していたことによるものであると考え、電子間相互作用の働きを考慮することによってこの事例を解決した（Mott 1937）。この際、ただいままで省略された効果を取り入れるだけでなく、どのようにそれが効いてくるのかを説明できる必要があり、実際に学術誌などに投稿される物理論文には必須である。

（2）次に、われわれに未知の要素を付け加えたモデルによって現象を記述する場合である。前節で挙げた海王星や冥王星の例がそうであり、新しい素粒子の導入もこれに相当するだろう。「実在」が問題になってくるのはこのパターンである。論理的には、それを付け加えることによってさまざまな現象を記述できるようになるような要素などいくらでも考えられるからだ。たとえば、水星の近日点移動の問題も、水星より内側の軌道に未知の惑星を想定することで記述しようとする試みも行われたが、たとえそれによって理論内部で整合的に現象を記述できても、実際にその未知の惑星が発見されなければ、そのような理論は真であるとは言えないだろう。それゆえ、このような立場では、単に整合的に現象を記述すること、ファン・フラーセンの言い方を借りると「現象を救うこと（to save the Phenomena）」（van Fraassen 1980）だけが科学の目的となるのではなく、仮にある対象を要請することによってある現象を記述できたとしても、その要請された対象を「発見」することが次の課題となるのである。実際、過去において「誤っている」として捨てられた理論も、たとえば、「エーテル」や「フロギストン」のような「新しい実在」の導入により現象を説明した理論であることが多い。

（3）最後に、従来、基礎的な原理・法則と考えられていたものを修正することによってこれまで記述できなかった現象を記述する場合である。たとえば、相対性理論や量子力学の誕生がこれに当たる。（1）で示したモデルの修正は、簡略化のために省略していた既知の効果を取り入れるようなものであった。それに対してここで示す修正は、「いままで原理や法則だと思われていたものはより深いレベルの原理や法則の近似に過ぎない」と認識することによってなされる。それゆえ、新しい理論が生まれたとき、同時になぜいままでの理論がうまくいってきたかの説明も必要になる。すなわち、量力学においては、いままでわれわれが観測してきたエネルギーはプランク定数が無視できるほど高いレベルであり、それゆえエネルギーの不連続性が見えなかったのであるとか、また、相対性理論においては、いままでわれわれが観測してき

た対象は光速に比べて充分に小さな速度であったから、などといったことであり、もちろんこれらのことは数式で表現できねばならない。つまり、量子力学ならプランク定数hを0にしたときに、相対性理論の場合なら、v/cを0にしたときに、古典力学の運動方程式が導出されるということである。

さて、このような観点による議論では、物理学が発展していくという過程は、世界に対するモデルの近似の精度を上げていく過程だともいえる。冥王星や海王星のないモデルよりもあるモデルのほうが、エネルギーが連続的であるようなモデルよりエネルギーが不連続であるようなモデルのほうが、世界をより正確に記述しているのである。そうすると、競合する二つの理論があるとき、これらの優劣は単純にどちらがより正確な世界のモデルを作り出せるかということになる。どちらがより正確なモデルであるかということは、どちらがよりよく「現象を救う」かということになるわけだが（それゆえ、パラダイム間の比較は必要ない）、すでに述べたように、新しい要素をモデルに取り込むことによって現象を記述できるようになった場合は、それで話が終わるわけではなく、その新しく取り入れられた要素の実在性の探求ということが問題となるだろう。次節でそのことについて議論しよう。

四　ファン・フラーセンの反実在論とその批判

科学的反実在論は、操作主義（operationalism）や道具主義（instrumentalism）といった立場からなされてきたが、これらはどちらも、観察不可能な対象を指す語（理論語）を観察可能な対象を指す語（観察語）によって表現できるという立場であり、有意味なのは観察語のみであり理論語を無意味な言語と考えたので、理論語と観察語を厳密に区別する必要があった。しかしハンソンによって観察の理論負荷性が提唱されて以来（Hanson 1958）、理論語と観察語を厳密に区別するこれらの立場は説得力をもたなくなってきた。そこでここでは、反実在論的な議論の代表としてファン・フラーセンによる構成的経験主義の立場からの議論を検討しよう。彼は観察可能な対象の実在のみを認め、観察不可能な対象の実在を拒否するのだが、ただ、操作主義や道具主義と違って理論語を無意味だとはしない。しかし、彼によると、

> 科学の目的は、われわれに経験的に十全な（empirically adequate）理論を与えることであり、ひとつの理論の承認に信念として含まれるのは、それが経験的に十全だという信念だけである。（van Fraassen 1980: 12）

のであるから、理論によって要請される対象の実在を認めずとも、観察可能な部分（実験データなど）が理論と整合的であれば、科学はその目的を達成できるのだ。もちろん、彼の反実在論においては観察可能な対象と観察不可能な対象を厳密に区別できるということが重要となるわけだが、これに対して、実在論者側は観察可能であるものと観察不可能であるものの区別はあいまいであり、それゆえ観察可能な対象と観察不可能な対象を厳密に区別することはできない、と反論する。しかし、このような反論に対してファン・フラーセンは次のように答える。

器具を通しての観察と、データからの推論とは、区別できない。電子顕微鏡を通して、観察ができるか？光学顕微鏡を通しては？虫眼鏡を通しては？窓ガラスを通しては？

この反論に対して私は、程度の違いは違いではない、という考えを不合理へと導くことによって答える。なぜなら、その考えによれば、すべての人が貧乏人だ、ということになるからである。つまり、もしある人が一ペニーしかもっていなければ、その人は貧乏人である。そして、貧乏人が一ペニーをもらっても、やはり貧乏人である。したがって、数学的帰納法により、すべての人は貧乏人である。私はこの連鎖（sorites）の詭弁を信じてはおらず、したがって、その反論を信ずる気になれない。

(van Fraassen 1980: 214)

つまり、どこで線が引けるかがあいまいであっても、金持ちと貧乏人との区別が厳然としてあるように観察可能性と不可能性との区別は厳然としてあるというのである。だが彼の議論は科学的実在論への反駁となり得るであろうか。まず感じる疑問は、なぜ、肉眼による観察だけがそれほど特別視されるのかということである。直接肉眼で観察できる巨視的対象であっても、われわれがある対象の「実在」を信ずるのは、結局は間接的な証拠によるものでしかない。つまり、ファン・フラーセンのこだわる「観察可能性」というものも、それが直接にわれわれにその対象が実在するという証拠を与えてくれるものではなく、見えたものが実在すると言うためには、まずは因果関係や二値原理を認めなければならないであろうし、さらには光の反射であるとか屈折であるとかに関する理論も認めなければならないだろう（それ以外にもいろいろと条件があるかもしれないがここでは深入りしない）。そうすると、肉眼による直接的な観察と器具による観察には「程度の違い」すらないのではないだろうか。

だが、直感的に言って、やはり肉眼による観察と、たとえばブラウン運動を介しての原子の観察や霧箱による素粒子の観察とは違う気がする。なにがちがうのか。微視的対象、たとえば原子の場合、まずドルトンによって理論的に要請され（ドルトン　一八〇八）、その後、アインシュタインによりブラウン運動を介して原子の実在が証拠付けられることが議論され、実際にペランによって実験的に証明されたわけだが（ペラン　一九一二）、このように、まず理論的な要請があって後に観察方法が考案されている。このような仕方で観察された対象は、それを要請する理論とそれを観察する方法の背後にある理論との関係が密接であり、そこが肉眼による観察と異なる。巨視的対象は、その存在が理論的に要請されてなくとも原理的に観察が可能なのであるが、微視的対象の場合は、その存在が理論的に要請されて初めて観察も可能になる―というよりも、それらを観察するための器具自体がその理論的要請の後につくられることが多い。

ではやはり器具を用いる観察はすべて肉眼による観察と区別すべきか。たとえば望遠鏡や光学顕微鏡による観察はどうだろうか。まず、これらの観察器具は、肉眼で直接観察可能なものをより詳細に見ることが可能である。たとえば、あまり趣味はよくないが、望遠鏡で隣家の部屋の様子を観察したとしよう。この様子と、実際にその部屋へ行って肉眼で観察した様子とが同じならば、少なくとも肉眼の観察と同程度には望遠鏡の観察も信用できよう。同様に肉眼で観察可能な程度の細かい文字を顕微鏡でのぞいたときに肉眼で見たときと同じように見えるならばこれもまた肉眼の観察と同程度には信用できよう。さらに、さきほど肉眼による観察とそれ以外の観察の違いで述べたことは、その対象を要請する理論とそれを観察する方法が密接に関係することが問題であるということであった。ところが、これらの器具によって観察可能な対象は、原理的にはその存在が何らかの理論によって要請されずとも発見され得る。たとえば、海王星や冥王星はその存在が理論的に要請された後に発見されたが、夜空を高倍率の望遠鏡でつぶさに観察していれば、偶然に発見することも十分あり得ただろうし、そのときにそこに何かが見えるということは、それが存在するということ以外の説明はできないであろう（少なくとも肉眼により観察可能なものの実在を認めるならば）。同様に、ブラウン運動自体は、これは顕微鏡により発見されたものだが、誰に要請されたわけでもないのに発見された。だからこの運動自体は実在するだろう。ただし、この運動は先にも述べたように原子実在の証拠とされたわけだが、その運動が発見された当初は、この運動が原子―でなくともなにか微視的な対象―によって引き起こされたものだと考えられたわけではない（実際、ブラウン運動が原子の存

在と結びつけられるまでに八十年近くの年月が必要だった！）。ブラウン運動が原子の実在の証拠となるためはそもそも原子に関する理論が必要であり、それゆえ、ブラウン運動による原子の観察と肉眼による直接観察には違いがあるだろう。

では、われわれは原子のような理論的にその存在が要請される対象の実在をどのように考えればよいのか。ここで、ハッキングが提案した「介入」という概念を考察したい。彼は、彼の友人からニオブの球体上の電荷を増やすために陽電子をそれに「吹きかけ」、電荷を減らすために電子を「吹きかける」という話を聞いて以降、実在論者になったという。彼自身の言葉を引用するなら、

> 私に関する限り、吹きかけることができれば、それは実在する（Hacking 1983: 23）

ということになる。つまり、ある対象をこちらが介入して（電子や陽電子を吹きかけ）意図したとおりの結果を生み出すことができる（電荷を増減させることができる）ならばそれは実在するのである。たとえば、顕微鏡での観察の際、標本の位置や大きさを示すための格子（これには目安のために文字が書かれている）があるのだが、これはまず、紙に手で書かれ、それを写真により肉眼によっては観察できないほど縮小し（つまりファン・フラーセンの基準でいうとその文字の実在が言えなくなる）その上を金属により被膜する。これを顕微鏡で観察すると紙に手で書いたとおりの文字が、つまりこちらが意図したとおりのものがそこに見えるのである（Hacking 1983: 203）。

ところで、介入できるということが実在の論証になるわけではないだろう。しかし、単に「観察」といういわば受動的な証拠よりは説得力のある基準となりうる。それに、たとえば、いったんはその実在が認められながらそれが否定されたようなもの、エーテルやフロギストン、カロリックなどは介入することができなかった、ということも、少なくともこの基準を満たした構成要素を含むモデルを信用するひとつの基準となるだろう。

注

本論で参照・引用した著作・論文は以下の通りである。

Boyd, R. N. (1984) "On the Current Status of Scientific Realism", *The Philosophy of Science*, ed. R. N. Boyd etc., Cambridge, Massachusetts and London, England,The MIT Press, 195f.

de Boer, J. H. and Verwey, E. J. W. (1937), "Semi-Conductors with Partially and with Completely Filled 3d-Lattice Bands", *Proceedings of the Physical Society*, 49, London, 59f.

Mott, N. F. (1937), "Discussion of the Paper by De Boer and Verwey" *Proceedings of the Physical Society,* 49, London, 72f.
Hacking, I. (1983) *Representing and Interpvening,* Cambridge, Cambridge University Press. (イーアン・ハッキング『表象と介入』渡辺博訳、一九八六、産業図書)
Hanson, N. R. (1958) *Pattern of Discovery,* Cambridge, Cambridge University Press. (ハンソン『科学的発見のパターン』村上陽一郎訳、一九八六、講談社学術文庫)
Kuhn, T. S. (1996) *The Structure of Scientific Revolutions,* Chicago and London, The University of Chicago Press, 3rd ed.
Lakatos, I. (1978) *The methodology of scientific research programmes,* Cambridge, Cambridge University Press.
Laudan, L. (1977) *Progress and Its Problems,* Berkeley, University of California Press. (ローダン『科学は合理的に進歩する』村上陽一郎・井山弘幸共訳、一九八六、サイエンス社)
Putnam, H. (1984) "What is Realism?", *Scientific Realism,* ed. J. Leplin, Berkeley,University of California Press, 140f.
Quine, W. V. O. (1953) "Two Dogmas of Empiricism", *From A Logical Point of View,* Cambridge, Massachussetts and London, Harvard University Press, 20f. (クワイン「経験主義のふたつのドグマ」飯田隆訳、『論理的観点から』収録、一九九二、勁草書房)
van Fraassen, B. C. (1980) *The Scientific Image,* Oxford, The Clarendon Press.
ドルトン(一八〇八)「化学の新体系」廣重徹訳(『現代の科学I』所収、湯川秀樹・井上健責任編集、一九七九、中央公論社)。
ペラン(一九一二)『原子』玉虫文一訳、一九七八、岩波文庫。

(もりたくにひさ　哲学哲史学史・博士後期課程)