構造実在論におけるカッシーラー及びポアンカレ

科学哲学の議論に寄せて

髙橋 菜穂

序論　科学哲学の議論

科学的実在論の一つの立場に構造実在論という立場がある。しばしばエルンスト・カッシーラーとアンリ・ポアンカレは、この立場の先駆者として引き合いに出されるが、その評価が妥当であるのか検討することを本論の目標とする。

科学哲学における科学的実在論論争とは、目に見えない対象、例えば電子や電磁場などの理論的対象が、実在するのか、実在するとすればそれをどのように理解すべきかをめぐる論争である。この論争が、現在の実在論対反実在論という形式に定式化されたのは 1970 年代以降である。1975 年にヒラリー・パトナムが実在論陣営から「無奇跡論法」を提示し、1983 年にラリー・ラウダンが反実在論陣営から「悲観的帰納法」を打ち出した。これにより、実在論者にとっての課題は、いかに無奇跡論法を擁護しつつ、悲観的帰納法に応答するかというものになった。

本論で扱う構造実在論とは、脱フロギストン空気[1]やエーテルなどの理論的対象が、新しい理論的対象に置き換えられた際に数学的・関係的構造が保持されると主張する立場である。例えば、脱フロギストン空気は後に酸素という理論的対象に置き換えられるが、この時、燃焼反応における気体の体積比という定量的な関係が保持されると解釈される。また、エーテルから電磁場であったら、波動方程式などの数学的構造が維持されると考えられる。このように、構造実在論は理論的対象を否定しつつ、理論の構造が理論転換を通じて保存されていると考えられるため、この点で悲観的帰納法に対する応答を与える。

本論の構成は以下の通りである。まず、科学の目的をどのように理解すべきかという点を手がかりに、「無奇跡論法」と「悲観的帰納法」を概観する。その上で、両者を折衷する立場としての構造実在論を整理し、カッシーラーおよびポアンカレにおける理論的対象と理論変化の理解を検討する。

1. 無奇跡論法と悲観的帰納法

[1] 「脱フロギストン空気」はプリーストーリーによるフロギストン理論内の理論的対象である（cf. 戸田山 2015: 84; 三澤 2024: 141）。

科学的実在論論争の実在論側である無奇跡論法と反実在論側の悲観的帰納法を順に見ていく。無奇跡論法（no miracles argument）は、パトナムによる最善の説明の一種であり、「科学の成功を奇跡にせずに説明するには成功した科学理論が仮定した対象は実在するとしなければならない」という主張である。仮に、科学理論が論拠とする対象がないならば、つまり実在する対象がないのに、科学の予想が当たっているのなら、それは奇跡となってしまうのではないかという考えである。無奇跡論法は、科学の成功を奇跡にしないで説明したいわけだが、その根拠を「成功した科学理論」に持ってくる。では、ここでの「成功」とは何かを考える必要がある。この科学理論の成功を戸田山和久は以下のように措定する。

> ①その理論が技術開発に応用され有用な装置や方法を生み出したこと。
> ②その理論から導かれる予言がよく当たってきたこと。
> ③いろいろな方法でいろいろな科学者が行ってきた実験の結果がそろっていること（収束と呼ばれる）。（戸田山 2015: 56）

相対性理論に即して考えてみよう。①については、原子論が原子力発電という技術に応用されている点が挙げられる。原子核分裂によって生じるエネルギーを利用するこの技術は、原子や原子核という理論的対象を前提としなければ成立しない（榎本 2009: 35–40）。②については、原子論から導かれる予測が、実験結果と高い精度で一致してきたことが挙げられる。たとえば、ブラウン運動から導かれる粒子の運動の統計的性質は、実験的に確認されている。③は、特に重要である。原子の存在は、特定の一種類の実験によってではなく、化学、熱力学、統計力学、光学など、異なる分野・異なる方法による実験結果が相互に一致することで支持されてきた。このような独立した証拠の収束は、単なる偶然や道具的有用性では説明しにくい。

上記の①〜③を見ていくと、確かに原子や原子核という理論的対象は、直接観察されないが、強固な経験的根拠に支えられ、実在しているように思われる。無奇跡論法の主張によれば、このような科学理論の成功を一番上手く説明できるのが科学的実在論であり、無奇跡論法の目的は、科学理論が措定する理論的対象も含めて、科学理論をそのまま受け取ることである。

この無奇跡論法は、科学が成功してきた経験を根拠に、その理論が真に近いと正当化しているように見える。この正当化の方法であると、説明になっていないという指摘がある。

ラウダンによる悲観的帰納法（pessimistic induction）は、戸田山によると、以下のように無奇跡論法を批判している。

> 科学の歴史を繙くと、成功していた理論でも、いずれ文字通りには偽であることが後になって判明したものの方が多い。したがって、現在のところきわめて成功している理論も将来には誤りであることが判明するだろう。（戸田山 2015: 80; cf. Laudan 1981）

このように悲観的帰納法は、無奇跡論法と同様に科学史を根拠とした主張であるが、その捉え方は大きく異なる。無奇跡論法が、科学の成功に着目し、その成功を説明するために理論的対象の実在を擁護するのに対して、悲観的帰納法は、成功していた理論でさえも結局は否定されてきたという事実に着目し、このことから枚挙的帰納法によって現在、上手くいっている理論的対象も将来的には誤りであることが判明するだろうと考える。

悲観的帰納法のこの主張から、理論的対象の実在を前提として、科学理論を擁護する無奇跡論法は強い制約を受ける。なぜなら、科学理論はほとんど常に理論的対象への言及を含んでおり、理論が否定されるときには、それらの対象へのコミットメントも同時に疑わしくなるからである。この議論とは関係ないが、悲観的帰納法を唱えたラウダンは、この点から科学を真理追求の営みとして理解することに否定的であり、科学理論の問題解決能力に注目した。

しかし同時に、悲観的帰納法は、実在論者に対して、理論転換を通じて否定されない要素は何かを問う議論でもある。すなわち、科学理論のどの部分が否定され、どの部分が保持されてきたのかを明らかにすることによって実在を擁護するという道が示された。この意味で、悲観的帰納法は、逆説的に、科学理論のうち信じるべき部分を提示する役割を果たしている。

科学的実在論論争は、この二つの主張を直線の両極に置いた場合に、その間のどこに主張の重点を置くかの議論になっていて、故に両者の主張が出揃うことで現在の科学哲学の議論の基本的な問題構図が形成されたと言える。両者の真ん中あたりを取ると、「成功している部分は信じるが、理論的対象は信じない」という態度に落ち着く。そこで、構造実在論は、この態度を定式化しようと試みる。科学の成功している部分を「構造」に限定して、それが理論変化の前後で維持されていると主張するのだ。

2. 構造実在論（structural realism）

構造実在論は、上記のように無奇跡論法を維持しながら悲観的帰納法を乗り越える議論として支持されている。構造実在論がどのように無奇跡論法と悲観的帰納法を両立させるのかを確認するために、エーテル理論の歴史を振り返ってみる。エーテルは長い歴史を持ち、パルメニデスやデカルト、カントによって語られているが、今回は 17 世紀以降のエーテルを扱う。

19 世紀後半まで、光は波動であると考えられており、光の媒介が必要であると考えられていた。1690 年の『光についての論考』においてホイヘンスは、音とのアナロジーを引き合いに出し、光も伝わるのに、空間を満たす空気とは別の媒質「エーテル」を必要とするとした。ホイヘンスは、そのエーテル粒子の運動を用いて、光の回折、反射、屈折を説明することを可能とした（小山 2019: 72）。フレネルは、光を横波とみなし、干渉や回折、偏光などの現象を弾性体であるエーテルを用いて説明した。そして、マクスウェルは、当時、全く別のものと考えられていた光と電磁気学現象において、エーテルを媒質として伝播するという推論を与え、光学と電磁気学の融合に一役買った。

このようにエーテルは電磁場の研究に非常に貢献してきた。それにもかかわらず、このエーテルを検出するための実験が何度も行われ、結局検出されなかった。そして光の媒介は存在せず、エーテルの振動だと考えられていたものは、電磁場の振動であると考えられるようになった。エーテルは、様々な現象の説明に成功していたにもかかわらず、結局なかったものの代表例として、つまり科学の失敗として、悲観的帰納法の論拠としてよく用いられるに至った。

実際に存在しないにも拘らず、現象を説明するとはどういうことだろうか。構造実在論はこれに対して、エーテルは存在しなかったが、エーテルが依拠していた数学的構造はあったと言えると主張する。つまり、エーテルの振動も場の振動も共通のマクスウェル方程式に従っており、そこに構造の連続性があると構造実在論者は考える。構造実在論は、主に二つに分けられる。認識論的構造実在論（以降 ESR）と存在論的構造実在論（以降 OSR）である。以下順に見ていく。

3. 認識論的構造実在論（epistemic structural realism）

ジョン・ウォラルは、認識論的な構造実在論を再提唱し、現代の科学哲学に組み込もうとした。彼によれば、理論交代を生き延びるのは、理論的対象の性質ではなく、数学的構造である。フレネルとマクスウェルのエーテルの例では、弾性固体エーテルという実体は存在しなかったが、光の干渉や回折を表現する数学的構造は存在した。この意味で、エーテルというマクスウェル方程式に従う物質はなかったが、この方程式に従う何かはあったと言える。

ウォラルの主張に立ち入ってみよう。彼が ESR を支持する動機の一つは、ポアンカレとデュエムの主張を両立させる立場の確立である。両者の主張の一方には、成功した科学理論が現実の何かを捉えていると考えなければその成功が説明できないという、実在論を支持する議論があり、他方には、理論転換の際に、理論的対象の同一性に全面的にコミットすることへの強い制約がある。これら二つの議論は、現代の科学哲学において、無奇跡論法と悲観的帰納法として対応づけられてきた（Worrall 1989: 101）。ポアンカレは、科学理論において対象はどんどん変化していくと考え、理論における数学的関係や構造については、理論変化を通じて保存されると考えた。一方、デュエムは、理論的対象は、関係的・構造的秩序の外皮にすぎないと考える一方で、物理理論の目的を自然の真の構造の記述ではなく、経験法則の秩序づけにあると捉えた（カッシーラー1979: 166, 326）。

ウォラルは、この両者を同時に満たす立場として構造実在論を打ち立てたのである。彼は自身の立場を「ESR」とは呼ばないが[2]（戸田山 2015: 196）、実際には存在論的主張を避け、つまり、理論が措定する対象やそれが持つ性質が世界においてどう存在するのかを規定しようとする形而上学的主張を避け、構造レベルのみにコミットメントする点で、認識論的な立場を取っ

---

[2] 後に出てきた存在論的構造実在論に比べると、認識論的であることから、ウォラルは認識論的構造実在論とされる。

ていると言える。言い換えると、ウォラルが構造実在論をもってして主張したいことは、世界がいかなる実体から構成されているかを規定することにはなく、科学理論の成功に照らして、正当に信じることのできる内容がどこまでかを限定する点にある。この意味で彼の構造実在論は、存在論的主張ではなく、認識論的な節度を示す立場として理解できる。

ウォラルは、科学的実在論を、認識論的構造実在論を用いて主張することによって、形而上学的な議論を回避することができ、そこに利点があると考える。ウォラルが批判する「形而上学的」とは、理論が措定する対象の性質や本性について、経験的成功から直接には支持されない主張を行うことである。その利点を以下のように述べる。

> 構造実在論者は、言い換えれば、単に次のことを主張する。すなわち、その理論の巨大な経験的成功を考慮すれば、宇宙の構造は（おそらく）量子力学的なもののような何かである、ということを。量子状態の性質を、われわれがそもそも理解する必要があると考えることは誤りである。ましてや、それを古典的な語で理解する必要があると考えることは、なおさら誤りである。（もちろん、これは、隠れた変数プログラムが自明に出発不能であった、とか、それに取り組むことが何らかの意味で自明に誤っていた、と主張することではない。ちょうど、構造実在論者が、重力のデカルト的還元の試みは最初から破滅する運命にあった、と主張する必要がなかったのと同じである。唯一の主張は、究極的には、証拠が道を導く、ということである。もし、あらゆる努力にもかかわらず、われわれのお気に入りの形而上学的仮定を組み込む科学理論が構築できないならば、その原理がどれほど強固に定着していようとも、また過去にどれほど実りあるものであったとしても、それらは究極的には放棄されなければならない。）（Worrall 1989: 123）

この指摘は、科学的実在論がしばしば前提としてきた理論が措定する対象がどのような性質を持つのかという「性質へのコミットメント」が形而上学的であり、歴史的に容易に捨て去られてきたという認識に基づいている。ウォラルによれば、どれほど強固に見える形而上学的対象であっても、後続の理論で否定されてしまう。そのため、私たちはそのような対象ではなく、より確実に正当化できる構造のレベルにコミットするべきである。これこそが ESR の核となる主張であり、利点である。すなわち、悲観的帰納法が示す「過去理論の対象の持つ性質は繰り返し誤っていた」点を受け入れつつ、構造の連続性を保持することで無奇跡論法にも応えられる。

この点は、ウォラルが次のように述べる箇所とも一致する。

> 私たちの多くは、理論の観測超越的部分を、観測可能な現象の背後にある実在の記述として無反省に受け取っている。（Worrall 1989: 100）

ウォラルは、この「背後にある実在」を語る形而上学的言明こそ慎重に扱うべきだとし、科学的コミットメントは「現象レベルではなく、数式的構造レベル」（Worrall 1989: 119）での連続性に限定されるべきだと主張する。このようにしてESRは、科学の経験的成功を説明しつつ、過去理論の誤りを受け入れられる、認識論的に節度ある実在論として位置付けられる。

4. 存在論的構造実在論（ontic structural realism）

ウォラルにより、ESR が提案された後、レディマンらによって OSR が主張された。レディマンは、ウォラルに対して、以下のように批判する。

> 彼の提案は、我々は、理論の構造的内容をただ信じるべきであるという趣旨で、実在論に対して認識的な制約をかけるべきであると見える一方で、残りに関しては不可知論者のままである。（Ladyman 1998: 410）

前節の引用箇所からもわかるように、ESR は観察不可能な対象とそれが持つ構造という二項関係を前提としていた。レディマンは、ESR は、この「残り」に対して不可知論者にとどまるものであり、実在論として不十分であることを批判したのである。

OSR は、ESR を引き継ぎながらも、新しい方向性を示す。

> 我々は、最善の理論が、それがもつと仮定する実体の最も基本的な存在論的特徴ですら決めることに失敗することを認識する必要がある。そのような曖昧な形而上学的地位を持つ実体の存在を信じることを推奨することは、まさに実在論の代用の形式である。必要とされているものは、そこにおいて個体性の問題は生じさえしないような、全く異なった存在論的基盤への移行である。（Ladyman 1998: 419–420）

この箇所が示すのは、現代物理学においては、理論が仮定する実体がどのような存在論的特徴を持つのか、すなわち従来の実在論においては最低限決定できると想定されてきた個体性や本性的特徴についてさえ、決定することができないという事実である（この点で、問題意識そのものは ESR を受け継いでいると考えられるだろう）。それでいて、科学的実在論を掲げるならば、世界について何らかの存在論的主張を行わない「不可知論者」にとどまることは許されないとレディマンは考える。それゆえ、「形而上学的な地位」を持つ実体の導入を否定する。ここでレディマンが問題にしている「形而上学的地位」とは、理論的対象に存在論的な位置づけを与えることであり、「形而上学的地位」を認めるならば、電子で言うところの「波なのか粒子なのか」を、どの数式的表現によって理論的に与えるのかを一意に決めなければならなくなる。そのような曖昧な存在を実在として措定すること自体が問題である、とレディマンは考

えるのだ。ESR はこの曖昧な対象を残したまま、その理論的対象の「構造のみを信じる」と主張するが、それでは存在論的な問題を根本的には解決できない。

そこでOSRは、対象へのコミットメントそのものを放棄し、実在とは構造のみであるとする。エーテルの事例で言えば、ESR が「マクスウェル方程式に従う何かがある」と述べるのに対し、OSR は「マクスウェル方程式で与えられる構造こそが実在である」と主張する。すなわち、私たちが科学理論を通してアクセスできるのは世界の構造であり、その背後に独立の実体や基体を想定する必要はない。したがって、OSR が主張する「構造のみが実在する」という主張は、ESR とは異なり、実在のあり方について積極的な主張を行うという点で、明確に形而上学的立場である。

5. 二つの立場から

前節までに見たように、現代の構造実在論は、ESR と OSR という二つの立場に分岐してきた。この分岐は、理論交代において何が保存されるのか、そして科学理論がどのような仕方で実在にコミットすべきかという点をめぐる見解の相違として理解できる。そして、この対立は、科学が何を表しているのか、理論的対象の位置づけ、理論変化の理解といった、基礎的な違いに根ざしていることも見てきた。

構造実在論の先駆者として言及される人物は一様ではない。ウォラルは、ポアンカレやデュエムを参照しつつ、理論交代を通じて保存される数学的構造にのみ認識論的コミットメントを限定する ESR の立場を擁護した（cf. Worrall 1989）。一方で、フレンチやレディマンは、ライプニッツやカッシーラーの哲学を参照し、理論が措定する対象へのコミットメントそのものを放棄する OSR を主張している（cf. French and Ladyman 2003）。このように、ESR と OSR は、それぞれ異なった哲学思想に依拠しながら展開されてきた。

これらの整理は必ずしも自明ではない。たとえば、ミケーラ・マッシミは、「ポアンカレとカッシーラーの構造主義的見解」と「ラッセルの構造主義」との和解がいかに困難であるかを指摘している(Massimi 2012)。しかし、ESR の文脈において、数学的構造の保存という一点に着目する限りで、ポアンカレとラッセルが同列に論じられることは理解可能であるとしても、ポアンカレとカッシーラーを同一の「構造主義的立場」として並置することには、少なくとも慎重さが求められるように思われる。ポアンカレとカッシーラーは、ともに数学的・関係的構造を重視する点で共通しているものの、科学理論における理論的対象の役割や、科学の営みの目的、さらには理論変化の理解において、異なる立場をとっている。にもかかわらず、両者はしばしば一括して「構造主義的立場」の先駆者として扱われてきた。

そこで本節以降では、ポアンカレとカッシーラーを単に構造主義的立場として並置するのではなく、科学哲学の文脈に合わせるために、理論的対象の理解、理論変化の捉え方から両者の立場を検討する。そのことによって、現代の ESR と OSR という区分においてカッシーラーと

ポアンカレがどのように考えられるのか論じていく。

6. カッシーラーの立場

カッシーラーが理論的対象や理論変化についてどう考えていたのかを見て行くが、今回論拠としていくのは、主に 1910 年の『実体概念と関数概念』（以降 SF）である。山本義隆によると、1936 年の『現代物理学における決定論と非決定論』（以降 DI）は、SF を乗り越えてゆき、かつ単なる延長線上にあるのではなく、補完物でもない（山本 1979: 294）。DI は、量子力学や相対性理論を扱う一方で、SF においては、19 世紀的な「熱力学的世界像」を保持して論じている。カッシーラー自身もまた、認識論は現代物理学の深化に向き合い、自らも刷新して行くべきだとしている。

しかし、DI は、判断形成を問題とし、個別事象の解説に重点を置いているが、SF においては、概念形成を問題とし、科学の営み一般を論じている（カッシーラー 2019: 41）。もっとも、新カント派の議論においては、概念形成と判断形成は相互に密接に関連づけて論じられることが多い。しかし本論文の関心は、個別の理論や判断の正当化にあるのではなく、科学理論一般がいかなる対象を措定し、理論変化をいかに理解するのかという点の問題にある。そのため、判断形成に焦点を当てた DI ではなく、概念形成を中心に科学的認識の一般構造を論じる SF を本論の主たる論拠として扱う。また、カッシーラーは、（SF において）「その一般的な問題設定の中に表現されている基本的傾向だけは、今日においても堅持し得る、と私は信じている」（カッシーラー 2019: 4）と述べており、SF の基本的傾向を見る分には問題ないと思われる。

SF の基本的傾向を見る際に前提としておくべきなのが、カッシーラーにおける「実体概念」と「関数概念」の区別である。カッシーラーにとっての実体概念とは、個別の物がそれとして諸関係に先立って実在すると想定される対象概念であり、また、感性的知覚により捉えられるものとして理解されてきた対象でもある。これに対して関数概念とは、対象をそのような実体として捉えるのではなく、法則的・関係的構造の中で構成されるものとしての対象である。本論では、この二つの概念の違いを明確化していくのではなく、現在の科学哲学で論じられる理論的対象をカッシーラーの文脈でどのように解釈可能かということを問いたい。その上で、カッシーラーが理論的対象や理論変化をどのように捉えていたのかを検討する。

以上を踏まえて本論に入って行く。カッシーラーは、エーテルなどの理論的対象をどう捉えていたのだろうか。

> 絶対的な剛体や原子や遠隔力という概念を放棄するわけにはゆかない。それゆえ、その性質と本質からしてわれわれの全認識に課せられている制約は、ここではいっそう強烈に自覚される。われわれは、既知の手の届く感性的出来事の世界の背後にある表象されない要素に誘われるということを繰り返し経験するし、同時に、われわれがその要素を捕捉し分

節化しようとしても、その要素からは理解可能な意味を何ひとつ獲得できないという事態に再三直面する。（カッシーラー 1979: 147）

私たちは、それがいずれ放棄されるとわかっていても、理論的対象という概念に繰り返し惹きつけられる。それは実験データと矛盾しないし、それは「現象の彼岸にある」実在を捉えているように感じさせるが、感性的な出来事の裏の手に届かない対象を捉えられることを意味しない。ただ「この像は、無規定の感覚の所与を厳密に概念的なその極限で置き換える理想化（Idealisierung）の過程によって生成される」（カッシーラー 1979: 148）ものである。理論的対象とは、曖昧な感覚的多様をそのまま写し取ったものではなく、理想化の過程を通じて、感覚的所与を法則的に組織しうるような概念的機能として構成されるものである。では、理想化とはどのようなものだろうか。

自然科学の理想的概念（Idealbegrit）もまた、存立した絶対的対象の新領域を主張しているのではなく、それによってのみ現象の多様そのものの内部での完全な方向づけが首尾よくなされるところの、欠かすことのできない＜論理的方向線＞を確立しようとするものである。それはもっぱら所与の法則的構造関係をより厳密に捉えるためにのみ、所与を越えてゆくのである。（カッシーラー 1979: 149）

ここでは、理想的概念がいかに方向づけられるかが論じられている。理想的概念とは、論理的方向性に沿って、感性的に捉えられるかに関係なく、法則的構造関係をより捉えられるように方向付けられるべきだとされている。

以上から、カッシーラーにおける理論的対象の特徴は、次のように整理できる。すなわち、理論的対象は、思考によって構成される概念であると同時に、科学的認識において客観的妥当性をもつ概念である。思考は、感覚的に与えられた多様な所与をそのまま写し取るようなことはせず、それらを法則的・関係的に統一するために、理想化（Idealisierung）を通じて、理論的対象を構成する。理想化とは、感覚的所与を超えて、個別現象の法則的構造関係をより厳密に把握するために導入される操作であり、この操作によってはじめて理論的対象が成立する。つまり、個別の現象は、このような理論的対象（＝法則構造）が、具体的な一事例として現れる仕方にほかならない。

したがって、理論的対象は、あらかじめ与えられた自然的実在を写し取るものではなく、理想化された法則構造として、自然現象を客観的に把握可能なものとして構成する役割を担う。

また、こうした理論的対象は、カッシーラー曰く物理理論において不可欠な概念である。

（この意味では）対象という概念は、もはや知識の極の＜制約＞ではなく、逆に、知識の確実な所有物となっているもののすべてを表現し確定するための基本的手段にほかならない

のである。（カッシーラー 1979: 354）

すなわち、理論的対象は、科学的認識の構成を支える操作的な装置であり、現象の多様を法則のもとで把握する上で不可欠な手段である。「手段」ではあるが、理論的対象は、単なる道具ではなく、「理解することの形式とそのものの表現なのである」（カッシーラー 1979: 354）。

したがって、理論的対象を用いることは、経験を超えて恣意的な実体を想定することではなく、感覚的所与を法則的・関係的構造のもとで理解可能にするための概念的枠組みを構成することにほかならない。自然科学が自然を理解しようとするその方法において、理論的対象とは、それなしでは思考ができないような、思考の枠組みなのである。

次に理論変化をどう考えていたかについて見ていく。まずカッシーラーの理論変化の一般的な見え方を提示する。

それら（基本法則）は、一定の経験範囲に相対的にのみ妥当し、それゆえ、この範囲自身が拡大すればすぐさまその内実を変えるべく身構えていなければならない。したがってここでわれわれは、たったいま獲得した閉じた存在と出来事の確かな基本的形態がふたたび消滅するように見える間断なき過程に直面している。（略）われわれは常住不変な存在を捉えはするが、結局はそれをふたたび失ってしまう。われわれが科学と名づけるものは、この観点のもとでは、なんらかの「存立し持続する」現実への接近ではなく、そのつどつねに更新される幻想、そこにおいてはその時その時の新しい像が以前のものをすべて追放しつつ自らもすぐさま他のものによって消滅させられる変幻きわまりなき幻燈画にすぎないかのように見える。（カッシーラー 1979: 308）

上の引用は、科学理論が経験の範囲に応じて更新されていく過程を、ある種の〈見え方〉として描写したものである。基本法則は特定の経験領域においてのみ妥当するため、その経験領域が拡張されると、かつて確実だと考えられていた理論的枠組みが揺らぎ、やがて置き換えられることになる。その結果、科学はあたかも、普遍的で安定した現実へと接近していく営みではなく、次々と理論像が入れ替わっていく不安定な過程、すなわち「幻燈画」の連続のように見えてしまう。もちろん、カッシーラーはこの描写を、科学の本質的性格として断定しているのではなく、理論変化を実体的な存在の獲得と喪失という観点から捉えた場合に、科学がそのように「見えてしまう」ことを指摘している点である。余談となるが、クーンのパラダイム論に対する応答のようにも捉えられると思われる。

では、「幻燈画」ではないならば、理論変化でなにが起きているのだろうか。

発展する認識自身にともなって実現され定められるいきいきとした相互関連を、事物の出来合いの絶対的に閉じた分割と取り違えているのである。問題にすべき対立は、空間的な

> ものではなく、いわば＜動的＞な性格のものである。それは、経験判断がその内容を変えることなく理論および観測による不断の検証に＜耐える（standhalten）＞ところの別個の力能を指している。このつねに更新される過程において、当初は「確実」と見なされたがいまでは検証に耐えないのですべての客観性の根本的徴標をなすこの〔確実であるという〕性格を失った多くの集団が脱落してゆく。しかし、いまではははっきりとしたように、この主観的なものへの移行にさいして問題にされているのは、事物の実体がこうむる変化ではなく、単に認識の批判的評価の変化にすぎない。そのことによって「事物」が単なる「表象」におとしめられるのではなく、以前には無条件に妥当するかに見えた判断が、いまでは条件のある一定の範囲内に制限されるのである。（カッシーラー 1979: 319）

カッシーラーがここで問題にしているのは、理論変化を、あたかも世界そのものが次々に入れ替わっていく過程であるかのように理解してしまう見方である。科学理論が変化するとき、私たちはしばしば、以前に捉えられていた「存在」や「実在」が失われ、新しいものに置き換えられたかのように感じてしまう。しかし、このような理解は、認識の発展にともなって形成されていく関係のあり方を、固定された実体の集合として捉え直してしまう点で誤解を含んでいる。カッシーラーによれば、理論変化において問題となっているのは、事物そのものの変化ではなく、認識に対する評価の仕方の変化である。経験判断は、その内容がただちに否定されるのではなく、理論や観測による検証にどれだけ耐えうるかという観点から再評価されていく。その過程の中で、かつては無条件に「確実」と見なされていた判断が、もはやその確実性を保てなくなり、妥当性の範囲を限定されることになる。

したがって、理論変化とは、世界が単なる「表象」へと後退することを意味するのではない。それはむしろ、認識が自らの適用範囲や条件を明確にしながら、より精密な形へと組み替えられていく過程として理解されるべきである。

例えば、量子力学とニュートン力学であったらどう考えられるだろうか。ニュートン力学では、粒子は点のように位置と運動量が確定しており、力の法則によって未来の運動が一意に決定される。これに対して量子力学では、粒子は波動関数によって記述され、古典的な粒子的像とは異なる仕方で振る舞い、位置や運動量は確率的にしか与えられず、未来の運動も一つの確定した軌道としてはとられられない。このように両理論は、異なる。しかし、大きなスケールを考えると、量子力学的な揺らぎはほとんど無視できる。そのとき量子力学の方程式はニュートン力学の運動方程式に近づき、ニュートン的な運動が回収される。したがって、ニュートン力学が量子力学によって単純に「破棄」されたと理解するのではなく、妥当性の範囲が限定され、より広い理論的枠組みのもとで再配置されたと理解すべきである。

7. ポアンカレの立場

本節では、構造的実在論に先行する立場として、ポアンカレの規約主義を確認する。というのも、理論変化において理論的対象が放棄されつつも、数理的関係や方程式が存続するという考え方は、後の構造的実在論の議論と重要な連続性を持つからである。したがって、この点に焦点を当ててポアンカレの立場を整理する。

一つ注意する点がある。ポアンカレは、1912 年のフランス物理学会でペランの原子論に関する発表があり、その学会の最後に、ポアンカレは「原子はもはや有用なフィクションではない」、「ペラン氏が原子の数を見事に確定したことで原子論の勝利が完全なものになった」と言っている（伊勢田 2018: 263）。ポアンカレの主要著作とされる四部作は、『科学と仮説』（1902）『科学の価値』（1905）『科学と方法』（1908）『科学者と詩人』（1910）であり、すべてこのフランス物理学会の前に書かれた著作である。したがって、もしこの発言を彼の思想の転換とみなすならば、主要著作に見られる規約主義的な立場を、そのまま彼の最終的な見解として読むことには注意するべきである。

それゆえ本論では、ポアンカレの主要著作に示される立場を見ていく。まず、彼の規約主義についてである。

> 規約は、私たちの気まぐれから出てくるのではない。それが便利であることがいくつかの実験によってわかっているからこそ、私たちが採用するのだ。（ポアンカレ 2022: 172）

規約は、人間の精神が規定するものであるが、恣意的に選ばれるものではない。ポアンカレによれば、規約とは、実験から得られた複数の個別的法則を整理・統合し、それらを一般的な原理として定式化したものである。この意味での「一般化」とは、個々の実験結果を帰納的に集積することではなく、それらを包括的に表現する枠組みを与えることである。

このようにして得られた一般的原理は、もはや個別の実験によって直接反証されることはない。なぜなら、ポアンカレ自身が述べるように、「原理は規約であり、定義が変装したもの」だからである。この点において、規約は実験的真理を持つわけではないが、反証不可能であるという意味での確実性と、広範な現象を統一的に扱うという意味での一般性とを併せ持つ。

ここで注意すべき点は、ポアンカレの規約と、前節までで論じてきた ESR および OSR における「構造」とが、必ずしも同一の概念ではないということである。ESR や OSR では、理論変化に伴って構造そのものが修正されうることが想定されているのに対し、ポアンカレは、一度一般性を獲得した規約については原理的に変更されないものとして扱う傾向が強い。

したがって、ポアンカレの規約主義は、構造的実在論と直接同一視できる立場ではない。しかし、理論的対象が放棄されても、数理的関係や方程式が存続するという点において、後の構造的実在論と連続する発想を含んでいると解釈することは可能である。そして、この規約的な考え方は幾何学と力学に適応される。この力学は、上記からもわかるように実験によって確かめられないといけない。したがって、実験で検証できない理論力学と、経験に関わる実験物理

学は分けられ、実験物理学については、規約は当てはまらない(小林 2007: 10)。では、その後、実験物理学におけるポアンカレは理論的対象と理論変化をどう捉えていたのか。簡潔に述べられている箇所がある。

> わたしたちにとって本質的なのは、すべてがあたかもエーテルが存在するかのように起こるということ、そして、その存在を仮定すると諸々の現象を説明するのに便利だということである。考えてみれば、物質的対象の存在を信じる理由はそれ以外にないのではなかろうか。もちろんこれもまた便利な仮説にすぎない。ただ、仮説が永久に便利なものであり続けるのに対して、エーテルが無用なものとして廃棄される日はきっと来るに違いない。しかし、まさにその日においても，光学の法則とそれらを解析的に表現した方程式は、少なくとも第 1 次近似としては、依然として正しいだろう。（ポアンカレ 2022: 256）

ポアンカレにとって理論的対象は、現象の説明を引き出す便利な道具である。つまり、自然そのものを映し出す「実在」ではなく、観察された現象を秩序づけ、計算や予測を可能にするための便宜的な構成物である。また、理論的対象、ここで言うエーテルは、理論変化（当時は、まだエーテルがあるとかんがえられていたため、この後に出てくる相対性理論）を乗り越えられないが、その理論的対象に引き出された方程式、ここで言う光学の法則とそれをあらわした方程式は理論的対象が捨てられてもなお生き続けると考えている。

以上のように、ポアンカレは理論的対象を便宜的な構成物として捉えつつも、そこから導かれる数理的関係や方程式の存続を強調していた。この点は、理論変化における連続性を構造に求める構造的実在論の議論と一定の接点を持つ。

まとめ

本論では、科学的実在論論争における一つの立場である構造実在論を手がかりとして、理論変化と科学的成功の関係をどのように理解すべきかを検討してきた。とりわけ、カッシーラーとポアンカレが構造実在論の先駆者としてしばしば言及されることがあるが、その評価がどのような意味で妥当であり、またどの点で慎重であるべきかを明らかにすることが本論の目標であった。

科学的実在論論争は、理論的対象が実在するのか、また科学の成功をどのように説明すべきかをめぐる対立として定式化されてきた。無奇跡論法は科学の成功を実在の仮定によって説明しようとする一方で、悲観的帰納法は、過去の理論的対象が放棄されてきた事実を根拠に、こうした説明に疑問を投げかける。構造実在論は、この両者の緊張関係に対して、理論的対象そのものではなく、理論変化を通じて保持される数学的・関係的構造に連続性を見出すことで応答しようとする立場である。

本論ではまず、構造実在論の内部における立場の違いとして ESR と OSR を区別して整理した。ESR は、理論的対象の存在については判断を留保しつつ、理論間で保持される構造の認識可能性を擁護する立場である。一方、OSR は、構造そのものを実在の基礎として捉える点で、よりラディカルな方向性を持つ。ESR と OSR は、理論変化と実在性の関係をめぐって異なる解釈を含んでいることが明確になった。

こうした構造実在論の枠組みを踏まえた上で、本論ではカッシーラーとポアンカレの科学哲学を検討した。カッシーラーは、理論的対象を、自然にあらかじめ存立する実体としてではなく、理想化を通じて感覚的所与を法則的・関係的に統一するための概念的機能として捉える。また、理論変化を、事物の実体が獲得・喪失される過程として理解する見方を退け、経験判断の妥当性条件と適用範囲が再編されていく過程として理解する。この意味で、カッシーラーの立場は、理論変化における連続性を、対象の存続ではなく、認識の枠組みの側に求める点に特徴がある。

これに対してポアンカレは、理論的対象を、現象を秩序づけるための仮説として捉え、理論変化に伴ってそれらが放棄されうることを明確に認める。しかし同時に、理論的対象が変化・消滅しても、それらが示していた数学的・関係的構造は保持されると考える点で、理論変化における連続性を構造の側に求める。この点において、ポアンカレの立場は、理論的対象の実在性を否定または留保しつつ、構造の存続によって科学の成功を説明しようとする構造実在論の発想と強い親和性を示している。

以上を踏まえると、カッシーラーとポアンカレはいずれも、理論的対象の実在性を素朴に肯定する立場から距離を取りつつ、理論変化における何らかの連続性を確保しようとする点で、確かに、構造実在論の先駆者と位置づけることができる。ただし、その内実は同一ではない。カッシーラーは、構造の連続性を主として認識論的観点から捉えるのに対し、ポアンカレは、理論的対象の放棄を認めた上で、数学的構造の存続に連続性を見出す。この差異を明確にすることによって、構造実在論がいかなる意味で悲観的帰納法への応答となりうるのか、その射程と限界をより精密に理解することが可能になる。

今後の課題としては、構造実在論において「構造」と呼ばれているものが、どのような意味で実在的であると言えるのか、またその実在性が認識論的な主張にとどまるのか、それとも存在論的含意を持ちうるのかを、さらに精密に検討する必要があるだろう。

参考文献

アンリ・ポアンカレ『科学と仮説』南條郁子訳、筑摩書房、2022 年
伊勢田哲治『科学哲学の源流をたどる――研究伝統の百年史』ミネルヴァ書房、2018 年
榎本聰明『原子力発電がよくわかる本』、オーム社、2009 年
エルンスト・カッシーラー『実体概念と関数概念――認識の基本的諸問題の研究』山本義隆訳、みすず書房、1979 年

エルンスト・カッシーラー『現代物理学における決定論と非決定論』山本義隆訳、みすず書房、2019 年
小林道夫「自然科学の哲学 2 フランスにおける展開」飯田隆編集『哲学の歴史 11 論理・数学・言語』中央公論新社、2007 年
小山慶太『光と重力ニュートンとアインシュタインが考えたこと一般相対性理論とは何か』講談社、2015 年
戸田山和久『科学的実在論を擁護する』名古屋大学出版会、2015 年
三澤信也『世界を変えた科学史』彩図社、2024 年
山本義隆「訳者あとがき」エルンスト・カッシーラー『実体概念と関数概念』pp. 429–448、みすず書房、1979 年
Cassirer, E. (2010). *Philosophie der symbolischen Formen. Dritter Teil:Phaenomenologie der Erkenntnis*. Felix Meiner Verlag.
French, S. and Ladyman, J. (2003). "Remodelling Structural Realism: Quantum Physics and the Metaphysics of Structure. " *Synthese*, 136, 31–56.
Ladyman, J. (1998). "What is structural realism?" *Studies in History and Philosophy of Science*, 29, 409–428.
Laudan, L. (1981). "A Confutation of Convergent Realism." *Philosophy of Science*, 48, 19–48.
Massimi, M. (2010). "Structural realism: A neo-Kantian perspective". *Boston Studies in the Philosophy and History of Science*, 281, 1–23.
Worrall, J. (1989). "Structural Realism: The Best of Both Worlds?" *Dialectica*, 43(1–2), 99–124.