

| | |
|-------------|---|
| Title | <特集：モデル> 理論観の転回とモデル概念 |
| Author(s) | 大西, 勇喜謙 |
| Citation | 科学哲学科学史研究 (2008), 2: 101-115 |
| Issue Date | 2008-01-31 |
| URL | https://dx.doi.org/10.14989/56985 |
| Right | |
| Type | Departmental Bulletin Paper |
| Textversion | publisher |

理論観の転回とモデル概念

大西勇喜謙*

Abstract

The word “model” has a variety of meanings in many branches of science. Suppes (1960) asserted that those different use of the word can be related to that in mathematical logic. And further, he pointed out the usefulness of the model with this meaning in analyzing many aspects of scientific activity, such as Gedanken experiments and data comparison. Such an attention to the utility of the model later led to a new way of viewing scientific theories called “the Semantic Conception of Theories”. In this paper, I survey the transition in the view of scientific theories, and see how important roles models play in the Semantic Conception.

はじめに

「“モデル”という言葉でいったい何が意味されているのか」という問いは、(Suppes 1960)においてすでに現れている。この論文で彼は、科学の様々な分野におけるその用法を紹介し、そしてそれらの用法が、タルスキのいう論理的な意味でのモデルの概念によって救うことができると述べる。このような意味での「理論のモデル」への着目は、後に「理論の意味論的捉え方 (The Semantic Conception of Theories)」と呼ばれる新しい理論観へとつながり、従来の論理実証主義的な理論観の転換を引き起こすこととなった。本稿では、こうした理論観の転換における理論とモデルとの関わりについてみていきたい。

以下ではまず、従来の、論理実証主義の下での理論観の一例を紹介し(一章)、そのうえで、意味論的捉え方の提唱者たちが指摘する、そうした理論観の問題点をまとめる(二章)。そして最後に、このような理論観に代わるものとして、各提唱者たちがどのような理論観をとっているのかを順に紹介していくことにする(三章)。

1. 論理実証主義的理論観

「科学的知識とはどのような性質のものか」という問題は、科学方法論や科学の目的などとともに、19世紀以前から論じられてきた。しかし20世紀前半、科学と形而上学との分離を掲げて登場した論理実証主義の哲学者たちは、そうした知識を述べる文が充たすべき基準を与えることで、この問題に答えようとした。そのひとつが「意味の検証理論」である。それによれば、経験

* 京都大学大学院文学研究科修士課程

的内容を持つ言明を形而上学的言明から分かつのは、その言明が経験的に検証可能であるという事実である。この基準は、このままではあまりに強すぎるため、様々な修正が加えられることになるのだが、いずれにせよ論理実証主義者たちは、科学的知識とはそうした基準を充たす知識であると考えていた。しかしそのことを示すためには、科学的知識を、そのような基準が充たされた状態で提示しなおす必要がある。こうした再構成の試みの中で生まれてきたのが、彼らの論理実証主義的な理論観である。

論理実証主義者たちは、科学的言明が経験的意味を持つためには、そこに現れる様々な用語もまた、経験的意味を持つものでなければならぬと考えた。その中でも、直接観察できる事物や事象の、観察可能な性質や関係を表す用語（観察的用語）については問題がない。しかし科学の用語の中には、電子やエネルギーといった、直接的には観察できない対象や概念を指示するもの（理論的用語）が多く存在する。したがって、科学が形而上学的概念を含まないことを示すためには、こうした用語が経験的意味を持つということを保証する必要があったのである。初め、こうした理論的用語は、実験操作の手続きや、観察的用語だけをういた文によって明示的に定義できると考えられた。ところが、同じ概念でも経験との結びつき方（例えばある物理量の測定法）には様々な方法が考えられることや、「傾向性 (disposition)」「(「もろい」「溶解性の」といった、物体の、ある状況における観察可能な反応傾向)を表す用語の定義が困難なことなどから、そうした定義の望みは次第に薄れた。そこで、理論語を定義するというよりも、その用語と経験との様々な対応の仕方を定める規則、すなわちその概念の、観察的用語を用いた部分的な解釈（関係付け）の規則を定めるという試みがなされたのである。以下では、論理実証主義者による理論観の一例として、(Carnap 1956)におけるそうした試みを紹介する。

Carnap はまず、理論の構造を次のように分析する。それによれば、科学の言語 L は、理論的言語 L_T と観察言語 L_O の二つのクラスに分けられる。 L_T は、記述定項として理論的用語のクラス V_T (通常「観察可能な量 (observable magnitudes)」と呼ばれている質量・速度・位置・エネルギー等もこれに属する) のみを含み、また L_O は、記述定項として観察的用語のクラス V_O (「青い」「より重い」「より暖かい」等の感覚経験を指す述語) のみを含んでいる。また L_T には、理論の公準として有限個の文 (この連言を T とする) が置かれ、それらは V_T の語句同士を関係付けている。例えば物理学の場合、 T は運動方程式などの基本法則を含み、これによってある物理量と他の物理量とが関係付けられている。 L には他にも、 V_T と V_O の両方の語句を含んだ文、すなわち対応規則 C (correspondence rules) が存在し、 V_T の語句を V_O の語句と関係付ける役割を果たしている。もっとも C は、 V_T のすべての語句を V_O の語句と対応付けている必要はない。 V_T の語句が有意味であるために、必ずしもそれが直接 V_O の語句と対応付けられている必要はない、というのがここでの Carnap の考えである。

では、こうした設定の下で、理論的用語の有意味性はどのような基準によって判定されるのだろうか。端的に言えば、それはこうである。すなわち、 V_T のある語句 M が経験的意味を持つのは、それが経験的有意味性を保証された他の用語と共に、 T と C によって、ある観察可能な事

象についての文を導くために必要とされる場合である．これをもう少し正確に述べ直すと，次のようになる．まず，すでに有意味だとみなされている V_T の語句の集合を K としよう．すると， V_T の語句 M が経験的意味を持つのは，次のような場合のみである．すなわち， M を唯一の記述定項として含む L_T の文 S_M が， K の語句のみを含んだ L_T の文 S_K ， L_T で述べられた理論の公準 T ，そして対応規則 C とともに，(S_M 無しでは導出不可能な) L_O の文 S_O を導出することができる，という場合である．

しかしここで，次のような疑問が直ちに浮かぶであろう．すなわち，そもそもここで用いられた K の語句は，どのようにしてその有意味さを認められたのだろうか，という疑問である．Carnap によれば， K の語句は，その一部は対応規則 C によって直接 V_O の語句と結び付けられることで意味を獲得したものであり，その他のものは，そうした語句から M と同じ基準によって（つまり T によって，すでに経験的意味を得ている語句と関係付けられることにより）有意味さを保証されたものである*1．したがって，このような基準のもとでは， V_T の語句の有意味さは一度に判定できるものではなく，一つずつ順を追って調べていかなければならない，ということになる．すなわち，(Carnap 本人も指摘しているとおり) V_T の語句の有意味性は，常に公準 T と対応規則 C （そして先行する用語のクラス）に相対的にのみ判断されるのである．このことは，こうした基準の下で，理論をどのようなものとして捉えるべきか，という点に関わりがある．

この論文 (Carnap 1956) では，「理論」という言葉は単純に，公準 T を指すものとして用いられている．しかし，これをそのまま科学理論としてとることには問題がある． C が与えられない T はむしろ，(Carnap 自身述べているとおり) 単なる公準の体系であり，解釈されない計算である．一方，彼の考える科学的知識とは，形而上学から分離された，経験的有意味さを保証された知識のはずである．そしてその経験的有意味さは，この論文では T と C に相対的にのみ判断される．それならば，科学理論とはむしろ，公準 T と対応規則 C とを合わせたものと考えられるべきであろう．この点は，彼が理論についてどう考えているかに関わらず，また Carnap に限らず，同様の有意味さの基準を用いる人々についても言えるだろう．彼らにとっては，経験的意味を持つ知識としての科学理論は，その経験的有意味性が（彼らの基準で）認められる状態で提示されたものであるはずである．

以上は，論理実証主義者たちの示した理論観の一例に過ぎず，その定式化の仕方は哲学者ごとに，あるいは時代を追って様々に変化している．しかしここで「論理実証主義における理論観」という言葉によって意図している特徴は，そうした定式化の詳細ではなく，次のことである．す

*1 竹尾氏の訳では「...すなわち，それらの用語の幾つかは C -規則によって観察用語と結び付けられ，そしてそれら以外の V_T の用語は T の公準によって観察用語と結び付けられる」(内田・永井 1977, p.202) というように， T も V_T の用語と観察用語とを結び付ける役割を持っているように見える箇所が一部あるが，原文では “The terms of V_T obtain only an indirect and incomplete interpretation by the fact that some of them are connected by the rules C with observational terms, and the remaining terms of V_T are connected with the first ones by the postulates of T .” となっており (Carnap 1956, p.47), T はやはり理論的用語同士を結び付けるものと考えてよいだろう．単純なミスではなからうか．

なわち、彼らによる理論の合理的再構成というものは、理論的概念が経験との結びつきを与えられた状態で理論を提示し、それによって科学的知識を形而上学から明確に分離することを念頭においてなされたものであったということ。そしてまた、彼らの問題意識はもともと「ある文（または語句）が経験的意味を持つか否か」という点にあったため、そうした作業は主に、科学に用いられる言語の分析を中心としたものであったということである*2。

2. 論理実証主義的理論観の問題点

こうした理論観は、20世紀半ばまで概ね受け入れられていたものである。もちろん、提唱者本人たちも認識していた通り、そこには多くの技術的問題もあったのだが、科学的説明や確証の問題など、様々な科学哲学上の問題がこうした理論観の下で議論されてきた。しかし論理実証主義が次第に陰りを見せ始めると、それに代わる理論観が Patrick Suppes や Frederick Suppe, van Fraassen, Ronald Giere などによって提案されるようになる*3。そうした新しい理論観は、互いに少しずつ異なってはいるものの、理論を特定の言語によって定式化された言語的対象と見るのではなく、それらを真にするようなモデルの集まり（非言語的対象）と見る点において共通しており、「理論の意味論的捉え方（“The Semantic Conception of Theories”, 以下 SC と呼ぶ）」と呼ばれている（“semantic approach”, “semantic view of theories” などとも呼ばれる）。これらの検討は3章で行うことにして、以下では SC の提唱者たちの指摘する、従来の論理実証主義的な理論観（“The Received View on Theories”, 以下 RV と呼ぶ）の問題点をまとめる*4。

2.1 理論と経験との関係についての問題

van Fraassen は、理論的 / 観察的用語といった区別による言語中心的な分析では、理論の経験的内容というものが捉えられないと指摘している（van Fraassen 1980）。例えば今、「ニュートンの理論は、その観察可能な帰結については経験的に正しいと信じるが、それが観察不可能な事象について述べることにについては、真だとは信じない」という立場をとる者（ライプニッツとでもしよう）があるとしよう。すると、（彼の主張が理論として述べられるならば）ライプニッツの理論とニュートンの理論とは、その経験的内容については同じ（経験的に等値である）はずである。しかし、もし理論の経験的内容を、観察的用語のみを用いて述べられる理論の帰結と同一視するならば、そうした経験的等値性という概念は取るに足りないものになるだろう、と van Fraassen は述べる。というのも、後者からは観察的用語とその否定だけを用いて「位置も持た

*2 数学の基礎付け運動に影響を受けたことも、もちろん大きな要因であろう。

*3 Suppes は意味論的捉え方の初期の提唱者の一人ではあるが、彼が唯一の創始者というわけではない。例えば初期のものとしては、1940年代末に為された Evert Beth の仕事があり、van Fraassen はこれを基にしている。ただ今回は、アイデアの出所を歴史的に探ることが目的ではないので、Suppes の主張から見ていくことにする。

*4 おそらく最大の問題は、彼らの計画が実際にうまくいかなかったという点につきるのだろうが、そうした技術的な問題はひとまずおくことにして、ここでは理論観としての問題点を話を絞る。

ず一定の体積も占めないものが存在する」というような、観察不可能な事物（例えば絶対空間）の存在についての帰結も得られるからである。したがってこの基準で判定すれば、一方は絶対空間についての言明も理論の経験的内容に含んでおり、他方はそれを含んでいないため、両者は経験的に等値ではないということになってしまうのである。経験的等値性という概念自体が正当なものだとすれば、RV がこれを扱えないということは、たとえ論理実証主義者の問題意識が他にあったとしても、理論の分析として不十分であろう。^{*5}

また Suppe は、RV の欠点は何よりも、理論の認識論的に重要な側面を見逃していることにあるという。RV においては、理論からは対応規則によって、観察的用語のみを用いた現象の記述が導かれるとされていた。すなわち理論は、直接現象と照合されるよう意図されていた。これに対して Suppe は、理論が扱うのは現象そのものではなく、そうした現象の振る舞いに対応する、いわば現象のレプリカだということ。つまり理論は、現象から抽象された少数のパラメータによって特徴付けられる限りでの現象の側面について、何事かを述べているというのである。そのような現象のレプリカは、二段階の過程をへて形成される。一段階目は抽象化と呼ばれるもので、そこでは理論が扱う現象の側面、すなわちパラメータが定められる。例えば古典力学における自由落下の問題では、物体の位置、速度、質量などが問題にされるが、色などは関係がないとみなされる。二段階目の過程は理想化と呼ばれるもので、特定の条件が充たされた状況を想定することである。古典力学の例で言えば、大きさを持った物体も、その中心に質量が集まった、延長のない点として扱ったり、空気抵抗がない、摩擦がない等の想定を行ったりすることがある。こうした抽象化と理想化を経て出来上がるのが、現象のレプリカである。このようなレプリカを、Suppe は「物理系 (physical system)」と呼んでいる。Suppe は、理論が述べる（あるいは照合される）のは、生の現象から抽象された物理系の振る舞いについてであり、現象そのものではないというのである。

こうした分析はまた、理論と現象との関係についての、RV では見逃されていた特徴を明らかにすると Suppe はいう。ここでは、理論と現象との関係は、現象と物理系、物理系と理論という二つの関係に分かれる。まず物理系と現象との関係は、「もし選ばれたパラメータ以外の要素が影響を及ぼしていなければ、そしてもし理想的条件が充たされたならば、こうなったにちがいない」という、反事実条件的なものである。それらの間には、二段階の抽象化の過程が存在しているからである。一方、物理系と理論との関係はそれとは異なる。もし理論が定量的なものであれば、それは運動方程式を解くことなどを含む数学的な計算となり、そこには反事実条件的な推論は入ってこない。このように、現象から物理系、そして物理系から理論という二つの移行段階には、無視できない認識論的な差異があるのである。このような理論と物理系、現象との関係に

^{*5} 経験的等値性という概念の正当さ自体に対する疑問については、(van Fraassen 1980, p.47) を参照。なお、そもそもここで「経験的内容」という言葉によって何を指しているかについては、van Fraassen は明確に述べていないのだが、文脈から判断すると、「観察可能な事象について理論が述べること」というほどの意味で用いられていると考えられる。もっとも、ここから直ちに「では何を観察可能とするか」という問題が生じるが、それはひとまず置くことにする。いずれにせよ、ここでの議論のポイントは、否定記号と組み合わせることで、観察的用語だけを用いて、観察にかからない対象についても言及できてしまう、という点である。

ついでに、RV が用いるような理論的 / 観察的用語といった区別は出てこない。むしろここでは、物理系の記述にも、理論が用いるのと同じパラメータ（つまり理論的用語）が用いられるのである。そして認識論的な差異は、そこに現れる用語ではなく、現象 - 物理系 - 理論という、現象から理論への各ステップにおいて現れる。このことは、理論の構造が明かす認識論的な特徴が、RV のような言語的分析によっては捉えられていないということを示していると Suppe はいう。彼によれば、これを見落としていたことが、RV の決定的な落度であった。^{*6}

2.2 理論の同一性についての問題

以上は RV の、科学を分析する上での欠点を指摘したものであるが、そもそも論理実証主義者たちの関心は実際の科学のあり方を描写することよりも、そうした科学的知識の体系を形而上学から隔てる形で再構成することにあつた。したがって、こうした不自然さへの批判は（不便さの指摘としては有効でも）あたらないかもれない。しかし、そうした定式化の仕方ではなく、そもそも理論を言語的対象と同一視することへの批判もなされている。理論を言語的な対象とみなすことには、変化を通じた同一性についての問題があるのである。すなわち、部分的な修正や、異なる定式化の下での理論の同一性がいえなくなってしまうという問題である。

例えば、Suppe の指摘するような理論と物理系、現象との関係をふまえると、仮に理論が現象と合致しない場合、理論と照合される物理系の方に問題があるということも考えられる。つまり物理系の形成過程（実験状況の設定（実験方法）やデータの取り方など）が拙いという可能性である。この場合、修正は理論にではなく、そうした抽象化の過程に加えらるべきである。ところが RV では、理論と現象とが、対応規則によって直接つき合われている（そしてこの対応規則も理論の一部となっている）ため、このような場合、対応規則に修正を加えることは、理論自体にも修正を加えることを意味してしまうのである。同様なことは、ある物理量の新たな測定法や実験法が考案された場合、あるいはそれに改良が加えられた場合にも生じる。この場合、その物理量なり理論的概念には新たな解釈（つまり経験との突き合せ方）が加わるため、対応規則の修正が求められる。これはすなわち理論の修正を意味し、したがって言語的対象としての理論は、別の理論となってしまうのである。こうしたことは、理論の改変に限らず、同じ理論の（時には論理的に等値でない）異なる定式化についてもいえる。このようなことはもちろん、通常の直感に反するものである。

ここに紹介したこれらの批判は、科学には理論的 / 観察的用語といった区別による言語的な分

^{*6} 以上の議論については、先にみた (Carnap 1956) を見る限り、素直に Suppe の批判を入れることはできないと思われる部分もある。すなわち、そこでは理論と実験との反事実条件的な関係、特に否定的結果を述べる実験結果の、理論への影響が論じられており、必ずしも、Suppe が述べるように彼らがこうした点に鈍感だったとは思いたい。Carnap はむしろそうした点で、理論的用語を観察的用語と緩やかに結びつける自身の方法が、Bridgman らの主張する操作的定義よりも利点があることを主張しているのである。もっとも、だからといってそのような Carnap の議論に問題がないというわけではない。Suppe のいうように、そうした議論では、科学において理想化と抽象化が重要な役割を果たしているという点や、変化を通じた理論の同一性といった点には注意が払われていないように思われる。

析では、安易に捉えられない側面がある、ということの意味している。こうした難点と、そのような区別自体の困難さは、そもそもそうした区別が理論本来の構造ではなく、人為的に埋め込まれたものに過ぎないのではないかという疑念を招く。そうだとすれば、少なくとも理論の分析においては、RVの関心の下で再構成されたものが、最もよく理論の構造を反映しているとは限らないということになるだろう。それでは、数ある理論の公理化の仕方のうち、どれが理論本来の構造を表していると考えれば良いのだろうか。SC(意味論的捉え方)の提唱者たちは、そうした言語的定式化のひとつを選ぶことはしない。彼らは、理論の構造はそのモデルを考えることによってより良く理解できるのであり、言語的に定式化された理論はむしろ、そうしたモデルの、ひとつの表現に過ぎない考えるのである。

3. 理論の意味論的捉え方

以上のようなRVへの批判と共に登場したのが、「理論の意味論的捉え方」である。SCでは、理論は言語的に定式化されたものではなく、その公理を真にするようなモデルの集まりだと考えられる。「モデル」という語には実に様々な用法があるが、ここでの用法は、主に論理学におけるものである。すなわちここでいうモデルとは、理論のすべての文を真にするような構造、そのような文の述べることがすべて実現されているような構造のことを指している。こうした論理的な用法における理論とモデルとの関係はまた、別の見方をすることも可能である。すなわち、まずある一群の構造を指定し、そして、それらの構造によって真となるような文の集まりとして(言語的対象としての)理論を考えるのである。もちろんこの場合でも、両者の関係に変わりはない。そこでSCでは、このように、モデルを中心として理論を捉える方法を採用。すなわち、理論を提示するとは、そのモデルを指定することであり、特定の言語による定式化は、そうしたモデルによって真となるような文の集まり、つまりそれらのモデルの、ひとつの表現だと考えるのである。もっとも、そのようなモデルをどのように表すかという点については、SCの各提唱者ごとに意見が分かれている。ここでは、Suppes, van Fraassen, Suppe, Giereらのアイデアを順に見ていくことにする。

3.1 Suppesによる方法

Suppesの意味論的捉え方への第一歩は、「理論のモデル」を通じた科学の分析の有効性を指摘することにあつた。(Suppes 1960)において彼は、理論のモデルを基礎とした、科学におけるモデル概念の統括を試みている。彼はまず、論理学や物理学、社会学といった様々な分野から「モデル」という語の用法を引用し、これらの用法をひとつの概念の下にまとめることは困難であることを認めながらも、論理学における用法をそれらの基礎におけるのではないかと述べる。その用法においては、モデルとは理論のすべての文を真にする構造(可能な実現)のことを指す。これは通常集合論的な対象である(この段階ではSuppesは、理論は言語的対象、モデルは非言語的対象であることを強調する)。Suppesは、こうしたモデルの概念は、科学における他の

用法と両立不可能ではないという意味で、基本的なものと考えることができるというのである。そうした他の用法として彼がまず挙げるのが、彼が「物理的モデル (physical model)」と呼ぶものである。この言葉で指示されているのは、彼が論文の冒頭で引用した、原子の内部構造についての議論における用法である。つまり原子の惑星モデルなどの、物理的イメージを指しているものと思われる。こうした物理的イメージと、集合論的に表された理論のモデルとが両立不可能ではないということを、彼は古典力学を例に説明している。

それによれば、まず質点についての古典力学は、次のような概念を用いて公理化される。すなわち、質点の集合 P 、経過時間に対応する時間間隔 T (実数)、質点と時間について (P と T の直積上で) 定義される位置関数 s 、各質点について定義される質量 m 、そして質点と時間、自然数 (単に f への添え字付けに必要) について定義される力関数 f などである。すると、この理論の可能な実現は、5つの要素からなる順序対 $\mathcal{P} = \langle P, T, s, m, f \rangle$ として表される。では、こうした集合論的モデルと、物理的イメージとしてのモデルとはどのような関係にあるのだろうか。Suppes は、それら物理的イメージは単に、集合論的モデルにおける対象の集合を表しているのだと考える。逆に、例えば質点の集合を、太陽系の個々の惑星 (の質量中心) と考えることも可能である。つまり両者は、対象の集合を共有しているのである。しかしその上で、重要なのは物理的イメージでなくその数学的構造であるとして、Suppes は集合論的モデルをより基本的なものだと考えるのである。

次に Suppes が挙げる用法は、「未完成な理論」という意味でのモデルである。彼によれば、物理学のすでに確立された分野においては、モデルという語の使用はあまり見られない。そうした理論においては、理論・実験・日常の言語は混ざり合い、それによる表現は、世界を記述するたったひとつの方法であるかのように主張されているという。それに対して、未だ現象の細部まで捉えることはできず、極度に単純化されたその主要な側面しか扱うことの出来ない分野においては、より頻繁にモデルという言葉が用いられる。Suppes はこうした用法として、Gibbs の統計力学についての議論を引用しているが、そのような用法も、集合論的モデルに通じるものがあるという。Suppes はその理由を正確には述べていないのだが、つまり、そこでは十全な物理理論が意図されているのではなく、現象や他の物理理論 (例えば熱力学) に部分的な類似性をもつような抽象的構造が作られていると考えられるということだろう*7。このように Suppes は、論理的用法における理論のモデルが、科学 (特に物理学) におけるモデルという語の用法の基礎におけると考えるのである。

さらにこの論文 (および (Suppes 1962)) では、そうした理論のモデルによる分析が有効になりうる例として、モデルの同型性を利用した理論の還元可能性の問題や、思考実験における有用性、そして理論と現象との関係の分析における有用性などが挙げられている。特に理論と現象

*7 こうした用法におけるモデルも集合論的に表現できるという意味だろうか。それとも、それらが理論のごく部分的な実現だという点がポイントなのだろうか。いずれにせよ、こうした分析は、先ほどみた Suppe による理論の扱う対象についての考察とよく合っていると思う。このような段階においては、直接現象を扱うのではなく、ある理論の下でどのような物理系の振る舞いが可能なかといったことや、少数のパラメータで記述される限りの系の振る舞いを捉える理論が探求されているのではないだろうか。

(実験)との関係については、先に Suppe による RV 批判においても取り上げたような指摘が行われている。すなわち、実験の情報がデータとして理論と比較可能になるまでには、大幅な情報の選択や加工が必要であるということである。そして出来上がるデータを、Suppes は「データのモデル」と呼ぶ (Suppe のいう物理系にほぼ相当するもの。ここでは集合論的に表わされる)。したがってここでは、理論と実験結果との関係は、理論のモデルとデータのモデルとの比較として分析される。もっとも、そうしたモデル同士の関係も決して単純なものではないのだが、こうした理論と実験データとの関係は、RV のような理論的用語の翻訳による経験的意味の抽出という単純な描像では捉えられなかったものであると Suppes は主張している。

こうした科学の分析におけるモデルの有用性の洞察が、後の論文 (Suppes 1967) では、モデルを中心として科学理論を分析すべきだという主張へと繋がるのである*⁸。そして彼の考えるモデルとは、集合論的に表された、論理的な意味での理論のモデルである。

3.2 van Fraassen による方法

Suppes の意味論的捉え方のアイデアをふまえると、van Fraassen の意味論的アプローチも理解しやすい。彼もまた、理論の分析は、そのモデルに注目することによって新たな視点が得られると指摘する。彼はこのことを、簡単な幾何学の例を用いて説明している。まず彼は、次のような 6 つの公理を挙げる (van Fraassen, 1980, pp.41-42: 引用は邦訳 p.89 より)。

- A0 少なくとも一本の線がある。
- A1 いかなる二本の線に対しても、その両方に乗っている点は高々一つである。
- A2 いかなる二つの点に対しても、その両方に乗っている線はちょうど一本である。
- A3 いかなる線にも、少なくとも二つの点に乗っている。
- A4 点の数は有限である。
- A5 いかなる線にも、無限に多くの点に乗っている。

このうち A1~A4 を公理としてもつものを、理論 T_1 とする。 T_1 が整合的であることは、そのすべての公理を充たすある構造の存在を示すことによって確認することができる。この場合それは、例えば図 1 のような幾何学的構造である (点 A~G のみを点と考える)。一方、理論 T_2 として、公理 A1~A3 に A5 を加えたものを考えよう。両者の論理的関係からは、 T_1 と T_2 が両立しないということが分かる。一方は点の数が有限であるといい、他方は無限の点を含んでいると述べるからである。 T_2 は、ユークリッド平面のような無限の構造によってしか実現できない。

*⁸ もっとも Suppes は、「理論とは X である」というような定義を与えようとはせず、また言語的定式化自体の利点を否定するわけでもない。ただ、理論の特徴付けのひとつの仕方としてそのモデルを考えることができ、そうしたモデルを通じた理論の見方が、言語的定式化を用いたものよりも極めて有効であることを主張しているだけである。

ところが、先に T_1 の整合性を示すために用いた図形は、ユークリッド平面に埋め込むことが出来る（つまり、あるユークリッド平面図形と同型である）。それだけでなく、すべての T_1 のモデルは T_2 のあるモデルに埋め込む（すなわち T_2 のあるモデルの一部と同型である）ことができるのである。このように、両者のモデルに着目することにより、論理的関係だけからは捉えられない、両者の新たな関係が見えてくるのである。van Fraassen は、こうした意味論的な関係は、単なる両者の「不整合性」という論理的関係よりも興味深い関係を示しており、理論同士の比較や評価の際に明らかに重要になるとして、これを高く評価している。

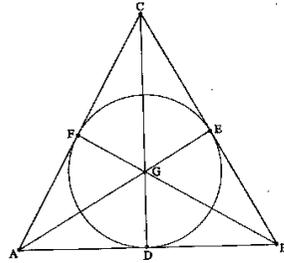


図1 T_1 のモデルの一例

こうした利点と RV への批判から、van Fraassen もまた、モデルを中心とした理論の見方を採用する。ただ、彼の考えるモデルは Suppes のような集合論的なものではなく、「状態-空間 (state-space)」上において表されたものである。「状態-空間」とは、理論に現れるパラメータを基底とする空間であり、系の状態や振る舞いは、そこにおける点や軌道で表される。古典力学における位相空間や、量子力学におけるヒルベルト空間にあたるものだという。より簡単な例で言えば、理想気体の状態方程式 ($PV = RT$) においては、系の状態は P, V, T の3つの値によって決まり、また N 個の質点を含む古典力学の系においては、それぞれの質点に対し、位置と運動量に関して3つずつの変数が考えられ、その系の状態は $6N$ の変数の組で表される。理論は、そこで問題とされている変数がある一定の関係にあることを述べ、それらがどのように時間発展していくのかを示すことにより、その理論によって許容される系の状態や、その変遷の仕方を指定するのである*⁹。それらを状態-空間上の部分集合（例えば $PV = RT$ を充たす (P, V, T) の集合）や軌道として表したものが、彼の考える「理論のモデル」である。先ほどの幾何学の例とのアナロジーでいえば、系の状態を表す状態-空間上の点が図1の図形の各点に、そして状態-空間上の軌道はそれら点同士の間関係に相当する。彼は、こうしたモデルの集まりとして理論を捉えるのである。

一方、観察から決定可能な変数によって記述できる構造を、van Fraassen は「現われ (appearance)」と呼ぶ。Suppes のいうデータのモデルや、Suppe のいう物理系に相当するものである。彼によれば、理論を提示するとは一群のモデルを提示し、そうした現われ（現象を表す構造）が、そのモデルのうちの一つに埋め込まれうるということを主張することだという。van Fraassen は、こうした提示の仕方は、教科書等で実際に理論が提示されている仕方（そこで公理として示されているものは、実際にはモデルと、現われに対応するその部分構造を指示してい

*⁹ 実際はこれほど単純ではなく、例えば (van Fraassen 1970) では理論の法則を laws of coexistence や laws of succession, laws of interaction に分け、さらにそれらを nonstatistical なものと statistical なものとに分けて説明している。また Suppe も理論に現れる法則について独自の分析に基づいて分類・説明しているが、ここではごく単純な場合に話を限る。

ると考えられるという)に、より近いものであると指摘している (Ibid., p.65: 邦訳 p.127).

3.3 Suppe による方法

Suppe もまた、基本的には van Fraassen と同じ考え方を採る。先にみたように Suppe は、科学において理想化と抽象化が重要な役割を担っているという点を指摘していた。それによれば、理論が扱うのは現象ではなく、それと反事実条件的に対応する物理系である。そしてそれらの物理系は、いくつかのパラメータを用いることで現象を記述しているのだった。するとこれから逆に、それらのパラメータを組み合わせることによって、物理系の「状態 (state)」をひとつ指定することができる。物理系の振る舞いはまた、そうした物理系の状態の遷移として描くことができる。そのような仕方では表現しうる物理系の状態のクラスを、Suppe は「論理的に可能な物理系 (logically possible physical systems)」と呼ぶ。理論は、このような「論理的に可能な物理系」(あるいはその遷移の仕方)のうち、どれが因果的に可能^{*10} であるかを指定するのである。

こうした理論の述べる物理系の状態や遷移の仕方は、van Fraassen の方法では状態-空間上で表された。しかし Suppe はこれを、そうしたパラメータの組み合わせ同士の関係ではなく、それらによって表されている物理系の状態同士の関係として表す方法を採用。つまりモデルの構成要素として、状態-空間上の点ではなく、それによって表現されている物理系をとるのである。したがってモデルは、それら物理系と、その間の関係によって形作られる。Suppe は、そのようなモデルの集まりとして理論を捉えるのである。形式的に言えば、理論は、物理系の「論理的に可能な全ての状態」を要素として含む領域と、その上で定義された様々な属性とからなる。ここでいう属性とは、端的に言えば法則のことである。ただし Suppe はそれを、状態同士の関係を述べる、非言語的なものとして考えている。例えば、先の理想気体の状態方程式について言えば、それはどのような状態同士が同値関係にあるのかを述べており、また古典力学などの決定論的な理論においては、法則は、ある物理系が時間発展とともに、どのような状態の系列を取りうるのかを述べていると考えられる。このように Suppe は、法則によって関係付けられた物理系の集まりとして、理論を捉えるのである。

こうした表現方法の違いにともない、理論と現象との照合についての捉え方も、Suppe は van Fraassen と若干異なっている。Suppe はまず、上のように、理論において許容されている物理系 (の振る舞い) を、「理論起因的物理系 (theory-induced physical systems)」と呼ぶ。一方、この世界において我々が遭遇しうる「因果的に可能な現象 (causally possible phenomena)」からは、先にみたように、それに対応する物理系、「因果的に可能な物理系 (causally possible physical systems)」が形成される。Suppe によれば、理論を提示するとは、そうした因果的に可能な物理系のクラスと、理論起因的物理系のクラスとが一致すると主張することだという。これは前章の van Fraassen の考えと非常に近いものであるが、Suppe は、自身の方法の方が、パ

^{*10} 「因果的に可能な」という言葉は曖昧であるが、Suppe によれば、ここでは「理論において問題がないとされている全ての法則が成り立つような領域において起こりうるような」というほどの意味に理解しておけばよいということである。詳しくは (Suppe 1989, p.67, p.76 n.25) を参照。

ラメータを用いない定性的な理論の分析にも用いることができる、という点で優れているとしている。

3.4 Giere による方法

これまで紹介した3人に比べ、(Giere 1988)に示されている理論観は、彼の自然主義的立場を反映してか、やや素朴なものになっている。しかし、意味論的捉え方のアイデアとしては一番分かりやすいかもしれない。Giereが試みるのは、不自然に再構成されたものでなく、科学者に理解されている形での理論の特徴を分析することである。そこで彼は、科学者が理論を学ぶ媒体である教科書に目をつける。ほとんどの科学者はそうした教科書を通じて理論を学ぶのであるから、科学者の立場から理論を眺めようとするれば、教科書を見るのが良いだろうというわけである。彼はそうした分析の対象として、古典力学の教科書を選ぶ。様々な教科書に共通して現れる項目について、その取り扱いをいくつか紹介した後、彼は次のような分析を行う。

力学の教科書ではよく、「調和振動子」や「軸対称な剛体の自由運動」、「重力のみに従う物体の運動」などへの言及がみられる。しかしその一方で、現実の現象は、完全にはそれを充たすものではないということも告げられる。「摩擦のない」、「外力を受けない」といった条件は、実際には充たされないからである。では、それらは何を示していると考えれば良いのだろうか。Giereは、そうした抽象的对象は、教科書においてそれに付与される性質をすべて、そしてそののみを持つものとして提示されているのだという。例えば調和振動子は、 $F = -kx$ という関係を正確に充たすものとして考えられている。このような理想化された系を、Giereは「理論的モデル」あるいは単に「モデル」と呼ぶ。つまり、教科書に載っているような方程式は、こうしたモデルを特徴付けている、あるいは定義しているのだと考えられる。そしてまた同時に、モデルは、そうした定義によって表されている特徴をすべて持つ対象として考えられているのである。こうした用法は、もちろん科学者の用法とも、そして論理学者の用法とも合致していると Giere はいう。つまり論理的用法における「理論のモデル」として、調和振動子は、その公理である運動方程式を完全に充たしているというわけである。

こうした考えをふまえると、教科書に載っている様々な方程式や図は、様々なモデルを示しているということになる。したがって教科書全体の示している理論とは、そのようなモデルの集まりであると考えられる。もっとも、そうしたモデルの集まりだけでは理論にはならない。モデルは非言語的な対象であり、真にも偽にもなりえないからである。しかし、モデルはそうした抽象的な対象ではあるが、現実世界とある関係を持つよう意図されて作られたものである。Giereは、その関係とは「類似性 (similarity)」であるという^{*11}。したがって理論には、そうしたモ

^{*11} Giereは、ここにおいて自分と van Fraassen の考え方は異なっているという。Giereは、van Fraassen のような完全な同型性はモデルと実際の系の間には成り立たないと指摘するのである。しかし先に見たように、van Fraassen が主張しているのは、理論のモデルの一部と、Suppes がデータのモデルと呼ぶような構造 (appearance) との同型性である。もっとも、それを考慮してもまだ同型性の主張は強すぎるかも知れない。このことは、彼が明らかに論理学との類比で考えていること、そして特に (van Fraassen 1980) では、実在論者のいう真理概念に代わる概念を定義するためにこうした理論観を用いていたことなどを反映しているのだろう。

デルと世界との類似性を主張する文も含まなければならない。そのような主張をする文を、Giere は「理論的仮説 (theoretical hypothesis)」と名付ける。

もっとも、類似性の主張といっても、すべてのものは何らかの点で他の何かに似ているだろう。大切なのは、モデルのどの「側面 (respect)」が、どの「程度 (degree)」現実の系に似ているかという点である。Giere によれば、類似している側面とは、モデルによって捉えようとされている実際の系の側面のことを指す。例えば振り子のモデルでは、錘の位置の変化は表されているが、色の表現は意図されていない。一方類似性の程度とは、モデルによって表されているものが、どの程度実際の系と一致するかということである。振り子の例では、例えば摩擦・空気抵抗なし、一様な重力場といった条件の下でのモデルの振り子の動きが、どの程度実際の振り子の動きに近似しているか、ということに相当する。理論的仮説には、そうした類似性の側面と程度とを指定する役割があるのである。こうした理論的仮説は、例えば次のような形で示される (Giere 1988, p.81)。

地球と月からなる系における地球と月の位置と速度は、逆二乗法則に従う 2 粒子についてのニュートン力学のモデルのそれと、ごく近似している。

ここでは、類似性の側面は「位置」と「速度」、程度は「ごく近似している」という言葉によって指示されている。真や偽になりうるのは、モデルと世界の類似性についてのこうした言明である。Giere にとっての理論とは、このように、モデルの集まりに加え、それらと世界との類似性を主張する理論的仮説の集まりとからなるものである。

3.5 意味論的捉え方の共通点

以上が Suppes, van Fraassen, Suppe, Giere らの考える「理論の意味論的捉え方」である。これらは、互いに (影響を受けつつ) 似通った主張を行っているものの、それぞれが独自の用語や手法を用いてその考えを説明しているため、安易にひとまとめにすることは出来ない^{*12}。しかし、少なくともそれらは、次のような主張において共通している。すなわち、科学における理論の役割や構造は、そのモデルを見ることによってより良く分析されるのであり、そして理論は、言語的に定式化されたものではなく、その一群のモデルと同一視されるべきだ、という主張

^{*12} (Suppe 1989) では、そのエピローグにおいて、こうした違いは個々の提唱者の数学的好みを反映しているにすぎないだろうと述べている。しかしその上で、自身の方法の方が非定量的な理論も扱えるという点で van Fraassen の状態-空間法よりも優れていると示唆している。しかしこれら各バージョンの比較検討には、それぞれの提唱者が、科学における理論の役割についてどのような哲学的立場をとるかという点にまで踏み込んだ、また別の考察を要すると思われる。例えば van Fraassen からすれば、観察不可能なレベルにおいては、Suppe のような物理的イメージによる非定量的な説明は問題ではないだろう。こうした表現上の違いは、科学の様々な分野におけるケーススタディを重ねることで解消できるのだろうか。それともそれらは、それぞれの哲学的立場を反映したものなのだろうか。つまり、実際の科学の観察から自然に浮かび上がってくるものではなく、そうした科学的営みをそれぞれの立場から描き出した描像なのだろうか。実際、(Suppes 以外の) 各提唱者たちは、各自の理論観に基づいた実在論・反実在論を展開している。もしそうした理論観同士の決着が経験によってはつけられないのであれば、問題はそれぞれが、各自の立場に基づいた科学の描像を、どれだけ筋の通った形で描けるかということになる。

においてである。そしてまた、従来の理論的／観察的用語といった区別による分析から解放された結果として、理論と現象との関係についての、より現実在即した洞察を行っているという点においても、彼らは共通している。すなわち理論は、現象のすべての側面を救うよう意図されているのではなく、理論がつき合わされるのは、生の現象から形作られた現象のデータである、という認識である。このように、従来の理論的／観察的用語といった哲学的関心から課された不必要な構造に囚われることなく、実際の科学者の理解と近い形で理論の分析ができるという点が、RVとの決定的な違い、意味論的捉え方の利点なのである^{*13}。科学において、特に科学的知識の形成や伝達において頻繁に用いられる「モデル」に着目したことが、科学に対するこうした広い視野を持つことができるようになったひとつのポイントであろう。

まとめ

論理実証主義の哲学者たちは、科学が経験的意味を持った知識であることを示すという動機から、彼らの有意味性の基準に沿った形での理論の再構成を試みた。しかし、そうした特定の哲学的問題意識から定式化された理論は、科学の実際とはかけ離れたものになり、科学における理論の役割や構造の分析においても不適切なものとなった。そのような理論観に代わるものとして登場したのが、モデルを通して理論を分析する意味論的な捉え方であった。そこでは、理論は特定の言語によって定式化された言語的対象ではなく、それらを真にするような、非言語的な対象(モデル)として捉えられる。そして、理論の言語的な定式化はむしろ、そうしたモデルのひとつの表現と考えられるのである。これにより、RVの下では異なる理論ということになってしまっていた「同一の理論の異なる定式化」も、単一の理論の異なる表現の仕方として理解が可能になった。また、RVのもとでの理論的／観察的用語といった区別による分析から解放されたことで、理論と現象との関係などについての、より実際の科学に即した分析も可能になったのである。理論観におけるこうした根本的な転換はまた、RVの下で論じられてきた様々な科学哲学上の問題の見直しを要求し、それは、次第に行き詰まりつつあった個々の問題に対して新たな光を投げかけることとなった(その最たる例が實在論論争である)。こうした理論観の変化は、新科学哲学の登場などと共に、20世紀科学哲学における一大転換だったのである。

^{*13} 思えば、論理実証主義の哲学者達には、科学と非科学の境界線問題や、経験に関係付けられない用語を使うことへの危惧といった、経験主義的な問題意識があった。その意味では、SCはそうした問題意識を共有していないように思われる。要するにSCは、RVの直面した問題に対するより上手い解決策を示したのではなく、そもそも両者は別の土俵に立っているのである。実際 Suppe も強調しているように、現象を記述する物理系にも、理論で用いられるパラメータ(理論語)が用いられるのである。しかしこうした点を利用して、論理実証主義者達の言語中心的な方法論は捨てつつも、経験を越えた知識についての彼らの問題意識を引き継ぎ、その経験主義的主張をより洗練された形で甦らせたのが、van Fraassenの構成的経験論であった。もっとも本稿は實在論論争を扱うものではないので、これに触れることはしない。

参考文献

- [1] Carnap, R. (1956), "The Methodological character of Theoretical Concepts", in H. Feigl and M. Scriven (eds.) *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, Vol. I, Minneapolis : University of Minnesota Press, 1956, pp.38-76. (邦訳: 竹尾治一郎 訳 「理論的概念の方法論的性格」, 内田種臣・永井成男 編 『カルナップ哲学論集』所収, 紀伊国屋書店, 1977 (復刊版 2003))
- [2] Giere, R. (1988), *Explaining Science*, The University of Chicago Press.
- [3] Suppe, F. (1974), *The Structure of Scientific Theories*, University of Illinois Press.
- [4] Suppe, F. (1989), *The Semantic Conception of Theories and Scientific Realism*, University of Illinois Press.
- [5] Suppes, P. (1960), "A Comparison of the Meaning and Uses of Models in Mathematics and the Empirical Sciences", in D. Davidson, J. Hintikka, G. Nuchelmans, W.C. Salmon (eds.) *Studies in the Methodology and Foundations of Science*, D. Reidel Publishing Company, 1969, pp.10-23.
- [6] Suppes, P. (1962), "Models of Data", in D. Davidson, J. Hintikka, G. Nuchelmans, W.C. Salmon (eds.) *Studies in the Methodology and Foundations of Science*, D. Reidel Publishing Company, 1969, pp.24-35.
- [7] Suppes, P. (1967), "What is a Scientific Theory?", in S. Morgenbesser (ed.), *Philosophy of Science Today*. New York : Basic Books, 1967, pp.55-67.
- [8] van Fraassen, B.C. (1970), "On the Extension of Beth's Semantics of Physical Theories", *Philosophy of Science* 37, pp.325-39.
- [9] van Fraassen, B.C. (1980), *The Scientific Image*, Oxford : Clarendon Press. (邦訳: 丹治信春 訳 『科学的世界像』 紀伊国屋書店, 1986.)