

## プランクの実在論、決定論と 物理学的世界像 (一)

—カントの継承者、ポパーの先駆者として—

土屋盛茂\*

私は1994年9月より一年間ウィーン大学を中心として在外研究の日々を送らせてもらった。そのこともあって、今回『教養教育研究』になにか報告することを義務と感じたのであるが、しかし、そのときはこのことをまったく予想していなかったのも、彼の地の大学の教養教育のあり方はもとより、カリキュラムについても、まったく調査しておらず、実は、何を書いてよいか当惑したというのが本音である。考えついた弁明が、教養教育にあっては、例えば「主題科目」の科目設定にも見られるように、従来の専門分野に限定されず、複数の学問分野の視点からひとつの主題にアプローチするという方法が、いうなら学際的な取り組みが、重視されているのであるから、それに関連するテーマをとり上げるなら、あなたがち「教養教育」に無縁ということもなからう、ということであった。

学際的な研究・教育という点では、ウィーンで私が身を寄せたエアハルト・エーザー (Erhard Oeser) 教授はうってつけの人であった。彼は「科学論 (Wissenschaftstheorie)」の教授であり<sup>1)</sup>、聴講させてもらった授業は、大脳生理学のザイテルベルガー (Seitelberger) 教授と共同で行う認知科学のゼミナールといい、毎回多方面の講師が登場するコンラート・ローレンツ環講義といい、テーマの点からいっても、講師、参加者の点からいっても、まさしく学際的であった。さらに私は、「認識論者としての物理学者」と題する物理学と科学論共通のゼミナールにも参加させてもらった。それは数学科の製図室で行なわれたのであるが、実は、1920-30年代にウィーン学団の総帥モーリッツ・シュリックを中心にノイラート、カルナップ、ハーン、ヴァイスマン、ゲーデル、フォン・ノイマン等が参加した木曜夜の私的なゼミナールがもたれたのもこの同じ数学科の建物だったのである。私のウィーンでの研究テーマがポパーとウィーン学団なのだから、ウィーン学団が使ったのと同じ建物でゼミナールに参加することは私にとってささやかな喜びであった。

それはともかく、現代のゼミナールはエーザー教授と理論物理学のフラム (Flamm) 教授——ちなみに彼はボルツマンの孫である——が主催するもので、参加者は、科学論の学科には所属学生がいがないため、おおむね物理学と哲学の学生であった。そして後に、この科目は物理学の教員資格を得ようとする学生にとっては必修科目になっていることが分かった。その理由は推測することはできる。物理学に限らず、いずれの科学でも、十代の中・高校生を対象とする授業の内容はトーマス・クーンのいう「通常科学」の範囲にとどまらざるをえないとしても、教える者には背景の素養としてそれ以上の広い視野が求められるであろうし、その広い視野からくるコメント

\*教授 教育学部 (哲学)

が授業中ちらりと示されればなおいっそう生徒の興味をかきたてるにちがいない。そしてその広い視野のなかには、当然、科学の理論がかかえる現在の問題とその歴史的な脈への視点が含まれていなければならないであろう。そしてその問題のうちには当の科学固有の問題と哲学的な問題が絡み合って含まれているはずである。例えばプランクは、後に見るように、アカデミッシュを前にした講演のなかで当時の物理学の問題状況を説明するとき、物理的現象を説明するため理論あるいは仮説がどう考えだされ、それらがその現象やあるいはその後新しく見いだされた現象にどう適合しどう適合しなかったか、あるいはしないかという、物理学そのものの発展史と現状を述べると同時に、理論とその解釈が考えだされるときモチーフの役を果たし、また、一応の問題解決が図られたときにはそれが果たして満足のゆくものであるかどうかをはかる基準の役を果たす、自然観・世界観や認識論などの哲学的要求への言及も決して忘れることがなかった。いや、ときにはそれを中心テーマにすえて議論しているのである。それはなにもプランクに限ったことではない。ケプラー、ガリレオ、デカルト、ニュートンのような近代科学をつくりあげていった巨人はもちろんのこと、二十世紀の科学の新しい局面を切り開いていった科学者においても、そのような哲学的要求、すなわち、ポパーのいう、発見的原理と統整的原理としての「形而上学的探求プログラム」<sup>9)</sup>が常に働いていたのである。教員になろうとする者にとって科学と哲学の絡み合いへの視点が必要だとしたら、教養として物理学などの科学を学ぶ者にとってそのような視点をもつことはきわめて重要であろうと、私には思われるのである。

さてそのゼミナールでは、アリストテレス、ガリレオ、ニュートン、ライプニッツ、ヘルムホルツ、マッハ、ボルツマン、プランク、アインシュタイン、ハイゼンベルク、ヴァイツェッカー等の物理学者がとり上げられた。彼らのテキストを読み、学生の発表と二人の教授を中心にした討論を聞くなかで、新しく発見し興味をそそられたことも多かった。なかでもプランクの哲学に非常に興味をひかれた。私も、彼がアインシュタインと並んで、量子物理学の実証主義的な解釈に執拗に反対した人だということくらいは聞いていたが、恥ずかしながらこれまでその議論をきちんと追ったことがなかった。ところが面白いのである。私がそれを面白いと思った理由のひとつに、私がこれまでもっとも多く関わった哲学者、カントとポパーの考えが——もちろんすべてではないが——プランクの哲学のうちに、あるいはその継承という形で、あるいはその先駆けという形で見いだされたこともある。もちろん、それだけではない。プランクの科学哲学そのものが——たとえ体系的に展開されてないとはいえ——現在の評価にも耐えうるだけの内容をもっている、と思ったからでもある。そこで今、プランクにおける哲学と科学の絡み合いの議論について、適宜カントとポパーの考えと関連させつつ、述べてみたいと思う。

## I

今世紀に入ってから物理学は、相対性理論と量子物理学の登場によって、「科学革命」とも呼ばれるような大きな変革をとげた。そのさい、アインシュタインの相対性理論に関しては、離れた地点で生じる二つの事象が同時に生じていることを確かめるためには観測者の運動状態を考慮に入れなければならないということが示されたことによって、時間概念のなかに観測者を持ちこむ解釈がなされ、またプランク自身が量子仮説によって幕開けをし、ハイゼンベルクの行列力学とシュレディンガーの波動力学によって数学的定式を得た量子物理学に関しては、電子などの粒

子のふるまいが観測行為によって影響を受けるため、その位置と速度の測定精度に一定の上限があり（不確定性関係）、そのためそれらのふるまいは統計的にしか記述できないということが示されたことによって、マイクロレベルの物理的事象のなかに観測行為をもちこむ解釈がなされた。もともと、マッハの哲学の影響もあって、「実在的な外界はいかにしても直接示すことのできないものであり、・・・そのため、一連の著明な物理学者と哲学者が、直接与えられる感性界について語ることに意味であるのに反して、実在的な外界について語ることは無意味である、という結論をもつに至った」<sup>8)</sup>というような哲学的状況にあったが、さらに上記のような相対論と量子論の理論、観測事実と解釈が加わり、その結果、物理学者の間にもますます、観測から独立の、つまりは感覚的経験から独立の物理的対象や事象は存在せず、物理学の研究対象は感性的な現象（観測結果）でしかない、そしてそこではもはや厳密な因果性は成立しないという、実証主義的な世界観と科学観が広まった<sup>9)</sup>。このような考え方に対してプランクは、ドン・キホーテのように見られることも恐れず、物理学理論の解釈と哲学的世界観の両面から、いやたいいは両側面を絡めながら、立ち向かったのである。私は、物理学理論の解釈に詳しく立ち入ることはできないので、主として、物理学と密接に関連した彼の哲学的主張をみていくことにしたい。

まず第一に、実証主義の立場に反対して、現象の背後に実在的世界がある、いや、あると考えなければならない、とする彼の実在論の議論を見る。ついで、物理学によって構築される物理学的世界像の位置づけと役割を見、さらにその物理学的世界像を構築するための方法についての彼の考えを見る。そして、プランクにとっては実在論と密接に結びついている因果性、決定論擁護の考えを、そして最後に、決定論とは両立しないかにみえる、人間の意志の自由に関する彼の考えを見ていこうと思う。

ところで私が利用したプランクのテキスト<sup>10)</sup>は、1908年から1942年にかけて大学、学会、アカデミーなどの場でなされた講演を集めたものである。この間、外の世界はもとより、物理学の場でも、1925年の量子力学の理論化など、実に多くの変動があったにもかかわらず、プランクの実在論的・決定論的な世界観と科学観は一貫している。もちろん、初期の主張と量子物理学に関する理論と観測結果の解釈が表面に現われてきた1925年以降とでは、世界観と自然観に絡ませる物理学の問題のとり上げ方に変化が見られるが、しかし私はここでは、時代による変化は必要に応じて考慮することにして、プランクの立場は基本的には変化していないという立場から、主として1925年以降の彼の主張と議論に焦点をおくことにする。

## II

しかしまず、1908年時点になされた、物理学の発展傾向からする実証主義批判の議論を見てみよう。プランクが批判の対象とするのはマッハの実証主義である。プランクの要約するところでは「自己の感覚以外に実在するものはなく、自然科学はすべて究極のところわれわれの思想のわれわれの感覚への経済的な適応にすぎない。・・・物的なものと心的なものの境界は実用的で便宜的なものにすぎない。世界を構成する本来のそして唯一の要素は感覚である」(1908, I.S.22)とする立場である。ここでマッハの哲学に立ち入ることはできないが、ただひとつ、「科学的伝達には常に経験の記述が、すなわち、思考のうちでの経験の模倣が含まれている。そしてその模倣は、経験に代替し、したがって経験を節約する役目をもつものである。・・・自然法則とはその

ような総括的記述にほかならず、「物理学とは経済的に秩序づけられた経験にほかならない」<sup>6)</sup>というマッハの主張をつけ加えておこう。そしてプランクは、マッハのこの立場を、直接的な経験を人間が自由に己れの目的に合うようにまとめて物理的世界像をつくっていかうとする立場と基本的に同じであるとし、それを、人間の経験を越えた統一的概念を中心にわれわれと独立に存在する実在的な自然事象を反映するものとしての世界像をつくっていかうとする立場（実在論的立場）と対比させ、実際の科学の発展はどちらの方向に向かっているのだろうか、と問うのである。

このときプランクは、両者を分ける基本的な特徴は、後者の立場のもつ統一化と感覚依存性からの脱却とであるとする。現代の科学、とくに物理学においては、諸概念の抽象化が進んでいるため、直接的に感覚を表現するものは稀であろう。しかしプランクは、そこにも感覚への依存性を見いだそうとし、それを人間による物理的状態の測定可能性や実現可能性にまで拡張し、それを擬人的性格 (der anthropomorphe Charakter) と名づける。そして、先の問いを、現実の科学は統一化と擬人的性格からの解放の方向に向かっているか否か、という問いに置き換えるのである。

発生的に見れば、物理学の概念が元々は擬人的性格をもっていたことは疑うべくもない。「熱」という概念は元々はわれわれの皮膚感覚から生じたものであり、「力」という概念もわれわれの筋肉感覚から生じたものである。そのため、物理学の力学、音響学、光学、熱学等々の領域はそれに対応する感覚から生じ、それに対応して区分されていた。しかし、物理学の発展とともに「力」、「熱」等の概念が元々の感覚的な意味合いを失い、また、それに応じて、元々は感覚器官に対応して区分されていた諸分科が、熱は放射熱という点では光学と、分子運動という点では力学と統合されたように、ますます統合されていき、現在は力学と電磁気学の二つの領域に統合された。そしてプランクの予想するところでは——ただしこの予想は、よく知られているように、実現しなかったのであるが——、この二領域も近々統合されるだろう、と言うのである。ちなみにプランクは、後には<sup>7)</sup>、この二つの区分よりももっと根本的なのは力学的法則の支配する可逆的過程と統計的法則の支配する不可逆的過程の区分であるが、これもいずれは統合されるであろう、いや少なくとも、統合をめざさなければいけない、と言っている。

このように現実の物理学の進んできた方向が統一化と擬人的性格からの解放の方向であることは明らかだとしながらも、プランクはさらに、この非擬人化の方向への進展を熱理論の原理の発展に即して例証しようとする。

まず熱力学第一法則、すなわちエネルギー保存則は、元々は人間には永久機関をつくることのできないという技術的不可能性から導かれ、その限りでは擬人的性格をもった法則であったが、「外に向かって閉じられた物体系の全エネルギーは、その系の内部で生起する過程によってはその値が増加も減少もしないような量である」(1908, I.S.6) という現代の定式では、人間的ないし技術的な観点への言及はなく、擬人的性格は払拭されている、と言う。また熱力学の第二法則も、元々は熱機関の最大効率を求めるカルノーの試みから生まれたものである。カルノーは、仕事と熱との理想的な可逆的サイクル、すなわち、絶対温度  $T_1$  の作業物質を等温膨張させ、ついで断熱膨張によって  $T_2$  まで温度を下げ、ついで等温圧縮し、終わりに断熱圧縮して、はじめの状態に戻すというサイクルを考案し、そのサイクルの効率  $(T_1 - T_2) / T_1$  が考えられる最大効率であることを示した<sup>8)</sup>。これを承けて、自然界には不可逆的過程が存在する、という形で熱力学の

第二法則を定式化したのはクラウジウスであった。例えば、ある力学的仕事、例えば摩擦によって熱が生じるとき、その熱から元の力学的仕事を取り戻すことは原理的に不可能である。つまり、仕事から熱、熱から仕事へと戻る第二種の永久機関は不可能である。それでは不可逆的過程の定量的尺度をクラウジウスはどう定めたのか、とプランクは問う。例えば温度  $T_1$  の高温の物体から温度  $T_2$  の低温の物体に熱が移るさいに、決まった量の仕事が行われる。その量を計算するモデルとしてクラウジウスはカルノーの可逆的サイクルを利用する。だがそのとき失われる仕事は高温の物体に由来するとも、低温の物体に由来するとも、考えることができ、そのいずれであるかに応じて、失われる仕事量は、移動する熱量を  $Q$  とするとき、 $Q(T_1 - T_2)/T_1$  または  $Q(T_1 - T_2)/T_2$  のいずれかということになる。この不確定性は不可逆性の定量的定義としては重大な欠陥である、とプランクは言う。そして、この不確定性の因ってきたところは、その定義にカルノーの可逆的サイクルのアイディアを用いていることにある、しかもそのことによって、第二種の永久機関の不可能性の定式はもちろん、クラウジウスによる不可逆的過程の定量化においても、著しく擬人的性格が残っている、なぜなら、それは現実には実現不可能な過程を実現可能と見る見方に依存しているからだ、と言うのである。

したがって「すべての物理系のエントロピーは常に増大する」( $-Q/T_2 + Q/T_1 > 0$ ) と定式化されたクラウジウスの熱力学の第二法則も、彼のエントロピーの定義、“ $Q/T$ ” が同じ理由で不満足な以上、不満足である、とプランクは言う。だが後にボルツマンが、分子運動論と確率を用いて行った、 $S = k \log W$  ( $S$  は系のエントロピー、 $W$  は系の確率を表わす) という定式においては擬人的性格が払拭されている。なぜなら、エントロピーの増大は、ここでは、低い確率状態から高い確率状態への移行に還元されており、個々の分子の運動がアト・ランダムであることが仮定されるなら、これは数学的に論証できることだからである。後に、決定論にこだわって、究極の目標として統計的法則の因果的法則への還元を主張したプランクにとって、ボルツマンのこの結果を最終的なものとして認めるつもりはなかっただろうと推測するが、とにもかくにも非擬人化がここで一応達成されている、という指摘と受けとめておきたい。

物理学そのものに即した物理学者らしい議論なので、あえて危うげなその再現を試みたが、それでも、この議論を通じてプランクの言わんとするところは明らかである。彼の議論は、要するに、科学、とりわけ物理学の進む方向は今見たような意味での非擬人化の方向だということである。擬人的性格は、たとえ高度のレベルの観測や技術の実現可能性であろうと、そこにわれわれ人間の関わりが含まれているということの意味する。それに対して、人間の関わりを排除して定義された物理学の概念が指示するものは、われわれの感覚と独立に存在する実在的对象そのものでなければならない。それゆえ、科学、物理学は、そのような実在的对象や事象を捉え、その間に成り立つ実在的連関を捉える方向に進んでいるのだ、それは決して感覚の経済的な総括を集積していく方向などではない、というのがプランクの考えであると言ってよい。

しかし彼のこの議論は、現実の科学の発展という外的な証拠を利用した議論であって、まだ実証主義と実在論の論拠のなかに切り込んだ議論ではなく、哲学的観点からすれば必ずしも十分説得力があるとはいえない。しかも原子物理学の領域でつぎつぎと新しい事実が見いだされ、それらは統計的記述しかできないことが明らかになるとともに、1927年にはハイゼンベルクが「不確定性原理」を打ち出した。それによると、ミクロのレベルの対象の測定は測定行為自身によっ

て攪乱され、われわれには攪乱をとり除いた対象それ自体の状態について知るすべが原理的にない<sup>9)</sup>、ということになる。そしてそれを論拠に、マイクロレベルでは測定行為と独立の対象自体あるいは事象自体について語ることは無意味である、という実証主義的な存在論が主張されることにもなった。不確定性関係の解釈は、物理学が非擬人化の方向に発展してきているという、プランクの主張に対する反論にもなっているが、その解釈はともかく、マイクロレベルの粒子間の客観的事態としての不確定性関係は認めるプランクにとって、このような状態は、実証主義の圧力が強まった、ということの意味していた。それにもかかわらずプランクは、彼の實在論的立場を主張し続けた。そして1930年前後には実証主義と實在論の論拠と認識論的身分に切り込んだ實在論擁護の議論を試みている。それゆえ今、1930年の「実証主義と實在的外界」(I.SS.166-184)と題する講演を中心にして彼の哲学的な議論を見てみようと思う。

プランクは、科学における論理学の役割を認める。しかし論理学はすでに与えられている命題をつなぐ役を果たすだけで、科学の基礎をなすものではない。また彼は、後にみるように、仮説形成や思考実験における想像力や思考の自由な飛翔を科学において有効なものと評価する。しかし、それだけでは現実世界と関わるべき科学の内容を構成することはできない。なぜなら、「すべての仮説は、それから生まれる理論が測定体験と関係づけられることによって初めて、現実に対する意味をうる」(1930, I.S.178)からである。「すべての知識の源泉は、したがってすべての科学の源は個人的な経験にある。個人的な経験こそ直接の所与であり、われわれが考えうるもっとも現実的なものであり、科学と呼ばれる思考過程の最初のよりどころである。」(1930, I.S.167)なぜなら「物理学の構築は測定を基礎として遂行されるが、すべての測定は感性的知覚と結びついているから、物理学の概念はすべて感性界から汲みとられたものだ」(1930, I.S.143)からである。そして感覚的所与からその背後にあるとされる対象を推論することはできない。そこで実証主義者は、「自己の感覚以外に実在するものはなく」(1908, I.S.22)、「対象」といわれるものは同時に現われるいろいろな種類の感覚の複合体であり」(1929, I.S.143)、科学の任務は、「われわれの前に現われるいろいろな種類の自然観察の内容のうちできるだけ厳密で単純な法則的連関をもちこむ」(1930, I.S.167)こと以外にない、と主張する、と言うのである。

1930年頃からプランクは、実証主義か實在論か、決定論か非決定論か、というような哲学的立場について、そのいずれをとるべきかを議論するさい、対立する立場の一方を仮にとり、それから帰結を導きだし、その帰結の適不適の判定によって遡って哲学的立場の選択を判断するという、プラトンのディアレクティケーに似た方法(一種の帰謬法)を多用している。ここでも、実証主義を吟味するために、それを物理学の唯一の基礎と仮定したとき、物理学はどのような状態に導かれるか、という問いを立てる。プランクが見いだす実証主義の有利な点を挙げると、まず第一に、主観的経験は決して互いに矛盾することはないので——例えば、今手の上でかなりの重さを感じられたものが次の瞬間まったく重さを感じられなくなったとしても、主観的経験の範囲に留まっている限り何の矛盾もない——、この立場では矛盾を恐れる必要がない。もっとも、主観的経験の論理的構成によっては矛盾に陥ることもありうるだろうが、すくなくとも論理外のもの、すなわち實在との矛盾を恐れる必要はない。第二に、感覚という認識源泉から得られるものはそのまますべて受け入れてよいのである。錯覚として排除されねばならないような感覚などありえない

からである。第三に、この立場では、感覚によって構成された対象のみに関わり、また観察によって答えられる問いのみが有意味とされるのだから、いっさい謎はない、ということになる。

したがってこの立場は整合的に遂行していくことができる、とプランクは言う。例えば机のような日常的な事物について語るとき、われわれは通常単なる観察の内容以上のものを「机」ということばで意味している。たとえばわれわれは机を正面から、横から、あるいは上から見たとき、それぞれ異なる感覚内容をもつだろうが、それでもそれを机と認知する。しかし机を、すでにみたように、机を見たときもちうるあらゆる視覚感覚、そのみか、机に触れたときに得られる触覚感覚、机を手でたたいたときに得られる聴覚感覚等々の複合体と見れば、論理的観点からは問題はないと言う。補足としてつけ加えれば、限られたパースペクティブからの机の認知は、そのとき得られる感覚とその感覚複合体との重なりで説明できるだろうからである。

では通常錯覚と呼ばれているような知覚はどう説明されるのだろうか。というのは、この立場では錯覚ということはあるはずだからである。しかし問題はない。例えば斜めに水につけられた真っすぐな棒が水面で折れたように見えるときも、われわれの感覚がわれわれを欺いているわけではない。通常のときの真っすぐの見えも、水中の屈折した見えも、どちらも現実にとおりに現前している真正の経験なのである。したがって、棒の感覚は水面で折れ曲がっているといっても、感覚は、棒は真っすぐだが、水中につけられた部分から反射してくる光線が水面を通過するとき屈折するかのようふるまうといっても、どちらでもよい。要は、どちらの表現が有用であるかである。たとえこの「かのように (als-ob)」の語り方がかなり奇妙で不便な結果をもたらすとしても、それでも、論理的な観点からすれば、その語り方は貫徹できる、とプランクは言う。

したがって太陽系についてプトレマイオスの地球中心説をとるか、コペルニクスの太陽中心説をとるかも、単純性と有用性によって決めるしかないのである。なぜなら与えられているのは、天空に無数にちりばめられた光の点と光の円板の知覚と、それらの相互運動の知覚(測定)等々だけであり、理論はわれわれが付け足したもの、自由な考案だからである。だから、プトレマイオス説とコペルニクス説のいずれが真であるかと問うことは、実証主義の観点からすれば、無意味な問いになる。どちらも正しい天体の運動記述なのであり、ただコペルニクス説の方がより単純でより有用だといいうるだけなのである。

それでは感覚をもつとされる動物についての認識はどうなるのだろうか。叩かれた犬が身を縮めて鳴き声を出すのを見れば、われわれは犬もわれわれ同様痛みを感じていると考える。しかし、われわれに与えられているのは犬の行動の知覚のみである。犬の感じている痛みを自ら感じることはできない。われわれが犬に痛みの感覚を帰属させているのは、類似の状況下で類似の行動をとるときのわれわれ自身の痛みの経験からの類推でしかない。そしてこれは人間の場合もまったく同じである。「ここでも実証主義は自分の感覚と他人の感覚との明確な区別を求める。なぜなら現実的なのは自分の経験のみであって、他人の経験は間接的に推定されたものである。それは当然合目的な観点からわれわれが作り出したもののひとつと言わねばならない」(1930. I S.170)<sup>99</sup> つまり、経験的所与を唯一の認識源泉とする実証主義の立場を貫徹していけば独我論に陥らざるをえない、とプランクは言うのである。しかしプランクはなお、独我論も、睡眠による経験の流れの中断という問題があるにしても、とにかく整合的に貫徹しうることを容認する。

しかし、科学の遂行という観点からみれば、独我論は、したがって実証主義は、ここで真の困難にぶつかる。他人の経験が「合目的な観点からわれわれが作り出したもの」(*loc.cit*)であるならば、物理的事象について他人が行なう報告もまたそうでなければならない。そうであるなら、経験の主体である私がただひとりで科学を遂行しなければならないことになる。いかなる天才をもってしてもこのようなことは不可能である、と現場の科学者であるプンクは断言するのである。

ここで実証主義がすこし妥協をして、他人の経験を認めたと仮定しよう。だがそれでも新たに打ち克ち難い困難が生じる。他人の報告の信頼性に差異があるという問題である。物理学者が信頼を寄せるのは、よく訓練された実験物理学者によってなされた報告だけである。しかし、素人が得る感覚的経験も実験的物理学者が得る感覚的経験も、彼らにとっては直接的な自己の経験であり、実証主義の立場では、すでに述べたように、等しく真正なものとして知識の体系中にとり込まなければならないはずである。両者の報告、両者の経験に価値の相違を見いだすことは、実証主義の基本的立場を掘り崩すことなしには不可能である、とプランクは言う。一方、よく訓練された実験物理学者の報告であっても、信頼されないものもある。ここでは、1903年のフランスのブロンドロが行ったN光線の観測報告の例が挙げられている。ブロンドロの観測は、その後の彼の努力にもかかわらず再現されず、その結果信頼性を失なうことになった。しかし、一回きりの経験であっても、実証主義の立場からすれば、真正の経験である。なぜ、信頼性の基準として観測の再現可能性が要求されなければならないのだろうか。それは実証主義の立場からは説明不可能なことではないか、とプランクは言うのである<sup>90</sup>。

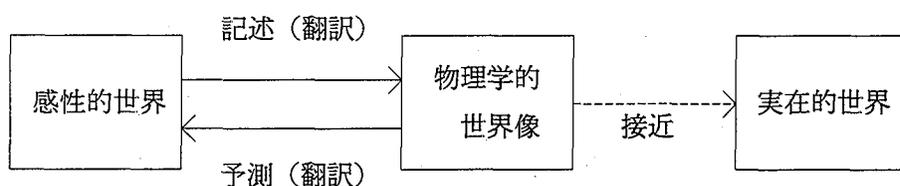
それでも実証主義の立場は整合的である。他人の報告の必要性を端から却ければよい。実証主義は決して論理によって却けることはできない。しかし、科学の体系をその上に築くべき基盤としては狭すぎる、ということは明らかになった。したがって科学の基盤としては別の仮定を選択しなければならない。つまり、「われわれの経験は物理学的世界像を構成するものではなく、むしろわれわれに、経験の背後にあり、われわれと独立の、もうひとつの世界について情報をもたらすものである。換言すれば、実在的な外界が存在する、という仮定」(1930, I.S.173)である。実在的な世界についてはわれわれは直接的にも知ることができない。したがって、それが存在することも直接知ることができない。しかし、実在的な世界が存在するという主張は論理的には反駁不可能であり<sup>91</sup>、それゆえ、仮定として立てることはできる。もちろんこの仮定は、実在的世界が直接知りえないものである以上超越的なものであり、したがって形而上学的な仮定である。しかし、科学の遂行を意味あるものとするにはこの仮定が必要なのである。物理学などの科学が現存する理論(感覚の総括)の分析のみを事とするならば、感覚世界からとられた概念のみで足りるかもしれないが、観察データを基にしながらも、それを越えた新しい概念や理論を生み出すことが科学の仕事であるとすれば、実証主義の立場でそれがどうして可能になるだろうか。未知の文化圏の文書を解読しようとする言語学者が、その記号の列が意味ある記号列だということを前提してはじめて解読を試みることができるように、物理学者も、自分が研究対象にしているのは自分の感覚ではなく、直接には知られえない、自分と独立に存在する実在的世界であり、そこにはなんらかの法則性(Gesetzlichkeit)があるということを前提とし、自分の営みはその秘密のヴェイルを少しずつはがしていく果てしない探求の途上にあると考えることによってはじめて、自分の営みを意味あるものにすることができる。実在的外界の存在という形而上学的仮定は、科

学にとってその意味で不可欠の前提だとされるのである。

### III

科学の任務は実在的世界の認識である。しかし、繰り返していうが、実在的世界を直接知るすべはない。われわれに直接与えられるのは感覚的経験と、その代行としての測定データだけである。しかし感覚的経験は、われわれに実在的世界の徴 (Zeichen) をもたらすのみで、実在的世界を写すものではない。そこで科学は、とりわけ物理学は、感性的世界と実在的世界の両者を結ぶものとして物理学の世界、物理学的世界像 (das physikalische Weltbild)<sup>93</sup>を構築する。それは物理学の理論体系であって、それゆえ「意識的にある一定の目的に役立つように人間精神が創造したものであり、それゆえそれ自体は変化しえ、一定の発展をなすものである。」(1929, I. S.144) その任務は、「実在的世界と感性的経験の間にできるだけ緊密な連関をもたらすこと」(1930, I. S.174)、すなわち「第一に、実在的世界をできるだけ完全に認識し、第二に、感性界をできるだけ単純に記述すること」(1929, I. S.144) だとされる。感性的世界との関係についてももう少しと、物理学的世界像の任務には、ここに挙げられている、感性的経験 (観測データ) を帰納的な方法によって一般化すること (1926, I. S.118) だけでなく、そのデータを物理学的世界像内の概念 (記号) へ翻訳しつつ記述するということと、逆に物理学的世界像内で物理学の概念 (記号) の形で得られる予測を感性的世界の言葉に翻訳して理論のテストをするということも<sup>94</sup>、含まれているだろう。

それでは実在的世界との関係はどうか。物理学的世界像の任務は「実在的世界をできるだけ完全に認識すること」とされているが、一方、その物理学的世界像をつくり出すわれわれ人間には実在的世界を直接認識することができない、ということはすでに述べた。しかし「できるだけ完全に」ということばですでに示唆されていたように、実在的世界の認識はあくまでわれわれの、物理学者の、そして物理学的世界像の、めざし接近して行くべき目標なのだ、ということはプランクの一貫して強調するところである。「科学の仕事は、決して到達することがないであろう、いや基本的に決して到達しえない、目標に向かってのたえざる努力として示される」(1930, I. S.173) のであり、「この理想的な目標はわれわれには決して完全に到達することができないものであるとしても、それでもわれわれは仕事をたえまなく続けていくことによってこの目標にたえず接近していくことができるのである。」(1923, I. S.86) このことによって科学の、物理学のたえまない営みに「実り多い真理の探求」(1923, I. S.173-4)、つまり合理的な営みであるという意味が与えられる。そのためにこそ科学者、物理学者は、物理学的世界像において実在的世界の対象や事象をよりいっそう近似的に表わすものとして新しい物理学の概念 (記号) を導入し、理論を改訂するのである<sup>95</sup>。これを図示すると次のようになる。



だが、「実在的世界」が形而上学的概念であると同様に、「実在的世界の認識（真理）への接近」も形而上学的概念である。それなら、われわれが真理獲得の正しい道に在るということは何が証明してくれるのだろうか。ひとつには、科学、物理学の発展経過がひとつの証拠を提供してくれるであろう<sup>99</sup>。たえざる努力の結果新しい物理学的世界像がますます多くの感性的事実を説明し、しかもそれらの事実についての認識が深まっていき、その結果有用な科学技術も開発されていく、というような科学的認識の増大がひとつの証拠であり、またすでに述べたような、物理学的世界像から直観的性格、擬人的性格がますます失なわれ、数学的な定式化を通じてますます抽象化、定量化が進んでいくという事実も、われわれの物理学的世界像が感性的世界から離れ、実在的世界の方に接近していていることのもうひとつの証拠である。さらにプランクは、別の箇所で、比喻を用いながら次のような説明を行なっている。「ここでは〔たえまなく活動する科学の仕事において〕（筆者補）実際に前進がなされており、行きつ戻りつさまよっているわけではないということは、いま眼前にある科学の認識段階の展望はまだ霧につつまれているとしても、新しく達成された認識段階から見ると常にそれ以前の段階はすっかり見晴らすことができる、ということによって証明される。それは、山歩きをして新しい頂きに登ろうとしている人が、その高みからすでに登ってきた頂きを見晴らすことができ、そこで獲得された見通しをこれからの登りに利用しうるとよく似ている。」（1935, II. SS. 64-5）なぜ新しい世界像から古い世界像が見晴らせるのであろうか。それは、後にも見るように、新しい物理学的世界像（理論）が古い世界像にとって代わるとき、古い世界像の欠点は直すが、長所は保持するからである。（1930, I. S. 176）ポパー式の言い方でいうと、新しい理論が古い理論にとって代わるとき、新しい理論は、古い理論が説明しえた事実を説明すると同時に古い理論が説明に失敗した事実を説明するのであるから<sup>100</sup>、新しい理論（物理学的世界像）において古い理論（物理学的世界像）の位置づけが可能なのは当然なのである。

到達不可能な目標を設定してそれをめざして接近していくというプランクの考えについて述べた機会に、ちょっと横道にそれて、このことに関するカントとポパーの考えを簡単に示し、プランクがカントを継承しポパーに先駆けているという構図の例証としたい。

周知のようにカントは、感性的対象の背後にある物自体の存在を認めはしたが、しかし、われわれ人間にとって認識可能な対象は感性的対象、すなわち現象のみであり、物自体は原理的に認識不可能であるとした。それに対してプランクは、直接認識しうるのは感性界の対象のみとしながらも、たとえめざすものでしかなくとも、とにかく超越的な実在的对象の認識について語り、また後に見るように、そこでの法則性としての因果性についても語っている。ちなみに、カントが因果性のカテゴリーを物自体に適用しないのは周知のとおりである。プランクがカントの哲学に特別敬意を払っていたことは彼の文面から読み取れるのであるが、だからといってカントにまると従っていたのではない。

しかし、もっとよく検討すればその相違はかなり微妙になるのである。なぜなら、認識の対象である自然は、カントにとって、たしかに現象の総体ではあるが、しかし、あくまで悟性の規則に従う限りでの現象の総体であり、また対象も、単なる主観的表象の集まりと区別されるために

は、悟性の規則に従った表象の総合でなければならない<sup>99</sup>。その悟性の規則とは統覚による直観の多様（表象）の総合的統一から生じるものであり、それによって認識に、任意の主観的表象の結びつきとは異なるという意味での客観的な意味が付与されるのである。ところで統覚による統一とは、私の意識に現れる諸表象を「私は考える（私は意識する）」という、特殊な内容をとり除いた意識一般の下で結合することであるが、しかし、それによって得られる「表象Aも表象Bもともに私の表象である」という結果だけでは、主観的表象の結合が客観的認識となるにはまだ不足するように思われる。そうなるためには認識が主観的表象でない客観（対象）に関係づけられるという視点が必要であるように思われるが、事実カントもそう言っている<sup>100</sup>。ところが認識可能な対象は現象のみであり、現象は依然主観的表象なのだから、カントは、『純粹理性批判』第一版で、現象の背後にありそれ自身はもはや表象ではないような「超越論的对象（der transzendentale Gegenstand）」という概念をもち込み、「この超越論的对象（われわれの認識においては実際は常に一様に=Xである）の純粋な概念が、われわれのあらゆる認識に対象への関係、すなわち客観的実在性を得させるものである」（A109）と言っている<sup>101</sup>。この超越論的对象が何であるかをここで論じることはできないが、とにかくわれわれに認識可能な対象として与えられるものではない。それゆえ、ただめざされるだけのものである。「超越論的对象への関係」によって認識に客観的意味が付与されるとしても、直接それに依拠することはできない。それゆえカントは、実際の認識の場では統覚の総合的統一という形式的条件をもって超越論的对象への関係づけに代置したのである。しかしそれでも、その統覚の総合的統一のうちに含まれるべき「超越論的对象への関係づけ」という視点によってその総合的統一に「客観的意味の付与」という意味づけがなされるのであり、私はこの点は重要だと考える。これで明らかになったように、超越的な実在的認識のめざし方に違いはあるものの、とにかくそれをめざすという点では、プランクはやはりカントの考え方を継承していたのである。

カントにおいて、超越的なものをめざすという考え方がもっとも明確になるのは、いうまでもなく、統整的原理（das regulative Prinzip）としての理性の理念においてである<sup>102</sup>。理念は、理性推理を限りなく押し進め、その行き着くところに想定されたものであるから、有限主義者たるカントにとって、それは原理的に認識不可能なものであった。しかし、理念の想定に導く理性推理はある意味で必然的なものであるから、理性の理念をあたかも自然の最高原理であるかのようにみなすことが必然となる。「それらの原理は理性の経験的使用を進めていくための単なる理念を含み、そして理性の経験的使用は、理念に到達することは決してできず、いわば漸近的に、すなわち近似的にそれに従うるのみであるが、それでもそれらの原理はアプリアリな総合的命題として客観的ながら不明確な妥当性を持ち、可能的経験の規則の役をなす。そして運がよければ、その規則をつくりだすさい実際に発見的原理としても用いられる。しかし、その超越論的演繹をなすことはできない。なぜなら理念に関しては超越論的演繹は常に不可能だからである」（A663-4, B691-2）とカントは言う。それゆえ理性の理念から生まれる原理は、統整的原理として、経験的認識に努める悟性に必然的な課題を与えるのである。例えば、宇宙論的理念に対応する、自然界の事象はすべて因果的に連関しあっているという原理は、一見因果的連関が見いだせないような事象間にも因果的連関を求めようとする努力を要求し、神学的理念に対応する体系的統一の原理も、例えば、いろいろな異なる力を唯一の根源力へ還元しようとする努力のように、

異なる経験的原理に体系的統一を求めようとする努力を要求する。プランクの実在的世界とその法則性の認識という到達不可能な目標へ向かっての努力と同じく、カントにおいても、到達不可能な目標への接近が科学に統一を与えるための統整的原理として働いていたのであった。

一方、ポパーがプランクにどれだけ負っているか、とりわけ哲学的な思想に関してどれだけプランクに負っているかについては、まだ確かなことはいえないが<sup>22</sup>、本稿でとり上げる点だけから見ても、プランクが多くの重要な点でポパーの先駆けであると言うことができると思う。ポパーにおいても、形而上学的観念は必ずしも無意味とはされず、それどころか科学にとっては統整的原理としての形而上学的観念（「形而上学的探求プログラム」）が必要であるとされること<sup>23</sup>、そして実証主義・現象主義に反対し形而上学的实在論が擁護されること<sup>24</sup>など、ポパーがプランクと軌を一にするところが多くあるが、今その論議に立ち入ることは控えたい。ここでは「合理的討論、すなわち真理に接近していくための批判的議論は、客観的实在、すなわちそれを発見していくことをわれわれが自分の仕事にしているような世界、なしには無意味になるだろう」<sup>25</sup>とあるように、ポパーの「真理近似性 (verisimilitude)」の概念にも、上で見たプランクの考えと同様、実在的世界の存在とそれの完全な認識という到達不可能な目標への漸近的な接近という考えが含まれている、ということ指摘するに止めよう。反証主義者のポパーは、科学の理論は、どれほどそれから導き出される予測が的中しようとする真であるとも確からしいともいうことのできない、暫定的な仮説である、とする。しかしそれでは科学の営みが無方向になる恐れがある。やはり真理に向かっているものでなければならない。しかし科学がめざすべき真理は、ただ確率論的な意味での確からしさの極値としての真理ではなく——その意味でなら内容が乏しければ乏しいほど真である可能性が大きくなる——、対応説によって意味づけられ、できるだけ多くの事実と対応する、つまりできるだけ多くの真である経験的内容をもつような真理でなければならない、とする。そしてもっとも価値ある、もっとも豊富な真なる経験的内容をもつ真理はすべての真なる事実的言明の集合、「全真理」であろう。もちろん「全真理」のような概念は形而上学的概念である。しかしそれでも、それへの接近を語ることによって、科学の理論は合理的な営みであるという意味づけがなされるのである。それぞれの理論の全真理への絶対的な接近度を定義するのはきわめて困難、あるいは不可能かもしれないが<sup>26</sup>、しかし、同一の領域の競合する理論について相対的な接近度について語ることは見込みがある。理論Aが理論Bにとって代わるとき、通常、Aは、Bが説明しうる事実をすべて説明する（Aの真理内容はBの真理内容より小さくない）と同時に、Bが説明に失敗した事実をも説明する（Aの真理内容はBの真理内容より大きく、Bの偽内容はAの偽内容より大きい）ことができるからである。このポパーの考えと先に述べたプランクの考え——たとえ綿密な議論には至っていないとはいえ——との間に共通性が見いだされることは、いまさら言うまでもないだろう。

#### IV

さて、話をプランクに戻そう。プランクは、科学、物理学はどのような仕方で物理学的世界像を構築するのか、つまりどのような方法が用いられるのか、ということについて、「実証主義と実在的外界」（1930）や「自然における因果性」（1932）などにおいて彼の考えを示している。それは、实在論や決定論を擁護する彼の議論に比べれば簡単なコメントでしかないが、しかし興

味深いものではある。興味深い理由のひとつに、この点についても、現場の物理学者であるプランクがかなりの程度ポパーの考えを先取りしていることが挙げられる。だが、それは後に検討することにして、まずプランクの考えを見ていくことにしよう。

まずプランクは、科学者が物理学的世界像を構築するさい、論理的な矛盾は絶対避けなければならないことはいうまでもないが、しかしその他の点では、「かなりの程度の任意性と不確定性がある」(1930, I.S.175) と言う。なぜなら科学において理論形成の第一歩は仮説の形成であり、それは自由な思弁、創造的な想像に負っているからである。もちろん経験的科學は、感性的経験に基盤をおかねばならない。それゆえプランクは、物理学的世界像の仕事として、「実在的世界をできるだけ完全に認識し、感性界をできるだけ単純に記述すること」(1929, I.S.144) の二つを挙げていた。しかし、観測された諸事実の間に連関を見いだすことは決して機械的になされることではない。紙の上にかかれた多数の点を線で結ぶという課題においてすら線の引き方は無数にあり、そのうちどれを見いだし、どれを選ぶかについて、「一般的に用いるような処方箋はない」(1930, I.S.175) のである。その段階においてすらすでに任意性とそれに伴う不確定性がある。「目の前にある測定経験をひとつの統一的な法則にまとめ上げるといふ、そもそもの第一歩においてすでに、研究者は経験の所与を超え出ざるをえないのだから、自由な思弁が始まっている」(1930, I.S.175) のである。

しかし、経験的データの直接的な連関(一般化)の発見は科学にとってもっとも重要な仕事ではない。重要なのは、実在的な世界の間になり立つ連関を見い出すために、いやそれに向かって接近していくために、新しい理論的概念を發明することである。科学史に例を求めると、プロマイオスにせよ、コペルニクスにせよ、ケプラーにせよ、天体の位置と時間との間の連関を捉えようとしていただけなのに対し、ニュートンは、「力」概念を導入することによって、惑星の加速度と太陽からの距離の間に成り立つ連関を見いだし、自然理解を深めることができた。また、それによって異なる科学の領域を統一することもできた。例えば、ニュートンが同じく「力」の概念によって、それまで連関の見いだされていなかった二つの事象、すなわち、地上での物体の落下現象と地球をめぐる月の運行の間に連関を見いだしたとき、それが達成されたのである<sup>2)</sup>。このときの概念と仮説の発見(あるいは、發明)が、経験からの一般化によるものでなく、想像力の自由な飛翔によるものであることはいうまでもない。そして見いだされた概念と連関は、感性界の言語から物理学的世界像(理論体系)の言語、つまり、数学的な記号と方程式に翻訳されなければならない——それは非直観化、非擬人化を意味する——が、そのときにもまた、原子物理学の同じ観測事実を基にして、ハイゼンベルクの行列力学とシュレディンガーの波動力学という、数学的に等値ではあるものの、ともかく異なる量子力学の数学的定式化がなされたように、自由な想像力が働くのである。いずれにせよ、物理学的世界像のうちに含まれている任意性と不確定性は、観測経験ばかりに依存するのではなく、むしろそれ以上に自由な発想に依存する、そして常にゴールへの途上にある科学にとって、——減少をめざすとしても——ある意味で必然的な結果ということができよう。

しかし、科学はやはり感性的経験に基づくものでなければならない。そうであるなら、少なくとも観察事実の記述においては、生の感性的経験が科学の基礎とならなければならない、と主張されるかもしれない。だがプランクはそのような考えを否定する。「物理学の仮説を立てるとき、

その意味がはじめから測定によって、つまりどの理論にも依存せずに、十分明確に定まっているような概念以外は使ってはならない、というのは正しくない」(1930, I.S.177) と言うのである。なぜなら、すでに見たように、仮説は自由な思弁の産物だということもあるが、さらに「直接的に測定されるような物理量はない。むしろ測定は、ある理論によってその測定が解釈されることによってはじめて物理的な意味をうけとる」(1930, I.S.177) からである。なぜそうかといえば、ひとつには、物理量の測定には必ず補正が伴い、その補正は常になんらかの理論、仮説から導かれるからである。そればかりでなく、プランクは明言していないけれども、あらゆる物理的事実の記述は理論による解釈を帯びたものだと考えていた節がある。なぜなら彼は、元素の変換という問題が、鎮金術師の時代には有意味であったが、近代の原子不変説の下では意味を失い、ふたたび現代の原子物理学（たとえばボーアの原子モデル）のもとでは有意味になったように、「理論を用いることなく、ある問題の物理学的意味について判断を下しうる、と信じてはいけない」(1930, I.S.179) と言っているからである。それなら、理論によって意味づけられていない測定結果などどこにあるだろうか。「測定の物理的意味は直接与えられるものではなく、その確認は科学の課題なのである。」(1930, I.S.178) こうみると、ポパー、ハンセン、クーンらの唱えた観察の理論負荷性を明言する一歩手前までプランクがきていた、と考えなければならないだろう。

こう見ていくと、プランクは、実証主義に反対するあまり、理論形成と並んで科学の柱である観察や実験を軽視していたかのごとき印象をうける。そのうえ彼は、理論を整備し、実在的世界を探る道具として、思考実験 (Gedankenexperiment) を重視しているから<sup>89</sup>、ますますその印象が強くなる。しかし、そうではない。科学が現実の世界について知ろうとする営みであるかぎり、現実との接触を失ってはならない。「新しい根本的な変革を含む理論が正しい道を歩んでいるのかどうか・・・この重大な問いの決定は、ひとえに、科学の仕事がたえず前進するなかで物理学的世界像が必要不可欠な感性界との接触を十分保っているかどうかにかかっている。この接触を欠けば、どれほど洗練された世界像であろうと、ただのシャボン玉でしかないだろう」(1929, I.S.164) からである。そしてその接触は、今のプランクのことばかりも窺えるように、むしろ理論のテストにおいて得られるのである。さらにつけ加えていうと、プランクは、形而上学的でも実証主義的でもない、第三の立場、すなわち、理論体系の矛盾のない「内的完結性と物理学の論理的構築」(1928, I.S.145) ばかりに目を向ける公理主義者 (規約主義者) の立場を、内容を欠いた形式主義として却けている。

さてプランクによると、科学の営みは次のような操作から成り立っている。

#### 1. まず、すでに述べたような仕方で仮説を立てる。

このときすでに、新しい概念が中心になっているはずであるが、それを数学的な記号に変える翻訳、すなわち数学的な定式化が、この段階でなされると見るべきか——したがって、当初からある程度の数学的定式化が施された仮説が提示されると見るべきか——、あるいは次の段階でなされるものと見るべきか、については確かなことはいえない。おそらく状況次第であろう。

#### 2. ついで、仮説を出発点として理論形成をする (「立てられた仮説の有用性は、それから帰結を導き出すことによって吟味される。それは純粹に論理的な、主として数学的な方法によって、仮説を出発点として、それからできるだけ完全な理論を展開することによってなされる。」(1930,

I.S.176))

これから読みとれるように、仮説は理論の核になるいわば原理ともいふべき言明、理論は原理から導きだされる言明体系を意味している。そして理論が形成されたときには、それは一定の完成をみた論理的・数学的な体系になっているはずである。しかし、それを単に形式的体系と見ることはプランクは却ける。記号の解釈については、次の段階の感覚語への翻訳以外、プランクははっきりとは述べてはいないが、例えば「力」や「エネルギー」のような概念は、理論形成と並行して、あるいは少し遅れて、なんらかの仕方です実在的世界の対象や事象・事態に対応するものと解釈されるはずである。

思考実験はこの段階で行なわれるものである。なぜなら、「物理学者は、この上なく大胆な思考実験を実行するために、彼の精神的な道具、理想的な精密さをもった器具を用いて好きなようにあらゆる物理的事象のなかに立ち入り、その結果からはるかに射程の大きい帰結を導きだす。これらの帰結はもちろん現実的な測定となんら関係しない」(1930, I.S.177) からである。むしろ思考実験は、理論の整備と理論の解釈の試みと解されねばならない。

3. 最後に理論から導きだされた予測が感性的世界の現実(測定結果)とつき合わされることによって、仮説のテストがなされる(「理論のある特別の言明は、測定と関連づけることのできるものである。その関連が満足のいくものと見られるか否かに応じて、出発点の仮説に有利あるいは不利な結論が引きだされる」(1930, I.S.176))。

このとき予測言明において、プランクのいう「数学的記号から感性語への翻訳」が行なわれていることはいうまでもない。また、テスト結果から導かれる「有利あるいは不利な結論」がどういう性格をもつかについては、プランクはほとんど語っていないが、ただ、有利な場合にも、それは「しばしばただの暫定的な類のものであることが判明する<sup>69</sup>」(1926, I.S.120)が、それでも不利なテスト結果が現れないうちは、「仮説はますます威信を増し、理論の発展もますます広がっていき」(1930, I.S.176)、そして不利な場合には危機を招く、と言っていることから、ポパーの「反証(falsification)」と「検証(corroboration)」を思わせるということ是可以する。

ところで、統計的な仮説、確率言明の場合、実証(verification)はもちろん反証もできない、とよく言われる。ポパーはこの異論に対し、二次確率を用いて、すなわち、全体のサンプル中問題の特性をもった事象が現われる相対頻度の期待値 $\mu$ からの実際に測定される相対頻度の差の期待値 $\Delta\mu$ が確率計算で計算されえ、その上、実際の測定値が $\Delta\mu$ の範囲内に納まらない(十分大きいサンプルに対してはきわめて小さい)確率 $\epsilon$ もまた確率計算で計算されうることを用い、そしてさらに、物理的事象は再現可能でなければならないという観点から、(十分大きいサンプルに対しては)この確率 $\epsilon$ を無視するほど小さいとみなすという方法論的決定を用いることによって、相対頻度が間隔期待値 $\Delta\mu$ を超えるような測定がなされたとき、(今見た方法論的決定に従って)それは単なる偶然ではありえないとみなす、つまりその確率言明を反証されたとみなすことができる、またそれが実際の科学のとっている方法である。と答えていた<sup>69</sup>。プランクも「比較的少数の観察事例における平均値からのずれの期待値、いわゆる分散については、確率計算によって厳密に答えが出る。そしてもし実際になされた観察があらかじめ計算されていた分散の値と矛盾するなら、計算の基礎になにか正しくない仮定が、いわゆる系統誤差が、ひそんでいる、と確実性をもって結論することができる」(1914, I.S.50-1)と云うのであるから、——ポパーのよ

うに方法論的決定を用いるかどうかについてはなにも言っていないが——確率言明をも反証可能と見ていたことは明らかである。

最後に科学の発展の仕方についてのプランクの考えを見ておこう。彼は「物理学の進展は、われわれの知識が徐々に深まり洗練されていくにつれて、とぎれなく前進して発展していくという仕方で生じるのではなく、断続的に、爆発的になされる」(1930, I.S.176) のであり、科学、物理学は次のような段階を踏んで進んでいく、としている。

1. 仮説の提示と理論体系の形成・整備(「新しく現れる仮説はすべて一種の突然の噴火、闇への飛躍であり、論理的に説明不可能なものである。そのときが理論の誕生の時刻である・・・」(1930, I.S.176))

2. 仮説・理論のテスト(「理論は最後には測定によって運命の宣告を聞くことになる。その宣告が有利なものとなれば、仮説の威信はますます増していき、理論の発展もますます広がっていく。」(1930, I.S.176))

3. 仮説・理論の危機(「しかしひとたび測定経験の解釈に困難が生じたら、疑い、不信、批判的な空気が現われる。」(1930, I.S.176))

4. 旧理論の死と新理論の登場(「それ〔疑い、不信、批判的空氣の現われ〕(筆者補)は、古い仮説の死滅の兆候であり、危機を解決し、古い理論の長所を保持し、その欠陥を修正する新しい理論の開始を告げる、新しい仮説の成長の兆候である。」(1930, I.S.176))

周知のようにポパーは、理論的あるいは実際的問題を“*P*”、それを解決するために出された暫定的理論の提示を“*TT*”、テストによって誤った理論をとり除こうとする試みを“*EE*”とするとき、科学の発展を

$$P_1 \rightarrow TT \rightarrow EE \rightarrow P_2$$

という図式で表している。今プランクのそれを、ポパーと類似の仕方で図式化すると、

$$TT_1 \rightarrow EE \rightarrow P \rightarrow TT_2$$

となるであろう。この図式を、問題から始めるか——ポパーは問題からすべてが始まるということ強調しているけれども——、仮説の提示から始めるか、の相違はあるが、科学の進展に関する二人の考えはほぼ同じといってよいだろう。

終わりに、プランクとポパーの描く科学像の共通点を挙げてみる。

- (1) 理論(物理学的世界像)形成は、まず仮説の提示から始まり、しかもそれは、たとえ経験からの示唆はあるにしても、基本的には自由な発想によるものだとする点。
- (2) 科学の仮説・理論と経験との接点は、仮説・理論のテストにおいて求められるべきものとする点。
- (3) 仮説・理論のテストは、理論から論理的・数学的手法を用いて導出される予測言明と観察結果との突き合わせによって行なわれるとする点。——これは、(1)、(2)とあわせて、仮説演繹法である、といってよい。
- (4) 統計的仮説・理論を含むすべての仮説・理論のテストにおいて、反証のみを決定的なものとする点。——ただし、プランクの考えはまだ示唆にとどまっている。しかし、仮説・理論に有利

なテスト結果は、理論の威信を高めはするが、しかしその威信も暫定的だとすることや、彼の科学発展のダイナミズムの考え方から推して、プランクもまた（科学と形而上学の境界設定の基準ときり離して）一種の反証主義者であると理解してよいだろう。先の引用のすぐ後で、理論と測定結果との一致は現在の理論が正しい道を歩んでいる証拠だと言っているが、しかしそれは、理論が真理に接近する方向にあることの証拠であって、理論そのものの証明を意味するものではない。

#### (5) 科学発展のダイナミズム

このように見てくると、プランクの科学観がポパーのその先駆けとなっていることについてもはや多言を要しないであろう。

(未完)

#### 註

(1) Erhard Oeser教授が所属するのは、基礎総合科学部 (Grund- und Integrativwissenschaftliche Fakultät) 内に哲学科と並んで併設されている科学論・科学探求学科

(Institut für Wissenschaftstheorie und Wissenschaftsforschung) である。なおウィーン大学では、以前は、伝統ののっとり、哲学の他、人文・社会系の学問も自然諸科学もすべて哲学部に属していたが、1975年の法改正によって、ウィーン大学の哲学部は、歴史学、美術史、音楽学、言語学、古典文献学等を含む精神科学部 (Geisteswissenschaftliche Fakultät)、数学、天文学、物理学、気象・地球物理学、化学、地学、生物学等を含む形式・自然科学部 (Formal- und Naturwissenschaftliche Fakultät) と哲学、科学論・科学探求学の他、政治学、心理学、教育学、社会学、新聞・コミュニケーション学、演劇学、民族学、スポーツ学などを含む基礎総合科学部に三分されたとのことである (ギュンター・ペルトナー著、渋谷治美訳『美と合目的性』(1996年、晃洋書房) 参照)。余談になるが、Brentano が Wien 大学を去った後、彼が占めていた講座は「哲学、とりわけ帰納科学の歴史と理論 (Philosophie, insbesondere Geschichte und Theorie der induktiven Wissenschaften)」と改称され (cf., Rudolf Haller, *Neopositivismus* (1993, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt), S.32)、1895年にErnst Machがその教授に就任し、それ以来 Ludwig Boltzmann, Moritz Schlick 等が後を継いだ。オーストリアのドイツへの併合の後その講座はいわば閉鎖された状態になっていた。私があるときOeser教授に、もしかすると彼のポストはMachの講座の復活を意味するものかと尋ねると、自分ではそのつもりだと教授は答えた。

(2) cf., Karl Popper, "A Metaphysical Elpilogue" in *Quantum Theory and the Schism in Physics* (1982, Rowman and Littlefield, Totowa NJ), pp.159ff.

(3) Planck, I .S.V. なお、プランクの文献と参照箇所の示し方については註(5)を参照のこと。

(4) cf., Planck, 1908, I .S.1ff., S.22ff., 1923, I .S.87, 1924, I .S.115, 1929, I .S.143, 1930, I .S.167ff., 1932, S.186ff. et al.

(5) *Wege zur Physikalischen Erkenntnis* Bd. I, Bd. II (1943, Verlag von S.Hirzel, Leipzig).

なおこの本のなかに集録されている講演のうち、今回私が利用するのは次のものである。なお末尾の数字は講演がなされた年を示す。

Bd. I. Die Einheit des physikalischen Weltbildes (1908) (邦訳「物理学的世界像の統

## 一」河辺六男訳『世界の名著 現代の科学 I』(1907年、中央公論))

Neue Bahnen der physikalischen Erkenntnis (1913)

Dynamische und statistische Gesetzmäßigkeit (1914)

Kausalgesetz und Willensfreiheit (1923)

Vom Relativen zum Absoluten (1924)

Physikalische Gesetzmäßigkeit (1926)

Das Weltbild der neuen Physik (1929)

Positivismus und reale Außenwelt (1930)

Die Kausalität in der Natur (1932)

Bd. II. Die Stellung der neueren Physik zur mechanischen Naturanschauung (1910)

Die Physik im Kampf um die Weltanschauung (1935)

Vom Wesen der Willensfreiheit (1939)

Determinismus und Indeterminismus (1937)

なお、本文中の引用にはその末尾に、その内容の講演の行なわれた年、巻、頁を、例えば、(1908, I. S.19) のように記した。

(6) Ernst Mach, *Populär-wissenschaftliche Vorlesungen* (1987, Böhlau Verlag, Wien), S.224.228.

(7) cf. Planck, 1908, I. S.12, 1926, I. S.126ff. et al.

(8) この説明は主として『岩波 理化学辞典』第三版 (1974) に基づいて行なった。

(9) このことをもう少しいねいに説明しておこう (不確定性関係についての説明は、プランクもいくつかの箇所で行なっているが、ここではややいねいな湯川秀樹の解説 (『世界の名著 現代の科学 I』上掲書、48-9頁) に基づいた。)

例えば電子の位置を測定しようとするれば電子をなんらかの仕方 (測定器具を用いて) 見なければならず、そのためにはなんらかの仕方 (測定器具を用いて) で光を照射しなければならない。そのとき、電子のように小さい粒子は光の衝突によって影響を受ける。つまり、衝突された電子は位置がずれるだけでなく、運動量 (あるいは速度) も変化する。それゆえ、次にその電子の運動量 (あるいは速度) を測定しようとする、それは正確には測定すべき元の状態の電子のもっていた運動量 (あるいは速度) ではなく、その測定結果は必然的に不精確なものにならざるをえない。しかも、電子のように小さい粒子を精密に測定するには電子の大きさより短い波長のガンマ線を照射しなければならないが、ガンマ線のエネルギーはその波長に逆比例する。だから、位置を精密に測ろうとして照射するガンマ線の波長を短くすればするほど、それが電子に与える衝撃は強くなり、その結果電子の運動量 (あるいは速度) の測定結果はよりいっそうばやけたものにならざるをえない。それゆえ、電子の位置と運動量 (あるいは速度) は、同時に一定限度を超えて精確に測定することはできないことになる。そしてそれは “ $\Delta x \cdot \Delta p \geq h/4\pi$ ” (ただし、 $\Delta x$  と  $\Delta p$  は位置と運動量の測定誤差、 $h$  はプランク定数) のような数学的定式で表わされる。

(10) このことをプランクは繰り返し述べている。たとえば、「もし意識のうちに与えられる感覚が唯一の認識源泉だとしたら、考慮されるのは自分の感覚、自分の意識だけである。自分以外の他の人間もまた感覚をもっているということは、ただ類推によって推測されうるだけであって、

直接知ることも、論理的に証明することも、なされえないのである。」(1923, I.S.78)のように。

(11) プランクは他の箇所でも、観察の再現可能性は実在的なものの存在を示唆していると言う。「実証主義的傾向の物理学者は、物理学の唯一の基礎として感覚の優位性に固執するとしても、不合理な独我論を避けるためには、個々の場合に錯覚、幻覚が存在するが、それは、物理学の観察は常に再現可能であるという要求によってだけとり除くことができる、という仮定をとらざるをえない。しかしそれによってはっきり言われているのは、諸々の感覚の間には、観察者の個人性や観察の行なわれた時や場所に依存しないある構成要素が含まれており、この構成要素こそ物理的事象における実在的なものと呼ばれるものを指し示すものだという事である。」(1935, I.S.58)

(12) cf.,1923, I.S.85 et al..

(13) 以下に見られる「物理学的世界像」の当の科学の内で占める位置、役割、構造等に関する考えは、物理学だけにしか妥当しいものではなく、数学的理論化の程度に応じて差異はあっても、理論体系を構築しようとするすべての科学に妥当するものだと、私は考える。しかしここでは、そのことを暗黙の前提としながらも、プランクの用語と説明に従って叙述していく。

(14) cf.,1932, I.SS.191ff..

(15) 目標が到達不可能であっても、それへの接近は可能であり、またそれが科学に意味を与えるということ、プランクは一貫して強調する。たとえば、「われわれが到達不可能な目標にたえず限りなく接近しようということを決断するのを妨げるものはなにもないであろう。一度見込みが多いと認めた方向に持続的に前進していくという任務に奉仕することこそが、たえまなく活動し、新たに修正と洗練をおし進めていく科学の仕事の意味なのである。」(1923, I.S.64)

(16) cf.,Planck,1929,S.146.

(17) cf.,Karl Popper, *Objective Knowledge* (1972,Clarendon press,Oxford),pp.52-3 et al..

(18) cf.,Immanuel Kant, *Kritik der reinen Vernunft*, A189-191,B234-236. なおこれ以降の同書からの引用には、1781年の第一版(A)および、または1787年の第二版(B)の頁を引用文の末尾に付すことにする。

(19) cf., A109, A197, B242.

(20) 客観的意味を付与するものとしての「超越論的对象への関係」という考えは第二版では消えている。しかし、私はこの考え方は必要であると考え、大分以前のことになるが、この問題について拙論「カントにおける認識の客観性」(『哲学研究』(京都哲学会)第529号、1975年)において論じたことがある。「超越論的对象」を「感性的表象との関係において見る限りでの物自体」とみなしてよいと今考えていることを除けば、基本的に私の考えは変わっていない。

(21) 以下の説明については特に *Kritik der reinen Vernunft*, A642,B670 以下を参照のこと。

(22) ポパーが *Logik der Forschung* (1934,Springer,Wien)を執筆するさい、少なくとも、当時すでに単行本として出版されていたプランクの *Positivismus und reale Außenwelt*(1931)を読み、参考に行っていることははっきりしている。cf., *op.cit.*,4.S.11,Anm.11.

(23) cf., "A Metaphysical Epilogue", *op.cit.*,

(24) cf.,Karl Popper, *Realism and the Aim of Science* (1983,Rowman and Littlefield). Sect.7.p.80ff..

(25) cf., Popper, *op.cit.*, p.80. Popper の 'verisimilitude' については、彼の "Truth, Rationality, and the Growth of Knowledge", "Addenda" in *Conjectures and Refutations* (1963, Routledge and Kegan Paul, London), "Two Faces of Common Sense", "Comments on Tarski's Theory of Truth" in *Objective Knowledge, op.cit.* 等を参照のこと。

(26) Popper は真理近似度の尺度を定義しようと試みたが、定義された尺度は有効に働かないということが P.Tichy と David Miller によって指摘された。それは、この二人もそのことに気づいていなかったようであるが、Popper が定義にさいして数学的過ちを犯していたからであった。このことについては私は以前「仮説評価の問題 (三) ——ポパーを中心として——」(『香川大学教育学部研究報告』第一部、第48号 (1980) のなかで論じておいた。

(27) cf., Planck, 1926, I. SS.120-123, 1930, I. SS.175-6.

(28) 思考実験に関するプランクの見解については、cf., Planck, 1930, I. S.177-80, 1935, I. S.62ff., 1937, I. S.118ff. et al.. なお実在的世界の法則性を探る方法としての思考実験については、本稿の (二) でとり上げる。

(29) これは異なる文脈で、むしろ 1. の段階での作業仮説について述べられたものであるが、しかし、理論体系が一応でき上がったときでも、プランクはなお「仮説」と呼んでいるのだから、この暫定的性格は、程度の差こそあれ、仮説一般にあてはまるものと考えてよいと思う。

(30) cf., Popper, *Logik der Forschung, op.cit.*, 68. SS.139ff., *The Logic of Scientific Discovery* (1980, Hutchinson) 68, pp.198ff..