

報告番号	甲 乙 第	号	氏 名	杉尾 一
主 論 文 題 名 :				
物理学の認識論的転回				
(内容の要旨)				
<p>物理学は何を記述しているのだろうか。しばしば、物理学は、宇宙を支配する普遍的法則、私たちによらない物理的実在を記述していると考えられてきた。量子力学の誕生以降、物理学が物理的実在を記述すると考える人は少なくなったものの、それでもなお、物理学が普遍的法則、普遍的真理を探求する学問であると考えられる人は多い。これは、物理学をある種の存在論、形而上学とする考え方であろう。かつて、アインシュタインは、物理学を形而上学の一つと主張したが、今なおそのような考え方は根強く残っている。</p> <p>しかし、物理学を存在論的に捉えるよりも、むしろ、物理学を認識論的に捉え直すことが重要なのではないだろうか。外界を認識する主体は、私たちである。私たちは、五感を通して、測定器を通して、理論を用いるなどして世界を認識するが、いずれも、私たちによる認識である。私たちを介することなく外界について語るなどできないだろう。私たちが認識する内容は、私たちを介した結果としての内容のはずである。</p> <p>20世紀を代表する哲学者バートランド・ラッセルは、認識論的考え方を押し進めた。私たちは、センスデータの束から私たちにとっての現象を形づくり、私たちによって形づくられた現象から私たちにとっての実在を見出しているに過ぎないと主張したのだ。しばしば、私たちは、物理的実在を私たちから切り離して論じてしまう。しかし、物理学が記述する対象もまた、私たちによらずに存在する対象（存在論的对象）ではなく、私たちが認識した諸性質から、私たちによって構成された対象（構成的対象）なのではないだろうか。</p> <p>しかし、多くの物理学者にとって、このような考え方を受け入れることは難しいだろう。実際、アインシュタインは『バートランド・ラッセルの認識論についての注意』（1944）において、ラッセルが形而上学恐怖症に陥っていると彼を批判している。私たちによってつくられた私たちにとっての実在という考え方は、多くの物理学者にとって妄想のように思えるはずだ。しかし、物理学者の中にも、このような考え方をする者が現れた。量子情報理論の先駆者として知られるジョン・ホイーラーである。</p> <p>ホイーラーは、「情報から存在が生じる」（It from Bit）と主張した。彼によれば、観測するまで、少なくとも微視的現象は存在しないというのである。また、物理学者ジョン・ベルは、存在しうるもの（beable）はオブザーバブル（observable）に、存在す</p>				

ること (to be) は測定することができること (to be measurable) に置き換えるべきだと主張している。彼らは、私たちの認識から切り離して存在について語ることはできないと主張したのだ。

類似の主張は、哲学の歴史の中で何度も繰り返されてきた。しかし、私たちは、私たちによらない普遍的な実在を求めたがる。そして、私たちは、現象の背後には現象を支配するなんらかの普遍的法則が存在していると考えがちである。実際、物理学の強力な予言能力を目の当たりにすると、その信念が正当化されたかのように思えてくるかもしれない。

しかし、物理学の記述は、ある特定の領域に限られている。例えば、生命現象になると、現在の物理学によって説明することができないような現象が多数見受けられる。物理学が記述する領域は、世界の一部の領域であり、その領域内において認められうる規則性をうまく取り出しているというのが本当のところであろう。私たちは、規則性を見出す認識の枠組みをうまく設定しているのである。異なる認識の枠組みを用いれば、そこに規則性など現れない。物理系をうまくとるからこそ、私たちは規則性を見出し、その規則性について記述できるのだ。

むしろ、物理法則を普遍的法則と考えるのは、物理学の発展のためには不要な考え方なのではないだろうか。それは、世界についての予断である。変動する宇宙のごくわずかな時と場所の住人に過ぎない私たちが、宇宙を支配する普遍的法則を知ることなどできるのだろうか。私たちは、それを知りたいと願うが、実際には、なんとか知り得た規則性を切り貼りし、私たちにとっての無矛盾な理論を組み立てているに過ぎない。私たちは、冷静かつ謙虚に物理学を捉え直す必要があるだろう。そして、その哲学的運動こそ、物理学の認識論的転回なのである。

しかし、物理学によってもたらされた科学的真理の中には、存在論的な真理も含まれている。例えば、絶対空間と絶対時間からなるニュートン時空は、ニュートン力学を築くための要請に過ぎなかったが、理論の成功とともに、科学的真理とみなされていた。確かに、ニュートンは、彼の素朴な経験から非相対論的な時空を考案したのかもしれないが、絶対空間と絶対時間という考え方（絶対説）は、私たちの経験を越えた主張である。

ニュートンが唱えた時空の絶対説に対し、ライプニッツは事物の関係から時空を捉えるべきだと主張した（関係説）。ライプニッツは関係説によってニュートン力学を超える力学理論をつくることはできなかったが、時空を関係によって捉え直すという考え方そのものはマッハによって受け継がれ、アインシュタインに影響を与えることとなった。もちろん、アインシュタインの相対論そのものは、ライプニッツの関係説を実現したわけではないが、アインシュタインは、かつて存在論的な真理と信じられていたニュート

ン時空の存在を放棄し、相対論を築いたのである。この例からもわかるように、非経験的な言明や、それに支えられる真理は、誤っている可能性が常にあるのだ。

歴史を振り返ると、物理学に含まれる存在論的要請が減らされていることに気付く。例えば、熱現象は、熱素によると考えられていたが、熱素はエネルギーへと還元された。特殊相対論の登場によって質量もまたエネルギーへと還元された。より一般性をもった理論が築かれるとき、それまで正しいと信じられていた存在論的要請は減らされていくのだ。物理学の成果について論じる際、新たな理論が存在論的要請を減らしていることにも注目すべきだろう。物理学は、本質的に認識論的転回という営みを含んでいるのだ。

しかし、古典物理学のような決定論的であり、かつ実在論的である物理学を踏まえると、物理学が実在を記述することを目的とする学問であると考えたくもなる。そこで、古典物理学において素朴実在論が許された理由を探った。最大の理由は、古典的な物理量概念にある。近代以降、多くの人々は、量と値が概念的に不可分であると思い込んでいたが、それは思い込みに過ぎなかったのである。

測定すれば、対象にわずかであれ測定の影響が残る。しかし、その影響を認識できなければ、測定の前後で対象は変化していないことになる。このようにしてもたらされた概念が古典的な物理量概念であり、対象は私たちによらない真値をもつとされた。対象に変化がないため、私たちは、物理量を用いて対象そのものを記述することができたと思いついてしまったのである。

もちろん、古典物理学の記述は客観的だ。しかし、客観的に記述するということと、私たちによらない普遍的な実在を記述するという事との間に直接の関係はない。そもそも物理学における客観とは何か。結局のところ、それは、任意の座標系を結ぶ変換規則によってもたらされる主観の総体である。確かに、古典物理学は、ある特定の主観、すなわち特定の座標系だけに依存した理論ではなく、一般座標系にもとづく記述である。しかし、いかなる主観からも独立な記述というわけではない。物理学における客観的記述は、個々の主観によって認められる記述であり、主観の総体としての間主観的記述である。

もっとも、物理理論の中には一般座標系による記述ができない場合もある。それは、量子力学だ。量子力学が記述する原子や電子といった微視的对象は、粒子性と波動性からなるとされる。波動性を反映した重ね合わせの状態に相当する対象は、古典物理学によって記述される世界に存在しない。この重ね合わせの状態は、測定によって、ある特定の固有状態へと突発的に収縮するわけだが、これは、外界に存在するであろう物理的对象の在り方が、私たちの認識に左右されるかのように思えた。このことは、物理学者と哲学者の双方に大きな衝撃をもって受け止められたが、物理学者たちはボーアによるとされるコペンハーゲン解釈を受け入れ、哲学的な議論を避けたのである。

しかし、近年、ボーアが今日的な意味でのコペンハーゲン解釈の立場であったのかどうか議論されている。状態の収縮を認める解釈として広く認知されているコペンハーゲン解釈だが、ハワードによる調査によれば、ボーアは状態の収縮について言及したことがないというのだ。そこで本稿では、文献を調べ、フォン・ノイマンによる解釈が、ボーアによるコペンハーゲン解釈とされてしまったことを明らかにした。フォン・ノイマンは、量子状態という概念を私たちから切り離して論じた。一方、ボーアは、彼が主張した分離不可能性が示すように、量子状態という概念を私たちから切り離して考えることはできないと主張していた。つまり、ボーアは、フォン・ノイマンとは異なり、量子状態を私たちの認識から切り離して考えることができない認識論的な状態と考えていたのである。

ある量子解釈が広がるにつれて、オリジナルの解釈から離れていくというのはコペンハーゲン解釈だけではない。多世界解釈もまたそうであった。エヴェレット自身が主張する多世界解釈がどのような解釈であったのかについて検討するため、彼の意図する解釈を引き継いだと主張するドイチュの解釈について考察した。ドイチュの解釈は、無数の宇宙が存在するという突拍子もない存在論に思える。しかし、彼は、自身の住む宇宙がどのような宇宙であるのかについて知るためには測定しなければならないと主張する。このドイチュの認識論的主張こそ重視すべきだろう。

そこで本稿では、多世界解釈をより穏当に捉え直し、認識論的多世界解釈という新たな量子解釈を打ち立てた。つまり、世界は唯一つだが、その現われ方は複数考えられ、現れ方は私たちが採用する認識の枠組みに依存するという考え方である。世界の切り取り方に応じて、世界の見え方は変わるであろう。世界を眺める認識の枠組みこそ、物理系という概念なのである。系の取り方によって世界は異なる現れ方をしてくるはずだ。

この考え方を裏付けるために、本稿が重要視した実験がホイーラーによる遅延選択実験である。通常、遅延選択実験では、実験を開始した直後に実験系を変更することで、未来から過去に影響を与える実験であるかのように語られることが多い。しかし、ボーアによる分離不可能性という考え方に従えば、実験系の変更は、ただちに系の状態の変更となる。世界から測定結果を引き出すための系そのものが変更したと考えるべきだろう。遅延選択実験が示しているのは、異なる系によってもたらされる異なる結果なのである。結局のところ、私たちが記述する結果は、世界と私たちとの関係によって定まると考えるべきだろう。

このことについて論じるために、記述の哲学を考案した。私たちの記述という行為は本質的に不完全であり、そして何より、世界と記述結果の間に私たちが介入せざるをえない。さらに、私たちが何かを記述する際、その記述目的が重要となる。物理的対象の運動を記述する場合、空気抵抗を無視することができるのであれば、物理的対象の形を

気にする必要はなく、位置と運動量だけに着目すれば問題ない。私たちの記述は、記述の目的に合わせた記述対象を構成することによって可能となっているのだ。外界の实在そのものを記述しているわけではないのである。

しかし、私たちによる記述が可能であるためにも、外界の存在を認めなければならないだろう。そこで、科学のための最小の存在論的要請として、どのような要請を認めるべきかについて論じた。しばしば、物理量が世界の側にある存在論的性質だとみなされることが多いが、このような考え方は量子論でいうところのオブザーバブルであったとしても、形を変えた素朴实在論になりかねない。そこで、本稿では、世界について知ることができるために、世界がもたなければならない性質として応答可能性という考え方を提示した。私たちの観測や測定に対して世界が応答する可能性があるからこそ、私たちは、外界を認識することができるのだ。

そこで、この応答可能性を踏まえて、物理量を認識論的に構成した。これは、測定結果をもとに測定器に同値関係を導入し、同値類をとり、代表元としての測定器を物理量をみなすという考え方だ。このような考え方は、私たちが新たな物理量概念を獲得する際の方法に依拠している。あらかじめ世界に存在する物理量を定めるのではなく、私たちの認識の結果、物理量概念を獲得するのである。本稿における認識論的物理量という考え方は、世界の見方を固定化せず、新たな物理量概念を見出す上でも必要な考え方なのである。

認識論的物理量という考え方にもとづけば、これまで物理学の哲学において概念的に克服することが困難だと思われた哲学的諸問題に解決の糸口を与えることができる。しばしば、古典物理学が決定論的世界を描くのに対し、量子力学が非決定論的世界を描くことから、世界の本当の在り方はどちらなのかといった問いかけがなされてきた。そして、もし、世界が決定論的世界であるならば、私たちの自由意志は存在するのかといった問題も議論されてきた。

しかし、本稿の立場からすれば、決定論と自由意志は相反しない。私たちが自由意思によって系を設定することができるからこそ、決定論的世界が現れるのである。私たちは、系をうまく選択することによって、数学的な記述を可能にし、物理学を構築している。決定論的世界も、非決定論的世界も、私たちによる記述領域の選択によってもたらされた世界像に過ぎない。このような事実を踏まえると、私たちの自由な系の選択によって現れてくる世界が異なるという考え方こそ、私たちにとって重要であるはずだ。

また、ベルの不等式の問題についても論じた。しばしば、ベルの不等式の破れを根拠に、量子世界は非局所的であるとされるが、ドイチュは、ベルの不等式は破れておらず、量子世界もまた局所的世界であると主張している。そこで、認識論的物理量という考え方をを用いて、ドイチュの主張を支持した。もちろん、これは広く受け入れられている考

え方とは異なることから批判が想定される。しかし、認識論的物理量という考え方にもとづけば、このような考え方も可能となるのである。

さらに、認識論的物理量という考え方は、近年注目を集めている弱値に対して物理的に有意義な解釈を与えることができるだろう。弱測定は、事前選択と事後選択によって挟まれた間の時刻の系から得られる値である。分離不可能性にしたがえば、系の状態は、世界の側だけではなく、私たちとの関係において定まることになる。すると、事前選択のみで与えられた実験系と、事前選択と事後選択によって与えられた実験系は、異なる系であり、異なる状態によって記述されなければならない。物理学者は、しばしば、光子の状態といった表現をとるが、光子と測定器からなる系の状態というのが、私たちが採用すべき状態概念なのではないだろうか。

このような状態概念にもとづけば、系という認識の枠組みの違いからもたらされた異なる結果という考え方によって、遅延選択実験や弱測定を理解することができる。そして、必要ならば、異なる状態概念から得られた結果にもとづき、新たな物理量概念を形成すればよいのだ。世界は豊かであり、私たちの認識の枠組みによって、その姿を変える。もちろん、その姿は、私たちにとっての姿であり、世界そのものが変わっているわけではない。私たちは、私たちによって作り出された構成的対象をもとに多様な世界の現われ方を知るのである。このような、物理学のための認識論は、物理学研究を積極的に後押しするための哲学としてふさわしいはずだ。

量子力学の登場によって、現象を記述するのが物理学の目的であり、実在を記述するのが目的ではなくなったと言われる。しかし、これもまた正確ではない。古典物理学においても、私たちの認識から独立な実在を記述していたのではなく、私たちが認識可能な性質から作り出された構成的対象を記述していたのである。確かに、私たちの認識の及ばない出来事は、私たちとは無関係に世界の側で起こっているだろう。しかし、私たちが認識する現象は、自然界に存在する物理的対象と私たちの関係の中で生じているのだ。したがって、現象を私たちの認識行為から切り離すことはできない。物理学は、私たちによって認識され、作り出された構成的対象を記述する理論である。すなわち、物理的対象を認識する行為を数学の言葉・構造を用いて組織化した認識の体系が物理学なのである。