

佐野正博(1997,2011)「科学の発展と相対性」^[注1]

過去の誤った理論の歴史的意味

科学が発展した場合、それは、従来の理論には相対的にみて限界があったことを示しているともいえるでしょう。ただ、そのことをもって、「法則を信じるのは科学者のドグマ、だとか、「真理などは幻想にすぎず、すべて主観的なものだ」と論じる人がいますが、それは誤りです。

相対的に限界はあったけれども、その限界の中では対象を反映していた面があるのです。科学史をとらえるさい、理論の評価においては慎重に行う必要があると思います。

たとえば、天動説と地動説についてみると、今、私たちが単純に考えると、天動説は誤りで地動説が正しい、と思うでしょう。その場合に、天動説から地動説への転換をどうとらえるのかが問題となります。天動説から地動説への転換は、誤謬から真理への発展である、ととらえると、誤謬である天動説を論じてきた天文学者は愚かであった、ということになります。ニュートン力学と相対性理論や量子力学の関係も同様で、相対性理論や量子力学の地点からみて、ニュートン力学は「誤謬」でそれを信じていた科学者は今からいえば愚かだった、ととらえるような見方もあります。こうしたとらえ方から、従来の理論を「ドグマ」と考えたり、主観的なものにすぎない、と考える傾向が生まれてくるように感じます。

科学的仮説としての古代のプトレマイオスの天動説と近代のティコ・ブラーエの天動説

—— 天体に関する科学的認識の非単線的な発展

天動説の問題に関していうと、もちろん社会的にはキリスト教会の支配に利用された側面もありました。ただ天文学の学説としては実は天動説は当時としてはそれなりに経験的根拠をもった理論だったのです。実際に日食や月食の時間も予測できましたし、ギリシアの天文学者だったプトレマイオスが二世紀に完成した周転円的天動説では、肉眼による観測データの限りにおいては、地動説とどちらが正しいか優劣を与えられないような説だったのです。

しかし、優劣が与えられないからといって、真理はわからないといったような考えに陥るのも誤りです。そうではなくて、科学者は歴史的な限界——プトレマイオスでいえば肉眼による観測データしかない——のなかで、なおかつ客観的対象を反映した認識を形成しようとしていた、と考えるべきだと思います。

実は、プトレマイオスは地動説も意識して理論を展開していました。そして、恒星の運動にかかわっては地動説の方がいいのではないかとともに論じています^[注2]。しかし、プトレマイオスらがそれでも天動説を論じたのには理由がありました。

もし、地球が公転運動しているならば、地球の位置変化に伴って恒星の位置が見かけ上変化するはず（年周視差）です。当時は、土星軌道のすぐ外側に恒星があると考えられており——これ自身もそれなりの根拠がありました^[注3]——、肉眼であっても夏と冬で恒星の位置の違いが検出されるはずだったのに、それが検出されませんでした。また、すでに当時から地球の半径は測られていましたが、もし地球が自転しているとすると、ものすごいスピードで地面は動いていることになり、それを人間が自覚できないことはあり得ないと考えられていました。

天文学の理論に限っていうと、こうした経験的な根拠から、地動説が退けられ、天動説が支持されたわけです。その判断の仕方が非科学的であった、と断じることは難しいと思います。むしろ、歴史的な

限界のなかで経験的根拠をもった判断を積み重ねながら自然を認識しようとして立てた理論が、ギリシアの時代においては天動説として定式化されたというわけです。

天動説はその後長期にわたって正しい学説として支持されていました。一六世紀になって、ケプラーの先生にあたるも天動説の立場から、恒星や惑星の測定につとめ、新たな天動説を展開しています。この天動説は、コペルニクス的な地動説とは数学的に座標変換が可能で、太陽系内のできごとであれば同様の説明ができるほど精密なものとなっていました。ガリレオが一六〇九年に望遠鏡で発見した金星の満ち欠けの問題も理論的には予測していました。

ティコ・ブラーエの観測によってケプラーは惑星の運動法則を発見し、ニュートン力学を準備するものともなりました。しかし、今日解明されているように、客観的にみた天体の運動は天動説を支持していません。ガリレオの望遠鏡による観測などによって地動説が発展させられ、一九世紀にはその正しさが実証されました。天文学の発展も地動説を基礎に築かれてきたものです。

このように考えると、自然科学の理論の歴史は、けっして単純な発展ではないことがわかります。人間がある時代に自然を余すところなく反映した認識を得ることができると思えることはできません。同時に、こうした過程を無視してしまうと、従前の理論を「ドグマ」ととらえたりする傾向に陥ってしまうと思います。自然科学は、複雑な対象の部分的な反映を積み重ねながら、真理に接近していくと思われるからです。

「科学的な理論であること」と「真なる理論であること」の区別と関連

—— 理論の科学性と真理性の区別と関連

その意味では、「科学的であること」と「真理であること」は区別されるのではないかと思います。真理とは客観的に存在している対象と認識が一致することである、と規定されますが、そういう真理が得られるかどうかということと、科学者が行う活動が科学的かどうかは別の問題です。歴史的にみて、真理であるかどうかということだけで科学者の活動をはかることは不十分なのです。

真理だけを基準にすると、結局、「真理ではない」従来理論と、それまでの自然科学の認識の到達は無意味なものだったということになります。しかしそうではなく、自然科学の分野で行われる活動——理論的予測や実験などは後知恵的には誤っていたとしても科学的なものであれば、真理に接近するうえで有効で優れた活動だったのです。

新しい理論は、古い理論認識を包摂している側面があります。つまり、古い理論であっても、部分的に対象を反映していたなら、その反映している側面は新しい理論にも受け継がれていくことになるからです。そして、実際に受け継がれているのです。

たとえば、ニュートン力学と量子力学、相対性理論では、自然の客観的存在のとらえ方で本質的な差異があります。しかし、量子力学でミクロの物質を表す波動関数を使い、マクロの物体が全体としてどのような運動を行うか確率的に計算していくと、ちょうどニュートン力学における $F = ma$ の方程式になることが明らかにされています。このことは、ニュートン力学が対象の一定の構造を反映したものであったことを、新しい量子力学の段階から示しているということもできると思います。

他方、古典力学が対象を反映した面があるならば、それを新しい理論をつくるさいに利用できないはずはありません。実際に量子力学の形成過程を見ると、量子力学の形成に重要な役割を果たしたシュレーディンガーが一九二六年に書いた論文では、古典力学の波動に関する運動方程式を素材としているところがあります。

客観的真理の一意性 --- 相対的限界性の克服による真理への歴史的「接近」の可能性

ただ注意しなければいけないのは、ニュートン力学の中には量子論に包摂される側面があるからといって、マクロな部分ではニュートン力学が客観的な真理である、というのは適切ではないということです。古代における科学的仮説としての周転円説的天動説の中には地動説に包摂される側面がある^[注4]からといって、天動説を真理と呼ぶことが不適切であるのと同じように、ニュートン力学という理論を真理と呼ぶことは不適切である、と思われます。ニュートン力学は科学的な天動説と同じく自然の認識において相対的限界をもっていたのです。

ただし自然科学は歴史のなかでそうした相対的限界性を徐々に克服し、客観的に存在する自然を対象とした認識において真理に接近してきたのです。このことの意義は強調しても強調しすぎることはないと思います。歴史の中に試行錯誤や誤りがあることは自然法則の探究につきものです。試行錯誤や誤りの存在をもって、法則や真理の存在に否定的になったり、法則や真理は客観的に認識できないなどしたりするのは的外れな議論だと思います。

[注1] デジタル化に際して、脚注を補うとともに、一部の表記を訂正した。

[注2] プトレマイオスは『アルマゲスト』（藪内清訳,恒星社厚生閣,1982,p.13）で「星自体について見える限りでは、いっそう簡単になるから地球が自転するとしてもおそらく差し支えないことは明白である」ことを認めている。

なおプトレマイオスのこうした表現の中に示唆されているように、古代での天動説や地動説の論争においては天体の「見かけの運動」と「本当の運動」の理論的区別を前提した上で、「本当の運動」は何かが問題になっていた。

[注3] 物体の見かけの大きさは距離に反比例するから、恒星の直径が太陽とさほど大きくは変わらない大きさであるとすると、肉眼で観測できる恒星はさほど遠くにあるとは考えにくい。年周視差が肉眼ではまったく確認できないほど恒星が遠くにあるとすれば、恒星は肉眼では観測できないほど小さくなってしまおうと考えられる。

また物体の明るさは距離の二乗に反比例して減少する。すなわち恒星が偏ることなくどの方向にも同じように光を発しているとする、恒星が発する光のエネルギー密度は距離の二乗に反比例して減少することになる。したがって「恒星が太陽と大きくは変わらない強さの光を発している（恒星の絶対等級が太陽とさほど変わらない）」「真空中には恒星からの光を途中で遮るものがない」などを仮定すると、恒星と太陽のそれぞれの見かけの明るさ（実視等級）との比較から、肉眼で観察可能な恒星は太陽系からさほど離れてはいない、と推定すべきことになる。そうしたことから古代においては、恒星は土星の公転軌道のすぐ外側にあると推定されていた。

そのように恒星が土星の公転軌道の外側に位置しているとする、地球の公転にともなう年周視差が肉眼で観測できるはずであるが、実際には観測できなかった。恒星の年周視差がはじめて測定されたのは、1838年になってからである。（年周視差に関しては、別稿の「恒星の年周視差に関連した基礎知識」を参照のこと）

もちろん実際には恒星は地球から極めて遠いところにあり、年周視差を発見することは肉眼ではできない。太陽系から最も近い恒星系であるケンタウルス座アルファ星は全天で三番目に明るい恒星であり絶対等級が太陽とほぼ同一であるが、太陽系から4.37光年も離れている。地球から太陽までは光で8分20秒であるから、 $4.37年 = 4.37年 \times 365.2425日/年 \times 24時間/日 \times 60分/時間 \div 2.3 \times 10^6分$ なので、地球からアルファ星までは太陽までの $2.3 \times 10^6 \div 8.3 \div 2.8 \times 10^5$ 倍も離れている。そのため年周視差は0.747秒しかない。角度の単位の1秒は1度の3600分の1に過ぎないから、アルファ星の年周視差は極めて精密な観測によってしか確認できない。

なお太陽系から最も近い恒星であるアルファ星であってもこのように離れている結果として、アルファ星の見かけの明るさ、すなわち、光のエネルギー密度は太陽の 7.7×10^{10} 分の1になる。こうした極めて低いエネルギー密度の光がなぜ肉眼で観測できるのかは、二十世紀の量子力学によっては理論的に説明可能であるが、古典力学な光の波動説では説明できない。

[注4] プトレマイオスの周転円説的天動説という理論の中には、「恒星と惑星の区別」「恒星や惑星の日周運動と年周運動の規則性」「水星、金星、火星、木星、土星といった惑星の公転半径の相対比」「肉眼で観測可能な恒星に関して年周視差が肉眼では発見できないこと」「惑星の逆行運動の規則性」「惑星が逆行運動時に順行時よりも明るく見える」などといった正しい経験的認識が含まれており、それらは現代の理論の中に受け継がれている。

恒星や惑星の周運動という肉眼による天体の観測結果は、**天動説という理論的視点**からは恒星や惑星の日周運動と年周運動そのものとして「見かけの運動」と「本当の運動」の同一性として説明されるのに対して、**地動説という理論的視点**からは地球が1日に1回転するという自転運動と、地球が約365.2425日に1回転するという公転運動という「本当の運動」の地球上の観測者に対する「見かけの運動」して説明される。すなわち、天動説論者は対象が見かけ通りに運動しているとし「見かけの運動」と「本当の運動」の**理論的同一視**を主張しているに対して、地動論者は対象が見かけ通りには運動していないとして「見かけの運動」と「本当の運動」の**理論的区別**を主張しているのである。

「本当に運動しているのは地球と太陽のどちらなのか？」という「本当の運動」に関する理論的問題で天動説と地動説は科学的仮説として対立しているのであるが、**天体に関する「見かけの運動」に関する古代天動説の経験的知識の多くは近代地動説の中に受け継がれていることになる**。ちょうど物体の運動が光速に比べて低速な領域では物体の質量は不変であるというニュートン力学的な経験的知識がアインシュタインの特殊相対性理論の中に受け継がれているのと同じである。

言い換えれば、光速に比べて低速な領域では**ニュートン力学的な数式**がアインシュタインの特殊相対性理論からの近似として導出できるのと同じように、地球からさほど遠く離れてはいない領域では**天動説な数式**が地動説からの近似として導出できる。ただしあくまでも数式である。近似は数値や数式など量的規定に関わるものであって、「本当に運動しているのはどちらなのか？」とか「物体の質量は物体の運動速度によって変化しないのかどうか？」といった質的規定に関わるものではない。

地球が運動していることはフーコーの振り子などを除いて地球上の観測者の日常的感覚では捉えられないにも関わらず**地球が本当に運動している**ということや、物体の質量が物体の運動速度によって変化していることが宇宙線や加速器内の電子線などを除く地球上で観測されるほとんどの物体で捉えられないにも関わらず**運動している物体の質量が本当に変化している**ことは、極めて多数の日常的経験や科学的観測データにも関わらずやはり真なのである。