

アインシュタインの重力場の方程式に行き着いたときは、自分とこの世を隔てていたあの「薄皮」がとれて、函館の風景のすみずみがまったくちがう太陽を浴びているようにさえ見えました。

宇宙の構造は、すべてこの方程式から導き出される。最終的に導き出された1行の数式の姿かたちが、ただただ美しい。なぜこんな美しい形でこの世界が成立しているのかと、うち震えました。

「こんな美しい世界があることを知った以上、自分は何があっても揺らぐことはない」

そう思いました。

なぜなら自分の周りで絶えずうごめいているものたちは、結局のところ、この方程式の結果としてそこに存在していることを知ったからです。たとえ人間や社会の営みが汚かったり、みじめだったり、ちっぽけだったりしても、それらはすべてこの美しい方程式から派生したものです。だから腹を立てたり、否定したりすることもない。むしろそれらに慈しみを感じながら関わっていくことができるとさえ思いました。

ぼくはそれから物理学を生業とする身となります。でも、それは単なる結果であり、後日讀です—19歳という多感な時期に、ぼくは決定的に鮮烈な感覚を味わった—**その体験を核に、自分は「揺るぎない軸」を得た。**そのことだけが事の核心なのです。

たとえば大学工学部の学科を一覧にすると、その半分以上はニュートン力学で間に合います。機械工学、土木工学などに量子力学は不安です。ニュートン力学は、誕生から現在に至る300年以上にわたって、ぼくたちの日常のすべてのダイナミクスを説明してきたのです。

1685年、フランス国王のルイ14世(1638~1715)は、フランスに居住するプロテスタントであるユグノーの権利を保障していた「ナントの勅令」を廃止します。このためプロテスタントだったホイヘンスは帰国を余儀なくされ、1690年、故国オランダで「光についての論考」を出版します。この中で、彼は光の屈折・回折・偏光を説明する「**光の波動説**」を提唱しました。

一方、「**光の粒子説**」を唱えていたのが、かのニュートンです。プリズムによって白色光を赤から紫のスペクトルに分離することに成功したニュートンは、光線はそれぞれの色を持った粒子の流れであり、赤い粒子や青い粒子と一緒に目に届くと白色として認知されると考えました。

イギリスでも「いや、光は波動だ」と嘯みつけたのが宿敵ロバート・フックでした。しかし、ニュートンの権威によってホイヘンスやフックの「**光の波動説**」は1世紀ほど等閑に付されます。光の回折や干渉現象がうまく説明できない粒子説はやがて立ち消え、波動説が復活するのは19世紀に入ってからです。さらにイギリスのジェームズ・マクスウェル(1831~1879)によって**光が電磁波**と示されるのは19世紀の後半です。

つまり、ボルツマンは、確率という考え方を導入することで、**50度の気体から80度と20度の物質をつくることはほとんど確実にできないことを証明**しました。こうして、ミクロの法則（ニュートン力学）とマクロの法則（熱力学）を統合する**統計力学**への道は開かれました。

それはニュートンがちょうど、地上の法則と宇宙の法則を統合したように、自然現象を物理的に解明するためには革新的なパラダイムの破壊と創造でした。

当時、ヨーロッパには二つの対立する学派がありました。ボルツマンのように、原子の存在を前提に自然現象を説明する**原子論**と、エネルギーの流れと変換によって自然現象を説明しようとする**エネルギー論**です。19世紀に科学の中心を担っていたドイツ語圏ではエネルギー論者が圧倒的な影響力を持っていました。

原子論を展開したボルツマンは、**ヴィルヘルム・オストヴァルト**（1853～1932）をはじめとするエネルギー論者から猛烈な批判と攻撃を浴びせられました。さらに反原子論者の**エルンスト・マッハ**（1838～1916）が「**世界はわれわれの五感で感じられるもののみから成る**」という実証主義的認識論の立場から、ボルツマン批判の急先鋒となりました。

マッハの主張は単純です。「科学は、観測できる事実に依拠すべきである」。

つまり「あなたは原子を見たことがあるのか？ 原子を見た者は誰もいないではないか」という批判です。

2人の論争に解決はありませんでした。というのも、マッハの立場だと電子顕微鏡が発明されて原子を直接見ることができるまで結局、納得しないわけですから。

もともとドイツの外では、そんな哲学的議論はなされることなくボルツマンの理論は素直に受け入れられます。ボルツマンの業績の重要性をいち早く認識したマクスウェルは、「**マクスウェルの悪魔**」という仮想の小人を持ち出して、ボルツマンの結論を擁護しました。彼の話はこうです。

50度の気体の真ん中に仕切りを入れて右側と左側の部屋に分ける。その仕切りにはたくさんの穴が開いていて、そこには原子サイズの小人が座っている。その小人は、右側から速さの速い原子がやってきたらそれを通過させ、遅い原子がやってきたらそれを跳ね返す。逆に、左側から速い原子がやってきたらそれを跳ね返し、遅い原子がやってきたらそれを通過させる。すると、次第に部屋の右側には遅い原子の数が多くなり、左側には速い原子の数が多くなる。こうして、右側は熱くなり、左側は冷たくなる。しかし**そんな小人は実現しない**。

科学は理論の正当性を問わず、有効性のみを問えばいい。こうして19世紀後半に物理学あるいは**科学は、初めて哲学を中核とする人間の学問と袂を分かちました**。これは、人間の精神を論じるときに問われる「正当」や「目的」という価値から、科学が「解放」されたことを意味します。**科学は「真善美」という厄介な問題の地平から離陸して、観察と経験から得られる実証的な知見に自らを限定することにしたのです**。おかげで**科学は、いかなる倫理的規制も受けずに長足の進歩を遂げ、現代文明の主役の座に収まりました**。

$$S = k \log_e W$$

S ; エントロピー

W ; 「分配の仕方が何通りあるか」という「場合の数」のことを重率（じゅうりつ）という。
エネルギーEが増えるとともに急激に大きくなる。

光のエネルギーはとびとびの値を取る」というプランクの**エネルギー量子仮説**をさらに発展させて、「光は量子そのものである」とするアインシュタインの仮説を「**光量子仮説**」と呼びます。この仮説は、その20年後に、ドイツの若きヴェルナー・ハイゼンベルク（1901～1976）らによって**量子力学**として実を結びます。

プランクは $e^{h\nu/kT} - 1$ という関数を思いつく。

周波数が小さい時のレイリー＝ジーンズの公式

周波数が大きい時のヴィーンの公式

を統合した公式を作った。

このプランクの仮説、すなわち「光のエネルギーは連続ではなく、 $1h\nu$ 、 $2h\nu$ 、 $3h\nu$ 、……と」とびとびの値を持っている」という仮説を、**エネルギー量子仮説**と呼びます。

アルバート・マイケルソン

===Web===

ところが、実験の失敗はエーテルの存在を否定したばかりでなく、運動する物体からどんな方向に発射された光の速度も一定であるという光の特殊性、「光速度不変」を発見したという意味で、アインシュタインの相対性理論の大前提となりました。そのために、非常に意義ある“失敗実験”として科学史上もっとも有名なものになっています。

=====

特殊相対性理論は等速直線運動をしている物体を扱います。しかし、物体が等速直線運動している状態は「特殊」です。むしろ加速したり減速したりするのが「一般」的でしょう。特殊相対性理論の発表から10年後の1915年に提唱した一般相対性理論で、アインシュタインは加速度運動をする物体にまで問題を一般化します。

ローレンツ変換

$$\begin{aligned}x' &= \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}(x-\beta ct) \\ct' &= \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}(ct-\beta x)\end{aligned}\quad \left(\text{ただし、}\beta = \frac{v}{c}\right) \dots\dots\dots (\text{4-10})$$

飛行機の速さ v が光速 c よりも大きくなると、 v/c が 1 より大きくなって分母の√内が負の数になる。これはあってはならないので、あらゆるものの速さは光速を越えることは無い。

$$x'^2 - x^2 = c^2t'^2 - c^2t^2 \dots\dots\dots$$

この式が、光速不変の原理を表現したものである。

量子力学によれば、あらゆる物質は粒子でもあり波でもあります。

独立不羈 (ふき)

===Web===

不羈 (ふき)

- 1 物事に束縛されないで行動が自由気ままであること。また、そのさま。「独立」
- 2 才能などが並はずれていて、枠からはみ出すこと。また、そのさま。「一之才」

=====

シュレディンガー方程式 (1次空間の場合)

$$i\hbar \frac{d}{dt}\psi = \left[-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2} + U(x) \right] \psi$$

右端のプサイは物質波を表す関数「波動関数」。
簡潔な書き方は、

$$i\hbar \dot{\psi} = H\psi$$
$$\text{ただし、} H = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{d^2}{dx^2} + U(x)$$

Hをハミルトニアンと呼ぶ。

しかし最終的に「コペンハーゲン解釈」が学界の主流となります。それは、「 ψ という波動関

数の絶対値を取って2乗したものが、電子1個の持つ存在確率を表わす。さらにいえば、電子やさらには物質の存在は、確率的にしか求められない。そのような性質を持つφこそが実在の本質なのだ」という解釈です。この解釈を導いたのは、次節に登場するハイゼンベルクと、彼をコペンハーゲンにある自分の研究所に招いたデンマークのITルス・ボーア（1885～1962）なので、次節でもう一度、この「コペンハーゲン解釈」を学びましょう。

しかし、波であれ、粒子であれ、波と粒子であれ、いずれにせよミクロな世界に分け入った際に見られる物理現象ではないか。森羅万象を表わすというシュレーディンガー方程式がぼくたちの日常世界に一体なんの関係があるのか。

当然の疑問です。

それが大いに関係があるのです。この方程式なくして現代社会はもはや成り立ちません。半導体などを扱うナノテクノロジー、つまりトランジスタ、ダイオードなど原子スケールの世界では、もはやニュートンの運動方程式は通用しません。携帯電話やコンピュータの中に分け入ってみると、そのミクロな世界は完全に量子力学に支配されていて、エンジニアはシュレーディンガー方程式を解いて半導体デバイスを設計しています。量子力学は世界に対する認識だけでなく、ぼくたちの日常生活に途方もない影響を与えているのです。

ハイゼンベルクは、1927年、量子力学の論理的帰結として「**不確定性原理**」を導き出します。これは「ある粒子の位置と運動量を同時に正確に知ることは、**原理的に不可能である**」という原理です。一方を正確に知ろうとすると、一方が不正確になる。これはどんなに実験精度が上がっても超えられない自然の法則である、というのです。

原爆を作ったロバート・オッペンハイマー

ここまで読み終えたあなたは、5つの物語に共通する何かに気がついたことでしょうか。それは、新しい「**知の創造**」への啓示に至る道程が、すべての人間に共通しているということです。

ニュートンが万有引力の法則を発見した瞬間、ボルツマンが統計力学にたどりついた瞬間、プランクがエネルギー量子仮説にたどりついた瞬間、アインシュタインが相対性理論を見つけた瞬間、そしてドゥ・ブロイが物質波概念にたどりついた瞬間。これらの仮説を思いつく道程は、いずれも、ある独特の推論プロセスでした。このような「**知の創造**」のプロセスを、**アブダクション (abduction)**と呼び、ここではそれを「**創発**」と訳しておきましょう。

なお、創発は、**emergence**、つまり「部分が集合すると部分の性質の単純な総和にとどまらない性質が出現すること」の訳語として使われることもあります。しかし本書では一貫して **abduction** の訳語として使うことにします。

チャールズ・パース (1839～1914)

- 1 驚くべき事実 C が観測された。
- 2 ある仮説 A が正しければ、C は当然の帰結となる。
- 3 よって、仮説 A が正しいと考える理由は存在する。

と述べた上で、C から A を導く推論の方法を「創発」(abduction) と呼びました。たとえばニュートンの場合、C がケプラーの 3 法則、A が万有引力の法則です。ところが、どうやって仮説 A を見つけたかは、当人ですら分かりません。天啓を得た。ひらめいた。そうとしか表現できない。それはまるで、音楽家が、美しく気高い、そして今までとはまったくちがう音楽を創造する瞬間の心そのものです。それが「創発」の著しい特徴で、それ以外の知的営みである「演繹」と「帰納」との決定的なちがいはそこにあります。「科学の諸概念はすべて創発 (abduction) によってもたらされるのである」とパースは言い切ります。

ところが、中央研究所の時代が 20 世紀の終わりに終焉を迎え、科学者の地位が不安定になります。日本では 1990 年代後半に、**企業にいた科学者が大規模なリストラ**をされてしまって、企業から「創発」力が奪われ、ついに「知の創造」が生まれなくなってしまうました。それを原因として、日本企業がイノベーションの手がかりを失い、エレクトロニクス産業もバイオ産業もブレークスルーの力をすっかり損なってしまいます。これは、企業の経営者たちも国の官僚たちも、「創発」による「知の創造」こそがイノベーションの契機たりうることに気がつかず、「演繹」による直接的で短絡的な「価値の創造」をめざしたためです。

さて山中は、スポーツ整形外科医になることを夢見て 1981 年に神戸大学医学部に入学。1987 年より整形外科研修医として国立大阪病院に勤務します。ところが、先輩の医者から「ジャマナカ」と揶揄されるほど手術が下手くそ。たった 2 年で挫折して、基礎医学に移ることを決意し、1989 年に大阪市立大学大学院の薬理学研究科に入学します。ところが、薬だけを使っていたいわゆる伝統的な薬学に強いフラストレーションを抱いてここでも挫折。

このとき彼が薬理学の実験で学んだ教訓はふるっています。

- 1 科学は驚きに満ちている。
- 2 新治療法を、いきなり人間に性別することは敲禁√
- 3 先生のいうことをあまり信じてはならない。
- 4 **阿倍野の犬実験をするな。**

(山中伸弥・緑慎也『山中伸弥先生に、人生と iPS 細胞について聞いてみた』より)

最後の「阿倍野の大実験」というのは、「誰かが『アメリカで犬はワンと鳴く』という論文を書くと、日本の研究者が『日本でも犬はワンと鳴く』という論文を書く。するとさらに別の日本の研究者が『阿倍野の犬もワンと鳴く』という論文を書く」というもの。そんな研究はするな。

クーンという「パズル解き」はしてはならないという教訓です。

===Web===

「100 匹目のサル」

空気感染の話聞いて、「100 匹目のサル」の話思い出しました。宮崎県の幸島にいる 1 匹の野生ザルが、海水で芋を洗った。すると別のサルも同じことをして、100 匹目のサルが洗うようになったときは、全員が同じことをしていた……。

<http://www.nttcom.co.jp/comzine/archive/taidan/vol7/deck2.html>

「…その年の秋までには幸島のサルのうち数は不明だが何匹か、あるいは何十匹かが海でサツマイモを洗うようになっていた。なぜ海で洗うようになったのかと言うと、イモがさらに発見を重ねて、塩水で洗うと食物がきれいになるばかりかおもしろい新しい味がすることを知ったからである。」

<http://www.geocities.jp/wakashimu/yota/saru.html>

=====

生命の基底にある普遍法則を追い求めようとする科学者の生き方は、ぼくたちに一つの希望を与えてくれます。しかもそればかりではありません。次世代のイノベーションの方法をも教えてくれます。

一度しかないこの人生。

何を達成したいか。

自分は死ぬまでにどこまで行けるのか。

人生の夢をいつもめざしていれば、何度挫折しようとも、どんなに孤独でも、気にもなりません。越境した先でその村人たちから意地悪されても、へっちゃらです。

人生の夢に至る道は、最初思い描いていた道の中にはないかもしれない。だから「知の越境」を果たして異なる価値観に積極的に触れ、自分の「回遊」力を鍛えるのです。それは最後には、世界を強く生きていくための **「揺るぎない軸」** を、きっとあなたにもたらしことでしょう。

著者 1955 年生まれ