

Fragmentvertaling

Gegevens van het boek:

Auteur: Ivo van Vulpen

Titel: *De melodie van de natuur: De zoektocht naar de bouwstenen van het heelal*
(2018, Atlas Contact)

Doeltaal: Japans

Fragment: p.7 – 19

Vertaler: Kaori Shiozaki

september 2020

はじめに

「宇宙はあたりまえの存在ではありません。宇宙など存在しないという可能性も、当然ながらあるのですから」——ちょっと面食らうような発言ではないだろうか。哲学の思考実験としてはおもしろいし、飲み会などの話題に使えるかもしれない。だが、じつはこれはオランダの物理学者ポール・デ・ヨング教授がおこなった講義の一節だ。教授のように、いったいなぜ何かがあるのかという「究極の問い」、素朴ながら驚くほど深い疑問を研究するうえで、「なぜ」だけを突き詰めても答えにはたどり着けない。しかし、たとえば宇宙はたしかに存在すると考えれば、より現実的な立場で宇宙の不思議に迫ることができる。「なぜ」ではなく「何か」に注目し、そのしくみを解き明かそうとするわけだ。

電気はどうやってつくられるか、水が透明で石が不透明なのはどういうわけか、太陽はどこからエネルギーを得ているか、そもそも宇宙はどうやって存在しているのか。こんなことを考えなくても、なんなら100歳まで気楽に人生を生きていくことはできる。ただし、偶然にしろ一度でもこういった疑問をもつと、それまではわかりきっていてつまらないとさえ思っていたことをじつはあまりよく理解していなかったと痛感するものだ。いまはウィキペディアのようなサイトもあるし、インターネットで少し検索すればたいいのことは調べられる。とはいえ、まだ答えそのものが見つかっていない問いもたくさんある。自然はそう簡単に秘密を明かしてはくれないが、それを少しずつ探り出していくのが自然科学者の仕事だ。身のまわりで目にする現象をくわしく観察して記録し、そこに一定のパターンがみられるとき、どのような自然法則がはたらいているのか。それを明らかに

するため、地道な努力が何世代にもわたって積み重ねられている。なにしろ、この自然法則には、あらゆる問いの答えが隠されているはずなのだ。

なぜそんなことが言えるのだろうか。まず確認しておきたいが、知識の限界を超えようとすれば、当然ながらまだだれも行ったことのない場所に足を踏み入れなければならない。未知の世界を押し開き、最先端のさらに先へ進むことには、どんな分野であろうと人を引きつけてやまない魅力がある。スポーツの成績にしろ、自然が相手の挑戦にしろ、記録は破られるものだが、その一方で歴史に残るのは、最初に何かを成し遂げた（命知らずの）面々の名前だ。たとえば、アメリカの陸上選手ジム・ハインズは1968年に100メートル走で史上初めて10秒の壁を破った。エドモンド・ヒラリーとテンジン・ノルゲイは1953年にエベレストに初登頂、そしてジャック・ピカールは1960年にマリアナ海溝で1万メートルを超える深さの潜水に成功した。また、クリストファー・コロンブスがヨーロッパ人にとっての新世界を発見し、キリスト教世界の人間として最初に上陸を果たしたのは1492年、ニール・アームストロングが人類で初めて月面に降り立ったのは1969年だ。彼らはいずれも、目指すところが夢物語ではなく現実であることを示してみせた。こうして新しい境地が切り拓かれ、世界は（実際にも、比喩としても）拡大したのだった。なお、不滅の英雄たちのフロンティア精神は現代まで受け継がれている。史上「初」や「最速」など、草分けと呼ばれる人はとにかく一番の結果を出したが、挑戦を続ける。

科学の分野でもそれは同じだ。もちろん自然科学者もまだ見ぬ世界にあこがれ、他人からすればおよそ無理な目標を温めている。未解決の難問を前に、答えを最初に発見するの

は自分だという熱い思いを抱いているのだ。そんな科学者はやがて、はるか昔から続く究極の「なぜ」をめぐる研究を引っ張る存在になっていく。

進歩や発展という言葉を見聞きすると、より大きく、より高く、より遠く……と考えがちだが、正反対の方向で「さらに先」を目指す人たちもいる。小さく、より小さく、もっとも小さく、というわけだ。たとえばレゴで遊ぶことを覚えた子どもは、簡単な塔やお城にはじまり、大きな宇宙船、ありとあらゆる空想の世界など、びっくりするようなものを作る。仕上がったものの見た目はずいぶん違うが、どれもほんの数種類のブロックを組み合わせでできている。じつは自然もそうなのだ。私たちの身のまわりには、とんでもなく複雑なものがたくさんある。夜空の星から人間、水やウイルスまで、さまざまな形をとっていても、それらは結局いくつかの^{ブロック}単位の組み合わせで構成されている。このブロック（つまり物質を構成する最小単位）を探している科学者のことを素粒子物理学者と呼ぶ。彼らの目標は、それ以上分けられない「素」の粒子の発見。世の中のすべての物質のいちばん小さな構成単位がどんなものかを明らかにし、現在ある複雑な自然を成り立たせている法則を理解することだ。これも心躍る冒険にちがいない。らせん階段を深く深く降りていき、宇宙の基本構造やしくみの謎に迫る旅だともいえそうだ。

自然の究極の構成要素を追って、大勢の科学者が飽くことなく研究を続けてきた。本書ではその数百年の歩みを紹介する。ただ、ある問いへの答えを見つけても、そこからまた新しい問いが生まれる様子から、消耗戦という印象を与えてしまうかもしれない。じつは、究極の答えに多少なりとも近づいている感触はある。だが、自然に関する理解が深まるとともに、私たちが見ている宇宙はいまの理論では説明できないこともわかってきた。

科学者はこの100年間にらせん階段を降り、考古学者がするように、地下深く埋もれた基礎の部分を少しずつ掘り出し、新しい陸地を発見した探検家のように多くの知見を手にしてきた。こうして自然のとらえ方に革命的な変化が起こり、長年の問題に答えが出た一方、それまでなかった問いがいくつも浮上したわけだ。ただし、いちばん深いところにはまだたどり着いていない。目に見える現象の奥にある深いレベルの現実をめぐる謎と夢はふくらむばかりだ。

本書では、読者と一緒にこのらせん階段を降りていき、筆者の研究分野である素粒子物理学の世界を案内したいと思っている。ガイドとして配慮が必要なことは承知だ。なにしろ人の目には見えない世界の話だし、量子力学や相対性理論、粒子加速器といったとっつきにくい用語もしきりに出てくる。物理を専門としない人はこんな言葉にたちまち拒否反応を起こすかもしれないが、心配はいらない。やさしくきちんと説明することは（たしかに難しいものの）筆者の責任であり、「ニュースに出てくる素粒子の世界ってどういうものだろう？」と興味をもった読者に負担なく読み進めてもらえるよう工夫するつもりだ。階段を降りながら、これまでになされた発見の内容を紹介するだけでなく、そこにいたる経緯や関連する応用技術についてもできるだけ広く取り上げていきたい。

古生物学者は生きている恐竜を見たことがないし、この先も見ることはないが、それでも化石や遺跡の調査を通して数百万年前に消えた世界をかなり深く理解している。素粒子物理学者が抱える問題も似たようなものだ。研究の対象、詳しく知りたい世界を自分の目で見ることはかなわない。素粒子物理学が扱うのは、肉眼で識別できる小さなもののさらに何百万分の一以下という世界だ。それでも、素粒子の衝突で生じるかけらを組み合わせ

せ、考古学者のようにパズルを解くことで、そんな極小の世界で何が起きているかも少しずつ明らかになってきている。

極小の世界から宇宙の成り立ちを探る旅を続けるには、必要な技術のレベルを極限まで高める努力も欠かせない。新しい発見の意味や数学的な記述の議論を本当に理解できる人はたしかに少ないが、もともと素粒子物理学の分野で開発された技術や発明は日常生活にじつはかなり浸透しており、現代社会の基盤を支えるものになっている。たとえば、相対性理論がなければカーナビなどに使われているGPS（全地球測位システム）は実現しなかったし、量子力学がなければ半導体は生まれなかった。また、反物質の概念がなければ腫瘍の位置を調べるPETスキャンも存在せず、粒子加速器がなければ放射線を利用して悪性腫瘍を制御することもできないのだ。

物理学者というと、ほこりっぽい実験室で一人孤独に精進する老人を思い浮かべる読者もいるだろう。もっとも、このイメージは実態とかけ離れている。素粒子物理学の研究は、いまや世界的な大事業だ。巨大な実験施設にさまざまな国からたくさんの研究者が集まり、政治や文化の違いを超えて一緒に働いている。実際、協力しなければ研究は進まない。たとえばスイスのジュネーブには、素粒子物理学の研究センターCERN（欧州合同原子核研究機構）がある。本書で触れる研究の多くはここで実施されたものだ。なお、CERNのような施設はたしかに研究活動の場だが、じつは大規模な社会学の実験ととらえることもできる。物理学者は強情で融通のきかない傾向があるので、共同作業をさせるのは楽ではない。100以上の国から何千人もそんな連中が1カ所に集まるとなればなおさらだ。ところが、彼らは自然を構成する最小の粒子を理解したい、宇宙の過去と未来を

見通したいという夢のもとに力を合わせ、それまでの知識の限界を超えて新たな謎をいくつも探し当てている。

素粒子物理学の冒険。そこに科学者を駆り立てるのは、何が何でも宇宙のしくみを解き明かしたいという熱い思いだ。本書で見ていくように、研究はずいぶん進歩した。私たちがとらえる宇宙に存在する物質はわずか数種類の粒子から成り立っていることはすでに分かった。だが、まったく理解できないパターンや現象も観察されている。たとえば2012年には、真空の宇宙、つまり惑星や恒星が存在する空間は、じつは空っぽではなく見えないエネルギーで満たされていることが明らかになった。いまのところ、このエネルギーの場と作用して質量を獲得した素粒子が凝集する結果、太陽や地球のような物体が構成されると考えられている。といっても、まだ謎は多い。たとえば、素粒子の世界では明確なパターンがみられるが、そこにどんなメカニズムがはたらいているのかはわかっていないし、宇宙はどのようにして誕生したのかという問いにも答えは出ていない。本音をいうと頭を抱えている。さらに下の階へ、もっと深いところにある真実に通じる扉がきっとどこかにあるはずなのだ。すべての問いの答えに近づく扉ははたしてどこにあるか。それをどう突破するのか。さあ、いよいよ出発だ！

第1章 ゲームのルール

階段の探検は地表のレベル、地上1階から始めることにしよう。自分の目で見、さわって確かめられるおなじみの世界だ。地下に降りていく前に、まずはよく知っている場所でしっかり準備を整えておきたい。これからの旅のために、自然科学者が自然に存在するパターンに注目し、自然法則を発見する方法をわかっておくことは大切だ。しかし、難問の答えを探す途中で見つかった単純な規則性が社会に大きな影響を及ぼす可能性があることも知っておくべきだろう。たとえば、パターンは一目瞭然でも、なぜそうなるかの答えは特殊な方法でないと見えない層に隠れていることもある。肉眼で見られる最小のサイズのさらに100万分の1という極小のものを見るにはどうすればよいのか（早くもネタバレだが、「粒子加速器」というものを使う）。また、そんな極小の世界ではどうやってものの位置を把握するのか。本章では、この先必要になる主な概念を説明していく。身近な例を取り上げるので、時間をかけて基本装備を確認してほしい。旅はここから始まるが、まだ足の下はそこそこ硬い地面だ。

出発点

探しものは何か。どうやって見つけるか。

20世紀の初め以降、数多くの自然の神秘が解き明かされた。とはいえ、それはどんなやり方でなされてきたのだろうか。リンゴがなぜ地面に落ちるのか、リンゴに聞くことはできないし、空が青い理由を空が教えてくれるわけでもない。そんななかで「宇宙がどの

ようにして生まれたのか」の答えにどうやって近づくか。自然のしくみを理解し、その秘密を探るには、なにより系統だった観察が大事だ。どんな現象が起きているかをまず理解し、それがさまざまな（極限）状況でどう変化するかを見ていくことになる。

このとき、自然がくれるヒントを待つというのもひとつの方法だが、科学者が自分で動くこともできる。制御された環境下で条件が異なる状況を人工的に作り、問いの答えを自然が出してくれるように仕向けるわけだ。このような実験で得た貴重なデータをもれなく記録、整理してみると、一見複雑な自然現象でも、そのほとんどはいくつかの単純そうな法則にしたがって起きていると説明できる。表面からは見えないこれらの法則を発見するには、集めたデータのパターンを読み取ることが重要だ。小さな子どもは、ほぼ無意識にこのやり方でまわりの世界を理解していく。壁にペンで落書きをしたら叱られるか。スーパーのレジの列に並んでいるときに大声を出したらどうなるか。火に指を突っ込んだら本当に痛いのか……。

こんな子どもの「実験」を目の当たりにした大人（親）の反応がいつも同じとはかぎらないことは、経験者として断言できる。一方、自然の反応は杓子定規というか、厳格な法則にしたがうので、同じ条件なら同じ反応が生じる。このような規則性、自然の事象について成り立つ一般的な関係をまとめて自然法則と呼ぶ。自然がどのように反応しているかわかれば、そこから将来の時点や、条件が異なるときの自然の反応も予想できるわけだ。歴史の歩みの中で、人間はこうして身近な世界の理解を深めてきた。本書では、謎が多い現在の宇宙を構成する粒子を取り上げる。

科学の進歩は、あとから見れば難なく達成されたように思えるものもあるが、そう簡単に実現するものではない。なにしろ、科学者は存在するかすらわからない答えを執拗に追

いかけ、だいたいにおいてすでに前人未踏の領域に入っている。それに、真の科学の進歩は出し抜けに起こる。たいていは小さな前進を重ねていくものの、ごくたまに、いきなり飛躍的な一步を遂げることがあるのだ。特定の事象をもたらすメカニズムの謎が突然解け、その裏にあるひとまとまりの法則がわかる瞬間で、科学者としてはもちろんこの上なくうれしい。しかし、その後に向き合う現実には以前見ていたものとは違っている。そして新しい世界に慎重に足を踏み入れると、前には気がつかなかった現象が目にとまるのだ。このような大きな進歩は天才のひらめきがきっかけのこともあるが、偶然の発見であったり、実験技術が開発され、過去にないレベルで自然を観察できるようになった結果のこともある。医学の発展に決定的な役割を果たした顕微鏡の発明がよい例だ。この道具のおかげで水滴1粒にも生き物のメカニズムが存在することがわかり、それまで誰も見たことがなかった世界の存在が明らかになった。このように、目の前の現実の奥深くに隠れている層があることがわかると、観察している現象が「いかに起こるか」ではなく「なぜ起こるか」を考えられるようになる。新たに見つかった法則を用いて、これまでに観察された不可解な現象をとらえなおすわけだ。だが、話はそこで終わらない。新しい視点を得たことで、これまで互いに何の関係もないとみなされていた複数の現象が結びつく可能性も開かれるからだ。

さて、素粒子という抽象的な世界の探検を始める前に、科学者がどうやって自然の謎を解き明かしてきたのかを具体例とともに紹介しておきたい。簡単そうな例と多少込み入った例があるが、いずれにしても、今日の自然の理解に重大な影響を与え、現代社会の基盤を支える知識の体系を生み出したのは、何よりも目の前の現象を理解したいという熱意だ

ったことがよくわかるはずだ。本書ではここから先、素粒子の世界でなされた数々の発見を順番に見ていくが、新しい考え方や発見を取り上げるときには、（抽象的だったり基礎的だったりするものもあるにしろ）それがどんな技術に応用され、日常生活に欠かせないものとして普及しているかについても触れるようにしたい。いわゆる基礎研究は、自然の反応をより深く理解するために役立つ。だがそれだけではなく、長期的に見れば、社会や経済に無視できない影響を及ぼしてもいる。

探検とは誰も行っていないところに行ってみることだから、まだ答えのない問題に不意にぶつかるのは不思議でも何でもない。仮に立派で頑丈な橋をかける技術を身につけていたとしても、海の向こうに何があるかを知りたいければ、船を作るしかないというわけだ。ところが、努力ではなく発想の転換のおかげで状況が打開できることもある。たとえば、壁に囲まれた場所の向こう側の様子を見たいとき、もちろんつち槌とのみで何年もかけて少しずつ削っていくやり方もあるが、賢い人ならはしごを作るだろう。解決策を知っていればあっけないほど単純な話だとはいえ、その場で思いつかなければ意味がないことだ。

科学者は本当の意味で探検家なのだ。決して大金持ちになることはないが、たとえばエベレストの頂上に初めて到達したのは自分だ、人類で初めて月面を踏みしめたのは自分だという喜びと不滅の栄誉は何ものにも代えがたいはずだ。素粒子物理学の分野での「初めて」は、自然を構成するもっとも基本的な要素を解明したり、宇宙に反物質がない理由を示したり、無の空間は本当に空っぽなのか、それともあらゆる粒子に質量を与える謎の物質に満たされているのかを確認したりすることで達成されるのだろう。

パターンを認識する：自然の神秘

隠れたパターンを見いだす難しさと、あることが必然となる条件について

科学者は、観察で集めたデータからパターンを読み取り、仮説を立てる。説明しづらい仕事だが、うまい例え話ができればわかりやすくなる。ここでは同僚が教えてくれたものを紹介しよう。もし、読者がある惑星から地球にやってきた宇宙人だとしたら、地球での日々はおそらく驚きの連続にちがいない。だが、いくつかの決まりごとを体系的に理解しようとするれば、簡単なところから始めるのが正解だ。そこで、質問を決める。「この星のどの国でもおこなわれている人気のスポーツ（＝サッカー）のルールはどんなものか」