

宇宙はなぜこんなにうまくできているのか

村山 斉

集英社インターナショナル ウェブ立ち読み

宇宙はなぜこんなにうまくできているのか

目次

まえがき 6

第一章 地上と同じ物理法則が、宇宙でも通用する 9

身の回りの自然現象に目を向けてみよう／なぜ夏は暑くて、冬は寒いのか／
天動説から地動説へ／ケプラーの法則／万有引力の発見／
「天上」と「地上」を支配する法則

第二章 なぜ太陽は燃え続けていられるのか？ 33

太陽の寿命は二〇〇〇万年？／エネルギーと質量は同じである／
太陽がエネルギーを生み出す仕組み／「お化け」のようなニュートリノ／
超新星爆発が私たちをつくった／星の一生

第三章 惑星の不思議 59

重力の働き／重い物体も軽い物体も同じ速度で落ちる／

存在が予想されていた海王星／曲がる空間／
「見えない」星をどう見つけるか／
地球外生命体が存在する可能性

第四章

ブラックホールと暗黒物質 81

太陽系は「新興住宅地」？／銀河の中心に存在するブラックホール／
ブラックホールの発見／足りない質量／
暗黒物質の存在を裏づける「重力レンズ効果」／
暗黒物質は私たちの「母」

第五章

膨張する宇宙 107

宇宙はなぜ潰れないのか／遠ざかる銀河／ビッグバン理論／
ビッグバンの残り火／
宇宙に果てはあるのか／宇宙の大規模構造

第六章

「四つの力」と素粒子の標準模型 133

過去の宇宙を見る／光の正体／宇宙の晴れ上がり／素粒子の分類／
フェルミオンとボソン／素粒子の標準模型／未発見の素粒子をつくり出す

第七章

宇宙の未来はどうなるのか¹⁵⁹

物質が存在できる理由／四つの力の統一／宇宙の膨張は加速している／

膨張を後押しする暗黒エネルギー／インフレーション宇宙論／

宇宙は人間が存在できるようにつくられている／

人間原理とマルチバース／宇宙の起源が私たちの起源

あとがき¹⁸⁴

この本に登場する主な科学者¹⁸⁶

編集協力 岡田仁志

キャラクター(トレックくま)イラスト フジモトマサル

カバーイラスト 本村加代子

図版作成 タナカデザイン

装丁・デザイン 立花久人・福永圭子

(デザイントリム)

まえがき

「宇宙人はいると思いますか？」

講演会などでそんな質問を受けたとき、私はこんなふうに答えます。

「もちろん、いますよ。だって、私たちも宇宙人ですよね？」

私たち人間は、この地球で生まれました。そして地球は、この宇宙が生み出した惑星です。当たり前のことですが、宇宙がなければ私たちは存在しません。その意味では、宇宙こそが私たちの故郷だともいえるでしょう。

一方、夜空を見上げながら、こんな考えにとらわれたことのある人もいます。

「人間が生まれたのは当然なのか、奇跡なのか、どっちだろう？」

太陽系では、人間が住めるような惑星は地球だけです。液体の水があり、昼と夜があつて温度が適当に保たれ、大気があり、体をつくる炭素、酸素、鉄といった元素がふんだんにあります。最近では太陽系以外でも惑星の候補が何千個も見つかるようになりましたから、地球のような環境の惑星が他にあっても不思議ではなさそうです。しかし、こうした元素

はどこから来たのでしょうか。星や銀河が生まれるのは当然なのでしょう。そもそも、宇宙そのものが存在するのはどうしてでしょう。

現実にこの宇宙は私たち「宇宙人」を生み出し、その宇宙人たちは大昔から宇宙について考え続けてきました。自分たちの生まれ故郷であるにもかかわらず、宇宙には山ほど謎があります。太陽はなぜ昇ったり沈んだりするのか、月はなぜ周期的に見た目の形が変わるのか、夜空に瞬く星の正体はいつたい何なのか、そもそもこの宇宙はどのように生まれて、これからどうなっていくのか……。

人間はそんな謎を次々と解明してきましたが、その研究には終わりがありません。ひとつの謎を解き明かすと、その先にまた別の謎が立ちはだかります。

でも、それは決して私たちを苦しめるものではありません。私も研究者のひとりとして宇宙の謎に挑んでおり、難問に突き当たって頭を悩ませることはいくらでもあります。が、「もっと知りたい、もっと理解したい」という好奇心に突き動かされる仕事は、実に楽しいものです。もしかしたら、宇宙は人間にそんな知的興奮を与えるために存在しているのかもしれない。そんなふうに思えてくるほど、宇宙は謎の宝庫なのです。

それではこれから、宇宙について人間が解き明かしてきた謎や、まだ残されている謎に

ついて、お話ししていくことにしましょう。中学生や高校生にも理解できるように、専門的な知識の必要な内容はかいつまんで進めていきますので、ご安心ください。この本で宇宙論に入門したみなさんが、好奇心を刺激されて「もっと知りたい」と思えるように書いていくつもりです。

読んだ後は、たとえば最先端の宇宙研究のニュースを見ても「ああ、あの話か」とわかるようになっていくことでしょう。そこから興味を広げて、もっと専門的な本を読み、宇宙についての理解を深める「宇宙人」がひとりでも多くなれば、著者としてそれ以上にうれしいことはありません。

第二章

地上と同じ物理法則が、
宇宙でも通用する

身の回りの自然現象に目を向けてみよう

私たちの身の回りには、「考えてみると不思議なこと」がたくさんあります。その大半は、理由や意味がわからなくても、それほど困ることはありません。そのため、ふつうは見過みすごごしてしまうことが多いでしょう。

でも、いったん頭の中に「なぜ？」という疑問符が浮かぶと、がぜん好奇心が湧いてきます。そうなったら、目の前にある「不思議」を解き明かさずにはいられません。少なくとも、私はそうです。

たとえば私は小学生時代、炭酸入りのジュースを飲むときに、ストローが浮かんでくるのを不思議に思いました。最初は沈んでいるのに、だんだん浮かんできて、いちいち押し込まないと飲めないのです、とても鬱陶うっとうしいのです。

これは納得がいきません。水に沈むものはずっと沈んでいるはずですし、水に浮くものなら最初から浮いているはずです。

そこでストローをジーツと観察したところ、理由はすぐにわかりました。ストローのまわりに炭酸の泡がたくさんくっつくほど、全体の比重が軽くなって浮かぶのです。残念な

がら、それを沈んだままにしておく方法までは思いつきませんでした（いまでも思いつきません）が、原因がわかっただけで「なるほど、そうだったのか！」と感激したのを覚えています。

もうひとつ小学生時代の「発見」で覚えているのは、スーパールのレジ袋のこと。あれを手からぶら下げて歩いていると、やたらと振れ出して歩きにくくなり、鬱陶しい思いをすることがありますよね？ でも、いつもそうなるわけではありません。大きく揺れることもあれば、まったく揺れないこともあります。

いろいろ試してみた私は、歩くスピードを遅くしたり、袋の取っ手を指に巻いて短くしたりすると、大きな揺れがピタリとおさまることに気づきました。

これは、振り子の「共振現象」と呼ばれるものです。音の「共鳴」も同じ原理で、振動しているものに外から同じ振動が加わると、振動の幅が大きくなる。だから、歩くテンポと振動のテンポが同じになると、レジ袋の振れ幅が大きくなるのでした。

どちらもありふれた現象ですから、とくに疑問を抱かずにやり過ごしている人のほうが多いかもしれません。しかし人類は昔から、こうした日常的な「当たり前」に好奇心の光を当て、それがどのような原理で起きるのかを解明してきました。そんな行いが、さまざま

まな科学を發展させてきたのです。

なぜ夏は暑くて、冬は寒いのか

私が機構長を務めるIPMU（東京大学数物連携宇宙研究機構）は、数学者と物理学者が協力しながら宇宙のさまざまな謎を解明しようとしています。無数の星が散らばる広大な宇宙空間は、私たちの日常生活とは無縁な世界だと思われるかもしれませんが、そんなことはありません。この分野も、身の回りの「当たり前」と深く関係しています。

たとえば、私たちの生活には「昼」と「夜」があります。太陽が出ているあいだは昼で、日没から日の出までは夜。誰もがそれを「当たり前」だと思っていますが、この現象は、どうして太陽が昇ったり沈んだりする（ように見える）のかを知らなければ、説明できません。実に不思議です。

いまでは小学生でも「地球が自転しているから昼になったり夜になったりする」と知っているでしょう。しかし、それは知識として知っているだけで、地球がくるくる回転していることを目で見たり体で感じたりすることはありません（東京の緯度では時速約一四〇〇キロメートルもの猛スピードで自転しているので、実感できたら気を失ってしまうと思

います。そのため、地球が動いていることが事実だとわかるまでには、長い時間がかかりました。古代ギリシャのアリストテレスの時代から、コペルニクスやガリレオの登場する一六世紀までは、太陽が地球のまわりを回っていると信じられていたのです。

そう考えると、身の回りにある「当たり前」は決して単純なものではなく、実際は非常に奥深いものだということがわかるでしょう。わかっているつもりでも、いざ説明しようとすると思え込んでしまう現象も少なくありません。

たとえば、一年に「夏」と「冬」があるのはどうしてでしょうか。なぜ地球には、暑い季節と寒い季節が交互に訪れるのか。一日に「昼」と「夜」があることは地球の自転で説明できる人でも、これについてはちよつと思え込んでしまうものです。

でも、わからないからといって恥ずかしいと思う必要はありません。かつてアメリカのハーバード大学の卒業式の日、「なぜ夏は暑く、冬は寒いのか？」と学生たちに質問したところ、ほぼ全員から間違った答えが返ってきたのです。

間違った答えというのは、「夏は地球が太陽に近づき、冬は遠ざかるから」というものでした。しかし、地球と太陽の距離は一年を通じてほとんど変わりません。北半球ではむしろ冬のほうが距離は縮まります。これと同じことを考えた人は、（こと季節の変化に関

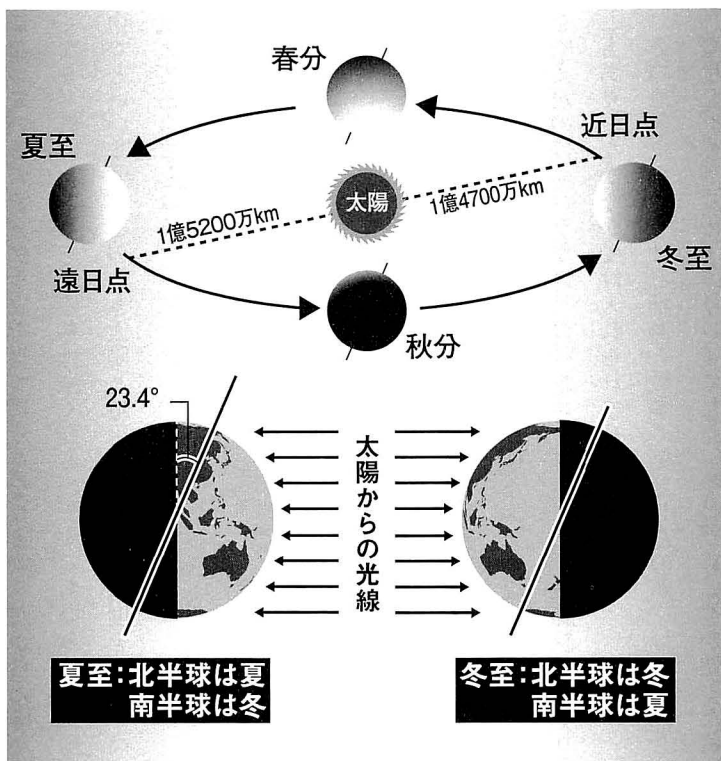
しては)ハーバードの卒業生に勝るとも劣らない知性の持ち主だといえるでしょう。なかには「太陽の活動が一年周期で変動しているから」という珍答もあつたそうです。

夏と冬で気温が変わるのは、太陽との距離が変わるせいでもなければ、太陽の活動が変化するからでもありません。それが理由だとしたら、北半球と南半球で季節が逆になることを説明できないでしょう。

では、どうして地球上の気温は年間を通じて一定ではないのか。それは、「地軸」が傾いているからです。

地球は北極点と南極点を結ぶ直線を軸にして自転していますが、この地軸は公転面(地球が太陽を周回する面)に対して垂直ではありません。そこには、約二三・四度の傾きがあります。そのため、太陽の動きは一年を通じて変化するのです。このことは、日本だと夏は太陽が空の高いところを通るから昼が長くなり、冬は空の低いところを通るので夜が長くなることからわかるでしょう。

そして気温は、太陽の高度の違いによって変化します。太陽から見て、地球の表面をダートの的だと思ってみてください。太陽の高度が高いときは、的が太陽の方を向いているので、ダート(太陽光線)を当てやすいですが、太陽の高度が低いときは的が倒れたよう



地球の公転と地軸の傾き

地球は地軸を傾けながら、太陽のまわりをほぼ1年かけて回っています。これを公転といい、公転軌道は太陽を焦点のひとつとして楕円の形を描いています。地球と太陽の距離は、冬至の頃がおよそ1億4700万キロメートル、夏至の頃で約1億5200万キロメートル。つまり太陽と地球は、冬至の頃のほうが夏至の頃よりも近づくのです。太陽にもっとも接近する点を「近日点」、逆にもっとも離れた点を「遠日点」と呼びます。17ページの図で見るとおり、日本では夏のほうが冬より太陽が空高く昇ることで、より多くの太陽光線を受けます。だから太陽からの距離が遠くても、夏は暑くなるのです。

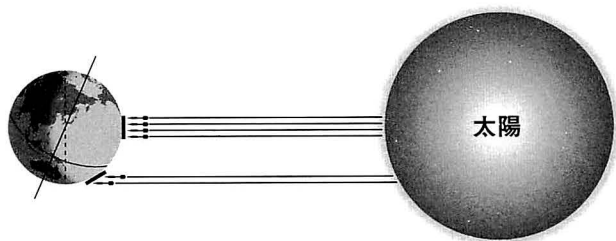
になつてゐるので、ダーツを当てにくくなります。だから太陽が高いところを通る夏は暑くなり、低いところを通る冬は寒くなるのです。ちなみに、太陽が真南に来たときを「南中」といいます。このとき太陽と地平線のつくる角度を「南中高度」と呼ぶことも含めて、覚えておきましょう。

天動説から地動説へ

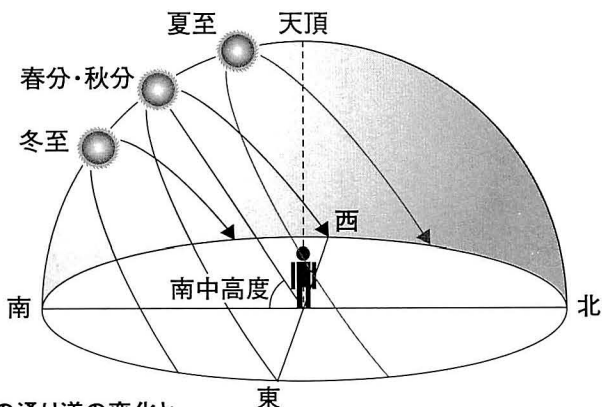
昼と夜の移り変わりと、季節の変化。この二つを考えただけでも、私たちの生活が太陽と地球の運動に大きく左右されていることがわかるでしょう。そうすると、こんどは「なぜ地球は太陽のまわりを回っているのか」を知りたくなります。

先ほども少し触れましたが、昔は地球が宇宙の中心にあり、太陽も星もそのまわりを回っていると考えられていました。いわゆる「天動説」で、それに対して最初に「地動説」を唱えたのはニコラウス・コペルニクスでした。地動説はカトリック教会が嫌っていたこともあり、なかなか受け入れられませんでした。

その地動説を裏づける証拠を数多く発見したのが、コペルニクスよりもおよそ半世紀後に登場したガリレオ・ガリレイでした。そのために彼が使った最大の武器は、望遠鏡です。



太陽の高度が高いほど同じ面積に当たるダーツ (太陽光線) の量が多くなるので、夏は暑くなる。



太陽の通り道の変化と 南中高度

太陽と地平線がつくる角度を「南中高度」といい、南中高度が1年でもっとも低くなる日が冬至です。それとは逆に、南中高度がもっとも高くなるのは夏至のときです。太陽の通り道は、夏至の日がもっとも北寄り、冬至の日がもっとも南寄りになります。春分・秋分の日、太陽は真東から昇って真西に沈みます。

オランダの眼鏡職人ハンス・リッペルスハイという人物が望遠鏡を発明したことを知ったガリレオは、一六〇九年の五月に、その一〇倍の拡大率を持つ望遠鏡を一日でつくり上げ、さらにそれを二〇倍にまでつくり替えました。そして、それを初めて夜空に向けたのです。

これは、天文学の歴史の中でもきわめて重要な出来事だったといえるでしょう。それまで、星のきらめく天上は人間の住む地上とはまったくの別世界だと考えられていました。その別世界を拡大すると、いったいどんなものが見えるのか。ガリレオがどのような風景を予想していたのかはわかりませんが、きっと胸がドキドキしていたはずです。

彼はまず、夜空でもっとも大きな天体である月に望遠鏡を向けました。そこでガリレオは、意外な事実を発見します。月の満ち欠けで生じる「日陰」と「日なた」の境目が、デコボコしていることに気づいたのです。

いまなら、誰もそれを不思議には思わないでしょう。しかし天上を汚れない美しい別世界と考えていた当時の人々は、太陽、月、星といった天体はすべて完全な球体だと思っていました。地上のようなゴツゴツした世界ではなく、傷ひとつないツルンとした物体（いまでいえば電球のようなイメージでしょうか）だろうと考えていたのです。

ところが望遠鏡で見ると、そこにはデコボコがある。つまり、「山」や「谷」があるわ

けです。それを見た瞬間に、ガリレオは「月は決して別世界ではなく、地上の世界と変わらないではないか」と気づきました。この発見は、彼が天文学を研究していく中で非常に大きな転機になったようです。また、やがてはこれがアイザック・ニュートンの「万有引力の発見」にもつながっていくのですが、それはまた後ほどお話ししましょう。

さて、ガリレオが地動説を支持するきっかけとなったのは、木星の衛星を見つけたことでした。あるとき、ガリレオは木星の近くにいくつかの小さな点を発見して、ノートにその位置をメモします。それから数日は雨が続いて観測ができませんでしたが、晴れた夜に再び木星を見ると、その点の数と位置が変わっていました。何が起きたのかさっぱりわからず、ガリレオはかなり混乱したようです。

しかし観測を続けていくうちに、それぞれの点が周期的に動いているらしいことがわかりました。複数の小さな天体が、木星のまわりを回っているとしか考えられません。数が減るのは天体が木星の裏側に入って見えなくなったのだとすれば、すんなり理解できます。だとすれば、自分たちの地球が太陽のまわりを回っていても不思議ではない——ここからガリレオは徐々に発想が変わり、地動説に傾いていったのです。

ガリレオはそれ以外にも、金星が見た目の大きさを変えながら満ち欠けすることや、太

陽の黒点が形や位置を変えることなどを発見しました。詳しい説明は省きますが、これはいずれも当時の天動説では考えられない現象です。

ある説（理論）から予想される現象とは異なる事実が見つかったなら、その理論そのものを見直さなければいけません。そして、新しい理論が生まれたら、その理論から予想される事実を観測や実験によって発見する。これは自然科学を発展させる基本的なプロセスです。

宇宙の成り立ちも、ガリレオの時代から現在にいたるまで、そのくり返しによって少しずつ解明されてきました。そこで望遠鏡という観測装置が欠かせないことはいうまでもありません。その意味で、ガリレオが初めて望遠鏡を宇宙に向けた一六〇九年は、宇宙研究史の中でも特筆すべき年です。国際天文学連合（IAU）の提案によって二〇〇九年が「世界天文年」とされ、天文学の普及のためにさまざまなイベントが行われたのも、ガリレオの天体観測四〇〇周年を記念してのことでした。

ちなみに私自身は、宇宙研究を仕事にしていますが、自分の望遠鏡は持っていません。夜空を見上げて宇宙のことをあれこれ考えるのが好きだった少年時代も、「お金がない」といって天体望遠鏡を親に買ってもらえませんでした。そのせいで理論物理学者になった

……というわけでもないのですが、机の上で数式と格闘しながら宇宙のことを考えています。しかし、そうやって理論を考えていくときも、世界各地の天文台の観測結果や実験施設でのデータは欠かせません。また、観測や実験を行う研究者たちも、理論的な予測に基づいて狙いを定めています。「ここにこういうものがあるはずだ」という予測がなければ、観測や実験の効率は上がらないでしょう。天文学や物理学の世界では、「理論」と「観測・実験」が車の両輪のように協力し合いながら、宇宙の謎に挑戦しているのです。

ケプラーの法則

話を地動説に戻しましょう。

昔の人々が信じていた天動説は、単なる宗教的な信念のようなものではありません。それなりにしっかりした理論的な裏づけを持つ学説でした。その理論体系を完成させたのは、古代ローマ時代の天文学者クラウディオス・プトレマイオスです。二世紀にできあがった理論ですから、コペルニクスやガリレオが登場するまで、およそ一四〇〇年。こんなに長く常識として定着していたのですから、そう簡単に揺らがなかったのも無理はありません。しかも、プトレマイオスの天動説を信じているかぎり、とくに不都合なことはありません。

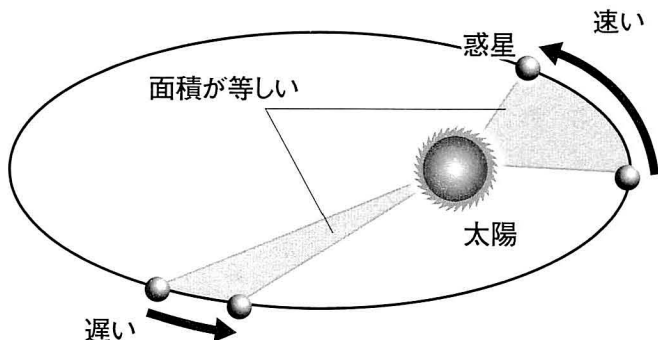
んでした。いくらか誤差はあったものの、その理論を使えば惑星の動きをある程度まで計算できたのです(ただし、その理論では火星の動き方が完全には説明できませんでした)。

また、天動説なら、ジャンプした人が同じ場所に着地するのも不思議ではありません。地球が動いているなら、空中にいるあいだに地面が動いて、着地点がちよつとズレるような気がしますよね？ 空を飛んでいる鳥も、あつという間にどこかへ消えてしまいうす。そういう意味で、天動説は直観的にも信じやすいものだったといえるでしょう。

ガリレオのさまざまな発見は、その天動説を大きく揺るがすものでした。そして地動説に理論的な裏づけを与えたのが、ドイツの天文学者ヨハネス・ケプラーです。

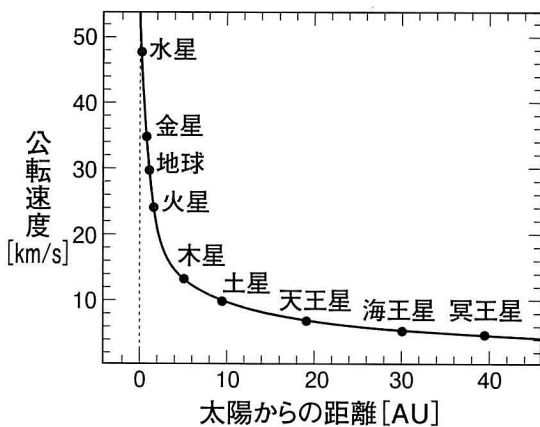
コペルニクスやガリレオも地動説の理論を打ち立てようと試みましたが、プトレマイオスの理論よりも精密に惑星の動きを説明できるものにはなかなかありませんでした。その最大の要因は、惑星が太陽のまわりで「円軌道」を描くと考えていたことです。天動説では、惑星は地球のまわりで円軌道を描くと考えられていました。コペルニクスやガリレオも、この発想から抜け出せなかったわけです。

それに対して、ケプラーは惑星の描く軌道を「楕円形」だと考えました。そう仮定すると、天動説よりも惑星の動きをうまく説明できるのです。しかも、後に「ケプラーの法則」



ケプラーの法則

第2法則（面積速度一定の法則）：惑星の公転速度は太陽に近いところでは増し、遠いところでは落ちる。惑星の移動時間が同じ場合、惑星と太陽とを結ぶ線分が描く面積は一定である。



惑星の公転速度

ケプラーの法則を使うと、遠くの惑星ほどゆっくり回ることがわかる。

AU（天文単位）：主に太陽系内の距離を表すのに用いる単位。

太陽と地球との平均距離（1 億 4959 万 7870 キロメートル）を 1 天文単位とする。

と呼ばれるようになった彼の理論は、プトレマイオスの天動説よりもはるかにシンプルでした。

科学の理論にとって、これは非常に大切なことです。自然界の原理や法則は、よりシンプルなほうが説得力がある。説明が複雑になればなるほど、そこには何か無理があるように思えてしまいます。もちろん複雑だからといって、ただちに間違っているわけではありませんが、単純な理論のほうが応用範囲が広いのもたしかでしょう。私たち物理学者も（数学者もそうですが）、シンプルな理論ほど「美しい」と感じるのです。

惑星軌道に関するケプラーの理論は、三つの法則から成り立っています。第一法則と第二法則は一六〇九年、第三法則はその一〇年後に発表されました。

第一法則 惑星は、太陽をひとつの焦点とする楕円軌道上を動く。

第二法則 惑星と太陽とを結ぶ線分が単位時間に描く面積は、一定である。

第三法則 惑星の公転周期の二乗は、軌道の長半径の三乗に比例する。

「面積速度一定の法則」とも呼ばれる第二法則は、惑星の動くスピードが太陽の近くでは

速く、遠くでは遅くなることを意味しています。スピードが一定だと距離が近いほうが面積は少なくなりますが、近いほど速くなって長い距離を移動するので、面積が増えるわけです。

これはいったい、何を意味しているのでしょうか。どうして、太陽に近づくほど惑星の動きは速くなるのでしょうか。

ケプラーは、太陽と惑星のあいだに、磁石が金属を引きつけるような力が働いているのではないかと考えました。その力の強さは、太陽と惑星の距離の二乗に反比例します。近いほど強い力で引っ張るという点で、磁力とよく似ているといえるでしょう。

しかしケプラーは、その力が何であるかというところまでは突き止められませんでした。謎が解明されたのは、それからおよそ半世紀後のこと。いうまでもないと思いますが、アイザック・ニュートンの「万有引力の法則」が、その答えとなったのです。

万有引力の発見

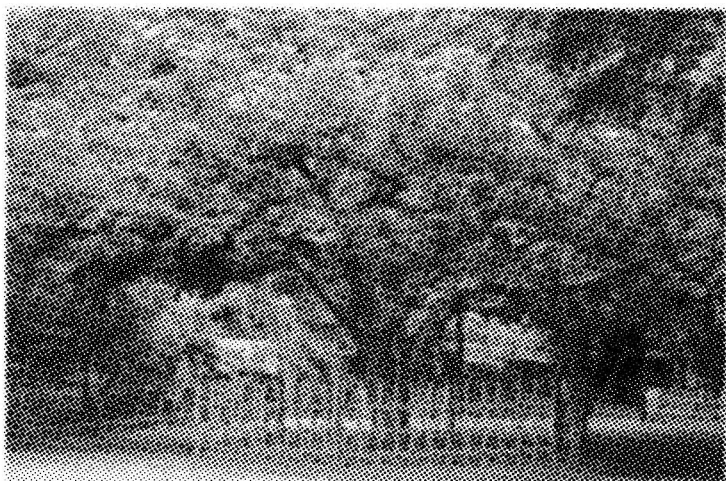
ニュートンが万有引力の存在に気づいたときの逸話は、誰でもご存じでしょう。リンゴが木から落ちるのを見て突如ひらめいた、という話です。これ自体は本当の話かどうか定

かではありません。いずれにしろ、この有名なエピソードのせいで、ニュートンの発見の意味を勘違いしている人も多いのではないのでしょうか。というのも、ニュートンが引力（重力）を発見したと思っている人が多いのです（ちなみに、東京大学の小石川植物園では、ニュートンのリングゴの木の子孫といわれる木を見ることができます）。

地上で物体が下に落ちるという当たり前の現象自体は、はるか昔から科学者にとって大いなる不思議でした。ですから、地球と物体のあいだに、何らかの目に見えない力が働いていることはわかっていたのです。

たとえば古代ギリシャのアリストテレスは、石が地面に落ちるのは、石自体に本来の居場所に戻る性質があるからではないかと考えました。そのため「土」の元素を多く含むものほど速く落下すると考えたのです。いかにも古代らしい発想だと思われるかもしれませんが、ヨーロッパでは中世まで多くの人がそんなふうに考えていました。

それが変わったのは、地動説の登場と同様、一六世紀に入ってからのことです。ガリレオも、中世までの考え方に疑問を持った科学者のひとりです。そこで多くの人が思い起こすのが、「ピサの斜塔」でしょう。塔の上から軽いものと重いものを同時に落として、物体が自由落下するときの速度は落下する物体の質量に依らないことを証明したといわれる



小石川植物園（東京都文京区）にあるニュートンのリンゴの木。

提供：東京大学大学院理学系研究科附属植物園

実験のことです（詳しくは第三章で説明します）。

これは余談ですが、私はピサの斜塔を訪れたとき、その前で二人の日本人女性がガイドブックを見ながら何やら議論しているのを見たことがあります。耳をそばだててみると、こんな話をしていました。

「この本には、ガリレオがここで物を落とす実験をしたって書いてあるけど、違うよね。

私は絶対、ニュートンだと思う」

やはり、ニュートンが引力を発見したという思い込みは強いようですね。

とはいえ、その女性の意見も前半部分は正しいといえるでしょう。実はガリレオの実験も、「ニュートンのリンゴ」と同じで真偽の

ほどはたしかではなく、おそらくは伝説だといわれているのです。

しかし、ガリレオが物体の落下について研究したことは間違いありません。一六〇四年には(望遠鏡を夜空に向ける五年前です)、物体の落下速度は(重さではなく)時間に比例するという仮説を立てました。球を斜面で転がす実験もいろいろと行い、物体の運動の法則を解明する「動力学」の発展にも大いに寄与しています。

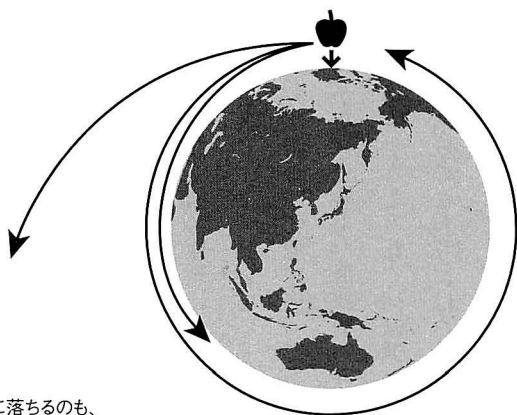
そんなわけですから、仮にニュートンがリングが木から落ちるのを見たのだとしても、そこで「おお、見えない力がリングを引っ張っている！」などと思ったわけではありません。その現象そのものは、すでに研究が進んでいました。

「天上」と「地上」を支配する法則

では、ニュートンは何に気づいたのか。

ここで注意してほしいのは、ニュートンの考えた理論が「引力の法則」ではなく「万有引力の法則」だという点です。この「万有」とは何を意味しているのでしょうか。

物体にはすべて引力があるので、地球が物を引き寄せるだけではなく、たとえば自分が座っている椅子と自分自身もわずかに引き合っているし、テーブルとその上のコーヒーカ



リンゴが地面に落ちるのも、
人工衛星が地球の周回軌道を回るのも
原理的には同じ。

ツブも引き合っている——といった答えも決して間違いではありません。でも、それだけでは「万有」の説明としては不十分です。

ニュートンがすごいのは、リンゴが木から落ちる運動も、惑星が太陽のまわりを回る運動も、同じ引力によるものだ気づいたところでした。地球が物体を引っ張るだけではなく、太陽は地球を引っ張っているし、地球は月を引っ張っている。だからこそ、その力のことを万有引力と呼んだのです。

ガリレオは、自分の考えた運動の法則が地上の物体にだけ当てはまると考えました。それも無理はありません。自分の地動説によれば、地球は太陽のまわりを、月は地球のまわりを回っています。どちらも、太陽や地球に

落下しません。だから、天体には地上の物体とはまったく別の性質があり、そのために落ちることなく回っていられるのだと考えたわけです。一方、ケプラーは太陽と惑星のあいだに何か磁力のようなものが働いていると考えましたが、それが地上の引力と同じだとは思いませんでした。やはり、天体は地上とは別の法則で動いていると信じていたのです。

しかしニュートンは違いました。惑星が太陽のまわりを回るのも、石やリングが落ちるのも、まったく同じ原理によるものだというのが、彼の発見です。もし天体に引力がなければ、猛スピードで動いている惑星や月はあつという間に軌道を離れ、太陽や地球から宇宙の彼方へ向かって飛び去ってしまうでしょう。それを軌道につなぎ止めているのが、引力にはかなりません。飛び去ろうとする力（遠心力）と引力が釣り合っているので、月は地球に落下することなく回転運動を続けているのです。

現在、地球のまわりにはたくさん的人工衛星がありますが、あれが地上に落ちてこないのも同じこと。スピードが足りなければ地上へ落ちてきますし、スピードが速すぎればどこかへ飛び去ってしまう。地球の引力と釣り合う速度を計算して打ち上げているから、衛星としてくるくる回っていられるのです。

ともあれ、このニュートンの発見によって、「天上」と「地上」は別世界ではなくなりました。ガリレオは月の観察を通じて天体と地球が同じようなものであることに気づきましたが、ニュートンはそれに加えて、どちらにも同じ物理法則が当てはまることを明らかにした。それまで別々に考えられていた世界を、ひとつに統一したのです。

先ほど、科学の理論はシンプルのほうがよい、という話をしました。その意味では、この統一も非常に重要です。さまざまな現象をいちいち別の理論で説明するのは、話が複雑になりますし、美しくありません。ひとつの法則で多くのことを説明できたほうが、より深い原理に近づいたことになるでしょう。

そのため、大昔から現在にいたるまで、物理学者たちはさまざまな理論を統一する努力を続けてきました。物理学の歴史は統一理論の歴史だといっても過言ではありません。この世に起こるすべての現象をひとつのシンプルな理論で説明したい——それが、私を含めた全世界の物理学者の夢なのです。ニュートンの万有引力の法則は、そんな統一理論の先駆けとなるものでした。

これが宇宙の研究を大きく前進させたことは、いうまでもないでしょう。宇宙にも地上にも同じ理論が通用するなら、地球を離れて「現場」に行かなくても、宇宙のことを理解

できます。宇宙は、決して人知の及ばない神秘的な空間ではありません。もちろん、そこにはさまざまな不思議がありますが、それは私たちの身の回りにある不思議と何ら変わることはないのです。

事実、ニュートンの発見以降、宇宙の成り立ちについて多くのことがわかってきました。そこで次の章では、まず、私たちの地球にもっとも近い星である太陽についてお話しすることにしよう。

宇宙はなぜこんなにうまくできているのか
村山 斉 著

発行・集英社インターナショナル 発売・集英社
定価 1,100 円（本体）＋税
ISBN 978-4-7976-7223-7

ウェブでのご予約・ご注文は [こちらにどうぞ！](#)