

## 第2章 思い込みから自由になること～ものの 落ち方

私たちは日常生活でいろいろなものが落ちるのを観察します。例えば、消しゴムを床に落とします。最初に消しゴムが動いていなければ、ほとんど真下に落ちることを私たちは知っています。しかし、具体的に、どのような速さで落ちるのでしょうか。あるいは、その速さは何によって決まっているのでしょうか。今回は、そんな物の落ち方を考えてみたいと思います。

### 2.1 アリストテレスの考え方

アリストテレスは、古代ギリシャの有名な哲学者です。ソクラテスから始まった哲学は、プラトン、そしてアリストテレスに引き継がれます。アリストテレスは多くの著作を残し、それらは中世のヨーロッパに多大な影響を与えることとなります。

そんなアリストテレスは、ものの落ち方についても記述しています。まず、落ちる速さについて、重いものほど、重さに応じて速く落ちるとしています。そして、その理由を、物質の性質と結びつけて考えました。アリストテレス(を含む当時の人々)は、この世のものは「火・空気・水・土」から構成されると考えました。そして、重いものは「土」を多く含んでいると考えたのです。土を多く含んでいるものは、土のある場所へ戻ろうとする。そこで、重いものほど速く落ちる、というわけです。

現代からすると、全て間違っていると指摘したくなります。しかし、辻褄があっているために、これを論破することはとても難しく感じてしまうでしょう。皆さんは、どのようにアリストテレスの考えを否定するのでしょうか。

### 2.2 落下の実例

なにはともあれ、ここで早速物を落としてみましょう。皆さんも一緒に観察してみてください。

ところが、残念ながら、物を落としてみても、速すぎてその落下の様子を詳しく見ることはできません。人間の目の能力には限界があるのです。そこで、今度は、ビデオカメラで撮影してみましょう。そして、撮影したビデオの映像を、1コマずつ見たり、ゆっくり見たりすれば、落下する様子がわかるはずです。ビデオカメラや通常のテレビでは、通常、1秒間に30枚の映像を表示しています。それが連続的に動いているように見えるのは、人間の目の能力が十分ではなく、一度見た映像が残っているからです。目に残った映像を残像といいます。従って、ビデオカメラで撮影すると、通常、1/30秒(0.0333...秒)に1枚の映像を撮影したことになります。これを見れば時間的な変化がわかるはずです。

それでは、今度は、実際にボールを落とす様子をビデオカメラで撮影し、1コマずつ表示してみます。

このようにすることで、落下する様子が、よりわかりやすくなります。ただ、こうするだけでは、例えば落下するスピードまではわかりません。そこで今度は別の方法を試みます。切り出された1

コマごとの映像について、それぞれ、その一部分を切り出し、切り出した物を並べてみるのです。具体的には、ボールが写っている部分を縦方向に切り出し、それを並べて1枚の写真に合成しなおしてみます。ここでは、本学で<sup>1</sup>開発したソフトウェアを用いて処理してみます。

この画像を見てください。今の場合、画像の縦方向が鉛直方向の位置（つまり、高さ）に対応し、横方向は時間に対応します。この図では、右にいくほど時間が経過しています。このような図は、ちょうど、横軸に時間をとって、縦軸にボールの高さをとったグラフになっていることに気がつけてください。この図から、時間が経過することで、ボールの位置が下に下がっている様子が分かります。もう一つ重要な点は、時間がたてばたつほど、ボールの位置の変化が大きくなる、ということです。これは、つまり、時間と共に落下する速さが速くなっていることを意味しています。この例のように、通常、物質が落下する場合には、次第に速さが増すのが普通です。

それでは、この速さはどこまで速くなるのでしょうか。放送大学で放映された番組では、スカイダイビングで実験した映像が紹介されました。それによると、最初は速さがどんどん増していきませんが、やがて速さは一定になります。ある程度落下すると、速度が一定になるようです。

一方で、紙切れを落としてみましょう。すると、紙切れは、最初からヒラヒラとして、ボールのような落ち方はせず、一定の速さで落ちるように見えます。こうしてみると、ものによって落ち方は千差万別で、統一したものの落ち方は無さそうに思います。朝永博士が指摘した「現象の奥にある法則」は、物体の落下現象の場合には存在しないのでしょうか。

## 2.3 ガリレオの考え方

人間は、経験したこと、常識だと思うことに、一度、とらわれてしまうと、その範囲でしか物事を考えられなくなるような傾向があるようです。いわゆる「頭がカタイ」状態です。そして、その状態から自由になるための技術を持つことが重要だと考えられます。その自由になる技術を、Liberal Arts といいます。Liberal Arts は、学ばなければ、なかなか身につけるつけることができません。今、考えている落下の問題を考えることで、リベアルーツについても考えることにしましょう。

その最初のステップは、疑問に思うことです。疑問を、明確にしてみます。これを A の段階とします。皆さんは、どのような疑問として提示するでしょうか。私はこうしたいと思います。

A：物体の落ち方の様子が、ボールと紙切れとで、どうして、落ち方が違うのだろうか。

これに対して、理由を考えます。これを B とします。皆さんは、どんな理由を考えるでしょうか。できるだけ、たくさんあげてみましょう。たとえば、次のようなものが考えられます。

B：落下の速さは重いほど速く落ちるから

アリストテレス流ですね。そして、次が大切です。B が正しいとしたならば、どんな実験をすれば確かめられるかを考えます。既に、紙切れとボールについては観察していますので、それを実験としてしまつては、結果が最初から決まっているような議論になってしまうので、まったく意味がありません。そこで、改めて考えてください。重さに応じて速く落ちるとしたら、それをどんな実験で確かめることができるでしょうか。この確かめの段階を C とします。

ガリレオ・ガリレイは、次のような C を考えました<sup>2</sup>。

C：二つの物体を、ひもでつないで落としてみる。重さで速さが決まるなら、速く落ちるはずである。

簡単な実験なのでやってみましょう。やる前から予想できるように、速くなるわけがありません。

<sup>1</sup>というより私が

<sup>2</sup>ガリレオは、ボールと紙切れ、という問題設定で考えたわけはありませんが

ガリレオ・ガリレイは次のようにも考えました<sup>3</sup>。

B：ボールと紙切れで空気抵抗が違うからである。（空気抵抗がなければ同時に落ちる。）

これに対して、どのような C を考えればいいでしょうか。例えば、こんな C で確かめることができるでしょう。

C：空気がないところで落としてみる。同時に落ちるなら、空気抵抗で落ちる速さが異なることがわかる。

完全な真空状態を作るのは、一般的には難しいです。しかし、過去に、ほぼ完全な真空状態で実験してくれた人たちがいますので、その映像を見てみましょう。それは、アポロ宇宙船で月面に立った人たちによる実験です。これを見ると、ハンマーも羽根も同時に落下することがわかります。

ガリレオ自身はどのように考えたのでしょうか。

C：物体の形を同じにし、ゆっくり“落下”させることで空気抵抗の影響をなくして観察する。同じように“落下”するなら、空気抵抗の影響で速さが変わると考えられる。

ここで、ゆっくり“落下”させるのにはどうしたらいいでしょうか。ガリレオは、正確に作った鉄の球と木の玉を、斜面を滑らせる実験を行うことで実現しました。

ガリレオは、実験を繰り返すことで、次の2つの重要な性質にたどり着いたのです。

- ものが落下するとき、その落ち方は、物の質量（「重さ」によらない<sup>4</sup>）
- ものが落下するとき、その落ちる速さは、時間に比例して速くなる<sup>5</sup>

2番目の項目については、物理学概論や物理学実験で勉強することになるでしょう。

## 2.4 無意識に行っている ABC

少し話は変わります。私は、空想特撮物のテレビ番組が好きです。そこで、気になる映像がありますので、これを見てください。こちらは、ウルトラセブンという特撮番組の一部です。

もちろん、模型の作り込みは大切です。ウルトラセブンを作成した円谷プロという会社は、第二次世界大戦のころからこうした特殊撮影技術を独自に積み重ねてきた会社です。その作りこみには定評があります。しかし、ここでは、そうした作り込みとは別に、落ちる時間に注目しましょう。具体的には、ウルトラセブンが倒れてビルが崩壊（瓦礫が落下する）するシーンシーンです。このシーンがスローモーションになっていることに気づいたでしょうか。この講義を受けている学生の皆さんは、既に18才以上の方がほとんどですので、本当のことを言ってしまうと、ウルトラセブンは実在しません。そして、ウルトラセブンになっているのは、スーツを着た人間です。ところが、この特撮部分を見ると、人間が倒れるというよりも、本当に巨人が倒れ込んでいるように見えます。また、人間の大きさよりも小さいおもちゃのビルが壊れているのではなく、本物のビルが壊れているような印象を与えます。

これはどうした理由によるのでしょうか。試しに、私自身もミニチュアを作ってみました。これがその映像です。ビルの上に立っている人が、巨人の手によって落下する様子を表現してみました。どうでしょうか。それなりに見えるでしょうか。残念ながら、どうみても、普通のペットボトルの上の人形がぼろっと落ちたようにしか見えなと思います。

これは、ガリレオが見出した落体の法則で考えることができます。物体は、重さに関わらず、同じように落下するのでした。そうだとしたら、机からものが落ちる時間と、ビルから瓦礫が落ちる

<sup>3</sup>ここでも、ガリレオは、ボールと紙切れ、という問題設定で考えたわけではないことを

<sup>4</sup>「重さ」については、4.5節で改めて扱います。

<sup>5</sup>ガリレオ自身はこのような記述の仕方をしていませんが

時間を比べたら、移動距離が長い分、ビルから落ちる方が時間がかかります。もしも、ウルトラセブンで、スローモーションにせず、そのままのスピードでものが落下すると、いかにも人間が倒れているように見えてしまうのです。そこで、わざとスローモーションにして、落下時間を長くすることで、大きな物体が落下しているように見せているのです。それが、スローモーションにする理由です。

ここで、ちょっと立ち止まって考えてみましょう。

私たちがスローモーションを見て、いかにもビルが崩壊していると感じるのは、なぜでしょうか。それは、私達の頭の中に、既にそのような法則が埋め込まれていたことを意味します。もっとはっきり言うと、私たちは、何気ない日常生活の体験から、自然の法則を身につけていたのです。私はこの講義の中で、「人間は生まれながらにして物理学者である」という言い方をしたいと思います。日常生活の中から法則性を見出し、そういう目で世の中の現象を観察することが自然にできているのですから、決して大げさなことではありませんし、皆さんにも納得してもらえたいと思います。

別の回の講義でも、そう思ってもらえると思うので、覚えておいてください。

## 2.5 空気の抵抗

さて、今回は、空気の抵抗について邪魔者のように扱ってしまいました。しかし、空気抵抗についても考えを深めることは興味深いことです。

ここからは余談になります。ガリレオはピサの斜塔で鉄の玉と木の玉を同時に落下させたと言われています<sup>6</sup>。そして、同時に落下することを示したと言われています。ところが実際には、木の玉が鉄の玉に若干遅れた、そして、それは空気の抵抗のためであると、ガリレオは見抜いた、とも言われています。このエピソードが本当かどうかは疑問があるようです。しかし、このエピソードは面白い点を含んでいます。

まずひとつは、「思考実験」についてです。ガリレオの時代には、とても大きくて透明な真空容器を作ることは難しかったことでしょう。そこで、実際に空気の抵抗が無いような状態で実験することはできなかったに違いありません。そこで、実際にはできないけれども、「こうだったらどうだろうか」と頭の中で考えて実験を行うことがあります。これを「思考実験」といいます。

もちろん、このような「思考実験」は、「観察事実によりどこを求めつつ、法則性を追求すること」という観点からすると、観察事実と違うことを法則として考えることは邪道のように思えます。しかし、おそらくガリレオは、布や紙や糸や、そうしたものを沢山落として、それらの落下の様子を見て、軽いものほどまた、形が風を受けやすいほど落下が遅くなることを知っていたのだと思います。そして、そうした観察をもとにして落体の法則を見出したのではないのでしょうか。

さて、話を元に戻します。

人間は空気の抵抗を活用しています。例えばパラシュートです。パラシュートで落下する人の高度と時間のグラフを改めて見てみましょう。これを見ると、最初は速度が変化するものの、すぐに速度が一定になることがわかります。抵抗がある場合には、空気の抵抗と重力のバランスで丁度一定の速度で落下するようになるのです。このような速さを終端速度といいます。パラシュートが開いていない状態では時速 200km 弱程度が終端速度です。新幹線よりも遅い程度の速さです。一方、パラシュートが開くと、時速 20km 程度です。こちらはマラソンランナー程度の速さです。マラソンランナーが壁に激突しても怪我をせずにショックを吸収できるように、パラシュートを開いて落下すれば怪我をせずに着地することができます。

これは、言葉を変えると、時速 200km 程度の速さがあれば、重力と同じくらいの空気抵抗を受け

<sup>6</sup>このような話の真偽はわからなくなっています

ることができる、ということです。それを実際に利用している人たちがいます。ウイングスーツと呼ばれる装備を身につけた人たちは、まるで飛んでいるかのようです。

## 2.6 ABC と疑問・仮説・検証

最後に、今日の話をつり返ってみましょう。

私たちは、落下について考えてきました。もしかしたら、皆さんの中に思い込みがあったのではないのでしょうか。重いものは速く落ちるとか、逆に高校などで勉強した人は、勉強して教えられたことを暗記して十分だと思ったりしていないのでしょうか。そうした思い込みから自由にならないと、発想が貧困になります。

思い込みから自由になるためには、いろいろ考えることです。しかし、その考えることには、方法があります。今回は、その方法の一端を ABC のステップとしてお示しました。以降、この講義では、ABC のステップをまとめて、「科学の ABC」という言い方をしたいと思います。これは、この講義独特の言い回しですので、気をつけてください。ただし、各ステップには、もちろん、対応する言葉があります。

A は、疑問を持つことです。

B は、仮説を立てることです。

C は、検証することです。

この方法は、ガリレオが開発した方法です。この講義では、この方法を中心に据えて話を進めたいと思います。