

# 物理の話(10)

山内齊

2018-8-4

## Contents

1 はじめに	1
2 自学の場合の手引き	1
3 物理学と真実/リアリティ	2
4 1次元の動き: 変位, 速度, 加速度	4
5 見たものと実際の違い	7
6 質問	7
7 次回について	8

## 1 はじめに

本日の参加者: 3 名

## 2 自学の場合の手引き

今回の内容は以下で学ぶことができる。

<https://www.khanacademy.org/science/physics/one-dimensional-motion>

日本語の翻訳字幕の進捗状況は以下のリンクのあるものになる。(リンクは紙面の都合で改行されているが, 空白や改行はない)

<http://sundayresearch.eu/hitoshi/sundayresearch/>

[khanacademy\\_japanese/science/](http://sundayresearch.eu/hitoshi/sundayresearch/khanacademy_japanese/science/)

[ja\\_science\\_physics\\_01\\_one\\_dimensional\\_motion.html](http://sundayresearch.eu/hitoshi/sundayresearch/khanacademy_japanese/science/ja_science_physics_01_one_dimensional_motion.html)

少し実際に議論した順番とは違うかたちでまとめようと思う。

### 3 物理学と真実/リアリティ

まずは真実やリアリティというものが人の頭の中にしかないことを指摘しよう。これは私自身、最初は誤解していたことである。真実は客観的なものではないことを当然と思う人もいるかもしれないが、真実は客観的なものだと思った場合、ここでちょっと考えてみて欲しい。

真実やリアリティとは人の頭の中にしかない。多くの人が真実だと信じているというだけである。物理学の真実とは既に何か普遍的な宇宙の真実であるというようことは誤解である。少しわかりやすいものとしてはお金や株券があるだろう。特に株券は価値があると信じている人が多いと価格は上昇するが、信用がなくなると価格は急落する。それぞれのものの価値はなく、人が信じているかどうかで決まる。しかし多くの人にとってお金や株券にはかなりの価値のリアリティがあると思う。

まず何かを真実と「思う」ということは実はそう私が「思っている」だけであって、それが宇宙の構造と一致しているとは限らない。物理学は現在も発展中であって、私たちは宇宙の真実の全ては知らない。ニュートンの話を以前したが、私たちは海岸で貝がらという真実の断片をいくつか拾っただけであって、その前の大海を全て知っているわけではない。

物理に限らないが、「真実」や「リアリティ」ということは人の頭の中で感じているだけというのは普通に学校に行っていると奇異かもしれない。私もそう思っていた。物理の先生は既に宇宙の秘密を全て知っていて、それを教えてくれるというような誤解である。物理の場合、物理の宇宙がまったくこの宇宙と関係ないわけではない。物理学では実験と観測をしてできるだけ宇宙の姿を知ろうとするからである。しかし、物理学の真実、この宇宙のしくみの全てはまだ誰にもわかっていないし、物理学者は現在の物理学を信じているがそれには限界があって、何か間違っていることも知っている。つまり、自分自身の真実に疑いを持っている。

この自分自身の真実に疑いを持つというのは進歩の基礎である。子どもの頃には自分は世界の中心にいて、自分は全ての真実を知っていると思っているのもかまわない。しかし、やがてその自分だけの世界を広げていくことで成長していく。これは物理でも同じである。あなたの真実はあなたの頭の中のだけにある。つまりこの世界とは関係がないかもしれない。しかしそれに価値がないのではない。あなたの真実をどれだけ広げられるか、広がっていくことでその価値はさらに普遍的になるだろう。

- 物理学者の考える世界と真実は物理学者の頭の中にある。
- 物理学者は世界のモデルをもっていて、それが意味真実だと思っている。
- しかし、物理学者の世界のモデルと実際の世界は関係がなくてもいい頭の中の真実と世界には関係がないこともある。
  - － かつては、地球が平らだというモデルの物理学者もいた。
  - － かつては、世界の中心に地球があるというモデルの物理学者もいた。
  - － かつては、重い物体の方が早く落ちるというモデルの物理学者もいた。
  - － などなど

- これはある意味レベルである。自分の感じるものが正しいのであって、どこかの権威や誰かに強制されたことを正しいと信じるのではない。何も考えないことから考えるとこれはある意味進歩と言えるかもしれない。(進歩とは何かはここでは論じないが)
- しかし自分の思っていることが正しいと思っただけでは自分の思っていることと違うことや都合の悪いことを何でも信じないで済ますこともできる。レベルは盲目と比べれば進歩があると思うが、しかし謙虚さを失ったりレベルはある意味自分の世界にひきこもることになり、ここに限界が見える。
- 物理学では信じていることはモデルであって、そのモデルを実験によってテストする必要がある。モデルと実験結果に乖離がある場合、実験結果が全てであり実験に合わないモデルの場合、そのモデルは破棄されるか修正が必要である。
- 物理学ではどんな優れた理論も実験と観測とによって確かめられない限り確立されない。
- 1つ実験と観測について注意しておく。見たことが真実、この世界を表しているとはどうして言えるのだろうか？ 錯視にあるように、見たからと言って理解できたとは限らない。目は騙されることもある。見たということも事実と直接は関係していない可能性もある。見たというのは、私の頭脳が見たということを確認し、それを真実だと思っただけにすぎない。つまり、私の頭脳が何かを見たと感じているとか、見たという記憶を持っているだけにすぎない。薬などで幻覚を見た場合でも脳は見たと感じるし、見たという記憶がある。観測も簡単に信じられるものとは限らない。
- では、実験や観測が世界を正しく測っているとわかる方法はあるのだろうか。もし観測が誤った情報を出しているのであれば、その場合には世界とまた乖離が起きてしまう。物理では観測そのものが正しいのかどうかも疑うことが必要になる。たとえば、観測精度の問題から、かつて光の速度は無限だと考えられていたこともあった。その時には観測の限界を考えられるかどうかが発展を左右する。
- これは観測の方法と、あとは再現性ということによる。まず、この宇宙がある規則で動くとするならば、再現性があるはずである。(ここで再現性がないものだったらどうなるのかについても考えるべきだが、それはまた他の機会にゆずる。) 他人の人が試してみて、同じ観測になったのであれば、それは再現性が高いと考えて良い。多くの実験は追試されて確立していく。
- 物理学では自分の頭の中の真実は常にテストされなくてはならない。その個人の真実がこの世界とどこまで合うのか、世界と自分の頭の中のモデルをつなぐことが実験であり観測である。
- 実験と観測によって頭の中だけのモデルである真実を世界とつなぎ、これによって頭の中のモデルを拡大することによって物理学は発展してきた。

- これはなかなか大変である。ファインマンはモデルと実験が合わない時に「混乱」が生じ、それが大変不快なものであることについて語っていた。ここでわかっている範囲の中に戻り、自分の殻に閉じこもって自分だけの世界に満足するか、それとも自分の知らない外の世界を探求し、自分の世界を広げていくかの選択がある。ほとんどの物理学者は後者、世界を広げるという選択をする。
- 物理学を学ぶということは、自分の世界を広げるということである。これは実は物理学に限ったことではない。何かを学ぶということは、自分の世界を広げるということである。混乱はつらいものであり、世界を広げることはこれまでの居心地の良い世界を飛び出すことでもあり、困難が伴う。しかし、ぜひそれを楽しんで欲しい。
- この意味で物理学は世界を知ることでもあるが、自分の世界を広げることでもある。私が個人的に、勉強という言葉がどうも合わず、学ぶという言葉を使う理由はここにある。何か知識を仕入れるだけではなく、自分自身の発展、それが物理の学びにある。もちろん物理の学びは1つの学びにすぎず、これは他のどんな学び、音楽でも歴史でも言えることだろう。

上記で小さな世界に閉じこもるか広い世界に出ていくかということがあり、閉じこもるといふ策もあるということ述べた。そして物理学は広げていくという考えであることを述べた。閉じこもりの問題点は生存可能性を低くするという点である。生物がダイバージェンス、多様性を持つのは、生き残るためである。1つの方法でそこから進化をやめた生物は外部の生活環境の変化で滅びる。人類が世界中に拡散することは、一箇所に留まってそこから出ていかない場合、その地域の災害、山火事や地震などで全滅する可能性が高くなるからである。おそらく閉じこもる傾向のある個体は多くの場合、既に滅んでしまっているだろう。

生物の免疫システムが、無駄に見える同じ機能のものをいくつも持つのは、1つの病気で全滅しないためである。生命はダイバージェンスを未知の未来の問題に対する保険として使っている。ダイバージェンスを作り出すために遺伝子をランダムに混合させる「性」というシステムを発展させた種族が多く生き残っている。これは数学的に言えば、解のパラメータ空間を広く探索することになるだろう。物理学は宇宙の真実をみつけるまで、どうしても様々な異なる考えをとり入れ世界を広げる必要がある。生命が変化する世界の中で生き残るといふ解を常に求めるために多様性を利用していることに似ているかもしれない。多様性にはコストがかかるが、しかし全滅という最大のリスクを下げるができる。

## 4 1次元の動き：変位，速度，加速度

今回は1次元の動きの以下のような最終的なまとめをした。ここに概要をまとめておく。

- 変位，速度，加速度とは何か
  - 変位 $x$ の時間的変化を速度 $v$ という： $v = \frac{dx}{dt}$

- 速度 $v$ の時間的変化を加速度 $a$ という:  $a = \frac{dv}{dt}$
  - 実とは同じように考えて躍度というものがある。  
加速度 $a$ の時間的変化を躍度 $j$ という:  $j = \frac{da}{dt}$
  - 加速度まであればだいたい日常では問題はないが、実とはこれは別にここで止まる必要はない。  
変位 $x$ の $n$ 階の時間的変化で全てがあらわされる:  $\frac{d^n x}{dt^n}$
  - ということは実とはつまり変位と速度の関係さえちゃんとわかってさえいればあとは導くことができる。学校でこれを習う時には、まだこの数学の言葉(微分)が確立していないので、別々に習うことになる。これはある意味仕方ない部分もあるが、しかし、後で実とは全部同じことを言っていたということに気づくことになる。別々に習う場合には加速度まで習っても、次がでてこないし、次の次が必要であってもどうしていいかわからない。工学で次のものが必要な時にそれを話す言葉がないと新しい問題が解けない。たとえば変位の4階微分を表す言葉は日常にはないので、考えることができない。しかし上記のように数学の言葉でなら書ける。
- どうして変位、速度、加速度を物理学で学ぶのか?
    - 理由の一部: この世界には動くものが多く、それに興味がある。天体の動き、人間の動きなど。動くとはどういうことかを記述してその動きに必要なものを考える。物流(食料、水、衣料など)は生活に直結する。ローマでは軍隊が歩行移動する距離(マイル)を単位とした。日本でも東海道53次は女性や子どもの1日を移動できる距離を単位にして宿場をつくった。
  - 変位と時間のグラフについて
    - 変位と時間のグラフからある時刻の位置がわかる
    - 変位と時間が直線の場合、その傾きから速度がわかる。
  - 速度と時間のグラフについて
    - 速度と時間のグラフからある時刻の速度がわかる
    - 速度と時間が直線の場合、その傾きから加速度がわかる。
    - 速度と時間の曲線の下面積から変位がわかる。
  - 加速度と時間のグラフについて
    - 加速度と時間のグラフからある時刻の加速度がわかる
    - 加速度と時間が直線の場合、その傾きから躍度がわかる。
    - 加速度と時間の曲線の下面積から速度がわかる。
  - 躍度と時間のグラフについて
    - 上記と同じパターンでどこまでも行ける。パターンが見えるように繰り返して書いたつもりである。

- 同じ概念で理解できるものを別々に学ぶ必要はない。別々に学ぶということは、ある意味、あまり意味のない努力である。それでも根性で学ぶという人がいるが、パターンをみつけてスマートに学ぶ人に勝てないし、新しいことが類推できない。数学者や計算機学者で重要なのは「どうやって怠けてもまったく同じ効果が得られるのか」を考えること。根性で覚えている場合、「勝てない」「新しいことがみつけられない」「類推できない」ので根性をほめるべきではないと思う。根性はスマートに勝てない。それはたとえば、100 ケースのビールを10 km 先に運ぶ時、根性で手で歩いて運ぶか、スマートにトラックで運ぶかの違いのようであり、勝てる見込みがない。私はそういう根性や努力はすべきではないと思う。
- 直線の傾きとは何か: 変化率: 微分
  - 直線の傾きは変化率になることを詳しく話をした
  - 実直線は直線でもなく、一般化して曲線と言うことが多い。
  - ビデオで直線を曲線と呼ぶのはそういうわけ
  - 拡大縮小反転も日常では拡大率が1 を越える場合には拡大, 0 から1 の間を縮小, 負の場合には反転と言うが, 全て拡大と言うので良い。概念が確立していない場合には言葉がいろいろある。たとえば, マイナスがあまり確立していない場合, 借金を別の欄に書くとか, 収入と支出を+ が収入, - が支出というふうにしなくて違うものとして扱うことが多かった。一般化することで見えてくるものがある。
  - 変化率は数学の言葉では $\frac{d}{dt}$  と書く
- 曲線以下の面積はどうやって求めるのか
- 曲線以下の面積とは何か: 面積: 積分
  - 直線の以下の面積が並べたいつもグラフの1 つ前のものになることについて詳しく話をした。
  - 直線を使ったが, 実直線は直線でもなく, 一般化して曲線と言うことが多い。
  - 求積は数学の言葉では $\int d$  と書く
- 微積分学の基本定理(fundamental theorem of calculus)
  - 変位から速度, 速度から加速度に行くグラフのパターンでは, 変化率を求める微分という操作がある
  - 加速度から速度, 速度から変位に行くグラフのパターンでは, 面積を求めるという積分という操作がある
  - 微分と積分は逆の操作である。たし算に対するひき算, かけ算に対する割り算のような操作である。
  - 微積分学で最も重要な定理

- これは一番重要な定理なのに、微分と積分の関係について習った覚えがないということであった。もしかしたら一番重要なことは習わないのかもしれない。あるいはあまり重要だとは教えられていないのか?
- 逆演算ができるというのはとても重要である。たし算ができてひき算ができない場合やかけ算ができて割り算ができない場合を考えてみるといいかもしれない。それほど重要なことを習わないということはあるだろうか?

変位, 速度, 加速度を学ぶということだったが, 実は世界の時間による変化とは何かということを知ることがここでの目的だった。変化するものとその変化の割合, それを考えることである。これによって未来の予想ができる。

物理で物体の動きを知りたいというのは未来を知りたいという欲求からであった。今の変化を知ること(微分)そしてそれを積み重ねること(積分)によって, 現在を観測し未来を予測する。その方法が微積分学である。

そのため未来に興味のない人にはこの運動には興味がないであろう。ただし, 過去, 多くの人々は未来を知りたいと思ってきた。そして世界の規則を観察し, 現在の状態を観測し, それを使って未来を予測することを考えてきた。これが物理学で物体の運動に興味ある理由の1つである。

## 5 見たものと実際の違い

- 中身だけを食べてしまったバナナを出して, 見た目には中身があるようだが, 中身がない。見たからといってそのモデルがそうとは限らないという話をした。
- $y = x$  の直線の長さを等分割してのこぎり波に変換してみた。これによって  $[0, 1]$  区間の直線の長さがどんどん1に近づく。しかし, 正方形の斜辺は正方形の1辺と等しいわけではない。 $\sqrt{2}$  は1にはならない。そう見えるだけである。そう見えたからといってもそうだとは限らない例を見てもらった。

## 6 質問

Q: すると, 少なくとも運動については現在の状況の変化率から積分を使うことで未来のどんなことでもわかるのでしょうか?

A: ある条件下ではそうです。ということはある条件下ではそうではありません。ここではまだ1つ微積分学の基礎について言っていませんでした。微積分学は連続性と概念に依存しています。連続とは何かということはしっかりと定義されています。なんとなく連続というものではありません。

特に数学は常に何が限界かを考える学問です。どこにいつ限界があるのかを考え, それを知らないと実は使うことができません。ここでは連続量であり, かつ, 変化率が正確に, また解析的に求まるのであれば, 常に未来の予想はできます。しかし, 世界はまず連続ではなく(例: 量子力学) かつ, 変化率を完全に求めることはできませんし, 変化率が解析的とも限りません。ただし, 天体の運動など, かなりこの連

続の近似が使えるものがあります。何百年に渡って正確に秒単位で予測できるものもあります。この方法は強力ですが、万能ではありません。いつどこで使えなくなるのかなどは数学を学ぶことが必要になります。本当はそういうことも重要なのですが、ここはあまりやっていません。

1つ補足ですが、前に数学には正確さに限界がないのではという質問を受けましたが、そういう誤解もあると思います。私自身、そういうふう信じていたこともありましたが、しかし、限界は常にあります。何が限界かを証明した定理もあります。個人的にはどんな方法もどんな学問も限界があると思います。ただ数学ではどこに限界があるかを自分自身を批判的に見て常に求めています。だから数学や科学でなんでもわかるという人がいたら嘘だと思った方がいいでしょう。ただ一方で、あることがわからないからといってその学問全体を否定するのもおかしいと思います。全ての病気を直せない医学は役に立たないと言うようなものです。

以前、物理学は世界の真実を考えているのではという質問もありましたが、それもある意味無理があります。物理学者の真実、あるいは人間の真実というのは最初に言ったように、その人の頭の中にあるだけです。ただ、頭の中にあるから価値がないとは言えません。頭の中の真実がどれだけ世界の実情に近いかは、その人や学問がどれだけ世界を見てきたかによります。そして頭の中のモデルが世界に近いものであればあるほど、この世界の未来をよりよく予測できたり、この世界の性質を利用することができます。

私は物理学も数学も人間性追求の方法の1つであると思います。他の人たちには他の方法があると思いますが、物理学や数学がどういうものかわからずに苦痛だけあるという誤解は残念に思います。ただ、現代の社会では学びの効率を求めあまり、そういう苦痛な方法で学ぶこともあり、それが流布しているのも残念です。そして効率を求めていたのに、結局嫌いになってそもそも学びが達成されていない、つまり効率を上げようとして効率が最低になってしまうのも残念です。

自分の世界を広げることは大変です。混乱があり、そして何が正しいのかを常に疑わなくてははいけません。今のゴールが最後ではありません。正しく考えるために、そのための言語まで学ぶ必要があります。そして世界を見て自分の中のモデルと比較しします。そこには何かがあうこともあるでしょう。しかし全部があうことはないでしょう。物理学のこの過程の楽しみが少しでも共有できたらと思います。

## 7 次回について

次回は加速度についてもう少し詳しくして、斜方投射についてもやろうと思います。あとはBlockchainの話と浮力の話がリクエストにあったので、その話はできたらと思います。