


慣性の法則からの
相対性原理



蔭山篤司

目次

はじめに	2
慣性の法則	
慣性系 「動いていることの痕跡とは」	4
慣性の法則	6
慣性の法則と相対性原理	7

はじめに

この本は別の本「中学生・高校生のための数式を使わない物理の本」の中から「慣性の法則」の部分を抜き出したものです。「慣性の法則」はよく聞くけどどんな法則だったか、説明できない人は多いと思います。思い出すのは、だるま落としとか、電車で倒れそうになることとかだけど、やはり、なんだか説明できないという人は多いと思います。慣性の法則は何を述べているのか、どんなことが言えるのかについて説明します。

慣性の法則

慣性系 「動いていることの痕跡とは」

ここでは、一つ想像してみることから始めましょう。この想像は、これまでの経験を思い出し、経験に基づいた想像をしてみましょう。

あなたは今、窓のない乗り物の中にいるとします。立っていても、座席に座っていてもいいです。寝台列車の個室でもいいし、バスでも構いません。その乗り物が動いていることを、どんな手掛りから判断するでしょうか？ ガタガタ揺れれば動いているのかな？ と思うでしょう。しかし、地面、もしくはレールがとてもなめらかで、全くガタガタしなければどうでしょうか？ 昔、大学生の頃、卒業旅行でヨーロッパに行った時、イタリアからフランスに入るとき、電車に乗りました。既に暗くなっていたのと、カーテンを閉めていたのとで外は見えませんでした。そろそろ発車の時間だけだな、と思って外を見ると、既に発車していました。一本一本のレールが日本に比べてとても長く、レールのつなぎ目もなめらかだったので、全く揺れませんでした。そのため動いていることに全く気づきませんでした。加速度がとても小さくて、加速を感じず、ガタガタもしなければ、その時は動いていることを知る手掛りはありませんでした。もちろん、人間の感覚には限界があるので、何かもっと精密な実験をすれば、動いていることを確認できたかもしれません。もし、乗り物の中で、動いてる気配を何も感じていなかったときに突然、後ろに倒れそうになったり、横に倒れそうになったり、あるいは前に倒れそうになったりすればどうでしょうか？ 減速したか、後ろ向きに加速したか、カーブを曲がったか、あるいは前方に加速したか、等と動いてる痕跡を見つけることができるのではないのでしょうか。

このように、速さが変わったり、進んでいる向きが変わったりすればそれを感じたり、確認することができます。人間が感じ取れないぐらいゆっくりとした加速でも、床にビー玉を置いてみれば、前に転がったり、後ろに転がったり、横に転がったりして、何かその乗り物の速度に変化があったときにはそれを確認できます。あるいは、天井からおもりをぶら下げてみても良いでしょう。そのおもりの傾き方を観察すれば、速さや運動の向きが変わったか、変わっていないかの判断はできます。また、御存知の通り、地球は自転しているので、地球上にいる人は全て、宇宙空間に対して少しずつですが向きを変えながら回転しています。だから、地球上であれば、外が見えなくても、少しずつ向きが変わっていることは確かめることができます。例えば振り子を往復運動させ続ければ、振り子の往復する面が少しずつ回転していきます。一日で一周回ります。何かもっと精密な実験をしてみても良いでしょう。そうすれば、速さや運動の向きに、ほんの僅かであっても変化があれば必ず測定によりその痕跡を見つけることができます。

しかし、速さも運動の向きも変わらなかったら（この運動を等速直線運動と言います）どうでしょうか？何か、動いているか止まっているか確かめる方法はあるでしょうか？何か「動いている痕跡」を見つけることができるでしょうか？地球から離れた宇宙空間で、速さも運動の向きも変わらなかった時、動いていることを知る手掛かりはあるのでしょうか？もし「静止している」のか「まっすぐ同じ速さで動いている（等速直線運動している）」のか確かめる方法があるとすれば、この宇宙の中に静止しているかどうかの基準となる「静止している座標系」を見つけることができるはずですが、もしこの「静止している座標系」が存在するとすれば、これを「絶対静止系」と言います。ガリレオやニュートンが、こんな座標系は存在しない、と考えていたのかどうかははっきりとはわかりませんが、少なくとも、ガリレオもニュートンも静止しているとしても、等速直線運動しているとしても、その違いを確認する方法はなく、運動を決定する法則は全く同じである、と考えていました。つまり、静止している系と、等速直線運動している系を区別することはできない、と考えていました。絶対静止系の存在を確かめる方法がないのであれば、存在しないのと同じだと思いますが、区別できないけど、絶対静止系が存在すると考えていた可能性はあるかもしれません。

電磁波の存在がわかってきた頃、そして光が電磁波の一種であることがわかってきた頃、「絶対静止系は存在するのではないか」と考える学者もたくさんいました。そう考えるのには理由がありました。それは、光が真空中を伝わるからです。波動が伝わるためには媒質が必要で、光は電磁波であることがわかっていたので、光が伝わるための媒質が存在するはずであると、多くの物理学者が考えていました。当時、この「媒質」は「エーテル」と呼ばれていました。このエーテルが静止して見える系が絶対静止系ではないかと考えられました。光がエーテルを媒質として進むのであれば、光を発する物体の動きによらず、発せられた光はエーテルに対して同じ速さで進むはずですが（ということは、エーテルに対して動いている観測者には光の速さが違って見えるはずですが）。これは、風がない時、すなわち空気が静止しているとき、音を発する物の動きによらず、音は空気に対して同じ速さで伝わるのと同じです。地球は自転や公転をしているので、もしエーテルがあるとすれば、エーテルに対する地球の速さは、季節や、一日の中でも違うはずです。だとすれば、公転や自転により光の速さが違った値として観測で確認できるはずだと考えられていました。しかし、いつ、どのように光の速さを測定しても、光の速さは常に同じ速さで観測されました。結局、エーテルの存在は否定され、絶対静止系を見つけることはできませんでした。現在では、絶対静止系は存在しないと考えられています。それは、静止しているのか、等速直線運動しているのかを区別する方法がないということです。静止しているように見えるか、等速直線運動しているように見えるかは、見る人の立場（見る人の動き）によって違って見えるだけで、どちらも同等です。この様な、静止している座標系や等速直線運動している座標系をまとめて「慣性系」と呼びます。

あなたがじっとして、目の前のテレビや本棚などが同じくじっとしているように見えていると思いますが、地球を離れたところ、例えば公転の中心の太陽の位置から見ると、地球の公転のため、あなたやテレビ、本棚等が、およそ秒速 30km で動いているように見えます。本当に静止しているといえる座標系はないのです。

慣性の法則

ここから「物体の運動」と「力」の関係について話していきますが、まず物体が受けている全ての力の合力が0になっている場合どうなるのか、どんなことが言えるか、ということから考えてみましょう。合力が0になるのは、力をそもそも何も受けていないか、あるいは受けている全ての力を合成した結果0になっている場合になります。また、前に述べたように「合力が0」のとき、これらの力は「つり合っている」と言います。はじめに（論理的な思考ではなく）直感で構わないので、次のそれぞれの文が正しければ○、正しくなければ⊕をつけてみてください。

- ア 物体が全く力を受けていないとき、物体の速さはだんだん遅くなる
- イ 物体が全く力を受けていないとき、等速直線運動している物体は、やがて静止する
- ウ 物体が受けている力がつり合っているとき、物体は必ず静止している
- エ 物体が等速直線運動しているとき、物体が受けている力はつり合っていない
- オ 物体が力を全く受けていないとき、物体は必ず静止している
- カ 物体が受けている力がつり合っているとき、物体は必ず等速直線運動している
- キ 物体が全く力を受けていないとき、物体は静止または等速直線運動を続ける

ク 物体が受けている力が釣り合っているとき、物体は静止または等速直線運動を続ける

力のはたらきを思い出してもらおうと、合力が0でなければ合力の方向の速度が変化しますが、合力が0であれば、速度は変化しません。速度が変化しないということは、物体の運動の速さや向きが変わらない、ということです。言い換えると、静止している物体は静止し続け、動いている物体はまっすぐ同じ速さで動き続ける（「等速直線運動を続ける」と言います）ということです。そしてこの「合力が0であれば速度は変化しない」ことを「慣性の法則」といいます。また逆に、「物体の速度が変化していなければ、物体が受けている力の合力は0である」ことも成り立っています。

合力が0の場合の法則が「慣性の法則」（またこの法則を「ニュートンの運動の第1法則」ともいいます）で、合力が0でない場合の法則が次に説明する「運動の法則」（またこの法則を「ニュートンの運動の第2法則」ともいいます）、というわけです。先程述べたように、1つの物体が受けている全ての力の「合力が0である」と、「これらの力が釣り合っている」ということは同じことなので、「合力=0」=「速度は変化しない」=「釣り合っている」ということです（補足4）。日常生活においては、「物体が力を2つ以上受けているのに静止している」状態を「力が釣り合っている」と言いますが、「静止」の他に「速度を変えずに運動（等速直線運動）している」場合も「力が釣り合っている」と言います。物理的には「静止」と「等速直線運動」は見る人の立場が違っただけで、同等になります。これについては後で少し詳しくお話します。（「動いていることの痕跡とは？」）

上の選択肢のアは、力を受けていなければ速度は変化しないので正しくありません。イは、力を受けていなければ動いている物体はそのままの速度で動き続けるので正しくありません。ウは一見正しそうですが、「必ず静止」ではなく、等速直線運動をしている可能性もあるので正しくありません。エは、力が釣り合っていなければ合力が0でないので、速度が変化することになり等速直線運動にはなりませんから正しくありません。オも一見正しそうですが、合力が0のとき、等速直線運動の可能性もあるので、必ず静止しているわけではなく、やはり正しくありません。カも力が釣り合っているとき、静止の可能性もあるので正しくありません。結局、正解はキとクの2つです。

慣性の法則と相対性原理

「物体が受けている力の合力が0のとき、物体の速度は変化しない」というのが慣性の法則ですが、「速度が変化しない」というのが、実は誰から見て「変化しない」のかがこれだけでははっきりしていません。もし、この宇宙に絶対静止系があるのなら、絶対静止系に対して「静止」や「等速度」と言えばいいのですが、絶対静止系は存在しないと考えられています。そこで、何も力を受けていない物体が速度を変えないように見える座標系が存在すると考えて、この様な座標系を「慣性系」と名付けます。つまり、慣性の法則が成り立つ座標系を「慣性系」と言います。なので、慣性系に於いて「慣性の法則」が成り立つのは定義により明らかです。ただ、この様な「慣性系」が存在するかどうかは自然界が決めることで、存在しなければそれまでです。慣性の法則は、「慣性系」が存在するという主張でもあります。そして、この「慣性系」で見ると、ニュートンの運動の第2法則である「運動の法則」が成り立ちます。そして、全ての慣性系は対等で、絶対静止系のような特別な座標系はありません。全ての物理法則はどの慣性系に於いても同じ形で表されます。特にニュートンの運動の法則が全ての慣性系で同じ形で表されるということを「ガリレイの相対性原理」と言います。これは物体の速度が光の速さに比べて十分小さい状況に於いては良い精度で成り立っています。しかし、物体の速度が光の速度程度になると、ニュートンの運動の法則は成り立たなくなります。光の速度程度の状況でも全ての慣性系が同等で、物理法則が同じ形で表されるべき、というのが「アインシュタインの相対性原理」です。

「慣性系」、「慣性の法則」が全ての土台となっているのです。もし、慣性系が存在しなければ、物体が力を受けていないのに速度が変化したり、加速度が力に比例しなかったりと、慣性の法則も運動の法則も成り立ちません。

慣性の法則からの相対性原理

著 藤山篤司

制作 Puboo
発行所 デザインエッグ株式会社
