

第2章 自然界の秩序

古くから、天体の運動には規則性があることが知られていました。人間の営みとは関係のない自然界の秩序の認識は、サイエンスの大きな飛躍であり、科学的方法が最も早く適用された例となったのです。また、力と運動とが分けて考えられるようになり、運動の基本的な概念が整備されていったのです。今回はこの天空の法則と、地上での運動について見ていきましょう。



天空の物体の規則性

太陽からの光は冬になると傾き、日が短くなり、夏には一番日が長い夏至が訪れます。こうしたパターンは繰り返され、これがおおよそ365日で周期的に変わっていきます。また、夜空の星達も毎日その位置が変わります。しかし、私たちの祖先達は、その動きに周期性を見いだしました。先人達は、太陽の昇位置により、穀物の種をまく時期を調べたり、動物や魚の群れの現れる時期を学んだりしました。このように、**天空の周期性を調べることは、単なる学問的興味ではなく、生活の知恵だったのです。**

人類がこのような規則性の観測によって初めてサイエンスの基本となる考え方を学んだのでしょうか。それは、**物理的現象は、定量的なものであり、再現可能であることです。**このように、自然界の再現可能性がなければ、サイエンスは発展してきませんでした。サイエンスとは再現可能な観測や実験に基づき自然界を理解することだからです。ただし、このようなサイエンスの定義は19世紀になって初めて認識されたことであって、それまでは自然哲学と呼ばれていました。それは、自然界の現象について考察することを意味していました。



ストーンヘンジ

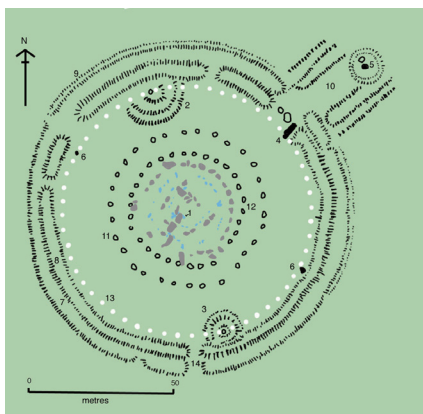
人類は、紀元前3000年頃には、天空の規則性を意識していたようです。こうした証拠は世界の遺跡に残っています。中でも大がかりなのが、イギリス南部にあるストーンヘンジです。置かれた石の平均の重さは約30トンであり、最大で50トンのものもあります。直径約10メートルの円計に石が配置されています。紀元前3000



ストーンヘンジ

年頃から始まり、季節の変わりも予言できるように紀元前2000年頃まで建築

が続けられたようです。主に祭祀場として用いられていたと思われていますが、明らかにカレンダーとしての役割を持っていたことがわかりました。それは、夏至の日中央から眺めると日の出が図の右上の岩の上から昇るのがわかるのです。また、同様にして、冬至、春分、秋分の日もわかるようになっているのです。



天体の観測

農耕をする人類は天体の観測により暦のシステムを作ってきました。人類の歴史初期で最も緻密な観測をしたのが、バビロニア（現在のイラン南部）です。紀元前2000年頃の記録が残っており、紀元前747年以降には連続的な観測も始まりました。紀元前5世紀頃には、そうした観測データを元に、未来を予測できるようにもなったのです。月食や日食、また日食の欠ける量さえ予測できたのです。バビロニアでは、現在私たちが使っている角度の単位だけでなく、一週間を7日で構成することや、火星や金星などの惑星の同定もされました。

東洋では、中国において非常に緻密な観測がなされました。おそらく秦の時代から行われていたと思われますが、歴史的に最古の記録は紀元前800年頃のもので、記録の多さは世界に類がないものです。中国の天文学者は、その頃すでに1年が365と $1/4$ であることを認識していました。彼らは、紀元前720年ころから1600回にもおよぶ日食や月食を記録しています。紀元前352年から紀元1604年までの間に、75個の新星やや超新星を記録しています。特に、現在の蟹座星雲から推定して、1054年に起こったとされる蟹座の超新星爆発は、ヨーロッパやイスラム諸国の誰もが記録できていません。

中国では彗星は、不吉の証と見られていたため特に注意深く観測されました。紀元前613年から紀元1621年の間に、2万2000回もの彗星の観測があります。この中には、後にヨーロッパでハレーによって観測された、76年周期のハレー彗星が含まれおり、これは紀元前240年から観測されているのです。

アリストテレス（紀元前384-322）

ギリシャの哲学者であり、科学者であったアリストテレスは、マケドニアの王に仕えた主治医の息子として生まれました。17歳のとき、プラトンのアカデミーに入学し、そこでプラトンの死まで20年間にわたりつとめました。その後、その頃若かったアレキサンダー大王の教育係となり、8年後には、彼自身が学校を作りました。彼の目的は、知られているすべての知識を体系化することです。観測したり、収集したりすることにより物理的世界のほとんどすべてを分類し、体系化します。

物質を火・空気・水・土の四大元素からなるものとし、元素により還元主義の理論の先駆けとなります。

アリストテレスの体系化するという手法はその後の自然科学に受け継がれていきます。

神聖ローマ帝国が滅びると、コロッセアやパンテノン神殿のような大規模な建造技術や知識が失われて行ってしまいます。そのため、暗黒時代では古代人の方が今よりも優れていると思う機運が蔓延していました。このようにして十数世紀のルネッサンスに至るまで、紀元前のアリストテレスが神格化されてしまったのです。



地球は丸いことをみたアリストテレス

皆さんは地球が丸いと子供の頃から聞かされていますが、もし誰も教えてくれなかったら自分でそのことに気づいたでしょうか？ギリシャの哲学者アリストテレス（紀元前384- 紀元前 322）は、地球が丸いことを天体観測によりはっきり認識していました。彼の論拠は次の通りです。

天体観測から月食の前後の天体観測から、月食は地球の陰が月にできることによって起こることが容易に推測されます。もし、地球が円盤だとすれば、円盤に対して斜めに日光が入ることがあるのでその場合、地球の陰は円ではなく楕円になるでしょう。しかし、月食時における地球の陰の形はいつでも円です。このため、地球は球形であると思われれます。

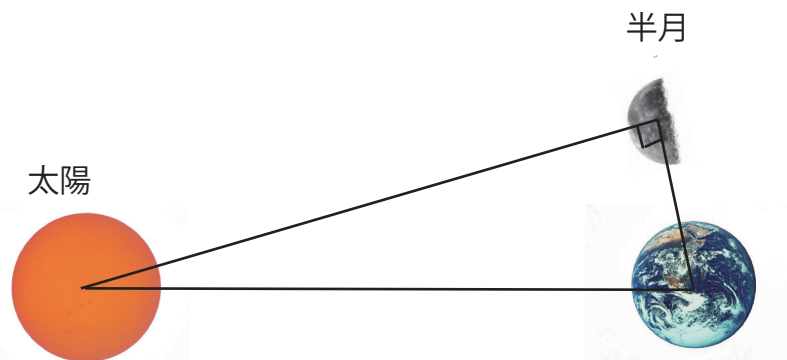
また、様々な星は1年の同一の時間であれば星の見える位置は同じです。しかし、遠く離れた場所での観測では、その位置は変わっています。これは、地球が丸いことによって起こると推定されるのです。

また、海の沖から船が海岸に近づいてくるときに、港から見ると船の帆の一番上が見え始めそのうち次第に全体がみえるようになっていきます。これは、地球が球形であるという決定的な証拠です。

太陽と月の距離の関係を見積もったアリストアルコス

アリストアルコス（紀元前 310 年 - 紀元前 230 年）も偉大な天文学者の一人です。アリストアルコスは、太陽が月までの距離に比べてどのくらい遠いのかを次のようにして見積もりました。月が新月から満月へと変わっていくのは、太陽の光が月に当たって反射した光を私たちが見ているからです。すると、半月のときには図のように太陽からの光が月に当たって90°反射した光を見ていることになります。すると、このときの月と太陽のなす角度がわかれば、太陽は月に比べてどのくらい遠いのかを計算することができるのです。

残念ながらアリストアルコスは、この月と太陽の角度を誤って見積もってしまいましたので、正確な太陽と月の距離の関係を求めることはできませんでした。しかし、当時としては天才的なこの考え方により太陽は月に比べて非常に遠くにあることは確認できるのです。また月食のときの月の陰の大き



アリストアルコスは太陽が非常に大きいことを示した。

さから地球は月の2、3倍の大きさであることを見積もりました。（実際には3.7倍）これらのことにより、太陽は地球から遠く離れているにもかかわらず大きな視野で見えると言うことから、太陽は地球に比べて非常に大きいことを示しました。その後、1600年ほどにわたって、天体の位置関係の研究にあまり大きな進展が得られなかったことを思えば、アリストテレスやアリストアルコスは天才的であったのでしょう。

プトレマイオスとコペルニクス

古代ギリシャ人のほとんどは、地球は宇宙の中心であると信じていました。地球がもし太陽の周りを回っていたら、私たちは振り落とされてしまうと思っていました。逆にもし地球が移動しているのなら、なぜ振り落とされないかの理由が説明できなかったのです。星のほとんどは一つの球に張り付いて存在しています。また、惑星や月、太陽などはそれぞれ独立の球に張り付いており、その球面上を運動します。

2世紀頃、プトレマイオスは、地球を動かないものとし、太陽や他の惑星が地球の周りを回っているとする天動説を完成させました。コペルニクス以前の考え方は次のようなものでした。

火星などの運動では、見る方向が時間と共に逆転ループを描くという奇妙な運動が見えます。これは、火星が単なる円運動でなくまたその円運動の周りを月のように回るとしました。この理論により、多少複雑ですが、ほぼすべての天体の運動を説明また、予言できたのです。またこれは、聖書にある、神が地球を動かないようにしたという記述と合致しており、宗教的にも受け入れ安いものでした。この理論は、1500年もの間一番よい説明とされてきました。

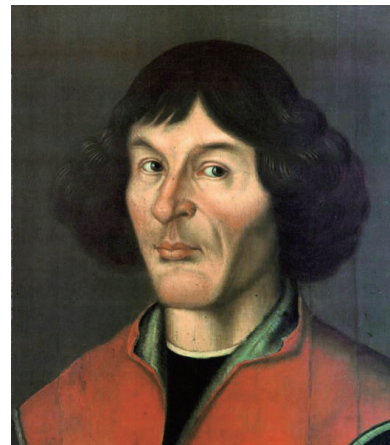
このプトレマイオスの説と別の理論を唱えたのが、**コペルニクス** (1474-1543) です。彼は、ポーランドのクラコフ大学で学びました。そこでの彼の著作物はすべて大学に寄付しています。「これは私が発見したものではなく、すべて大学で学んだものだ」と言ったといひます。

その後薬学と牧師の法律を学びにイタリアに渡ります。カソリック教会の聖職者として50年の長きにわたりつとめますが、その合間に自分で作った天文台で天体を作り、星や月の観測をしています。彼の家系はキリスト教の司祭であり、彼自身も司祭でした。その傍らに天文学なども勉強していたのです。

コペルニクスは、地球、太陽、惑星の運動を簡単に説明するには、地動説が自然であるとししました。図のように、火星の位置のみる方向がループを描くのも簡単に説明できます。火星より素早く移動する地球からみると、火星はいったん逆に進むように見えます。また、水星が太陽より最大でも28°ずれたところまでしか現れないことや、金星が48°までであることは、水星や金星が、地球よりも太陽に近いところを回っていること



火星の逆行する運動



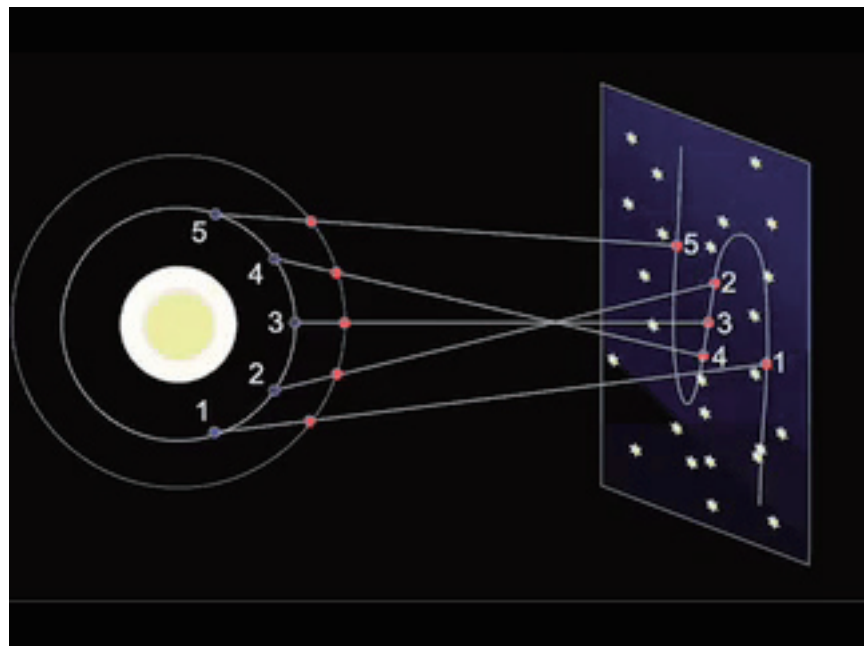
コペルニクス

で自然に説明できるのです。

ただし、運動はやはり円形と仮定していましたので、観測に合わせるためにやはりプトレマイオス同様の不自然な補正が必要となりました。つまり、地球の周りを回る月のように、各惑星は何物かの周りを回っているとしたのです。たとえば、惑星が回る円の中心には太陽はなく、太陽はすこしずれたところにいなければなりませんでした。しかし、天動説により不自然さが減少したのは確かでした。

地動説を論じる本の出版は彼の死と同時 1543 年でした。この理由は、彼が司祭の業務で忙しかったことと彼自身がこの説が不完全であることを認識していたためであると言われています。実際、先に述べたような円運動と同時に星は不自然な月のような運動を同時に行う必要がありました。彼も観測を行いました。プトレマイオスの結果と同程度の精度の予言しかできません。また、月のみが地球の周りを回っている点は美しくありません。また、惑星以外の星は動かないのはなぜかという問題もありますし、地球が動いていたら恐ろしい風が起こるはずであると言った反論にも答えられません。これらの疑問にはその頃の科学の知識では答えられないのです。コペルニクスはこの考え方を確かめるすべを持たずに、ただ単に一つの可能性として天動説を提起したのです。時の法王もコペルニクスの説に興味を抱き、コペルニクスから直々に説を聞いたといいます。また、友人たちとの書簡の中でも、それが後に問題となるようには、キリストの教えに反するという認識あまりもっていなかったようです。

1543 年はまた科学にとって大変実りの多い年でした。人間の解剖学の本が出版され、宗教と科学との分離が大きく進んだのです。



地動説による火星の逆行運動の説明
地動説なら自然に火星の逆行運動が説明できる。

ティコ・ブラーエの精密な観測

ティコ・ブラーエ (1546-1601) はデンマークの天文学者です。11人兄弟の一人として生まれます。その後、子供のない叔父の手に拐かされるようにつれていかれます。11人も子供がいては、親もせいせいしたのかもしれませんがね。叔父はティコに最高の教育を受けさせます。

彼はデンマークに世界に初めて天文台を作り、観測を始めます。それは、まだ望遠鏡が発明される前ですが、目視でも非常に精度の高い装置を作りました。

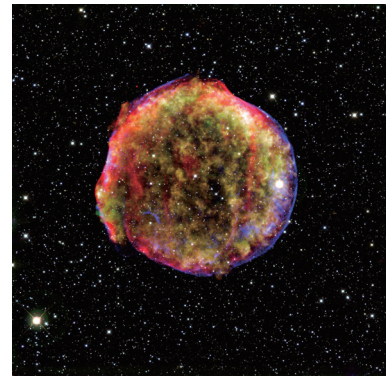
彼が27才のとき1572年に星の爆発で新しく輝く星、超新星を見つけます。それを18ヶ月にわたって観測し、次第に消えゆく様子も克明に記しています。このことは、アリストテレスが言うように宇宙はすべてそこに同じ状態で存在し宇宙はすべて知られているという考え方を覆すものでした。

彼は、当時現れた彗星を正確に観測するなどして非常に名声が上がり、天文学好きのデンマークの国王フレデリック2世の本で充実した日々を送りました。国王は、彼に島を一つ与え、そこに彼のためのお城と天文台を築いたので。ティコは惑星の運動を20年間にわたって観測を続けました。その結果は非常に正確であり、現在でも色あせないものです。

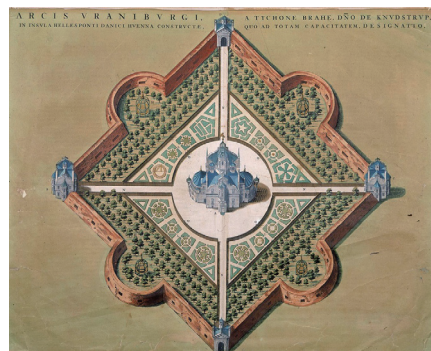
彼は非常に正確な位置の測定が出来たので、**ティコの観測結果をプトレマイオスの予言とコペルニクスの予言とを比べました。**しかしどちらとも食い違いが生じたのです。この解析はケプラーの手にかかっていきます。科学の発展にとって精密な測定がいかに重要かがわかりますね。

1588年にフレデリック2世がみまかられると、彼の境遇は急変します。後継の王となったクリスチャン4世は、天文台への援助を拒んだのです。元々ティコは非常に傲慢であってそれは国王に対しても変わらなかったと言います。他の国王に対して援助を頼んだことが国王の逆鱗に触れ、追放の身となりました。

ルドルフ2世の元で働くことになったティコですが、そこで運命の出会いがありました。以前から手紙のやりとりをしていた数学者のケプラーが手伝いをするようになりました。1600年にケプラーはティコブラーエの弟子となります。ケプラーは目が悪く、実際には観測しませんでした。ティコはケプラーに火星などの観測結果を部分的に公開するだけ必ずしも良い師弟関係ではなかったようです。知り合ってから時間が短いのでそれは当然なのかもしれません。観測データのすべてを渡すのは翌年、死の床にあるときでした。



ティコ・ブラーエの見た超新星の現在



ケプラーによる惑星の法則

ヨハネス・ケプラー (1571-1630) の少年自体は決して生やさしいものではありませんでした。父親は、犯罪に手をそめがちで、けんか好きでした。また母親は、おしゃべりで怒りっぽい性格だったようです。それでも彼は優秀な成績を修めました。特に数学と天文学が得意でした。もしかしたら、家族の生活の騒々しさから逃避するために必死に数学と天文学を勉強したのかもしれませんが。彼の父親は傭兵に雇われたり、酒場を経営したりしてもうまくいかず、結局は傭兵に行ったきり消息がわからなくなってしまいました。



彼は数学に強かったので、ティコの子のデータを数学的方程式に当てはめることができました。コペルニクスの天動説においては、ティコブラーエのデータと食い違いが見られました。そして、ケプラーは、地動説において惑星の運動は円ではなく楕円であるとするとティコの観測を説明できることを見つけました。また、楕円としての運動は太陽に近いところでは惑星はスピードが速く、遠いところでは速くなっていました。そして、太陽から遠い惑星ほど、一周回るまでの周期が遅くなっています。これらは、以下のケプラーの法則としてまとめられています。

ケプラーの第一法則 (1605 年発見) :

惑星の太陽を回る運動は、太陽を一つの焦点とする楕円運動である。

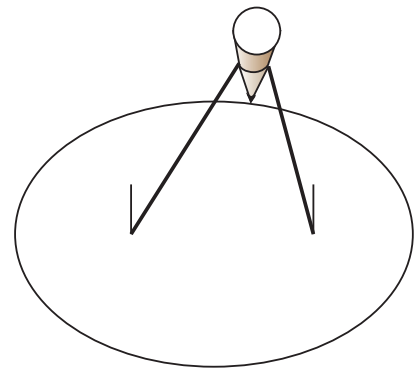
ケプラーの第 2 法則 (1602 年発見) :

一定時間内に惑星の軌道が太陽の中心からはく面積は一定である。

ケプラーの第 3 法則 (1618 年発見) :

惑星の公転周期は 2 乗は、太陽からの平均距離の 3 乗に比例する。

楕円は次のように書くことができます。机の上ののの上にピンを止めて、ピンを紐で結びつけます。そして紐をピントさせた状態で鉛筆を回すように書くと楕円ができます。このピンの位置を楕円の焦点と言います。太陽は常にこのピンの位置にいるということです。



ケプラーは 1619 年の「世界の調和」という作品の中で、天空には完全な調和があるということを確認したと述べています。その頃のヨーロッパは殺伐としています。魔女狩りの時期でした。1615 年にケプラーの年老いた母は魔女の疑いで投獄されました。そして「世界の調和」を書いているときでも裁判の法廷で彼女のために弁護を続けました。ケプラーはどんな気持ちで研究を続けていたのでしょうか？

こうした観測からの驚くべき発見は、緻密な観測データの解析から生まれたものだったのですが、それらの運動はどうして起こるのかということはありませんでした。これらの天空の問題を解決するには、思いがけなくも次に述べる地上での運動の解析が重要となったのです。

運動とは？

今まで惑星の運動について見てきましたが、ここで、運動とはどのようなものであるのかを考えてみましょう。

物体に力を加えると、なにがしか運動します。たとえば、物体を押すと動き出ししばらくして止まります。先の章では、力について見ましたが今度は運動そのものについてみましょう。そこで最初に、どんな力で運動するのかは考えないようにして、運動のみを見てみましょう。イメージとしては、電車が発進する、一定の速さで進む。次の駅で止まる、などの運動を思い浮かべてみます。

速さとは？

車は、ある時間、ある距離を走る。単位時間あたりにどれだけ移動したかで速さが解ります。たとえば、100km離れた地点まで走るとしましょう。この車のスピードは速かったでしょうか？そうこれだけではわかりませんね。たとえば、2時間で走行したのだったら、1時間あたり50kmなので時速50kmということになりますし、1時間でしたら時速100kmとなり、かなりのスピードです。このように車などでは、時速などが一般的ですが、物理では1秒あたりの移動距離を**速さ**と言います。たとえば、5秒間で20mの移動で、速さは $20\text{m} \div 5\text{秒 (s, second)}$ で 4m/s となります。/は割り算の意味で、割る方を分母に持ってきて単位を表します。単位の呼び方は、**メートルパーセカンド**または**メートル毎秒**と言います。メートルパーセカンドは英語そのままの読みで、外国人にも通じます。公式的に書くと、速さは

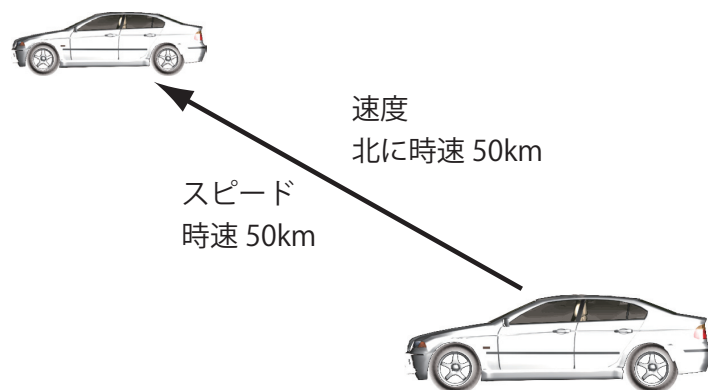
$$\text{速さ} = \text{距離} \div \text{時間}$$

です。また、速さが刻々と変わっていくような場合には、その瞬間の速さを仮に1秒間だけ維持したらどれだけ進むかということで速さを割り出します。

私たちの日常の感覚では、時速60kmというように、時速とキロメートルを使うのに慣れています。しかし、サイエンスでは、kmでなくmを1時間でなく1秒sを用いる理由はそれが国際的に決められているからです。いろんな国の人が別々の単位を使ってしまうと、通貨のように換算が面倒になりますね。そこでそうしたややこしさがないように最初から国際的な単位を決めています。

サイエンスでは速度と速さは異なる？

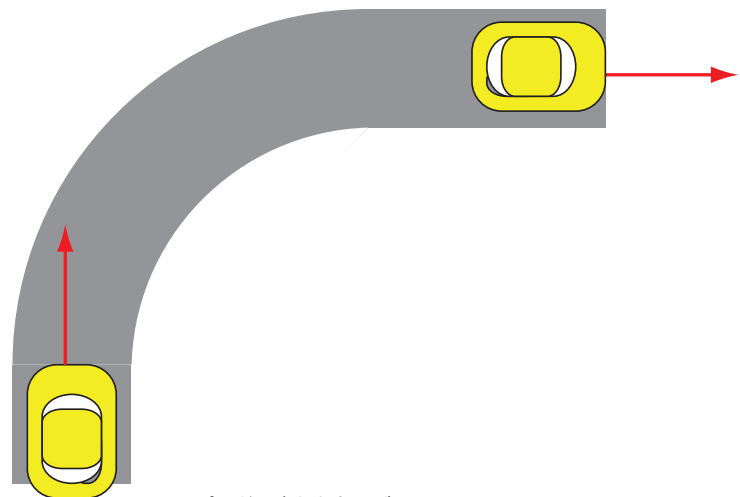
日常生活では速度と速さ、スピードは同じものとしていいです。しかし、自然科学では速度と速さとは別の概念として使います。たとえば、神戸から車で時速60kmだけ進んだとき、2時間でどこまで行ったかがわかるでしょうか？これだけでは、目的地までのおよその距離しかわかりませんね。移動すのには方向があります。北に向かうのか東に向かうのかで区別されま



速度とスピードの違い 速度は方向がある概念

す。このように、速さを大きさとして、その向きも含めたものを**速度**と言います。つまり、**速度は大きさと方向を持つベクトル**

となります。ベクトルとは大きさと方向を持つ量のことです。この点は、日常的な使い方と異なるので注意しましょう。実はこのことは物理の理解に非常に重要な点です。たとえば、車がスピード一定で、カーブを曲がるとしましょう。この場合、速さは変わりませんが、方向が変わるので、速度は変わります。つまり、**速度が変わるのは、速さが変わるときか、方向が変わるときか、それとも両方とも変わるときとなります。**



スピードは変わらないが
速度（方向）は変わる

カーブを同じスピードで回ると速度は変わる

加速度とは？

1秒間あたりの速度の変化を**加速度**と言います。たとえば、電車が止まった状態から5秒後に10m/sになったとしましょう。このとき、1秒あたり2m/sだけ大きくなったので加速度は $2\text{m}/(\text{s} \times \text{s}) = 2\text{m}/\text{s}^2$ となります。つまり

$$\text{加速度} = (\text{速度の変化量、最後の速度} - \text{最初の速度}) \div \text{時間}$$

です。

このように単位は速度 m/s をもう一度秒 (s, second) で割るので m/s^2 と表します。速度が変化する状態が加速度がある状態です。これは、必ずしも加速している場合だけではなく、減速している場合、速度の変化が負の量になるので、負の加速度で表されます。また、速さが変わらなくても向きが変わって見速度が変わることになり加速度があります。車がカーブしていくときも速さが変わらなくても方向が変化しているので速度が変わり、加速度はゼロではありません。

これら加速度がゼロでない状態は、電車や車に乗っているときに実感できます。車でアクセルを踏んだとき、後ろに押さえつけられたようになりあすね。電車では後方に揺り動かされます。一方、車や電車でブレーキをかけると前につんのめりそうになります。また、車が曲がるときには、曲がる向きと逆方向につんのめりそうになります。このように、加速度があるときと力を受けるときに関連していることがわかります。この加速度と力の関係については、次回に詳しくみていきます。

問題

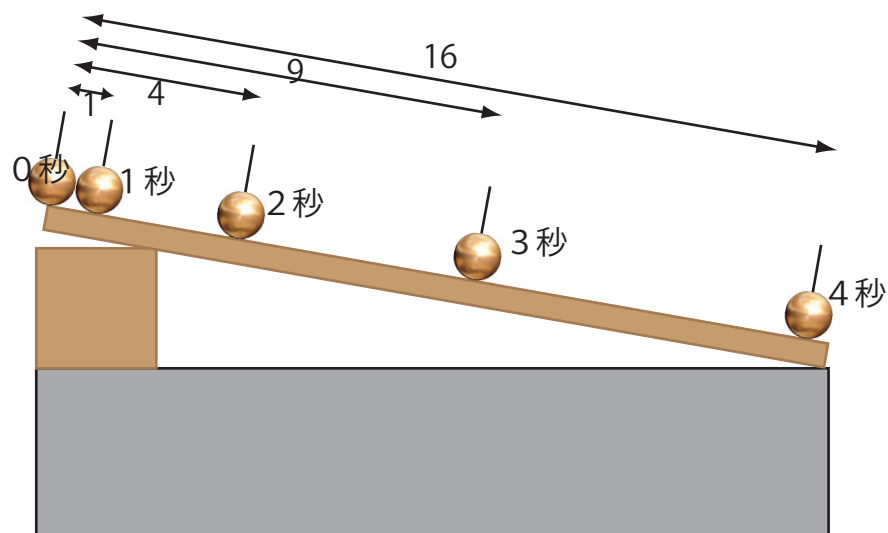
東に向かっていて車が、信号の前で停車する。このとき、この車の加速度の向きは？

速度が減っていくのは、逆向きの加速度があるからです。答えは西向きの加速となりますね。

実験的科学とは？

ガリレオが、重いものほど速く落ちるというそれまでの考え方を覆すために、ピサの斜塔から重さの異なるボールを落として確かめたことはあまりにも有名ですね。それではこれがいったい時間と共にどのような運動となるのでしょうか？これを落下する物体において確かめるのは短い時間の刻みをはかるすべがなかった当時は非常に困難でした。高い塔から落としてもボールは数秒後には地面に落ちてしまいます。そこでガリレオはこの落ちる運動の代わりに、緩やかな坂をボールが転がる運動を調べたのです。斜めの運動であっても力が一定の運動であることには変わりありませんね。時間を計るのにも工夫が必要でした。穴を開けたバケツに水を入れ、出て行く水の量により時間を計ったのです。その結果は皆さんも身の回りのもので簡単に体験できます。板とボールと携帯電話のストップウォッチ機能を用いて移動距離と時間の関係をだいたい調べることができます。その結果このような運動では、転がる距離は時間の二乗に比例することがわかります。

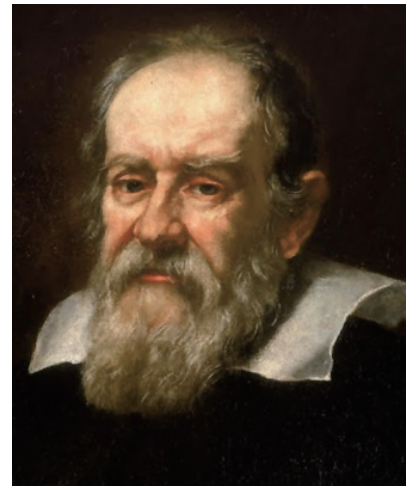
このようにガリレオは何でも計ろうとしました。科学においては、それまでは観測が主だったわけでしたが、ガリレオは実験という手法を科学に初めて取り入れたのです。こうした実験結果は、ニュートンにより力による運動の法則の発見へとつながっていきます。このように単に観測するだけでなく、良く考えられた実験することは科学にとって重要な発展をもたらしてきました。ガリレオによって科学的方法が大きく発展したのです。



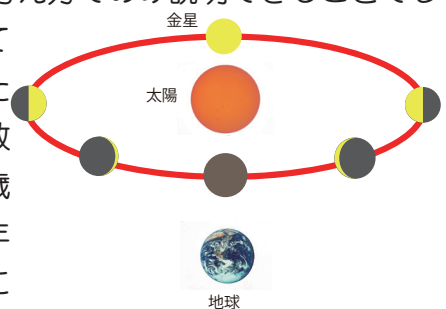
ガリレオによる斜面実験
転がる距離と時間との間に数学的な関係があることを実証した

ガリレオ ガリレイ (1564-1642)

ガリレオはイタリアのピサで生まれました。この年は、ちょうどシェイクスピアが生まれた年でもあり、ミケランジェロが亡くなった年でもあります。ガリレオは、ピサ大学で薬学を学び、その後数学へと興味を移します。彼は早い時期からアリストテレス的な物体の落下に対する考え方に疑問を感じていたようです。Pisa で数学の教授をしていました。ちなみに、ガリレオがピサの斜塔からボールを落としたとの伝説がありますが、彼はこのような実験はしていません。また同様の実験は Simon Stevin が 1586 年に別のビルから 10 m 暗いの高さから行っています。しかも彼はガリレオとは何の関係も無いようです。そして、1612 年の段階で、これをガリレオに反対する学者たちがガリレオがやったこととして誤認したようです。物体の落ちる運動は、ガリレオは当時の時計では精度良く計れませんでしたので、坂を転がる運動によって落下の運動の解析をしました。



望遠鏡がオランダで制作されたことを聞いたガリレオは自分でも望遠鏡を作ります。オランダでは望遠鏡は単に貴族たちの趣味のために作られましたが、拡大率は3倍程度でした。彼はこれを10倍にしてイタリアの議会に紹介し大変な好評を博し、その功績により Pisa 大学で教授のポストに就きました。そしてこの望遠鏡をさらに改良して、天文学の様々な発見をしています。月の山々や木星の衛星、今ではガリレオと言う名前の衛星などを発見しています。また、天の川がそれまで考えられていた雲のようなものではなく、実はたくさんの星の集まりであることを発見しました。しかも彼は、その結果を、それまで科学者の間で通例であったラテン語を用いず、イタリア語で発表したのです。そしてそれは、その頃発明された印刷技術によりまたたくまに世界中に広まっていきます。このように印刷技術の発展も、サイエンスの進歩に大きく貢献しました。それまで誰もが考えていた、天空の世界は完璧であるとした考え方を望遠鏡は変えたのです。このように、サイエンスを基礎にした望遠鏡や印刷技術などのテクノロジーの進歩がサイエンスを大きく変えていったのです。かれは望遠鏡で金星が、月が満月から三日月になると同様に形を変えることを発見します。そして、これは、コペルニクスの考え方でのみ説明できることでした。一方では、教会は、コペルニクスの考え方に対して本来寛容でした。しかし、教会に反抗的な態度を示したガリレオは、地動説の考えを持ったために、キリスト教協会から罪に問われ有罪となります。迫害を受け、74歳のときには、太陽の観測のために視力を失い、その4年後に亡くなりました。カトリック教会が彼の罪を公式に解いたのは1992年、実に彼の死から350年後になります。



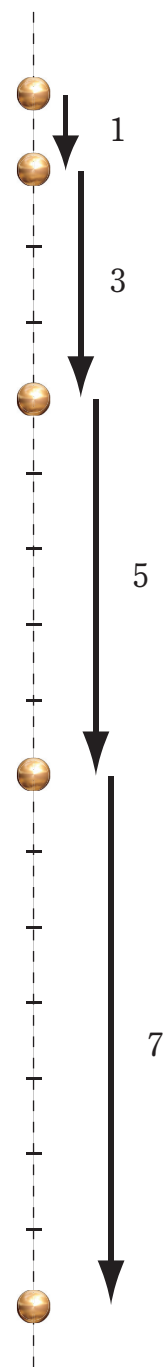
その頃まで、論理のみが高尚なものとして、測定などは軽視されていました。彼は、月の山々を観測するだけでなく、その高さまで測ろうとしました。こうした測定の考え方が、彼が科学的方法の創立者の一人とされるゆえんです。

物体が落下するときには？

1円玉と500円玉を用意してみましょう。500円玉がないときには10円でもかまいません。とにかく2つ別の硬貨を用意してみます。この2つをそれぞれ両手に持ち、起立した姿勢で地面に落としてみましょう。すると、両方ともほぼ同時に落下することがわかります。一方、紙など軽いものはひらひらと落ちますね。しかし、ある程度重い物体ならほぼ同じです。それでは、硬貨は加速しているのでしょうか？まず、手を離れた瞬間は静止しており、地面に落ちる直前には速度があります。よって、速度が増加し、加速していると言えますね。それでは、落下した物体はずっと加速していくのでしょうか？これは、10mくらい上から落下させると非常に速度が速く受け止められないことから、ひたすら加速していくことがわかります。ただし、この実験はあぶないのでやってはいけません。

手を振ってみると、空気下手に当たるのがわかりますね。これを**空気抵抗**と言います。軽いものがひらひらと舞うのは空気抵抗が重力に比べて無視できないことによるものです。ここでは力のことは考えないで、重い物体の落下する運動だけを見てみましょう。この速度の増加は一定であることが実験でわかります。図は1秒ごと落下した球の位置を表しています。このような空気抵抗を無視した落下の現象を**自由落下**と言います。これは空気による抵抗が無視できて自由に落下できるという意味です。1秒ごとの変化が1, 3, 5と増加していますからこれは、速度が1, 3, 5と一定の割合で増加していることを示していますね。つまり、加速度が一定なんです。このような、**加速度が一定の運動**を**等加速度運動**と言います。

車のアクセルを踏んだときもほぼ等加速度運動となります。ブレーキを踏んだときも等減速運動とは言わず、加速度が負の等加速度運動と言います。加速度は、速度を変える量であるので減速も含むことに注意しましょう。



自由落下
落下距離は時間の二
乗に比例する

加速度一定のときの移動距離の不思議な関係

さて、加速度が一定のときの運動を見てみましょう。図をみると、一番上からの距離は1, $1 + 3 = 4$, $1 + 3 + 5 = 9$, $1 + 3 + 5 + 7 = 16$ となります。これは、 1 , 2×2 , 3×3 , 4×4 と書けますので、そっと落としたときの自由落下では最初からの移動距離は時間の二乗に比例していることがわかりますね。これはどうしてでしょうか？

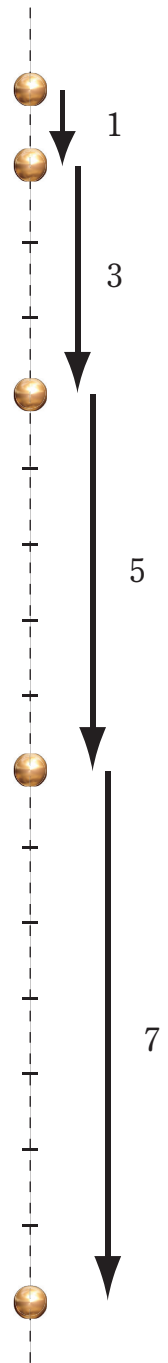
止まった状態から車が一定の加速度で加速し、時間が2倍になると、最終的な速度は2倍となりますね。加速度は速度の単位時間あたりの変化ですから、加速度が一定とは速度の変化が一定であることとですね。この間の平均速度は最初と最後の速度の平均なので最終速度の半分となります。つまり、2倍の時間がかかれば平均速度も2倍になります。それでは距離についてはどうなるのでしょうか？速度とは単位時間あたりの移動量ですので、距離は単位時間あたりの速度にかかった時間をかけたものとして計算できます。つまり、平均速度 $\times$ 時間です。2倍の時間では、時間も平均速度も2倍になっています。そのため、距離はこれらのかけ算なので4倍となります。つまり、時間が2倍になれば距離は4倍となるわけです。

このような現象は、他の等加速度運動でも同様です。静止した状態からの等加速度運動では、その移動距離は、時間の二乗に比例することがわかります。このことは、すべての等加速度運動にも成り立つので、自由落下でも同様の関係になります。

自由落下のときの加速度の方向は？

自由落下のときの加速度はおよそ 9.8m/s^2 であることが実験でわかります。これは、地域によって少し差があるのでおよその値です。なぜ差があるのかは後の章で説明しよう。この重力による加速度を**重力加速度**といいます。いずれにせよ、この重力加速度は加速度の基準として使われています。記号で $g=9.8\text{m/s}^2$ として**ジー**を用います。これは英語の重力、gravityの頭文字です。たとえば、重力加速度の2倍は $2g$ (2ジー) などと呼ばれます。アニメの初代ガンダムなどでも、セイラが言う台詞で、「こんなにジーが大きいなんて」という。以前にも出てきましたが電車が加速すると、中にいる人にその加速が伝わります。よって、Gが大きいほど中の人にも大きな力が加わっていきます。普通の人間では、立った状態では、 $5g$ の加速度で、頭に血液が循環しなくなり、失神することになります。

それでは次に硬貨を上に取り上げる場合を見てみましょう。この場合、次第に速度が小さくなり、また速度が大きくなっていきます。つまり、減速して加速します。こうすると一見加速度が変わっているように見えますね。しかし、速度には方向があることを思い出しましょう。上昇しているときに速度の大きさは減少していきますが、減少する割合は一定でその方向は速度と逆向きの下向きです。一方、落下しているときには、下に向かって加速していくわけで加速の方向はやはり下向きなのです。よって、上昇している場合も落下している場合もやはり加速度は同じ方向で一定であることがわかります。



キーワード

ストーンヘンジ、バビロニア、アリストテレス、プトレマイオス、天動説、地動説、コペルニクス、ティコブラーエ、ケプラー、ケプラーの法則、ガリレオ、スピード、ベクトル、速度、加速度、等加速度運動、実験的科学、重力加速度、ジー、自由落下、空気抵抗