

総合科学(第2回)

- 高校課程の総合理科に続く総合科学について -

流通科学部 教授 上 地 宏

目 次

- 1 . はじめに
- 2 . 科学の基礎：物理学
- 3 . 古典力学 Classical Mechanics
- 4 . 電磁気学 Classical Electrodynamics

1 . はじめに

総合科学の第1回目で、科学技術と人間社会についての概要を紹介した。リニアモーターカーへの超電導技術の応用、スペーステクノロジーの発展、新素材の開発への応用、DNA や医療技術へのナノテクノロジーの応用などは、科学の夢物語ではなく、現実的に進歩している技術である。

1 . 1 総合科学の内容の紹介

ここで総合科学の講義内容、概要を説明する。共通科目である自然科学の分野には、総合科学という講義はない。現在、「現代物理学の諸問題」という講義として提供している。現代物理学の諸問題の講義は、理系の大学生4年生に対しては適当な科目であると思われるが、文系主体の学生に対しては要求される数学と科学の内容が多すぎる。担当してすぐに内容を変更することが必要であることに気付いたのであるが、最初は物理学の内容をわかりやすく解説して、最先端の内容を概説するようになればよいと考えていた。しかし、それではこちらの内容があまり伝わらず、科学のおもしろさを伝えることも困難であることが分かってきたので、内容を大幅に変えることを考えた。

総合科学の15回の内容は次のようになっている。

- 1 . 科学技術と人間社会、科学の夢ロードマップ
- 2 . ニュートン力学と電磁気学の基礎
- 3 . 熱学の基礎、エントロピーと散逸
- 4 . 古典力学と量子力学、分子・原子の世界
- 5 . 熱力学と化学(アボガドロ数の発見)
- 6 . 熱力学と化学(有機化合物と生命)
- 7 . 生物と遺伝、進化論

8. 太陽系と古生物学、進化
9. 地質時代と生物相
10. 地球環境と人間社会
11. 原子と原子核エネルギー(放射線の基礎と応用)
12. 天体の構造と原子モデル
13. 原子核宇宙物理学のトピック
14. 科学技術、コンピュータと社会
15. 観測と認識

以上の15回の講義を予定している。今回は第2回目のニュートン力学と電磁気学の基礎について解説する。

2. 科学の基礎：物理学

自然科学を含む多くの分野の科学者による実験や観察、理論的考察において注目される特性は、多くの複雑な現象が単なる事実の羅列としてあるのではなく、現象の深いレベルにおいて、いくつかの基本的な原理法則として纏めることができるということにある。この特性はすべての科学の分野における、科学者達の努力により明らかにされてきた性質である。原理、法則、規則と実験事実は、人類の科学的な遺産として受け継がれてきている。

物理学は、これらの原理法則を可能な限り整理して纏められてきた分野であり、物理学者だけではなく、すべての科学者により作り上げられた分野であるということができる。人類は、すべての現象を説明する原理法則を手にはしているわけではない。しかし、物理学の原理法則は、私達が森羅万象、自然、社会現象を理解するときに役に立つものである。

現実的な社会での道具、知識として学問は要求されるものであるが、知識の詰め込みだけではなく、自然を理解する感動を味わってほしいと

思っている。

基本的な物理量(長さ、質量、時間)を共通の基準として決めておくことで、その他の必要な科学量、測定されるべき量が、物理法則や定義を通して明確に表現される。この場合、基本として選ばれた単位のことを**基本単位**といい、その基本単位の組み合わせによって作られた単位のことを**組立単位**という。

[例] 速度 = 長さ ÷ 時間、m/s、メートル毎秒と読む。

加速度 = 速度 ÷ 時間 m/s^2 、メートル毎秒毎秒と読む。

速度、加速度は長さから時間から作られる組立単位である。

国際単位系の基本単位

SI基本単位とSI補助単位		
表1：SI基本単位		
量	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd
表2：SI補助単位		
物理量	名称	記号
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

長さ、質量、時間の基本単位をセンチメートル(cm)、グラム(g)、秒(s)とした **CGS 単位系**と、長さをメートル(m)、質量をキログラム(kg)にかえた **MKS 単位系**や、長さをメートル(m)、重さを重量キログラム(kg重；地球上の重力のもとで測定された質量という意味で‘重’をつ

ける)とする重量単位系が利用されている。

3 . 古典力学 Classical Mechanics

物体の運動や物体同士に働く力の関係を調べる物理学の四基礎力学分野の一分野で、ニュートン力学ともいう。アインシュタインの相対論的力学により改良され、厳密な解析力学としてさらに発展している。物体の運動を記述するにあたって力学は、物体の移動した距離(変位)、時間、速度、加速度、質量、力などの量を厳密に定義することから始める。

3 . 1 物体の変位、運動、力、エネルギー

速度とは、物体の時間的な位置の変化を表すものであり、移動距離を移動に要した時間で割った量として定義される。速度は km/h(毎時)、m/s(毎秒)などの単位ではかられる。加速度は速度の変化の時間的な割合として定義され、速度の変化量を要した時間で割ったものである。加速度の単位は m/s^2 (メートル毎秒毎秒)である。

$$\text{速度} = \frac{\text{動いた距離}m}{\text{かかった時間(秒)}} (m/s), \quad \text{加速度} = \frac{\text{速さの変化量}(m/s)}{\text{かかった時間}(s)} (m/s^2)$$

動いた距離を y_1, y_2 、かかった時間を t_1, t_2 、速さの変化を v_1, v_2 と書くと

$$\text{速度(Velocity)} = \frac{y_2 - y_1}{t_2 - t_1} \frac{m}{\text{秒}}, \quad \text{加速度(Acceleration)} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} \frac{m/s}{s}$$

と計算する。

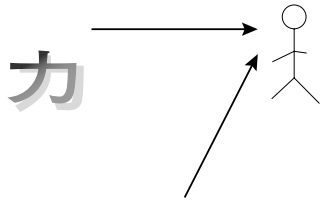
上述の速度、加速度は、時間的に平均された量ということで、平均速度、平均加速度という。厳密な速度、加速度は、 $t_2 - t_1 \rightarrow 0$ という極限において定義されるが、物理量として本質的に同等である。

日常生活で身近にある物では、質量10kgのような重さの単位、cmの長さの単位、熱のカロリー(cal)、電気の単位(クーロン)などで表わさ

れる量がある。そのような量は、大きさだけをもつ物理量であり、基本的には測定者の位置や方向、運動によって変化しない。このような物理量を**スカラー量**という。

質量(kg)は重さ(重量、kg重)とはちがう意味をもつ。重さ(重量)は質量に比例して、地球のどの場所で測るかによって変化するが、質量は変化しない。

スカラー量とは別に、大きさと方向をもつ量がある。例えば、**速度、加速度、力はベクトル量**であり、**大きさと同時に方向**をもっている。力を正面から受けると最大の衝撃を受けるが、同じ力でも方向を斜め



ずらすと、衝撃を弱めることができることを経験的に知っている。それに対して、10kgのおもりは、斜め方向から見ても10kgのおもりである。

静止している人にとっては100km/時で走っている車でも、80km/時で同じ方向に走っている車に乗っている人から見ると、それ程スピードが出ているようには見えない。100 - 80 = 20km/時で走っているように見えるのである。その運動を見る人(観測者)の位置、方向によって、その大きさが異なって見えるのである。

日常生活では、スカラー量とベクトル量が直接に確認される物理量である。その他に、物体のねじれや表面張力など複雑な変化、運動に関係する量(テンソル量)などもある。

3.2 速度、加速度の定義と微分積分の発見

ニュートンは力学の基礎を確立すると同時に、微分積分学を発見することになる。速度、加速度を定義して厳密に測定する理論と実験の過程において、必然的に微分概念の発見に導かれていくのである。そのことを簡単な例題と図で説明する。

A点を出発して50km離れたB点に5時間後に到着する問題を考える。一定の平均的な速さで移動すると考えて、 $50\text{km} \div 5\text{時間} = 10\text{km/時}$ で移動すると、5時間でB点に到着する。縦軸を距離、横軸を時間とする図で表すと右図のようになる。

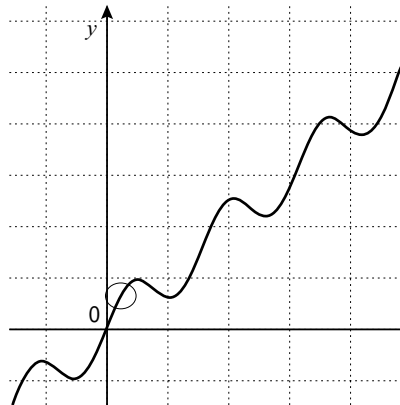
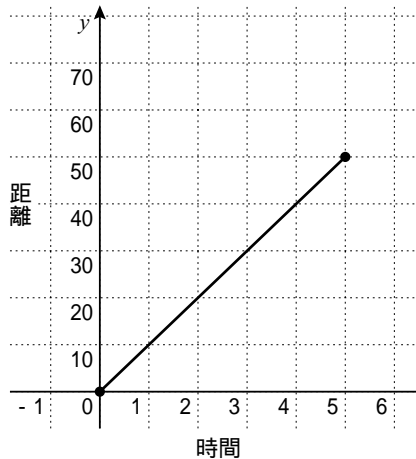
右図のような単純な直線は、**等速直線運動**という。速度はこの直線の傾きで表されることになり、経験的に明快で理解しやすい。よって、**直線の傾き = 縦の長さ(km) \div 横の長さ(時間)**として、**速度の定義**を一貫して採用することにする。

そこで次の図のように、少し複雑に移動する図を考えよう。

この図では、速く移動したり、ゆっくり移動したり、戻ったり進んだりするような移動を表している。

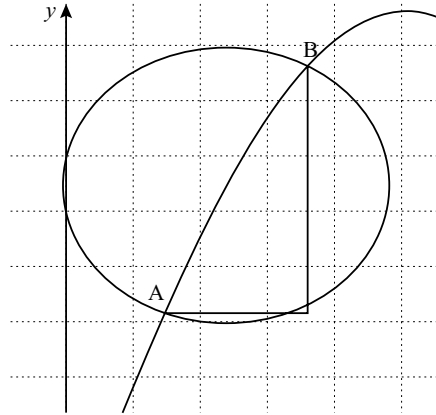
このような場合、**縦の長さ(km) \div 横の長さ(時間)**で速度を計算することは不相当であることは、直感的に理解できるであろう。しかし、**縦の長さ(km) \div 横の長さ(時間)**を速度の定義として採用しているのであるから、困難な場合にあったからといって、定義を変えるわけにはいかない。

どんな複雑な運動をしていても、**縦の長さ(km) \div 横の長さ(時間)**と



いう定義を変えずに速度を計算しなければならない。このとき、ニュートンは、線を分割するという、分割する長さをできるだけ短くする(0にする極限をとる)という概念を発見することになるのである。

図に直線を見つけることはできないが、小さい円で囲んである部分を拡大すると次の図のようになる。このように分割してみると、分割した部分が直線に近い形をしていることが分かる。さらに、分割して拡大していけば、直線として扱えるので、この場合に、**直線の傾き = 縦の長さ(km) ÷ 横の長さ(時間)**として速度を定義することができることになる。



すなわち、

$$\text{速度 (Velocity)} = \frac{y_2 - y_1 \text{ (m)}}{t_2 - t_1 \text{ (秒)}}$$

を厳密に計算できることになる。図は拡大されても、時間 $t_2 - t_1$ と、距離 $y_2 - y_1$ は非常に小さい。これを Δt , Δy (デルタと読む)と書いて、

$$\text{速さ (Velocity)} = \frac{\Delta y}{\Delta t} \text{ (m/秒)}$$

のように書く。

このような分割拡大を続けていくと厳密な速度の定義ができるが、数学的な定義では

$$\text{速さ (Velocity)} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta t} = \frac{dy}{dt} \text{ (m/秒)}$$

となる。

ここにおいて、**微分を導入する重要な意味と理由が完成し、微分積分学が発見される**ことになる。速さが距離の時間微分で表されるならば、加速度は速度の時間微分(距離の2階微分)で表される。速度から逆に、進んだ距離を求める逆演算、**積分も定義される**ことになる。このようにして、速度、加速度をもつ物体の運動は微分を用いて厳密に(微分、積分方程式として)表されることになる。

ガリレオやニュートンは物体の落下運動を、その時代の時計や物差しを用いて実際に測定をしたようである。数学的な分析から微分積分を発見することにより、精密な測定機械がない時代においても、物体の時間的な運動を厳密に議論できるようになるのである。それにより、重力の中での物体の落下運動が、時間の2次関数になっていることが理解される。

地球上での落下運動は重力加速度を g として、速度 v 、最初の位置を y_0 、時間を t とおくと

$$y = -\frac{1}{2}gt^2 + vt + y_0$$

と表される。 $y = -\frac{1}{2}gt^2$ の負号(-)は下向き(地球の中心向き)を表わす。落下運動だけでなく、一般的に、等加速度運動は、加速度 a 、速度 v 、最初の位置 x_0 を、時間を t とおくと距離 x は、時間 t の2次関数として、

$$x = \frac{1}{2}at^2 + vt + x_0$$

と表される。

3.3 力の定義

日常生活で知っている力とは、単純に**押しや引き**の力であるが、この

どちらかが物体に生みだす効果としては物体の移動、変形であり、それらの効果を通して力を測定することができる。物体のねじれや表面張力などの複雑な力は簡単なものではないが、力によって物体は変形したり、加速、減速したりする(物体の速度が増減)。よって、力による速度の変化を利用して力の大きさを測ることができる。

力が働いていないとき物体は静止していると考えられるが、氷の上での物体の運動など私たちの経験から考えると、**摩擦**が全くなければ物体は一定の速さで運動を続けるであろうと考えられる。これを**等速直線運動**という。そこで、力を物体に作用させるとどのような変化が生ずるのかを考えると、速度が増減、または方向が変化することであることが直感的に考えられる。すなわち、速度にある速度が加わること(速度が増減すること)が考えられる。この変化をもたらすものが**加速度**である。

加速度は単位時間あたりの速度の変化量として、次のように定義される。

$$\text{加速度(acceleration)} = \lim_{t \rightarrow 0} \frac{V}{t} = \frac{dV}{dt} = \frac{d^2y}{dt^2} \text{ (m/秒}^2\text{)}$$

加速度の単位は、(m/秒²)メートル**毎秒毎秒**と読む。

実際に加速度を計算する場合は、ある時間 t_1 とそのときの速度 V_1 、 t_2 のときの速度 V_2 を使って

$$\text{加速度(acceleration)} = \frac{V_2 - V_1 \text{ (m/秒)}}{t_2 - t_1 \text{ (秒)}}$$

とする。

力が物体に加わると加速度が生じるが、物体を動かすとき、質量が大きいと大きな力が必要である。しかし、質量が小さいと小さい力で動かせる。大きな力を物体に及ぼすと物体の速度が速くなる。

この簡単な事実をもとにして考えると、力は加速度の大きさ、質量の大きさに関係していることが推測される。そこで、ニュートンは力を質

量と加速度の積として与えられると仮定した。

$$\text{力(Force)} = \text{質量(mass)} \times \text{加速度(acceleration)}$$

アルファベットの頭文字をとって、次のように書く。

$$F = ma$$

力(F)の単位は質量と加速度の積であるから、力 = $\text{kg} \times \text{m}/\text{秒}^2$ となっている。

1 kg の物体に $1 \text{ m}/\text{s}^2$ の加速度を生じさせる力を $1 \text{ kg} \times \text{m}/\text{秒}^2 = 1 \text{ N}$ (ニュートン) という。力はニュートン、N という単位で表す。1 ニュートン = $1 \text{ kg} \times 1 \text{ m}/\text{s}^2$ である。

地球上の物体には、地球の重力による加速度(重力加速度 g)、 $9.8 \text{ m}/\text{s}^2$ が加わっている。従って、100kg の物体にかかる重力は、 $F = ma = 100 \times 9.8 = 980 \text{ kg} \times \text{m}/\text{秒}^2 = 980 \text{ N}$ (ニュートン) となる。日常生活ではニュートンという単位を使わずに便宜上、100kg の質量にかかる重力を100kg 重(キログラム重と読む)とすることが多いので、kg 重という重量単位系も用いる。

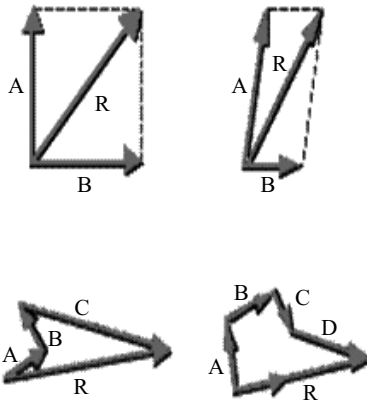
以上のように、力の大きさは質量と加速度の積で与えられる。しかし最初に説明したように、速度も加速度も方向と大きさを持つベクトル量である。力は大きさだけでなく、上向きか下向きか、x 方向、y 方向など、どの方向にどれだけの力に分解されるか、合成されるかということも大切なこととなる。よってベクトルとしての計算方法について説明することが必要となる。

力の分解、合成(ベクトルの計算法)

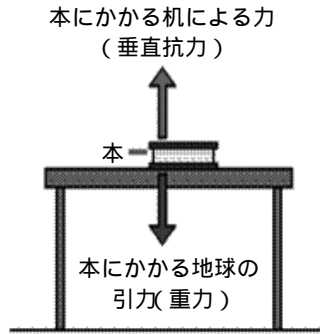
例えば、100kg 重の荷物を運ぶ場合、二人で持ち上げると1人分の力は半分の50kg 重となることはよく知られている。それでは、100kg 重の

荷物にロープを結んで離れた場所にいる二人が引き上げる場合を考えるとどうであろうか。この場合、引いているロープの角度、方向により引く力が違うことは経験的にもよく知られていることである。また、ばねに加えられる力 F が大きければ大きい程、力の向きにばねの伸び x は大きくなる。物体が運動せずに釣り合っているとき、物体に加わる力の合計、つまり合力はゼロである。

速度、加速度、力のように大きさと方向を持つベクトル量を表すのに、矢印をつけた線分を用いる。ベクトルの合計と分解は、図のように平行四辺形を用いて定義する(これを**平行四辺形の法則**ということもある)。ベクトル量は、平行四辺形の方法により作図して求める。または、ベクトル(高校数学)として計算する。



Microsoft Illustration



$$|\vec{F}| \text{ 机による力} = |\vec{F}| \text{ 地球の引力}$$

$$\vec{F} + \vec{F} = 0$$

Microsoft Illustration

図にあるようにベクトル A(矢印 A)、ベクトル B(矢印 B)で平行四辺形を作成する。ベクトル A とベクトル B の和は、AB で作られる平行四辺形の対角線で定義される。ベクトルの分解は和の逆で、ベクトル R

を A 方向と B 方向に分解するときは、ベクトル R を対角線として A 方向、B 方向にそれぞれ辺をもつ平行四辺形を作成する。それぞれの辺がベクトル R の分解となる。また、多くのベクトルの和も定義できて、すべてのベクトルの和は図のように、始点と終点を結んだ線分と方向になる。

また、机の上にある本は、重力により地球の中心に引っ張られているが、机が本を支えている(逆向きで同じ大きさの力)ので、本は机の上に静止している。この事実から、**物体が静止して、バランスが取れて安定しているときは、その物体に働く力とそれを打ち消す反対向きの力は、完全に打ち消しあっている(釣り合っている)**ということがわかる。

3.4 ニュートンによる運動の三法則

車や電車、飛行機などの精密な乗り物や時計が常識である現代の人々にとって、速度や加速度の性質は日常的によく経験する物理量である。しかし、速度や加速度、力の性質を確認して、質量と時間との関係を考えて重要な性質(原理)が明確になる。

運動の性質は、運動の三法則として次のようにまとめられる。

運動の第一法則(慣性の法則)

物体に力が働いていないとき、その物体は静止するか、等速運動をする。

運動の方向や速さを変化させないように働く性質のことを**慣性**という。そのような性質を持つ場所(座標系)を**慣性系**という。例えば、アイススケートでは、氷の摩擦が完全に0ならば、人や物体は滑り続ける。力が働いていないときは**静止している場合と、等速運動をしている場合**が考えられる。

日常生活では、物体が静止している場合は力が釣り合っている、物体

に働く力が釣り合っている場合は静止している(動かない)と考えられる場合が多い。しかし、地球が太陽の周りを公転する速さ、地球の自転の速さは非常に速いが、私たちには地球が動いているようには感じない。静止した慣性系のように感じられる。

【演習問題】

- (1) 1年 = 365日として、1年を秒に換算しなさい。地球は太陽の周りを公転しているが、地球から太陽までの距離 $r = 1$ 億5,000万km の円軌道として、地球の公転速度 km/秒を求めなさい。
- (2) 地球の半径 $r = 6,000$ km、1日 = 24時間として地球の自転の速度 km/秒を求めなさい。

運動の第二法則(力と加速度の関係、運動方程式)

力(Force)、質量(mass)、加速度(acceleration)に対して次の関係式が成立する。

力 = 質量 × 加速度

$$F = ma$$

1 kg の質量に 1 m/s^2 の加速度が生ずるときの力を 1 ニュートン(N)と定義する。

$$1 \text{ N(ニュートン)} = 1 \text{ kg} \times 1 \text{ m/s}^2$$

(例) (a) 10kgの物体に 5 m/s^2 の加速度が生じるとき、力 $F = 10\text{kg} \times 5 \text{ m/s}^2 = 50\text{N}$ (ニュートン)となる。

(b) $10\text{kg重} = 10\text{kg} \times 9.8\text{m/s}^2 = 98\text{N}$ となる。

運動の第三法則(作用反作用の法則)

物体が他の物体に力を及ぼすとき、お互いに力を受ける。物体 A が

物体 B に及ぼす力は、物体 B が物体 A に及ぼす力と大きさは同じで、方向は反対である。

机の上に置かれている本では、本が机に及ぼす重力に対して、机からの反作用の力が釣り合っている。接触する物体の大きさに関係なく同じ大きさの作用と反作用の力が働いている。大人がスケートリンクの上で子供を押して突き放したとき、大人が子供に対して強い力を及ぼしているように思えるであろうが、子供は同時に、同じ大きさで反対方向の力を大人に及ぼしている。しかし、大人の方は質量が大きいので、生じる加速度は子供に比べて小さい。それで大人はあまり動かないのであるが、同じ強さの力を子供から受けているのである。力を加えると、加えたほうも同じ力(反作用の力)を受けるということは、**科学的な力の重要な性質**である。

力に関係する科学的な現象においては、相手だけが一方的に強い力の影響を受けて動くということはない。100kg重の力で物体を動かすためには、100kg重の反作用に耐えるのでなければその物体を動かせない。相手だけを動かす力というのは、心理的、催眠術的なものであり**科学的な力ではない**。科学的な力には反作用が必ず存在するのである。

3.5 時間的に変化しない、一定な物理量：保存法則

速度、加速度、力や運動の法則は日常的な経験を詳しく観察すると明確であることが理解できるものである。ところで、物体は運動して、位置、形が時間的に変化しているが、地球は太陽の周りを何十億年も自転しながら、公転している。すなわち、**時間的に変化しているけれども、時間的に一定に保たれているものもある**ということが考えられるのである。

時間的に一定に保たれているものとは何であろうか？ 時間的に一定に保たれているものがあるとしたら、私達の生活に役立つ方法、考え方

として使える。時間的に一定に保たれているもの、保存法則は、人間だけでなく生物すべてにとって大切なものである。

現代の私たちにとって時間的に一定、永遠不滅なものとして良く理解されているものは、**エネルギー**というものである。人類は19世紀ごろまで、エネルギーという概念をよく理解していなかった。20世紀にいたってエネルギーの概念が日常的に使われるようになったのである。

地球の自転や公転、分子・原子の世界の現象が‘エネルギー保存則’などの原理を用いて良くわかるようになってきた。もちろん、エネルギーは熱にも変わる。熱は散っていく(散逸していく)。エネルギーは(例えば電力など)使ったらなくなってしまふので、一定に保たれているようには思えないであろう。エネルギーの形は変化するのであるが、全エネルギー量は一定に保たれているのである。

時間的に一定である物理量は重要なものである。ある粒子、または分子の集まりを考えて、ある時間内で体積の容器の中にある粒子数と入ってきた粒子数、出ていった粒子数がわかっているならば、その容器の中の粒子数がわかる。このような事実は粒子数の保存則を表す。化学反応における質量保存則、電流の保存則など、その他にも保存則という言葉が用いられているが、それらは、基本的に物理学の保存則として説明することができる。保存法則は自然の法則として深い意味を持っている。

運動量と運動量保存則

私たちの日常生活でよく経験する保存法則には、**運動量保存の法則**がある。**運動量は、質量と速度の積**として定義される。

運動量 = 質量 × 速度(運動量の単位、kg・m/s)

加速度は速度の時間変化として、 $a = \frac{v_2 - v_1(m/s)}{t_2 - t_1(s)}$ と定義されている。

力は、質量 × 加速度であるから、

$$F = ma = m \frac{v_2 - v_1 (m/s)}{t_2 - t_1 (s)} \text{である。}$$

ここで、測定している時間間隔、 $t_2 - t_1$ を非常に小さいとして $t = t_2 - t_1$ と書くことにすると、

$$F = m \frac{v_2 - v_1}{t} \text{は、} tF = m(v_2 - v_1) \text{と書ける。}$$

これは、(変化した時間) × 力 = $m(v_2 - v_1)$ となっていることを表している(時間 × 力を**力積**という)。

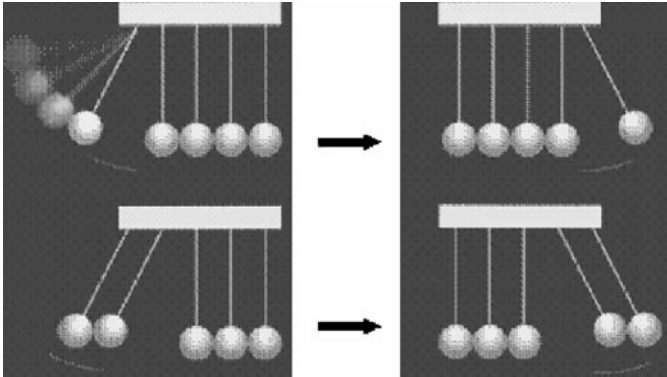
ここで、物体に働いている力が釣り合っているとしよう。すなわち、 $F = 0$ とする。この場合は、

$$0 = m(v_2 - v_1) \text{となるので、整理すると、} mv_2 = mv_1 \text{と書ける。}$$

この結果は、質量 × 速度という量が常に等しいことを表している。または、質量 × 速度がすべての時間において、常に等しくなるように運動しているともいえる。ここで、質量 × 速度という量が時間的に一定に保たれている、保存量として理解される。一般的に、運動の前後で力が働いていない時、またはつり合っている時($F = 0$)、運動量は時間的に一定に保たれる。これを**運動量保存則**という。

このような運動量保存則は、**ニュートンのゆりかご**として知られている身近な‘おもちゃ’で実験できる。図はニュートンのゆりかごの模式図で、同じ重さの球が5個吊り下げられている。

左端で1個の球を持ち上げて離し、静止している4個の球にぶつけると、最初の球は静止して、右端の球が1個だけ飛び出す。2個持ち上げてぶつけると、最初の2個は静止して、右端から2個の球が飛び出す。3個の球を持ち上げてぶつけると2個の球が静止して、3個の球が飛び出す。4個をぶつけると1個が静止して、4個が飛び出す。



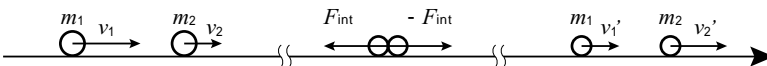
球が衝突した瞬間、衝突による力が働いているように見えるが、**作用反作用の法則**により、力はお互いに打ち消し合っている($F=0$)。

従って、力は働かず、**慣性の法則**に従って、1個の球が持つ運動量を保つように運動を続けようとするのである(時間が経つと、摩擦などの影響で運動は小さくなっていく)。

ある時間における運動量がわかっていると、その後の運動量は等しい。つまり、

$$\text{(最初の)運動量} = \text{(その後の)運動量}$$

である。



(例題) 質量 m_1, m_2 、速度 v_1, v_2 の物体が衝突して、質量 m_1', m_2' 、速度 v_1', v_2' となったとき、 $m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1' v_1' + m_2' v_2'$ が成立する。

その他に、カーリング競技などにおけるストーンをぶつけて、目標円内に入れるときは、運動量保存則や摩擦などによる運動のようすが良くわかる。

角運動量と角運動量保存則

運動量保存則の話は、並進運動する物体で、特に物体の重心の運動についてのものである。重心とはある物体の全質量が集中していると考えられることのできる点のことである。曲芸などで複雑な物体を釣り合わせるようなときに、重心を使ってバランスを保つようにしているのである。

物体には大きさや複雑な形があり、それによって起こる複雑な回転運動もある。並進運動において運動量と運動量保存則があるように、回転運動に対しては、**角運動量と角運動量保存則**がある。

角運動量は回転の速度、角速度、（オメガと読む、ラジアン/秒）を用いて運動が説明される。回転においては、‘質量’に対応する物理量として、**慣性質量**が使われる。慣性質量は伝統的に、 I 、という文字で表されて、

= 質量 × 重心からの距離の2乗、という意味を持つ量として定義される。

角運動量は、角運動量 = 慣性質量 × 角速度で表される：

角運動量 = $L = I\omega$.

角運動量保存則は、 $L_1 + L_2 = L_1' + L_2'$ となる。

角運動量保存則の例は日常生活でよく経験するものである。例えば、コマが回転したまま安定して立っているのは、角運動量を保存する性質である。アイススケートで、スケートをする人が回転するときに、手を縮めると回転が速くなる。これは、角運動量保存則により説明される。体を軸として手を縮めると慣性モーメント I が小さくなり、慣性モーメントが小さくなった分、角速度（回転の速さ）が大きくなるからである。

図は地球ゴマというおもちゃである。コマが金属枠の中に入ったものであるが、コマが一定方向を向いて倒れない性質、角運動量保存則を利

用するための道具である。単純なものであるが科学技術において、精密な機器として用いられている。

コマが角運動量を保存する性質(一定方向を維持する性質)は、ロケットなどが地球に垂直な進行方向を一定に保つために利用されている。また、航空機などの進行方向を一定に保つためのジャイロ・コンパス、自動運転飛行の時に使用されている。



地球コマ

3.6 エネルギー

私たちの日常生活における経験的な感覚において、エネルギー(Energy)という量は、どれだけの仕事(Work)ができるか、または、物をどれだけ動かせるかというような、仕事の量を表わすものとして理解されている。

物を動かすためには力が必要で、力はニュートンという単位で表わすことを学んだ。よって、物をどれだけ動かすことができるか、その量を知りたいならば、**力の大きさ**と物体がどれだけ動いたか、**動いた距離により定義**できることがわかる。

従って、エネルギーを次のように定義する。

エネルギー = 力(N) × 力の方向に動いた距離(m), $N \times m = J$ (ジュール)

1 ニュートンの力を加えて 1 m 動かしたときのエネルギー量を 1 ジュールという。日常生活ではジュールよりも、**カロリー(cal)**などの単位が使用されることが多い。

1 カロリー = 4.2ジュールである。 $W = 4.2 \text{ジュール/カロリー}$ という

値を**熱の仕事等量**という。

仕事量(エネルギー)とは**力と力の方向に物体が移動した距離をかけたものとして定義される。**

力が物体に働いても、物体が動かなければ仕事が行われたことにならない。例えば、100kg重の物体を支えているとき、エネルギー $W = 100\text{kg重} \times 0\text{m} = 0$ となるからである。力を加えて力の方向に動かしたとき、力学的なエネルギーがわかるのである。

位置エネルギーとポテンシャル・エネルギー

エネルギー量を力と動いた距離の積で表わすと、日常生活で経験するエネルギーがわかりやすく区別できるようになる。

山道を歩いているとき、高い崖の上にある100kgの物体が今にも落下するような場合、危険を感じる。それは、落下する物体が及ぼす影響、落下する物体がする仕事(エネルギー)がわかるからである。物体のある高さが1cm程度であれば誰も気にしないが、100m程度の高さから落下する場合は、非常に危険であることがわかる。

このように、**エネルギー量がその物体の位置で決まるものがある。**そのようなエネルギーを**位置エネルギー**という。

位置エネルギー $W_h = \text{重量} \times \text{高さ} = mgh$ ジュール

として計算する(W_h のhは、高さ heightの頭文字である)。

【演習問題】100kg重の物体が10mの高さにある場合の位置エネルギーを求めなさい。

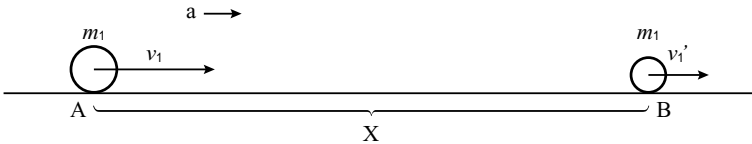
位置エネルギーは $W_h = 100\text{kg} \times 9.8\text{m/s}^2 \times 10\text{m} = 9800\text{ J}$ (ジュール)となる。

運動エネルギー

運動エネルギーは、運動している物体の持つエネルギーを表わすものであり、 W_K (W_K の K は、運動エネルギー kinetic energy の頭文字である) と表わす。

運動エネルギーの導出には、少し工夫が必要であるので、以下に説明する。

図にあるように、A 点を質量 m_1 、速度 v_1 の物体が通過したとき、一定の力 F が加えられて、加速度 a が生じたとする。力を加えたままで、物体は t 秒後に距離 X の B 点まで進んで、速度 v_1' になったとする。



最初に、速度 v_1, v_1' 、加速度 a 、距離 X の関係を表しておく。

物体に一定の力が加わっているので、運動は等加速度運動をしている。等加速度運動は、加速度 a 、初速度 V' 、最初の位置を x_0 、時間を t とおくと、 t 秒後の距離 x は、

$$x = \frac{1}{2} a \cdot t^2 + v' \cdot t + x_0$$

と表されることを思い出そう (§3.2)。任意の時間 t の速度 v は、

$$v = a \cdot t + v'$$

である。距離の x の式と速度の式 v から時間 t を消去して、速度 v と加速度 a 、距離 x の関係式を導く。速度の式を時間 t について解くと、

$$t = \frac{v - v'}{a}$$

となる。それを x の t に代入して整理すると、次の結果、

$$v^2 - v'^2 = 2a \cdot x$$

を得る。

以上を準備して、運動エネルギーを表す式を求める。

エネルギーは、力×距離 = $F \times x$ で与えられる。ここで、 $F = ma$ であるから、エネルギー W_k は、

$$W_k = F \cdot x = m \cdot a \cdot x$$

である。よって、 $v^2 - v'^2 = 2ax$ より、

$$a \cdot x = \frac{1}{2} (v^2 - v'^2)$$

と求められるから、

$$W_k = m \cdot a \cdot x = \frac{1}{2} m(v^2 - v'^2)$$

となる。この式は、物体 m の速度が v' から v に変化するときの運動エネルギーの変化量を表している。従って、速度 v のときの運動エネルギーは、

$$W_k = \frac{1}{2} mv^2$$

と表されることがわかる。

例えば、質量60kg物体が、速度10m/s で動いているときの運動エネルギーは、

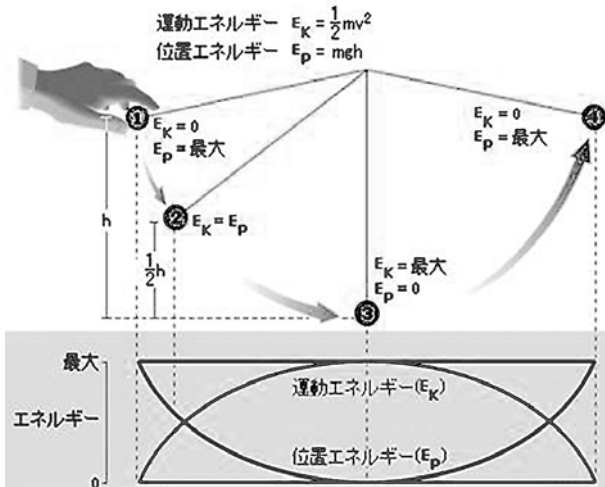
$$W_k = \frac{1}{2} 60 \cdot 10^2 = 3000 \text{ジュール(J)}$$

となる。

力学的エネルギー保存則

物体を高所へ持ち上げる仕事をしたとき、エネルギーは重力の**位置エネルギー**の形で蓄えられる。また、高い所にある物体が低い所に転がると、その物体に速度が生ずる。高い所にあったときの位置エネルギーが、**運動エネルギー**に変化したのである。同様に、運動している物体は、なめらかな道を通って高い所に上がっていくことができる。運動エネルギーが位置エネルギーに変わっている。

図のような振り子の実験を考えてみよう。



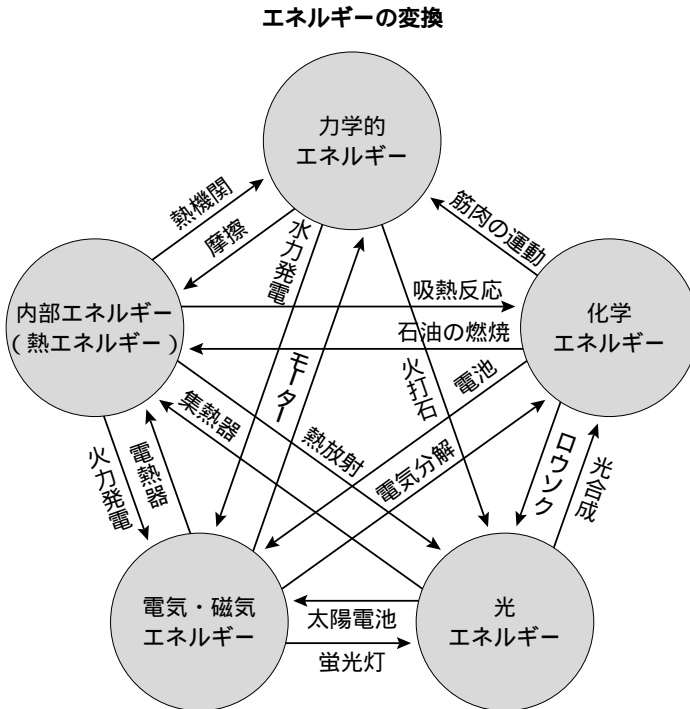
位置エネルギーが摩擦などにより熱などの別の形で散逸せず、運動エネルギーに変わるならば、運動エネルギーも位置エネルギーに完全に变化する。このように運動する振り子は位置エネルギーと運動エネルギーを交互に変換している。位置エネルギーが減少した分、運動エネルギーが増加し、運動エネルギーが減少した分、位置エネルギーが増加している。

このように、エネルギーは変化して他の形態に変化するが、全エネルギー

ギー量は変化しない。**運動エネルギー + 位置エネルギー = 一定**となっている。これを**力学的エネルギー保存則**という。

3.7 エネルギー保存則

エネルギーには他にもさまざまな形態がある。電気エネルギー、運動エネルギー、伸びたばね、圧縮ガスや結合した分子に蓄えられた熱、光のエネルギー、ガソリンや石油のもつ熱エネルギーがある。音や光もエネルギーであり、質量もエネルギーに変換する(原子核のエネルギーなど)である。



エネルギーは変化して、散らばっていく(散逸する)が、エネルギーの**総量は保存される**。これを**エネルギー保存則**という。

エネルギーは、力学的エネルギー、熱エネルギー、電気エネルギー、光のエネルギー、音のエネルギーなど多くのタイプのエネルギーに変換されるが、全エネルギー量は不変である(時間的に一定であり、保存される)。

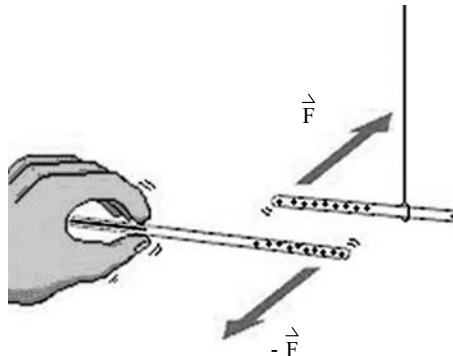
エネルギー保存則は、物質の安定性、時間的に一定の性質、形態と深く関係している。物質の結晶の形などは安定して一定の形を保っている。**対称性**という性質と保存法則とは深い関係があり、科学では、**保存則と対称性**を同様な意味で考える。保存則の性質は、原子の世界から物質、分子、生物、地球、宇宙の問題を理解するために重要なものである。

4 . 電磁気学 Classical Electrodynamics

電気や磁気による現象、及び電気磁気の相互作用を対象とする物理学の学問分野で、力学、熱学とともに古典物理学の第3番目の学問分野である。多くの電気工学系の物理学者により、電気、磁気現象が明らかにされたが、イギリスの物理学者ジェームズ・マクスウェルによって1860年代に一貫した理論体系にまとめられた。

4 .1 クーロンの法則

異なる種類の物体をこすり合わせると電気が生ずる。電気には正と負の電荷があり、同符号の電気は互いに反発し合い(斥力)、異符号の電気は互いに引き合う(引力)。電荷という言葉は、帯電した物体を表わし、大



長さの無視できる点状の電荷を特に、**点電荷**という。

国際単位系では、電流の単位として**アンペア(A)**を使う。1 Aの電流が導線を通れるとき、流れに垂直な断面を1秒間に通過する電荷の大きさを**1クーロン(C)**と定義している。

フランスの物理学者クーロンはこの力を定量的に調べ、1785年、2つの点電荷の間に働く力の大きさは、それらの電荷の大きさに比例し、距離の2乗に反比例することを見出した。

電荷の大きさを q_1, q_2 、距離を r 、力の大きさを F とすれば、

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

である。 $F > 0$ なら斥力、 $F < 0$ なら引力となる。これを**クーロンの法則**という。

$1/4\pi\epsilon_0$ は比例定数であり、 ϵ_0 は真空誘電率という定数である。この定数の大きさは単位系の選び方によって大きさが決められる。電流の単位としてアンペアを用いる MKSA 単位系では、

$$\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2}$$

と与えられる。

電磁気学では、正の点電荷と負の点電荷を考えて、それぞれ正電荷、負電荷という。電子は1個の基本粒子であり、電子1個が持つ電気量は、

$$-e = -1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$$

である。

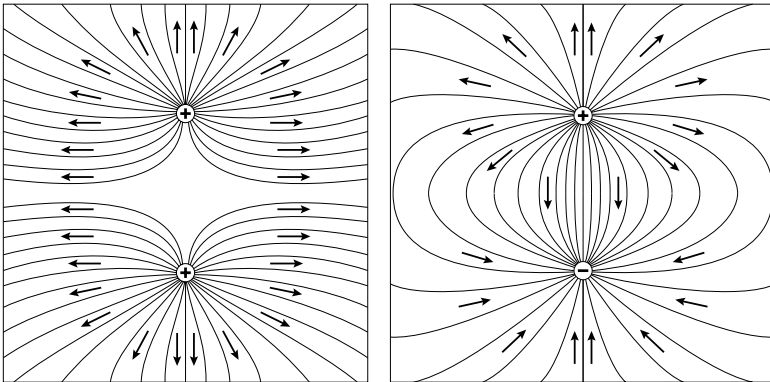
また、力学のセクションで説明したように、力はベクトルであるので電気による力も、ベクトルの合成、分解は、**平行四辺形の法則**により求められる。

4.2 電 場

静電気が発生すると、周辺にある小さな紙片などが引きつけられることは、日常的によく見かけることである。つまり、力がその周りの紙片などに及ぼされて、紙片が動くことになる。

電荷に静電気を及ぼす空間で、図のように+の電荷から-の電荷に向かう力線(電気力線)を考える。このような図で表わされる空間を**電場**、または**電界**という。

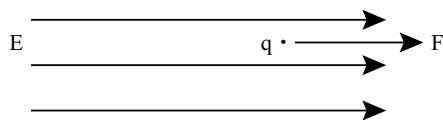
電場の図：電荷と力の作用する向き



電場から受ける力の強さを調べるために、空間に1クーロンの電荷を置いたとして、図のように、力の方向を作図することができる。電場は電荷の大きさに比例することがクーロンの実験よりわかるから、電場をEで表わすと、点電荷qに働く力Fは、

$$F = q \cdot E$$

と表わされる。q=1クーロンとすると、F=Eである。すなわち、電場Eとは1クー



ロンの電荷に働く力の大きさのことであるということになる。

4.3 磁 場

正と負の電荷の間に働く力のように、磁石のN極、S極は互いに力を及ぼす。電荷の場合と異なり、電荷や電子などに対応する磁石の点磁化のようなものは見つかっていない。磁石を細かく分解してもN極とS極に別れたままである。しかし、電荷のようにN極とS極に点磁化があると仮定して、磁化が受ける力の空間を**磁場**、または**磁界**と定義する。磁場の向きはN極からS極へ向かう方向を正の方向とする。

2つの磁化の間に働く力の大きさは、それらの磁化の大きさに比例し、距離の2乗に反比例する。磁化の大きさを q_{m1} 、 q_{m2} 、距離を r 、力の大きさを F とすれば、

$$F = \frac{1}{4\pi\mu_0} \frac{q_{m1}q_{m2}}{r^2}$$

である。磁化が同極のとき $F > 0$ 斥力、異極なら $F < 0$ 引力となる。

$1/4\pi\mu_0$ は比例定数であり、 μ_0 は真空透磁率という定数である。電流の単位としてアンペアを用いるMKSA単位系では、

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N} \cdot \text{A}^{-2}$$

となるように定義されており、このときの磁化の単位をWb(ウェーバー)で表わす。磁化の間に働くクーロン力の式より、 $1 \text{ Wb} = 1 \text{ J} \cdot \text{A}^{-1}$ が成立する。

磁場の強さに関しても同様に、磁場を H で表わすと、点電荷 q_m に働く力 F は、

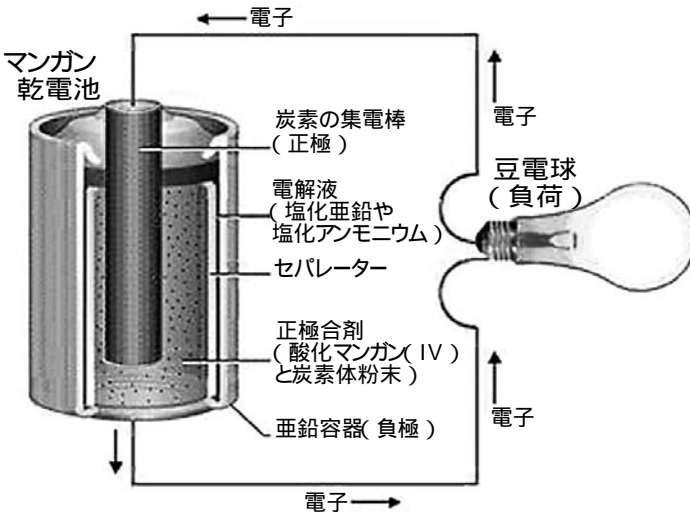
$$F = q_m \cdot H$$

と表わす。 $q_m = 1 \text{ Wb}$ ウェーバーとすると、 $F = H$ である。すなわち、

磁場 H とは 1 ウェーバーの磁化に働く力の大きさのことであるということになる。磁場は磁力線によって表示される。

4.4 電池と電圧、電流

電荷 q が電場から力を受けて動くと、それが電流となる。しかし、日常生活では、電荷を移動させて電流をつくる力としての電場よりも、電圧(V、ボルト)が使用されている。図の電池では、電池が正の電気を押し出して電流を生じさせて、豆電球を光らせる。電池の突起した部分が正の電圧1.5ボルト(V)である(実際は、電子がマイナス側からプラス側へ流れている)。



豆電球などは、一般的に、負荷、または抵抗(Resistance)などと呼ばれているものである。電圧を V 、電流を I 、抵抗を R 、と表わすと、これらの間には、オームの法則が成立している。

$$V = \quad \cdot R$$

電圧 V は、電気における位置エネルギーの大きさを表わす。

例えば、1.5ボルト電池の正極は、負極より1.5ボルト、電気的な位置エネルギーが高いところにあり、正の電荷が高いところから低い所へ流れ落ちるとき電流が生じると考える。

電荷 $q(c)$ を電圧 V まで押し上げるときに必要なエネルギー W は、

$$W = q \cdot V$$

と表わされる。

1クーロンの電荷を電圧1ボルト高いところまで押し上げるのに必要なエネルギーは、

$$W = 1c \times 1v = 1J(\text{ジュール}) \text{である。}$$

ニュートン力学で学んだように、**力 × 距離 = エネルギー** である。従って、電場 E と電圧 V には、簡単な関係が成り立つことが示される。

電場による力は $F = qE$ である。電荷が動いた距離を d と表わすと、**力 × 距離 = W (エネルギー)** より、 $qE \times d = q \times V$ となる。これより、

$$E \cdot d = V$$

となる。これが、電場と電圧の関係である。電場は、 $E = V/d$ (ボルト/m) とも表わされる。

消費電力

日常生活で使用している電気エネルギーの量を表わす単位として、ワット(W)が用いられる。ワット(W)は、1秒間あたりのエネルギー使用量を表わし、**消費電力**(ワット、単位 $W (= \text{ジュール/秒})$)として各家庭

で使用されている。日常生活では、1キロワット(1kW = 1000W)の電力を1時間使用したときのエネルギー量(1kW × 60 × 60秒 = 3600キロジュール)を1kW時とする単位を用いることが普通である。

電力(W)は1秒間あたりのエネルギー消費量である。電気エネルギーは、電気量 q(c)を何 V(ボルト)高いところに押し上げるかにより与えられた(電気エネルギー = q · V)。与えられた電圧 V で、電気量 q(クーロン)が t 秒間流れたとすると、1秒間あたりの電力は、

$$W = (q \cdot V) \div t = \frac{q}{t} \cdot V$$

と書ける。電流 I は、電気量 q の1秒あたりの変化量として定義されるので、

$$= \frac{q}{t} \text{ (クーロン/秒)}$$

である。したがって、電力 W は、電流 I と電圧 V を用いて、

$$W = I \cdot V \text{ ジュール/秒}$$

と表わされる。

日常生活では、各家庭に100vの電圧が供給されていて、100v用の電気器具類が使用されている。100v用60wの電球は、100vのとき60wの消費量があることを表わす。100vのコンセントにつながれると 60w = I · 100v の関係より、0.6Aの電流が流れることが分かる。

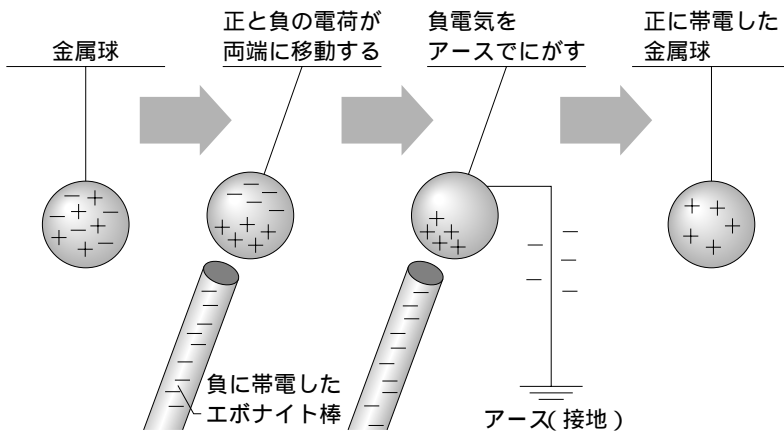
静電誘導

電荷 q が電場や電圧により動いているとき、電流が生じているというのに対して、静止状態の電気を**静電気**という。

図にあるように、導体に帯電した物体を近づけると、導体の表面の帯電体に近い部分に帯電体と異種の電気が生ずる。逆に、帯電体から離れ

た遠い部分の導体の表面には、帯電体と同種の電気が生ずる現象のことを**静電誘導**という。

化学繊維の衣類や電気に対する絶縁性がよくなった建物により、衣類を着替えるときのパチパチと音が鳴る現象や、ドアノブでの感電など静電気現象は日常的なものである。静電気は厄介なものという感じではあるが、コピー機や空気清浄機などは静電気を利用する装置で利用価値もある。自然現象は理解するとうまく役立てることができるものである。

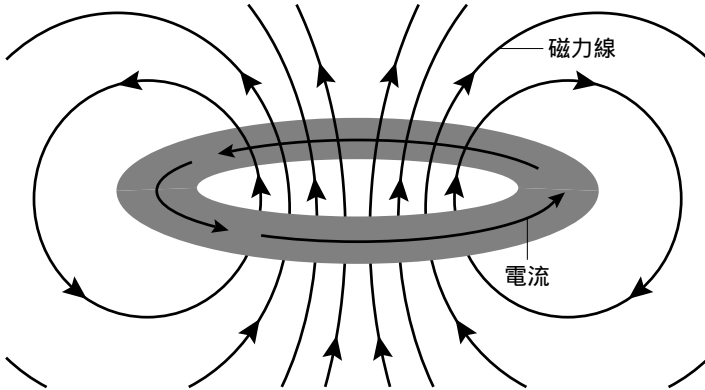


4.5 電磁誘導 (Electromagnetic Induction)

電場は電荷に力を及ぼし電流を生じさせるが、静止している磁石には何の力も及ぼさない。同様に、磁場は、磁石を動かすことができるが、静止した電子を動かすことはできない。電場は静止した電荷 q 、磁場は静止した磁化 q_m だけに力を生じさせる。ところが、電場と磁場には非常に面白い性質があることが多くの物理学、電気工学者等により発見された。

電場と磁場はお互いに独立な空間であるが、電荷が力を受けて電流が生じたり、磁化が動いたりすると、電場と磁場は電流や磁場の変化を通して互いに影響を及ぼす(相互作用する)ようになる。

電磁誘導という現象は、携帯などで日常的に電波を使っている現代のテクノロジーの出発点である。**電波**とは、正式には**電磁波**、電場と磁場の時間的变化により空間を伝わる波のことである。



$$V = -n \frac{d}{dt} = \frac{\text{磁束の変化量}}{\text{時間変化}} \quad (n \text{ はコイルの巻き数})$$

図のように、磁場の様子を目で見えるような形として磁力線で表す。磁力線という曲線として磁場をあらわすとき、**磁力線の集まりを磁束**とよぶ。とくに磁界と電流が関係するときに使われる磁場を**磁束密度**という。

コイルを貫く磁束 が変化するとき、そのコイルに起電力 V が生じ、磁束 の変化を減少させるように起電力 V が生ずる。ファラデーは、閉じた経路に発生する起電力が、その経路の面を通過する磁束の時間的变化、変化率に比例することを発見した。微分を用いて表すと、

$$V = -n \frac{d}{dt}$$

となる。負号、 $-$ は磁束の変化とは逆向きであることを表す。 n はコイルの巻き数を表す。起電力 V と磁束 の時間的变化率に対する関

係式は、**ファラデーの電磁誘導の法則**として知られている。

ファラデーの電磁誘導の法則は、磁場が変化すると電場(電圧)が生じることを示すが、電場が変化するとき(電流が生じるとき)磁場が生じるというように考えることもできる。

4.6 ローレンツ力

電荷が電場 E と磁場 B から受ける力を**ローレンツ力**という。電場 E から受ける力は、電場の方向か反対方向(-q の場合)である。しかし、磁場 B から受ける力は、磁場 B の方向と電荷の速度 V の方向角度 θ に関係していて、磁場 B と速度 V に垂直な方向(右ねじを回すときの方向)となっている(図を参照)。

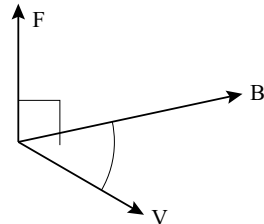
ローレンツ力は、式で書くと

$$F = q(E + VB\sin \theta)$$

となる。

速度 V と磁場 B の方向が同じとき ($\theta = 0$)、 $\sin \theta = 0$ であるから、電荷は磁場方向に力を受けない。速度 V と磁場 B の方向が直角 ($\theta = 90^\circ$) のとき最大 ($\sin 90^\circ = 1$) となる。

正電荷 q の速度の方向が電流の方向となるので、上で述べたローレンツ力は、フレミングの左手の法則として知られているものである。



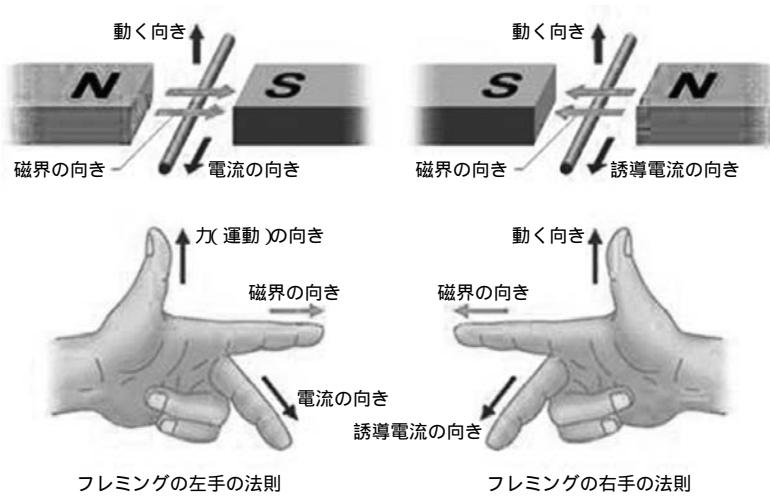
4.7 フレミングの法則

磁界中で電流が流れるとき、導体は力を受けるが、その方向は、左手の親指、人さし指、中指をそれぞれ力、磁界、電流の方向とするような関係にある。

これを「**フレミングの左手の法則**」という。

また、磁界中で導体を動かした場合、導体内にある電荷が動いているとみなせるから、誘導電流が発生する。

その方向は、右手の親指、人さし指、中指をそれぞれ運動(動く向き)、磁界、誘導電流の方向とした関係にある。これを「フレミングの右手の法則」という。これらの法則は、イギリスの物理学者フレミングによって発見された電磁気の基本的な法則の一つである。



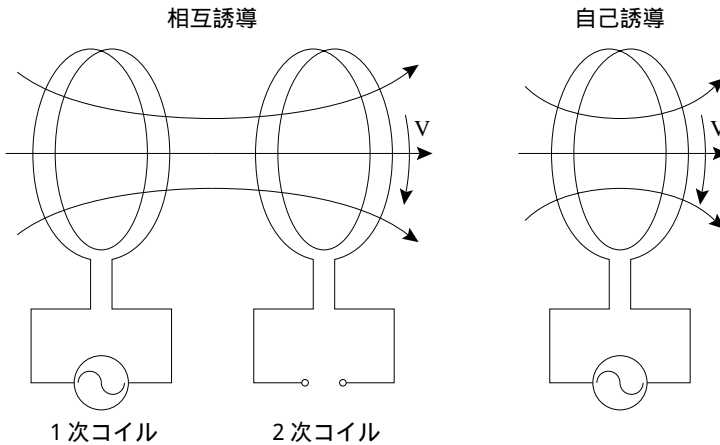
4.8 相互誘導

固定した2個のコイルの一方(1次コイル)に電流を流すと、もう一方のコイル(2次コイル)にも電流が流れる現象を**相互誘導**という。それは、1次コイルに電流が流れ磁場が発生して(電磁誘導)、電流に比例した磁束が2次コイルを貫くことにより起こる。

電磁誘導の法則により2次コイルに起電力が発生するため、1次コイルと2次コイルが離れていて連結していない場合でも電流を起こすことができる。

相互誘導現象により、直接につながっていない離れた回路の間で、電気的信号のやり取りができることになる。

また、コイルに電流をながすと、電流に比例した磁束がコイルを貫き、電流の流れをさまたげる向きに起電力が発生する。この現象を自己誘導という。

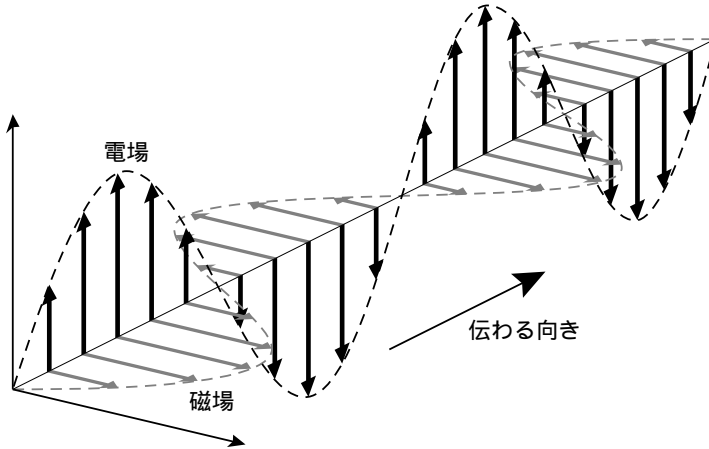


4.9 電磁波と光

多くの電気、磁気現象が発見され、実験的、定量的にも明らかになってくる。これらの電気磁気現象に対して、19世紀の電磁気学にとって決定的な業績をのこしたのは、イギリスの数学者・物理学者マクスウェルであった。

マクスウェルは、ファラデーや多くの科学者の発見による電磁場の実験的研究を数学的にまとめ上げた。電磁気学では、マクスウェル方程式とよばれる電磁場の基礎方程式となっている。

マクスウェルは電磁場の方程式を通して、導線中を通る電流の速度が真空中の光の速度に近いことを発見し、光が電磁波(電波)であることを予言した。



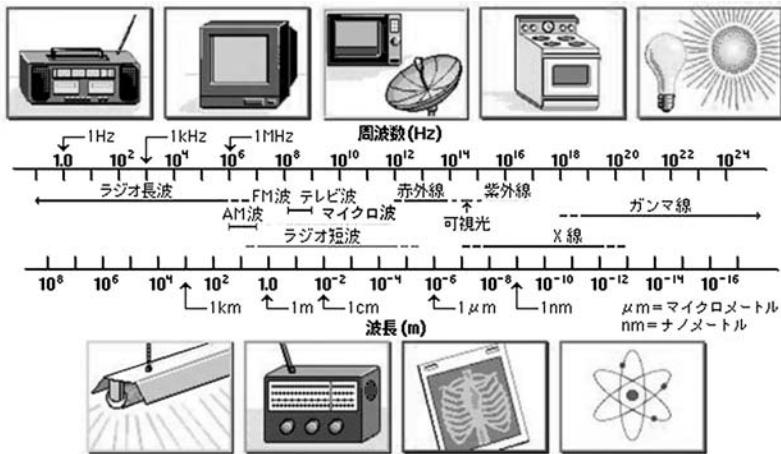
マクスウェルの電磁理論は、ドイツの物理学者ヘルツの研究に影響を与え、光が電磁波であることが明確にされていった。

図に示されているように、電場と磁場は直行して空間中を光の速度で伝わる。音の振動の伝達とは異なり、電波が到達する距離は長い。

イタリアの技術者マルコーニは、電磁理論を基礎にして、無線通信を発明してノーベル賞を受賞している(1909年)。動力源としての電気を利用したのは、アメリカのエジソンやテスラだった。エジソンは、電気録音用機器を開発し、エレクトロニクスへの道を開いた。

電磁波と波長

電磁波は波長や振動数(スペクトル)により分類されている。ラジオ波、マイクロ波、赤外線、可視光、紫外線、X線、ガンマ線などが含まれている。人間の目は電磁波のうちのほんの限られた範囲の光(可視光線)しか感知できない。ラジオ波、マイクロ波は通信用に利用される。X線やガンマ線は、高エネルギーの電磁波であり、物体を透過する。



4.10 エレクトロニクス

電磁気学の理論が精密なものとして完成されると、応用の分野としての電子工学(エレクトロニクス)の分野が目覚ましく発展していく。電子工学の分野では、電子の運動エネルギーや位置エネルギーを利用して各種の信号や情報の発生、電波信号の送受信、記憶などをおこなう素子(デバイス)や、電子回路の設計、開発、利用する電子工学技術などが発展する。

1948年になるとトランジスタが発見されて、真空管からトランジスタに変わり、ミクロの電子技術の時代が開かれて行った。現在では半導体素子が主流である。

半導体からつくられるトランジスタは、小型、低



コスト、低消費電力、および高い信頼性を実現した。

そして半導体技術の進歩につれて集積回路(IC)が登場した。現在では、集積回路は、コンピューターをはじめオーディオ・ビジュアル機器、通信衛星など、エレクトロニクスの全分野で使用されている。

電子回路において真空管の代わりとしていろいろな働きをするトランジスタは、小さな半導体でできた固体素子である。トランジスタは3つの端子をもち、基本的な構成要素のエミッター、コレクター、ベースは三極管と対比される(写真参照)。

トランジスタは、AT&Tのベル研究所でアメリカ人物理学者ウォルター・ブラッテン、ジョン・バーディーン、ウィリアム・ショックレーの3人によって発明された。1956年、この業績により3人はノーベル物理学賞をうけた。

4.11 集積回路

写真は、針の穴に通された集積回路(IC)である。集積回路技術の進展によって、高性能のマイクロプロセッサ(プロセッサは処理装置の総称)には、1,000万以上のトランジスタが形成されている。1970年以降、集積回路はさらに高性能、高速化していく。

集積回路はどこまで高性能で小型化できるのか、原子何個というサイズまで、情報の記憶が技術上可能なのかという問題は興味が尽きないものである。

2000年以降になると、原子の世界を記述する量子力学と情報理論が互



いに影響を及ぼし合うようになっている。**量子情報理論**の可能性が模索されつつある。科学の進歩と可能性は、予想できないほど豊かなものである。それと共に、全世界の社会や環境、人間性なども豊かに発展していくことを願うものである。

Comprehensive Science II

Comprehensive Science Course in College following High School Science

Hiroshi Uechi

Distribution and Communication Sciences, Professor

CONTENTS

1. Introduction
2. The basis of science: physics
3. Classical Mechanics
4. Classical Electrodynamics