

# クーロンの法則 (電荷間に作用する力の法則)

電気情報工学科\* 3年 基礎電気磁気学  
2015年4月21日(火)  
第2回

## 概要

電荷間に作用する力の法則について説明する。

## 1 今日のポイント

空間に電荷が複数個存在するとき、その電荷はお互いに力を及ぼし合う。これはクーロンによって発見された電荷間に作用する力の法則であり、クーロンの法則と呼ばれる。今回の講義ではこの法則が意味するところを理解し、簡単な問題が解けるようになることを目指す。

以下が今日理解すべき重要なポイントである。

- 電荷間に作用する力の大きさが、電荷量とその極性および電荷間の距離に関係していることが理解できる。
- クーロンの法則を言葉と式を用いて表現することができる。
- クーロンの法則と万有引力の法則を比較し、その大きさの違いが実感できる。
- 簡単な演習問題が解ける。

## 2 クーロンの法則

### 2.1 クーロンの法則とは

ある空間に電荷が複数個存在する場合、その電荷はお互いに力を作用しあう。この現象はクーロンによって発見され、**クーロンの法則**と呼ばれている。

クーロンは電荷の性質を理解するために様々な実験を行った。その結果、以下のような法則があることがわかった。

- 2つの電荷の間に働く力の大きさは、電荷の積に比例し、距離の2乗に反比例する。
- 力の方向は、ふたつの電荷を結ぶ直線上にある。電荷の積が負の場合引力で、正の場合斥力となる

この実験結果を数学を使って表現すると、以下のような式の形になる。ただし、電荷と観測点との位置関係は図1に示す体系である。

$$F_{12} = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad (1)$$

ここで、 $k$ は適当な比例係数であり、 $F_{12}$ は電荷量 $Q_1$ の物体が電荷量 $Q_2$ の物体に及ぼす力(単位は[N])、 $r$ は電荷間の距離(単位は[m])である。 $Q_1$ と $Q_2$ の単位はそれぞれ[C]である。

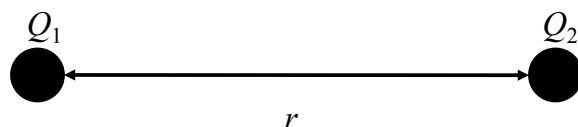


図1: クーロンの法則

#### 2.1.1 練習問題

万有引力と電磁気力はどちらがどのくらい大きいか、ある空間に電子が2個存在し、それらに作用する万有引力の法則とクーロンの法則を比較して考えなさい。ただし、万有引力の法則における係数 $G$ を $G = 6.67 \times 10^{-11}$ 、クーロンの法則における係数 $k$ を $8.99 \times 10^9$ 、電子の質量を $9.11 \times 10^{-31}$ [kg]、電子の素電荷を $1.6 \times 10^{-19}$ [C]とする。

## 2.2 ベクトル (えっ!!今は数学の時間じゃないんですけど,,)

力は、大きさと方向の情報を持つ物理量である。このように大きさと方向の情報を持つ物理量はベクトルを用いて表すと便利である。

ベクトルを書くとき、様々な表記方法があるが、この講義では太字で  $\mathbf{F}$  と表現することにする。

ある空間に電荷量  $q, -q$  という2つの電荷が存在する場合、作用する力はベクトルを用いて図2のように表すことができる。この図において、 $q_1$  と  $q_2$  が持つ電荷の極性は同一であるとし、 $q_1$  が  $q_2$  から受ける力を  $\mathbf{F}_{21}$ 、反対に  $q_2$  が  $q_1$  から受ける力を  $\mathbf{F}_{12}$  と表している。

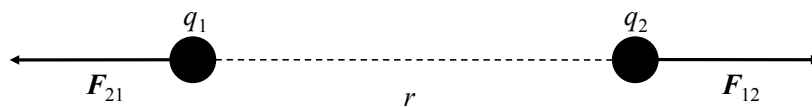


図2: ベクトルによるクーロンの法則の表現

## 2.3 作用・反作用の法則

力学で勉強したとおり、物体に作用する力は作用・反作用の法則を満足する。クーロンの法則も電荷を持った物体に作用する力なので、作用・反作用の法則を必ず満足する。図2の体系を考えると、作用・反作用の法則を満足するための条件は、

$$|\mathbf{F}_{12}| = -|\mathbf{F}_{21}| \quad (2)$$

であり、この関係は厳密に成立している。

## 2.4 重ね合わせの原理

では、より現実的な問題に近づけるため、ある空間に3の電荷がある場合を考える。この場合、力はベクトルを用いて表現できることを考えると、図3に示すように電荷  $q_1$  に作用する力はベクトルの足し算として幾何学的に求めることができる。ただし、図の中に登場する電荷の極性は全て同一として表現している。

電荷  $q_1$  が電荷  $q_2$  から受ける力を  $\mathbf{F}_{21}$  と表現することとすれば、さらに多くの電荷が  $q_3, q_4, q_5, \dots$  というように存在する場合に全ての電荷から受ける力は、

$$\mathbf{F}_{total} = \mathbf{F}_{21} + \mathbf{F}_{31} + \mathbf{F}_{41} + \mathbf{F}_{51} + \dots \quad (3)$$

となる。これは一つ一つの電荷から受ける力ベクトルを透明な板に黒マジックで作図し、全ての板を重ね合わせた図に等しくなる。このことから、この力の合成のことを**重ね合わせの原理**と呼んでいる。

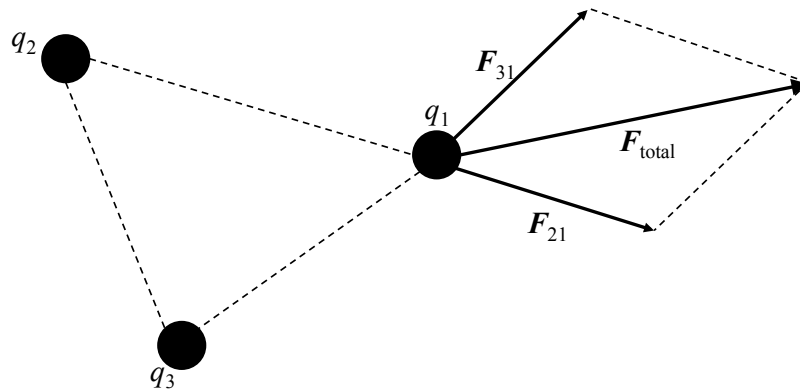


図 3: 重ね合わせの原理

### 2.4.1 練習問題

質量  $m$ 、電荷量  $Q$  をもつ小さな物体 2 個を、それぞれの長さ  $a$  の絶縁糸で同一の点から吊るしたとき、糸の鉛直に対する傾きが  $\theta$  となった。このとき以下の関係が成立することを確かめなさい [2].

ただし、クーロンの法則における係数  $k$  を SI 単位系で  $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$  であるが、今のところこの係数はおまじないだと思っておこう。

$$16\pi\epsilon_0 m g a^2 \sin^3 \theta = Q^2 \cos \theta \quad (4)$$

### 参考文献

- [1] 安達三郎, 大貫繁雄 基礎電気・電子工学シリーズ 1”電気磁気学” 森北出版株式会社
- [2] 山田直平, 桂井誠 ”電気磁気学問題演習詳解” 電気学会大学講座 電気学会