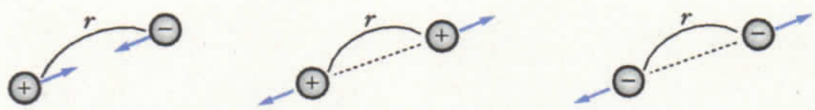
これらを式で表すと

$$F = k\frac{|Q_1||Q_2|}{r^2} \quad [\mathrm{N}] \tag{1·1}$$

となります．ここで，k は比例定数，Q_1，Q_2 は一つめの電荷 1 と，もう一つの電荷 2 の電気量で，r はその二つの電荷の間の距離です．

この式は力の大きさを表していますが，力には向きがあります．向きは，二つの電荷が相互作用する（綱引きするようなもの）ので，それぞれを結ぶ直線に沿った方向となります（**図 1·1**）．電荷がプラスどうし，マイナスどうしなら反発する方向，異なれば引き合う方向となります．これを**クーロンの法則**と呼びます．



(a) 引力　(b) 斥力

図 1·1■電荷に働くクーロン力（引力と斥力）

今後の便利性から，k を $1/4\pi\varepsilon_0$ とし，以下の式で表しておきましょう（その理由は次節でわかります）．

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{|Q_1||Q_2|}{r^2} \tag{1·2}$$

ここで，ε_0 は**真空の誘電率**と呼ばれる定数で，その値は，8.854×10^{-12} F/m となります．誘電率の意味，真空ではない場合の取り扱いなどは，6 章で学びましょう．

例題 2

1 C と −3 C の点電荷が距離 0.1 m 離れて置かれているとき，両者に働く力を求めよ．

解答　ここでは，力の大きさを，式(1·2)を使って求めますので，電気量は絶対値を計算します．

$$F=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{|Q_1||Q_2|}{r^2}=\frac{1}{4\times3.14\times8.854\times10^{-12}}\frac{1\times3}{0.1^2}$$
$$=2.7\times10^{12}\ \text{〔N〕}$$

電荷の符号が異なるので，引力が働くことになります．

非常に大きな力となっていることがわかります．

より正確には，力の向きを含めて，ベクトル（大きさと方向をもつ量）で表す方が便利です（**図1·2**）．

その場合，式(1·2)は以下のように書けます．

$$\boldsymbol{F}_1=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1Q_2}{r^2}\boldsymbol{a}_{21}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1Q_2}{r^2}\frac{\boldsymbol{r}_{21}}{r}\qquad(1\cdot3)$$

ここで，$\boldsymbol{F}_1$ は電荷1が受ける力であり，$\boldsymbol{a}_{21}$ は電荷2から1までを結ぶベクトルの単位ベクトルです．$\boldsymbol{r}_{21}$ は電荷2から1までを結ぶベクトルであり，これをベクトルの大きさ r で割ることで，$\boldsymbol{a}_{21}$ を書き換えています．

電荷2が受ける力（$\boldsymbol{F}_2$）は，式中1,2を入れ替えるだけです．

$$\boldsymbol{F}_2=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1Q_2}{r^2}\boldsymbol{a}_{12}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1Q_2}{r^2}\frac{\boldsymbol{r}_{12}}{r}\qquad(1\cdot3)'$$

ベクトルは逆方向となり，お互いの電荷は逆方向へ力を受けることを示しています．

作用と反作用の関係になります．

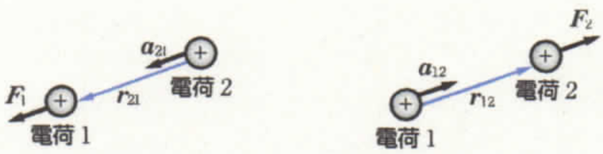


図1·2　クーロン力（ベクトルによる表記）

例題3

直角座標軸上，点 P_1 $(a, a, 0)$ に電荷 Q_1 〔C〕が，点 P_2 $(0, 0, z)$ に電荷 $-Q_2$ 〔C〕が存在する．それぞれの電荷が受ける力をベクトルで求めよ．

解答　式(1·3) $\boldsymbol{F}_1=\dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{Q_1Q_2}{r^2}\dfrac{\boldsymbol{r}_{21}}{r}$ と式(1·3)′ $\boldsymbol{F}_2=\dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{Q_1Q_2}{r^2}\dfrac{\boldsymbol{r}_{12}}{r}$ を使いましょう．

$$r=\sqrt{(a-0)^2+(a-0)^2+(0-z)^2}=\sqrt{2a^2+z^2}$$

$$\boldsymbol{r}_{21}=(a-0)\,\boldsymbol{a}_x+(a-0)\,\boldsymbol{a}_y+(0-z)\,\boldsymbol{a}_z=a\boldsymbol{a}_x+a\boldsymbol{a}_y-z\boldsymbol{a}_z$$

$$\boldsymbol{r}_{12}=(0-a)\,\boldsymbol{a}_x+(0-a)\,\boldsymbol{a}_y+(z-0)\,\boldsymbol{a}_z=-a\boldsymbol{a}_x-a\boldsymbol{a}_y+z\boldsymbol{a}_z$$

となるので，式(1·3)，式(1·3)′に代入して，

$$\boldsymbol{F}_1=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1(-Q_2)}{(\sqrt{2a^2+z^2})^2}\frac{a\boldsymbol{a}_x+a\boldsymbol{a}_y-z\boldsymbol{a}_z}{\sqrt{2a^2+z^2}}=\frac{Q_1Q_2(-a\boldsymbol{a}_x-a\boldsymbol{a}_y+z\boldsymbol{a}_z)}{4\pi\varepsilon_0(2a^2+z^2)^{3/2}}\ \text{〔N〕}$$

$$\boldsymbol{F}_2=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1(-Q_2)}{(\sqrt{2a^2+z^2})^2}\frac{-a\boldsymbol{a}_x-a\boldsymbol{a}_y+z\boldsymbol{a}_z}{\sqrt{2a^2+z^2}}=\frac{Q_1Q_2(a\boldsymbol{a}_x+a\boldsymbol{a}_y-z\boldsymbol{a}_z)}{4\pi\varepsilon_0(2a^2+z^2)^{3/2}}\ \text{〔N〕}$$

まとめ

クーロンの法則

電気量 Q_1 と Q_2 の二つの点電荷が距離 r 離れて置かれているとき

① 電荷の間には以下の力(クーロン力)が働く．

$$F=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{|Q_1Q_2|}{r^2}$$

② 力の向きは，電荷の符号が等しければお互い反発する方向，電荷の符号が異なれば，お互いに引っ張り合う方向となる．

これらを，ベクトルを用いて式で表すと

$$\boldsymbol{F}_1=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1Q_2}{r^2}\boldsymbol{a}_{21}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1Q_2}{r^2}\frac{\boldsymbol{r}_{21}}{r}$$

$$\boldsymbol{F}_2=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1Q_2}{r^2}\boldsymbol{a}_{12}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1Q_2}{r^2}\frac{\boldsymbol{r}_{12}}{r}$$

となる．