

# 第2章 静電場

# 2.1 クーロン (Coulomb) の法則

## 2.1.1 電荷

- 電氣的な力は「電荷」を持つ物質の間に働く。
- 電荷には正と負があり，同じ符号の電荷 (を持つ物質) どうしには斥力，異なる符号の電荷間には引力が働く。
- 電荷の単位

(1)  $C$  (クーロン)  $\equiv A \cdot s$  (アンペア・秒).

A(アンペア) は電流の単位。(その定義は第3章で.)

- 素電荷 (電気素量):  $e$

(2)  $e \equiv | \text{電子の電荷} | \simeq 1.602 \times 10^{-19} C.$

物質のミクロに見ると，電子 ( $-e$ )，陽子 ( $e$ )，中性子 ( $0$ ) から出来ていることを反映。

## 2.1.2 この講義で用いる単位系

国際単位系 (SI, MKSA 有理単位系)

長さ: m(メートル), 質量: kg(キログラム), 時間: s(秒),  
電流: A(アンペア).

## 2.1.3 クーロンの法則

- 互いに静止している2つの(点)電荷の間に働く力。(真空中)

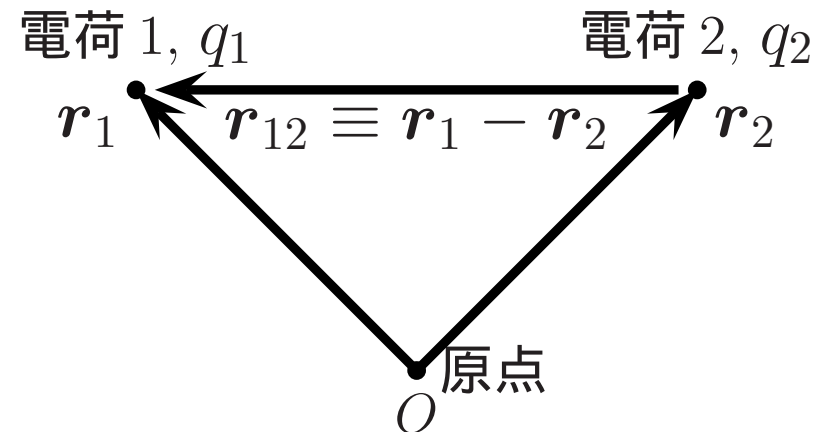
それぞれの電荷の大きさに比例, 電荷間の距離の2乗に反比例.

$$\mathbf{r}_1 = (x_1, y_1, z_1), \quad \mathbf{r}_2 = (x_2, y_2, z_2),$$

$$\mathbf{r}_{12} \equiv \mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2, \quad r_{12} \equiv |\mathbf{r}_{12}|,$$

$$\hat{\mathbf{r}}_{12} \equiv \mathbf{r}_{12}/r_{12}$$

( $\mathbf{r}_{12}$  方向の単位ベクトル).



注) 太字 ( $\mathbf{r}$  など) はベクトルを表す.

## 電荷 1 が電荷 2 から受ける力

$$(3) \quad \mathbf{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \hat{\mathbf{r}}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{|\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2|^3} (\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2).$$

## 電荷 2 が電荷 1 から受ける力 ( $\mathbf{r}_{21} \equiv \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1 = -\mathbf{r}_{12}$ )

$$\mathbf{F}_{21} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2 q_1}{r_{21}^2} \hat{\mathbf{r}}_{21} = -\mathbf{F}_{12}. \quad (\text{作用反作用の法則})$$

### ○ $\epsilon_0$ : 真空の誘電率

$$(4) \quad \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 10^{-7} c^2, \quad c \equiv \text{光速} \equiv 2.99792458 \times 10^8 \text{ m/s}.$$

注)  $c$  の値は厳密 . (これが長さ m を定義している .)

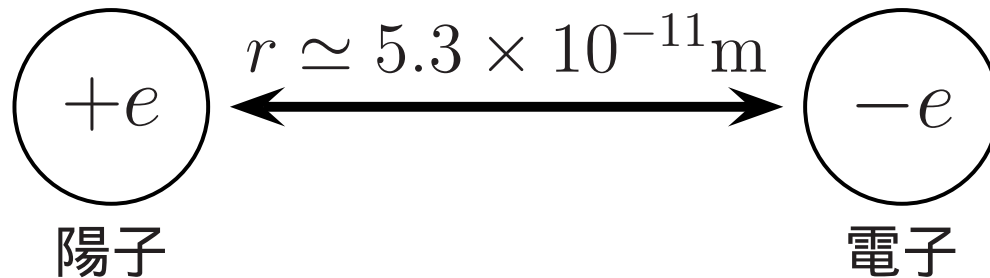
$$(5) \quad \epsilon_0 = 8.854 \dots \times 10^{-12} \text{ C}^2 / (\text{N} \cdot \text{m}^2).$$

## ● 重力との比較

質量  $m_1$  と  $m_2$  の間に働く引力

$$(6) \quad F_N = G_N \frac{m_1 m_2}{r_{12}^2}, \quad G_N \simeq 6.7 \times 10^{-11} \text{ m}^3 / (\text{kg} \cdot \text{s}^2).$$

○ 例：水素原子



$$(7) \quad |F_C| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2} \simeq \boxed{\phantom{000000}} \text{ N.}$$

$m_p \simeq 1.7 \times 10^{-27} \text{ kg}$  (陽子の質量) ,  $m_e \simeq 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$  (電子の質量)  
を用いると ,

$$(8) \quad |F_N| = G_N \frac{m_p m_e}{r^2} \simeq 4 \times 10^{-47} \text{ N.}$$

すなわち， $|F_C| \gg |F_N|$  .

ミクロなスケール (原子，分子) では，クーロン力が重要で，重力は無視してよい .

しかし，マクロなスケール (天体) では，重力が支配的となる . ほとんどの物質では正負の電荷が正確に打ち消し合っていて，マクロに見ればクーロン力は働かないからである .

- 対称性

原点に電荷  $q_0$  を置き，点  $r$  に電荷  $q$  を置く .

$q_0$  が  $q$  におよぼす力は，

$$(9) \quad \mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_0 q}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

力は常に動径方向を向き，その大きさは  $r$  のみの関数 . (中心力)

⇒ 点電荷による力は球対称 . (特別な方向が無い . 回転対称 .)

