

目次

第 1 章	電界と電気力線	3
1.1	電界の定義	4
1.2	点電荷の作る電界の重ね合わせ	4
1.3	電界の性質のまとめ	5
1.4	電気力線	6

v1.1, Nov.2019

1.1 電界の定義

クーロンの法則は次式 (1.1) で与えられた。

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qq}{r^2} \hat{r} \quad (1.1)$$

ここで、 \hat{r} は電荷 Q [C] から電荷 q [C] に向かう単位ベクトルを示す*1。また、 r は電荷から観測点までの距離 [m] を示し、 $1/4\pi\epsilon_0$ は SI 有理単位系で決められた比例定数である。ここで、

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \hat{r} \quad (1.2)$$

と置くと、式 (1.1) は次式 (1.3) となる。

$$\vec{F} = q\vec{E} \quad (1.3)$$

式 (1.3) において、 $q = 1$ とするとクーロン力 \vec{F} と電界 \vec{E} は一致する。即ち、電界 \vec{E} は単位電荷 $q = +1$ C に働くクーロン力 \vec{F} に等しい。一方、地上で質量 m [kg] の物体にはたらく重力を表す次式

$$\vec{F} = m\vec{g} \quad (1.4)$$

と対比させて考えると、重力加速度 g は単位質量 $m = 1$ kg に働く重力に等しい。式 (1.3) と式 (1.4) を対比させて考えると、電界は重力加速度と同じ扱いとして捉えればよい。質量を持った物体が重力場 g で加速されるように、電荷を持った粒子は電場 E で加速される。このイメージを図 1.1 に示す。



図 1.1 電気力と重力の類似性

1.2 点電荷の作る電界の重ね合わせ

式 (1.2) は単独電荷 Q [C] が距離 r [m] 離れた位置に作る電界である。もしも、複数の電荷 $Q_i (i = 1, 2, \dots)$ が存在するとき、任意の電界/電場は点電荷が作る電界の重ね合わせで表現される。例えば、図 1.2 左に示すように電荷が 2 つの場合、観測点 P の電界は

$$\vec{E}_P = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 \quad (1.5)$$

となるので、式 (1.2) を使うと式 (1.5) は

$$\vec{E}_P = \sum_{i=1}^2 \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_i}{r_i^2} \hat{r}_i \quad (1.6)$$

*1 $Q < 0$ なら、 $|Qq| > 0$ と置くことで電荷 q から電荷 Q に向かう単位ベクトル ($-\hat{r}$) になる。

となる。同様にして、図 1.2 右に示すように電荷が 4 つの場合は

$$\vec{E}_P = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \vec{E}_4 \quad (1.7)$$

であるから、式 (1.2) を使うと

$$\vec{E}_P = \sum_{i=1}^4 \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_i}{r_i^2} \hat{r}_i \quad (1.8)$$

となる。さらに一般化して、電荷が N 個の場合は

$$\vec{E}_P = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \cdots + \vec{E}_N \quad (1.9)$$

となるから、

$$\vec{E} = \sum_i \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_i}{r_i^2} \hat{r}_i \quad (1.10)$$

となる。ここで、 \hat{r} は i 番目の電荷から観測点に向かう単位ベクトル、 r_i は i 番目の電荷 Q_i から観測点までの距離 [m] を示す。

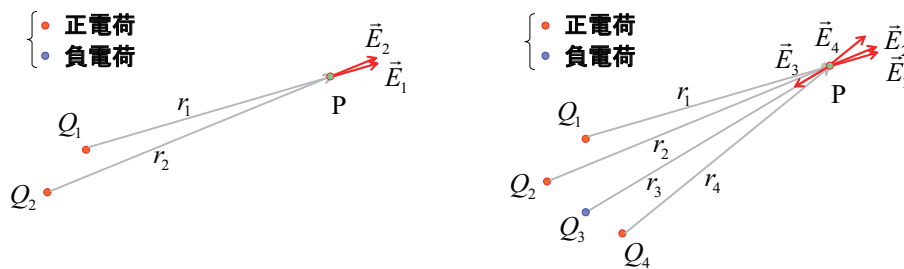


図 1.2 点電荷のつくる電界の重ね合わせ

1.3 電界の性質のまとめ

電界についてまとめると以下ようになる。

1. 電界は単位電荷 +1 C に働く力に等しい。
2. 電界の強さは、着目している電荷からの距離 r と電荷の大きさ Q に依存する。
3. 電荷から等しい距離であれば、電界の強さはどの場所でも同じ大きさとなる。
4. 電荷から観測点までの距離を r とすると、電界の大きさは $1/r^2$ に比例する。
5. 電荷 $Q > 0$ ならば、電界の方向はその電荷を中心として放射状に外向きに広がる。
6. 電荷 $Q < 0$ ならば、電界の方向はその電荷を中心として放射状に内向きに収束する。
7. 複数の電界（単位電荷に働く力）があるとき、重ね合わせ（ベクトルの合成）が適用できる。

図 1.3 に点電荷が作る電界の重ね合わせのイメージを示す。左上は正電荷 $+Q$ 単独，中央上は 2 つの正電荷 $+Q$ ，右上は 5 つの正電荷 Q ，左下は負電荷 $-Q$ 単独，中央下は正電荷 Q と負電荷 $-Q$ ，右下は 5 つの正電荷 $+Q$ と 5 つの負電荷 $-Q$ の重ね合わせを示している。

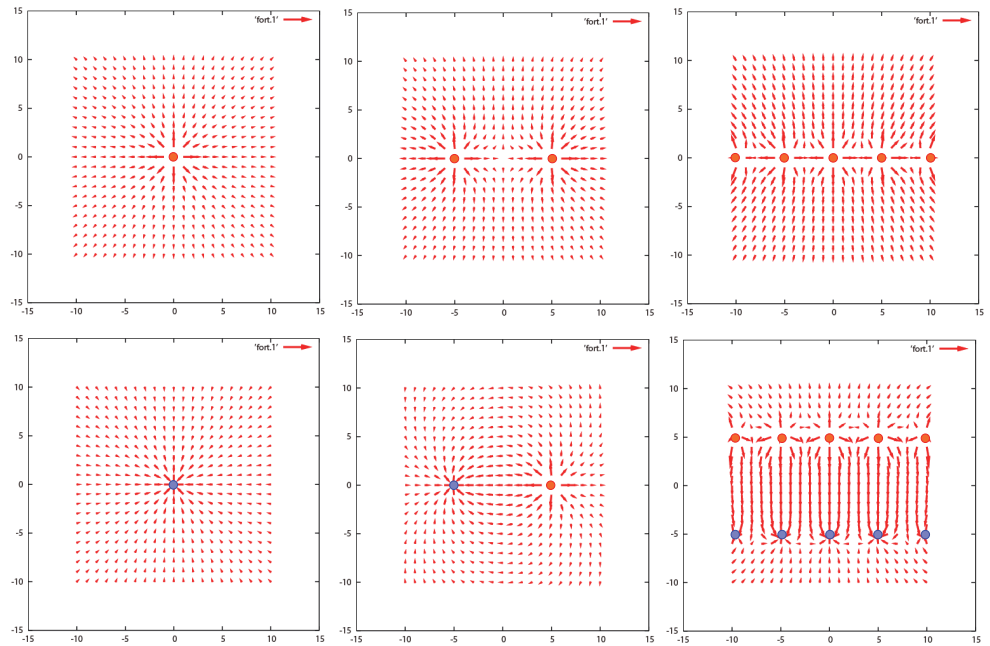


図 1.3 点電荷のつくる電界

1.4 電気力線

電界は連続したベクトル量なので、ベクトルの方向に沿って電界を繋ぎ合わせると1本の流線を描くことができる。これを電気力線と呼ぶ。電界が強い場所は電気力線の密度が濃くなり、電界が弱い場所では電気力線の密度が薄くなる。電気力線の性質をまとめると以下のようなになる。

1. 電気力線は正電荷から始まり（出発）、負電荷で終わる。もしも単独の種類電荷だけならば、電気力線は無限遠で始まるか無限遠で終わる。
2. 電気力線は正電荷に働く力の方向を示している。即ち、電界の方向を示している。矢印は力（電界）の方向を示すのに役立っている。
3. 電気力線は仮想的な線であり、その目的は電界の視覚化である。
4. 電気力線の密度 [本数/m²] は、電界 E の強さで定義される。即ち、断面積 S [m²] を貫く電気力線の本数は $N = ES$ で与えられる。

図 1.4 および、図 1.5 に点電荷が作る電気力線の幾つかの例を示す。図 1.4 は左から電気双極子、4重極、8重極の電荷が作る電気力線を示している。電荷の値は $Q = \pm 1$ C であり、電荷は原点を中心とした半径 1 m の円周上に配置されている。図 1.5 は、図 1.4 左上のモデル図において、電荷の値を図中の値に変更したものである。

■

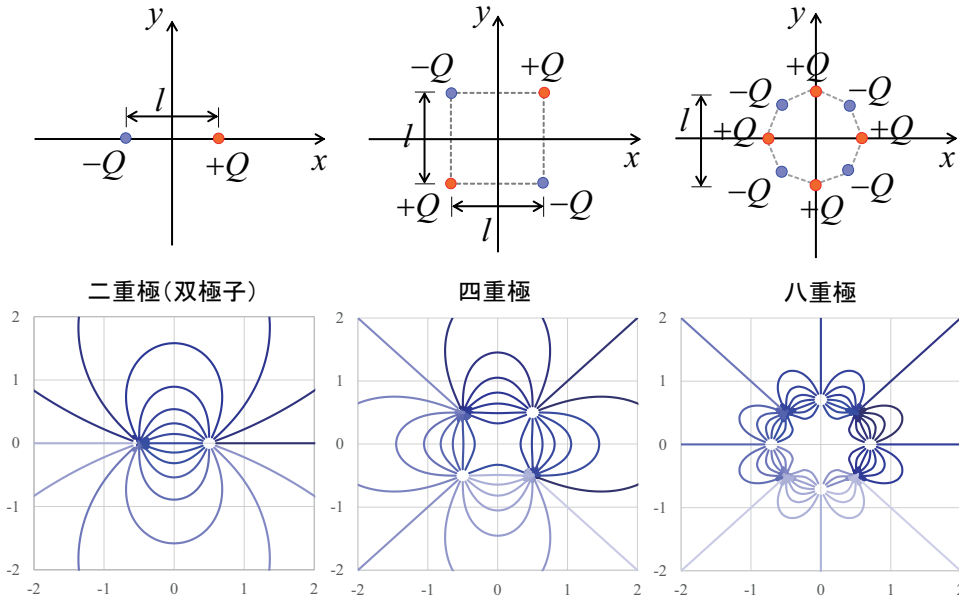


図 1.4 点電荷のつくる電界 1

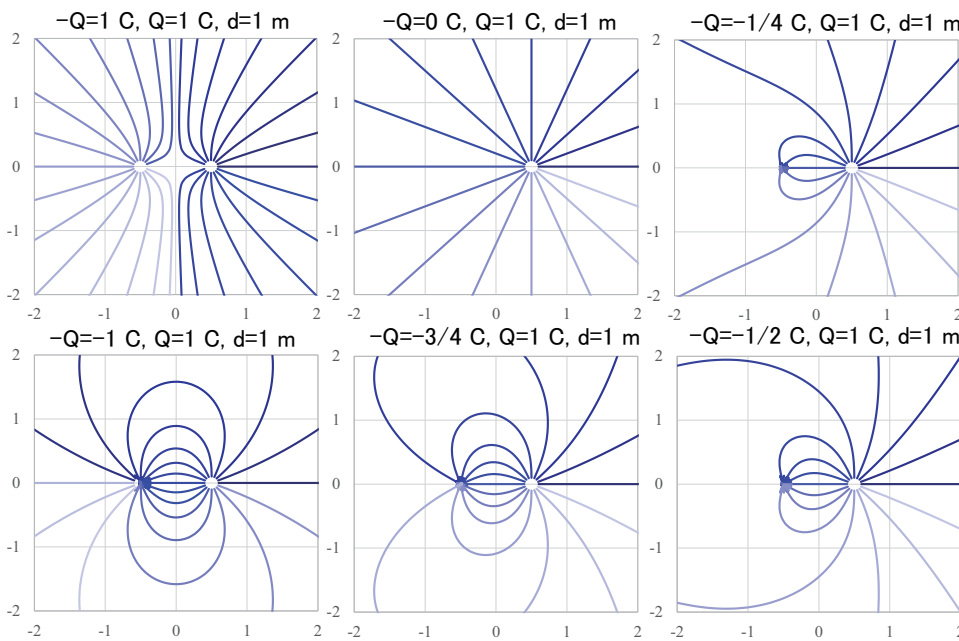


図 1.5 点電荷のつくる電界 2