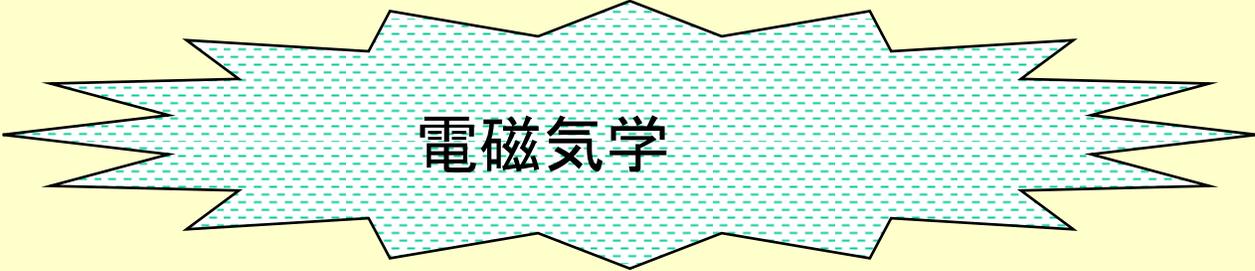


# 電磁気学の学習

- 電気現象, 磁気現象・・・目に見えないが我々の世界を作る重要な力
- 場 (Field) の概念 → 電場、磁場  
(電界、磁界)
- 基本法則 → 4つのMaxwell 方程式

# 電気現象



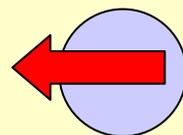
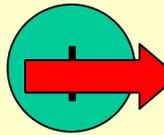
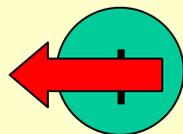
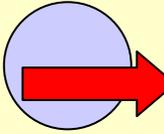
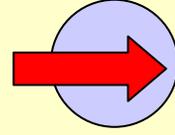
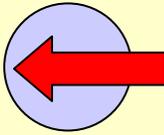
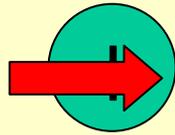
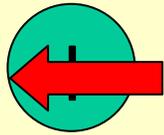
## 電磁気学



工学院大学の学生のみ利用可：印刷不可：再配布不可 (C)加藤潔 2006

# クーロンの法則

- 電荷と電荷の間に力が働く
- 電荷  $q$  単位[C] クーロン
- 電荷には2種類ある。→  $+$ と $-$
- 同符号 = 反発力、異符号 = 引力。



掛け算の規則  
(中学:負の数)

$$2 \times 3 = 6$$

$$(-2) \times 3 = -6$$

$$2 \times (-3) = -6$$

$$(-2) \times (-3) = 6$$

$F$  は  $q_1 q_2$  に比例

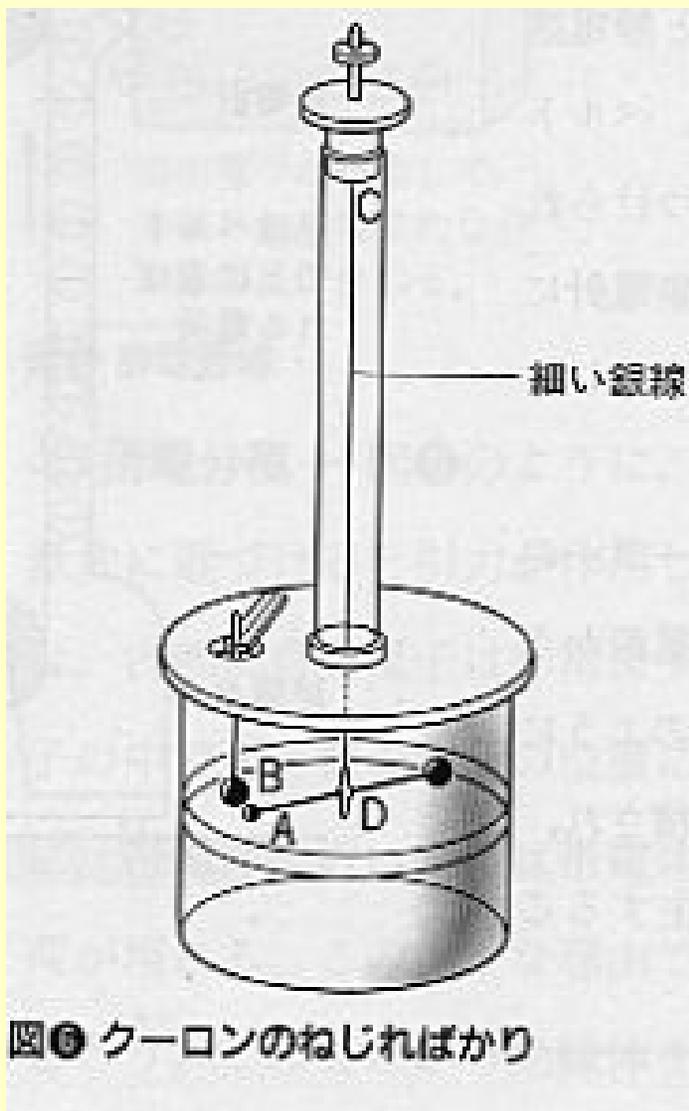
## 電氣的な力の大きさ



近いと力が強い



遠いと力が弱い

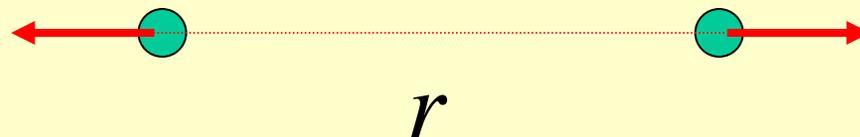


図⑥ クーロンのねじればかり

距離依存性

→測定

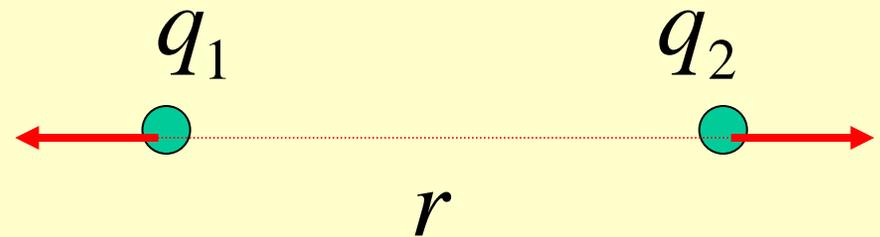
力の大きさ  $\frac{1}{r^2}$  に比例



# クーロンの法則

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

向きは電荷と  
電荷を結ぶ方向



ポテンシャルエネルギー

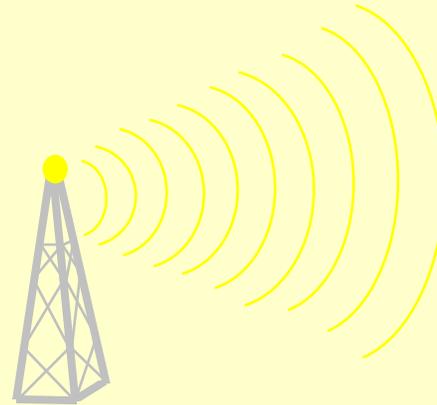
$$U = k \frac{q_1 q_2}{r}$$

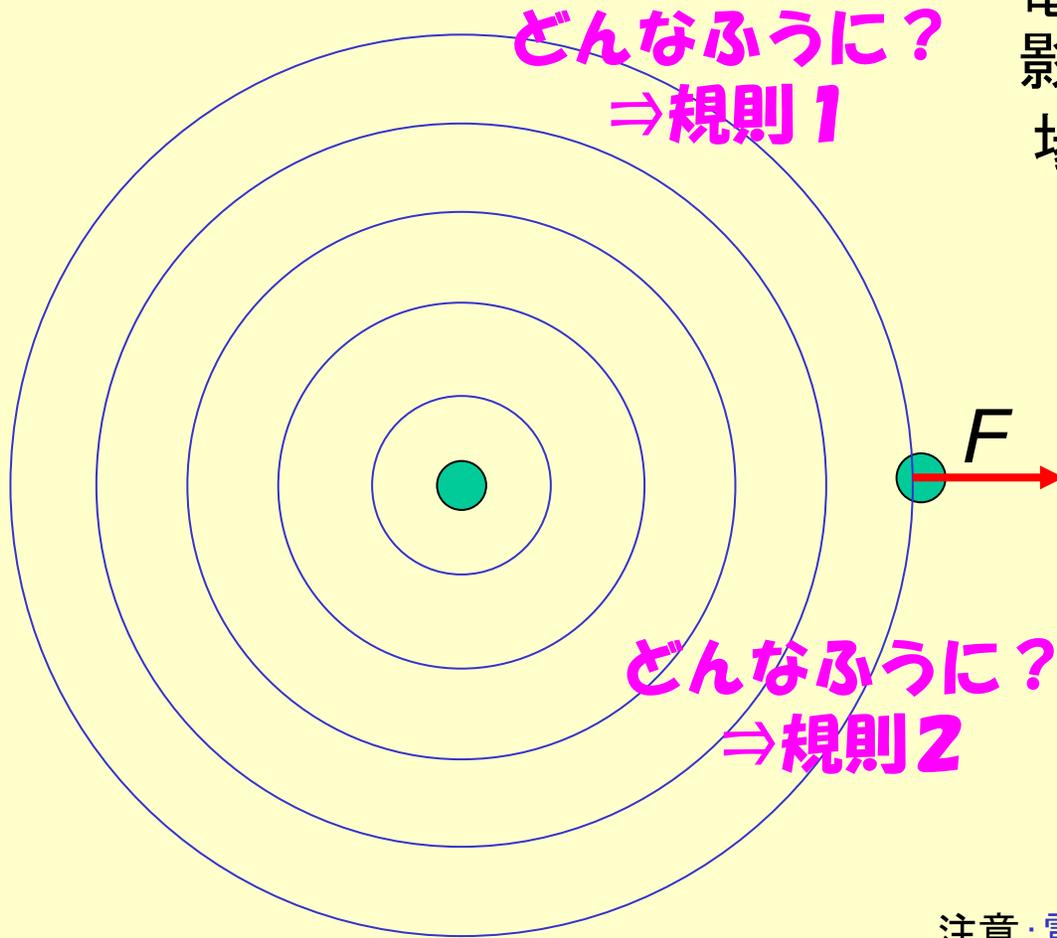
比例係数

$$k = 9.0 \times 10^9 [\text{Nm}^2 / \text{C}^2]$$

# 場 (Field) : 現代物理学の中核的概念

- 力は場である
- 場は実在である





どんなふうにな?  
=>規則1

どんなふうにな?  
=>規則2

電荷から、電氣的な  
影響力の勢力圏(電  
場:青円で表示)が  
広がっていく

もう1つの電荷は  
自分の位置の電  
場から力を受ける

注意:電荷はお互いに対等なので、  
右と左の電荷の役割を逆にして考  
えてもよいので、お互いに力が働く

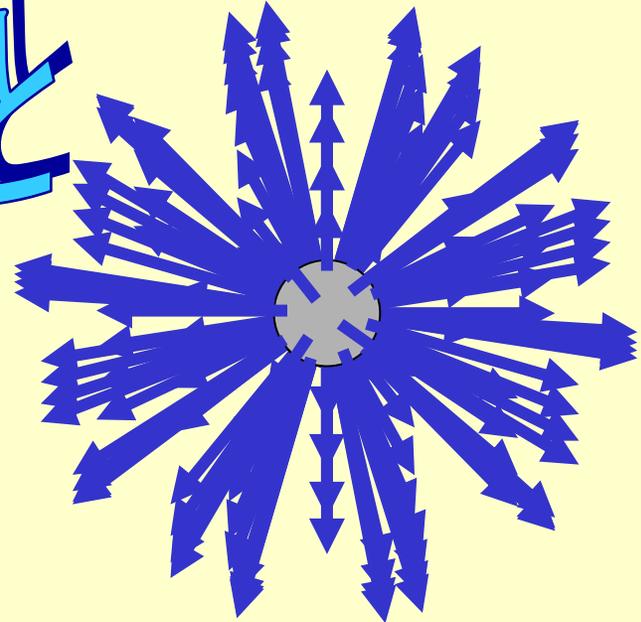
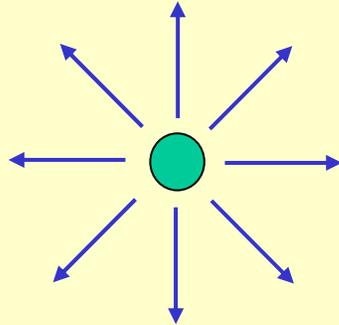
# [規則1] 点電荷の作る電場

電荷  $q$  が原点にあるとき

$$\vec{E} = \begin{cases} \text{大きさ} & k \frac{q}{r^2} \\ \text{向き} & \text{電荷から放射状} \end{cases}$$

# 3次元的に考えること

イメージ  
栗のイガ  
ウニの棘



$$\vec{E} = \begin{cases} \text{大きさ} & k \frac{q}{r^2} \\ \text{向き} & \text{電荷から放射状} \end{cases}$$

## [規則2] 電場による力

$$\vec{F} = q \vec{E}$$

電荷 $q$ に働く力

電場はベクトル場

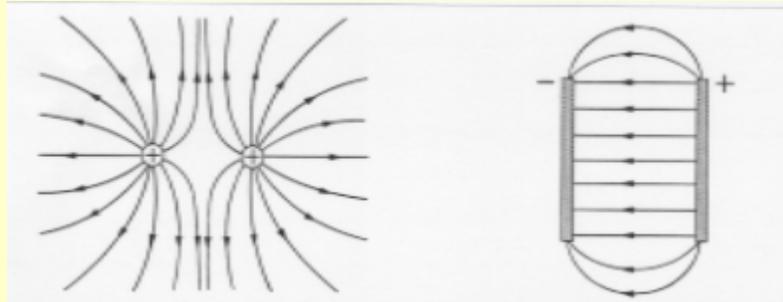
単位  $V/m$  ( $=N/C$ )

# 電場の様子



正電荷

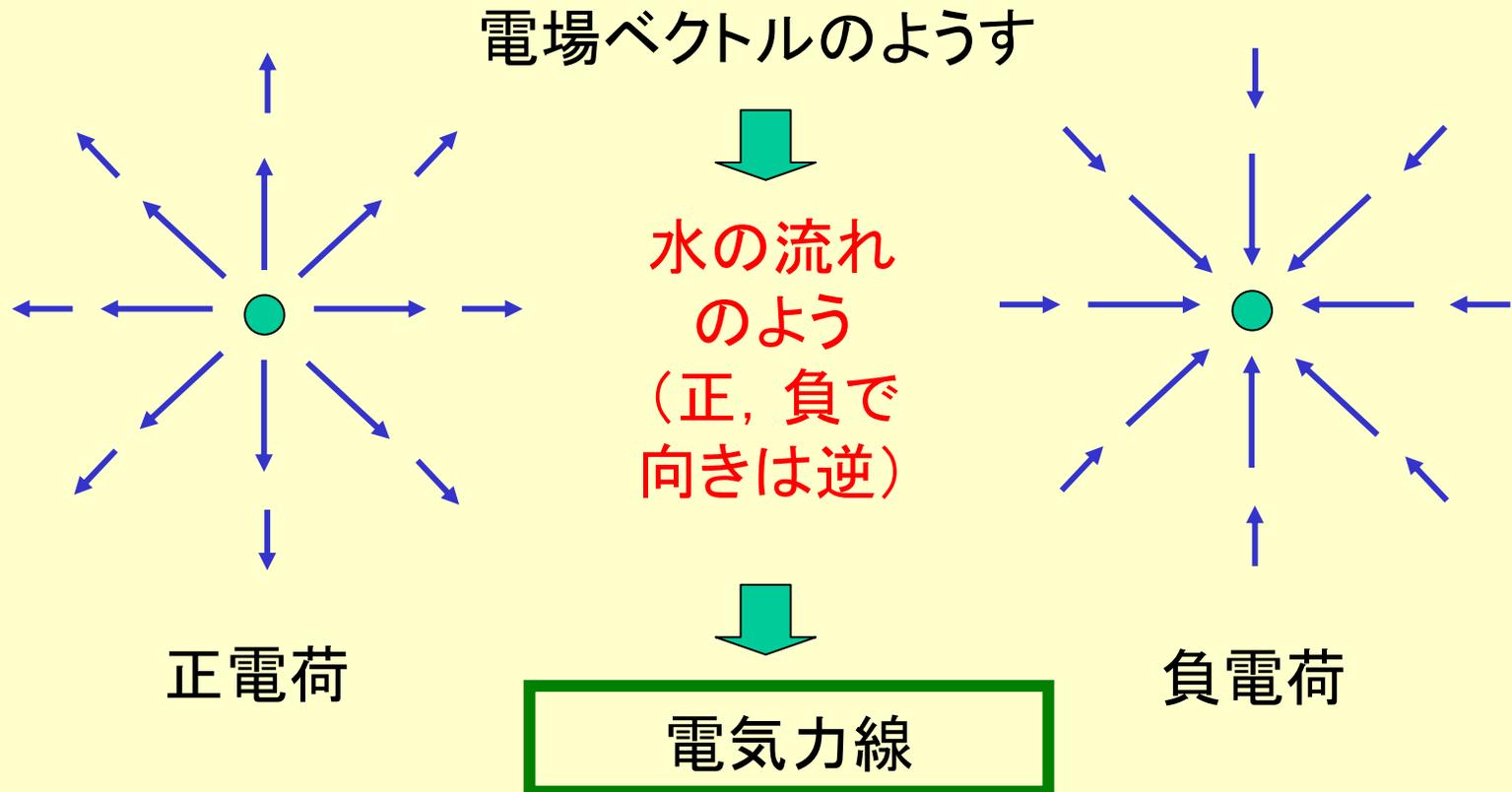
正電荷と負電荷



正電荷2個

2つの導体板

# 電気力線



# ガウスの法則

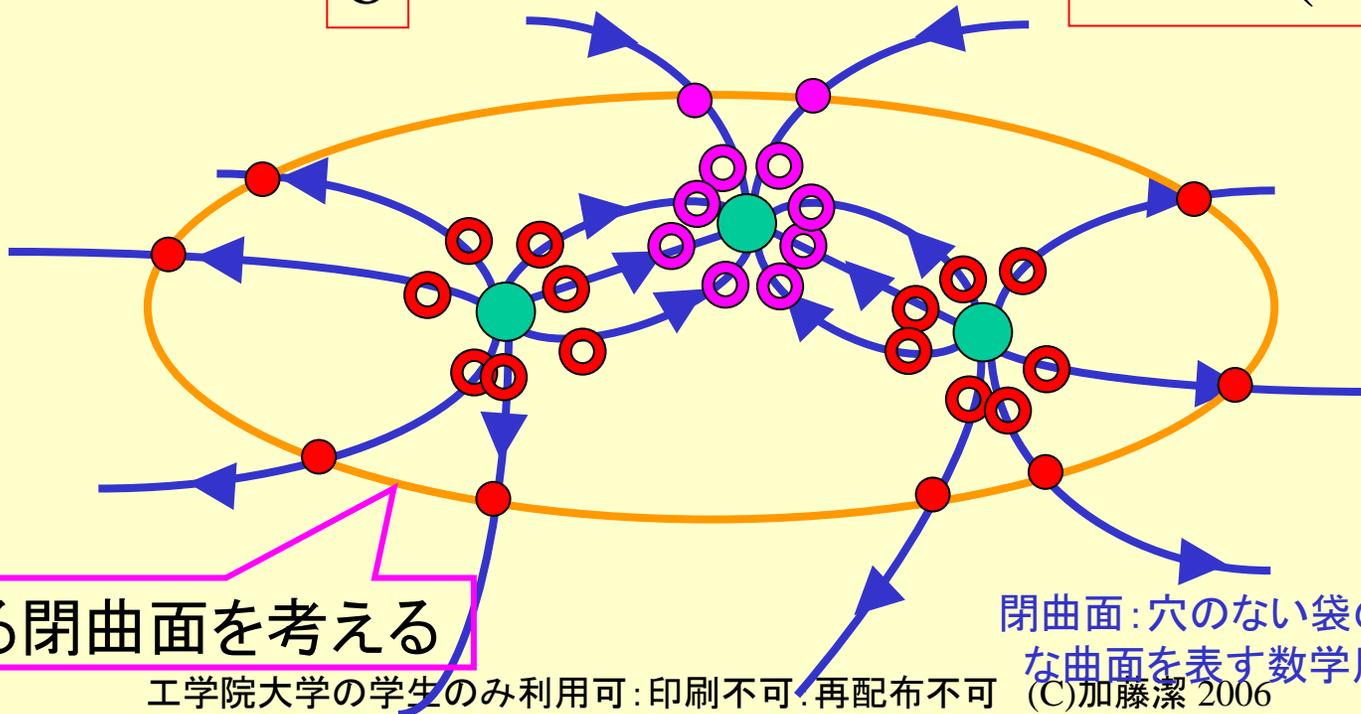
閉曲面を外向きに通  
り抜ける力線の数

6

⇔  
等しい

電荷から生じ  
る力線の数

$$7 + 7 + (-8) = 6$$



ある閉曲面を考える

閉曲面: 穴のない袋のよ  
うな曲面を表す数学用語

# ガウスの法則

任意の電荷分布, 任意の閉曲面について

閉曲面の表面を横  
切る電気力線の量

=

閉曲面の内部の電荷か  
ら生じる電気力線の量

電場

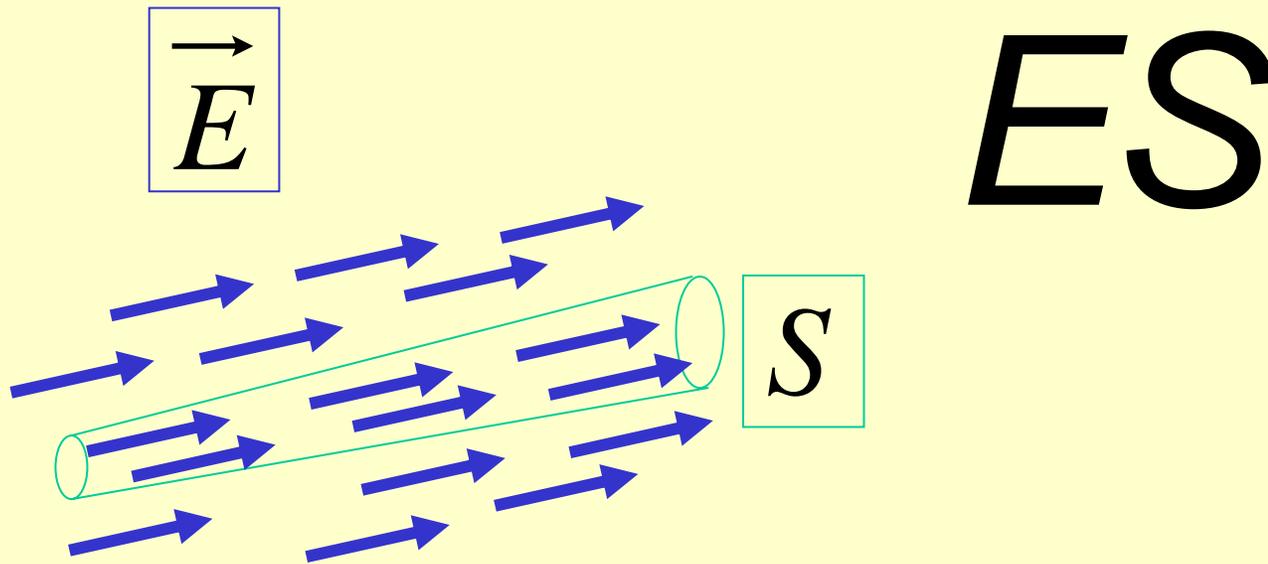
←関係→

電荷

電気現象の  
基本量

電場の源

# 電気力線の量



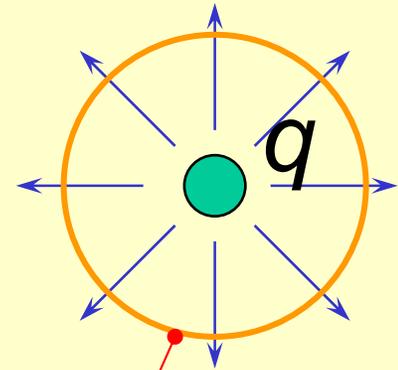
# 電気力線の量: 1つの電荷

電気力

幾何学

$$ES = k \frac{q}{r^2} \times 4\pi r^2 = 4\pi kq$$

一定の値



半径rの球面

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

真空誘電率

$$ES = \frac{q}{\epsilon_0}$$

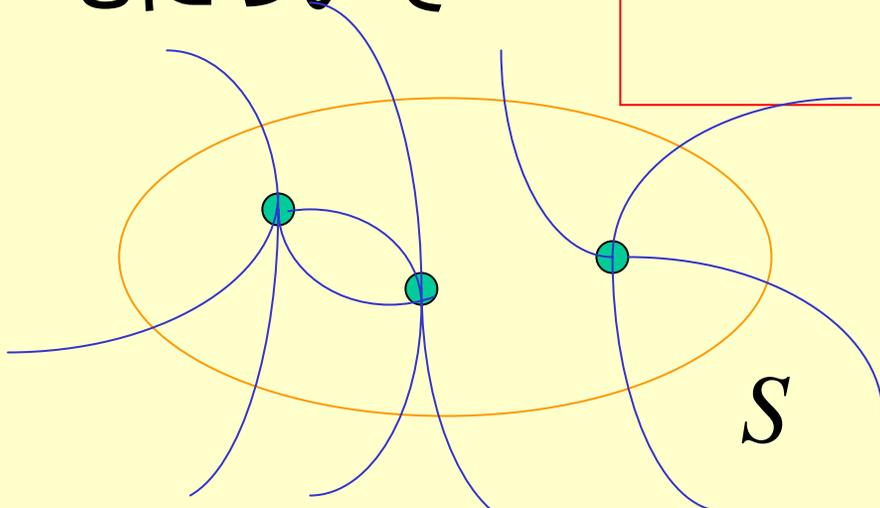
# ガウスの法則(まとめ)

## 電磁気学の基本的法則

Maxwellの方程式の4つの柱の1つ

任意の閉曲面  
Sについて

$$\sum E \cdot ES = \frac{q}{\epsilon_0} \quad \frac{q}{\epsilon_0}$$



左辺は閉曲面Sを  
適宜分割した和

右辺は閉曲面S  
の内部の電荷の  
和

# 電束密度

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E}$$

力線を表現  
する場

電束の量の定義  $DS$

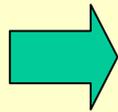
電荷 $q$ から出る電束の量  $q$

ガウスの法則

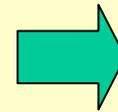
$$\sum D_n \Delta S = \sum q$$

# ガウスの法則の意義

ガウスの法則



点電荷の電場は以下となる



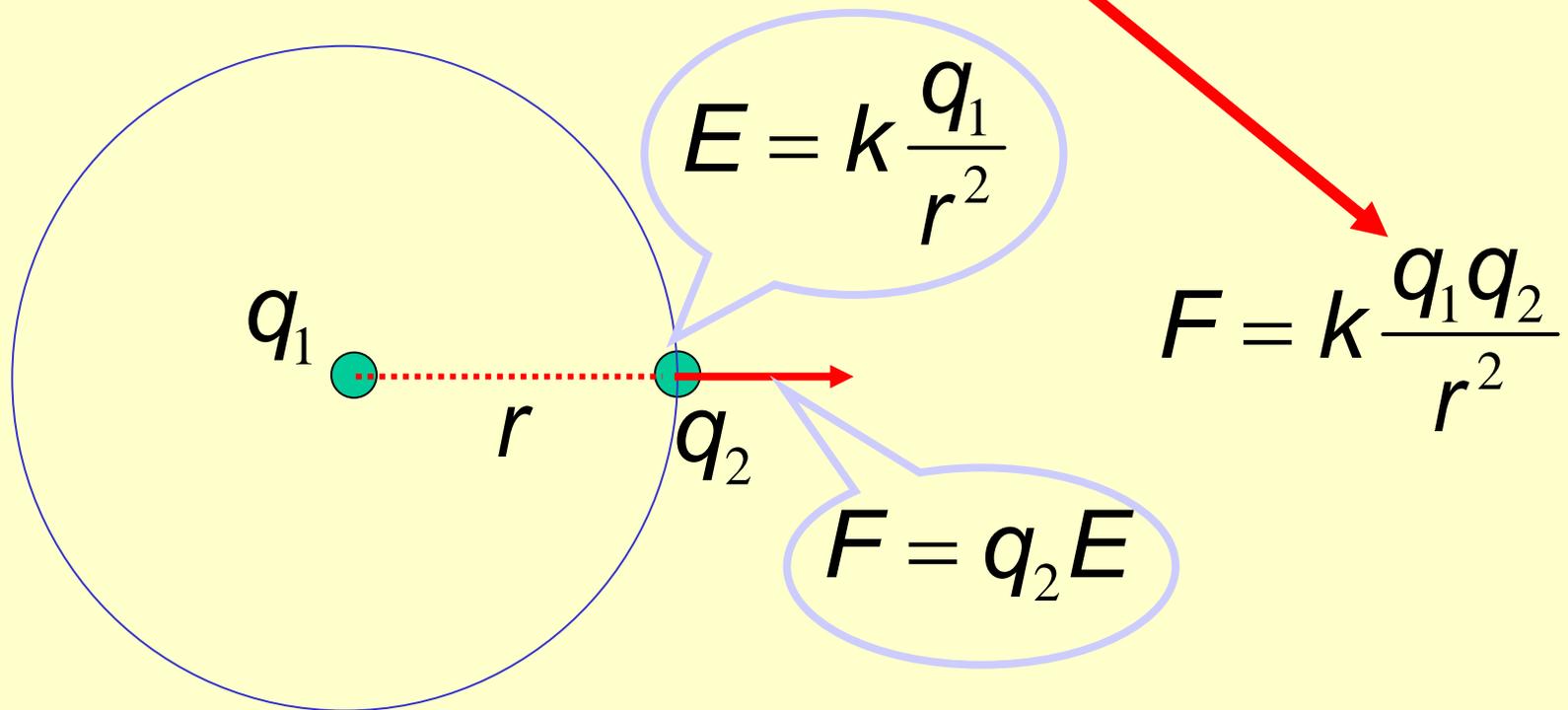
クーロンの法則が導出される

$$E \propto \frac{q}{r^2}$$

ガウスの法則が電磁気学の基本的法則  
Maxwellの方程式の4つの柱の1つ



# クーロンの法則の再現

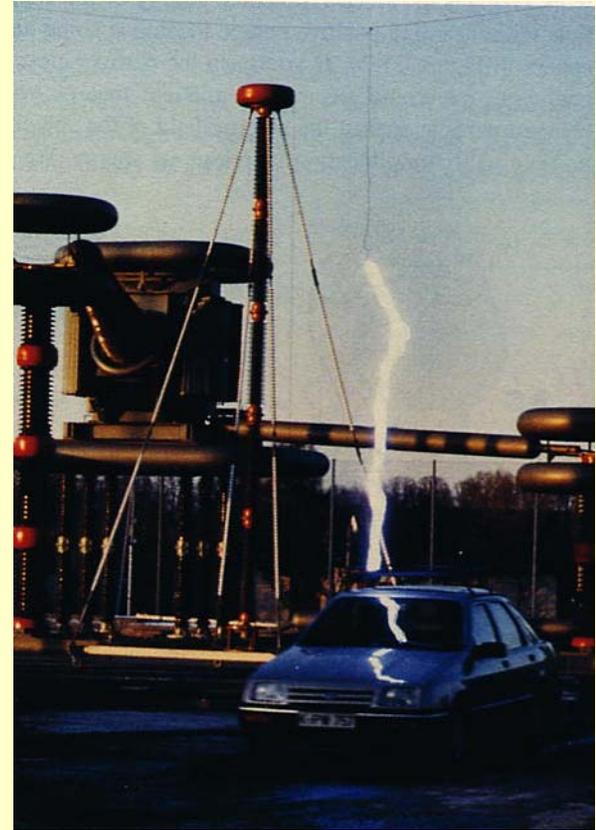


物理現象は1つしかないので、電場の考え方を使っても、「電荷の間に働く力」は同一である

# 電場

導体(金属)があるとき

導体内部の静電場は0



# 近接作用論(場の考え方)

- 電荷は電場を作る (他の電荷の存在と無関係に、自分の「意志」で周囲の空間に場を作る。)
- 電荷は電場から力を受ける (電場が生じた原因には「無関心」で、自分の存在する位置の電場を感じる。)



# 電気力線の量：精密化

- 電場ベクトルの向き
- 電場が場所により変化するとき  
→基本パターン(p. 18)

$ES$

