

## 1 ページ

ファラデーは、物理学、化学に多数の重要な発見をした科学者。  
実は、学歴はほとんど無く、その当時の有名な科学者の下働きをして学問を収めた。  
なので、実験物理に成果が多い。

マクスウェルは、物理学、特に電磁気学の集大成としてマクスウェルの方程式を提案。  
現在でも、これを電気現象、磁気現象の研究はこれを元に行っている。  
古典物理学から、アインシュタインの相対性理論へのなかだちになったと言う評価もある。

## 2 ページ

電磁気学の教科書、授業では、電場、磁場の定義から出発するものが多く電気力線は補助的に用いられることが多いと思う。  
しかし、電気力線を実感してもらうために、目に見えるように工夫（可視化）した例を示しておく。もちろん、髪の毛の伸びる方向に電気力線が伸びている。

## 3 ページ

磁気、磁場に関しては、この授業の後半で解説するが、ご存知のように、砂鉄を用いると、磁力線も可視化できる。ただし、可視化された電気力線は、直線的に遠くまで伸びているように見えるが、磁力線はいつもすぐ近くの反対の符合をもつ磁極の間を結ぶ曲線に見える。

## 4 ページ

電気力線のイメージを整理する。  
電気力線は、電荷から伸びる。もし、全世界に電荷が一個しか無ければ、その一個から宇宙の果まで伸びているはず。  
しかし、普通にはどこかにある、反対の符合を持つ電荷で終わっている。  
重要なのは、何も無い点から始まったり、終わったりしないこと。

## 5 ページ

電荷、電力線、電場の定量的な定義。  
ただし、本当の意味で、電気力線一本に相当する電荷は非常に小さく、電気力線の本数は非常に大きく、空間を満たしている。  
しかし、適当な「単位」を導入することで、取り扱いやすい数値に換算するので、数学的に言うと本数は整数であっても、ここでは、実数として扱う。  
単位については、また別に解説する。

## 6-10 ページ

この授業で使う数学。もし知らないことがあれば、高校の教科書で確認する。

## 6 ページ

### ベクトル

注意するのは、この授業ではベクトルを、頭に矢印「 $\rightarrow$ 」を付けて表す。  
特殊なベクトルとして、単位ベクトル、つまり大きさが1で、方向だけ持ち、方向を表すベクトルがあるが、これは頭にハット、「 $\hat{\phantom{a}}$ 」を付けて表す。

## 7 ページ

三角関数、  
直角三角形を用いた理解と、座標軸を使った理解を両方確認する。

## 8 ページ

微分と積分。簡単に言ってしまうと、微分とは、小さな数の割り算、積分とは、複雑なものを分解して、簡単に計算出来る形にしてから、和をとる操作にほかならない。

## 9 ページ

積分の例。この例は、後で仕事=エネルギーを計算する時にもでてくるので、ここで示した。

## 10 ページ

覚えておいたほうが良い、微分と積分の公式

実際に微分と積分を計算することは、ほとんどしないが、考察を進めると結果が微分、積分になっていることがある。（例、9 ページ）

この時は、公式を使ってしまうのが便利。

## 11 ページ

空間を走っている電気力「線」の密度。

5 ページで書いた、電気力線と電場の強さを関連を付けるために必要。簡単に言えば、「線」が垂直な「面」を通過する点の、その「面」上での密度。

## 12 ページ

電気力線に垂直な面以外を用いて、電気力線の密度を求める。

ここでは、電気力線の密度から電場の強さを求めかたを示したが、同時に、電場がある時にある面を通過する電気力線の数を求める方法である。ガウスの法則では、この性質が重要になる。

## 13 ページ

一般的な曲面を通る電気力線の数を分割して、和を取るという操作で勘定する。これは、8 ページで示した、積分の定義（分割と和）に一致するので、積分の記号を用いて、これを表現する。

注意1, 曲面は分割すると平面の一部で近似してよいと考え計算している。

数学的には、この様な性質をもつ曲面に限定した議論という事になる。

しかし、自然界や、我々が通常目にする曲面では、これは正しいと思われる。

注意2, 実際の応用では簡単に積分できる「閉曲面」を選んでから計算するので、高校で学んだ積分のように難しくない。

## 14 ページ

ガウスの法則。（電荷が閉曲線の内側にある場合。）電気力線を用いると最も簡単に証明できる。つまり、電荷から出る電気力線を、この電荷を囲む閉曲線の上で合計すると、電荷から出る電気力線の総数になる、と自明の法則になる。

注意、法線ベクトルの方向だが、連続性を考えると、全体に外向きか、内向きかの2通りしか無い。

## 15 ページ

電荷が閉曲面の外側に在っても、電気力線が閉曲面を通ることがある。しかし、その時は必ず偶数回閉曲面を通過することに注意。このページで示しているように、電気力線が閉曲面の外側から内側に入る時は、 $-1$ 、内側から外側に出る時は $+1$ と数えるので、合計すると、必ず $0$ になる。

## 16 ページ

14、15ページの結果を整理した。実は閉曲線の内側に電荷が在っても、電気力線が、閉曲面を出たり入ったりで、複数回通る事が可能だが、必ず奇数回になることに注意。合計すると、電気力線一本あたり $+1$ になる。

## 17 ページ

電荷を一個だけ考えた時に最も重要なガウスの法則の応用。球対称なので、球面上のどの点も回転して持ってくれば同じ様に見えなければならない。これはかなり強い条件で、いろいろな関係が生まれる。

(そうでなかったらと考えると、球対称性に矛盾する。考えてみよう。)

## 18 ページ

有名な、クーロンの実験。もし学生実験などでやろうとしたら、電荷を留めて置くのが難しい。特に日本では、せっかく電荷を与えても、空気中の水分により、電荷は空中に逃げ出してしまう。いずれにせよ、現代の物理でこのまま実験されることは、まず無い。

## 19 ページ

電場から電荷の受ける力。

「場」というものの考え方を理解しよう。場とは、何者かに作用する空間の性質。時によっては、作用する相手は、他の「場」であったりする。電場以外で有名な「場」としては磁場、重力場などがある。

## 20 ページ

電場を介して、クーロンの実験を理解する。特に二つの電荷に働く力が、距離の逆自乗に比例するのは、ガウスの法則から理解できるだろう。電荷間の力と電荷の符合に関しては、自然に理解できる。

## 21 ページ

もう少し数学的に閉曲面を考える。

3、より地球の表面も閉曲面であるが、例えばサイコロの様な立法型の表面も閉曲面である。「曲」の字から受けるのは、滑らかに曲がっているイメージだが、ここでは垂直に折れている面でも、1、2、3のどれかの性質が確認できれば、閉曲面と呼ぶ。