

本講義における電磁気学の構成

電磁気学はひとつのまとまった体系であるから、詳細を始める前に全体をざっと眺めておくのがよいと思う。そこで、本書における電磁気の構成を大まかに図 1 に示した。図のように内容は前半と後半に大きく分けられる（東京工業大学の現在の講義では、前半後半をそれぞれ前期後期の講義で行っている）。

前半は電荷の間にはたらく電氣的な力であるクーロンの法則から始まり、電界というものを説明する。この範囲では時間的な変化は含まないので、この電界は静電界とよばれる。この静電界は、2つの非常にきれいで簡単な基本方程式で表されることを説明する。（簡単というのは表現がということ。内容は深い。）ひとつはガウスの法則とよばれるものであり、もうひとつは渦が無いこと（保存界）を示す式というものである（言葉の意味は、今はわからなくてもよい。簡単に2つの式で表されるという大筋が重要。）結局、静電界はこの2つによる基本方程式を解けば求められるということを示す。このあと、電荷の流れである電流を説明し、後半に移る。

後半では、まず、電流の間にはたらく磁氣的な力から、磁束密度というものを説明する。磁氣的な力は、アンペアの実験によってきれいな数式に整理されたが、これをビオ-サバールの法則というもので表すことから始める。この場合も電流が時間的に一定の場合だけを説明する、すなわち、電荷は移動しているけれども、その速度は時間的に変化しない。磁束密度もまた、2つの非常にきれいで簡単な基本方程式で表されることを示していく。ひとつはアンペアの法則であり、もうひとつは発散が無いことを示す式というものである（これも今は言葉の意味はわからなくてもよい。）後者は磁石が必ずS極とN極からできている（単独にはできない、つまり単極磁荷は無い）という日常経験と直接関係している。

そして、このあとで時間的に変化する磁束密度と電界をはじめて扱う。静電界と定常電流による磁束密度の範囲では、電気と磁気は全く無関係で独立の法則、独立の世界を形成しているが、ここで両者の間につながりができる。すなわち、電気と磁気の法則が統一され、より大きな基本法則にまとめられる。

まず、時間的に変化する磁束密度から電界が発生することが説明され、ファラデーの法則にまとめられる。ファラデーの法則は、さらに、上述の静電界の基本方程式のひとつである渦が無いという式に修正を加えることで表される。また、時間的に変化する電界からは磁束密度が発生（厳密に言うと電束密度から磁界が発生であるが、ここでは厳密性は無視して大筋を述べている）し、これは上述のアンペアの法則にマクスウェルが変位電流というものを加えて修正(拡張)した法則で表される。結局、時間的な変化があるときでも、時間的な変化が無いときと同様に、電気と磁気それぞれが2つの基本法則で表される、つまり、法則の数は変わらないけれども、それぞれに修正が入り、互いに独立ではなくなるのである。

電気と磁気の法則は、最終的に 4 つの簡単できれいな基本方程式（ファラデーの法則、ガウスの法則、変位電流を含むアンペアの法則、単極磁荷は無いという法則）にまとめられ、電磁気現象はすべてこの 4 つの方程式で扱うことができる。この基本方程式の成り立ちを学ぶことが電磁気学の大きな目標の一つである。もちろん、それぞれの方程式は電気・電子の分野の基礎となっているから、これらを使えるようになることも目標である。そして、後半の最後に、4 つの方程式の結論として出てくる最も大きな事柄として、電磁波というものが存在し、その速度が光速であること、したがって、結局は光も電磁波であることが説明される。

このほか、前半と後半それぞれで、物質の話として誘電体と磁性体が説明される。ここで電束密度や磁界というものが説明される。これらは結果的には、多くの物質において電界や磁束密度に単純に比例して簡単に表されてしまうが、物質の分極や磁化という概念から成り立っている重要な物理量である。

以上が本書の構成の大筋であるが、もうひとつ、これを進めていく道具としての数学が必要であることは述べなければならない。電界や磁束密度を図示するのに電気力線、磁力線（厳密には磁力線は磁界を表す）を描くが、そのもとになっているのは、空間に分布するベクトル関数というもので（ベクトル関数と電気力線や磁力線との関係の詳細は後の章）、関数であるから微分積分があり、それらを駆使して見えない電気磁気を表現することになる。目に見えないものを正確に表現するには、数学が必要不可欠なのである。電磁気学を単に言葉で説明する程度のことであれば不要かもしれないが、この分野の基礎として使いこなすには避けて通れない。また、このようなベクトル解析が整備されているからこそ、電磁気の基本法則がたった 4 つの簡単な式で表現できているとも言える。このため、本書では（ほとんどの電磁気学がそうであるが）前半の最初に、ベクトル解析、すなわち、ベクトル関数やその微分積分、それらの間のいろいろな定理についての章を設けている。もちろん、数学そのものが目的ではないので、必要最小限であり、できる限り電磁気の現象に沿った説明になっている。

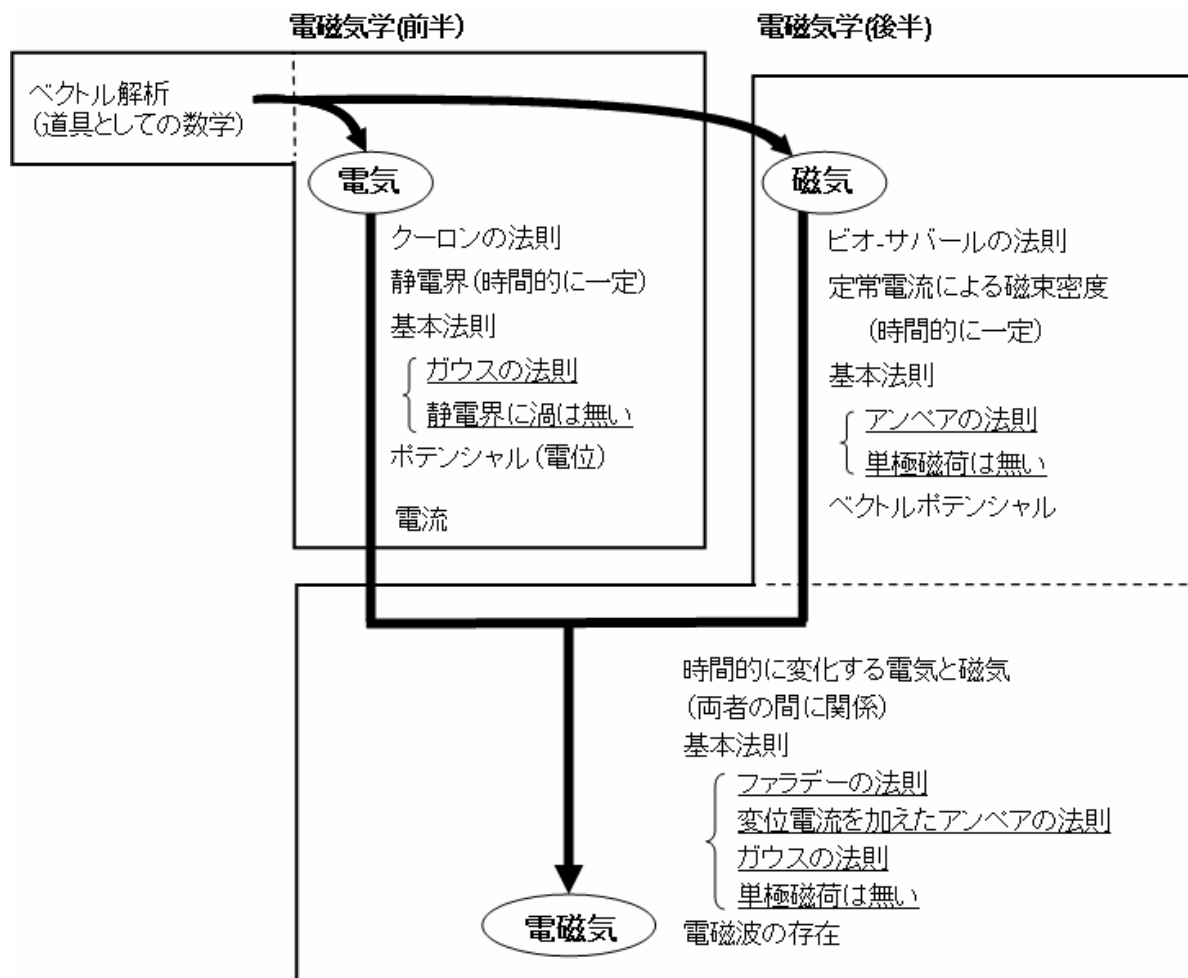


図 1 本書における電磁気学の構成