

M40a 磁力線と荷電粒子の運動

柴崎清登（太陽物理学研究所）

電磁現象を理解するために Faraday は電磁力線とその運動を導入した。これを Maxwell はベクトル場の偏微分方程式群によって数学的に定式化した。これによって古典電磁気学においては力線やその運動について議論する必要がなくなった。一方、磁気流体力学（MHD）においてはプラズマに凍結した磁力線とその運動が導入されている。磁力線の凍結は、オームの法則で電気伝導度無限大の仮定（理想 MHD）をして $E + V \times B = 0$ の関係を得、これを電磁誘導の式に代入することによってプラズマと磁力線がいっしょに運動することが導かれる。しかし、電気伝導度が無限大の媒質（完全導体）中では磁場は変化できないため、磁力線は動くことができないことになるが、太陽大気中では磁力線は変化している。この問題を古典電磁気学と無矛盾に解決したい。

まず真空中での磁力線の運動について検討する。運動を議論するためには、磁力線に座標を定義する必要がある。そこで、電磁場を Lagrange 形式を用いて扱う場合に用いられる一般化座標を力線の位置座標とする。磁力線の場合はベクトルポテンシャル A が一般化座標である。速度はその時間微分であり、 A の時間微分は電場 E である。これらを用いると磁力線の運動を議論することができる。小さな空間領域内で磁場が一様（ z 方向）とし、ランダウゲージを用いると、 $A = B \times x$ となる。 x 方向に速度 u で運動する A を考えると、 A の時間変化は $B \times u$ となり、 $E = B \times u$ すなわち $E + u \times B = 0$ となる。これで磁力線の位置と速度が定義できた。このような電場と磁場がある場合、荷電粒子は $E \times B$ ドリフトを生ずる。ドリフト速度 V は磁場の速度 u と一致し、プラズマは磁力線と同じ動きをすることがわかる。しかし、電場がクーロンポテンシャルによる場合、磁力線は動かず、プラズマのみドリフト運動をすることになり、磁場の凍結が溶けることになる。