

環境物理学 II 補足資料 「磁荷」概念の必要性

戸田 孝

Coulomb の法則は電気と磁気の双方に対して同様に成立するものとして発見され、その背景には重力と同様（但し、重力では同種間に引力が働くのに対して、電磁気は同種間に斥力が働く）の法則が電磁気についても成立するだろうという発想があった。その一方で、電気と磁気は必ずしも同等ではなく、電荷と違って磁荷は必ず「N と S のセット」で出現し、単磁荷＝磁気単極子（magnetic monopole）の一方だけが単独で出現する状況が確認できないことも認識されていた。

その後、電磁相互作用の研究が進み、電荷や磁荷を担うミクロな存在の実態が解明され、磁気は専ら電流によって産み出されることが明らかとなった。電磁気学の体系は単磁荷が存在すると仮定しても何の矛盾も引き起こさないものであると同時に、もし単磁荷が存在すればどういう現象が起こるかも予測できる。そして、それに基づいて単磁荷の存在を示唆する現象は全く発見されていない。もし発見されたら世界的な大ニュースであるということも広く知られている。

単磁荷の存在が確認できないということは、磁荷を直接担うミクロな存在も確認できないということである。従って、電磁気の物理的本質を追究したり、電磁気に関わる物質の性質を究明して実用的応用を志す分野において、「磁荷」の概念は無用の長物である。

その一方で、日常生活で遭遇する磁気現象、例えば

- ・ 棒磁石の周囲で方位磁石がどのような挙動を示すか
- ・ ある状況でどんな磁石をどう使えば物体を支えられるか

というような問題を考えたり、あるいはそもそも「磁気とは何か」という根本概念を理解したりするうえで「磁荷」の概念は必要不可欠なものである。

磁気に関わる物質のミクロな構造からすると「磁荷」の概念は全く仮想的で実在しないものである。しかし、だからといって無意味な概念であるということにはならない。重要なのは、このような「仮想的で実在しない」概念を介することで「何を容易に理解できるようになるか」ということである。日常生活で遭遇するようなマクロな現象を、「磁石」すなわち「両端に単磁荷が存在する物体」という形態で認識される「磁気に関する素朴概念」を介することなく理解するのは不可能に近い。そして、このような「素朴概念」と磁気のミクロな構造との対応関係を説明できることは、電磁気学に何らかの専門家として関わる者の社会的責務といえるだろう。

電磁気のミクロな構造と「磁石」概念との対応関係が「磁気双極子」と「微小環状電流」との等価性によって説明できることは本講義でも簡単に言及した。磁気双極子を板状に並べた「磁気二重層」というものを考えると、有限の大きさを持つ環状電流との等価性を示すことができる（Ampère の法則は歴史的には磁気二重層に関する法則から始まっている）。

数学的にさらに高度になってしまうので本講義では磁気二重層に言及しなかったが、用語としては頭の片隅に置いておいてほしい。

単磁荷が実在しないことを理由に磁荷の概念を回避し、電流によって発生する磁場からいきなり議論を始める教科書も多い。指定教科書は、その立場を強硬に主張する「過激派」の代表例であり、「磁荷」はもちろん、「磁気双極子」という用語さえも「環状電流が作る磁場を記述する物理量」という意味でしか用いていない。しかし、この立場で書かれた教科書は概念の導入に無理があり、極めて理解しづらい入門体系になってしまう。電磁気学の基礎を習得したうえで発展や応用を論じる教科書ならともかく、入門書としては不適切である。

指定教科書は、この件も含めて極論的な論理展開が多い。もちろん、物理的な本質について誤ったことは書いていないが、前提となる考え方に関する主張は頻繁に暴走している。本講義でこの教科書を指定しているのは、情報量が多く資料集として有用と判断しているからで、説明方針に同意しているわけではない。むしろ「批判的な読解」の対象として有益な教材であると考えた方が良いかもしれない。

なお、磁荷の概念を回避する考え方では、それに連動して磁場 $\mathbf{H}$ という物理量の存在意義を否定し、磁束密度 $\mathbf{B}$ のことを「磁場」と呼んでしまうことも多い。磁場 $\mathbf{H}$ は磁荷が場から受ける作用に関わる物理量であり、電流が場から受ける作用（Lorenz 力など）は磁束密度 $\mathbf{B}$ で定まるからというのが理由である。しかし、確かに Lorenz 力などは磁束密度 $\mathbf{B}$ に基づいて定義されているが、これを磁場 $\mathbf{H}$ に基づいて定義しても何ら矛盾は生じないし、その方が自然な定義ともいえる。電束密度 $\mathbf{D}$ や磁束密度 $\mathbf{B}$ は媒質（誘電体や磁性体）の影響を受ける前の外部からの作用を記述する物理量であり、媒質の影響（誘電率や透磁率）を経て電荷や磁荷が受ける影響を記述するのは電場 $\mathbf{E}$ や磁場 $\mathbf{H}$ だからである。つまり、媒質の影響を考慮した Lorenz 力は磁場 $\mathbf{H}$ に基づいて定義するほうが自然である。

問題は、この定義が現在使われている電磁気の単位系と相容れず、全ての法則を別の単位系に基づくものに変換せねばならなくなることである（磁場 $\mathbf{E}$ の次元が磁束密度 $\mathbf{B} \times$ 速度 $\mathbf{v}$ ではなく磁場 $\mathbf{H} \times$ 速度 $\mathbf{v}$ の次元に等しいという前提で単位系を構築せねばならなくなるから）。そのため、この定義を採用することはできず、現状のようなことになる。つまり、Lorenz 力などが磁束密度 $\mathbf{B}$ に基づくという考えは、歴史的経緯を不合理に引き摺った結果である。

なお、以上の理由で指定教科書には磁場 $\mathbf{H}$ に関する数式が登場しないが、透磁率の真空との違いを考慮しなくて良い文脈であれば磁束密度 $\mathbf{B}$ を単純に真空透磁率 μ_0 で除すれば磁場 $\mathbf{H}$ になるので、必要に応じて換算すればよい。