

電流は磁場を“作る”か

丸山清志

防衛大学校地球海洋学科

2024年3月3日

要旨

電流は磁場を作るものと一般には理解されている。しかしながら本論文では、この一般的な理解が誤りであることが示される。すなわち、実は電流は磁場を作らないのである。

1 はじめに

現在マクスウェルの方程式として知られている方程式系のうち

$$\nabla \times \mathbf{B}(\mathbf{r}, t) = \mu_0 \left[\mathbf{i}(\mathbf{r}, t) + \varepsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}(\mathbf{r}, t)}{\partial t} \right] \quad (1)$$

はアンペール・マクスウェルの法則と呼ばれている。この方程式右辺の大括弧内、電場の時間的変化に伴って現れる第2項が、変位電流密度あるいは単に変位電流と呼ばれる項である。

この変位電流の役割について、物理教育に携わる人々の間で混乱が生じている（北野 2021）。「変位電流は磁場を作らない」という指摘（兵頭 2012）が違和感を与え、それが混乱の源となっているのである。

ところで、この「変位電流は磁場を作らない」という指摘に対する違和感の原因は何であろうか。その一つは、アンペール・マクスウェルの法則 (1) 右辺の大括弧内第1項で表される伝導電流密度（簡単のため、以降は単に電流と呼ぶ）が磁場を作ると広く信じられていることであろう。方程式中では電流と全く対等であるにも関わらず、変位電流のみが磁場を作らないというのは承服しかねる、というわけである。

しかしながら、そもそも電流が磁場を作るという命題は正しいのであろうか。少し考えてみれば、この命題が誤りであることは容易に理解できる。これを示すことが本稿の目的である。

2 電流は磁場を作らない

アンペール・マクスウェルの法則 (1) で定常状態を仮定すると、アンペールの法則

$$\nabla \times \mathbf{B}(\mathbf{r}) = \mu_0 \mathbf{i}(\mathbf{r}) \quad (2)$$

が得られる。これを用いて直線電流が周囲に作る磁場を求めよ、という問題はよく目にするものである。ところが、以下で説明するとおり、この法則の成立こそが実は電流が磁場を作らないことを示しているのである。

まず上式右辺の電流に注目しよう。定常状態を仮定しているので、これは時間的に一定である。従って、もし電流が磁場を作るとするならば、一定の割合で磁場を作り続けるはずである。しかるに、左辺の磁場は期待に反して一定である。このことは電流が磁場を作らないことを意味している。

3 議論

かくして電流は磁場を作らないことが明らかになった。この結果に照らせば、変位電流もまた磁場を作らないのは当然ということになる。しかしながら、これを認めると以下のような疑問が生じてくる。

最初の疑問は、電流および変位電流がいずれも磁場を作らないのだとすれば、磁場の成因は一体何であるのか、ということである。加えて、そもそも電流および変位電流の役割は何なのであろうか。

一方、電磁波は電場の時間的変化が磁場を作り磁場の時間的変化が電場を作りながら伝播するものと一般には理解されている。変位電流、従って電場の時間的変化が磁場を作らないのであれば、この理解は誤りということになる。さらに言えば、電場の時間的変化が磁場を作らない以上、磁場の時間的変化も電場を作らないと考えるのが合理的であろう。だとすると、電磁波は如何なる機構により伝播してゆくのであろうか。

以上の疑問に答えるには、磁場、そして電場の「渦度」に注目することが必要である。これらの成因を検討することで、磁場そのものの成因も電磁波の伝播機構も明らかになる。その過程で、電流および変位電流の役割もまた自ずと明らかになるのである（丸山・難波・菅原 2022）。

参考文献

- [1] 兵頭俊夫, “変位電流は磁場を“作る”か,” 物理教育, 60 (2012), 44–51.
- [2] 北野正雄, “変位電流をめぐる混乱について,” 大学の物理教育, 27 (2021), 22–25.
- [3] 丸山清志・難波竜平・菅原美結, “平行平板コンデンサの極板間磁場の成因ならびに電磁波の伝播機構と励起源の考察 – 変位電流の役割 –, ” (2022). <https://doi.org/10.5281/zenodo.7712685>.