

磁力線は磁石にくっついていてるの？

加納高校・村田憲治 E-mail : quz@he.mirai.or.jp

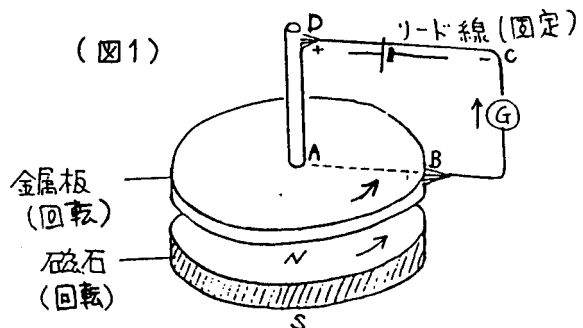
科教協ニュース 11, 12月号に、科教協全国大会（新潟大会）で石川さんが発表したレポートに対して疑問を投げかける記事が載ってましたが、あれを読みながら考えたことがあります。

それは、「磁力線は磁石にくっついたまま回転すると考えるべきか否か？」ということです。というのも、「磁力線は磁石にくっついたまま磁石とともに回転する」とした場合と、「磁力線は空間に固定されている」とした場合とでは、起電力の生ずる場所が異なるように思われたからです。

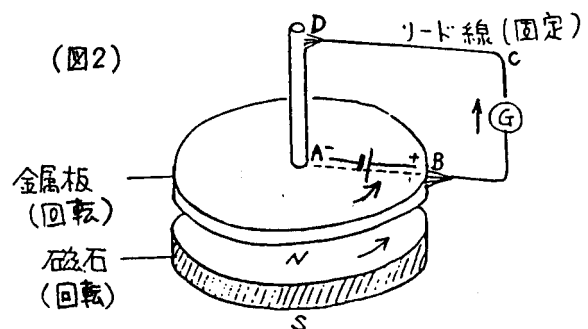
「くっついていてる」、「くっついていない」、「そんな議論は無意味だ」の3通りの本がある

村：「つまりこういうことね。磁力線が磁石に

くっついたまま回転とした場合、金属板と磁石が同じ方向に回転してる（リード線BCDは固定）と、磁束を切るのはリード線のCD部分だけだから、起電力を生じるのもCD部分で、図1のように電流が流れるはず。



一方、磁力線が空間に固定されてる（つまり、磁石が回転したって磁力線はじっとしている）とすれば、磁力線を切っているのはAB部分で、起電力を生ずるのもAB部分だよ。（図2）



誘導電流の流れる向きは同じなんだけど、起電力の生ずる場所が異なることにならないかな～と思うんだよね」

A：「ふ～む、何でそんなこと考えたの？」

村：「ず～っと前、『磁力線は磁石が回転したっていっしょに回転したりしないで、空間に固定されているのだ』って書かれた本を読んだ記憶があって、なんか石川さんの話（p3251『電磁誘導は法則の使い方にもルールがある』）と違うな～と思ったのね。んで、その本を探してたら、なんと『磁力線は磁石が回転すればいっしょに回転する』って書かれた本もあったし、極めつけは『磁力線の速度なんか定義できないのだから、そんな議論自体が無意味なのだ』なんて本もあったんですよ」

B：「ハハハ、真実はひとつだよ。そのうちの2つは間違ってるんだ」

C：「どんな磁石の磁束だって、原子レベルの電流によってつくられる磁力線の集まりなんだから、磁石の回転に伴って原子が回転すれば、磁力線だって原子にくっついて（？）回転するって

考えるのが自然なんじゃないの？」

D : 「そうそう」

B : 「それに、磁力線が空間に固定されていると言ったって、その空間＝座標系に対して等速運動する別の慣性座標系が存在するわけで、その座標系に対しては磁力線が速度を持っていることになるよね。磁力線が固定されている座標系を認めるってことは、絶対慣性座標系を認めるみたいなことになるから、ヘンだよ」

村 : 「う～ん、そうだよなあ。でもそのへんをはっきりさせたいんだよね。要するに金属円板内で電荷分離してるかどうか実験的に確かめられないかなあ、と思うんだな。もし電荷分離してないことが確かめられれば『磁力線は磁石と共に回転する』ってことになるもんね」

B : 「村田さんは、その実験やったの？」

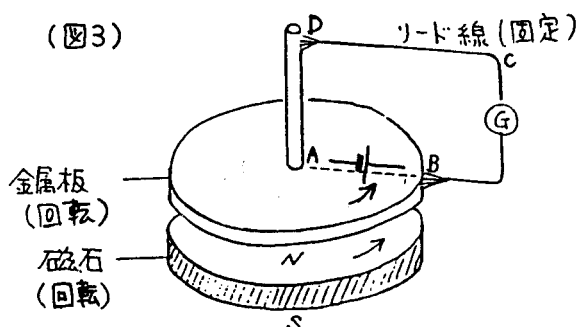
村 : 「いやいや、今日のところは問題提起だけ（笑）」

ローレンツ力による起電力と誘導電場による起電力

B : 「ちょっと待って。起電力の生ずる場所のことだけど、村田さんの描いた絵はちょっと違うんじゃないかな」

村 : 「え？ そう？」

B : 「磁力線は磁石にくっついて回転するって前提で話すヨ。それで、まず『静止した磁界の中で導線が動くと狭義のローレンツ力（運動する電荷が磁界から受ける力 qvB ）による電荷分離によって起電力が生じる』ってのと、



『磁界が運動すると誘導電場 $E = vB$ ができて導線に起電力が生じる』ってのが基本ね。

で、この金属板と磁石が共に回転する場合、金属板は磁界の中で動いているから金属板内の電荷はローレンツ力を受けて電荷分離を起こし、A B部分にこっち向きの起電力が生じる」

村 : 「え？ 金属板は磁界を切っていないよ」

B : 「いや、磁場が金属板に対して動いていようがいまいが磁場の中で観測者に対して電荷（金属板）が動けば電荷は磁界からローレンツ力 qvB を受ける、と観測者に観測されるんだ」

D : 「ああ、そうなのか」

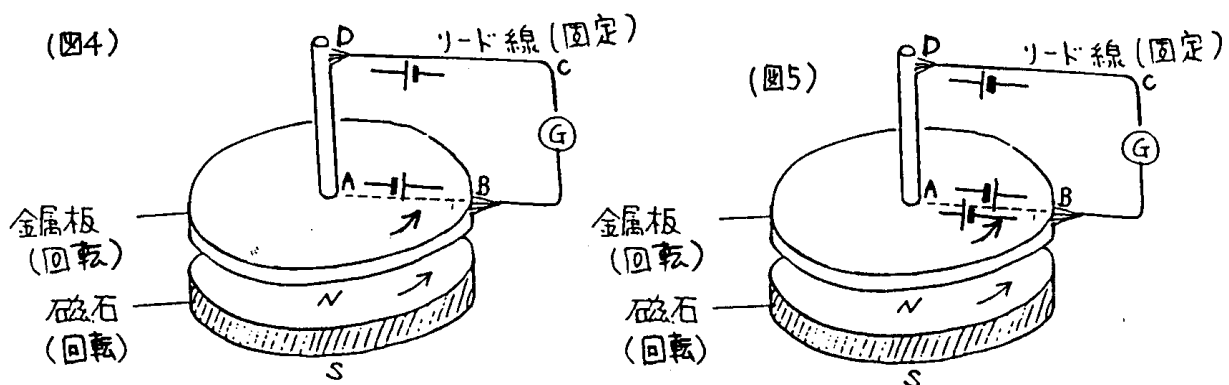
村 : 「それから、C D部分は観測者に対して静止してるけど、磁界が動いているから誘導電場 $E = vB$ ができて起電力が生じるってわけね。」（図4）

B : 「その通り」

村 : 「あれ？ でも、A B部分にできる起電力とC D部分にできる起電力の合計が、実験事実より大きすぎない？」

B : 「いやいや、誘導電場による起電力は、A B部分にも生じてるんだよ」

A : 「ふむ、つまり $2 - 1 = 1$ ってことか」



村：「うまく計算が合うもんだね～。結局，ローレンツ力による起電力で回路に電流が流れるってことか」

C：「つまり金属板内部で電荷分離してるわけだ」

観測者の立場（＝座標系）を尊重した物理を！

この原稿を書き始めて気がついたのですが，最後の村田の発言「ローレンツ力による起電力で回路に電流が流れる」というのは，そうとも言えるしそうでないとも言えます。つまり，AB部分に生ずるローレンツ力による起電力と，AB部分に生じる誘導電場による起電力が相殺してて，CD部分の誘導電場による起電力によって電流が流れていると考えたっていいことになります。（ふつうはそう考えるでしょうね）

つまり，おそらく金属板内部で電荷分離は起こっていないでしょう。僕たちはそれを「ローレンツ力 qvB と電荷が誘導電場 E から受ける力 qE （誘導電場 $E=vB$ ）がつり合っている」と説明すべきだと考えるのですが，「そんなめんどくさいこと言わないで『電荷と磁界が相対運動してないから起電力が生じないのだ』と言えばいいじゃないか」と言う人も出てきそうです。しかし，そういうめんどくさい説明をすることが，観測者の立場（＝座標系）をはっきりさせた物理法則の書き方であって，いままでの教科書がないがしろにしてきた部分でもあるのだと思います。

でも，とりあえず金属板内部で電荷分離してないことを実験的に示せば，「磁力線は空間に固定されている」と主張する人は看破できるかな。これはやってみる価値がありそうですね。

i 『電場・磁場』 青野 修 共立出版 物理学 One Point

ii 『電磁誘導』 中山正敏 共立出版 物理学 One Point

iii 『続 間違いだらけの物理概念』 「磁力線の運動に意味があるか？」 今井 功 丸善株式会社